

Heft-Nr. 77

Bodenschutz und Altlastenbearbeitung 1

**Gefährdungsabschätzung und Sanierung
von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung
der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV**

Bodenschutz und Altlastenbearbeitung 1

**Gefährdungsabschätzung und Sanierung
von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung
der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV**

Teil Leitfaden

Teil Literaturstudie

In der Titelreihe "Fachbeiträge des Landesumweltamtes" sind zum Bodenschutz und zur Altlastenbearbeitung bisher folgende Hefte erschienen:

- Heft 19 Schwermetallgehalte brandenburgischer Böden (1997)
Heft 27 Entscheidungsmatrix als Handlungshilfe für die Erhaltung und Wiederherstellung von Bodenfunktionen in Niedermooren (1997)
Heft 29 Anforderungen des Bodenschutzes bei Planungs- und Zulassungsverfahren im Land Brandenburg -Handlungsanleitung- (1998)
Heft 48 Die Bodenbelastung brandenburgischer Haus- und Kleingärten durch Schadstoffe (2000)

Neuerscheinung:

- Heft 78 - Bodenschutz 1 -
 Anforderungen des Bodenschutzes an Planungs- und Zulassungsverfahren im Land Brandenburg -Handlungsanleitung- (2003)

**Fachbeiträge des Landesumweltamtes - Titelreihe, Heft - Nr. 77
- Bodenschutz und Altlastenbearbeitung 1 -**

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Str. 21-25
14467 Potsdam
Tel.: 0331 - 23 23 259
Fax: 0331 - 29 21 08
E-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Redaktion:

LUA, Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz, Ref. A4 - Bodenschutz (Hr. Ritschel) und Ref. A3 - Altlasten (Dr. Fiebig) auf Grundlage des F+E-Vorhabens "Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV", Agrar- und Umwelt-analytik GmbH (AUA), Jena im Auftrag des LUA 2002

Potsdam, im April 2003

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes 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.

Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

Teil Leitfaden

Inhalt

1	Einführung	1
2	Rechtliche Grundlagen	3
3	Charakteristik der Altlastengruppe "Rieselfelder"	5
3.1	Technologische Abläufe auf Rieselfeldern	5
3.2	Wirkungen des Rieselfeldbetriebs auf dem Schutzgut Boden	8
3.2.1	Wirkungspfad Boden - Mensch	10
3.2.2	Wirkungspfad Boden - Pflanze - (Tier)	11
3.2.3	Wirkungspfad Boden - Grundwasser	11
4	Altlastenerfassung, -untersuchung und -sanierung	13
4.1	Erfassung	14
4.2	Orientierende Untersuchung	15
4.3	Detailuntersuchung	18
4.4	Maßnahmen zur Gefahrenabwehr	20
4.4.1	Sanierungsuntersuchung, -planung und -durchführung	20
4.4.2	Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	23
4.5	Überwachungsmaßnahmen	24
5	Maßnahmen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen	25
6	Handlungsmatrix	26
	Abkürzungsverzeichnis	27
	Quellenverzeichnis	28

1 Einführung

Bis 1990 zählte Brandenburg zu den Regionen in der DDR, in denen die Abwasserverbringung auf Rieselfelder in größerem Maßstab erfolgte. Vor allem im unmittelbaren Umland von Berlin oder im Randbereich von Städten wie Potsdam, Cottbus, Brandenburg, Bernau, Fürstenwalde, Luckenwalde, Neuruppin u.a. wurde anfallendes kommunales und industriell-gewerbliches Abwasser langjährig auf Rieselfeldern ausgebracht.

Abwasserverrieselung (-beseitigung) bedeutete die Verbringung von Abwasser auf speziell angelegten Rieselflächen. Dazu wurde das zumeist vorher unbehandelte Abwasser auf unterschiedliche Weise auf gut durchlässigen Böden verrieselt. Der Boden diente bei der Verrieselung von Abwasser vor allem als Filter für die im Abwasser enthaltenen Partikel, als Matrix für die Adsorption gelöster Stoffe und als Medium für den mikrobiellen Abbau von bestimmten Wasserinhaltsstoffen. Die im Abwasser enthaltenen Pflanzennährstoffe (Stickstoff, Phosphor u.a.) wurden im Rieselfeldbetrieb auch zur Düngung von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen genutzt. Neben der Nährstoffzufuhr diente die Abwasserverrieselung auch der ausreichenden Versorgung der angebauten Pflanzen mit Wasser. Mit der Verrieselung wurden jedoch gleichzeitig die im Abwasser enthaltenen Schadstoffe, vor allem Schwermetalle, in großen Mengen in die Rieselfeldböden eingetragen.

Abwasserverregnung (-verwertung) bedeutet im Gegensatz dazu immer eine bedarfsgerechte regenartig feine Verteilung des unter Druck stehenden, meist mechanisch geklärten oder biologisch gereinigten Abwassers auf landwirtschaftlich bzw. gärtnerische genutzten Flächen. Abwasserverregnungsflächen sind nicht Gegenstand des Leitfadens.

In den in Tabelle 1 aufgeführten Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs wurden Flächen zur Abwasserverrieselung genutzt. Der größte Teil der Rieselfelder ist inzwischen stillgelegt, so dass das Problem der auf den Standorten vorhandenen Schadstoffbelastungen, die im Zuge der oft jahrzehntelangen Abwasserbeaufschlagung entstanden sind, im Hinblick auf den Bodenschutz eine besondere Bedeutung erlangt.

Rieselfelder sind altlastverdächtige Flächen (Altstandorte) gem. § 2 Abs. 6 BBodSchG (auch nach Brandenburgischem Abfallgesetz (BbgAbfG) vom 6. Juni 1997 waren in Ergänzung der Begriffsbestimmung für Altstandorte (§ 29 Abs. 4 2b) Rieselfelder und Fäkalienablassstellen Altstandorte, wenn das Aufbringen von Abwasser, Klärschlamm, Fäkalien oder ähnlichen Stoffen und von festen Stoffen, die aus oberirdischen Gewässern entnommen worden sind, innerhalb von Anlagen zur Behandlung von Abwasser oder zur Beseitigung von flüssigen Abfällen erfolgte). Die unteren Bodenschutzbehörden sind verpflichtet, Daten über diese Standorte in ihr Altlastenkataster aufzunehmen und an das Landesumweltamt weiterzuleiten. Die Untersuchung, Bewertung und Sanierung von altlastverdächtigen Rieselfeldflächen hat nunmehr nach den Vorgaben der BBodSchV zu erfolgen. Verregnungsflächen erfüllen nicht die Kriterien für die Einordnung als altlastverdächtige Fläche (Altstandort).

Wie die militärischen und Rüstungsaltlasten als Altlastenfallgruppen weisen auch die Rieselfelder spezifische Besonderheiten bezüglich des Eintrags von umweltgefährdenden Stoffen auf, die eine Einstufung als Altlastenfallgruppe rechtfertigen. Da in fast allen Landkreisen und kreisfreien Städten Brandenburgs Rieselfelder existierten und aufgrund des mit dem Abwasser erfolgten Schadstoffeintrags auf diesen Flächen ein Gefährdungspotenzial vorliegen kann, sind Hinweise zur sachgerechten Bearbeitung dieser Flächen von der Erfassung bis zur Sanierung erforderlich. Aus der bisherigen Praxis wird deutlich, dass der gegenwärtige Kenntnisstand zur Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Rieselfeldflächen nicht ausreichend ist, um einzelfallspezifisch die erforderlichen, geeigneten und angemessenen Maßnahmen im Rahmen der Bearbeitung derartiger Flächen auswählen zu können. Hierzu ist eine Bearbeitungsstrategie erforderlich, die das vorhandene Wissen und die bisherigen praktischen Erfahrungen bei der Bearbeitung von Rieselfeldern als altlastverdächtige Flächen zusammenfassend berücksichtigt.

Ein besonderes Problem stellt in diesem Zusammenhang die Untersuchung und Bewertung der Mobilität der auf Rieselfeldflächen relevanten anorganischen und organischen Schadstoffe dar, die in Abhängigkeit vom Zeitpunkt und der Art der Auffassung der Rieselfelder einer ständigen Dynamik unterliegt. Ausreichende Kenntnisse zur Bewertung der Wechselwirkungen der rieselfeldtypischen Schadstoffe als lang-

fristig vorhandenes Gefährdungspotenzial mit den sich verändernden Milieubedingungen einerseits und der konkreten Gefährdung von Schutzgütern andererseits sind zwingend erforderlich.

Ein weiteres Problem stellt bei bestätigtem Altlastenverdacht die Auswahl geeigneter Gefahrenabwehrmaßnahmen in Abhängigkeit der von der zuständigen Behörde festgelegten Sanierungsziele dar. So ist gegenwärtig einzuschätzen, dass Rieselfeldflächen mit verhältnismäßigen Mitteln nicht dekontaminiert werden können, so dass vor allem Sicherungs- sowie Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen vorrangig zur Anwendung gelangen werden.

Für untersuchte Rieselfelder, bei denen sich der Altlastenverdacht nicht bestätigt hat, kommen ggf. Belange des vorsorgenden Bodenschutzes zum Tragen, wie z.B. bodenverbessernde Maßnahmen für landwirtschaftliche bzw. forstwirtschaftliche Nachnutzungen.

Tab. 1: Rieselfelder im Land Brandenburg, Stand: November 2001 (Quelle: LUA, Umweltämter, Literatur, u.a. - detaillierte Angaben zu den einzelnen Standorten in Anlage 4 (Übersicht zu Rieselfeldern in Brandenburg))

Kreisfreie Stadt/Landkreis	Rieselfelder	
	Anzahl	Fläche [ca. ha]
Brandenburg	2	111
Cottbus	3	160
Frankfurt (Oder)	0	0
Potsdam	1	15
Barnim	6	1.100
Dahme-Spreewald	9	1.196
Elbe-Elster	1	20
Havelland	3	138
Märkisch-Oderland	3	304
Oberhavel	2	> 190
Oberspreewald-Lausitz	0	0
Oder-Spree	4	63
Ostprignitz-Ruppin	3	48
Potsdam-Mittelmark	8	> 1.500
Prignitz	3	> 850
Spree-Neiße	1	> 1
Teltow-Fläming	3	1.512
Uckermark	5	53

Der vorliegende Leitfaden soll vor allem die zuständigen unteren Bodenschutzbehörden und die mit der Untersuchung von Rieselfeldern beauftragten Ingenieurbüros bei der Erfassung, Untersuchung und Bewertung sowie Sanierung derartiger Flächen unterstützen.

Der Leitfaden berücksichtigt damit alle relevanten Phasen der Altlastenbearbeitung gemäß BBodSchG. In diesem Zusammenhang werden insbesondere die Besonderheiten der Altlastenbearbeitung von Rieselfeldern in den einzelnen Arbeitsphasen dargestellt, bezüglich des allgemeinen Procedere der Altlastenbearbeitung wird auf das Handbuch zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg (MUNR 1998) sowie auf die Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg (LUA 1997 FF.) verwiesen.

Im Fachinformationssystem Altlasten des Landes Brandenburg (FIS AL) sind altlastverdächtige Rieselfeldflächen im Bereich ehemaliger Rieselfelder ausgewiesen. Neben den im Berliner Umland gelegenen Rieselfeldern existierten auch in anderen Landesteilen Brandenburgs Rieselfelder.

2 Rechtliche Grundlagen

Nachfolgende Gesetze, Verordnungen und Erlasse sind bezüglich der Altlastenbearbeitung von ehemaligen Rieselfeldern einschlägig.

Die durch die Aufbringung von ungereinigtem, d.h. schadstoffbelastetem, Abwasser erfolgten Veränderungen in Rieselfeldböden nicht mehr betriebener Anlagen unterliegen im vollen Umfang den Bestimmungen des Gesetzes zum Schutz des Bodens vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - **BBodSchG**) vom 17. März 1998 (gültig ab 01. März 1999) i.V. mit dem noch geltenden Brandenburgischen Abfallgesetz (BbgAbfG).

Danach können in Rieselfeldböden schädliche Bodenveränderungen i.S. von § 2 BBodSchG vorliegen, so dass Rieselfelder als altlastverdächtige Flächen (Altstandort) betrachtet werden müssen.

Stillgelegte Rieselfelder können gem. § 2 Abs. 5 BBodSchG Altlasten sein, wenn der Nachweis erbracht wurde, dass es sich um Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, handelt, durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden (Altstandorte). Teilflächen von Rieselfeldern, die zur Ablagerung von Klärschlamm oder anderen Schlämmen dienten, können gem. § 2 Abs. 5 BBodSchG auch Altablagerungen sein.

Von besonderer Bedeutung für den Umgang mit stillgelegten Rieselfeldern sind die in § 4 BBodSchG genannten Pflichten zur Gefahrenabwehr. Dabei sind die aktuelle und planungsrechtlich zulässige Nutzung von stillgelegten Rieselfeldflächen und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis besonders zu beachten.

Die Ergebnisse von Boden- und Wasseranalysen auf Rieselfeldern sind unter Berücksichtigung der geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Bedingungen sowie der derzeitigen und zukünftigen Nutzung des jeweiligen Standortes insbesondere mit den Prüf- und Maßnahmenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung **BBodSchV** vom 12. Juli 1999 (Anhang 2) zu beurteilen und durch die zuständige Behörde zu bewerten.

Laut Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Abfall- und Bodenschutzes (Abfall- und Bodenschutz- Zuständigkeitsverordnung - **AbfBodZV**) vom 6. November 2000 sind für die Verwaltungsaufgaben betreffs stillgelegter Rieselfelder (gem. BBodSchG und §§ 31, 37 BbgAbfG) vom 6. Juni 1997), die Landkreise und kreisfreien Städte als untere Bodenschutzbehörden des Landes Brandenburg zuständig.

Bei der Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern im Land Brandenburg sind die Festlegungen der BBodSchV im vollen Umfang anzuwenden und umzusetzen. Dies betrifft die Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen hinsichtlich betroffener Wirkungspfade, davon ausgehender Gefährdungen von Schutzgütern, die Bewertung der Untersuchungsergebnisse und die Gefahrenabwehrmaßnahmen einschließlich Sanierung.

Die Anhaltspunkte gem. § 3 Abs. 2 der BBodSchV für das Vorliegen einer Altlast bzw. schädlichen Bodenveränderung, wie

- Eintrag von Schadstoffen über einen längeren Zeitraum und in erheblicher Menge über die Luft oder Gewässer oder durch eine Aufbringung erheblicher Frachten an Abfällen oder Abwässern auf Böden,
- erhöhte Schadstoffgehalte in Nahrungs- oder Futterpflanzen,
- Austreten von Wasser mit erheblichen Frachten an Schadstoffen

können im Einzelfall für ehemalige Rieselfelder zutreffend sein.

Für die Altlastenbearbeitung von ehemaligen Rieselfeldern sind gemäß Bodenschutzrecht relevant:

- Erfassung (Erhebung und historische Recherche) gem. § 11 BBodSchG, § 3 Abs. 1 BBodSchV u. § 31 BbgAbfG, (§ 2 Entwurf BbgBodSchG),
- Orientierende Untersuchung gem. § 9 Abs.1 BBodSchG, § 2 Abs. 3, § 3 Abs. 3, Anh. 1, Nr. 1.1, Anh. 2 BBodSchV,
- Detailuntersuchung gem. § 9 Abs. 2 BBodSchG, § 2 Abs. 4, § 3 Abs. 5, Anh. 1, Nr. 1,2, Anh. 2 BBodSchV,

- Sanierungsuntersuchung gem. § 13 Abs. 1 BBodSchG, § 6 Abs. 1, Anh. 3 Nr. 1 BBodSchV,
- Sanierungsplanung gem. § 14 BBodSchG, § 6 Abs. 2, Anh. 3 Nr. 2 BBodSchV,
- Sanierungsdurchführung gem. § 4(3) BBodSchG, § 5 BBodSchV.

Zu untersuchen sind auf ehemaligen Rieselfeldern entsprechend den Vorgaben in Anhang 1 der BBodSchV die i.d.R. relevanten Wirkungspfade:

- Boden - Mensch,
- Boden - Nutzpflanze - (Tier),
- Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser).

Die Bewertung der erhaltenen Untersuchungsergebnisse hat insbesondere auch nach den entsprechenden Prüf- und Maßnahmenwerten gem. Anh. 2 BBodSchV zu erfolgen:

- Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden - Mensch gem. Anh. 2, Punkt 1.4,
- Maßnahmenwerte für die direkte Aufnahme von Dioxinen/Furanen gem. Anh. 2, Punkt 1.2,
- Prüf- und Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze gem. Anh. 2, Punkt 2.2, 2.3 und 2.4,
- Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser gem. Anh. 2, Punkt 3.1.

Für die Altlastenbearbeitung von ehemaligen Rieselfeldern in Brandenburg gelten die im **Handbuch zur Altlastenbearbeitung** (MUNR 1998) in Kapitel 2.4 (Rechtliche Kriterien und Haftungsgrundsätze in der Altlastenpraxis) fixierten Grundsätze und die speziellen Hinweise im Band 1 (Leitfaden Recht) der **Materialien zur Altlastenbearbeitung** im Land Brandenburg (LUA 1997)

Rieselfelder können gem. § 24 Abs. 2 des **BbgNatSchG** als geschützte Landschaftsbestandteile in Betracht kommen. Als geschützte Landschaftsbestandteile werden Teile von Natur und Landschaft festgesetzt, deren besonderer Schutz zur Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, zur Belebung, Gliederung oder Pflege des Orts- und Landschaftsbildes, zur Abwehr schädlicher Einwirkungen oder wegen ihrer Bedeutung für die Erholung erforderlich ist. Ehemalige Rieselfelder können teilweise oder insgesamt in Landschafts- bzw. Naturschutzgebieten liegen. Für diese Flächen von ehemaligen Rieselfeldern gelten die entsprechenden Festlegungen des BbgNatSchG i.V.m. den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen.

Von Relevanz für ehemalige Rieselfelder, die sich in Wasserschutzgebieten befinden, sind die Festlegungen des § 15 (Wasserschutzgebiete) und § 16 (Besondere Vorschriften für Wasserschutzgebiete) des Brandenburgischen Wassergesetzes (**BbgWG**) vom 13. Juli 1994.

Speziell in Bezug auf die Umgestaltung und Nachnutzung der ehemaligen Rieselfelder im Umland von Berlin kommt der Festlegung in § 3 Abs. 2, Punkt 3 des Landesplanungsgesetzes und Vorschaltgesetzes zum Landesentwicklungsprogramm für das Land Brandenburg (Brandenburgisches Landesplanungsgesetz - **BbgLPIG**) vom 20. Juli 1995 besondere Bedeutung zu, indem der weiträumigen Verflechtung des Landes Brandenburg mit dem Land Berlin durch eine abgestimmte Landesentwicklungsplanung Rechnung zu tragen ist.

Beim Auf- oder Einbringen von Materialien auf ehemalige Rieselfelder sind die Festlegungen in § 12 BBodSchV einzuhalten (vgl. **Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV** der LABO).

Handelt es sich bei den Materialien, welche auf Rieselfelder auf- oder eingebracht werden sollen, um Abfall, ist § 3 des Gesetzes zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - **KrW-/AbfG**) vom 27. September 1994 einschlägig. Die Verwertung muss auf einer Nutzung dieser Abfälle gem. § 4 KrW-/AbfG beruhen sowie ordnungsgemäß und schadlos im Sinne von § 5 Abs. 3 KrW-/AbfG erfolgen. Ist das Auf- bzw. Einbringen von vorgenannten Materialien auf einer bestimmten Fläche nicht erforderlich oder sind diese nach Art, Menge, Schadstoffgehalten und bodenphysikalischen Eigenschaften zur Verwertung nicht geeignet, liegt keine Verwertung, sondern eine nicht zulässige Beseitigung (Scheinverwertung) vor.

Für Materialien für den uneingeschränkten Einbau (Z0-Verwertung) sind dabei gem. des Erlasses des MLUR "Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen" vom 11. Mai 2000 die nach Bodenart differenzierten Vorsorgewerte der BBodSchV zugrunde zu legen. Für Schadstoffe, für die in der BBodSchV keine Vorsorgewerte festgelegt sind, bleiben die bisherigen Zuordnungswerte Z0 weiterhin gültig.

Gem. §§ 66 und 67 Abs.10 der Brandenburgischen Bauordnung (**BbgBO**) vom 25. März 1998 bedürfen Aufschüttungen mit einer Grundfläche von mehr als 200 m² und/oder einer Höhe von 1,50 m, z.B. beim Aufbringen von Bodenmaterial auf Rieselfeldböden, einer Baugenehmigung. Die in der gemeinsamen Information des MLUR und MSVV des Landes Brandenburg vom 28. März 2001 an die unteren Bodenschutzbehörden diesbezüglich getroffenen Festlegungen zur großflächigen Aufbringung von Materialien auf Rieselfelder sind einzuhalten und umzusetzen (s. auch: DINKELBERG & RITSCHEL 2001). Danach besitzt u.a. die Aufbringung von Bodenmaterial in einer Schichtdicke von maximal 20 cm gegenüber mächtigeren Auffüllungen deutliche Vorteile.

Laut § 10 Abs. 2 des Brandenburgischen Naturschutzgesetzes - Gesetz über den Naturschutz und die Landespflege im Land Brandenburg (BbgNatSchG) vom 25. Juni 1992 sind Aufschüttungen, Auf- oder Abspülungen sowie Ausfüllungen von Bodenvertiefungen von mehr als 100 m² oder von über 2 m auf einer Grundfläche größer 30 m² Eingriffe in Natur und Landschaft und damit ausgleichs- und ersatzpflichtig.

Im Falle einer Aufforstung von stillgelegten Rieselfeldflächen sind die "**Anforderungen aus der Sicht des Bodenschutzes - Aufforstung von Rieselfeldern**" des MLUR vom 26. Oktober 2000 grundsätzlich zu beachten. Danach ist i.d.R. auch von sensiblen Nachnutzungen auf ehemaligen Rieselfeldern (z.B. landwirtschaftliche oder kleingärtnerische Nahrungsmittelproduktion) auf Grund des vorhandenen Schadstoffpotentials abzusehen.

3 Charakteristik der Altlastenfallgruppe "Rieselfelder"

Die Anlage von Rieselfeldern erlangte in Deutschland Ende des letzten Jahrhunderts besondere Bedeutung, nachdem in Städten und Ballungsräumen Kanalisationssysteme zur Beseitigung des Abwassers errichtet wurden.

Vorraussetzung für die Anlage von Rieselfeldern war das Vorhandensein von gut durchlässigen Böden, wie z.B. pleistozänen Hochflächensanden mit zwischengelagertem Geschiebemergel im Umland von Berlin.

Bei der Passage des aufgebrachten Abwassers wurde die Reinigungsleistung des Bodens genutzt. Dabei wurden die Inhaltsstoffe des Abwassers sowohl in gelöster Form als auch als Partikel in den Rieselfeldboden eingetragen, dort abgebaut oder angereichert oder mit dem Wasser unter Konzentrationsänderung durch Anreicherung bzw. Ausschwemmung weiter transportiert, wobei eine Vielzahl von geochemischen, physikalischen, biochemischen und biologischen Vorgängen abliefen.

3.1 Technologische Abläufe auf Rieselfeldern

Gemäß Fachbereichsstandard der DDR zählte der Betrieb von Rieselfeldern zu den Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserreinigung, die wie folgt definiert waren (TGL 1984):

Natürlich - biologische Abwasserreinigung: großflächige Verfahren der aeroben biologischen Abwasserreinigung in einem natürlichen oder von der Natur kopierten Lebensraum mit heterotropher und autotropher Komponente,

Abwasserbodenbehandlung: natürlich-biologische Abwasserreinigung auf Bodenflächen,

Abwasserverrieselung: intermittierende Ableitung von meist mechanisch geklärtem Abwasser zum Zweck der Versickerung und Abwasserreinigung durch im Boden lebende Mikroorganismen, näher bezeichnet als Oberflächenverrieselung und Untergrundverrieselung,

Rieselfeld (Rieselfläche): Fläche, die zur Abwasserverrieselung angelegt ist,

Furchenverrieselung: Rieselfeldverfahren, bei dem das Abwasser zwecks Infiltration in parallele Furchen verteilt wird,

Stauverrieselung: Rieselfeldverfahren, bei dem eine Rieselfläche mit Abwasser überstaut wird,

Entlastungsfläche: Fläche zur Aufleitung von Abwasser für die Zeit, in der eine wirksamere natürlich-biologische Reinigung erschwert oder nicht möglich ist,

Abwassergabe: auf die Fläche bezogenes verregnetes Abwasservolumen je Zeiteinheit (mm/a).

Die im Umland Berlins im Land Brandenburg liegenden ehemaligen Rieselfelder eignen sich gut, um die Technologie des Rieselfeldbetriebes darzustellen. Die Einrichtung der Berliner Rieselfelder erfolgte nach einem Projekt von HOBRECHT, der die Stadtfläche in 12 Radialsysteme einteilte. In jedem Radialsystem war ein Pumpwerk vorgesehen, dem die Abwässer (häusliches, gewerbliches, industrielles Schmutzwasser und Niederschlagswasser) durch Gefälleleitungen aus der in Berlin errichteten Schwemmkanalisation zufließen (UMWELTATLAS 2000).

Vom Pumpwerk erfolgte über gusseiserne Druckrohre (Durchmesser 1.400 mm) der Transport der Abwässer auf die außerhalb der Stadt liegenden Rieselfelder. Gleichzeitig wurden bestimmte Rieselfelder zusätzlich von Direktzuleitern beaufschlagt. Am Ende der Druckleitung auf dem höchsten Punkt der jeweiligen Rieselflächen befand sich ein offenes 5 bis 10 m hohes Standrohr (Rieselturm), von dem aus durch Rieselwärter mittels Schiebern die Verrieselung des Abwassers (über mehrere Druckrohre) gesteuert wurde (BJARSCH 1997).

Aus den Druckleitungen gelangte das nicht vorgereinigte Abwasser (Schwarzwasser) zur mechanischen Reinigung in speziell angelegte Absetzbecken (zumeist Erdbecken ohne Abdichtung) auf den Rieselfeldern, die dem Absetzen der Sinkstoffe und dem Zurückhalten der Schwimmstoffe (mittels Tauchwänden) dienten. In den Becken sedimentierten ca. 75 % der im Abwasser enthaltenen Partikel. Die abgesetzten Sedimente wurden anschließend aus diesen Becken ausgeräumt und auf speziellen Schlamm-trockenplätzen (Trockenbeete) entwässert. Der entwässerte Schlamm wurde im Randbereich der Rieselfelder zwischengelagert und zumeist auf landwirtschaftliche und gärtnerisch genutzte Flächen zur Bodenverbesserung und Nährstoffzufuhr ausgebracht.

Nach Passieren des Absetzbeckens gelangte das mechanisch vorgereinigte Abwasser durch natürliches Gefälle (Gräben, Zuführungen) auf die Riesel tafeln (Rieselstücke). Riesel tafeln stellten mit ca. 80 % der Gesamtfläche das wichtigste Element der Rieselfeldbewirtschaftung dar (SCHENK 1995). Die Riesel tafeln wurden in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung als Horizontalstücke oder Hangstücke ausgebildet und mit Erdwällen umgeben. Die durchschnittliche Größe dieser Tafeln betrug ca. 0,25 ha, d.h. ca. 50 m x 50 m (s. Anl. 1). Auf den Riesel tafeln wurden neben Wintergetreide, Futtergräsern und Mais auch Gemüse in nennenswertem Umfang angebaut.

Die Berieselung der Horizontalstücke (Stauverrieselung) erfolgte durch ganzflächige Überstauung über umlaufende Verteilungsrinnen (Einleiter).

Bei als Hangstücken ausgebildeten Riesel tafeln wurde das Abwasser der oberen Kante zugeführt und von dort dem Gefälle folgend herabgeriesel (Hangverrieselung). Bei dieser Art der Beschickung der Rieselfelder drang ein Teil des Abwassers in den Boden der Riesel tafel ein, ein Teil des Abwassers verdunstete und ein großer Teil des Wassers wurde nach Durchlaufen der Riesel fläche am tiefsten Punkt der Rieselanlage in Sammelgräben aufgefangen (s. Anl. 2).

Außerdem gab es Beetstücke mit Furchenbewässerung (Furchenverrieselung/Beetverrieselung). Dabei floss das Abwasser über parallel angelegte Längsgräben (ca. 1 m Abstand, untereinander verbunden) und diente zur direkten Bewässerung der Wurzeln von Obstbäumen.

Das Grabensystem eines Rieselfeldes wurde regelmäßig gereinigt, indem abgesetzte Sedimente ausgeräumt und in der Regel direkt am Grabenrand abgelagert wurden.

Im Umfeld der Rieseltafeln existierten häufig so genannte Wildrieselflächen (Entlastungsflächen), die bei Überlastung der eigentlichen Rieseltafeln über Schieber mit nicht vorbehandeltem Abwasser direkt beaufschlagt wurden.

Außerdem wurden im Laufe der Nutzung der Rieselfelder speziell im Berliner Umland, beginnend Mitte der 60er Jahre, sogenannte Intensivfilterflächen (Intensivfilter) eingerichtet, die dauerhaft überstaut und deshalb mit erhöhten Wällen umgeben waren. Dies waren Oxidationsteichanlagen, d.h. mehrere nacheinander durchflossene ca. 1 ha große Becken, die durch Abschieben der Humusschicht angelegt wurden.

Gegenüber normalen Rieselfeldern wurde auf diesen Intensivfilterflächen ein Mehrfaches der Abwassermengen aufgebracht (ganzjähriger Überstau, > 10.000 mm/a).

Die Abwasserverrieselung erfolgte mit Ausnahme der Intensivfilterflächen in einem bestimmten Rhythmus. Nach dem Überstauen wurde gewartet, bis das Wasser versickert, und der Boden wieder durchlüftet war. Für Grünlandflächen waren 4 - 8 Berieselungen pro Jahr mit Beaufschlagungsmengen von 2.000 mm/a bis 4.000 mm/a typisch, während z.B. Rieselfelder, auf denen Wintergetreide angebaut wurde, nur einmal jährlich mit ca. 100 - 500 mm Abwasser beaufschlagt wurden (BÖKEN & HOFFMANN 2001).

Zum Zwecke der Abführung des gefilterten und gereinigten Abwassers sowie der Belüftung des Bodens wurden in den Rieselflächen oftmals Dränagerohre verlegt. Das Dränwasser wurde über Sammeldräns in Entwässerungsgräben und anschließend zu den Vorflutern geleitet. In den Hauptvorflutern kamen in Abhängigkeit der Standortverhältnisse (grundwasserfern/-nah) etwa 3 - 60 % der auf die Rieselfelder aufgeführten Wassermenge zum Abfluss. In nachgeschalteten Teichen mit Fischbesatz oder auf Doppelberieselungsflächen wurde in Einzelfällen das Wasser der Rieselfeldabläufe nochmals nachgereinigt.

Eine spezielle Form der Abwasserverwertung auf Böden war die Verregnung von Abwasser auf zumeist landwirtschaftlich genutzten Flächen. Im Unterschied zu Abwasserverrieselungsflächen waren die Verregnungsflächen oftmals weiträumiger angelegt. Dadurch konnte die beaufschlagte Abwassermenge besser dem Wasserbedarf der Pflanzen angepasst werden (geringere Abwassergaben als auf Rieselfeldern). Die Verregnung des Abwassers erfolgte mittels speziellen Beregnungsmaschinen (SCHWARZ 1960, ATV 1997). Bestandteil der Verregnungsflächen waren oftmals Einrichtungen zur mechanischen Vorklärung des unbehandelten Abwassers, wie Absetzbecken und Sandfänge, in Einzelfällen auch Speicherbecken für Abwasser und/oder spezielle Ausgleichsflächen in Form von Bodenfiltern (Intensivfilterflächen).

Bei der Altlastenuntersuchung auf ehemaligen Rieselfeldern sind vor allem nachfolgend ausgewiesene Teilflächen von Bedeutung:

- Rieseltafeln mit Dämmen und Wällen (Horizontalstücke, Hangstücke, Beetstücke),
- Absetzbecken,
- Schlamm-trockenplätze, Schlamm-trockenbeete,
- Grabensystem mit Zuführungen und Einleitern,
- Wildrieseltafeln mit Schiebern,
- Intensivfilterflächen,
- Dränagesysteme (Sammeldräns, Entwässerungsgräben),
- Vorfluter

sowie gegebenenfalls:

- Lagerplätze für Klärschlämme,
- Flächen für die Kompostierung von Klärschlämmen,
- Lagerflächen für andere Schlämme, z.B. Fe-Mn-Schlämme der Trinkwasseraufbereitung,
- Schönungsteiche (Absetzbecken) zur Nachreinigung von Klärwerksabläufen,
- Absetzbecken, Sandfänge und Speicherbecken bei Abwasserverregnungsflächen,
- Abwassersystem am Anfallort,
- Pumpwerk und Druckleitung vom Pumpwerk zum Rieselfeld mit Rieselturm.

3.2 Wirkungen des Rieselfeldbetriebs auf das Schutzgut Boden

Durch die langjährige Beaufschlagung der Rieselfeldböden mit ungereinigtem Abwasser kann es im Sinne von § 2 BBodSchG zu Veränderungen der

- chemischen Beschaffenheit,
- physikalischen Beschaffenheit und
- biologischen Beschaffenheit

des Schutzgutes Bodens und weiteren Beeinträchtigungen betroffener Schutzgüter kommen.

Die Inhaltstoffe des beaufschlagten Abwassers, wie organische Substanz, Fette, Nährstoffe, Schwermetalle, Tenside, organische Schadstoffe und andere Abwasserinhaltsstoffe wurden in Rieselfeldböden eingetragen, akkumuliert und z.T. metabolisiert, so dass sie die chemische Beschaffenheit des Bodens nachhaltig beeinflusst und verändert haben.

Von Bedeutung für die Zusammensetzung des beaufschlagten Abwassers war vor allem dessen Herkunft (kommunales Abwasser, Abwasser aus Industrie und Gewerbe, Abwasser von speziellen Anfallorten wie Zucker- und Stärkefabriken, Anlagen der Tierproduktion, Krankenhäusern, militärischen Liegenschaften u.a.).

Infolge der langjährigen Beaufschlagung mit Abwasser weisen Rieselfeldböden in der Regel erhebliche Anreicherungen von organischer Substanz und Nährstoffen, wie Stickstoff, austauschbarem Calcium, Magnesium und Kalium, Phosphor- und Schwefelverbindungen oder auch Natrium auf.

Nach Einstellung der Abwasserverrieselung fand und findet in der Regel eine verstärkte Mineralisation von organischer Substanz im Rieselfeldboden statt, so dass z.B. Nitrat, Sulfat und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) im Boden angereichert und in die Tiefe verlagert werden können. Gleichzeitig ist in der Regel auf diesen stillgelegten Flächen eine deutliche Abnahme der pH-Werte und der Pufferkapazität zu beobachten.

Neben dem Anstieg der Gehalte an Nährstoffen und organischer Substanz in Rieselfeldböden stellt insbesondere der Eintrag von Schwermetallen mit dem Abwasser eine Quelle für schädliche Veränderungen der chemischen Bodenbeschaffenheit dar. Dies betrifft insbesondere die Elemente Cadmium, Blei, Kupfer, Zink (Tab. 2). Aber auch Chrom, Quecksilber, Nickel, Thallium bzw. Arsen können in Rieselfeldböden deutlich angereichert sein.

Tab. 2: Schwermetallgehalte im Boden verschiedener Bereiche von ehemaligen Rieselfeldern im Süden Berlins (BLUMENSTEIN ET AL. 1997)
Werte in mg/kg für arithmetischen Mittelwert bzw. Minimum-Maximum

Element	Zuleiter *	Rieseltafeln (Oberboden)	Dämme **	Becken ***
Blei	154 8,0 - 428	188 6,0 - 694	224 10 - 800	265 3,0 - 977
Cadmium	2,7 0,4 - 6,5	9,8 0,3 - 41	6,6 0,9 - 32	11,9 0,10 - 70,1
Chrom	61 0,1 - 180	33 4,0 - 140	71 12,0 - 285	166 3,0 - 425
Kupfer	163 3,0 - 990	108 2,0 - 480	189 26 - 771	447 8,0 - 1.306
Nickel	18,5 16 - 66	38 1,0 - 180	27 4,0 - 130	64 1,0 - 190
Zink	368 2,0 - 511	505 26,0 - 1.975	494 67 - 1.470	1.062 42 - 2.718

* Zuleiter wurden regelmäßig manuell gesäubert

- ** auf den Dämmen wurde der Aushub aus den Zuleitern abgelagert
 *** Absetzbecken, Schlamm-trockenplätze, Intensivfilter

Dabei können die genannten Schwermetalle, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, sehr unterschiedlich in Rieselfeldböden verteilt sein. Dies betrifft sowohl deren horizontale als auch vertikale Anreicherung innerhalb eines Rieselfeldes.

Generell lassen sich folgende Tendenzen bei der Herausbildung typischer Schwermetall-Verteilungen auf ehemaligen Rieselfeldern erkennen:

- starke, oftmals sehr heterogen verteilte Anreicherungen im Oberboden (0 - 30 cm), in Einleiterbereichen und in kleinen Senken (Relief) innerhalb der Rieseltafeln,
- Anreicherungen in Klärschlamm-bändern (in der Horizontabfolge),
- Abnahme der Konzentration mit zunehmender Entfernung zu Absetzbecken bzw. Einleitern,
- flächenhafte Anreicherungen auf Wällen der Rieseltafeln (Materialablage aus den Tafeln bei deren Instandhaltung), Schlamm-trockenplätze, Klärschlamm-lagerflächen im Randbereich von Rieselgräben, auf Intensivfilterflächen, in Teichsohlen und in Vorflutsedimenten,
- bandförmige Ausbreitung parallel zu Zuleitergräben, wobei die oberste Sedimentschicht der Zuleiter stark kontaminiert sein kann,
- Abnahme der Schwermetall-Konzentration mit zunehmender Bodentiefe, oftmals diffuse Verteilung in Unterböden.

Auf zwischenzeitlich umgestalteten Rieselfeldern kann die räumliche Verteilung der Schwermetallbelastung des Bodens wesentlich beeinflusst sein (z.B. durch "Homogenisierung" und Verdünnung durch Vermischung oder "Verschleppen" von belastetem Bodenmaterial beim Einebnen und Umpflügen der Rieselfeldstrukturen).

Nach Stilllegung von Rieselfeldern kann der Humusabbau in Rieselfeldböden (Mineralisation der organischen Substanz, Absenkung des pH-Wertes) zu einer Freisetzung (Remobilisierung) und Tiefenverlagerung von Schwermetallen führen.

Mit dem Abwasser gelangten neben Nährstoffen und Schwermetallen auch organische Schadstoffe in die Rieselfeldböden. Diese Gruppe von Schadstoffen, wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), aliphatische Kohlenwasserstoffe (MKW), Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorcyclohexan (HCH), 1,1,1-Trichlor-2,2-bis (chlorphenyl)-ethan (DDT), diverse Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln u.a. waren in der Regel im Abwasser in deutlich geringeren Konzentrationen vorhanden als Nährstoffe oder Schwermetalle. Demzufolge spielten sie als Kontaminanten auf Rieselfeldböden offensichtlich eine geringere Rolle. Als organische Schadstoffe von Altlastenrelevanz in Rieselfeldböden sind vor allem PAK, PCB und ggf. MKW zu nennen (Tab. 3).

**Tab. 3: Organische Schadstoffe im Boden von Rieselfeldern im Süden Berlins
 Werte in mg/kg, aus: BLUMENSTEIN ET AL. (1997)**

	Rieseltafeln	Becken (Absetzbecken, Schlamm-trockenplätze, Intensivfilter)
PAK	1,5 NWG - 13,7	1,1 0,01 - 5,1
PCB	0,086 NWG - 0,846	0,055 NWG - 0,237
DDT	0,018 NWG - 0,234	0,0067 NWG - 0,037
MKW *	219 1.591	- -

- ... Mittelwert
 NWG unterhalb der Nachweisgrenze
 ... Maximalgehalt

* Werte aus HOFFMANN ET AL. (2000) für die ehemaligen Rieselfelder Berlin-Buch

Mit höheren Konzentrationen an organischen Schadstoffen ist auf Teilflächen von ehemaligen Rieselfeldern, auf denen Klärschlamm gelagert wurde, zu rechnen. Ggf. können auf solchen Teilflächen organische Schadstoffe, wie Dioxine und Furane (PCDD/F), lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS), Nonylphenole, Organozinnverbindungen oder Phthalate eine Rolle spielen.

Durch die langjährige Beaufschlagung der Rieselfelder mit Abwasser kam es auch zu Veränderungen der physikalischen Beschaffenheit der Böden. Hervorzuheben sind dabei vor allem Verschlammungen, Verbraunung des Unterbodens, Veränderungen der Porenzusammensetzung, Beeinträchtigungen des Luftporenraumes und der Durchlässigkeit.

Als wesentliche Veränderungen der biologischen Beschaffenheit von Rieselfeldböden im Verlaufe der Beschickung mit nährstoffreichem Abwasser sind die Zunahme der Besiedlung des Bodens mit Mikroorganismen und der mikrobiellen-biochemischen Aktivität zu nennen.

Die Abwasserinhaltsstoffe wurden von den Mikroorganismen als Nahrungsquelle genutzt, neue Arten und Formen von Mikroorganismen siedelten sich während der Abwasserverrieselung an. Im Abwasser enthaltene nichtpathogene und pathogene Keime wurden in der Regel im Rieselfeldboden zurückgehalten und starben ab. Nach Einstellung der Abwasserverrieselung kam es auf ehemaligen Rieselfeldern zumeist zu einer schrittweisen Reduzierung der Besiedlungsdichte und Artenvielfalt an Bodenorganismen.

3.2.1 Wirkungspfad Boden - Mensch

Die Betrachtung des Wirkungspfades Boden - Mensch ist bei der Gefährdungsabschätzung auf ehemaligen Rieselfeldern insbesondere im Zusammenhang mit der möglichen Umnutzung dieser Flächen unerlässlich.

Generell ist über diesen Pfad die Beeinflussung der menschlichen Gesundheit des Menschen durch direkten Kontakt mit schadstoffbelastetem Rieselfeldboden durch

- orale Aufnahme (Ingestion, d.h. von Hand zu Mund), z.B. bei Einrichtung von Kinderspielplätzen, Reitplätzen, Haus- und Kleingärten oder anderen sensiblen Nutzungsarten,
- inhalative Aufnahme von kontaminierten Bodenpartikeln (Staub), z.B. bei Einrichtung von Motocrossstrecken oder bei Windverwehung auf benachbarte Wohngebiete,
- dermalen Kontakt (Hautkontakt)

möglich.

3.2.2 Wirkungspfad Boden - Pflanze - (Tier)

Von Bedeutung ist dieser Wirkungspfad insbesondere dann, wenn auf ehemaligen Rieselfeldern Nahrungs- und Futterpflanzen angebaut werden oder wildwachsende Pflanzen als Futter für Wildtiere dienen.

Diese Pflanzen können über die Wurzel Schadstoffe aus dem Boden in Konzentrationen aufgenommen haben, die bei Verzehr der Ernteprodukte zu Gesundheitsschäden bei Mensch und Tier führen können. Ebenso können Bodenanhäufungen oder Staubanlagerungen an der Pflanzenoberfläche zur Schadstoffbelastung der Ernteprodukte beitragen.

Insbesondere Cadmium, Zink und andere Schwermetalle wurden in auf Rieselfeldern gewachsenen Nahrungs- und Futterpflanzen in Konzentrationen nachgewiesen, die deutlich über denen von Pflanzen liegen, die auf nichtkontaminierten Böden angebaut wurden (Tab. 4).

Tab. 4: *Durchschnittliche Cd-Gehalte in Kulturpflanzen auf landwirtschaftlich genutzten Böden ehemaliger Rieselfelder im Süden Berlins und in Gebieten ohne Cd-Belastung des Bodens*
Werte in mg/kg TS, aus: GRÜN ET AL. (1990)

Fruchtart	Rieselfelder im Süden Berlins	Gebiete ohne Cadmiumbelastung
Mais	0,17 - 10	0,11
Futtergräser	0,16 - 6,6	0,10
Futterrübe / Zuckerrübe (Blatt)	8,1	0,28
Futter-/Zuckerrübe (Rübenkörper)	2,2	0,08
Kartoffel (ungeschält)	0,54	0,04
Roggen (Korn)	0,30	< 0,05
Roggen (Stroh)	1,0	0,13
Weizen (Korn)	0,76	< 0,05
Weizen (Stroh)	2,5	0,15

Durch den Verzehr von schadstoffbelasteten Nahrungspflanzen und deren Ernteprodukten (Gemüse, Getreide ...) ist eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit möglich.

Bei Nutz- und Wildtieren, die kontaminiertes Futter von Rieselfeldern fressen, kann es zu einem Eintrag von Schadstoffen in den Tierkörper kommen. So wiesen Milchkühe, die mit Gras von Rieselfeldern gefüttert wurden, eine deutliche Cadmiumbelastung der Leber und Nieren auf (GRÜN ET AL. 1989). Der Verzehr von derartigen tierischen Produkten durch den Menschen kann eine Gefährdung der Gesundheit verursachen.

3.2.3 Wirkungspfad Boden - Grundwasser

Von besonderer Bedeutung bei der Betrachtung von Rieselfeldern ist der Wirkungspfad Boden – (Sickerwasser) – Grundwasser – (Oberflächenwasser), da die in den Rieselfeldböden angereicherten Schadstoffe zu einer Kontamination des Grundwassers führen können.

Über das schadstoffbelastete Sickerwasser in Rieselfeldern können Schadstoffe in das Grundwasser gelangen und sowohl Trinkwasserfassungen als über den Dränabfluss auch Oberflächengewässer gefährden. Als relevanter Input für den Grundwasserleiter kommt die Beschaffenheit des Sickerwassers erst nach Passage der gesamten Aerationzone (ungesättigte Bodenzone) auf Rieselfeldern in Betracht.

Langjährige Abwasserverrieselung hat in der Regel zu einer starken Erhöhung des Salzgehaltes im Grundwasser geführt. Das oberflächennahe Grundwasser (1. GWL) weist zudem meist hohe Konzentrationen an Ammonium, Nitrat, Phosphat, Chlorid und Sulfat auf (Tab. 5).

Unter den Rieselfeldern südlich Berlins ist die elektrische Leitfähigkeit auch im 2. Grundwasserleiter deutlich erhöht, die Versalzung des Grundwassers hat schon den darunterliegenden 3. Grundwasserleiter erreicht.

Untersuchungen im Einflussbereich ehemaliger Rieselfelder haben ergeben, dass nur dann mit einer natürlichen biochemischen Stoffeliminierung (betrifft insbesondere Stickstoffverbindungen) gerechnet werden kann, wenn ein weiträumiger Grundwasserleiter als Reaktionsraum vorhanden ist, der sehr große Fließwege und Aufenthaltszeiten bei der Untergrundpassage gewährleistet (SOWA ET AL. 1992).

Tab. 5: Zusammensetzung des Grundwassers (1. GWL) im Bereich der Rieselfelder im Süden Berlins
Werte in mg/l, aus: TRÖGER & ASBRAND (1995)

	durch Rieselfelder beeinflusstes Grundwasser	nicht durch Rieselfelder beeinflusstes Grundwasser
elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)	1.700	500
Hydrogenkarbonat	500	165
Sulfat	240	85
Chlorid	150	14
Phosphat	12	0,01
Nitrat	190	0,3
Nitrit	0,5	0,01
Calcium	220	79
Magnesium	22	7,0
Natrium	170	7,0
Kalium	25	1,5
Ammonium	2,6	0,05
Eisen	7,0	0,5

Neben dem Eintrag von Stickstoff, Phosphor und Salzen aus Rieselfeldböden in das Sicker-, Grund- und Oberflächenwasser kommt der Gefährdung des Aquifer durch Schwermetalle eine besondere Bedeutung zu.

Als bestimmende Faktoren für die Gefährdung des Grundwassers durch Schwermetalle in Rieselfeldböden sind zu nennen:

- die Bindung der Schwermetalle im Boden (Anteile an organischer Substanz, an pedogenen Oxiden und Tonmineralien, Anteil an Salzen und anorganischen Komplexbildnern),
- der Anteil an löslichen und leicht mobilisierbaren Fraktionen am Gesamtgehalt,
- Veränderungen des pH-Wertes im Boden.

Im Ergebnis einer sequentiellen Extraktion von Schwermetallen in Rieselfeldböden im Süden von Berlin wird folgende Reihenfolge der Mobilität der Schwermetalle ausgewiesen:

Cd > Zn > Ni > Cu > Pb > Cr.

In den Unterböden ist der mobile Anteil generell größer als in den Oberböden (GRUNEWALD ET AL 1996).

Nach Stilllegung von Rieselfeldern muss mit einer Tiefenversauerung durch Oxidation von Sulfiden zu Sulfat infolge der Einstellung der Verrieselung (bedingt u.a. Veränderung des Wasserhaushalts, Abbau von organischer Substanz, Abnahme des Bindungsvermögens für Nährstoffe und Schadstoffe) und dem Absinken des Grundwasserspiegels gerechnet werden, so dass mobilisierte Schwermetalle in der Tiefe nahezu nicht zurückgehalten und mit dem Sickerwasser in Richtung Grundwasser verlagert werden können (Tab. 6).

Tab. 6: Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung der ehemaligen Rieselfelder Berlin-Buch im Vergleich zu den Prüfwerten der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser
Werte in mg/l, aus: HOFFMANN ET AL. (2000)

Bodentiefe	50 cm	100 cm	180 cm	Prüfwert BBodSchV (Boden-Grundwasser)
Cadmium	0,01 - 0,67	0 - 1,40	0,01 - 0,38	0,005
Kupfer	0,01 - 2,22	0,03 - 3,11	0,07 - 8,30	0,050
Zink	0,1 - 79	0,4 - 118	1,1 - 68	0,500

Die Belastung des Grundwassers mit organischen Schadstoffen ist insgesamt geringer als im Falle von Nährstoffen und Schwermetallen.

In Grundwässern verschiedener Rieselfelder im Umland von Berlin wurden verschiedentlich PAK und MKW nachgewiesen, ermittelt wurde auch Chlofibrinsäure, während Wirkstoffe aus Pestiziden, BTEX, PCB, Phthalate, Phenole in umweltrelevanten Konzentrationen nicht feststellbar waren.

Die vereinzelt in hohen Konzentrationen auftretenden leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) im Grundwasser im Bereich der Rieselfelder im Süden von Berlin haben ihre Quelle vor allem außerhalb der Rieselfelder (SCHENK 1995).

4 Altlastenerfassung, -untersuchung und -sanierung

Altlastenrelevante Stoffe auf ehemaligen Rieselfeldern können, wie in Tabelle 7 ausgewiesen, auf verschiedene Wirkungspfade wirken.

Tab. 7: Bedeutung relevanter Stoffe auf ehemaligen Rieselfeldern für Wirkungspfade

Wirkungspfad	Boden - Mensch	Boden - Pflanze - (Tier)	Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser)
Stickstoff, min.	*	+++	+++
Phosphat	*	+++	++
Cadmium	+++	++	++
Zink	(+)	++	+++
Blei	+++	(+)	+
Quecksilber	+++	+	++
PAK	+++	(+)	+
PCB	+++	(+)	+

- + gering
- ++ mittelmäßig
- +++ erheblich
- * nicht relevant

Zielstellung der durchzuführenden Arbeiten im Rahmen der Erfassung, orientierenden Untersuchung und Detailuntersuchung auf ehemaligen Rieselfeldern ist es, das im Ergebnis der Aufbringung von Abwasser, Ablagerung von Schlämmen und anderen Stoffeinträgen entstandene Stoffinventar und Schadstoffpotential in relevanten Schutzgütern und Wirkungspfaden zu ermitteln, zu beurteilen und davon ausgehende Gefährdungen für die Schutzgüter abzuschätzen.

Ergibt sich aus einer Gefährdungsabschätzung die Notwendigkeit zur Durchführung von Gefahrenabwehrmaßnahmen, sind Sanierungsuntersuchungen und -planungen erforderlich.

4.1 Erfassung

Die Erfassung der altlastverdächtigen Flächen auf ehemaligen Rieselfeldern erfolgt auf Grundlage von § 11 BBodSchG i.v.m. § 31 BbgAbfG (§ 2 Entwurf BbgBodSchG) durch die zuständige untere Bodenschutzbehörde. Sie beinhaltet deren Erhebung und historische Recherche.

Grundlagen für die Durchführung der Erfassung bilden die Vorgaben des Handbuches zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg (Kapitel 3 - Erfassung, Untersuchung, Bewertung) sowie des Fachinformationssystems Altlasten (FIS AL 1997), die Bände 1, 4, 6 und 10 der Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg sowie die „Arbeitshilfen Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO 2002).

Für die Durchführung der Recherche zu bereits vorhandenen Untersuchungen, Gutachten, Berichten und anderen Unterlagen wird empfohlen, neben den im Handbuch zur Altlastenbearbeitung in Tabelle 3.1.1 genannten Informationsquellen und Fachbehörden bei Relevanz folgende Quellen zu nutzen:

- Literaturstudie zu diesem Leitfaden,
- Wasser- und Abwasserzweckverbände, Stadtwerke
- Stadtgüter Berlin mbH, Berliner Wasserbetriebe,
- Grundstückseigentümer und -nutzer, BvS, TLG,
- Stadt- und Gemeindeverwaltungen,
- Ämter zur Regelung offener Vermögensfragen,
- Landwirtschaftsämter, Flurneuordnungsämter,
- Landwirtschaftsunternehmen im Einzugsgebiet ehemaliger Rieselfelder,
- Gemeindearchive, Staatsarchive, Ortschronisten, Geschichtsvereine,
- Befragungen von Zeitzeugen

Schwerpunkte der im Rahmen der Erfassung durchzuführenden Geländebefahrungen ehemaliger Rieselfelder sollten u.a. sein:

- Aufnahme des Istzustandes (z.B. Fotodokumentation),
- Abgleichen mit Lageplänen, Betriebsplänen, historischen Plänen, Luftbildern, u.a.
- Rekonstruktion der ehemaligen Rieselfeldstruktur und Raumelemente,
- Erkennen von Gelände-anomalien, Kontaminationen an der Oberfläche, u.a.
- Aufnahme und Begehung der Vorfluter und der Umgebung des Standortes.

Besondere Bedeutung bei den Recherchen hat die Ermittlung folgender spezifischer Angaben (siehe auch Stammdaten bei der FIS AL-Erfassung):

- Herkunft, Anfall und Menge des beaufschlagten Abwassers, Dauer und Regime der Abwasser-Verrieselung und/oder -verregnung, Einstellung der Abwasserbeaufschlagung,
- Ermittlung altlastenrelevanter Raumelemente (Rieselfeldstruktur),
- Nutzung von Teilflächen zur Lagerung von Klär- und anderen Schlämmen bzw. Abfällen,
- Nutzung und Veränderungen der Flächen nach Einstellung der Abwasserbeaufschlagung,
- Aufnahme vorhandener Messpegel bzw. Grundwassermessstellen,
- Rieselfelder im Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnung und -nutzung,
- Belange des Naturschutzes auf ehemaligen Rieselfeldern und in deren Umfeld,
- aktuelle Nutzung oder Planungen zur Nachnutzung ehemaliger Rieselfelder.

Die Erkenntnisse der Recherchen zum Standort sind zu verifizieren, zu systematisieren und auszuwerten, um

- die vermutlich kontaminierten Bereiche auszuweisen,
- auf der Grundlage des BBodSchG und der BBodSchV das lokal vorhandene Schadstoffinventar für die oben genannten Schutzgüter und Wirkungspfade unter Bezugnahme auf die konkreten geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Standortbedingungen einzuschätzen und
- die sich anschließende orientierende Untersuchung zu planen.

Die Ergebnisse aus der Arbeitsphase Erfassung (Erhebung und historische Recherche) sind in das FIS AL einzugeben und in einem Ergebnisbericht darzustellen.

Dieser Bericht gibt zugleich auf der Grundlage von § 3 BBodSchV Empfehlungen für das fallbezogene behördliche Handeln:

- Ausräumung des Altlastenverdachts, ggf. Entlassung aus dem Altlastenverdacht und FIS AL-Archivierung, wobei die Entlassung aus dem Altlastenverdacht nur für die betreffende Nutzung möglich ist, die Archivierung im FIS AL ist erforderlich, da bei einer ggf. höherwertigen Nutzung eine Neubewertung notwendig wird,
- bei Bestätigung des Altlastenverdachts Aufstellen des Untersuchungsprogrammes für die orientierende Untersuchung des Standortes,

- bei akuter Gefährdung Einleiten von Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr.

4.2 Orientierende Untersuchung

Hat die Erfassung von altlastverdächtigen Flächen auf ehemaligen Rieselfeldern zu dem Ergebnis geführt, dass Anhaltspunkte für eine Altlast vorliegen, soll durch die zuständige untere Bodenschutzbehörde entsprechend § 9 Abs. 1 BBodSchG die orientierende Untersuchung gemäß § 3 Abs. 3 und 4 BBodSchV unter Berücksichtigung der in Anhang 1 (Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung bei der Untersuchung) und Anhang 2 (Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte) in der BBodSchV getroffenen Festlegungen veranlasst werden. Für diese Bearbeitungsetappe sind die zutreffenden Vorgaben aus

- dem Handbuch zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg (Kapitel 3),
- den Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg,
- den „Arbeitshilfen für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO 2002),
- dem Sonderheft 2/2001 der BAM: Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden (BANNERT ET AL 2001) anzuwenden.

Gemäß BBodSchV und LABO (2002) ist es das Ziel der orientierenden Untersuchung, einen Altlastenverdacht hinreichend zu bestätigen oder auszuschließen. Dazu ist das mögliche Schadstoffspektrum der ehemaligen Rieselfelder zu untersuchen und ggf. dessen Auswirkungen auf die betroffenen Medien festzustellen. Anschließend ist eine Gefährdungsabschätzung durchzuführen, die als Entscheidungsgrundlage für die Ableitung des weiteren Handlungsbedarfs durch die zuständige Behörde dient.

Die orientierende Untersuchung von ehemaligen Rieselfeldern beginnt mit der Erarbeitung einer Untersuchungsstrategie auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der Erfassung des Standortes. Der Schwerpunkt der orientierenden Untersuchung ist vor allem auf die in Kapitel 3.1 genannten Verdachtsbereiche auf ehemaligen Rieselfeldern zu legen. Zur Planung der orientierenden Untersuchung gehören die Probenahmeplanung nach Anh. 1 BBodSchV und das Erstellen eines Analysenkonzeptes.

Bei der orientierenden Untersuchung auf ehemaligen Rieselfeldern sind Bodenuntersuchungen (Königswasser, Ammoniumnitrat), Untersuchungen des Grundwassers und von standortnahen Oberflächengewässern (Vorfluter) sowie ggf. von auf den Rieselfeldern wachsenden Pflanzen, abgelagerten Schlämmen und Abfällen vorzusehen.

Die Entnahme von Bodenluftproben sollte nur erfolgen, wenn Hinweise vorliegen, dass leichtflüchtige Stoffgruppen am Standort Relevanz für die Beurteilung der Altlastensituation besitzen könnten (z.B. LHKW in Industrie-Abwässern).

Zur Entnahme von Bodenproben dienen vor allem Sondierungen, Bohrungen und Schürfe. Die Festlegung der Probenahmepunkte erfolgt bezogen auf den jeweiligen Wirkungspfad entsprechend den Vorgaben in Anh. 1, Punkt 2 der BBodSchV.

Da auf ehemaligen Rieselfeldern insbesondere die räumliche Verteilung der Schadstoffe von Bedeutung für die Gefährdungsabschätzung ist, wird die repräsentative Beprobung der Rieseltafeln, z.B. mittels eines Rasters, und die gezielte Beprobung von Kontaminationsschwerpunkten in der Regel die Vorzugsvariante sein.

Bei der Festlegung der Beprobungspunkte sind deshalb

- die zumeist starke engräumige Variabilität der stofflichen Belastung der Rieselfeldböden,
- die Lage der Zuführungen und Einleiter,
- Geländevertiefungen auf Rieseltafeln (Senken für Abwasser-Feststoffe),
- Wälle der Tafeln, auf denen Material bei der Tafelberäumung dauerhaft abgelegt wurde,
- als Absetzbecken, Schlamm-trockenbeete, Schlamm-lagerplätze oder Intensivfilter genutzte Teilflächen

besonders zu berücksichtigen.

Je Rieseltafel (ca. 50 m x 50 m) sollten mindestens 5 Mischproben, gewonnen aus jeweils 15 bis 25 Einzelproben, mittels Bohrstock aus dem Oberboden (Beprobungstiefen nutzungsbezogen entsprechend Anh. 1 BBodSchV) Schichttiefen 0 - 10 und 10 - 30 cm) entnommen werden.

Auf Flächen mit zu erwartender gleichmäßiger Schadstoffverteilung (z.B. Flächen mit Abwasserverregnung, Rieselflächen von Zucker- oder Stärkefabriken) kann das o.g. Rastermaß entsprechend den örtlichen Bedingungen vergrößert werden.

Die Beprobung tieferer Bodenhorizonte sollte horizontbezogen (in der Regel in 30 cm Schritten) erfolgen, wobei für diese Tiefenproben (Rückstellproben), gewonnen z.B. mittels Rammkernsonde, das Rastermaß (min. 5 Proben je Rieseltafel) beibehalten werden sollte.

Zur Charakterisierung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser ist zur Ermittlung der vertikalen Schadstoffverteilung in der Regel die gesamte ungesättigte Bodenzone an ausgewählten Rasterpunkten zu beproben. Bestandteil der Beprobung ist eine exakte bodenkundliche Aufnahme der Horizontabfolge sowie der Lage von ggf. vorhandenen Klärschlammereinlagerungen (sog. Klärschlammblätter) und erdverlegten Dränagen. Im Rahmen der orientierenden Untersuchung sind die für den Einzelfall relevanten Parameter (Tab. 8) auszuwählen und zu untersuchen.

Tab. 8: Parameter für die orientierende Untersuchung von ehemaligen Rieselfeldern (Analytik gem. Anh. 1 BBodSchV)

Medium	Parameter
Boden	pH-Wert, Leitfähigkeit, Salzgehalt,
	Tongehalt, Korngrößenverteilung
	Organische Substanz, Gesamt-Kohlenstoff, basisch wirksame Substanz
	Nitrat-N, Ammonium-N, Gesamt-N
	Sulfat, Chlorid, Fluorid
	Phosphat (DL), Kalium (DL), Natrium, Eisen
	Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink
	EOX, PAK, PCB, MKW
	PCDD/F
	DDT, Lindan
Wasser	Keime
	pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Redoxpotential, Gesamthärte
	TOC, DOC, AOX, BSB, CSB ₅
	Nitrat, Ammonium, Nitrit, Gesamt-N
	Phosphat, Kalium, Magnesium, Calcium, Natrium, Eisen
	Sulfat, Chlorid, Fluorid
	Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink
	PAK, PCB, MKW
	LHKW
	Leuchtbakterientest
Schlämme, Sedimente	Clofibrinsäure...
	Keime: Koloniezahlen, E. coli, Coliforme, Fäkalstreptokokken
	organische Substanz, Gesamt-Kohlenstoff, basisch wirksame Substanz
	Nitrat-N, Ammonium-N, Gesamt-N
	Phosphor, Kalium
	AOX
	Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink
	PAK, PCB, MKW
	PCDD/F
	Pflanzen
PAK	

Das Grundwasser ist in die orientierende Untersuchung einzubeziehen, wenn seine Gefährdung durch Schadstoffe aus den atlastverdächtigen Flächen des zu erkundenden Rieselfeldes nicht eindeutig ausgeschlossen werden kann.

Ist der lokale Grundwasserleiter zu erschließen, werden im Anstrom, in den vermuteten Eintragsbereichen von Schadstoffen und im Abstrom des zu erkundenden Standortes Bohrungen niedergebracht, als permanente Grundwassermessstellen ausgebaut und der Aquifer beprobt (siehe auch: Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg, Band 10 und Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung - Kapitel 2.2). Am Standort des Rieselfeldes oder in dessen Umfeld bereits vorhandene Grundwassermessstellen sind auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen und ggf. in die Beprobungen einzubeziehen.

Da in ländlichen Gebieten in der Umgebung von ehemaligen Rieselfeldern noch Hausbrunnen bestehen und genutzt werden können, sind diese zu beproben.

Im nahen Umfeld des Rieselfeldes liegende Oberflächengewässer (Entwässerungsgräben, Bäche, Flüsse, Teiche oder Seen) sind bei begründetem Verdacht, dass sie in Verbindung zu den Rieselfeldern standen oder stehen, ebenfalls in die Beprobung einzubeziehen.

Ist mit vertretbarem Aufwand die direkte Gewinnung von Grundwasserproben nicht möglich, können auch Sickerwasserproben (z.B. Schöpfproben aus temporären Grundwassermessstellen) gewonnen oder Eluatuntersuchungen von Bodenproben durchgeführt werden.

Bestandteil der orientierenden Untersuchung sollte in Abhängigkeit von der konkreten örtlichen Situation des jeweiligen Rieselfeldes auch die Probenahme und Analytik von Pflanzen, Schlämmen und anderen Abfällen bzw. Sedimenten der Entwässerungsgräben und Vorfluter sein.

Die Grundlage für die Bewertung der Untersuchungsergebnisse bilden die Festlegungen in § 3 Abs. 4 und § 4 der BBodSchV. Die Ergebnisse der Boden- und Wasseranalysen werden unter Berücksichtigung der geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Bedingungen sowie der aktuellen und zukünftigen Nutzung der stillgelegten Rieselfelder nach den entsprechenden Prüf- und Maßnahmenwerten gem. Anh. 2 BBodSchV bewertet.

Darüber hinaus können bei der Bewertung der Ergebnisse der orientierenden Untersuchung folgende Bewertungshilfen genutzt werden:

- Geringfügigkeitschwellen zur Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen (LAWA 1998/2000),
- Richtwerte für die Bewertung von Bodennährstoffgehalten (VD LUFA 2001),
- Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (VERORDNUNG 2001A),
- Futtermittelverordnung vom 23. November 2000 (VERORDNUNG 2001B),
- Grenz- und Richtwerte der Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (TRINKWV 2001).

Zur regionalen Einordnung der auf den untersuchten Rieselfeldern ermittelten Schadstoffgehalte im Oberboden können außerdem bei der Bewertung die Hintergrundwerte für Böden herangezogen werden (www.brandenburg.de/land/mlur/a/a_bo_hw.htm).

Im Vordergrund der Gefährdungsabschätzung im Ergebnis der orientierenden Untersuchung auf ehemaligen Rieselfeldern steht die Frage, ob von den festgestellten Belastungen mit Nährstoffen oder Schadstoffen eine Gefahr für die menschliche Gesundheit ausgeht. Als indirekte Gefährdung der menschlichen Gesundheit ist die Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung oder des Grundwassers als Trinkwasserressource sowie die Belastung von Nahrungspflanzen und für den Verzehr vorgesehenen tierischen Produkten (von Nutz- und Wildtieren, die durch auf Rieselfeldern wachsende Futter- oder Wildpflanzen kontaminiert wurden) von Bedeutung.

Im Ergebnis der orientierenden Untersuchung von ehemaligen Rieselfeldern können folgende Festlegungen durch die zuständige Behörde getroffen werden:

- **Entlassung aus Altlastenverdacht unter der Voraussetzung, dass bei jeglicher Nutzung eine Gefahr nachweislich auszuschließen ist.**
- **Überwachung der altlastverdächtigen Fläche gem. § 15 BBodSchG.**
- **Durchführung einer Detailuntersuchung.**
- **Einleiten von Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr durch die zuständige Behörde, wenn akute Gefahren bekannt werden.**

4.3 Detailuntersuchung

Die Detailuntersuchung ist i. d. R. durch den Pflichtigen nach § 4 BBodSchG auf der Basis der Anforderungen von § 3 (5) der BBodSchV unter Berücksichtigung der in den Anhängen 1 und 2 der BBodSchV getroffenen Festlegungen durchzuführen. Danach soll festgestellt werden, ob sich aus den Anreicherungen von Nährstoffen und Schadstoffen auf dem stillgelegten Rieselfeld Gefahren ergeben und ob bzw. wie eine Abgrenzung von nicht belasteten Teilflächen geboten ist. Folgende Schwerpunkte sind deshalb für die Untersuchungsstrategie der Detailuntersuchung von Bedeutung:

- Die Beprobungstiefe hat sich nach den „Arbeitshilfen für Qualitätsfragen bei der Altlastenbearbeitung“ (LABO 2002) an den relevanten Wirkungspfaden, den ermittelten Belastungstiefen, der vermuteten Lage der Hauptkontaminationsquellen und der Mobilität der für das jeweilige Rieselfeld relevanten Schadstoffe in Abhängigkeit von den konkreten Standortbedingungen zu orientieren. Für die Entnahme von Bodenproben gelten die Festlegungen nach Punkt 4.2 sinngemäß. Entsprechend dem Ziel der Detailuntersuchung wird die Beprobung insbesondere in den Bereichen mit festgestellter Schadstoffanreicherung flächen- und ggf. auch tiefenmäßig ausgedehnt bzw. verdichtet (Probenahmeraster).
- Die Untersuchung des Grundwassers ist vor allem dann vorzusehen, wenn im Ergebnis der orientierenden Untersuchung signifikante Differenzen der Nähr- und Schadstoffkonzentration zwischen An- und Abstrom zum Rieselfeld festgestellt wurden. Die Gewinnung von Grund- und Oberflächenwasserproben erfolgt analog Pkt. 4.2 mit folgenden Erweiterungen:

Einrichtung weiterer Grundwassermessstellen, um die Schadstoffausbreitung im Aquifer detailliert erfassen und beurteilen zu können. Bei nachgewiesener Kontamination können diese für ein ggf. erforderliches späteres Monitoring, d.h. zur Grundwasserüberwachung, genutzt werden.

Erschließen tieferer Grundwasserstockwerke bei erwiesener Kontamination des oberflächennahen Grundwasserleiters.

Untersuchung von für die Trinkwasserversorgung genutztem Grundwasser im Umfeld der Rieselfelder.

- Werden auf den Rieselfeldflächen Nutzpflanzen angebaut, sind diese in Fortsetzung der orientierenden Untersuchung gezielt und systematisch zu beproben und zu untersuchen (Differenzierung nach Pflanzenarten und -teilen). Ebenso kann es sich in Abhängigkeit vom Standort für die Bewertung des Pfades Boden - Pflanze - (Tier) als notwendig erweisen, Nutz- und Wildtiere, die als Nahrung dienen, in die Beprobung einzubeziehen.

Das im Analysenkonzept für die Detailuntersuchung vorzusehende Spektrum der chemischen Parameter entspricht weitgehend dem der orientierenden Untersuchung. Der Untersuchungsumfang der relevanten Schadstoffe ist auf der Grundlage der Erkenntnisse der orientierenden Untersuchung festzulegen.

In ausgewählten Bodenproben sind zusätzlich die nach DIN 38 414 - S. 4 eluierbaren Anteile von Schadstoffen zu bestimmen.

Neben den Messungen der Schwermetallgehalte des Bodens im Königswasserauszug und im Eluat ist zur Bewertung des Pfades Boden - Pflanze zusätzlich bei landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung die Untersuchung der relevanten Schwermetalle im Ammoniumnitratextrakt nach DIN 19 730 vorzusehen.

Die Bewertung der Ergebnisse der Detailuntersuchung von ehemaligen Riesefeldern durch die zuständige Behörde hat nach den Kriterien in § 4 der BBodSchV zu erfolgen. In die Bewertung sind alle vorhandenen Gutachten, Untersuchungsberichte und Unterlagen, die zum Standort und dessen Umfeld bereits vorliegen, einzubeziehen. Dies betrifft z. B. auch die nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Altlastenuntersuchung des jeweiligen Rieselfeldes stehenden Untersuchungsergebnisse des Grundwassers.

Die Bewertung der Gefährdung des Grundwassers sollte mittels einer Sickerwasserprognose erfolgen, d.h. die aktuellen oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser sind unter Berücksichtigung der Schadstoffkonzentrationen und -frachten (betrifft insbesondere Schwermetalle) bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone abzuschätzen.

Bis zum Vorliegen eines durch den Gesetzgeber vorgegebenen einheitlichen Verfahrens zur Sickerwasserprognose sind die im Anh. 1, Punkt 3.3 der BBodSchV ausgewiesenen Wege zur Durchführung der Prognose für den untersuchten Standort zu prüfen und standortbezogen anzuwenden.

Im Ergebnis der Detailuntersuchung ist hinsichtlich des weiteren Vorgehens wie folgt zu verfahren:

- **Entlassung aus dem Altlastenverdacht unter der Voraussetzung, dass bei jeglicher Nutzung eine Gefahr nachweislich auszuschließen ist.**
- **Überwachung der Altlast gem. § 15 BBodSchG, wenn die abschließende rechtliche Bewertung durch die zuständige Behörde auf der Grundlage der abschließenden Gefährdungsabschätzung ergibt, dass eine Gefährdung von Schutzgütern nicht ausgeschlossen werden kann.**
- **Veranlassung von Gefahrenabwehrmaßnahmen durch die zuständige Behörde, wenn das untersuchte Rieselfeld eine Altlast gem. den Kriterien des BBodSchG ist.**
- **Einleiten von Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr durch die zuständige Behörde, wenn akute Gefahren bekannt werden.**

4.4 Maßnahmen zur Gefahrenabwehr

Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Riesefeldern müssen i. S. § 1 BBodSchG dazu beitragen, nachhaltig die Funktionen des Bodens wiederherzustellen, weitere schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, den Boden sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren. Alle Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Riesefeldern sind im engen Zusammenhang mit der aktuellen und planungsrechtlich zulässigen zukünftigen Nutzung dieser Flächen zu sehen (s. RITSCHEL & KRATZ 2000).

Der aktuelle Zustand der meisten Rieselfelder in Brandenburg kann gem. LUA (1997B) wie folgt beschrieben werden:

Kategorie I: aufgelassene und umgestaltete Flächen, auf denen die typischen Rieselfeldstrukturen seit mehreren Jahren beseitigt sind, der Boden durchmischt und erneut eingeebnet wurde;

Kategorie II: nicht mehr beaufschlagte Flächen mit erhaltener Rieselfeldstruktur, d.h. mit noch vorhandenen Tafeln, Dämmen und Grabensystemen;

Kategorie III: Flächen mit intakter Rieselfeldstruktur und Feuchthaltung.

Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Riesefeldern können in Abhängigkeit von der jeweiligen konkreten Standortsituation gem. BBodSchG sein:

- Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, u.a. Maßnahmen zur Nutzungsbeschränkung (Anordnungen zur Beschränkung der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzungen sowie zur Bewirtschaftung von Böden),
- Dekontaminationsmaßnahmen zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe,
- Sicherungsmaßnahmen zur langfristigen Verhinderung und/oder Verminderung der Ausbreitung der Schadstoffe.

Alle Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, möglich ist auch die Kombination mehrerer Maßnahmen, sind dem jeweiligen Rieselfeld - Standort angepasst, auf eine Verhinderung oder Reduzierung der Gefährdung der Wirkungspfade Boden - Mensch, Boden - Pflanze - (Tier) und Boden - Grundwasser auszurichten.

4.4.1 Sanierungsuntersuchung, -planung und -durchführung

Gegenstand der Sanierungsuntersuchung gem. § 6 BBodSchV sind, aufbauend auf den Erkenntnissen aus der vorangegangenen abschließenden Gefährdungsabschätzung zum Rieselfeld unter Nutzung von Anh. 3 der BBodSchV und Band 7 der Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg vor allem folgende Leistungen

- Auswahl der Vorzugsvariante (Sanierungsvorschlag),
- Erarbeitung eines Vorschlages zu den Sanierungszielwerten für die betroffenen Schutzgüter (Boden, Grundwasser ...),
- Auswahl der geeigneten Dekontaminations- und Sicherungsverfahren unter dem Aspekt der schadstoff-, boden-, material- und standortspezifischen Eignung, der technischen Durchführbarkeit und der Wirksamkeit im Hinblick auf das Sanierungsziel, des Zeitaufwands, des Verhältnisses von Kosten und Wirksamkeit, des Arbeitsschutzes, der Auswirkungen auf die Betroffenen und die Umwelt...,
- Vorbereitung und Durchführung der ggf. erforderlichen Genehmigungsverfahren für vorgesehene Sanierungsverfahren,
- Entwicklung eines Kontrollprogramms zur Überwachung der Sanierungsmaßnahmen.

Die Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung sind in der Regel in einem Sanierungsplan gem. § 6 BBodSchV zu fassen, der die Grundlage für die Durchführung der Sanierung der als Altlast eingestufted ehemaligen Rieselfelder bildet.

Der Sanierungsplan soll nach Anh. 3 BBodSchV und Band 6 der Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg Aussagen zu folgenden Fragestellungen beinhalten:

- Darstellung der Ausgangslage,
- Durchzuführende Maßnahmen und Nachweis ihrer Eignung,
- Eigenkontrollmaßnahmen zur Überprüfung der sachgerechten Ausführung und Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahmen,
- Eigenkontrollmaßnahmen im Rahmen der Nachsorge,
- Zeitplan und Kosten.

Dekontaminationsmaßnahmen gem. § 5 BBodSchV sind zur Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern geeignet, wenn sie auf technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die ihre praktische Eignung zur umweltverträglichen Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe gesichert erscheinen lassen.

Eine Variante zur Dekontamination des Bodens im Falle von Rieselfeldern ist aufgrund des Schadstoffinventars (vorwiegend Schwermetalle) der Aushub von (stark) kontaminiertem Boden und dessen ordnungsgemäße Entsorgung (Bodenwaschanlage, Deponierung u.a.).

Infolge der oftmals großflächigen Ausdehnung von Rieselfeldern stellt der komplette Aushub des kontaminierten Rieselfeldbodens zwar eine technisch durchführbare, aber in der Regel wirtschaftlich nicht verhältnismäßige Dekontaminationsmaßnahme dar.

Vielmehr sind die im Ergebnis der Untersuchungen ermittelten Hochlastbereiche, die sich vorwiegend im Bereich der ehemaligen Einleiter, Wälle und Dämme, Zuleitergräben, Absetzbecken, Schlammflagerflä-

chen, Intensivfilter oder Drainagegräben befinden, abzugrenzen und im Einzelfall zu prüfen, ob mittels Aushub des hochkontaminierten Bodenmaterials die Hochlastbereiche zu dekontaminieren sind. In der Regel ist davon auszugehen, dass dabei der Oberboden (bis ca. 30 cm) in diesen Bereichen komplett abzutragen ist.

Bestandteil von Dekontaminationsmaßnahmen auf ehemaligen Riesefeldern ist, sofern im Rahmen von Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr bisher nicht erfolgt, die Aufnahme und ordnungsgemäße Entsorgung von Schlammresten aus Absetzbecken, Lager- und anderen Flächen (z.B. Dammbereiche).

Als Alternativen zum Aushub des vor allem mit Schwermetallen kontaminierten Riesefeldbodens können in Abhängigkeit vom Standort Verfahren zur Schadstoffimmobilisierung (s. Sicherungsverfahren) in Betracht gezogen werden.

Werden in Anlagen der Wasserversorgung (Wasserwerke) im Umfeld von ehemaligen Riesefeldern Belastungen des Roh- und Trinkwassers mit Schadstoffen aus Riesefeldern festgestellt, können zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Trinkwasserbereitstellung gesonderte Maßnahmen notwendig werden, wie

- Installation zusätzlicher Aufbereitungsstufen,
- Abschalten einzelner belasteter Brunnen,
- Aufrechterhaltung der Förderung ohne Trinkwassernutzung,
- Verschneiden von belastetem und unbelastetem Wasser,
- befristetes Abschalten oder völlige Schließung der Gewinnungsanlage,
- Fremdbezug von Rohwasser,
- Erschließung neuer Rohwasservorkommen.

In der Altlastensanierung häufig angewandte Sicherungsmaßnahmen, d.h. Verfahren, die zur Unterbrechung der Kontaminationswege, wie Einkapselungsverfahren (Oberflächenabdichtung von Flächen, vertikale Abdichtung, Untergrundabdichtung) oder passive hydraulische Verfahren (z.B. Grundwasserumleitung) sind auf ehemaligen Riesefeldern nur eingeschränkt anwendbar.

Als speziell auf schwermetallbelasteten Flächen oftmals wirksame Technologien zur Sicherung von Altlasten werden Immobilisierungsverfahren betrachtet. Zur Schwermetall - Immobilisierung werden vor allem

- Kalke, die eine Erhöhung des pH -Wertes des Bodens und eine damit einhergehende Festlegung von Schwermetallen bewirken (Nachteile: gleichzeitige Stimulierung der Mineralisierung der organischen Substanz, kurze Wirkungsdauer),
- Kationenaustauscher (zumeist unbehandelte Tonminerale), die an ihrer Oberfläche Schwermetalle binden (Nachteile: chemisch unspezifisch, hohe Ca- und Mg-Konzentrationen können Schwermetalle remobilisieren),
- mit Aluminium modifizierte Tonminerale, die Schwermetalle spezifischer als reine Tonminerale binden (Zumischung von Aluminium - Montmorillonit in den kontaminierten Boden)

und Kombinationen verschiedener Bindemittel (Asche, Gips, Kalk) eingesetzt (MARSCHNER ET AL 1995; FURRER ET AL 1997; GUPTA ET AL 1997). Derartige Verfahren können auch auf stillgelegten Riesefeldern Bedeutung erlangen, wenn im Ergebnis der Sanierungsplanung deren Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit auf dem konkreten Standort experimentell nachgewiesen wurde.

Als eine Sicherungsmaßnahme für belastete Riesefeldstandorte im Rahmen von Aufforstungsmaßnahmen speziell im Berliner Umland im Sinne von § 5 Abs. 3 und 4 kann das von METZ ET AL (2001) und HOFFMANN (2001) beschriebene Einfräsen von unbelastetem Geschiebelehm und -mergel (Bodenaushub aus Berlin) in ehemalige Rieselfelder angesehen werden. Mit dieser „Überlehmung“ sollen vorrangig folgende Ziele erreicht werden:

- Bildung von stabileren Bindungsformen der Schwermetalle im Boden und Reduzierung der Schwermetallverlagerung,

- Senkung der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenlösung und damit Verringerung des ökotoxikologischen Potentials und der schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, deren Wurzeln sowie Mikroorganismen,
- Verbesserung der Nährstoffversorgung der Baumbestände (auf umgestalteten Rieselfeldern) und langfristige Erhöhung der Nährstoffspeicherkapazität der Rieselfeldböden,
- Verbesserung der Wasserspeicherkapazität durch Erhöhung des Schluff- und Tongehaltes und damit Verbesserung des Pflanzenwachstums (Baumwachstum auf umgestalteten Rieselflächen),
- effektive Verlangsamung der Schadstoffverlagerung durch schnelle Begründung gesunder Waldbestände mittels Reduzierung der Grundwasserneubildung und Aufnahme von mobilen Schwermetallen aus der Bodenlösung,
- Verdrängung der Quecke und damit Schaffung von Raum für eine artenreiche Vegetation in der Krautschicht,
- Bildung von stabileren Bodenaggregaten in Verbindung mit einem ausgeglicheneren Wasserhaushalt zum besseren Schutz vor Winderosion.

Vor Einbringung von Bodenmaterial oder anderen Materialien in Rieselfeldböden ist standortbezogen nachzuweisen, dass dabei die Anforderungen gem. § 5 Abs. 3 der BBodSchV an Sicherungsmaßnahmen erfüllt werden.

Die in Kapitel 2 dieses Leitfadens genannten Anforderungen an das Aufbringen von Materialien auf ehemalige Rieselfelder sind einzuhalten.

Grundsätzlich ist auf ehemaligen Rieselflächen dafür zu sorgen, dass möglichst eine geschlossene Vegetationsdecke erhalten bleibt oder hergestellt wird (Tab. 9).

Bei Versiegelung von Teilflächen ehemaliger Rieselfelder ist sicherzustellen, dass auf diesen Flächen anfallendes Wasser dem Grundwasserkörper wieder zugeführt wird (LUA 1997A).

Im Ergebnis der Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern sind die im genehmigten Sanierungsplan ausgewiesenen Maßnahmen zur Nachsorge zu realisieren.

4.4.2 Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldern gem. § 2 (8) BBodSchG sind Maßnahmen, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindern oder vermindern, insbesondere Nutzungsbeschränkungen.

Gem. § 5 (5) BBodSchV bedeutet dies bei ehemaligen Rieselfeldern vor allem Anpassungen der Nutzung und der Bewirtschaftung der Rieselfeldböden.

Derartige Maßnahmen müssen mögliche Gefahren, die von stillgelegten Rieselfeldern ausgehen können, für die Pfade Boden - Mensch, Boden - Pflanze - (Tier) und Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser) wirksam einschränken.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldflächen können deshalb sowohl Einschränkungen bei sensiblen Nachnutzungen als auch Beschränkungen beim Anbau von Nutzpflanzen beinhalten. Sie sind gleichzeitig auf die Verminderung der Mobilisierung von Schadstoffen, insbesondere von Schwermetallen, durch die Aufrechterhaltung hoher Humusgehalte im Oberboden und die Verhinderung von pH - Wertabsenkungen auszurichten.

In Tabelle 9 sind mögliche Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zusammengestellt, deren Anwendung im Ergebnis der Gefährdungsabschätzung an den jeweiligen Rieselfeld - Standort angepasst werden muss.

Darauf hinzuweisen ist, dass die Feuchthaltung von stillgelegten Rieselfeldern keine geeignete Maßnahme zur Gefahrenabwehr darstellt.

Im Ergebnis der Untersuchungen von ehemaligen Rieselfeldern im Süden Berlins hat sich deren Nutzung zur weiteren Reinigung von Kläranlagenabläufen im Sinne einer „vierten Reinigungsstufe“ als nicht sinnvoll herausgestellt, da mit dem gereinigten Abwasser noch große Stofffrachten eingetragen werden, und die Gefahr einer Freisetzung von Bodenphosphaten besteht, die einen erhöhten Phosphateintrag über Dränagen in die Oberflächengewässer bewirken (LUA 1997A).

Tab 9: Mögliche Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern

Maßnahme	Wirkung	Betroffene Pfade /Schutzgüter
Zutrittsbschränkungen	Verhindern eines Direktkontakts mit dem Rieselfeldboden	Boden - Mensch
Einstellung des Anbaus von Fruchtarten, die direkt der menschlichen Ernährung dienen (Gemüse, bodennahes Obst ...)	Verhindern des Schadstoff -Transfers in vom Menschen verzehrbare Pflanzenorgane	Boden - Pflanze - (Mensch)
Belastungsabhängiger Pflanzenbau (ggf. Anbau von Rohstoff-/Energiepflanzen)	Reduzierung/Unterbinden der Schadstoffeinträge in Nahrungs- und Futterpflanzen	Boden - Pflanze - (Tier)
Reduzierung der Belastung von Grobfutter mit Schmutz von Rieselfeldern	Reduzierung der Schadstoffaufnahme durch Nutztiere	Boden - Pflanze - (Tier)
kontrollierte Verwendung von geschlachteten Nutz- und Wildtieren (z.B. Ausschluss des Verzehrs von Nieren)	Reduzierung der Schwermetallaufnahme bei der menschlichen Ernährung	Boden - Pflanze - (Tier) - (Mensch)
Unterlassen des Umbrechens oder Einebnens der Rieselfeldstrukturen	Verminderung Humusabbau Verhinderung von unkontrollierten Schadstoffverteilungen	Boden - Grundwasser *
Unterlassung Grünlandumbruch	Verminderung Humusabbau (keine Mobilisierung)	Boden - Grundwasser
Einstellung der Bodenbearbeitung bzw. nur Minimalbodenbearbeitung	Verminderung Humusabbau	Boden - Grundwasser
Schaffung oder Erhalt einer ganzjährigen Vegetationsbedeckung	Reduzierung Sickerwasserbildung	Boden - Grundwasser
	Verminderung Humusabbau	Boden - Grundwasser
	Verminderung Winderosion	Boden - Mensch
	Verminderung Wassererosion	Boden - Grundwasser
Belassen der pflanzlichen Biomasse auf dem Rieselfeld	Verminderung Humusabbau	Boden - Grundwasser
Kalkung (Meliorations- bzw. Erhaltungskalkung)	Reduzierung Bodenversauerung	Boden - Grundwasser Boden - Pflanze
Anbau von Laubhölzern	Reduzierung Bodenversauerung	Boden - Grundwasser
Einbringung von Sorptionsträgern (Ton, Lehm) in Rieselfeldböden	Verringerung Schadstoffmobilität	Boden - Grundwasser Boden-Pflanze

* nachfolgend immer Wirkungspfad: Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser)

4.5 Überwachungsmaßnahmen

Die Überwachung von ehemaligen Rieselfeldern im Sinne von §15 BBodSchG obliegt der zuständigen unteren Bodenschutzbehörde. Diese kann auch die Überwachung von Eigenkontrollmaßnahmen gem. § 15 (2) BBodSchG anordnen.

Ziel der Überwachung von ehemaligen Rieselfeldern ist es vor allem, durch geeignete Boden- und Wasseruntersuchungen, z.B. im Rahmen von Monitoring - Programmen, die Entwicklung des von den Rieselfeldern

feldern ausgehenden Gefahrenpotenzials zu verfolgen, um bei Notwendigkeit rechtzeitig weitere Maßnahmen zur Gefahrenabwehr festzulegen.

Eine Überwachung von ehemaligen Riesefeldern ist dann notwendig, wenn im Ergebnis der orientierenden Untersuchung und/oder Detailuntersuchung kurzfristig Sanierungsmaßnahmen für nicht erforderlich erachtet, mittel- bzw. langfristig aber nicht ausgeschlossen werden.

Überwachungsmaßnahmen auf ehemaligen Riesefeldern sind deshalb von besonderer Bedeutung, da nach Einstellung der Abwasserbeaufschlagung kurz- und längerfristig gravierende Veränderungen im Boden und Wasserhaushalt eintreten können, die u.a. eine verstärkte Mobilisierung von Schadstoffen bedingen.

Ein beispielhaftes Überwachungsprogramm für stillgelegte Riesefeld - Standorte (Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser) wurde im Rahmen des Projektes "Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer" erarbeitet (LUA 1997A). Dieses Programm kann als Orientierung für Art und Umfang von Überwachungsmaßnahmen speziell für das Grundwasser unter ehemaligen Riesefeldern im Land Brandenburg dienen.

Unter Nutzung von vorhandenen Grundwassermessstellen an den Riesefeldern und in deren unmittelbarer Umgebung, auch von Messstellen des Grundwasserstandsmessnetzes des Landesumweltamtes Brandenburg, sollte mindestens einmal jährlich der 1. Grundwasserleiter auf die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Chlorid, Sulfat, Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink und AOX untersucht werden.

5 Maßnahmen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen

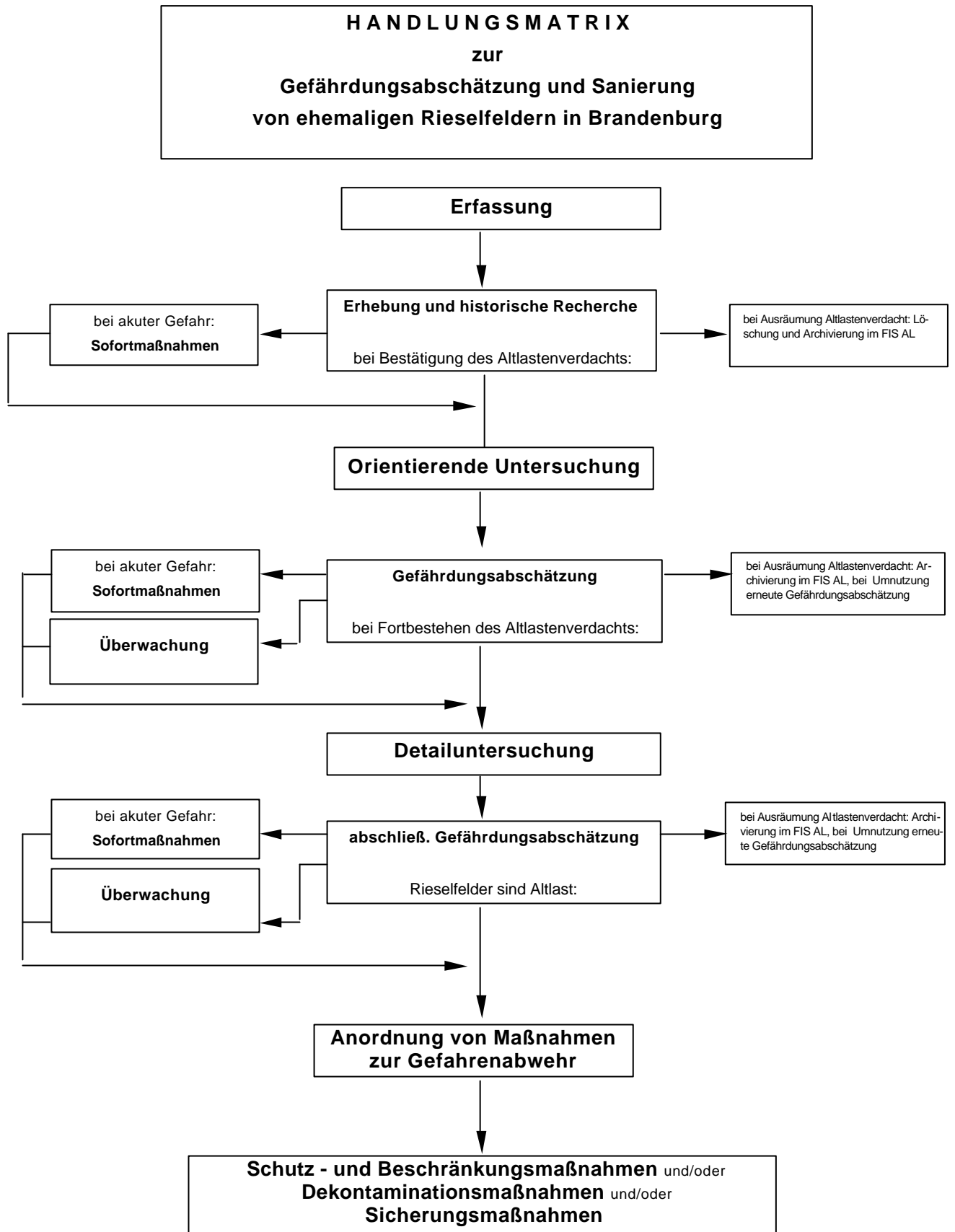
Wird im Ergebnis der Altlastenuntersuchung und Gefährdungsabschätzung durch die zuständige untere Bodenschutzbehörde festgestellt, dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf den untersuchten stillgelegten Riesefeldern oder auf Teilflächen dieser nicht erforderlich sind, kann sich u.U. zur Bodenverbesserung i.S. der Wiederherstellung von Bodenfunktionen das Auf- oder Einbringen von geeignetem Bodenmaterial als sinnvoll erweisen.

Die Grundsätze, die beim Auf- und Einbringen von Bodenmaterial auf ehemalige Rieselfelder im Land Brandenburg zwingend zu beachten sind (vgl. auch Kap. 2), lassen sich wie folgt zusammenfassen (DINKELBERG & RITSCHEL 2001):

- Einhaltung der Vorsorgeanforderungen (gem. Bodenschutzrecht, insbes. § 12 BBodSchV i.V. mit der Vollzugshilfe zum § 12 BBodSchV) bezüglich des einzusetzenden Bodenmaterials (Art und Menge sowie Qualität, wie physikalische Eigenschaften und stoffliche Belastungen, i.d.R. Einhaltung der Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. der Z0 - Werte der Technischen Regeln der LAGA),
- nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung mindestens einer Funktion der Rieselfeldböden (z.B. Wiederherstellung und Sicherung von natürlichen Funktionen des Bodens als Filter- oder Puffermedium durch Erhöhung der Wasser- sowie Sorptionskapazität oder von Nutzungsfunktionen, keine Beeinträchtigung anderer Bodenfunktionen, Strukturverbesserung des Rieselfeldbodens und bedarfsgerechte Nährstoffzufuhr),
- Berücksichtigung der Schadstoffbelastung des auf- und einzubringenden Bodenmaterials und des Rieselfeldbodens durch entsprechende Untersuchungen,
- Berücksichtigung der Nährstoffzufuhr durch das auf- und einzubringende Bodenmaterial,
- Vermeidung nachteiliger Veränderungen der Rieselfeldböden (z.B. Verdichtungen, Vernässungen),
- Auf- und Einbringverbot von Bodenmaterial an Rieselfeldstandorten in bestimmten Schutzgebieten.

Des Weiteren sind beim Aufbringen von Materialien auf stillgelegte Rieselfelder, die zum Anbau von Nutzpflanzen (Nahrungs- und Futterpflanzen) genutzt werden, die „Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzte Böden“ des Umweltbundesamtes (BANNICK ET AL.2001) zu berücksichtigen.

6 Handlungsmatrix



Abkürzungsverzeichnis

AbfBodZV	Abfall- und Bodenschutz-Zuständigkeitsverordnung
Abs.	Absatz
AdL	Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
ALA	Ständiger Ausschuss „Altlasten“ der Bund-/Länder-AG Boden
AOX	adsorbierbare organische Halogene
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BbgAbfG	Brandenburgisches Abfallgesetz
BbgBO	Brandenburgische Bauordnung
BbgLPIG	Brandenburgisches Landesplanungsgesetz
BbgNatSchG	Brandenburgisches Naturschutzgesetz
BbgWG	Brandenburgisches Wassergesetz
BBodSchG	Bundes - Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf
BTEX	Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe
BvS	Bundesanstalt für vereinigungsbedingtes Sondervermögen
cm	Zentimeter
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
d	Tag
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DDT	1,1,1-Trichlor-2,2-bis(chlorphenyl)-ethan
DL	Doppellaktat
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
EOX	extrahierbare organische Halogene
FS	Frischsubstanz
GWL	Grundwasserleiter
ha	Hektar
FIS AL	Fachinformationssystem Altlasten Brandenburg
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
l	Liter
LABO	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Boden
LAGA	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAS	lineares Alkylbenzolsulfonat
LAWA	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LUA	Landesumweltamt Brandenburg
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz u. Raumordnung Brandenburg
mm	Millimeter
MNUR	Ministerium für Naturschutz, Umwelt und Raumordnung Brandenburg
MSWV	Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg
N	Stickstoff
n	Anzahl
OBS	organische Substanz im Boden
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte biphenyle
PCDD / F	Dioxine/Furane
t	Tonnen
TGL	Fachbereichsstandard der DDR
TLG	Treuhand - Liegenschaftsgesellschaft mbH
TÖB	Träger öffentlicher Belange

Quellenverzeichnis

- AbfBodZV (2000): Bekanntmachung der Neufassung der Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Abfall- und Bodenschutzrechts (Abfall- und Bodenschutz-Zuständigkeitsverordnung - AbfBodZV) vom 6. November 2000. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil II: 387-409
- ALA (2001): Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung. Ständiger Ausschuß „Altlasten“ (ALA) der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). Stand: September 2001
- ATV (1997): Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. ATV - Handbuch. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH: Berlin, 4. Aufl.
- BANNICK, C.G., E. BIEBER, H. BÖKEN ET.AL. (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzte Böden. Umweltbundesamt Berlin, UBA - Texte 59/01
- BANNERT, M., W. BERGER, H. FISCHER, D. HORCHLER, K. KEESE, P. LEHNIK-HABRINK, D.LUCK, J. PRITZKOW, T. WIN (2001): Anforderungen an Probenahme, Probenvorbehandlung und chemische Untersuchungsmethoden auf Bundesliegenschaften. Amts- und Mitteilungsblatt, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Sonderheft 2/2001, 42 S.
- BbgAbfG (1997): Brandenburgisches Abfallgesetz (BbgAbfG) vom 06. Juni 1997. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil I: 40-52
- BbgBO (1998): Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) vom 25. März 1998. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil I: 82-96
- BbgLPIG (1995): Landesplanungsgesetz und Vorschaltgesetz zum Landesentwicklungsprogramm für das Land Brandenburg (Brandenburgisches Landesplanungsgesetz - BbgLPIG) vom 20. Juli 1995. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil I: 210-235
- BbgNatSchG (1992): Brandenburgisches Naturschutzgesetz. Gesetz über den Naturschutz und die Landespflege im Land Brandenburg (BbgNatSchG) vom 25. Juni 1992. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil I:208-222
- BbgWG (1994): Brandenburgisches Wassergesetz (BbgWG) vom 13. Juli 1994. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil I: 302-321
- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes - Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I: 502-510
- BBodSchV (1999): Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I:1554-1582
- BJARSCH, B.(1997): 125 Jahre Berliner Rieselfeld - Geschichte. Wasser & Boden. 49 (3): 45-48
- BLUMENSTEIN, O. (1995): Anorganische Schadstoffe - Zustand und Dynamik. Studien und Tagungsberichte, Band 9. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam: 19-26
- BLUMENSTEIN, O, F. FISCHER & R. SCHUBERT (1997): Bodenveränderungen durch die Verrieselung von Abwasser. Petermanns Geogr. Mitt., 141:323-342
- BOKEN, H. & C. HOFFMANN (2001): Rieselfelder im Norden Berlins - Projekt zur Sicherung und Sanierung flächgründig schwermetallbelasteter Böden. www.berliner-rieselfelder.de
- DINKELBERG, W. & J. RITSCHEL (2001): Anforderungen beim Auf- und Einbringen von Materialien auf und in Böden - Fallbeispiel Rieselfelder. Berichte aus der Arbeit 2000, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 157-161
- FURRER, G., B. LOTHENBACH & R. SCHULIN (1997): Naturnahe Bindemittel für die Immobilisierung von Schwermetallen in belasteten Kulturböden. TerraTech, 2: 43 - 44
- GRÜN, M., B. MACHELETT, H. KRONEMANN, W. PODLESAK, R. METZ, M.-L. MARTIN & J. SCHNEIDER (1989): Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete. Forschungs- und Entwicklungsbericht, Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie Jena & AdL der DDR, Jena & Berlin, (unveröffentlicht)
- GRÜN, M., B. MACHELETT, R. METZ, H. KRONEMANN, W. PODLESAK & J. SCHNEIDER (1990): Cadmiumbelastung von Boden und Pflanze im Gebiet der Rieselfelder südlich Berlins. VDLUFA - Schriftenreihe, Kongreßband 1990, 32: 763-768
- GRUNEWALD,K., H. BUKOWSKY & W. SCHADE (1996): Schwermetalle und deren Bindung in Böden und Substraten des Rieselfeldgebietes südlich Berlin. Archiv Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde. 40: 49-56
- GUPTA, S., R. KREBS & K. WENGER (1997): Feldtaugliche Ansätze zur Sanierung schwermetallbelasteter Böden.TerraTech, 2: 45-47

- HOFFMANN, C. (2001): Die ehemaligen Rieselfelder Berlin-Buch - Untersuchungen zu Schwermetallmobilität, -transport und Risikopotentialen. Technische Universität Berlin, Fakultät Architektur, Umwelt, Gesellschaft, Dissertation, 178 S.
- HOFFMANN, C., H. BÖKEN, R. METZ, & M. RENGER (2000): Verwendung von Geschiebemergel - Aushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte. Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 24: 45-50
- ISAL (1997): ISAL - Informationssystem Altlasten. Version Brandenburg. Stand: 03/97. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam
- KrW-/AbfG (1994): Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) vom 27. September 1994. Bundesgesetzblatt, Teil I: 2705-2728
- LAWA (1998/2000): Geringfügigkeitsschwellen zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begründung. LAWA Ad-hoc-Arbeitskreis Prüfwerte, 21.12.1998, in Verbindung mit Beschluß der 114. LAWA-Sitzung zu TOP 4.1 vom 17./18.02.2000
- LUA (1995): Rieselfelder Brandenburg - Berlin. Studien- und Tagungsberichte, Band 9. Landesumweltamt Berlin, Potsdam
- LUA (ab 1997): Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Stand: November 2001 - Lose Blattsammlung 10 Bände
- LUA (1997A): Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer - Gemeinsamer Abschlußbericht 1996. Studien und Tagungsberichte, Band 13/14. Landesumweltamt Berlin, Potsdam
- LUA (1997B): Empfehlungen des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) beim Landesumweltamt Brandenburg zur Rieselfeldnachnutzung im Umland von Berlin. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Stand: 4. Dezember 1995, 31 S.
- LUFA (2001): Gehaltsklasseneinteilung für die Beurteilung des Reaktionszustandes und der Nährstoffversorgung von Böden. LUFA Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Potsdam
- MARSCHNER, B., U. HENKE & G. WESSOLEK (1995): Effects of meliorative additives on the adsorption and binding forms of heavy metals in a contaminated topsoil from a former sewage farm. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 162: 281-286
- METZ, R., H. BÖKEN, & C. HOFFMANN (2000): Schwermetalle in der Nahrungskette, im Pfad Boden-Pflanze-Tier-Mensch. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 711-718
- METZ, R., H. BÖKEN, S. PIEPER, C. HOFFMANN (2001): Chemische und biologische Aspekte der Schadstoffimmobilisierung mit Bodenaushub auf ehemaligen Rieselfeldern in Berlin. Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. 95: 229-232
- MLUR (2000a): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen. Erlass des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Potsdam, 11. Mai 2000
- MLUR (2000b): Aufforstung von Rieselfeldern. Anforderungen aus der Sicht des Bodenschutzes. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Potsdam, 26. Oktober 2000
- MLUR (2001): Ein- und Aufbringen von Materialien. Gemeinsame Information des MLUR und MSWV. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Potsdam, 28. März 2001
- MUNR (1998): Handbuch zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam
- RITSCHEL, J. & W. KRATZ (2000): Konzept zu einer umweltverträglichen Nachnutzung von Rieselfeldern. Wasser & Boden, 52 (9): 29-32
- SCHENK, R.(1995): Zum aktuellen Stand der bodenkundlichen und hydrogeologischen Untersuchungen im Forschungsprojekt „Rieselfelder südlich Berlins“. Berichte aus der Arbeit 1994, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam. 171-176
- SCHENK, R.(1997): Die Rieselfelder südlich Berlins - Methodik, und Ergebnisse eines interdisziplinären Forschungsprojektes. Berichte aus der Arbeit 1996, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam. 44-49
- SCHWARZ, K. (1960): Entwicklung, Stand und Verbesserungsmöglichkeiten der Abwasserbehandlung in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der weiträumigen Verwertungsanlagen. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Wissenschaftliche Abhandlung, Nr.45
- SOWA, E., NESTLER, W., LEIBENATH, C. & W.UHLMANN (1992): Schutzgutbezogene Folgenutzung von Rieselfeldern. Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag: Berlin, 7150: 1 - 38
- TGL (1984). Fachbereichsstandard Abwasser: Begriffe der Wasserwirtschaft, biologische Abwasserreinigung. TGL 55032/04 vom 10.01.1984
- TRINKWV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21. Mai 2001. Bundesgesetzblatt, Teil I, 24: 959
- TRÖGER, U. & M. ASBRAND (1995): Belastung des Grundwassers durch Schadstoffverlagerung im Verbreitungsgebiet der Rieselfelder südlich Berlins. Studien und Tagungsberichte, Band 9. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam: 43-55
- UMWELTATLAS (2000): Digitaler Umweltatlas Berlin. 01.10 Rieselfelder. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Stand: Mai 2000. www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/

VERORDNUNG (2001A): Verordnung (EG) Nr. 466/2001 der Kommission zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 08. März 2001. Amtsblatt der EG Nr.L 77/1

VERORDNUNG (2001B): Futtermittelverordnung vom 23. November 2000, geändert am 12. März 2001. Bundesgesetzblatt, Teil I, 431-454

Teil Literaturstudie

Inhalt

Zusammenfassung	32
1 Einführung und fachliche Grundlagen	32
1.1 Entwicklung der Rieselwirtschaft	32
1.2 Technologie der Abwasserrieselung auf Rieselfelder	34
2 Rieselfelder in Brandenburg und anderen Regionen Deutschlands	38
2.1 Kurzer historischer Abriss zu den Rieselfeldern im Umland von Berlin	38
2.2 Weitere Rieselfelder in Brandenburg	44
2.3 Rieselfelder in anderen Regionen Deutschlands	45
3 Wirkungen des Rieselfeldbetriebs auf das Schutzgut Boden	46
3.1 Veränderungen der chemischen Beschaffenheit des Bodens	46
3.1.1 Nährstoffe und organische Substanz	47
3.1.2 Schwermetalle	51
3.1.2.1 Schwermetallgehalte	52
3.1.2.2 Schwermetallverteilung	58
3.1.2.3 Einfluss der Stilllegung von Rieselfeldern auf Schwermetalle	64
3.1.3 Organische Schadstoffe	65
3.2 Veränderungen der physikalischen Beschaffenheit des Bodens	71
3.3 Veränderungen der biologischen Beschaffenheit des Bodens	72
4 Wirkungspfad Boden - Mensch	74
5 Wirkungspfad Boden - Pflanze - (Tier)	75
6 Wirkungspfad Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser)	81
6.1 Nährstoffe	81
6.2 Schadstoffe	84
6.2.1 Schwermetalle	84
6.2.2 Organische Schadstoffe	89
6.3 Sonstige Auswirkungen von ehemaligen Rieselfeldern auf das Grundwasser	89
7 Möglichkeiten zur Nutzung ehemaliger Rieselfelder	90
8 Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern	94
8.1 Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	95
8.2 Sanierungsmaßnahmen	98
8.2.1 Dekontaminationsmaßnahmen	99
8.2.2 Sicherungsmaßnahmen	102
9 Überwachungsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldern	105
Quellenverzeichnis	106
Abkürzungsverzeichnis	114
Anlagen	
1 Schematische Darstellung von Rieselfeldelementen	116
2 Schema der Hang-, Stau- und Furchenverrieselung	117
3 Rieselfeldbezirke im Umland von Berlin	118
4 Übersicht zu Rieselfeldern in Brandenburg	119

Zusammenfassung

Die im Rahmen der Erstellung des „Leitfadens zur Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern“ durchgeführte Recherche von über 300 Veröffentlichungen hatte zum Ziel, die Vielzahl der in den letzten Jahren publizierten Ergebnisse zu Rieselfeldern auszuwerten und in geeigneter Form zusammenzuführen.

Zusammen mit der parallel durchgeführten Recherche zu den Rieselfeldstandorten in den Landkreisen und kreisfreien Städten im Land Brandenburg wurde damit die Grundlage für den Leitfaden geschaffen.

In der Literaturrecherche lag der Schwerpunkt vor allem auf den für den Leitfaden zur Altlastenbearbeitung relevanten Fragestellungen.

Im Ergebnis der Beschreibung der Funktionsweise von Rieselfeldern und Ausführungen zur Rieselfeldwirtschaft in Brandenburg und Berlin, aber auch in anderen Regionen Deutschlands, wurden die Bereiche mit besonderer Altlastenrelevanz auf stillgelegten Rieselfeldern ausgewiesen.

Den Hauptteil der Recherche bilden die Darstellung und Bewertung von Ergebnissen zur stofflichen Belastung von Rieselfeldböden mit Nährstoffen, Schwermetallen und organischen Schadstoffen, die in der zu Rieselfeldern vorliegenden Literatur einen eindeutigen Schwerpunkt darstellten.

Darauf aufbauend wurden die aus der verfügbaren Literatur gewonnenen Erkenntnisse zu den für ehemalige Rieselfelder relevanten Wirkungspfaden Boden - Mensch, Boden - Pflanze - (Tier) und Boden - Grundwasser dargestellt und bewertet.

Die daraus gezogenen Schlußfolgerungen dienten dazu, für den Leitfaden die speziellen Untersuchungs- und Bewertungsstrategien (Probenahme- und Analysenprogramme, Bewertungsgrundlagen ...) bei der Altlastenbearbeitung von ehemaligen Rieselfeldern zu entwickeln.

Einen weiteren Schwerpunkt der Literaturrecherche bildete die Darstellung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf stillgelegten Rieselfeldern. Dazu wurden die in den letzten Jahren veröffentlichten Ergebnisse, Konzepte und Vorhaben auf Rieselfeldern in Berlin - Brandenburg und anderen Bundesländern entsprechend den Vorgaben der Bodenschutzgesetzgebung den Begriffen Überwachung, Schutz- und Beschränkungs- sowie Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen zugeordnet.

Die möglichen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr wurden im engen Zusammenhang mit planungsrechtlich zulässigen Nutzungen ehemaliger Rieselfelder betrachtet und dargestellt.

1 Einführung und fachliche Grundlagen

1.1 Entwicklung der Rieselwirtschaft

In **Deutschland** erlangte die Aufleitung von Abwasser auf Rieselfelder Ende des letzten Jahrhunderts besondere Bedeutung, nachdem in Städten und Ballungsräumen Kanalisationssysteme zur Sammlung des Abwassers angelegt wurden. Voraussetzung für die Anlage von Rieselfeldern war das Vorhandensein von gut durchlässigen, nährstoffarmen Böden wie pleistozänen Hochflächensanden mit zwischengelagertem Geschiebemergel im Umland von Berlin, pleistozänen, z.T. grundwasserbeeinflussten Talsanden um Braunschweig bzw. Münster oder äolischen Dünenansanden im Raum Danzig und Zoppott (SOWA ET AL 1992). 1869 begann man in Danzig, heute Gdansk, mit der Anlage von Rieselfeldern zur Beseitigung des in der Stadt anfallenden Abwassers.

Anfang des 20. Jahrhunderts betrieben 57 Städte und Gemeinden in Deutschland Rieselfelder. In 22 Kommunen existierten Wiesenberieselungsanlagen und 6 Städte hatten intermittierend beschickte höher belastbare Bodenfilter ohne landwirtschaftliche Nutzung zur Beseitigung ihres Abwassers (ATV 1997). Insgesamt wurden im Jahr 1914 in Deutschland über 30.000 ha Rieselfeldfläche genutzt.

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Riesefeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

Mit steigendem Abwasseranfall und der Entwicklung von technischen Verfahren zur Abwasserreinigung verlor die Beaufschlagung von Riesefeldern mit Abwasser teilweise ihre Bedeutung, dennoch wurde 1933 in Deutschland das Abwasser von 6,5 Millionen Einwohnern auf Rieselfelder geleitet.

1960 waren in Deutschland noch ca. 60 Anlagen zur Abwasserverrieselung in Betrieb, die nach und nach durch technische Klärwerke ersetzt wurden (BOLL & EGGERS 1987).

Aufgrund der für die Anlage von Riesefeldern günstigen Bodenverhältnisse im Umland von Berlin wurden die dort errichteten Rieselfelder im Unterschied zu anderen deutschen Städten z.T. noch bis in die 90er Jahre betrieben, sind aber nunmehr wie die meisten anderen Rieselfelder im Land Brandenburg stillgelegt.

Die **Abwasserverrieselung** ist die Verbringung von Abwasser auf speziell angelegten Rieselflächen. Dazu wurde das zumeist vorher unbehandelte Abwasser auf unterschiedliche Weise auf gut durchlässigen Böden verrieselt. Der Boden diente bei der Verrieselung als Filter für die im Abwasser enthaltenen Partikel, als Matrix für die Adsorption gelöster Stoffe und als Medium für den mikrobiellen Abbau von bestimmten Wasserinhaltsstoffen.

Die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe, vor allem Stickstoff und Phosphor, dienen im Rieselfeldbetrieb oftmals zur Düngung von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen, die auf den Riesefeldern angebaut wurden. Neben der Nährstoffzufuhr wurde bei der Abwasserverrieselung auch die ausreichende Versorgung der angebauten Pflanzen mit Wasser gewährleistet.

Das zur Verrieselung eingesetzte Abwasser konnte sowohl häusliches Schmutzwasser, Schmutzwasser aus Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft sowie verschmutztes Niederschlagswasser enthalten. Bei der Verrieselung wurden die im Abwasser enthaltenen Schadstoffe, vor allem Schwermetalle, in die Rieselfeldböden eingetragen.

Gemäß Abwassertechnischer Vereinigung der Bundesrepublik Deutschland gehört der Betrieb von Riesefeldern im Gegensatz zur technischen Abwasserreinigung in Klärwerken zu den naturnahen Abwasserbehandlungsverfahren. Dabei handelt es sich um ein Verfahren der Landbehandlung von Abwasser mit Verrieselung und dessen anschließender Bodenfiltration. Der Begriff der Landbehandlung beinhaltet die weiträumige Verteilung von gesammeltem Abwasser aus kommunalen Siedlungen auf die Bodenoberfläche, wobei die Verrieselungsflächen in der Regel landwirtschaftlich genutzt wurden (ATV 1997).

Als Ausgangspunkt für die Abwasserverrieselung in **Mitteleuropa** wird die Stadt Bunzlau, heute Boleslawiec, in Niederschlesien betrachtet. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde in Großbritannien (Edinburgh, Asbarton, Devon) begonnen, Abwasser auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verrieseln (ASSMANN & KLEMM 1990).

Dabei war um ca. 1850 eine starke Belastung der Themse in London mit ungeklärtem Abwasser der Ausgangspunkt für die Errichtung von Riesefeldern (NEBRA 2001). CHADWICK forderte in diesem Zusammenhang vor rund 150 Jahren: „... the rain to the river and the sewage to the soil ...“ und begründete damit die Anlage von Riesefeldern (sewage farms). Um 1875 gab es bereits über 50 Rieselfeld-Standorte in Großbritannien.

Rieselfelder existierten und existieren in vielen Ländern der Welt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Anfall von Abwasser in den letzten Jahrzehnten weltweit deutlich angestiegen ist (1950: 3,2 Mio. t/d; 2000: 8,5 Mio. t/d), und insbesondere Entwicklungsländer auf kostengünstige und hygienisch verlässliche Lösungen der Abwasserbeseitigung angewiesen sind. DALE (2000) verglich die Situation dieser Länder hinsichtlich der Abwasserbehandlung mit der Europas vor vielen Jahrzehnten, d.h. mit dem Zeitraum, in dem in Europa mit der Anlage von Riesefeldern begonnen wurde.

Deshalb wurde z.B. im Projekt „Community - based technologies for domestic wastewater treatment and reuse: Options for urban agriculture“ des International Development Research Centre (IDRC) neben einer

- Literaturstudie -

ganzen Reihe von unter den Bedingungen der Entwicklungsländer realisierbaren Technologien zur Abwasserbehandlung auch die Errichtung und der Betrieb von Rieselfeldern vorgeschlagen (ROSE 1999).

1.2 Technologie der Abwasserverrieselung auf Rieselfeldern

Der Betrieb von Rieselfeldern zählt zu den Verfahren der natürlich-biologischen Abwasserreinigung, die wie folgt beschrieben werden können (TGL 1984):

Natürlich-biologische Abwasserreinigung: großflächige Verfahren der aeroben biologischen Abwasserreinigung in einem natürlichen oder von der Natur kopierten Lebensraum mit heterotropher und autotropher Komponente;

Abwasserbodenbehandlung: natürlich-biologische Abwasserreinigung auf Bodenflächen;

Abwasserverrieselung: intermittierende Ableitung von meist mechanisch geklärtem Abwasser zum Zweck der Versickerung und Abwasserreinigung durch im Boden lebende Mikroorganismen, näher bezeichnet als Oberflächenverrieselung und Untergrundverrieselung;

Rieselfeld (Rieselfläche): Fläche, die zur Abwasserverrieselung angelegt ist;

Furchenverrieselung: Rieselfeldverfahren, bei dem das Abwasser zwecks Infiltration in parallele Furchen verteilt wird;

Stauverrieselung: Rieselfeldverfahren, bei dem eine Rieselfläche mit Abwasser überstaut wird;

Bodenfiltration: intensiv betriebene Abwasserverrieselung auf Flächen ohne landwirtschaftliche Nutzung mit intermittierender Beaufschlagung;

Sandfiltergraben: Anlage zur Untergrundverrieselung mit Ableitung des gereinigten Abwassers;

Rieselrohrgraben: Anlage zur Untergrundverrieselung ohne Ableitung des gereinigten Abwassers;

Entlastungsfläche: Fläche zur Aufleitung von Abwasser für die Zeit, in der eine wirksamere natürlich-biologische Reinigung erschwert oder nicht möglich ist;

Abwasserverregnung: regenartig feine Verteilung des unter Druck stehenden, meist mechanisch geklärten oder biologisch gereinigten Abwassers auf der zu bewässernden Fläche;

Abwassergabe: auf die Fläche bezogenes verregnetes Abwasservolumen je Zeiteinheit ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{d}$; mm/a).

Abwasser war lt. Anordnung zu den Abwasser-Einleitbedingungen in der DDR im Sinne dieser Anordnung

- durch häusliche, industrielle, landwirtschaftliche, gewerbliche oder anderweitige Nutzung in seiner Beschaffenheit verändertes Wasser,
- abfließendes Niederschlagswasser,
- Grund- und Oberflächenwasser

welches in Abwasseranlagen eingeleitet wurde (ANORDNUNG 1987).

Für die Abwasserbeseitigung auf Rieselfeldern eignen sich am besten große, flache, wenig geneigte Flächen mit leichten bis mittleren Böden (Durchlässigkeitswerte $k_f \cdot 10^{-3}$ bis 10^{-5} m/s) und einem genügend großen Flurabstand (mehr als 1,5 m) des Grundwassers (ATV 1997). Folgende fachliche Kriterien sind hierbei maßgebend:

- Literaturstudie -

Generell sind sandige Böden mit geringen Tonanteilen ($k_f > 10^{-4}$ m/s) langfristig besser für die Abwasser-
verrieselung geeignet als Böden mit hohen Schluffanteilen.

Wichtig ist ein ausreichender Luftporenraum im Boden (Gasaustausch, Sauerstoffversorgung), um den
aeroben Abbau von Abwasserinhaltsstoffen und die Oxidation von Ammonium zu fördern.

Auf dem Sickerweg des Abwassers wird ein Infiltrationshorizont, eine Hauptreinigungszone und eine
Nachreinigungszone unterschieden (ATV 1997). Im Infiltrationshorizont entsteht dabei ein Aufwuchs an
Mikroorganismen, der sich an die Abwasserzufuhr adaptiert.

Bei der Bodenpassage des aufgebracht Abwassers wird die Reinigungsleistung der Lithosphäre ge-
nutzt. Dabei werden die Inhaltsstoffe des Abwassers sowohl in gelöster Form als auch als Partikel in den
Rieselfeldboden eingetragen, dort abgebaut oder angereichert oder mit dem Wasser unter Konzentrati-
onsänderung durch Anreicherung bzw. Ausschwemmung weiter transportiert, wobei eine Vielzahl von
chemischen, physikalischen und biologischen Vorgängen abläuft.

Wesentliche chemische Prozesse sind: Fällungsreaktionen, Säure-Basen-Reaktionen, Redoxreaktionen,
Komplexbildung, Ionenaustausch und Sorptionsvorgänge. Physikalische Vorgänge, die die Bodenpassa-
ge des Abwassers beeinflussen, sind: Konvektion, Dispersion und Diffusion. Als entscheidende biologi-
sche Reaktionen des Rieselfeldbodens wirken aerobe und anaerobe Abbauprozesse sowie die mikrobiel-
le Aktivität des Bodens.

Demnach hat ein Boden, der für die Abwasserverrieselung genutzt wird, vor allem folgende Funktionen zu
erfüllen (BUYSCH & FÜLLING 1992):

- *Zufuhr von Sauerstoff zum Aufoxidieren des meist anaerob zufließenden Abwassers und zur Auf-
rechterhaltung der bakteriellen Abbauvorgänge,*
- *Ansiedlung einer stabilen Biozönose für die Abbauvorgänge,*
- *Austausch von Gasen, die im Abwasser enthalten sind oder bei den Abbauprozessen im Boden
entstehen,*
- *Zurückhalten von Abwasserschwebstoffen,*
- *Zurückhalten von nicht oder schwer abbaubaren gelösten Stoffen,*
- *Ableiten des Abwassers in den tieferen Untergrund, ohne dass sich der Boden wesentlich verdichtet
oder verschlämmt.*

Die ehemaligen Rieselfelder im Umland von Berlin eignen sich gut, um wie folgt die Technologie des
Rieselfeldbetriebes darzustellen.

Die Einrichtung dieser Rieselfelder erfolgte auf der Grundlage von Untersuchungen des Mediziners VIR-
CHOW nach einem Projekt von HOBRECHT, der die Stadtfläche von Berlin in 12 **Radialsysteme** einteil-
te. In jedem Radialsystem war ein **Pumpwerk** vorgesehen, dem die Abwässer (häusliches, gewerbli-
ches, industrielles Schmutzwasser und Niederschlagswasser) durch Gefälleleitungen aus der in Berlin
errichteten **Schwemmkanalisation** zufließen (WIESE 2000, UMWELTATLAS 2000).

Vom Pumpwerk erfolgte über gusseiserne **Druckrohre** (Durchmesser 1.400 mm) der Transport der Ab-
wässer auf die außerhalb der Stadt liegenden Rieselfelder. Gleichzeitig wurden bestimmte Rieselfelder
zusätzlich von umliegenden Direktzuleitern beaufschlagt.

Am Ende der **Druckleitung** auf dem höchsten Punkt der jeweiligen Rieselflächen befand sich ein offenes
5 bis 10 m hohes Standrohr (**Rieselturm**), von dem aus manuell durch Rieselwärter mittels Schiebern
die Verrieselung des Abwassers (über mehrere Druckrohre) gesteuert wurde (BJARSCH 1997).

Aus den Druckleitungen und Rieseltürmen gelangte das nicht vorgereinigte Abwasser (Schwarzwasser)
zur mechanischen Vorreinigung in auf den Rieselfeldern speziell angelegte **Absetzbecken** (zumeist
Erdbecken ohne Abdichtung), die dem Absetzen der Sinkstoffe und dem Zurückhalten der Schwimmstof-
fe (mittels Tauchwänden) dienten. In den Becken sedimentierten ca. 75 % der im Abwasser enthaltenen
Partikel (SCHENK 1995).

- Literaturstudie -

Die abgesetzten Sedimente wurden anschließend aus diesen Becken ausgeräumt und auf speziellen **Schlamm-trockenplätzen (Trockenbeete)** entwässert. Der so entwässerte Schlamm wurde im Randbereich der Rieselfelder zwischengelagert und anschließend zumeist auf angrenzende landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen zur Bodenverbesserung und Nährstoffzufuhr ausgebracht bzw. auf die Wälle und Dämme der Rieselfelder selbst aufgetragen. Das **Grabensystem** eines Rieselfeldes wurde ebenfalls regelmäßig gereinigt, indem abgesetzte Sedimente ausgeräumt und in der Regel direkt am Grabenrand abgelagert wurden.

Nach Passieren der Absetzbecken gelangte das mechanisch vorgereinigte Abwasser durch natürliches Gefälle (Gräben, Zuführungen) auf die **Riesel-tafeln** (Rieselstücke). Riesel-tafeln stellten mit ca. 80 % der Gesamtfläche das wichtigste Element der Rieselfeldbewirtschaftung dar (SCHENK 1995). Die Riesel-tafeln wurden in Abhängigkeit von der Oberflächengestaltung als Horizontalstücke oder Hangstücke ausgebildet und mit Erdwällen umgeben. Die durchschnittliche Größe dieser Tafeln betrug ca. 0,25 ha, d.h. ca. 50 m x 50 m (ANLAGE 1).

Die Berieselung der Horizontalstücke (**Stauverrieselung**) erfolgte durch ganzflächige Überstauung über umlaufende Verteilungsrinnen (**Einleiter**).

Bei als Hangstücken ausgebildeten Riesel-tafeln wurde das Abwasser der oberen Kante zugeführt und von dort dem Gefälle folgend herabgerieselt (**Hangverrieselung**).

Bei dieser Art der Beschickung der Rieselfelder drang ein Teil des Abwassers in den Boden der Riesel-tafeln ein, ein Teil des Abwassers verdunstete und ein großer Teil des Wassers wurde nach Durchlaufen der Riesel-flächen am tiefsten Punkt der Rieselanlage in Sammelgräben aufgefangen (ANLAGE 2). Der Wirkungsgrad der Hangverrieselung, d.h. der Grad der Abwasserreinigung, war geringer als auf Horizontalstücken mit Stauverrieselung (LUA 1998).

Außer den Flächen mit Stauverrieselung (im Umland von Berlin dominierend) und Flächen mit Hangverrieselung gab es Beetstücke mit Furchenbewässerung (**Furchenverrieselung** oder **Beetrieselung**). Dabei floss das Abwasser über parallel angelegte Längsgräben (ca. 1 m Abstand zwischen den Gräben, Gräben untereinander verbunden) und diente z.B. zur direkten Bewässerung von Obstbäumen, die im Bereich der Rieselfelder angebaut wurden.

BLUMENSTEIN (1995) beschreibt ein für den Süden Berlins typisches Rieselfeld wie folgt:

Element	Beschreibung (mit Angabe der Flächenanteile am Gesamtkomplex eines Rieselfeldes)
1	Schläge mit jeweils 8 - 10 Riesel-tafeln von je ca. 0,3 ha, die von Dämmen umgeben waren; Tafeln konnten separat berieselt werden und nahmen ca. 85 % der Fläche ein;
2	Zuführungsgräben und deren Randbereiche, Gesamtbreite: 4 - 5 m; Flächenanteil: ca. 4%
3	Zwischenabsetzbecken, in welchen bis zu 75 % der Abwasser-Feststoffe vor Aufleitung auf die Tafeln sedimentierten, Fläche: 50 - 2.000 m ² , Flächenanteil: 0,3 % Schlamm-trockenbeete für den aus den Absetzbecken ausgebaggerten Schlamm;
4	vom Abwasser nicht direkt beeinflusste Raumelemente, wie die als Vorflut wirksamen Entwässerungsgräben; Wirtschaftswege und Randstreifen mit Flurgehölzen;
5	Bauten und Rohrsysteme

Im Umfeld der Rieselfelder existierten häufig **Wildrieselflächen (Entlastungsflächen)**, die bei Überlastung der eigentlichen Riesel-tafeln über Schieber mit nicht vorbehandeltem Abwasser direkt beaufschlagt wurden.

Außerdem wurden im Laufe der Nutzung der Berliner Rieselfelder, beginnend Mitte der 60er Jahre, sogenannte **Intensivfilterflächen** (Intensivfilter) eingerichtet, die dauerhaft überstaut und deshalb mit erhöhten Wällen umgeben waren. Dies waren in der Regel mehrere nacheinander durchflossene ca. 1 ha große Becken, die durch Abschieben der Humusschicht angelegt wurden. Gegenüber normalen Rieselfeldern wurde auf diesen Intensivfilterflächen ein Mehrfaches der Abwassermengen aufgebracht (ganzjährig überstaut, Abwassergaben > 10.000 mm/a) (BJARSCH 1997).

Intensivfilterflächen existierten z.B. im Bereich der Rieselfeldbezirke Hobrechtsfelde, Blankenfelde, Mühlenbeck, Schönerlinde und Buch im Berliner Norden (ca. 1.200 ha) und im Bereich der Rieselfeldbezirke Waßmannsdorf, Boddinsfelde und Deutsch Wusterhausen (ca. 100 ha) bzw. Großbeeren, Ruhlsdorf, Sputendorf (ca. 110 ha) im Süden von Berlin.

Im Rieselfeldbezirk Buch wurden ab 1974 zur Verminderung des Schlammeintrages in die Intensivfilterbecken spezielle **Oxidationsbecken** (ca. 600 ha) angelegt. Der abgesetzte Schlamm aus diesen Oxidationsbecken wurde anschließend im Umfeld der Becken aufgehaldet (AUHAGEN ET AL 1994).

Zum Zwecke der Abführung des gefilterten und gereinigten Abwassers sowie der Belüftung des Bodens wurden in den Rieselflächen oftmals **Dränagerohre** verlegt. Das Dränwasser wurde über Sammeldrains in **Entwässerungsgräben** zu den Vorflutern geleitet.

In den **Hauptvorflutern** kamen etwa 60 % der auf die Rieselfelder aufgeleiteten Wassermenge zum Abfluss (BJARSCH 1997).

In nachgeschalteten **Teichen** mit Fischbesatz oder auf **Doppelberieselungsflächen** wurde in Einzelfällen das Wasser der Rieselfeldabläufe nochmals nachgereinigt (BJARSCH 1997).

Die Abwasserverrieselung erfolgte, mit Ausnahme der Intensivfilterflächen, in einem bestimmten Rhythmus. Nach dem Überstauen wurde in der Regel gewartet bis das aufgebrauchte Abwasser versickert, und der Boden wieder durchlüftet war.

Für Grünlandflächen im Umland von Berlin waren vier bis acht Berieselungen pro Jahr mit Abwassergaben von 2.000 bis 4.000 mm/a typisch, Gemüse wurde im Frühjahr vier bis sechs mal mit 400 - 3.000 mm/a Abwasser berieselt, während Rieselfelder, auf denen Wintergetreide angebaut wurde, nur einmal jährlich mit ca. 100 - 500 mm Abwasser beaufschlagt wurden (UMWELTATLAS 2000, BÖKEN & HOFFMANN 2001).

Eine spezielle Form der Abwasserverwertung auf Böden stellte die **Verregnung von Abwasser** auf zu meist landwirtschaftlich genutzten Flächen dar. Die Abwasserverregnung gewann insbesondere aufgrund des sich mit zunehmender Nutzungsdauer der Rieselfelder verschlechternden Verhältnisses zwischen der aufgebrauchten Abwassermenge und den Erträgen der angebauten Kulturen an Bedeutung (SCHWARZ 1960).

Die Abwasserverregnung spielte neben der Bewirtschaftung von Rieselfeldern bei der Beaufschlagung von Böden mit Abwasser auch im Land Brandenburg eine Rolle. Im Unterschied zu den eigentlichen Rieselfeldern waren die Standorte mit Abwasserverregnung oftmals großflächiger angelegt. Dadurch konnte z.B. die beaufschlagte Abwassermenge besser dem Wasserbedarf der angebauten Pflanzen angepasst werden (geringere Abwassergaben).

Die Verregnung des Abwassers erfolgte mittels speziellen Beregnungsmaschinen (SCHWARZ 1960, ATV 1997).

Bestandteil der Verregnungsflächen waren oftmals Einrichtungen zur mechanischen Vorklärung des unbehandelten Abwassers, wie

- **Absetzbecken** und **Sandfänge**,
- in Einzelfällen **Speicherbecken** für Abwasser,
- spezielle Ausgleichsflächen in Form von Bodenfiltern (**Intensivfilterflächen**).

Die Verregnung von Abwasser aus Kommunen und der Industrie, insbesondere aus der Nahrungsmittelindustrie (Stärke-, Zuckerherstellung, Kartoffel- und Melasseverarbeitung), auf landwirtschaftliche Flächen wird in Deutschland vereinzelt noch praktiziert (Tab. 1).

**Tab. 1: Standorte mit Abwasserverregnung auf Böden in Deutschland
Stand: 1996, aus: UBA (1996)**

Vorbehandlung des Abwassers vor der Verregnung	Standorte mit Verregnung: kommunales Abwasser	Standorte mit Verregnung: industrielles Abwasser
Keine	8	7
Mechanisch	17	8
Mechanisch und biologisch	6	2
Summe	31	17

Neben Anlagen zur ausschließlichen Verrieselung oder ausschließlichen Verregnung von Abwasser existierten auch Standorte, auf denen beide Verfahren kombiniert wurden und werden (z.B. Braunschweig).

2 Rieselfelder in Brandenburg und anderen Regionen Deutschlands

Brandenburg ist das Bundesland mit dem höchsten Anteil an Rieselfeldflächen in Deutschland. Dies ist vor allem dem Umstand geschuldet, dass die Mehrzahl der Berliner Rieselfelder auf dem Territorium des Landes Brandenburg liegen.

Während der größte Teil der Brandenburger Böden schadstoffunbelastet ist, stellen gemäß dem Brandenburgischen Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung die ca. 10.000 ha ehemaliger Rieselfeldflächen neben den über 23.000 militärischen und zivilen altlastverdächtigen Flächen aus der Sicht des Bodenschutzes die Problemflächen im Land dar (MLUR 1999).

2.1 Kurzer historischer Abriss zu den Rieselfeldern im Umland von Berlin

Die im Umland von Berlin liegenden ehemaligen Rieselfelder erlauben es, neben der Funktionsweise von Rieselfeldern auch die Entwicklung der Rieselfeldwirtschaft im Land Brandenburg darzustellen.

Außerdem wurden die Rieselfelder im Berliner Umland hinsichtlich ihrer Schadstoffbelastung (Böden, Grund- und Oberflächenwässer, angebaute und wildwachsende Pflanzen, Nutz- und Wildtiere ...) in den letzten Jahrzehnten intensiv untersucht, so dass die dabei erhaltenen Erkenntnisse oftmals einen hohen Grad an Verallgemeinerung für andere Standorte zulassen.

Allein das vom Landesumweltamt Brandenburg in den Jahren 1991-1996 durchgeführte interdisziplinäre **Forschungsprojekt „Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer“** lässt den Schluss zu, dass die Rieselfelder der Region zwischen den Ortschaften Güterfelde und Philipsthal im Westen sowie Großbeeren, Ludwigsfelde und Teltow im Osten die am besten untersuchten Abwasserversickerungsflächen Deutschlands sind (SCHENK 1997).

Zahlreiche andere Projekte zur Untersuchung von ehemaligen Rieselfeldern in und um Berlin belegen diese Aussage (Tab. 2).

Neuerdings finden sich informative Darstellungen zu dabei erhaltenen Erkenntnissen auch im Internet (z.B. unter www.berliner-rieselfelder.de und www.igb-berlin.de)

Tab. 2: Ausgewählte Projekte zu Berliner Rieselfeldern

Projekt	Hauptauftragnehmer Zeitraum	Auftraggeber

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete	IPE Jena 1986 - 1989	AdL der DDR
Abschlußbericht zur Forschungsleistung „Umweltatlas Berlin - Schwermetallbelastung der Rieselfelder“	HUB Berlin 1991	Senatsverwaltung Berlin
Bodenökologische Untersuchungen auf den Rieselflächen Buch	TU Berlin 1991 - 1992	Berliner Landes- forstamt
Bodenmikrobiologische Untersuchung der ehemaligen Rieselfeldflächen im Bereich des Forstamtes Buch	TU Berlin 1992	Berliner Landes- forstamt
Eignung verschiedener Energiepflanzen zur Biomasseproduktion und zur Schwermetalldekontamination auf belasteten Rieselfeldböden	HUB Berlin 1990 - 1994	
Rieselfelder Berlin-Süd: Multivalente Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen	Uni Potsdam 1994	MUNR
Pflanzenbaulich und ökonomisch begründete Varianten zur extensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Gebiet der ehemaligen Rieselfelder des Forstamtes Berlin - Buch	HUB Berlin 1992	Berliner Landes- forstamt
Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraum-typischen Ökosystemen	TU Berlin 1993 - 1998	BMFT
Bindung, Mobilität, Transport und Wirkung von organischen und anorganischen Schadstoffen sowie Abbau von Organika in Rieselfeldökosystemen	TU Berlin 1995 - 1998	TU Berlin
Schadstoffimmobilisation auf Forstflächen Buch. Weiterführende Untersuchungen und Monitoring	TU Berlin 1999 - 2000	Berliner Landes- forstamt
Verfahren zur in-situ-Reinigung stark stickstoffbelasteter Grundwasserleiter	BWB, GFI GmbH 1996 - 2000	BMFT 02 WT 9587/9
Immobilisierung von Schwermetallen auf Rieselfeldflächen der Berliner Forsten	TU Berlin 2000 - 2001	Investitionsbank Berlin

Für die Behandlung von Abwässern aus Berlin wurden Ende des 19. Jahrhunderts sogenannte **Rieselfeldbezirke** (RFB) auf einer Gesamtfläche von über 10.000 ha, die sich vorwiegend auf dem Territorium des heutigen Landes Brandenburg befinden, eingerichtet (UMWELTATLAS 2000).

Im Berliner Umland wurde das Abwasser auf zumeist landwirtschaftlich genutzten Flächen (Rieselgüter mit Mischnutzung als Grünland und für den Ackerbau, Gemüse- und Obstanbau) verrieselt. Die hierzu benötigten Flächen wurden von der Stadt Berlin erworben und sind heute noch größtenteils in deren Besitz (Betreiber-gesellschaft Berliner Stadtgüter mbH). Dabei wurden am 1. Oktober 1990 sämtliche bis 1945 der Stadt Berlin gehörenden Rieselflächen im unmittelbaren Umland von Berlin in das Eigentum der Stadt Berlin zurückgeführt (FRIEDRICH 1992). Neben den für die Abwasserverrieselung vorbereiteten und genutzten Flächen wurden durch die Stadt Berlin weitere ca. 10.000 ha Naturland als Rieselfeld-Erweiterungsfläche erworben, die jedoch für die Abwasserbeseitigung weder vorbereitet noch genutzt wurden.

Die Stadt Berlin kaufte im Jahr 1873 das Rittergut Osdorf als erstes **Rieselgut** und begann hier mit der Anlage von Rieselfeldern (MEINICKE & BERNITZ 1996). In den Folgejahren wurden weitere Flächen für die Einrichtung von Rieselfeldern durch die Stadt erworben:

- 1875: Erwerb des Rittergutes Falkenberg und Anlage des RFB Falkenberg;
- 1882/83: Erwerb von Rittergütern in Malchow, Wartenberg, Blankenburg, Rosenthal, Blankenfelde und weiterer Ländereien nördlich von Berlin und Anlage von Rieselfeldern auf den erworbenen Flächen;
- 1885: Erwerb von Flächen in Hellersdorf und Anlage des RFB Hellersdorf;
- 1898: Erwerb des Ritterguts Buch und Anlage des RFB Buch.

Bis 1913 waren 14.364 ha Land für Rieselfelder im Berliner Umland in Besitz der Stadt Berlin, davon wurden bis zu diesem Zeitpunkt auf über 8.500 ha Rieselflächen angelegt.

- Literaturstudie -

1922 wurde im Zusammenhang mit dem Betrieb der Rieselfelder und der landwirtschaftlichen Nutzung dieser Flächen die Berliner Stadtgüter GmbH gegründet, der 1926 eine Gesamtfläche von ca. 27.500 ha gehörte (BJARSCH 1997). Die Berliner Stadtgüter GmbH verpachtete bis zu 50 % der Rieselfeldfläche, die vor allem zum Anbau von Gemüse und Obst genutzt wurde (MEINICKE & BERNITZ 1996).

1926 waren 7,3 % des auf Rieselfelder geleiteten Abwassers industrieller Herkunft, d.h. stark mit Schwermetallen und anderen Schadstoffen belastet (BÖKEN & HOFFMANN 2001). 1930 betrug die in Berlin geförderte Abwassermenge insgesamt 254.294.000 m³/a, die auf 10.573 ha Rieselfläche aufgebracht wurden, d.h. je ha Rieselfeld wurden durchschnittlich 24.000 m³ Abwasser beaufschlagt (BJARSCH 1997).

Nach 1930 hatte die Stadt Berlin ca. 29.000 ha Land, zum Teil auf dem Territorium des heutigen Landes Brandenburg, für die Rieselfeldwirtschaft erworben (MEINICKE & BERNITZ 1996). Davon wurden damals ca. 12.300 ha als Rieselfeldflächen genutzt und täglich mit 450.000 bis 880.000 m³ Abwasser beaufschlagt.

Nach METZ ET AL (1991) überwog auf den Rieselfeldern im Norden Berlins die Beschickung mit kommunalem Abwasser und Abwasser aus der Landwirtschaft, während auf die Rieselfelder im Süden Berlins mehr Abwasser aus Industrie und Gewerbe gelangte.

**TAB. 3: Übersicht zu den Berliner Rieselfeldbezirken
aus: UMWELTATLAS (2000) und LUA (1998)**

Rieselfeldbezirk	Betriebs- zeitraum	Fläche [ha]	Abwassermenge [Mio m ³ /Jahr]	Abwasser aus:	Lage im Land Brandenburg
Sputendorf	1890 - 1994	1.186	7,6	WB / UM	ja
Großbeeren	1893 - 1994	746	3,2	WB / UM	ja
Osdorf	1876 - 1976	1.195	20,0	WB / UM	ja
Waßmannsdorf	1890 - 1989	258	14,5	WB / OB	ja
Kleinziethen	1890 - 1989	180			ja
Großziethen	1890 - 1989	68	0,4	WB / OB	ja
Boddinsfelde	1905 - 1989	115	3,5	WB / OB	ja
Deutsch Wusterhausen	1903 - 1994	543	1,8	WB / OB	ja
Münchehofe	1907 - 1976	104	14,5	OB / UM	ja
Tasdorf	1910 - 1976	168	7,0	OB / UM	ja
Hellersdorf	1886 - 1969	716	11,0	OB	teilweise
Falkenberg	1884 - 1969	850	14,5	OB	nein
Malchow	1886 - 1968	932	11,0	OB	nein
Hobrechtsfelde	1898 - 1985	757	37,0	WB / OB	teilweise
Buch	1898 - 1985	278			nein
Schönerlinde	1893 - 1985	154	8,5	WB	ja
Mühlenbeck	1911 - 1985	190		WB	ja
Blankenfelde	1890 - 1985	1.105	18,0	WB / OB	nein
Wansdorf	1912 - 1998	106	10,0	WB / UM	ja
Karolinenhöhe-Seeburg	1890 -	331	> 2,6	WB	teilweise

UM - Umland

WB - Westberlin

OB - Ostberlin

Insgesamt wurden in Berlin und im unmittelbaren Umland der Stadt 20 Rieselfeldbezirke eingerichtet, in Betrieb genommen, langjährig genutzt und zu unterschiedlichen Zeiten stillgelegt (Tab. 3 und ANLAGE 3).

Seit den 20er Jahren traten bei der landwirtschaftlichen Nutzung der Rieselfelder zunehmende Probleme auf (Verschlammung des Bodens, Ungleichgewichte im Nährstoffhaushalt, zunehmende Schadstoffbelastung, Ertragsminderung bzw. „Rieselmüdigkeit“). Deshalb wurden eine regelmäßige Bodenbearbeitung der Rieselflächen und andere gefügenderbessernde Maßnahmen durchgeführt (Kalkung, Aufbringung von Stallmist), die oberen Bodenschichten abgetragen und auf die Dämme geschüttet oder die verrieselten Abwassermengen reduziert.

- Literaturstudie -

Nach dem 2. Weltkrieg nahm der Flächenanteil für den Anbau von Hackfrüchten und Getreide auf den Rieselflächen zu, so dass der für die Verrieselung nutzbare Zeitraum sich verkürzte. Im Gegenzug wurde deshalb mehr Abwasser auf Grünlandstandorten verrieselt.

Bis in die 60er Jahre blieb der Bestand der Rieselfelder mit Ausnahme von kleinflächigen Veränderungen (Straßenbau, Grenzanlagen...) weitgehend erhalten. Großflächige Stilllegungen von Rieselfeldern (Einstellung der Abwasserverrieselung) erfolgten erst mit dem Ausbau der Berliner Klärwerke.

Eine im Jahr 1974 durchgeführte Zustandsanalyse ergab, dass von ca. 6.500 ha Rieselflächen noch ca. 4.100 ha zur Abwasserreinigung nutzbar waren (BJARSCH 1997).

1988 wurden 34 % des in Westberlin anfallenden Abwassers auf die Rieselfelder Gatow im RFB Karolinenhöhe-Seeburg (1 %) und Großbeeren (33 %) geleitet (HOFFMANN 2000).

Tab. 4: Bau von Klärwerken und Stilllegung von Berliner Rieselfeldern aus: UMWELTATLAS (2000), MEINICKE & BERNITZ (1996), BJARSCH (1997), BWB (2001)

Klärwerk	Inbetriebnahme	Stilllegung RFB
Stahnsdorf	1931 1987	Reduzierung der Flächen der RFB Sputendorf und Großbeeren
Ruhleben	1963	Reduzierung der Flächen des RFB Karolinenhöhe
Falkenberg	1968	Stilllegung der RFB Falkenberg, Malchow, Hellersdorf
Marienefelde	1974	Stilllegung des RFB Osdorf
Münchehofe	1976	Stilllegung der RFB Münchehofe und Tasdorf
Schönerlinde	1986	Stilllegung der RFB Schönerlinde, Mühlenbeck, Hobrechtsfelde, Buch und Blankenfelde
Waßmannsdorf	1927 1932-1935 1989	Inbetriebnahme einer Vorkläranlage (Emscherbrunnen wegen Überlastung der Rieselfelder) Ausbau zu einem biologischen Klärwerk Erneuerung des Klärwerkes Stilllegung der RFB Waßmannsdorf, Groß-Ziethen, Klein-Ziethen/Sedow und Boddinsfelde
Wansdorf	1919 1925 1999	Errichtung von drei Absetzbecken mit nachgeschalteten Rieselfeldern (38 ha) für die Abwässer der Stadt Spandau Bau einer Emscherbrunnenanlage Inbetriebnahme eines neuen Klärwerkes: GmbH der Städte Falkensee, Hennigsdorf, Oranienburg, Velten und des Trink- und Abwasserverbandes Glien gemeinsam mit den Berliner Wasserbetrieben Stilllegung des RFB Wansdorf

Für die Rieselfelder im Berliner Umland wurden fünf Stilllegungszeiträume ermittelt, die im engen Zusammenhang mit der Erweiterung bestehender und dem Bau neuer Klärwerke standen (Tab. 4). Neue Klärwerke wurden häufig auf ehemaligem Rieselland errichtet.

Durch einen Beschluss des Ministerrates der ehemaligen DDR aus dem Jahr 1983 wurde die landwirtschaftliche Produktion auf den Rieselfeldern im Berliner Umland, vor allem im Norden Berlins, weitgehend eingestellt und die Flächen der Brache überlassen (SCHMIDT 1995).

Zur Sicherung des Wasserbedarfs des Industriestandortes Ludwigsfelde wurde die Rieselfeldstruktur im Süden Berlins teilweise unverändert belassen.

Von den ursprünglich ca. 4.300 ha Rieselfeldflächen zwischen Potsdam und Königs Wusterhausen waren 1995 noch ca. 2.000 ha in ihrer Struktur erhalten, wovon ca. 1.000 ha Anfang der 90er Jahre zur Abwasserreinigung genutzt wurden.

- Literaturstudie -

Die RFB Großbeeren, Sputendorf und Deutsch Wusterhausen mit einer Gesamtfläche von ca. 2 500 ha wurden Mitte der 90er Jahre vollständig stillgelegt, während der Rieselfeldbetrieb auf den Flächen des RFB Wansdorf im Jahr 1999 eingestellt wurde.

Die Entwicklung des ehemaligen RFB Hellersdorf (heute teilweise im Landkreis Barnim gelegen) sei an dieser Stelle exemplarisch für die im Umland von Berlin vorhandenen Rieselfelder kurz dargestellt (WINKLER 1996):

- 1817 zählte Hellersdorf 10 Einwohner, anschließend Errichtung eines Rittergutes, 1836 erwarb Ludwig Graf von Arnim (Landrat von Niederbarnim) das Gut Hellersdorf, 1860 hatte das Rittergut einen Besitz von 410 ha;
- 1886 kaufte die Stadt Berlin für 885.000 Mark das inzwischen 450 ha große Gut und das östlich der Wuhle liegende Land wurde zum Rieselgut Hellersdorf entwickelt (u.a. Bau von Ställen, Wirtschaftsgebäuden, Arbeiterwohnhäusern, Schnitterkasernen in den Jahren 1888 bis 1902);
- bis 1920 lagen Hellersdorf und das Rieselgut im Kreis Niederbarnim, die auf den Rieselflächen beaufschlagten Abwässer kamen aus Friedrichshain und Lichtenberg; 1920 wurde Hellersdorf nach Berlin eingemeindet;
- 1922 wird das Rieselgut Hellersdorf in die neugegründete Berliner Stadtgüter GmbH übernommen;
- in den 20er Jahren spezialisierte man sich auf dem Rieselgut Hellersdorf neben der Rieselwirtschaft (Anbau von Gemüse, Getreide, Gras) auf die Geflügelzucht, die zunächst begonnene Anpflanzung von Weiden entlang der Rieselgräben wurde zugunsten von Obstbäumen eingestellt;
- 1935 wurde die Berliner Stadtgüter GmbH aufgelöst, aus den Angestellten und Arbeitern der Güter wurde die Gefolgschaft (1937 in Hellersdorf: 51 Gefolgschaftsmitglieder);
- 1945 Übernahme des Rieselgutes durch die Rote Armee und Nutzung zur Eigenversorgung der Armeeingehörigen;
- 1949 Übergabe des Gutes an die neugegründete DDR und Schaffung eines Volkseigenen Gutes, Fortführung der Rieselwirtschaft, Aufgabe der Geflügelzucht und dafür Kuh- und Schafhaltung;
- nach 1968 (Inbetriebnahme des Klärwerkes Falkenberg) schrittweise Stilllegung der Rieselfelder in Hellersdorf;
- Mitte der 80er Jahre: Beginn der Errichtung von Neubaukomplexen (Wohnungsbau) auf den Hellersdorfer Feldern (Ziel: Bau von 44.000 Wohnungen);
- 1989 verlässt der letzte Storch sein Nest auf dem Schornstein der Ziegelei des ehemaligen Rieselgutes, da die Versiegelung von Wiesen und Feuchtfächen die Nahrung knapp werden ließ;
- seit Mitte der 90er Jahre: Erörterung eines Gestaltungskonzeptes für das Hellersdorfer Gut, dessen Struktur eines Berliner Rieselgutes noch heute sehr gut erkennbar ist; die Gesamtanlage steht unter Denkmalschutz;

KRATZ (1995) beschreibt die Entwicklung und Umgestaltung der ehemaligen Rieselfelder im Bereich des heutigen Forstamtes Berlin-Buch wie folgt:

- an der Nordgrenze Berlin gelegen, ca. 1.370 ha, von 1875 bis 1984 in Betrieb, nach Inbetriebnahme der Kläranlage Schönerlinde stillgelegt;
- bis ca. 1970 Acker- und Gemüsebau mit mäßiger Berieselung (100 - 4.000 mm/a), danach zunehmende Beaufschlagung ohne vorherige Einleitung in Absetzbecken; seit Ende der 70er Jahre Dauerüberstau, d.h. Intensivfilterbetrieb;
- 1985: unter starker Bodenzerstörung Einebnung der Flächen und Aufforstung mit ca. 50 Baum- und Straucharten;
- 1995: ca. 40 % der Fläche mit Pappeln, Eschen, Ahorn, Kiefern u.a. Gehölzen bestockt;

Eine Charakteristik zu den Berliner Rieselfeldern, gruppiert nach ihrer Lage, findet sich in Tabelle 5.

Detaillierte Angaben zu den geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnissen der RFB Sputendorf und Großbeeren bzw. Waßmannsdorf und Kleinziethen im Süden Berlins sind u.a. in BLUMENSTEIN ET AL (1997) und LUA (1997a) enthalten.

**Tab. 5: Charakteristik der Berliner Rieselfeldgebiete
 aus: RENGGER et al. 1995**

	Berlin-Nord	Berlin-Süd	Gatow
Geologie	Barnim-Platte Sander-Ablagerung > 10 m	Teltower-Platte Sander-Ablagerung > 20 m	Nauener - Platte Sander-Ablagerung < 3 m
Hydrologie	GW-Flurabstand 1,5 - 4 m geschlossener 1. GWL unbedeckt	GW-Flurabstand 3 - >10 m 3. GW-Leiter bedeckt und gespannt	GW-Flurabstand > 10 - 17 m 1. GWL unbedeckt
Wassergewinnung	Wasserwerk Buch	3 Wasserwerke mit Förder- leist. > als GW-Neubildung	
Berieselung	Intensivflächen > 10.000 mm/a	ca. 300 mm/Termin, bis zu 3.000 mm/a	200 - 3.000 mm/a
Zustand der Flächen	bis auf wenige Ausnahmen umgestellt, seit 1986 keine Verrieselung, seit 1986 aufgeforstet	1992: ca. 50 % der Fläche mit Klarwasserrieselbetrieb, teilweise umgestaltet	Zeitweise Verrieselung von Klarwasser
Bodenchemischer Zustand	seit der Umgestaltung: Absenkung des pH-Wertes, Freisetzung von Nitrat und Sulfat, Remobilisierung von Schwermetallen, hohe Schadstoffgehalte durch hohen Anteil an Industrie- abwässern (Cr), niedrig chlorierte „moderne“ PCB, PAK mit breitem Kow- Spektrum	auf umgestellten Flächen im Vergleich zu Berlin-Nord teilweise geringere Schwermetallbelastung teilweise Dioxinkontamina- tion (Klärschlämme)	geringe Belastung mit Schwermetallen und orga- nischen Schadstoffen Überwiegend höher chlo- rierte „alte PCB PAK mit breitem Kow- Spektrum

Nach Beendigung der Nutzung der Rieselfelder wurden die Flächen in einigen Fällen eingeebnet und umgepflügt. Dabei wurden die Gräben und Tafeln z.B. mit den im Bereich der Wälle vorhandenen Erdstoffen verfüllt.

Im Zuge dieser Arbeiten kam es auch zu einer Einbringung von schadstoffbelastetem Oberbodenmaterial der Rieseltafeln in tiefere Bodenhorizonte.

Teilflächen von stillgelegten Rieselfeldern wurden auch als Lagerplätze für Klärschlämme, für die Kompostierung von Klärschlämmen (aus den neu errichteten Klärwerken) oder für die Lagerung von Eisen-Mangan-Schlämmen aus der Trinkwasseraufbereitung genutzt (METZ ET AL. 1991).

Ebenso wurden auf Teilflächen von stillgelegten Rieselfeldern Schönungsteiche als Absetzbecken zur Nachreinigung von Klärwerksabläufen eingerichtet.

Im Bereich des ehemaligen Rieselfeldes Münchehofe wurde bis 1985 über eine Rohrleitung Klärschlamm (versetzt mit Klarwasser) als Dünger auf landwirtschaftlich genutzte Flächen aufgebracht.

2.2 Weitere Rieselfelder in Brandenburg

Neben den im Umland Berlins gelegenen Rieselfeldern existierten auch in anderen Landesteilen Brandenburgs Rieselfelder.

Die Ergebnisse einer durchgeführten Recherche zur Erfassung von Rieselfeldern im Land Brandenburg sind in Tabelle 6 und ANLAGE 4 zusammengefasst. Die Recherche ergab u.a. folgende Erkenntnisse:

- Literaturstudie -

- in allen kreisfreien Städten und Landkreisen Brandenburgs existierten Flächen, auf denen Abwasser verrieselt und/oder verregnet wurde,
- insgesamt wurden 71 Flächen unterschiedlicher Größe mit einer Gesamtfläche von über 10.000 ha ermittelt,
- die zuständigen unteren Bodenschutzbehörden gehen derzeit unterschiedlich mit der Erfassung dieser Flächen als altlastverdächtige Flächen um (betrifft z.B. die Erfassung im ISAL),
- die für die ISAL - Erfassung notwendigen Daten liegen in offensichtlich sehr unterschiedlichem Umfang und unterschiedlicher Qualität für die einzelnen Flächen vor bzw. fehlen vollständig,
- die Mehrzahl der recherchierten Flächen wurde offensichtlich bisher nicht untersucht,
- erwartungsgemäß sind die höchsten Flächenanteile in den an Berlin angrenzenden Landkreisen Teltow-Fläming, Potsdam-Mittelmark, Dahme-Spreewald und Barnim zu verzeichnen,
- auf mehreren Riesefeldern wurden in den letzten Jahren neue Klärwerke errichtet,
- die Einbeziehung der regionalen Abwasserzweckverbände, der Betriebsgesellschaft Berliner Stadtgüter mbH und der Berliner Wasserbetriebe in die endgültige Erfassung der Flächen ist erforderlich.

Tab. 6: Rieselfelder und Flächen zur Abwasserverregnung in Brandenburg

Kreisfreie Stadt/ Landkreis	Rieselfelder und Flächen zur Abwasserverregnung	
	Anzahl	Fläche, ca. ha
Brandenburg	2	111
Cottbus	3	160
Frankfurt (Oder)	1	673
Potsdam	2	155
Barnim	6	1.100
Dahme-Spreewald	9	1.196
Elbe-Elster	1	20
Havelland	4	150
Märkisch-Oderland	3	304
Oberhavel	2	> 190
Oberspreewald-Lausitz	1	152
Oder-Spree	5	80
Ostprignitz-Ruppin	5	199
Potsdam-Mittelmark	9	> 1.500
Prignitz	4	> 1.000
Spree-Neiße	2	> 360
Teltow-Fläming	7	> 3.000
Uckermark	5	53

2.3 Rieselfelder in anderen Regionen Deutschlands

Zu ausgewählten Riesefeldern aus anderen Regionen Deutschlands sowie dem Ausland liegen im Landesumweltamt Brandenburg Daten vor (z.B. zur Schadstoffbelastung von Böden dieser Rieselfelder). Diese Angaben können bei Bedarf insbesondere zur Vervollständigung des Bildes über den Betrieb, die Altlastensituation und mögliche Nachnutzungen von ehemaligen Riesefeldern dienen.

Im Rahmen der von den Autoren durchgeführten Arbeiten wurden für **Rieselfelder in Deutschland** (ohne Land Brandenburg) Angaben zu über 180 Standorten recherchiert und erfasst.

Nachfolgend werden einige Standorte außerhalb des Landes Brandenburg benannt:

Freiburg im Breisgau (1891-1985: ca. 300 Rieselparzellen, 320 ha)

Quellen: HEINRICHSMEIER (1995), BEER (2000)

Münster (Westfalen) (1901: ca. 60 ha, Mitte der 60er Jahre: ca. 540 ha Rieselfläche)

Quellen: FELIX-HENNINGSEN & ERBER (1992), WILBERS & FELIX-HENNINGSEN (1994), HARENGERD (1995), HARENGERD & SUDFELDT (1995), HARENGERD et al. (1995)

Magdeburg (ursprünglich 242 ha Rieselfläche)

Quelle: MEISSNER et al. (1993)

Braunschweig (1895: ca. 400 ha Rieselfläche, heutige Fläche: ca. 4.600 ha)

Quellen: RADÜNZ (1987), BOLL & EGGERS (1987), INGWERSEN et al. (1997), SOWA et al. (1992), STRECK (1995), TEISER (1998), KLOSS (1996).

Wolfsburg (1940: Einrichtung, ca. 1.500 ha Abwasserverregnungsfläche)

Quellen: BOLL & EGGERS (1987), www.abwasserverband-wob.de

Gütersloh (1930 bis 1963)

Quelle: www.ee.fh-lippe.de/umblick (2001)

Dortmund (1898: Beginn des Rieselbetriebs, 1976: 1.000 ha, heute noch ca. 600 ha)

Quelle: www.B747N.de (2001)

Moers (Rieselfelder von 1905 bis 1950)

Quelle: MOERS (2001).

Weitere Informationen zur Rieselfeldwirtschaft in Deutschland und im Ausland finden sich u.a. in folgenden Monographien und Handbüchern:

FEIGIN, A., I. RAVENA & J. SHALVET (1991): Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection.

KUMAR, M.S. (1999): Proceedings of the national workshop on wastewater treatment and integrated agriculture.

MARA, D. & S. CAIRNCROSS (Edit.) (1989): Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture.

MOSHIRI, G.A. /Hrsg. (1993): Constructed wetlands for water quality improvement.

PESCOD, M.B. (1992): Wastewater treatment and use in agriculture.

ROSE, G.D. (1999): Community - based technologies for domestic wastewater treatment and reuse: options for urban agriculture.

SCHWARZ, K. (1960): Entwicklung, Stand und Verbesserungsmöglichkeiten der Abwasserbehandlung in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der weiträumigen Verwertungsanlagen.

WHITEHOUSE, L.J., H. WANG & M.D. TOMER (2000): New Zealand guidelines for utilisation of sewage effluent on land.

3 Wirkungen des Rieselfeldbetriebs auf das Schutzgut Boden

Durch die langjährige Beaufschlagung der Rieselfelder mit Abwasser kam es zu Veränderungen der

- *chemischen Beschaffenheit*
- *physikalischen Beschaffenheit*
- *biologischen Beschaffenheit*

des Bodens.

BLUMENSTEIN ET AL (1997) heben hervor, dass der Input in Rieselfeldböden im Umland von Berlin neben Abwasser auch durch

- Restprodukte der landwirtschaftlichen Intensivnutzung der Rieselfelder (Agro-chemikalien, Abprodukte aus der Tierproduktion),

- **Literaturstudie** -

- unkontrollierte Stoffeinträge privater, gewerblicher und kommunaler Verursacher sowie
- Immissionen über den Luftpfad

gekennzeichnet war.

Infolge des Stoffeintrages mit dem Abwasser werden insbesondere folgende Veränderungen der Beschaffenheit der Rieselfeldböden beschrieben (SOWA ET AL. 1992):

- Herausbildung relativ mächtiger und sorptionsstarker Oberbodenhorizonte ($A_{h,p}$) mit starker Humus- und Schwermetallanreicherung in der Bodenkrume (Humusgehalte von mehr als 5 %);
- tiefreichende „Verbraunung“ der Unterböden (B_v) und des Untergrunds durch Anreicherung von Huminstoffen und Metalloxiden im Ergebnis der Stoffverlagerung durch die Rieselung;
- verstärkter Stoffaustrag (Auswaschung) in Unterbodenhorizonte (A_e , B_{hs}) mit Verlust an Sorptionskapazität und Bildung von Ortstein als anthropogen verstärkter Podsolierungsprozess sogenannter „rieselmüder Böden“;
- Auswaschung und tiefere Anreicherung von Ton, Schluff und Sesquioxiden im Unterboden (S_w, S_d, S_g) in Verbindung mit dem Wechsel von starker Vernässung und Austrocknung als sekundäre Pseudovergleyung schluffig-lehmiger Sandböden (Pseudogley-Böden - siehe auch: SCHMIDT (1998));
- sekundäre Vergleyung (G_o , G_t) von Böden durch Grundwasseranstieg.

Aus der Sicht des Bodenschutzes sind auf stillgelegten Rieselfeldflächen vor allem folgende **Bodenfunktionen** beeinträchtigt (BAUER & POHL 1998):

Pufferfunktion (durch Säureproduktion stellen Rieselfelder eher Stoffquellen dar),

Filterfunktion (für viele Stoffe ist der Input in die Böden größer als der Output),

Speicherfunktion (Freisetzung von Stoffen durch Humusabbau),

Lebensraumfunktion (ungünstige Milieubedingungen für Flora und Fauna),

Produktionsfunktion (ungünstige Wuchsbedingungen durch Schadstoffe und schlechte Wasserhaltekapazität).

3.1 Veränderungen der chemischen Beschaffenheit des Bodens

Die Inhaltstoffe des beaufschlagten Abwassers, wie organische Substanz, Fette, Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel...), Schwermetalle, Tenside, organische Schadstoffe und andere Abwasserinhaltsstoffe wurden in Rieselfeldböden eingetragen, akkumuliert und z.T. metabolisiert, so dass sie die chemische Beschaffenheit des Bodens nachhaltig beeinflusst und verändert haben.

Als wesentliche Faktoren, welche die Veränderungen der chemischen Beschaffenheit der Rieselfeldböden hervorgerufen haben, wurden von HÜTTL & SEMMEL (1995) genannt:

- Qualität und Beschaffenheit der Beaufschlagungswässer (häusliche Abwässer, Abwässer aus Gewerbe und Industrie, Regenwasseranteil...);
- Regime der Abwasserbeaufschlagung (Intervalle, Dauerüberstau ...);
- Dauer der Nutzung der Rieselfelder;
- Exposition;
- Standorteigenschaften, Dränagewirkung, Einwirkungsdauer;
- Bodensubstrat (Filterleistung);
- Tafelmorphologie (kleinräumige Heterogenität);
- regionales Klima (Niederschlag, Transpiration, Evaporation).

3.1.1 Nährstoffe und organische Substanz

Im auf Rieselfelder verbrachten Abwasser überwogen anteilmäßig organische Bestandteile (Kohlenstoffverbindungen) und Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium...) gegenüber Schadstoffen (Tab. 7 bis 9).

Tab. 7: *Chemische Zusammensetzung von Abwasser in Berlin-Gatow
Mittelwerte aus 16 Messungen 1978/79, Werte in mg/l, aus: BLUME (1995)*

- Literaturstudie -

	pH	NO ₃	NH ₄	NO ₂	org. N	org. C	P	Cu	Fe	Mn	Zn
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

Stickstoff (N), ein Hauptbestandteil im Abwasser, liegt in diesem vor allem als Ammonium und in organischer Form vor. Der organische N wird im Boden durch Mikroorganismen zu Ammonium abgebaut (**Ammonifizierung**).

Der überwiegende Anteil des mit dem Abwasser in den Boden direkt eingetragenen und des durch Ammonifizierung im Boden gebildeten Ammoniums wird durch Bodenmikroorganismen (Nitrosomonas-, Nitrosococcus-, Nitrosospira-, Nitrosolobus-, Nitrobacter-, Nitrospira- und Nitrococcus-Arten) über Nitrit zu Nitrat nitrifiziert (**Nitrifikation**). Diese Mikroorganismen nutzen die bei der Nitrifikation freiwerdende Energie zur Assimilation von CO₂. Nitrifizierende Bakterien sind als Aerobier auf eine ausreichende Bodendurchlüftung angewiesen, deshalb erfolgt diese Stufe der N-Transformation auf Rieselfeldern vor allem in der oberen, durchlüfteten Bodenzone. Die Umsatzleistungen der Mikroorganismen sind mit der Temperatur und Feuchtigkeit des Bodens positiv korreliert.

Ein Teil des Ammoniums aus dem Abwasser wird an Tonmineralien oder organischem Material im Boden adsorbiert (**Ammoniumfixierung**).

Von geringerer Bedeutung im Stickstoffkreislauf auf Rieselfeldern sind die direkte Aufnahme von Ammonium durch auf den Rieselfeldern wachsende Pflanzen oder die Umwandlung von Ammonium in Ammoniak und dessen **Ausgasung** aus dem Boden.

Das im Ergebnis der Nitrifikation entstandene Nitrat kann aus Rieselfeldböden in der Regel leicht in das Grundwasser eingetragen werden (**Nitratauswaschung**). Übersteigt der Ammoniumeintrag die Sorptionspotenz des Bodens erheblich, kommt es neben der Nitrifikation zur Verlagerung von gelöstem Ammonium-N aus dem Oberboden in tiefere Schichten und unter bestimmten hydrogeologischen Umständen zum Ammoniumeintrag in das Grundwasser.

Die Verlagerung von Stickstoff aus Rieselfeldböden in das Grundwasser wird von mehreren Prozessen des Stickstoffmetabolismus geprägt:

- Bis in Bodentiefen mit geeigneten Stoffwechselbedingungen für Nitrifikanten kann Ammonium zu Nitrat oxidiert werden. In Böden mit tieferer Luftführung (z.B. nach mechanischer Bodenbearbeitung von Rieselfeldern) kann sich die Nitrifikation des sorbierten und gelösten Ammoniumstickstoffs bis in den Unterboden hinein abspielen.
- Als Anion kann das Nitrat-Ion von Austauschkörpern nicht sorptiv gebunden werden und wandert mit dem Sickerwasser in die Tiefe, ggf. bis ins Grundwasser ab.
- Treten in Rieselfeldböden mit zunehmender Tiefe oder durch die starke Vernässung reduktive Verhältnisse ein, wird das gebildete Nitrat von fakultativ anaeroben Bakterien veratmet (**Denitrifikation**). Diese Mikroorganismen (Denitrifikanten) benutzen Nitrat als Wasserstoffakzeptor und wandeln Nitrat über Nitrit zu Stickoxiden und elementarem Stickstoff um, die u.U. gasförmig aus dem Boden entweichen können.
- Im Übergangsbereich von ungesättigter zu gesättigter Zone steigt die Denitrifikation gesetzmäßig an. Die höchsten Denitrifikationsleistungen werden im Aquifer erreicht (UBA 1991).

Von den Stickstoffverbindungen in den Böden stillgelegter Rieselfelder kann vor allem das Nitrat in einem zur Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasser gesundheitlich relevant sein. Gesundheitsgefährdend ist nicht das mit dem Trinkwasser durch den Menschen aufgenommene Nitrat selbst (Primärtoxizität: ca. 500 mg Nitrat/l Trinkwasser). Toxisch wirkt, insbesondere für Säuglinge, vielmehr das im menschlichen Körper aus Nitrat gebildete Nitrit, wobei Nitrit den sauerstoffübertragenden Blutfarbstoff Hämoglobin blockiert.

**Tab. 8: Zusammensetzung von Abwasser unterschiedlicher Herkunft zur Verrieselung
Werte in mg/l, aus: HOFFMANN (2001)**

	Berlin 1928	Berlin 1985 - 1994	Berlin- Ruhleben 1994 - 1995	Braunschweig 1974 - 1976	Braunschweig 1980 - 1990
Stickstoff	42 - 149	38 - 60	26	66	-
Phosphor	8 - 34	9 - 11	2	18	-
Schwefel	-	-	-	46	-
Chlorid	-	-	-	106	-
Calcium	83 - 112	-	50	59	-
Kalium	10 - 80	-	10	21	-
Magnesium	-	-	4	8	-
Natrium	-	-	41	73	-
Cadmium	-	-	0,0016	-	0,0122
Zink	-	0,5 - 1	0,455	-	0,867

Zu den Stoffen mit Umweltrelevanz auf ehemaligen Rieselfeldern sind auch **Phosphorverbindungen (P)** zu rechnen.

Die gelösten Phosphate aus dem Abwasser werden bei Eintrag in den Rieselfeldboden sorptiv an Tonminerale gebunden sowie in weniger lösliche bis schwerlösliche Verbindungen umgewandelt. Unter den anorganischen Phosphaten dominieren in schwach sauren bis alkalischen Böden mit hoher Ca^{++} -Aktivität teilweise leichter lösliche Calcium-Phosphate, bei niedrigem pH-Wert dagegen Aluminium- und Eisenphosphate, die zumeist schwer löslich sind. Aus der Sorption und den vielfältigen Bindungsverhältnissen im Boden resultiert eine im Vergleich zu anderen Nährstoffen geringe Konzentration von Phosphor in der Bodenlösung, die allerdings in der Regel auf Rieselfeldböden deutlich höher als in nicht mit Abwasser beaufschlagten Böden sein kann.

Aufgrund des langjährigen P-Eintrages in Rieselfeldböden kann es zur Verlagerung von löslichen Phosphorverbindungen in tiefere Schichten und zu einer P-Auswaschung ins Grundwasser kommen. In das Grundwasser gelangtes Phosphat ist gesundheitlich von geringer Bedeutung. Von anorganischen Phosphorverbindungen sind keine toxischen Wirkungen bekannt. Von Bedeutung ist allerdings deren Rolle bei der Eutrophierung von Gewässern.

**Tab. 9: Stofffrachten im Abwasser der Rieselfelder im Süden Berlins
Werte in kg/ha/a, aus: BLUMENSTEIN et al. (1991)**

Stoff	Fracht mit dem Abwasser
Stickstoff (N_t)	1.560
Cadmium	0,3 - 0,5
Chrom	3,4 - 5,6
Blei	2,2 - 3,4
Kupfer	28 - 45
Nickel	9,5 - 12,9
Zink	56 - 84

BLUME (1995) beschreibt das auf die Rieselfelder Berlin-Karolinenhöhe gelangte Abwasser wie folgt: „Das Abwasser verließ gelbbraun gefärbt, sauerstoffreich und nitratreich die Haushalte und erreichte schwarzgefärbt, ammoniumreich und mit H_2S angereichert nach 6 - 8 Stunden die Rieselfelder praktisch nitrat- und sauerstofffrei.“

Die eiweißreiche organische Substanz des Abwassers wurde im Rieselfeldboden relativ rasch abgebaut, gleichzeitig wurde Stickstoff stark angereichert (BLUME 1995). Festzustellen war auch eine Anreicherung von Natrium in Rieselfeldböden (Tab. 10). Die pH-Werte des alkalischen Abwassers sorgten für einen

- Literaturstudie -

leichten pH-Wert-Anstieg im Boden, der allerdings durch Freisetzung von Kohlensäure und Bildung von Salpeter- und Schwefelsäure niedriger, als zu erwarten war, ausfiel.

**Tab. 10: Stoffliche Zusammensetzung eines Rieselfeldbodens im Vergleich mit einem nicht mit Abwasser beaufschlagten Ackerboden
Geschiebemergel-Parabraunerde, Werte in g/m², aus: BLUME (1995)**

	pH	C _{org}	N _t	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P _t	P _a	Ca _a	Mg _a	K _a	Na _a
1 - 20 cm											
Acker	6,3	5,3	290	16	1,7	-	59	200	17	28	0,8
Rieselfeld	5,5	3,7	390	5,2	8,7	220	20	77	13	20	14
20 - 100 cm											
Acker	6,2	8,4	480	48	12	-	-	1.020	110	-	32
Rieselfeld	6,5	3,4	450	35	15	850	-	700	78	-	180

Auf den ehemaligen Rieselfeldern **Berlin-Buch** wurde von KRAUSS & STROHBACH (1999) der Oberboden untersucht und mit einem unbelasteten Standort verglichen. Die Ergebnisse zeigten eine deutliche Anreicherung von organischer Substanz, Stickstoff, austauschbarem Calcium, Magnesium und Kalium sowie an löslichen Phosphor infolge der Abwasserverrieselung (Tab. 11).

**Tab. 11: Stoffliche Charakteristik des Oberbodens der Rieselfelder Berlin-Buch
44 Rieselgalerien, ca. 300 Proben, 0 - 20 cm
aus: KRAUSS & STROHBACH (1999)**

	C _t %	N _t %	C/N	pH-Wert	Ca _{aust.} mg/100g	Mg _{aust.} mg/100g	K _{aust.} mg/100g	P _{lös.} mg/100g
Rieselfeld	7,4 3,1 - 13	0,90 0,46 - 0,49	8,2 6,1 - 8,8	5,5 4,7 - 6,5	183 29 - 774	4,7 0,2 - 23	14,3 3,0 - 40	138 10 - 325
Vergleichs- standort *	1,6 0,7 - 2,6	0,06 0,03 - 0,09	26,3 24,1 - 29,9	4,0 3,5 - 4,5	22 16 - 33	1,4 1,2 - 1,8	8,5 5,8 - 13,1	26,2 20,3 - 40,5

obere Zeile Mittelwert
untere Zeile Minimalgehalt - Maximalgehalt
* Standort ohne Abwasserverrieselung

Ähnliche Ergebnisse erbrachten die Untersuchungen von HOFFMANN ET AL (2000) auf dem gleichen Rieselfeldstandort (Tab. 12). Gleichzeitig belegen diese Ergebnisse, dass im Resultat der verstärkten Mineralisation von organischer Substanz im großen Umfang Nitrat, Sulfat und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) gebildet und in die Tiefe verlagert wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Flächen in Berlin-Buch bereits Mitte der 80er stillgelegt wurden, d.h. neben dem Einfluss des bis dahin beaufschlagten Abwassers sind auch die nach Einstellung der Verrieselung stattfindenden Veränderungen der chemischen Beschaffenheit des Bodens von großer Bedeutung bei der Beurteilung ehemaliger Rieselfeldböden.

HOFFMANN (2001) verweist zugleich darauf, dass bei Nährstoffen (Ca, Mg, K, Nitrat, Sulfat) in der Bodenlösung deutliche saisonale Einflüsse nachweisbar waren. In der Vegetationsperiode waren, bedingt durch die Pflanzenaufnahme, die Konzentrationen dieser Stoffe in der Bodenlösung am Standort Berlin - Buch deutlich geringer als im Herbst und Winter.

Tab. 12: Ausgewählte Parameter in der Bodenlösung in unterschiedlichen Tiefen im Bereich der Rieselfelder Berlin-Buch, monatliche Untersuchungen zwischen 1993 und 1997, aus: HOFFMANN et al. (2000)

Tiefe	pH	DOC [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	SO ₄ [mg/l]
50 cm	4,7	33	57	543

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

	3,2 - 6,9	7 - 122	1,3 - 478	0 - 4.360
100 cm	4,3	21	75	1.167
	3,6 - 5,7	10 - 85	2,2 - 978	147 - 2.750
180 cm	4,1	21	146	1.398
	0,7 - 2,6	10 - 85	10,2 - 889	39 - 3.070

obere Zeile Mittelwert
untere Zeile Minimalgehalt - Maximalgehalt

Untersuchungen des Bodens auf den Rieselfeldern **Schenkenhorst** (RFB Sputendorf; Landkreis Potsdam-Mittelmark) zeigten, dass die Abwasserbeaufschlagung zu einer Zunahme der Porenwassergehalte und damit verbunden zu einer Abnahme der Redoxpotentiale führte (BLUMENSTEIN ET AL 1997A).

Deshalb wurde das Fließgleichgewicht der Stofftransformation zugunsten reduktiver Prozesse verschoben, was zur Anreicherung von organischer Substanz führte. Ein Teil der organischen Stoffe wurde auch direkt mit dem Abwasser zugeführt. Im Reduktionsprozess wurden H^+ -Ionen verbraucht, so dass der pH-Wert des Bodens anstieg. Zum Anstieg des pH-Wertes trug auch die neutrale bis alkalische Reaktion des Abwassers bei.

Die Gehalte an organischer Substanz in den Rieselfeldböden im **Süden Berlins** waren gegenüber nicht mit Abwasser beaufschlagten Böden deutlich erhöht (GRUNEWALD ET AL 1996). Die Gehalte auf verschiedenen Teilflächen der Rieselfelder variierten stark, die höchsten Konzentrationen an organischer Substanz wurden in ehemaligen Absetzbecken ermittelt (Tab. 13).

Tab. 13: Gehalte an organischer Substanz im Oberboden von Rieselfeldern im Süden Berlins, Werte in %, aus: BLUMENSTEIN et al. (1997a)

Rieselfeldelement	Mittelwert	Minimum	Maximum
Rieseltafel, aktiv	4,6	1,9	17,4
Rieseltafel, umgestaltet	2,8	1,5	6,9
Absetzbecken	35,5	0,9	68,5
Zuleiter	10,4	0,5	41,1
Vergleichsfläche	2,3	1,0	4,5

Nach Einstellung der Beaufschlagung mit Abwasser kam es auf diesen Rieselfeldern zu einer Mineralisierung der organischen Substanz ebenso wie zu einer Abnahme des pH-Wertes und der Pufferkapazität der Rieselfeldböden. Die Absenkung des pH-Wertes wurde vor allem durch die Oxidation von Ammonium, von Sulfid und der organischen Substanz und die damit verbundene Freisetzung von H^+ - Ionen bewirkt (BLUMENSTEIN ET AL 1997A).

Untersuchungen der Riesel tafeln der Rieselfelder **Fürstenwalde** (Landkreis Oder-Spree) zeigten starke Anreicherungen von Phosphat und löslichen Stickstoffverbindungen im Oberboden (Tab. 14).

Tab. 14: pH-Werte und Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Oberboden der Riesel tafeln der Rieselfelder Fürstenwalde Nährstoffgehalte in mg/100 Boden, aus: LUA (1993 b)

	pH - Wert	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	NH ₄ -N	NO ₃ -N
humose Deckschicht (ca. 0 - 10 cm)						
x min	4,4	30	0,24	3,2	0,12	0,01
x max	6,2	73	38	33	15,5	11,5
mineralischer Oberboden (ca. 10 - 30 cm)						
x min	4,1	8,9	0,24	2,2	< 0,01	< 0,01
x max	6,0	70	9,3	19	9,9	8,8

Mit Abwasser beaufschlagte Böden der Rieselfelder **Münster** wiesen gegenüber nicht berieselten Standorten ebenfalls deutlich höhere C-, N- und P-Gehalte sowie geringere Mn-Gehalte auf, erhöht waren auch die pH-Werte (FELIX-HENNINGSSEN & ERBER 1992).

Der Gehalt an amorphen Eisenoxiden hatte sich durch die Abwasserverrieselung in Münster nicht geändert, während durch den Phosphateintrag Fe-Oxide mit Phosphat angereichert wurden. Derartige Oxide können mehr Schwermetalle binden als phosphatfreie Fe-Oxide, d.h. die Zufuhr von organischer Substanz und Phosphaten mit dem Abwasser erhöhte zugleich die Sorptionskapazität für Schwermetalle. Neben organisch gebundenen Phosphaten überwogen Aluminium- und Eisenphosphate in den Böden der Rieselfelder Münster.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch auf die Mobilisierung von Bodenphosphaten durch Reduktion von schwerlöslichem Eisen-(III)-Phosphat in leichter lösliches Eisen-(II)-Phosphat auf stillgelegten Rieselfeldern im Falle deren Feuchthaltung durch Verrieselung von Klarwasser (PORTMANN 1995; KÜHNE & TESSMANN 1996).

Relevant kann auf Rieselfeld - Standorten auch der oberflächliche Abfluss von Niederschlägen aus den mit Phosphaten und Stickstoff angereicherten Bodenflächen oder über Dränagesysteme in Vorfluter werden. Die im Abfluss mitgeführten Phosphate wirken stark eutrophierend.

3.1.2 Schwermetalle

Neben dem Anstieg der Gehalte an Nährstoffen und organischer Substanz sowie den Veränderungen der Bodenreaktion in Rieselfeldböden stellt der Eintrag von Schwermetallen mit dem Abwasser die bedeutendste Veränderung der chemischen Bodenbeschaffenheit mit Umweltrelevanz dar.

Im Abwasser enthaltene Schwermetalle, wie Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber oder Zink werden in Form von Sorptionskomplexen bei hohen pH-Werten unter aeroben Bedingungen im Rieselfeldboden vorübergehend festgelegt, können aber z.B. nach Einstellung der Beaufschlagung von Abwasser in Rieselfeldböden remobilisiert werden.

Schwermetalle gelangten sowohl mit gewerblichen und industriellen Abwässern (vorwiegend aus der Metallbearbeitung) aber auch mit häuslichen Abwässern (Mischkanalisation mit Regenwasser) in die Böden von Rieselfeldern.

Als Quellen für Schwermetalleinträge ins Abwasser sind außerdem zu nennen (FELIX-HENNINGSSEN & ERBER 1992, UBA 1988, MARKUS & MC BRATNEY 2000):

- **Blei:** aus Treibstoffen gelangte Blei mit Abgasen auf die Straßen und wurde mit Regenwasser abgeschwemmt; durch Korrosion der Hausinstallation (Wasserrohre) Eintrag von bleihaltigen Korrosionsprodukten in das Abwasser;
- **Zink:** aus menschlichen und tierischen Fäkalien (z.B. aus Pferdekot zu Beginn des Jahrhunderts); durch Korrosion von Hausinstallationen (verzinkte Wasserrohre, Regenrinnen, Fallrohre) oder Hausverkleidungen (Verkleidungsbleche an Schornsteinen und Dachluken, Deckung ganzer Dächer oder Dachteile) und Eintrag von zinkhaltigen Korrosionsprodukten in das Abwasser;
- **Kupfer:** durch Korrosion von Hausinstallationen (Wasserrohre, Regenrinnen und Fallrohre), von Verkleidungen von Dächern, Dachteilen und Fassaden oder von Kupferkesseln und Eintrag der kupferhaltigen Korrosionsprodukte in das Abwasser;
- **Cadmium:** vor allem im Abwasser aus dem blei- und zinkverarbeitenden Gewerbe, aus Betrieben zur Herstellung von Ni-Cd-Batterien oder Elektroplatinen, der Pigmentherstellung oder der Herstellung von Plaste.

Ein gewisser Anteil an Schwermetallen in Rieselfeldböden kann auch durch schwermetallhaltige Staubpartikel aus der Luft eingetragen werden (DÄMMGEN ET AL 2001, UMWELTATLAS 2000). Dabei kann die De-

- Literaturstudie -

position von Schwermetallen aus der Luft sowohl ins Abwasser (Regenwasser in Mischkanalisationen) als auch auf Rieselfeldböden direkt erfolgen.

Mengenmäßig überwiegen im allgemeinen im Abwasser die Elemente Zink und Kupfer gegenüber anderen Schwermetallen (Blei, Cadmium, Chrom, Nickel). Dies zeigt zum Beispiel die Schwermetallbilanz im Abwasser im Gebiet Berlin-Schöneeweide und Berlin-Treptow aus dem Jahr 1986 (Tab. 15).

Tab. 15: Schwermetalle im Abwasser im Gebiet Berlin - Schöneeweide und Berlin-Treptow Bilanz für das Jahr 1986, Werte in t/a, aus: BAUER et al. (1991)

Schwermetall	Abwasser Großindustrie	Abwasser Kleinindustrie	kommunales Abwasser	Summe
Blei	5,5	0,4	1,0	6,9
Cadmium	1,22	0,03	0,05	1,30
Chrom	1,94	0,30	0,19	2,42
Kupfer	45,3	1,5	1,0	47,8
Nickel	3,60	0,30	0,34	4,24
Zink	24,4	2,6	7,0	34,0

3.1.2.1 Schwermetallgehalte

Mit dem Abwasser zugeführte Schwermetalle werden im Rieselfeldboden an Tonmineralien, pedogenen Oxiden sowie organischer Substanz gebunden (metallorganische Komplexe), können als schwer lösliche Salze ausfallen oder in Oxiden okkultiert werden. Sie sind deshalb leichter remobilisierbar als geogene Schwermetalle, die in silikatischer oder sulfidischer Bindung vorliegen (FELIX-HENNINGSEN & ERBER 1992).

Bei den gut wasserdurchlässigen, sandigen Substraten des jungpleistozän geprägten Gebietes der Rieselfelder im Süden Berlins stellt die organische Bodensubstanz das entscheidende Adsorbens für die Schwermetalle dar (GRUNEWALD ET AL 1996, HOFFMANN 2001).

Die Korrelationskoeffizienten zwischen organischer Substanz und Schwermetallgehalten im Oberboden liegen bei 0,7 ... 0,9, d.h. mit zunehmendem Humusgehalt des Rieselfeldbodens nehmen in der Regel auch die Schwermetallgehalte zu (GRUNEWALD 1995, RENGER ET AL 1995).

Für Böden der Rieselfelder Berlin-Buch wurden Korrelationskoeffizienten von 0,88 bis 0,94 zwischen organischer Substanz und Schwermetallen (Blei, Cadmium, Kupfer, Zink) ermittelt (SCHLENTHER ET AL 1996).

Nach SALT (1988) werden in Rieselfeldböden die Schwermetalle in folgender Reihenfolge festgelegt: Cd < Zn < Ni < Cu < Cr < Pb.

STROHBACH (2000) beschreibt die Bodenentwicklung im Bezug zur Schwermetallbelastung und der Anreicherung von organischer Substanz für ehemalige Rieselfelder im **Norden Berlins** wie in Tabelle 16 dargestellt.

Tab. 16: Bodenentwicklung und Schwermetallbelastung auf ehemaligen Rieselfeldern im Norden Berlins (forstliche Standortkartierung) Blankenfelde, Buch, Hobrechtsfelde, Schönerlinde, aus: STROHBACH (2000)

Standortgruppe	Bodentyp	Merkmale	Lage	Schwermetallbelastung
K2 durchschnittlich wasserversorgte, kräftige Standorte mit pH-Werten > 4,5, Basensättigung 30 - 40 %	Parabraunerde (gekappt)	geringmächtige A - Horizonte über anstehenden Geschiebelehm	gekappte Böden an Wegen, planierte Fläche, Spülflächen	gering

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Z2 durchschnittlich wasser- versorgte, kräftige Stand- orte mit pH-Werten 3 - 4, Basensättigung 10 - 15 %	Braunerde- Regosole	geringmächtige A - Horizonte über schwach ausgeprägten Bv-Horizonten		
NZ2 nährstoffarme, grund- wassernahe Standorte	Kolluvisole	mächtige humose A -Horizonte über meist reliktsichen Ah- Horizonten	Auftragsböden im Bereich von Auslass- becken, Dämmen	hoch
Z2 Z1 grund- bzw. stauwasser- beeinflusste Standorte mit pH-Werten 3 - 4, Basen- sättigung 10 - 15 %	Braunerde - Podsole	nahezu ungestört gelagerte Böden mit Klärschlammresten in den humosen A-Horizonten		
NZ2	Reduktosole	mächtige Klärschlamm- schichten (> 1m)	Auftragsböden im Bereich von Einlassbecken, Dämmen	sehr hoch
Z1	Kolluvisole	unterschiedlich mächtige Klär- schlammsschichten über anste- hendem Bodenmaterial		
K2	Braunerde - Pseudogleye	in A - Horizonte eingearbeitete Klärschlämme auf bindigen Böden		

Im Oberboden von Rieselfeldern im **Süden Berlins** waren die in den Tabellen 17 und 18 ausgewiesenen Schwermetallgehalte anzutreffen.

Tab. 17: *Arsen- u. Schwermetallgehalte in Oberböden von Rieseltafeln im Süden Berlins arithmetische Mittelwerte, ca. 2000 ha, 0-35 cm, aus: GRUNEWALD et al. (1996b)*

		Rieseltafel	Vergleichsstandort
Organische Bodensubstanz	%	5,5	2,5
Arsen	mg/kg	9,7	k.A.
Blei	mg/kg	194	30
Cadmium	mg/kg	7,4	0,6
Chrom	mg/kg	61	4
Kupfer	mg/kg	124	15
Nickel	mg/kg	30	2
Quecksilber	mg/kg	6,7	k.A.
Thallium	mg/kg	2,3	k.A.
Zink	mg/kg	424	37

Tab. 18: *Schwermetallgehalte in Oberböden von Rieselfeldern im Süden Berlins Werte in mg/kg, aus: BLUMENSTEIN (1995) und SCHENK (1997)*

Element	Mittlere typische Gehalte	Maximalgehalt
Blei	200 - 250	540
Cadmium	5 - 20	70
Kupfer	100 - 150	750
Zink	500 - 2.000	3.000

- Literaturstudie -

Areale um vorhandene Deponiestandorte im Bereich dieser Rieselfelder können nach BLUMENSTEIN (1995) auch stark mit anderen Schwermetallen kontaminiert sein (bis 2.000 mg Chrom/kg Boden und bis 1.000 mg Nickel/kg Boden).

Die Böden der Rieselfelder **Waßmannsdorf** (Versuchsanlage, RFB Waßmannsdorf, Landkreis Dahme-Spreewald) weisen die in Tabelle 19 aufgeführten Schwermetallgehalte auf.

Tab. 19: *Schwermetallgehalte im Boden der Rieselfeld-Versuchsanlage Waßmannsdorf Werte in mg/kg TS, aus: PORTMANN et al. (1994) und KÜHNE & TESSMANN (1996)*

	OBS [%]	Kupfer	Cadmium	Blei	Nickel	Chrom	Zink	Quecksilber
Tafel 95 b	3,6	89	6,0	120	10,0	30	465	
Tafel 95 g	3,1	91	7,0	109	13,0	34	355	1,8 - 6,9
Tafel 95 h	2,6	58	4,0	66	7,0	20	235	

Im Oberboden von verschiedenen Rieseltafeln und Becken der Rieselfelder im Gebiet der **Genshagener Heide** (Landkreis Teltow-Fläming) wurden die in Tabelle 20 dargestellten Konzentrationen an Schwermetallen ermittelt.

Die in den 90er Jahren im Bereich der Rieselfelder im Berliner Süden erhaltenen Erkenntnisse zur Belastung der Böden mit Schwermetallen bestätigten die Befunde der bereits vor 1990 durchgeführten Untersuchungen in diesem Gebiet.

Tab. 20: *Schwermetallgehalte im Oberboden unterschiedlich belasteter Rieselfeldflächen im Gebiet der Genshagener Heide 0 - 10 cm, 4 Einzelproben je m² zu einer Mischprobe vereinigt, Werte in mg/kg TS, aus: BURHENNE et al. (1997)*

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
Tafel 59 a	102	0,7	26	33	6,6	n.b.	94
Tafel 58 e	251	2,0	88	116	11	n.b.	239
Tafel 179 m	1361	29,7	479	817	61	40,8	1.156
Tafel 112 d	330	6,9	112	660	76	n.b.	1.080
Becken	471	9,3	379	858	149	11,6	1.498

n.b. nicht bestimmt

Auf Rieselfeldern im Bereich der Gemeinden **Großbeeren, Diepensee, Saarmund, Mittenwalde und Siethen** im Süden Berlins (RFB Großbeeren, RFB Waßmannsdorf, RFB Schenkenhorst, RFB Sputendorf, RFB Boddinsfelde; Landkreise Dahme-Spreewald, Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming) wurden in den 80er Jahren ca. 4.300 ha Rieselfeldflächen untersucht. Die Schwermetallbelastung der Oberböden stellte sich, wie in Tabelle 21 zusammengefasst, dar.

Tab. 21: *Schwermetallbelastung auf landwirtschaftlich genutzten Böden von Rieselfeldern im Süden Berlins, Werte in mg/kg, 777 Proben, je 5 ha eine Bodenmischprobe aus jeweils 20 Einzelproben, 0 - 20 cm, HNO₃-lösliche Fraktion, aus: GRÜN et al. (1989)*

	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink
Minimum	0,1	8,1	1,4	13	49

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Maximum	43	730	95	1.050	1.830
Mittelwert, arithm.	4,4	65	13	82	225
Streuung (s)	4,0	50	8,3	65	145

GRÜN ET AL (1989) stellen in Auswertung der umfangreichen Arbeiten fest, dass

- der Boden der untersuchten Rieselfeldflächen erheblich mit Cadmium belastet war,
- die Zink-Belastung der Böden nicht das Ausmass der Cadmium-Belastung erreichte,
- die Blei-Belastung der Rieselfeldböden sich im Vergleich zur Cadmium- und Zink-Exposition als wesentlich geringer erwies,
- die Kupfer-Belastung im Ausmass mit der Blei-Exposition vergleichbar war und
- die Nickel-Belastung der Rieselfeldböden gering war.

Ca. 70 % der untersuchten, über 4.300 ha großen Fläche im Süden Berlins wurde als schwermetallbelastet eingestuft (METZ ET AL 1990).

Auch auf den Rieselfeldern im **Norden Berlins** waren starke Anreicherungen von Schwermetallen im Oberboden festzustellen (Tab. 22 und 23).

Tab. 22: *Schwermetalle im Oberboden der Rieselfelder Berlin-Buch*
Werte in mg/kg, 44 Rieselgalerien, ca. 300 Proben, 0 - 20 cm, aus:
KRAUSS & STROHBACH (1999)

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink
Mittelwert	52,8	2,1	92	53,6	11,3	165
Spanne von - bis	6,4 - 336	0,1 - 43,4	1,1 - 1.559	3,4 - 876	0,9 - 285	12,9 - 3.571

Tab. 23: *Schwermetalle in der obersten Bodenschicht der Rieselfelder Berlin-Buch* Werte
in mg/kg, 334 Proben, 0 - 10 cm, aus: SCHLENTHER et al. 1996, BÖKEN & HOFF-
MANN 2001

	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink
geom. Mittelwert	62	2,5	113	55	9,5	170
arith. Mittelwert	74	4,4	210	73	14	225
Spanne von - bis	6,4 - 452	0,1 - 44,3	1,1 - 1.850	3,4 - 876	0,9 - 285	12,7 - 3.584

Ähnliche Schwermetallkonzentrationen wurden im Oberboden der Rieselfelder im Osten von Berlin (Rieselfelder bei Rüdersdorf, **RFB Tasdorf**, Landkreis Märkisch-Oderland) nachgewiesen (Tab. 24).

Tab. 24: *Arsen und Schwermetalle im Oberboden der Rieselfelder Rüdersdorf*
Werte in mg/kg TS, 58 Proben, 0 - 20 cm, aus: LUA (1993a)

	Arsen	Blei	Cad- mium	Chrom	Kupfer	Queck- silber	Nickel	Zink
Minimalgehalt	1,6	6,0	< 0,6	7,3	4,4	0,05	6,2	17
Maximalgehalt	4,4	215	21	59	172	1,1	21	262

- Literaturstudie -

Für die Rieselfelder in Berlin und dessen Umland werden die in Tabelle 25 ausgewiesenen durchschnittlichen Gehalte sowie Maximalgehalte an Blei und Cadmium im Oberboden angegeben.

Tab. 25: Durchschnittliche und maximale Blei- und Cadmiumgehalte in Oberböden von Berliner Rieselfeldern, Werte in mg/kg, n=902, aus: UMWELTATLAS (2000)

	Blei	Cadmium
Durchschnittsgehalt	89	4,0
90er Perzentil	43	8,5
Maximalgehalt	1.049	42,9

Als ein Belastungsschwerpunkt der Rieselfelder im Umland von Berlin müssen die ehemaligen **Intensivfilterflächen** (ganzjähriger Abwasserüberstau - s. auch Kap. 1.3) betrachtet werden. Durch METZ ET AL. (1990) wurden z.B. folgende Schwermetallgehalte (in mg/kg) im Oberboden einer solchen Fläche festgestellt: Blei 850; Cadmium 55; Kupfer 550 und Zink 1.960.

In den Jahren 1986 - 1992 durchgeführte Untersuchungen der Böden der Rieselfelder **Freiburg** ergaben, dass die Belastung mit Schwermetallen auf diesen Flächen offensichtlich geringer als auf den Rieselfeldern im Umland von Berlin ist (Tab. 26).

Tab. 26: Schwermetallgehalte im Boden der Rieselfelder Freiburg Werte in mg/kg, aus: HEINRICHSMEIER (1995)

	Blei	Cad- mium	Chrom	Kupfer	Nickel	Queck- silber	Zink
Oberboden							
Maximum	211	2,7	68	81	32	0,08	493
Minimum	35	0,6	21	18	21	0,07	97
Mittelwert	108	1,1	29	35	29	0,08	245
Unterboden							
Maximum	87	1,5	46	40	21	-	113
Minimum	10	0,5	24	18	16	-	53
Mittelwert	25	0,9	35	23	18	-	77

Untersuchungen des Bodens der Rieselfelder **Münster, Braunschweig und Magdeburg** zeigten einen ähnlichen Trend, d.h. eine gegenüber den Rieselfeldböden im Umland von Berlin geringere Belastung mit Schwermetallen (Tab. 27).

Tab. 27: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Oberboden der Rieselfelder Münster, Braunschweig und Magdeburg im Vergleich zu Berliner Rieselfeldern Werte in mg/kg

Rieselfelder	Kupfer	Zink	Blei	Cadmium
Münster FELIX-HENNINGSSEN & ERBER (1992)	22	178	61	< 0,26
Braunschweig MÜHL-NICKEL et al. (1989)	k. A.	159	96	0,8
Magdeburg MEISSNER et al. (1993)	69	329	111	0,96
Berlin AURAND et al. (1984)	810	450	2.310	16

In den Böden der Rieselfelder der Stadt **Gütersloh** wurde eine Anreicherung mit Schwermetallen festgestellt, die deutlich über der geogenen Grundbelastung des umgebenden Gebietes liegt. Teilweise wurden Bodengehalte gemessen, die über den Grenzwerten der Klärschlammverordnung für Böden liegen (www.ee.fh-lippe.de/umblick 2001).

Die Untersuchung der Böden von Rieselfeldern im Umland der Stadt **Neumünster** (auf diese Rieselfelder wurde vorwiegend Abwasser aus Lederfabriken geleitet) ergab eine starke Belastung der oberen Bodenhorizonte mit Chrom (1.000 bis 6.000 mg/kg) und der gesamten untersuchten Profiltiefe mit Arsen (GERTH ET AL 1996, LEITFADEN 1998, GERTH ET AL 2001, KAUTZKY 2001).

Auch bewachsene Bodenfilter von Pflanzenkläranlagen können nach mehrjährigem Betrieb erhebliche Schwermetallanreicherungen im Boden aufweisen, wie das Beispiel einer Pflanzenkläranlage im Schwalmatal-Hopfgarten bei **Alsfeld** zeigt (Tab. 28). Auf diese Fläche von 240 m² wurde im Verlaufe von 12 Jahren häuslich-gewerbliches Abwasser aus einer sozialen Einrichtung mit biologisch arbeitender Landwirtschaft und einer Molkerei aufgebracht.

Tab. 28: *Gehalte an Schwermetallen im Boden einer Abwasserbehandlungsfläche (Pflanzenkläranlage) bei Alsfeld, Werte in mg/kg, aus: HAGENDORF (1999)*

	Bereich Zuleiter	Bereich Ablauf
Blei	40,2	25,5
Cadmium	9,1	4,8
Chrom	75,6	55,0
Kupfer	194	46,8
Nickel	64,1	46,0
Zink	1.437	225

3.1.2.2 Schwermetallverteilung

Ein spezielles Problem der chemischen Veränderungen von Rieselfeldböden ist die **Heterogenität der Schadstoffverteilung** im Boden. Darunter ist sowohl die Verteilung der Schadstoffe über die Fläche und Tiefe der Rieseltafeln als auch die in den unterschiedlichen Bereichen einer Rieselfeldanlage (Absetzbecken, Dämme und Wälle, Schlamm-trockenplätze, Grabensysteme, Vorflut...) zu verstehen. Da die Schadstoffverteilung für die exakte Gefährdungsabschätzung im Rahmen der Altlastenbearbeitung von ehemaligen Rieselfeldern von herausragender Bedeutung ist, werden nachfolgend auf verschiedenen Rieselfeldern gewonnene Untersuchungsdaten und Erkenntnisse zu dieser Problematik dargestellt. Einfluss auf die Heterogenität der Schadstoffverteilung haben vor allem

- die Menge des aufgetragenen Abwassers (Dauer des Rieselfeldbetriebs, jährlich aufgetragene Menge),
- die Entfernung der Tafeln zu den Absetzbecken (Abnahme der Belastung der Rieseltafeln mit zunehmender Entfernung zum Absetzbecken),
- die Art der Abdichtung der Absetzbecken und Schlamm-trockenplätze (UMWELTATLAS 2000).

SOWA ET AL (1992) verweisen darauf, dass sich Schwermetallanreicherungen (Konzentrations-maxima) auf Rieselfeldern insbesondere im Oberboden (0 - 30 cm), in Einlaufbereichen und in kleinen Senken von Rieseltafeln finden. Schwermetalle wurden flächenhaft auf langzeitlich genutzten Schlamm-trockenbeeten, Bodenfilterbrachen, im Randbereich von Rieselgräben und in Teichböden akkumuliert.

Bei den Untersuchungen der Rieselfelder im Süden Berlins vor 1990 wurde festgestellt, dass Rieseltafeln von durchschnittlich 0,25 ha sehr unterschiedlich mit Abwasser beschickt wurden und daraus eine sehr große Flächenheterogenität der Schwermetallverteilung im mittelmaßstäbigen Raster resultiert. Diese ist

- Literaturstudie -

innerhalb der Rieseltafeln nochmals kleinflächig untersetzt, d.h. auf der Verrieselungsfläche (Rieseltafel) waren sehr differenzierte Belastungen des Oberbodens mit Schwermetallen nachzuweisen (METZ ET AL 1990, Tab. 29).

Tab. 29: *Schwermetallgehalte in der Ackerkrume einer Rieseltafel in Abhängigkeit von der Entfernung zum Abwassereinlauf, Werte in mg/kg lufttrockener Boden, HNO₃-lösliche Fraktion, Tafelgröße: 50 x 50 m, aus: METZ et al. (1990)*

Entnahmestelle	Cadmium	Blei	Kupfer	Zink	Chrom	Nickel
Abwassereinlauf	15	110	120	430	47	15
↓	13	95	110	400	50	16
↓	8	65	81	280	37	13
↓	5	39	52	220	31	11
entferntester Punkt vom Einlauf	4	33	39	170	24	9

Großflächige Untersuchungen der Cadmiumbelastung auf ca. 4.300 ha Rieselfeldfläche im Süden Berlins zeigten eine außerordentliche Heterogenität der Cadmiumgehalte, wobei die Intensität der Abwasserverrieselung und die Verteilung des Wassers auf der jeweiligen Rieseltafel in Abhängigkeit von der Geländegestaltung als Hauptursachen für die Heterogenität der Cadmiumverteilung genannt wurden (GRÜN ET AL 1990A).

Nur 2 % der untersuchten Bodenproben wiesen Cadmium-Gehalte unter 0,5 mg/kg Boden auf, während 8 % der Bodenproben mit mehr als 10 mg Cadmium je kg Boden belastet waren (Tab. 30). Vereinzelt wurden Cadmium-Konzentrationen > 40 mg/kg Boden festgestellt.

Tab. 30: *Großflächige Verteilung der Cadmiumbelastung von Rieselfeldböden im Süden Berlins, ca. 4.300 ha, je ca. 5 ha eine Mischprobe aus 20 Einzelproben, 777 Proben, Oberboden 0 - 20 cm, HNO₃-lösliche Fraktion, aus: GRÜN et al. (1990a)*

Cadmium	< 0,5 mg/kg	0,5 - 3,0 mg/kg	3,0 - 10 mg/kg	> 10 mg/kg
Anteile an der untersuchten Fläche (%)	2	24	66	8

GRUNEWALD ET AL (1996A) haben bei der Untersuchung von Rieselfeldern im Süden von Berlin festgestellt, dass die höchsten Schadstoffgehalte im Oberboden vorliegen. In Abhängigkeit von Abwasserzufluss und -verteilung haben sich typische Raummuster im Oberboden, d.h. große horizontale Heterogenitäten herausgebildet.

Im Unterboden sind die Schadstoffe dagegen diffus verteilt, gegenüber nicht mit Abwasser beaufschlagten Standorten jedoch auch angereichert.

Die Ermittlung der räumlichen Verteilungsmuster für die OBS, den pH-Wert, die Körnung und die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink auf Rieseltafeln im Süden Berlins ergab, dass die Einleiterbereiche sich als Stoffsenken erwiesen, d.h. in der Regel stärker als andere Bereiche kontaminiert sind (GRUNEWALD 1995).

Engräumige Rasteruntersuchungen auf stillgelegten und noch intakten Rieselfeldern zeigten, dass an den Einleitern der jeweiligen Tafel die Abwasserstoffe sedimentierten (Absetzen der suspendierten, belasteten Feststoffe des Abwassers) und an diesen Stellen deshalb die Hauptlast der Schadstoffe zu finden waren. Die Konzentrationsunterschiede innerhalb kleinster Flächeneinheiten (Tafeln/Schläge) betragen z.T. über 1.000 %.

- Literaturstudie -

Bodensubstrate von peripheren Rieselfeld-Raumelementen, wie Dämmen, Zuleitern und Absetzbecken erwiesen sich ebenfalls als Belastungsschwerpunkte.

Festgestellt wurden lokale, inselartige bzw. girlandenförmige Belastungsmaxima, bestimmt durch Lage und Entfernung zum Zu- bzw. Einleiterbereich, die z.T. mehr als 50 % der Rieselschläge einnehmen können. Die Flächen höchster Belastung konzentrieren sich in der Nähe der Zwischenabsetzbecken. Weniger belastete Gebiete befinden sich in den Randbereichen der Schläge (Tab. 31).

Auch BLUMENSTEIN (1995) spricht davon, dass sich horizontal typische Raummuster der Verteilung der organischen Bodensubstanz und Schadstoffe auf Rieselfeldern herausgebildet haben, wobei hohe Belastungen an den Einleitern und bandförmige Ausbreitungen parallel zu den Zuleitergräben feststellbar waren. Er weist zugleich darauf hin, dass die vertikale Schadstoffverteilung auf vormals landwirtschaftlich genutzten Rieseltafeln auch durch die Bodenbearbeitung beeinflusst wurde. Bei agrotechnischer Bearbeitung war eine relativ homogene Schadstoffverteilung im Oberboden feststellbar, während bei fehlender Bearbeitung sich typische Auflagenhorizonte mit hohen Schadstoffkonzentrationen gebildet haben.

Tab. 31: Schwermetallgehalte in unterschiedlichen Raumelementen der Rieselfelder im Süden Berlins, aus: GRUNEWALD et al. (1996 b)

Raumelement		Rieseltafel	Absetzbecken	Zuleiter	Dämme	Vorflut-sedimente
Org. Bodensubstanz	%	5,5	35,5	10,4	10,8	3,8
pH - Wert		5,2	5,5	5,7	4,7	6,6
Blei	mg/kg	194	302	163	241	12
Cadmium	mg/kg	7,4	14,6	5,3	4,9	4,5
Chrom	mg/kg	61	177	61	52	30
Kupfer	mg/kg	124	555	142	129	100
Nickel	mg/kg	30	88	27	19	12
Zink	mg/kg	424	1256	444	368	168

Die Inhomogenitäten nehmen mit zunehmender Bodentiefe ab, d.h. im Unterboden war weder ein regelmäßiges Verteilungsmuster noch eine Beziehung zu den Schadstoffkonzentrationen im überlagernden Substrat nachweisbar.

Im Ergebnis der Arbeiten am Projekt „Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer“ wurde im Bereich der Rieselfeldbezirke Sputendorf und Großbeeren die räumliche Heterogenität der Schwermetallbelastung ermittelt (LUA 1997A). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Rieseltafeln** sind das bedeutendste Raumelement, die Festlegung des durch das Abwasser zugeführten Stoffpools (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Tl, Zn) erfolgte vorwiegend im Oberboden;
- höchste Konzentrationen an Schwermetallen wurden im **Einleiterbereich nachgewiesen** (konzentrisches Anordnungsmuster, starke Streuung und Inhomogenitäten);
- die vertikale Verteilung der Schwermetalle unterhalb des dünnen Auflagehorizonts ist relativ homogen (infolge agrotechnischer Bearbeitung), die Inhomogenitäten nehmen mit der Tiefe ab;
- bindigere Schichten wurden als Sickerbahnen gemieden, so dass dort keine bedenklich hohen Kontaminationen mit Schwermetallen vorhanden sind;
- in den **Absetzbecken** und auf **Intensivfilterflächen** ist die Schwermetallbelastung der getrockneten Feststoffe sehr hoch, im Boden unterhalb der Absetzbecken kann mit Schadstoffinput in den obersten Aquiferbereich gerechnet werden;
- die **Zuleiter** sind sehr differenziert belastet, die obersten Sedimentbereiche können stark kontaminiert sein;
- die **Dämme** sind mit Blei, Kupfer, Zink und Cadmium belastet;
- die **Vorfluter-Sedimente** weisen Anreicherungen von Cadmium und Quecksilber sowie Kupfer und Zink auf, insgesamt starke Streuung der Schwermetallkonzentrationen, die pH-Werte der trockenfal-

- Literaturstudie -

lenden Vorfluter waren bis < 5 gesunken, die Sedimentbereiche ca. 20 cm unter der Grabensohle sind weitgehend unbelastet;

- die **Grabenböschungen** sind nicht kontaminiert;
- der **Mündungsbereich** der Gräben in den Vorfluter Nuthe wurde als Senke für den Rieselfeldstoffpool ermittelt.

BLUMENSTEIN (1995) nennt als Rieselfeld-Raumelemente mit den stärksten Schwermetall-Kontaminationen des Bodens im Süden Berlins die

- Schlamm-trockenbeete,
- Intensivfilterflächen,
- Zwischenabsetzbecken,
- Einleiterbereiche der Rieseltafeln,
- Zuleitersysteme.

Auf ehemaligen **Rieselfeldern im Norden Berlins** (Intensivuntersuchungsfläche Berlin-Buch) wurde die höchste Belastung der Böden mit Schwermetallen im Bereich der Einleiter (Einleitbecken, insbesondere in der Umgebung der inzwischen einplanierten Dämme) festgestellt (RENGER ET AL 1995).

Die Verteilung von Schwermetallen auf den umgestalteten Rieseltafeln zeigte deutliche Unterschiede zwischen den ehemaligen Einleitern (höchste Belastung) und den vormaligen Auslassstellen der Tafeln (Tab. 32).

Tab. 32: Verteilung von Schwermetallen im Oberboden auf umgestalteten Rieseltafeln in Berlin-Buch, Werte in mg/kg, aus: SCHLENTHER et al. (1996)

Lage	Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Zink
Einleiter	138	8,9	288	141	427
	75 - 336	1,2 - 43,4	1,1 - 1.850	40,5 - 876	113 - 3.584
Mitte	58	2,3	107	51	159
	6,4 - 184	0,1 - 16,6	3,3 - 735	3,4 - 169	13 - 590
Auslass	48	1,4	102	41	126
	7,5 - 134	0,1 - 9,5	9,7 - 574	11 - 323	34 - 369

obere Zeile geometrischer Mittelwert
untere Zeile Minimalgehalt - Maximalgehalt

Zugleich wird darauf verwiesen, dass auf stillgelegten und umgestalteten Rieselfeldern die räumliche Verteilung der heute vorhandenen Schwermetallbelastung des Bodens wesentlich von den Umgestaltungsmaßnahmen nach Einstellung des Rieselfeldbetriebes beeinflusst wurde (z.B. „Verschleppen“ von belastetem Bodenmaterial durch Einebnen und Umpflügen der Rieselfeldstrukturen).

Mit zunehmender Bodentiefe nehmen die Gehalte an Cadmium und Zink auf den stillgelegten Rieselfeldern Berlin-Buch deutlich ab (Tab. 33).

**Tab. 33: Cadmium- und Zinkgehalte in unterschiedlichen Bodentiefen auf den ehemaligen Rieselfeldern Berlin-Buch
Proben aus einem stillgelegten Sickerbecken, aus NÜTZMANN et al. (2000)**

Tiefe m unter GOK	Cadmium (mg/kg)	Zink (mg/kg)

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

0,00 - 0,20	28,7	460
0,20 - 0,25	5,7	84,8
0,25 - 0,49	0,57	20,5
0,49 - 0,73	0,10	10,3
0,73 - 0,81	0,11	14,7
0,81 - 1,01	0,09	16,0
1,01 - 1,47	0,07	12,5
1,47 - 1,80	0,07	12,2
1,80 - 2,56	0,07	13,5
2,56 - 3,18	0,11	24,0
3,18 - 3,70	0,05	11,9
3,70 - 4,00	0,05	11,0

HOFFMANN (2001) charakterisiert deshalb die Schwermetallverteilung auf den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch wie folgt:

- neben Flächen mit hoher Schwermetallbelastung finden sich auch unbelastete Teilflächen,
- typisch ist eine sehr kleinräumige Variabilität, die eng mit den Humusgehalten verbunden ist (Ursache: Bindung der Schwermetalle an partikuläre Abwasser-Schwebstoffe, zusätzlich wird im anaeroben Abwassermilieu ein Teil der Schwermetalle als Sulfid ausgefällt),
- die Schwermetallbelastung ist in der Nähe der Einleiterrohre aufgrund der höheren Fließgeschwindigkeit geringer als am Ende der ersten Rieseltafel, dort trat eine stärkere Ablagerung von organischer Substanz aus dem Abwasser auf,
- die Schwermetallanreicherung ist besonders hoch im Ap-Horizont, in welchem Humus als Sorptionsträger auftritt,
- in den sandigen G-Horizonten liegen geringe Schwermetallgehalte vor, da dort sehr geringe Sorptionskapazitäten vorhanden sind,
- 30 bis 50 % der Schwermetallvorräte finden sich auf Kuppen.

Auf den ehemaligen **Rieselfeldern Waßmannsdorf** (Versuchsanlage) wurde die vertikale Verteilung von Schwermetallen auf nicht feuchtgehaltenen Flächen und auf Flächen, die mit Wasser aus dem Ablauf der Kläranlage Waßmannsdorf beaufschlagt wurden, untersucht (KÜHNE & TESSMANN 1996). Dabei zeigte sich in beiden Varianten, dass mit zunehmender Bodentiefe die Schwermetallanreicherungen deutlich zurückgehen (Tab. 34).

Tab. 34: *Verteilung der Schwermetallgehalte im Boden der Rieselfeld-Versuchsanlage Waßmannsdorf, Werte in mg/kg TS, aus: KÜHNE & TESSMANN (1996)*

Variante	Tiefe cm u.GOK	Kupfer	Cadmium	Blei	Quecksilber	Chrom	Zink
mit Wasser beaufschlagte Fläche	0 - 20	58	3,8	60	0,66	26	160
	40 - 60	17	1,3	15	0,11	5,4	100
	80 - 100	11	0,26	< 10	< 0,1	7,1	50
<u>nicht</u> mit Wasser beaufschlagte Fläche	0 - 20	85	5,2	65	0,70	37	260
	40 - 60	70	4,9	58	0,97	18	200
	80 - 100	13	0,17	< 10	< 0,1	8,6	53

Tab. 35: *Arsen- und Schwermetallgehalte in der Klärschlammauflage und im darunterliegenden Boden einer Rieseltafel auf den Rieselfeldern Rüdersdorf
Werte in mg/kg TS, aus: LUA (1993a)*

Schicht - Nr.	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn
1	6,2	237	36	145	2.025	0,93	166	4.377
2	9,8	370	139	409	4.260	2,30	217	6.325

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

3	11	1604	229	405	4.560	1,80	156	5.465
4	9,8	2722	274	318	1.320	1,30	101	4.104
6	1,2	39	4,2	16	31	0,26	10	101
7	0,8	12	< 1,5	8,6	11	0,92	7,2	40
8	0,9	7,2	< 1,5	6,2	6,1	0,72	6,4	29
9	1,5	22	< 1,5	14	29	0,42	10	84
10	1,4	33	< 1,5	17	47	0,40	12	103
11	1,4	27	< 1,5	15	41	0,60	12	106
12	21	26	< 1,5	25	95	0,41	123	246
13	1,2	3,3	< 1,5	9,5	5,4	0,97	7,0	12
14	0,3	3,1	< 1,5	2,6	0,9	1,01	3,4	< 2

Aufsteigende Schicht-Nr.: Von GOK in die Tiefe, wobei Schichten Nr. 1 bis 4 Klärschlammauflage, Schichten Nr. 6 bis 14 darunterliegender Rieselfeldboden und Schicht Nr. 12 Umgebung eines Dränagerohres bezeichnen.

Untersuchungen einer als Lagerfläche für Klärschlamm umfunktionierten Rieseltafel im Bereich der Rieselfelder Rüdersdorf (RFB **Tasdorf**) im Osten Berlins im Jahr 1992 zeigten, dass derartige Teilbereiche auf ehemaligen Rieselfeldern eine hohe Altlastenrelevanz aufweisen können (LUA 1993A).

In der ca. 0,75 m starken, seit ca. 1988 auf dem Rieselfeldboden aufliegenden, bereits stark vererdeten Klärschlammsschicht wurden sehr hohe Schwermetallgehalte festgestellt (Tab. 35).

In den unterlagernden Boden dieser Fläche hatte ein vergleichsweise geringer Schadstoffeintrag stattgefunden. Die erhöhten Gehalte im Umfeld eines im Boden liegenden Dränagerohres (Schicht 12) verdeutlichen, dass offensichtlich im Bereich von erdverlegten Dränagerohren ebenfalls verstärkt mit Kontaminationen der Rieselfeldböden zu rechnen ist.

Flächendeckende Untersuchungen der Rieseltafeln auf den **Rieselfeldern Fürstenwalde** im Jahr 1991 (Rieselfelder waren noch im Betrieb) ergaben die in Tabelle 36 dargestellte Verteilung der Belastung des Bodens mit Schwermetallen. Die Untersuchungen zeigen, dass der Rieselfeldboden dieses Standortes sehr stark mit Cadmium und Zink belastet ist, was vor allem mit dem Einleiten von stark mit Cadmium und Zink belasteten industriellen Abwässern in Zusammenhang gebracht wurde (LUA 1993B). Die Anreicherung von Arsen, Blei, Chrom, Kupfer, Quecksilber und Nickel im Rieselfeldboden Fürstenwalde ist dagegen vergleichsweise gering.

Mit zunehmender Bodentiefe war in der Regel ein deutlicher Rückgang der Schadstoffbelastung festzustellen. Auf einzelnen Rieseltafeln wurden allerdings auch in größerer Tiefe hohe Cadmium- und Zinkgehalte angetroffen, was für die Tiefenverlagerung dieser beiden Metalle am Standort Fürstenwalde spricht.

Tab. 36: Arsen- und Schwermetallgehalte im Boden der Rieseltafeln auf den Rieselfeldern Fürstenwalde, Werte in mg/kg TS, aus LUA (1993 b)

	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn
humose Deckschicht (ca. 0 - 10 cm)								
x min	0,4	38	0,5	< 1	8,7	0,05	< 1	400
x max	2,6	866	256	379	1472	1,5	79	40.500
mineralischer Oberboden (ca. 10 - 30 cm)								
x min	< 1,0	9	0,50	2,2	2,8	0,06	< 1,0	24
x max	2,0	412	37	110	195	0,46	21	5.994
Unterboden (ca. 30 - 380 cm)								
x min	< 3	< 10	< 1,5	< 2,0	< 2,0	0,01	< 2,0	5,5
x max	< 3	49	6,7	30	61	0,41	2,9	1.359

- Literaturstudie -

Auf den **Rieselfeldern Münster** wurde nachgewiesen, dass an den Stellen einer Rieseltafel, auf denen das Abwasser länger stand, sich die Konzentration der Sorbenten erhöht hatte, wodurch die Schwermetallanreicherung verstärkt wurde (FELIX-HENNINGSEN & ERBER 1992). Innerhalb einer Rieselfeldparzelle liegt an diesem Standort eine sehr heterogene Verteilung der Schwermetalle vor. Grund dafür ist die unregelmäßige Abwasserverteilung, die sich nach Beendigung einer Rieselperiode einstellte (bedingt durch Unterschiede im Kleinrelief und in der Infiltrationskapazität, z.B. durch Einschaltungen feinkörniger Schichten im Bereich der Einlassstellen). Dies wurde durch Untersuchungen der horizontalen Verteilung der Schwermetall-, Eisen- und Manganengehalte im Ap-Horizont der Rieseltafeln bestätigt (Tab. 37).

Gleichzeitig wurden unterhalb des Ap-Horizontes der Rieseltafeln in Münster deutlich geringere Metallgehalte als im Oberboden festgestellt (Tab. 38).

Tab. 37: Streuung der Metallgehalte im Oberboden der Rieselfelder Münster
Werte in mg/kg, aus: FELIX-HENNINGSEN & ERBER (1992)

Element	Eisen	Mangan	Blei	Cadmium	Kupfer	Zink
Ap - Horizont	2.400 -15.000	29 - 680	18 - 320	< 0,26	4,2 - 110	44 - 810

0 - 25 cm, 10 Mischproben entlang einer Diagonale im Abstand von 15 m, Mischprobe jeweils aus 10 Einstichen innerhalb von 4 m²

Tab. 38: Tiefenverteilung von Metallen im Boden der Rieselfelder Münster
Werte in kg/dm², aus: FELIX-HENNINGSEN & ERBER (1992)

Tiefe cm u. GOK	Mangan	Kupfer	Zink	Blei
0 - 20	2,9	0,5	4,2	1,1
20 - 200	1,8	0,2	1,5	0,3

Auf den **Rieselfeldern Braunschweig** wurde im Ergebnis einer Rasterbeprobung (500 m x 500 m) eine deutliche horizontale Streuung der Cadmium-Gehalte im Oberboden (Ap-Horizont) festgestellt (INGWERTSEN ET AL 1997). Die Cadmium-Konzentration im Boden variiert zwischen 0,033 und 1,219 mg Cd/kg (Cd bestimmt in der EDTA-Fraktion, d.h. ca. 75 % des Gesamt-Cd).

Die vertikale Verteilung des Cadmiums im Boden der Rieselfelder Braunschweigs schwankt ebenfalls deutlich. Mit dem Abwasser eingetragenes Cadmium wurde ca. 40 bis 90 cm tief verlagert, wobei auf Teilflächen mit Spargelanbau durch die Bodenbearbeitung bedingt in der Schicht 30 - 60 cm unter GOK erhöhte Cadmium-Gehalte festgestellt wurden.

3.1.2.3 Einfluss der Stilllegung von Rieselfeldern auf die Schwermetalle

Einer besonderen Betrachtung bedarf der Einfluss der Stilllegung von Rieselfeldern auf die Veränderungen der chemischen Beschaffenheit des Bodens.

Die während des Betriebes der Rieselfelder im Boden akkumulierten Schadstoffe wurden im wesentlichen in der organischen Substanz gebunden. Nach Einstellung des Rieselfeldbetriebes ist infolge des veränderten Wasserhaushalts und chemischen Bodenzustandes mit einem Abbau der organischen Substanz und mit einer Abnahme des Bindungsvermögens für Schadstoffe zu rechnen.

Die nach Einstellung der Beaufschlagung mit Abwasser stattfindende verstärkte Mineralisation von organischer Substanz im Oberboden und die Reoxidation von Metallsulfiden im Unterboden führt zur Absenkung des Boden-pH-Wertes, zum Verlust an Sorptionsplätzen und zur Remobilisierung von Schwermetallen (FELIX-HENNINGSEN & ERBER 1992, MARSCHNER ET AL 1995, BLUMENSTEIN 1995 UND

- Literaturstudie -

tallen (FELIX-HENNINGSSEN & ERBER 1992, MARSCHNER ET AL 1995, BLUMENSTEIN 1995 UND HOFFMANN & RENGGER 1998).

Die im Ergebnis dieser Bodenveränderungen remobilisierten Stoffe können in das Grundwasser bzw. in die angrenzenden Vorfluter ausgetragen werden (UMWELTATLAS 2000).

Der Humusabbau in der Krume kann außerdem zum Windabtrag von Schwermetallen und zur Degradierung von Bodenfunktionen (z.B. der Sorptionskapazität) führen (SOWA ET AL. 1992).

Prozesse der Bodenversauerung infolge Mineralisierung der organischen Bodensubstanz und damit verbundene Vorgänge der Freisetzung und Tiefenverlagerung von Schwermetallen waren auf ehemaligen Rieselfeldern auch nach Einstellung der ackerbaulichen Nutzung der Flächen oder nach forstlicher Flächenumwidmung zu beobachten (METZ ET AL 2001).

KÜHNE & TESSMANN (1996) unterstreichen: „Von Rieselfeldern vergleichbarer Belastung wie in der Versuchsanlage Waßmannsdorf ist nach Auflassung kaum mit erheblichen Remobilisierungseffekten von Schwermetallen zu rechnen. Zwar wird sich die Verfügbarkeit dieser Elemente durch das zu erwartende Absinken der Boden-pH-Werte erhöhen, doch geschieht dies auf einem vergleichsweise geringem Niveau, so dass mögliche Gefährdungen wenig wahrscheinlich werden. ... Im Gegensatz zu früheren Annahmen führt eine Feuchthaltung mit geklärtem und schadstoffarmen Abwasser nicht zur vollständigen Festlegung im Boden vorhandener Schwermetalle, sondern führt im Gegenteil zu einer gewissen Remobilisierung.“

3.1.3 Organische Schadstoffe

Mit dem Abwasser gelangten neben Nährstoffen und Schwermetallen auch organische Schadstoffe in die Rieselfeldböden. Diese Gruppe von Schadstoffen, wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), aliphatische Kohlenwasserstoffe (MKW), Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorcyclohexan (HCH), 1,1,1-Trichlor-2,2-bis(chlorphenyl)-ethan (DDT), diverse Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln u.a. waren in der Regel im Abwasser in deutlich geringeren Konzentrationen vorhanden als Nährstoffe oder Schwermetalle.

Demzufolge spielten sie als Kontaminanten auf Rieselfeldböden offensichtlich eine geringere Rolle.

Untersuchungen der Rieselfelder im **Süden Berlins** haben gezeigt, dass PAK, PCB und DDT in Teilbereichen der Rieselflächen (insbesondere an Einleitern, im Bereich von Absetzbecken, in Zuleitungsgräben) in Konzentrationen, die für eine sensible Bodennutzung kritisch sein können, nachweisbar waren (BECHMANN & GRUNEWALD 1995, GRUNEWALD 1995). HCH, HCB und Triazine wurden dagegen in den ubiquitär in Böden vorkommenden Konzentrationen dieser Stoffgruppen ermittelt, d.h. eine darüber hinausgehende Belastung des Bodens mit diesen Stoffgruppen war auf den untersuchten Rieselfeldflächen nicht feststellbar (Tab. 39).

**Tab. 39: Ausgewählte organische Schadstoffe in Rieselfeldböden im Süden Berlins
Werte in mg/kg, aus: BECHMANN & GRUNEWALD (1995), RITSCHEL (2000)**

	PAK	PCB	MKW	DDT	HCB	HCH	Triazine
Mittelwerte	1,5	0,086	11	0,018	0,004	0,0008	n.n.
Maximalgehalte	13,7	0,846	31	0,234	0,017	0,002	n.n
<i>Hintergrundwerte</i>	<i>0,164 *</i>	<i>0,003</i>	<i>< 10</i>	<i>0,049</i>	<i>< 0,001</i>	<i>0,0015</i>	<i>< 0,001</i>

Hintergrundwerte organischer Schadstoffe in Böden Brandenburgs (RITSCHEL 2000)

* WILCKE (2000) gibt für Ackerböden einen Hintergrundwert (Median in mg PAK/kg Boden) von 0,216, für Grünlandböden vom 0,194 und für Böden urbaner Standorte von 1,130 an.

Im Einleiterbereich einer stillgelegten Rieseltafel bei **Schenkenhorst** wurden die in Tabelle 40 dargestellten Gehalte an PAK, PCB und DDT ermittelt. Im Vergleich zu den stark erhöhten Gehalten an Cadmium und Blei sind die Konzentrationen der untersuchten organischen Schadstoffe relativ gering.

Ein anderes Bild ergab sich für organische Schadstoffe in Böden von **Intensivfilterflächen**, die dauerhaft mit Abwasser überstaut waren. METZ ET.AL. (1990) ermittelten neben einem gegenüber unbelasteten Böden stark erhöhten PCB-Gehalt von 4,975 mg/kg TS auch den PSM-Wirkstoff Lindan (γ -HCH) in einer deutlich erhöhten Konzentration (1,148 mg/kg TS).

Tab. 40: *Ausgewählte Parameter im Oberboden einer Rieseltafel (Einleiterbereich) auf Rieselfeldern bei Schenkenhorst, aus: GRUNEWALD et al. (1996)*

Zeitpunkt der Beprobung	OBS %	pH - Wert	Cadmium mg/kg	Blei mg/kg	PAK mg/kg	PCB mg/kg	DDT mg/kg
09/1992	11,8	5,4	23	256	2,5	0,418	0,0457
05/1993	12,0	5,4	28	420	3,3	0,109	0,0429
11/1993	13,5	5,6	20	310	3,2	0,080	0,0123
03/1994	12,3	5,5	18	335	2,3	0,055	0,0064
10/1994	13,6	5,2	18	328	3,2	0,095	0,0075

Untersuchungen von KRATZ (1995) auf Flächen der ehemaligen Rieselfelder **Berlin-Buch** erbrachten PAK-Gehalte zwischen 0,088 und 7,5 mg/kg und PCB-Gehalte zumeist < 1 mg/kg. Zwischen den PAK-Gehalten und den Gehalten an organischer Substanz im Oberboden bestehen enge Korrelationen. PAK wurden bis maximal 90 cm unter Geländeoberkante verlagert. Die höchste Belastung der untersuchten Rieselfeldflächen wurde im Bereich der Dämme zwischen den Rieseltafeln, auf denen Schlamm abgelagert wurde, festgestellt.

Von SCHLENTHER ET AL (1996) wurden im Oberboden der umgestalteten Rieselfelder in Berlin-Buch die in Tabelle 41 dargestellten Konzentrationen an organischen Schadstoffen ermittelt.

Tab. 41: *Gehalte an ausgewählten organischen Schadstoffen im Oberboden der Rieselfelder Berlin-Buch, Werte in mg/kg, aus: SCHLENTHER et al. (1996)*

	PAK	PCB	MKW	Dioxine in ng TE/kg
geometrischer Mittelwert	0,662	0,136	122	11,0
Spanne von - bis	0,009 - 7,476	0,001 - 2,559	0 - 1.626	1,9 - 52,8

Neuere Untersuchungen von HOFFMANN ET AL (2000) im Bereich der gleichen Rieselfelder zeigten, dass die Belastung der Böden mit organischen Schadstoffen, insbesondere PCB, offensichtlich stärker ist, als von KRATZ Anfang der 90er Jahre an diesem Standort festgestellt (Tab. 42). Die höchsten Konzentrationen an organischen Schadstoffen wurden im Oberboden (Ap-Horizont) und in sogenannten Klärschlammبändern gemessen.

Tab. 42: *Organische Schadstoffe im Boden der Rieselfelder Berlin-Buch Werte in mg/kg, aus: HOFFMANN et al. (2000)*

	Mittlere Gehalte	Maximalgehalte
PAK	3,8	11,9
PCB	3,2	18,6

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

MKW	219	1.591
-----	-----	-------

Im Rahmen des Projektes „Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraumtypischen Ökosystemen“ wurden Rieselfeldböden aus unterschiedlich mit Schwermetallen belasteten und unterschiedlich genutzten Rieselfeldbereichen untersucht (ACHAZI 1995).

Die in Tabelle 43 dargestellten Ergebnisse geben einen Überblick über vorkommende Konzentrationen an PAK und PCB im Oberboden (0 - 30 cm) von ehemaligen Rieselfeldern im **Norden und Süden Berlins** und zeigen zugleich die Unterschiede gegenüber unbelasteten Böden der Region.

**Tab. 43: PAK- und PCB-Gehalte im Oberboden von Berliner Rieselfeldern
Werte in mg/kg, aus: ACHAZI (1995)**

	Boden I	Boden II	Boden III	Boden IV	Boden V	Vergleichs- boden
PAK	0,81	-	2,14	3,18	9,19	0,754
BaP	0,12	< 0,05	0,20	0,55	0,90	0,093
PCB	0,129	-	0,804	0,223	2,24	-
pH - Wert	5,3	5,2	4,3	4,9	5,7	5,3
C org in %	2,3	0,6	5,5	3,7	5,9	0,98
Cadmium	3,7	1,1	22,5	6,5	63	0,2
Kupfer	90	50	167	200	556	14
Blei	82	52	116	334	879	32
Zink	306	143	314	461	1563	45

Boden I RFB Berlin-Buch, Aufforstung nicht gelungen
 Boden II RFB Berlin-Buch, mit Pappeln aufgeforstet
 Boden III RFB Berlin-Buch, fleckenweise kahl, schwachwüchsige Fichten
 Boden IV RFB Berlin-Buch, mit Pappeln aufgeforstet
 Boden V RFB Großbeeren, landwirtschaftliche Nutzung (Mais/Roggen/Brache)
 Vergleichsboden Ackerboden aus dem Norden Berlins, nicht auf Rieselfeldern

Für die Stoffe Benzo(a)pyren und PCB 52 wurden im Ergebnis der Arbeiten im Rahmen des o.g. Projektes sogenannte **Bodenqualitätskonzentrationen** errechnet, bei deren Unterschreitung in Rieselfeldböden keine relevanten Effekte auf Bodenorganismen und -funktionen zu erwarten sind:

- **Benzo(a)pyren** 0,01 mg/kg Boden und
- **PCB 52** 0,02 mg/kg Boden.

Die Ermittlung der Gehalte an PAK, PCB und MKW im Rahmen von flächendeckenden Untersuchungen des Bodens der Rieseltafeln auf den Rieselfeldern **Fürstenwalde** zeigt im Ergebnis der fast 100-jährigen Beaufschlagung des Bodens dieser Rieselfelder mit kommunalem und industriellem Abwasser eine vergleichsweise geringe Anreicherung mit organischen Schadstoffen (Tab. 44).

**Tab. 44: PAK-, PCB und MKW-Gehalte im Boden der Rieselfelder Fürstenwalde
Werte in mg/kg TS, aus: LUA (1993b)**

	PAK	PCB	MKW
Humose Deckschicht (ca. 0 - 10 cm)			
x min	0,3	0,02	52

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

x max	10	0,49	8.500
Mineralischer Oberboden (ca. 10 - 30 cm)			
x min	0,22	0,01	16
x max	9,8	0,13	370
Unterboden (ca. 30 - 380 cm)			
x min	0,17	< 0,01	< 10
x max	2,0	0,10	71

Untersuchungen einer als Lagerfläche für Klärschlamm genutzten Rieseltafel im Bereich der Rieselfelder Rüdersdorf (RFB **Tasdorf**) verdeutlichen, dass neben Schwermetallen auch organische Schadstoffe im Boden derartiger Teilflächen auf ehemaligen Rieselfeldern in hohen Konzentrationen vorkommen können (LUA 1993A). In der ca. 75 cm starken aufliegenden Klärschlammschicht wurden insbesondere hohe PAK-Gehalte ermittelt (Tab. 45).

In tiefere Bodenschichten wurden PAK, PCB und Kohlenwasserstoffe (MKW) am Standort Rüdersdorf vergleichsweise schwach verlagert. Der erhöhte PAK-Gehalt in Schicht 12 wurde im Umfeld eines im Boden liegenden Dränagerohres gemessen (Tab. 45).

Tab. 45: *PAK-, PCB- und MKW-Gehalte in der Klärschlammauflage und im darunterliegenden Boden einer Rieseltafel auf den Rieselfeldern Tasdorf-Rüdersdorf Werte in mg/kg TS, aus LUA (1993a)*

Schicht-Nr.	PAK	PCB	MKW
1	36,9	0,245	765
2	77,7	0,179	1.124
3	193,9	0,199	1.735
4	620,6	0,220	1.320
6	5,63	0,013	762
7	1,21	0,016	483
8	0,82	0,014	315
9	2,05	0,052	223
10	2,07	0,088	417
11	1,83	0,140	783
12	12,7	0,034	449
13	0,13	0,008	217
14	0,18	0,001	178

Aufsteigende Schicht-Nr.:

von GOK in die Tiefe, wobei Schichten Nr. 1 bis 4 Klärschlammauflage, Schichten Nr. 6 bis 14 darunterliegenden Rieselfeldboden und Schicht Nr. 12 Umgebung eines Dränagerohres bezeichnen

Untersuchungen der Böden der Rieselfelder **Freiburg** ergaben eine nur geringe Belastung dieses Standortes mit organischen Schadstoffen (Tab. 46).

Tab. 46: *PAK-, PCB- und Dioxin/Furan-Gehalte im Boden der Rieselfelder Freiburg Werte in mg/kg, aus: HEINRICHSMEIER (1995)*

	PAK	Benzo (a) pyren	PCB	Dioxine/Furane in ng TE (BGA)/kg
Oberboden				
Maximum	2,7	0,39	0,044	6,8
Minimum	0,6	0,09	0,005	2,7
Mittelwert	1,7	0,22	0,039	4,5

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Unterboden				
Maximum	0,35	-	-	-
Minimum	0,005	-	-	-
Mittelwert	0,095	-	-	-

Im Oberboden (0 - 20 cm) der Rieselfelder **Münster** wurde ebenfalls eine nur geringe Anreicherung von PAK festgestellt. Die PAK-Gehalte auf den Rieseltafeln schwanken zwischen 0,14 und 0,57 mg/kg. Am Hauptzuleiter der Rieselfelder wurde der Maximalgehalt mit 3,98 mg PAK/kg ermittelt (WILBERS & FELIX-HENNINGSEN 1994).

SCHMIDT (1995) weist aufgrund stark erhöhter Dioxingehalte in Schlammbeeten der Rieselfelder Karolinenhöhe-Seeburg darauf hin, dass auf offengelassenen Rieselfeldern auch Schadstoffeinträge, die nicht mit der Rieselfeldwirtschaft in Zusammenhang zu bringen sind, zu Bodenkontaminationen geführt haben können.

Auf ehemaligen Rieselfeldern können deshalb neben der Verrieselung von schadstoffbelastetem Abwasser die Lagerung von Klär- oder anderen Schlämmen im Hinblick auf schädliche Bodenveränderungen durch organische Schadstoffe eine Rolle spielen.

Eine von der Umweltministerkonferenz in Deutschland eingesetzte Arbeitsgruppe hat in den letzten Jahren die Belastung von Klärschlämmen mit organischen Schadstoffen und deren Auswirkung auf landwirtschaftlich genutzte Böden bei Klärschlammaufbringung detailliert untersucht und bewertet (LITZ ET AL. 1998, LITZ 2000, BANNICK ET AL. 2001).

Die in Tabelle 48 ausgewiesenen Stoffgruppen wurden aufgrund ihrer Eigenschaften und Gehalte in Klärschlämmen als vorrangig relevant beim Entstehen von schädlichen Bodenveränderungen infolge von Klärschlammverwertung auf Böden eingestuft. Untersuchungen in den USA haben gezeigt, daß in kommunalen Klärschlämmen über 340 toxische Chemikalien, über 100 organische Schadstoffe und ca. 40 Pestizide nachweisbar waren (EWG 1998).

Die Eintragsquelle für derartige Umweltschadstoffe in den Klärschlamm ist das Abwasser (KAISER ET AL. 1998, ALCOCK 1999, LJA 2000B, LJA 2000C, LJA 2001A, GIESS ET AL. 2001). Deshalb können diese Stoffe sowohl mit dem Abwasser als auch bei Klärschlammablagerung auf Rieselfeldern in Rieselfeldböden gelangt sein.

Inwieweit neben PAK, PCB, MKW oder Dioxinen/Furanen (s. oben) auch andere der in Tabelle 47 genannten organischen Stoffgruppen, die eine z.T. hohe Persistenz in Böden aufweisen, Bedeutung für die Altlastenbearbeitung von Rieselfeldern haben, ist aufgrund offensichtlich fehlender Untersuchungen von Rieselfeldböden zu diesen speziellen Stoffgruppen bisher nicht exakt abzuschätzen.

Ähnliches trifft auf persistente **Arzneimittelrückstände**, wie Chlofibrinsäure, Diclofenac, Ibuprofen, Propiphenazon, Fenofibrat, Tetracyclin u.a. zu. Diese Stoffe und deren Metaboliten gelangen nachweislich über kommunale Abwassersysteme in Kläranlagen und von dort über die Kläranlagenabläufe in Oberflächengewässer (HEBERER & STAN 1998).

Demnach müssten derartige Stoffe mit dem Abwasser auch in Rieselfeldböden eingetragen worden sein.

Aufgrund ihrer zumeist polaren Struktur stellen sie eine Gefahr für das Grundwasser dar, da sie im Boden unter Umständen nicht fixiert werden und in den Grundwasserleiter gelangen können (HEBERER & STAN 1998).

Chlofibrinsäure (pharmazeutisch aktiver Metabolit in Medikamenten zur Regulierung des Blutfettspiegels, Phenoxycarbonsäure, Strukturisomer des Herbizid-Wirkstoffes Mecoprop) wird deshalb als ein möglicher Indikator für Abwasserverunreinigungen des Grundwassers unter Rieselfeldern angesehen (HEBERER ET AL. 2001).

Tab. 47: Bewertung von organischen Schadstoffen in Klärschlämmen mit vorrangiger Relevanz für schädliche Bodenveränderungen, aus: LITZ (2000)

Stoff	Säuger-/Human-toxizität (akut)	Ökotoxizität	Wasserlöslichkeit	Persistenz	Gehalte in Klärschlamm
PCDD/F	hoch kanzerogen	aquatisch hoch, terrestrisch hoch, Bioakkumulation hoch	gering	hoch	gering
PCB	mittel, tumor-provozierend, immuntoxisch	aquatisch hoch, terrestrisch mittel, Bioakkumulation hoch	gering	hoch	gering, weiter rückläufig
B(a)P (PAK)	kanzerogen mutagen teratogen	aquatisch hoch, terrestrisch hoch Bioakkumulation hoch	gering	hoch	hoch
LAS	mittel	aquatisch hoch, terrestrisch mittel, Bioakkumulation mittel	hoch, Erhö. d. Mobilität von Stoffen	mittel	hoch
Nonylphenol	mittel, Verdacht auf östrogene Wirkung	aquatisch hoch, terrestrisch mittel, Bioakkumulation hoch	hoch	mittel	hoch
TBTO	hoch	aquatisch hoch, Bioakkumulation hoch, endokrine Wirkung	mittel	hoch	hoch
DEHP	gering, Verdacht auf östrogene Wirkung	aquatisch mittel - hoch, terrestrisch gering, Bioakkumulation hoch	gering	mittel	hoch

- PCDD/F** Dioxine und Furane
PCB Polchlorierte Biphenyle
PAK Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe
B(a)P Benzo(a)pyren
LAS lineares Alkylbenzolsulfonat
Nonylphenol Abkömmling der Nonylphenoethoxylate (NPEO), Vertreter der Gruppe der Alkylphenole und Alkylphenoethoxylate (APEO), d.h. von oberflächenaktiven Substanzen, die in Wasch- und Reinigungsmitteln, Farben, pharmazeutischen Produkten verwendet werden (WITTE 1998)
TBTO Vertreter der Gruppe der Organozinverbindungen, d.h. Stoffen, die u.a. in Antifowling-Farben enthalten sind
DEHP Desethylhexylphthalat als Vertreter der Gruppe der **Phthalate**, d.h. vorwiegend in der PVC - Herstellung eingesetzten Weichmachern

Auch die im Abwasser vorhandenen synthetischen Komplexbilder **EDTA** (Ethyldiamintetraessigsäure) und **NTA** (Nitrilotriessigsäure) könnten ebenso wie **Tenside** bei der Altastanbearbeitung von Rieselfeldern als potentielle Kontaminanten für das Grundwasser und Oberflächenwasser (Gräben und Vorfluter) eine Rolle spielen. EDTA und NTA sind u.a. Bestandteile von Wasch- und Reinigungsmitteln, welche die Wirkung von Tensiden unterstützen. Beide Stoffe werden bezüglich ihres Vorkommens in Gewässern im Hinblick auf ihr Vermögen zur Remobilisierung und Komplexierung von Metallen aus Sedimenten seit den 80er Jahren kritisch beurteilt, zumal EDTA als schwer abbaubare Substanz gilt. EDTA und NTA werden im Rahmen der Gewässerüberwachung in Fließgewässern in Brandenburg regelmäßig erfasst (HÖHNE 2001).

Neben o.g. organischen Schadstoffgruppen können auch **Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln** Bedeutung als Schadstoffe auf ehemaligen Rieselfeldern haben. Der Eintrag dieser Stoffe in Rieselfeldböden kann sowohl über das aufgebrachte Abwasser als auch direkt bei der Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung von Rieselfeldern erfolgt sein.

- Literaturstudie -

Dabei dürften insbesondere vor 1990 in der DDR eingesetzte Wirkstoffe mit hoher Persistenz und deren Abbauprodukte bzw. Wirkstoffe, die in großen Mengen zum Pflanzenschutz eingesetzt wurden, eine Rolle spielen (ARBEITSMATERIALIEN 2000, STUDIE 2000, HAIDER & SCHÄFER 2000, LUA 2001B).

3.2 Veränderungen der physikalischen Beschaffenheit des Bodens

Die langjährige Rieselfeldwirtschaft hat neben der chemischen Beschaffenheit auch die physikalischen Eigenschaften der Rieselfeldböden grundlegend beeinflusst (BLUMENSTEIN ET AL 1997B).

BLUMENSTEIN ET AL (1997) heben hervor, dass die physikalischen Eigenschaften der Rieselfeldböden neben der Verrieselung von Abwasser auch durch

- den Einbau einer Dränung,
- die Planierung der Flächen,
- die Anlage von Dämmen und Gräben und die damit verbundene
- Zerstörung des Porenengerüstes bzw. Durchmischung der genetischen Bodenhorizonte

wesentlich verändert wurden.

Bei der Aufbringung von Abwasser auf Böden wurden u.a. folgende Auswirkungen auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens festgestellt (FÖRSTER ET AL.1988):

- *Veränderungen der Porengrößenverteilung, d.h. Rückgang der Grobporen zugunsten von Poren im Bereich der nutzbaren Feldkapazität,*
- *Störung der Infiltration,*
- *Verminderung der Wasseraufnahme und -leitfähigkeit des Bodens,*
- *starke Bodenvernässung, Zunahme der Porenwassergehalte,*
- *Verringerung der Strukturstabilität der beaufschlagten Böden.*

Zu nennen sind außerdem eine oftmals tiefgreifende Destruktion und Durchschlammung der Sorptionskomplexe auf Rieselfeldböden, die durch hohe Na-Gehalte im Abwasser begünstigt wurden (SCHWARZ 1960).

Die Zufuhr von organischer Substanz mit dem Abwasser auf die zumeist sandigen Böden von Rieselfeldern führte zu einer Erhöhung des Anteils an Mittel- und Feinporen, während sich die Zahl der Grobporen verringerte.

Eine Verminderung des Anteils der Grobporen im Bodengefüge eines Rieselfeldbodens hatte deutliche Auswirkungen auf den Bodenlufthaushalt, da die in terrestrischen Böden in der Regel wasserfreien Grobporen die Belüftung eines Bodens wesentlich befördern. Insbesondere auf Intensivfilterflächen waren bei Dauerüberstau mit Abwasser anaerobe Bedingungen im Boden vorherrschend.

Bei der Verrieselung auf den Boden auftreffendes Abwasser führte zum Quellen der Bodenaggregate bis zu deren Dispergierung (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989).

Die entstandene Suspension sickerte in den Untergrund, wobei die Boden-Festpartikel abgefiltert wurden und gemeinsam mit den Feststoffen des Abwassers eine dicht lagernde Sedimentationsschicht bildeten, die die weitere Infiltration hemmten, d.h. es kam zu einer Verschlammung des Rieselfeldbodens. Bei anschließender Austrocknung konnten sich an der Oberfläche der Rieselfelder, vor allem bei feinsandigem und schluffreichem Material, Krusten bilden.

Auch nach Einstellung der Abwasserverrieselung sind veränderte bodenphysikalische Eigenschaften und dadurch verursachte Störungen der Bodenfunktionen für Rieselfeldböden charakteristisch.

3.3 Veränderungen der biologischen Beschaffenheit des Bodens

Auf Rieselfelder ausgebrachtes Abwasser kann eine Vielzahl von Mikroorganismen enthalten, darunter sowohl für den Menschen harmlose Keime, als auch Keime, die Krankheiten hervorrufen können (Tab. 48).

Tab. 48: *Ausgewählte pathogene Abwasser - Mikroorganismen*
 aus: YATES (2001), STRAUCH (1998), FROESE & BODO (1999)

Mikroorganismus	Konzentration Anzahl/Liter	Krankheit
BAKTERIEN		
Salmonella ssp.	23 - 80.000	Typhus
Shigella ssp.	10 - 10.000	Dysenterie
Eschericia coli		Gastroenteritis
Pseudomonas aeruginosa		Wundinfektion
Yersinia enterocolitica		Gastroenteritis
Clostridium perfringens		
Clostridium botulinum		
Bacillus anthracis		
Listeria monocytogenes		
Camphylobacter ssp		Gastroenteritis
Vibrio cholerae	10 - 100.000	Cholera
Mycobacterium ssp.		
Stapylococcus		
Streptococcus		
Leptospira		Leptospirose
Klebsiella		
Enterobacter		
VIREN		
Poliovirus	182 - 492.000	Poliomyelithie
Coxsackievirus		Meningitis
Astrovirus		Gastroenteritis
Calicivirus		Gastroenteritis
Rotavirus	400 - 85.000	Gastroenteritis
Hepatitis A Virus		Hepatitis
Norwalk Virus		Gastroenteritis
Adenovirus		Enteritis
Reovirus		Atmungserkrankungen
Echovirus		Meningitis
PARASITEN		
Giardia lamblia	530 - 100.000	Ruhr
Entamoeba coli	28 - 52	Ruhr
Entamoeba histolytica	4	Dysenterie
Crytos oridium	5 - 5.189	Ruhr
Ascaris	5 - 100	Ascariasis
Ancylostoma	6 - 188	Anämie
Necator		Anämie
Trichuris	41	Durchfall, Anämie
Toxocara canis		
Taenia saginata		
PILZE		
Candida ssp.		Candidiasis
Cryptococcus neoformans		
Trichosporon		

- Literaturstudie -

Aspergillus ssp.		
Phialophora		

Das Artenspektrum an Krankheitserregern im Abwasser hängt stark von der epidemiologischen Situation des Anfallortes ab (STRAUCH 1998). Außerdem können im auf Rieselfeldern verbrachten Abwasser verschiedene Wurmeier enthalten sein (SCHWARTZBROD ET AL. 1998).

Durch die Weltgesundheitsorganisation wurden deshalb spezielle Richtlinien zu Anforderungen an Abwasser, welches auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verrieselt wird, erarbeitet (WHO 1989).

Grenzflächenaktive Stoffe (Tenside) im Abwasser bewirken in Rieselfeldböden, dass ungelöste Stoffe und Bakterien in tiefere Bodenhorizonte verlagert werden. Während des Weges des Abwassers durch den Boden wird die Anzahl an abwassereigenen Bakterien und Viren durch Filtrations- und Adsorptionsprozesse am Biofilm des Bodenkörpers verringert (ATV 1997).

Ein Teil der Mikroorganismen, die mit dem Abwasser in den Rieselfeldboden gelangen, stirbt aufgrund ungünstiger Millieubedingungen im Boden und fehlender Adaption sofort oder in bestimmten Zeiträumen ab. So wurden bei Temperaturen von 20 - 30 °C für pathogene Viren im Boden Überlebenszeiträume von ca. 20 bis ca. 100 Tagen, für Bakterien und Protozoen von ca. 20 bis ca. 70 Tagen oder für Wurmeier (Helminthen) von einigen Monaten ermittelt (EPA 1992).

Die im Rieselfeldboden vorhandene Mikroflora bewirkt einen Abbau oder die Umwandlung von bestimmten Inhaltsstoffen des Abwassers. Diese Stoffe, vor allem Stickstoff- und Kohlenstoff-Verbindungen, dienen der Rieselfeld-Mikroflora als Energie- und Substratquellen.

FILIP ET AL (2000) untersuchten die Verteilung von Mikroorganismen und Enzymaktivitäten in verschiedenen Rieselfeldböden:

- Variante 1: Rieselfeldboden, der seit ca. 100 Jahren mit mechanisch vorgeklärtem kommunalen Abwasser beaufschlagt wurde
- Variante 2: Rieselfeldboden, der seit 20 Jahren nicht mehr mit Abwasser beaufschlagt wurde
- Variante 3: Boden, auf dem niemals Abwasser verrieselt wurde.

In den organischen Partikeln des Bodens der Variante 1 wurden die höchsten Zahlen an Bakterien, Actinomyceten und Pilzen (Besiedlungsdichte) sowie die größten mikrobiellen Aktivitäten (Biomasse-ATP, β -Glucosidase, β -Acetylglucosamidase, Protease) festgestellt, d.h. die langjährige Abwasserbeaufschlagung bewirkte eine deutliche Zunahme der Besiedlung des Bodens mit Mikroorganismen und der mikrobiell-biochemischen Aktivität im Boden.

Bei der Aufbringung von Abwasser auf landwirtschaftlich genutzte Böden wurde aufgrund der Zufuhr von organischer Substanz mit dem Abwasser eine potentiell höhere Denitrifikationsleistung dieser Böden gegenüber nicht mit Abwasser beaufschlagten Böden beobachtet (JBA 1996). Die Aufbringung von Abwasser auf Waldböden im Umfeld der Rieselfelder Braunschweig führte zu erhöhter mikrobieller Aktivität im Boden und zu verstärkter Umsetzung der mit dem Abwasser zugeführten Huminstoffe im Boden (AN-SIMOWA ET AL 2001).

ACHAZI & HECK (1995) stellten fest, dass in Rieselfeldböden (RFB Berlin-Buch, Großbeeren und Karolinenhöhe) das Artenspektrum, die Diversität, die Dominanzstruktur und Abundanz von Kleinringelwürmern (Enchytraeen) im Vergleich zu Kontrollflächen stark eingeschränkt sind. Auf stillgelegten und aufgeforsteten Rieselfeldern waren im wesentlichen Pionierarten vertreten, jedoch keine typischen Vertreter des Forstes. Die Vermehrungsraten von Enchytraeus albidus und Enchytraeus crypticus waren in Rieselfeldböden stark bis vollständig gehemmt.

Die Flächen des ehemaligen RFB Berlin-Buch (nach Einstellung der Abwasserbeaufschlagung aufgeforstet) waren nur durch euröke Pionierarten (Bodentiere) besiedelt. Die geringen Populationsdichten der Bodenfauna spiegelten sich in geringen Streuabbauraten der dominierenden Grasart (Quecke) wieder (BAUER & POHL 1998). Die in diesen Rieselfeldböden angetroffenen Konzentrationen an Benzo(a)pyren, Fluoranthen und PCB 52 sind aus bodenzoologischer Sicht ökotoxikologisch nicht relevant.

AURAND ET AL (1984) fanden auf den Rieselfeldern Berlin - Karolinenhöhe ab 90 cm unterhalb der Rieselfeldoberfläche keine coliforme Bakterien oder andere potentiell pathogene Abwasser - Bakterien mehr. Obwohl die im Abwasser enthaltenen Keime bei der Bodenpassage auf Rieselfeldern zumeist zurückgehalten werden und absterben, wird immer wieder über Mikroorganismenbefunde im Grundwasser unter mit Abwasser beaufschlagten Böden berichtet (ATV 1997). So wurden z.B. in einem 27 m tief gelegenen Grundwasserleiter unter Abwasserflächen Viren aus dem beaufschlagtem Abwasser nachgewiesen (YATES 2001).

Die langfristigen Auswirkungen der Einstellung der Abwasserverrieselung auf ehemaligen Rieselfeldern auf die biologische Beschaffenheit der Böden sind Gegenstand derzeit laufender Forschungsarbeiten.

4 Wirkungspfad Boden - Mensch

Die Betrachtung des Wirkungspfades Boden - Mensch ist bei der Gefährdungsabschätzung auf ehemaligen Rieselfeldern insbesondere im Zusammenhang mit der Um- und Nachnutzung dieser Flächen unerlässlich.

Für den Wirkungspfad Boden - Mensch (direkter Kontakt) sind gemäß BBodSchV folgende Nutzungen relevant (LFU 2001):

Kinderspielflächen, d.h. Aufenthaltsbereiche für Kinder, die ortsüblich zum Spielen genutzt werden (ohne den Spielsand von Sandkästen),

Wohngebiete, d.h. die dem Wohnen dienenden Gebiete einschließlich Haus- und Kleingärten oder sonstige Gärten entsprechender Nutzung, auch soweit sie nicht im Sinne der Baunutzungsverordnung planungsrechtlich dargestellt oder festgesetzt sind,

Park- und Freizeitanlagen, d.h. Anlagen für soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke, insbesondere öffentliche und private Grünanlagen sowie unbefestigte Flächen, die regelmäßig zugänglich sind,

Industrie- und Gewerbestandteile, d.h. unbefestigte Flächen von Arbeits- und Produktionsstätten, die nur während der Arbeitszeit genutzt werden, aber nicht Gegenstand von Arbeiten sind.

Generell sind mehrere Möglichkeiten der Beeinflussung der menschlichen Gesundheit durch schadstoffbelastete Rieselfeldböden gegeben:

▷ **direkter Kontakt** mit kontaminiertem Bodenmaterial (inhalativ, ingestiv, dermal),

***Ingestion** (orale Aufnahme, d.h. Hand zu Mund) von Boden, z.B. bei Einrichtung von Kinderspielflächen, Reitplätzen, Haus- und Kleingärten oder anderen sensiblen Nutzungsarten auf ehemaligen Rieselfeldern;*

***inhalative Aufnahme** von kontaminierten Bodenpartikeln (Staub), z.B. bei Einrichtung von Motocrossstrecken oder bei Windverwehung von Rieselfeldstaub auf benachbarte Wohngebiete;*

***Hautkontakt** (dermal) mit kontaminiertem Rieselfeldboden.*

Nicht gänzlich auszuschließen sind bei direktem Kontakt mit Rieselfeldboden Gefährdungen des Menschen durch im Abwasser enthaltene **Keime**. Dabei spielt der Zeitpunkt der Stilllegung der Rieselfelder eine große Rolle. Insbesondere dann, wenn die Einstellung der Beaufschlagung mit Abwasser erst kurze Zeit zurückliegt, können mit dem Abwasser in den Boden eingetragene Mikroorganismen eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen (s. Überlebenszeiträume für Viren, Bakterien und Wurmeiern aus Abwässern in Böden in Kapitel 3.3).

- Literaturstudie -

Neben diesen Gefahren durch direkten Kontakt mit belasteten Rieselfeldböden bestehen weitere (indirekte) Gefahren, die von ehemaligen Rieselfeldern für die menschliche Gesundheit ausgehen können (vgl. u.a. RENGER & MEKIFFER 1998), wie durch:

- ☐ Verzehr von schadstoffbelasteten Nahrungspflanzen (Gemüse, Getreide...), die auf Rieselfeldern angebaut werden,
- ☐ Verzehr von schadstoffbelasteten tierischen Produkten (z.B. Leber, Nieren) von Nutz- oder Wildtieren, die schadstoffbelastetes Futter von Rieselfeldern gefressen haben,
- ☐ Trinken von Wasser, welches durch Schadstoffe aus Rieselfeldern verunreinigt wurde;

Als ein Schadstoff mit großer Bedeutung für den Pfad Boden-Mensch muss auf ehemaligen Rieselfeldern das Schwermetall **Cadmium** angesehen werden (FRIEDRICH 1992, GRÜN ET AL 1989, PEUNENBURG ET AL 2000).

Die tägliche orale Aufnahme von Cd durch den Menschen beläuft sich nach Angaben der WHO auf 10 - 40 µg/d (KALBERLAH 1999). Weder bei oraler noch bei inhalativer Aufnahme bestehen wesentliche Unterschiede zwischen der Toxizität gut wasserlöslicher Verbindungen (Cadmiumchlorid, Cadmiumsulfat) und kaum wasserlöslicher Verbindungen (Cadmiumcarbonat, Cadmiumoxid).

Bei inhalativer Aufnahme von Cd durch den Menschen ist die kanzerogene Wirkung von entscheidender Bedeutung (lokale Effekte im Atemtrakt).

Vom Körper resorbiertes Cd wird in den Nieren angereichert und führt bei einer kritischen Cd-Belastung zu Schädigungen der Nierenrinde. Außerdem wird über Schädigungen der Knochen, immuntoxische und kardiovaskuläre Wirkungen sowie Beeinträchtigungen der Fortpflanzung durch Cd berichtet.

5 Wirkungspfad Boden – Pflanze - (Tier)

Das Schutzgut „Bodenfunktion als Standort für den Anbau von Nutzpflanzen“ bestimmt die Anforderungen an Böden auf ehemaligen Rieselfeldern als Pflanzenstandort (BANNICK ET AL 2001).

Dabei sind für den Anbau von Nutzpflanzen folgende Prämissen bestimmend (BACHMANN ET AL 1998):

- Ausschluss von humantoxischen Wirkungen beim Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln, insbesondere von Weizen, Kartoffeln und Gemüse;
- Vermarktbarkeit von Nahrungspflanzen aus Acker- und Erwerbsgartenbau als Lebensmittel;
- Verwertbarkeit von Ackerfutter und Grünlandaufwuchs als Futtermittel;
- Ausschluss phytotoxischer Wirkungen auf Nahrungs- und Futterpflanzen infolge schädlicher Bodenveränderungen (ertragsbezogene Wachstumsbeeinträchtigungen).

Dies gilt auch für den Anbau auf ehemaligen Rieselfeldern und wird bei Unterschreitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach Anhang 2 Nr. 2 BBodSchV im Boden sichergestellt (vgl. Leitfaden).

Gemäß BBodSchV werden bei der Betrachtung des **Wirkungspfad**es Boden - Nutzpflanze im Rahmen von Altlastenuntersuchungen folgende Nutzungen der untersuchten Standorte unterschieden:

- **Ackerbau**, d.h. Flächen zum Anbau wechselnder Ackerkulturen, einschließlich Gemüse und Feldfutter sowie erwerbsgärtnerisch genutzte Flächen,
- **Nutzgarten**, d.h. Hausgarten-, Kleingarten- und sonstige Gartenflächen, die zum Anbau von Nahrungspflanzen genutzt werden,
- **Grünland**, Flächen unter Dauergrünland.

Die während des Betriebs von Rieselfeldern oder nach deren Stilllegung auf den Rieselflächen angebauten Kulturpflanzen oder wild wachsenden Pflanzen nutzen die im Abwasser vorhandenen Nährstoffe und verringern so partiell den Eintrag von Nährstoffen in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser.

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

Gleichzeitig stellen die in Rieselfeldböden angereicherten Schadstoffe eine Gefährdung für den Wirkungspfad Boden - Pflanze - (Tier) dar, da angebaute oder wildwachsende Pflanzen, die Mensch und Tier als Nahrungsgrundlage dienen, Schadstoffe in gesundheitsschädlichen Konzentrationen aufnehmen können (SCHENK 1997).

SALT (1988) verwies darauf, dass Cadmium und Blei in auf Rieselfeldern gewachsenen Nutzpflanzen die Schadstoffe waren, die zur Aufgabe des Anbaus von Nahrungsmitteln (Gemüse, Kartoffeln, Getreide) auf Rieselfeldern führten.

Auf stillgelegten Rieselfeldern angebaute Pflanzen zur menschlichen Ernährung und Fütterung von Tieren sowie aus Tierhaltung gewonnene Lebensmittel sollen die in Tabelle 49 ausgewiesenen Richt- und Grenzwerte unterschreiten.

Tab. 49: Richt- und Grenzwerte für Schwermetalle in Pflanzen, Pflanzenteilen, Fleisch und tierischen Erzeugnissen

	Blei	Cadmium	Kupfer ***	Nickel ***	Queck- silber ***	Zink ***
Futtermittel	30 **	1 **	25	50	2	500
Gemüse	0,1 - 0,3 *	0,05 - 0,2 *	50	-	0,5	150
Obst	0,1 *	0,5	50	-	0,5	50
Getreide (Korn)	0,2 *	0,1 - 0,2 *	10	-	0,05	100
Kartoffel (Knolle)	1,5 ***	0,5 ***	15	-	0,25	50
Fleisch	0,1 *	0,05 *	20	-	0,20	200
Innereien	0,5 *	0,5 - 1,0 *	800	-	0,80	400

* Werte in mg/kg FS, aus der Verordnung der EG zu Höchstgehalten für Kontaminanten in Lebensmitteln (VERORDNUNG 2001b), s.auch KOSSDORFF (2001)

** Werte in mg/ kg bezogen auf 88 % TS, aus der Futtermittelverordnung (VERORDNUNG 2001c)

*** Grenzwerte der DDR in mg/kg TS, aus GRÜN et. al. (1990d)

Tab. 50: Phytotoxische Konzentrationen von Metallen im Abwasser zur Aufbringung auf landwirtschaftliche Nutzflächen bzw. in Pflanzen

Element	Phytotoxische Konzentrationen im Abwasser	Phytotoxische Schwermetall-Gehalte in Pflanzen
	bei Beaufschlagung von 10.000 m ³ /ha/a Werte in mg/l aus: PESCOD (1992)	in mg/kg TS aus: GRÜN et.al. (1990d)
Aluminium	5,0	-
Arsen	0,10	-
Cadmium	0,01	20
Chrom	0,10	-
Kupfer	0,20	18 - 20
Nickel	0,20	30
Blei	5,0	15 - 60
Zink	2,0	300 - 800

Darüber hinaus können in Rieselfeldböden vorhandene Schwermetalle phytotoxische Wirkungen auf das Pflanzenwachstum haben (Tab. 50).

So kam es bei der Aufforstung von ehemaligen Rieselfeldern im Norden von Berlin zu Schädigungen der Baumbestände. SCHLENTHER ET AL(1996) schlossen zunächst einen Zusammenhang mit der teilweise starken Schwermetallbelastung der aufgeforsteten Flächen weitgehend aus. Neuere Erkenntnisse führten

- Literaturstudie -

allerdings zu der Vermutung, dass die hohe Konzentration von Aluminium in der Bodenlösung (bis zu 100 mg Al/l), die phytotoxisch auf die Baumwurzeln wirkt, als eine Ursache für das Baumsterben gesehen werden muss (BÖKEN & HOFFMANN 2001).

Die Aufnahme von Schwermetallen durch Pflanzen auf stillgelegten Rieselfeldern wird stark pflanzenspezifisch von der Schwermetallkonzentration im Bodenwasser und damit von der Remobilisierungs- und Bodenfeuchtedynamik, der Düngung und der Bodenbearbeitung beeinflusst.

Die Schwermetallmobilisierung und -aufnahme durch Pflanzen auf ehemaligen Rieselfeldböden kann nach SOWA ET AL. (1992) durch

- Bewässerung mit aufbereitetem Wasser,
- den Erhalt der organischen Substanz,
- eine Minimalbodenbearbeitung zur Reduzierung des Humusabbaus,
- Meliorations- bzw. Erhaltungskalkungen gegen stattfindende Prozesse der Bodenversauerung und
- bodenbezogene Düngung defizitärer Pflanzennährstoffe (Mg, K, Mn)

gemindert werden.

Im Rahmen der in den 80er Jahren durchgeführten Untersuchung von ca. 4.300 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche auf Rieselfeldern im Süden Berlins (Großbeeren, Diepensee, Saarmund, Mittenwalde, Siethen) wurde die Cadmiumbelastung von Mais und Futtergräsern (Knautgras, Weidelgras, Getreide-Gras-Gemische) untersucht (GRÜN ET AL. 1990D).

Dabei zeigte sich, dass nur 18 % der Maisproben bzw. 38 % der Grasproben Cadmiumgehalte unter 0,3 mg/kg TS, d.h. übliche Konzentrationen dieses Schwermetalls aufwiesen (Tab. 51).

Tab. 51: *Cadmiumgehalte in Maispflanzen und Futtergräsern auf landwirtschaftlich genutzten Böden ehemaliger Rieselfelder im Süden Berlins aus: GRÜN et al. (1990d)*

Cadmium (mg/kg TS)	< 0,30	0,30 - 0,50	0,51 - 1,0	1,0 - 1,5	> 5
Mais (n=124) in %	18	11	22	45	4
Futtergras (n=224) in %	38	21	23	16	2

Neben Futterpflanzen wiesen auch andere auf den o.g. Rieselfeldern angebaute Kulturen teilweise deutlich erhöhte Cadmium- und Zinkgehalte gegenüber Pflanzen, die auf unbelasteten Standorten angebaut wurden, auf (Tab. 52 und 53).

Dagegen waren die Blei- und Kupfergehalte in den untersuchten Pflanzen von Rieselfeldern in der Regel niedrig und unterschieden sich nicht wesentlich von den Gehalten in Pflanzen aus unbelasteten Gebieten (Tab. 54 und 55).

Tab. 52: *Durchschnittliche Cadmiumgehalte in Pflanzen und Pflanzenteilen von landwirtschaftlich genutzten Böden auf Rieselfeldern im Süden Berlins Werte in mg/kg TS, aus: GRÜN et al. (1990a)*

Fruchtart	Rieselfelder im Süden Berlins	Standorte ohne besondere Vorbelastung
Mais	0,17 - 10	0,11
Futtergräser	0,16 - 6,6	0,10
Futtermübe/Zuckerrübe (Blatt)	8,1	0,28
Futtermübe/Zuckerrübe (Rübenkörper)	2,2	0,08

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Kartoffel (ungeschält)	0,54	0,04
Roggen (Korn)	0,30	< 0,05
Roggen (Stroh)	1,0	0,13
Weizen (Korn)	0,76	< 0,05
Weizen (Stroh)	2,5	0,15

Tab. 53: *Durchschnittliche Zinkgehalte in Pflanzen und Pflanzenteilen von landwirtschaftlich genutzten Böden auf Rieselfeldern im Süden Berlins
Werte in mg/kg TS, aus: GRÜN et al. (1990b)*

Fruchtart	Rieselfelder im Süden Berlins	Standorte ohne besondere Vorbelastung
Mais	106 - 1.006	29
Futtergräser	76 - 963	33
Futtermübe/Zuckerrübe (Blatt)	541	291
Futtermübe/Zuckerrübe (Rübenkörper)	219	135
Kartoffel (ungeschält)	45	30
Roggen (Korn)	77	41
Roggen (Stroh)	164	48
Weizen (Korn)	97	34
Weizen (Stroh)	202	43

Tab. 54: *Durchschnittliche Bleigehalte in Pflanzen und Pflanzenteilen von landwirtschaftlich genutzten Böden auf Rieselfeldern im Süden Berlins
Werte in mg/kg TS, aus: GRÜN et al. (1990b)*

Fruchtart	Rieselfelder im Süden Berlins	Standorte ohne besondere Vorbelastung
Mais	0,99	< 1
Futtergräser	0,89	3,2
Futtermübe/Zuckerrübe (Blatt)	2,6	2,4
Futtermübe/Zuckerrübe (Rübenkörper)	1,2	1,2
Kartoffel (ungeschält)	0,63	0,23
Roggen (Korn)	< 0,50	k.A.
Roggen (Stroh)	0,96	k.A.
Weizen (Korn)	< 0,05	0,14
Weizen (Stroh)	1,6	2,8

Tab. 55: *Durchschnittliche Kupfergehalte in Pflanzen und Pflanzenteilen von landwirtschaftlich genutzten Böden auf Rieselfeldern im Süden Berlins
Werte in mg/kg TS, aus: GRÜN et al. (1990b)*

Fruchtart	Rieselfelder im Süden Berlins	Gebiete ohne Kupferbelastung
Mais	6,7	4,4
Futtergräser	9,1	5,8
Futtermübe/Zuckerrübe (Blatt)	12	7,7
Futtermübe/Zuckerrübe (Rübenkörper)	9,7	5,7

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Kartoffel (ungeschält)	9,1	6,2
Roggen (Korn)	6,1	4,3
Roggen (Stroh)	5,6	4,7
Weizen (Korn)	5,1	3,4
Weizen (Stroh)	8,7	3,6

METZ ET AL (2000) gruppierten auf der Grundlage dieser und weiterer Untersuchungen unterschiedliche Pflanzenspezies und -organe hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Cadmium von belasteten Rieselfeldböden aufzunehmen (Tab. 56).

Tab. 56: *Einteilung ausgewählter Pflanzen und Pflanzenorgane nach Schwermetallaufnahmepotential am Beispiel des Cadmiums aus: METZ et al. (2000)*

Exkluderpflanzen	Indikatorpflanzen	Akkumulatorpflanzen
Pflanzengehalt < Bodengehalt	Pflanzengehalt @ Bodengehalt	Pflanzengehalt > Bodengehalt
Getreidekorn (Roggen > Gerste > Weizen)	Haferstroh	Futterrüben (Blätter)
Buschbohnen (Bohne)	Grünhafer	Salat
Mais (Kolben)	Mais-Stengel	Spinat
Kartoffeln (Knolle)	Möhrenwurzeln	Kartoffeln
	Blumenkohlblätter	Sellerieknollen

Umfangreiche Untersuchungen zum Pfad Boden - Pflanze wurden auf Böden der Rieselfelder Freiburg mit verschiedenen Kulturpflanzen durchgeführt (Tab. 57). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen die in Tabelle 56 dargestellte unterschiedliche Fähigkeit verschiedener Pflanzenarten zur Aufnahme von Cadmium.

Die Kontamination von Futterpflanzen auf den schwermetallbelasteten Rieselfeldern im Süden Berlins hatte nach GRÜN ET AL (1989) eine verstärkte Aufnahme von Schwermetallen durch **Nutztiere** (Grundfütterversorgung mit Rieselgras) und eine erhöhte Akkumulation von Schwermetallen im Tierkörper zur Folge:

- im Kot von Rindern aus dem Untersuchungsgebiet spiegelte sich die Schwermetall-Belastung der Rieselfeldböden wieder (bis zu 30-fach erhöhte Cadmium-Gehalte im Vergleich zum Kot von Kontrolltieren, 3-fach erhöhte Zink-Konzentration, leicht erhöhte Kupfergehalte, keine gegenüber Kontrolltieren abweichende Anreicherung von Blei und Nickel),
- ältere Rinder, die mit Futter von den Rieselfeldern versorgt wurden, wiesen höhere Cadmiumgehalte in Nieren, Leber und Muskeln auf als jüngere Tiere,
- die höchsten Cadmium-Konzentrationen wurden in Nieren und Leber gemessen, während im Muskelfleisch der Rinder geringere Cadmiumgehalte vorlagen,
- hohe Cadmium-Gehalte wiesen die Nieren von Kaninchen und Sauen auf, die Leber und das Muskelfleisch beider Tierarten waren deutlich geringer mit Cadmium belastet.

Tab. 57: *Schwermetallgehalte verschiedener Nahrungspflanzen, gewachsen auf den Rieselfeldern der Stadt Freiburg Werte in mg/kg FS, aus: HEINRICHSMEIER (1995)*

Pflanze	Blei	Cadmium	Zink
---------	------	---------	------

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Blattgemüse			
Chinakohl	0,02	0,20	23
Kopfsalat	0,04	0,20	9
Mangold	0,10	1,00	125
Spinat	0,08	1,27	59
Grünkohl	0,26	0,46	58
Wurzelgemüse			
Karotten	0,04	0,38	25
Kartoffeln	0,10	0,07	8
Radieschen	0,04	0,12	14
Rote Beete	0,13	0,14	31
Sellerie	0,05	0,44	29
Zwiebeln	0,05	0,23	19
Fruchtgemüse			
Bohnen	0,02	0,03	6
Gurken	0,02	0,03	4
Tomaten	0,03	0,04	4
Beerenobst			
Erdbeeren	0,05	0,14	5
<i>GRENZWERTE gemäß VERORDNUNG (2001b)</i>	<i>0,1 (Gemüse) 0,3 (Blattgemüse) 0,2 (Beerenobst)</i>	<i>0,05 (Gemüse) 0,2 (Blattgemüse) 0,1 (Wurzelgemüse)</i>	-

Auf ehemaligen Rieselfeldern ist der Eintrag von Schadstoffen in Nahrungsmittel auch über den **Pfad Wildpflanze - Wildtier** möglich. Dies wurde u.a. durch Untersuchungen von LANGEMACH ET AL (1995) nachgewiesen. Bei Rehen, Wildkaninchen und Füchsen aus dem Bereich der Rieselfelder Berlin-Buch waren erhöhte Schwermetallgehalte (Cadmium, Blei) in den Nieren und der Leber nachweisbar. Die Autoren schlugen deshalb vor, Nieren und Leber von Rehen und Kaninchen aus dem Untersuchungsgebiet möglichst selten zu verzehren.

Generell bestätigen diese Ergebnisse von Rieselfeldern auch die anderer schwermetallkontaminierter Standorte, dass das relativ gut pflanzenverfügbare **Cadmium** als das Element angesehen werden muß, welches für den Pfad Boden - Pflanze (-Tier) die größte Relevanz aufweist.

Nach PEUNENBURG ET AL (2000) ist Cadmium das bedeutendste Schwermetall hinsichtlich seiner Bioakkumulation im System Boden - Pflanze und davon ausgehender Gefahren für die Gesundheit von Mensch und Tier, da diese Gefährdung bereits bei Cadmium-Konzentrationen im Boden, die nicht phytotoxisch sind, eintreten können.

Im Rahmen des Verbundprojektes „Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraumtypischen Ökosystemen“ erzielte Ergebnisse zum Einfluss von **organischen Schadstoffen auf den Wirkungspfad Boden - Pflanze** auf ehemaligen Rieselfeldern (Freiland- und Laborversuche) lassen sich wie folgt zusammenfassen (BAUER & POHL 1998):

- die direkten Wirkungen von PAK (Benzo(a)pyren, Fluoranthen) und PCB (PCB 52) auf die Vegetation sind gering;
- in frühen Entwicklungsphasen von Kulturpflanzen hatte PCB 52 (2 mg/kg) eine das Sproßwachstum hemmende Wirkung;
- durch die kombinierte Wirkung von organischen Schadstoffen und Schwermetallen (Cu, Zn) traten deutliche Wirkungen bei Pflanzen auf: die Zugabe von BaP bzw. PCB 52 führte bei Kamille zu einer erhöhten Zn - Aufnahme in die Wurzel und daraus resultierender Reduktion der Biomassebildung; Cu wurde durch die Zugabe von BaP und PCB 52 mobiler und damit für Pflanzen verfügbarer; Ertragsminderungen bei Kulturpflanzen (Mais, Kartoffel, Roggen) auf Rieselfeldböden wurden primär als Schwermetallwirkungen interpretiert;

- Literaturstudie -

- auf Rieselfeldböden gewachsene Gehölze (Kiefer, Eberesche) nahmen kein BaP auf, PCB 52 wurde dagegen im Holz und den Nadeln der Kiefer und auch in den Blättern der Eberesche nachgewiesen (Eintrag jedoch über den Luftpfad); über den Pfad Boden - Pflanze (Wurzel) konnte keine Aufnahme von organischen Schadstoffen nachgewiesen werden.

6 Wirkungspfad Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser)

Neben den Wirkungspfaden Boden - Mensch und Boden - Pflanze - (Tier) besteht auf ehemaligen Rieselfeldern auch für den Wirkungspfad Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser) eine Gefährdung durch Schadstoffe. Die Stoffsenken im Oberboden von Rieselfeldern können im Falle der Freisetzung von Schadstoffen zu einer Kontamination des Grundwassers, aber auch von Oberflächengewässern, führen (SCHENK 1997).

Der Stofftransport in Rieselfeldböden erfolgt mit den speziellen Formen des unterirdischen Wassers über folgende Ausbreitungspfade (SOWA ET AL. 1992):

- Bodenwasser - (Wurzelraum) - Pflanze
- Sickerwasser - Grundwasser - Dränabfluss - Oberflächengewässer
- Grundwasser - Grundwasserleiter - Wasserfassungen

Als relevanter Input für den Grundwasserleiter wird die Beschaffenheit des Sickerwassers nach Passage der gesamten Aerationzone (ungesättigte Bodenzone) eines Rieselfeldes formiert.

6.1 Nährstoffe

Langjährige Abwasserverrieselung hat in der Regel zu einer starken Erhöhung des Salzgehaltes im Grundwasser unter den Rieselfeldern geführt, die hohen Konzentrationen ionischer Stoffe haben eine stark erhöhte Leitfähigkeit des Grundwassers zur Folge. Das Grundwasser weist zumeist hohe Konzentrationen an Nährstoffen, wie Ammonium und Nitrat sowie Phosphat auf (SCHENK 1995). Daten zur stofflichen Charakteristik des Grundwassers im Bereich der **Rieselfelder im Süden Berlins** (Großbeeren, Sputendorf), die diese Aussagen belegen, finden sich in den Tabellen 58 und 59.

Die Versalzung des Grundwassers ist auch im 2. GWL unter diesen Rieselfeldern deutlich messbar und hat auch den darunterliegenden 3. GWL erreicht, so dass die durch die Wasserwerke Teltow und Ludwigfelde geförderten Wässer beeinflusst sind.

Da auch andere anthropogene Quellen (Landwirtschaft, Industrie, Deponien) das Grundwasser im Bereich von ehemaligen Rieselfeldern beeinflussen können, wurde zur Quantifizierung des Rieselfeldeinflusses auf das Grundwasser im Süden Berlins das **Na/Ca-Verhältnis als Indikator** ermittelt. Danach weist rieselfeldbeeinflusstes Grundwasser höhere Na/Ca-Verhältnisse als landwirtschaftlich beeinflusstes Grundwasser auf (SCHEYTT ET AL. 2000).

Tab. 58: *Zusammensetzung des Grundwassers des 1. GWL im Bereich der Rieselfelder im Süden Berlins, Werte in mg/l, aus: TRÖGER & ASBRAND (1995)*

Parameter	unbeeinflusstes Grundwasser	Rieselfeld beeinflusstes Grundwasser
Leitfähigkeit (in: $\mu\text{S}/\text{cm}$)	500	1.700
Hydrogenkarbonat	165	500
Sulfat	85	240

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Chlorid	14	150
Phosphat	0,01	12
Nitrat	0,3	190
Nitrit	0,01	0,5
Calcium	79	220
Magnesium	7	22
Natrium	7	170
Kalium	1,5	25
Ammonium	0,05	2,6
Eisen	0,5	7

Tab. 59: *Zusammensetzung des Grundwassers des 1. GWL und 2. GWL im Bereich der Rieselfelder Großbeeren und Sputendorf
Mittelwerte und Minimum - Maximum, Werte in mg/l, aus: SCHEYTT et.al. (2000)*

Parameter	1. GWL	2. GWL
pH-Wert	6,9 5,6 - 9,0	7,1 5,5 - 9,7
Leitfähigkeit (in µS/cm)	1.352 375 - 2.840	1.265 394 - 2.400
CSB (in mg O ₂ /l)	15,7 1,0 - 132	12,0 1,0 - 152
DOC	7,8 2,0 - 53,0	7,2 2,0 - 57,0
Sulfat	205 25 - 936	194 1 - 456
Chlorid	111 6,7 - 291	111 8 - 430
Phosphat	5,48 0,15 - 54,5	1,38 0,15 - 29,8
Nitrat	83,5 1 - 500	19,0 1 - 276
Nitrit	0,26 0,05 - 6,93	0,10 0,05 - 0,76
Ammonium	1,99 0,02 - 88,9	0,89 0,02 - 14,6

SOWA ET AL.(1992) heben zur Beschaffenheit des Grundwassers unter Rieselfeldern insbesondere

- die starke Mineralisierung,
- das Vorhandensein von schwer abbaubaren organischen und halogenorganischen Substanzen und
- die hohe Belastung mit Stickstoffverbindungen hervor.

1986 wurde das durch Rieselfeldbewirtschaftung beeinflusste Grundwasser in 96 Hausbrunnen (Teufenbereich: 6 - 26 m unter Flur) der Gemeinde Schenkenhorst im Süden Berlins untersucht. 72 % der Brunnen wiesen stark erhöhte Nitratgehalte von > 50 bis 700 mg Nitrat/l auf (SOWA ET AL 1992).

FRIEDRICH (1992) berichtet über erhöhte Konzentrationen von Ammonium im Rohwasser der Wasserfassungen im Bereich der Rieselfelder im Süden Berlins.

Ungereinigtes Abwasser enthält Stickstoff vor allem als Ammonium. In der humosen Bodenkrume von Rieselfeldern sind ca. 10 - 20 t Stickstoff pro ha akkumuliert, dieser wurde teilweise mineralisiert, bei periodischer Berieselung fand in der Aerationzone unter vorwiegend aeroben Bedingungen die Umwand-

- Literaturstudie -

lung des Ammoniums zu Nitrat statt. Es existieren deshalb zwei Arten von Stickstoffbelastungen des Grundwassers durch Rieselfelder (SOWA ET AL 1992):

- **Nitratbelastete Grundwasserleiter** mit oxidierendem Milieu und Potenzen für einen natürlichen Nitratabbau durch Denitrifikation;
- **Ammoniumbelastete Grundwasserleiter**, wobei stark ammoniumbelastete Grundwasserleiter (> 30 mg/l) keine natürlichen Sorptions- und Abbaumechanismen für Ammonium mehr haben.

Untersuchungen der TU Dresden ergaben, dass im unterirdischen Einflussbereich von Rieselfeldern nur dann mit einer natürlichen biochemischen Stoffeliminierung gerechnet werden kann, wenn ein weiträumiger Grundwasserleiter als Reaktionsraum vorhanden ist, der sehr große Fließwege und Aufenthaltszeiten bei der Untergrundpassage gewährleistet (SOWA ET AL 1992).

In den 90er Jahren durchgeführte Untersuchungen zur Phosphor- und Stickstoffdynamik im Grundwasser unter den bereits 1985 stillgelegten **Rieselfeldern im Norden Berlins** zeigten, dass die Phosphat- und Stickstoffgehalte des Grundwassers über dem Niveau unbelasteter quartärer Grundwässer lagen (GINZEL & NÜTZMANN 1998). So wurden hohe Konzentrationen an Ammonium (bis 30 mg/l) und Nitrat (bis 130 mg/l) gemessen. Mit fortschreitendem Abstand zum Zeitpunkt der Einstellung der Abwasserverrieselung war eine Abnahme des Austrags von anorganischem Phosphor und Stickstoff festzustellen.

Das oberflächennahe Grundwasser unter den **Rieselfeldern Fürstenwalde** wies eine deutliche Beeinflussung des Aquifers durch den Rieselfeldbetrieb auf (LUA 1993B). Dies wird an den Parametern Leitfähigkeit, Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphat, Chlorid, Sulfat und Natrium im Grundwasser deutlich (Tab. 60).

Tab. 60: *Zusammensetzung des Grundwassers unter den Rieselfeldern
Werte in mg/l, aus: LUA (1993b) und TRÖGER & ASBRAND (1995)*

	Grundwasser Rieselfelder Fürstenwalde	Grundwasser Rieselfelder Berlin-Süd
elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)	445 - 1.690	1.700
Hydrogenkarbonat	-	500
Sulfat	27 - 665	240
Chlorid	13 - 121	150
Phosphat	0,03 - 20	12
Nitrat	2 - 254	190
Nitrit	0,01 - 1,6	0,5
Calcium	68 - 271	220
Magnesium	10 - 24	22
Natrium	81 - 113	170
Kalium	8,4 - 20	25
Ammonium	0,02 - 59	2,6
Eisen	0,1 - 12	7

Auch im Bereich der **Rieselfelder Braunschweig** wurde eine Beeinträchtigung des Grundwassers mit Salzen und Nitrat durch die Verrieselung von Abwasser nachgewiesen. So zeigten Sickerwässer nach Abwasserüberstau, dass ein Austrag von Natrium, Kalium und Nitrat in das Grundwasser stattfand, ein besonders starker Anstieg war für das Natrium feststellbar (BAUMANN & BRAMM 1997).

6.2 Schadstoffe

Neben dem Eintrag von Stickstoff- und Phosphorverbindungen aus Rieselfeldböden in den Aquifer kommt der Betrachtung von wassergefährdenden Schadstoffen, wie Schwermetallen und organischen Kontaminanten, eine besondere Bedeutung zu.

- Literaturstudie -

Einfluss auf die Gefährdung hinsichtlich des Pfades Boden - (Sickerwasser) - Grundwasser - (Oberflächenwasser) im Bereich von Rieselfeldern hat der **Zeitpunkt der Einstellung der Abwasserverrieselung**. Nach Stilllegung des Rieselfeldbetriebes ist infolge des veränderten Wasserhaushalts und chemischen Bodenzustandes mit einem Abbau der organischen Substanz und mit einer Abnahme des Bindungsvermögens für Nähr- und Schadstoffe zu rechnen. Die so remobilisierten Stoffe können in das Grundwasser bzw. in die angrenzenden Vorfluter ausgetragen werden (UMWELTATLAS 2000).

6.2.1 Schwermetalle

Als bestimmende Faktoren für die Gefährdung des Sicker-, Grund- und Oberflächenwassers durch Schwermetalle aus Rieselfeldböden sind zu nennen:

- die Art der Bindung der Schwermetalle im Boden (Anteile an organischer Substanz, an pedogenen Oxiden und Tonmineralien, Anteil an Salzen und anorganischen Komplexbildnern);
- der Anteil an löslichen und leicht mobilisierbaren Fraktionen;
- Veränderungen des pH-Wertes im Boden
(nach HERMS & BRÜMMER 1984 ist bei Unterschreitung von folgenden Boden- pH-Werten eine steigende Mobilität von Schwermetallen zu erwarten: Cadmium: < 6,5; Kupfer: < 4,5 - 5,0, Blei: < 5,0; Zink: < 5,0 - 5,5).

FELIX-HENNINGSSEN & ERBER (1992) stellen dazu fest: „Je höher die Konzentration an Nicht-Schwermetallkationen im Bodenwasser (z.B. durch beaufschlagtes Abwasser), desto schneller werden Schwermetalle wieder desorbiert und damit mobilisiert. Die Bildung löslicher metallorganischer Komplexe kann zu einer Tiefenverlagerung und Auswaschung der Schwermetalle schon während der Berieselung führen. ...Unlösliche metallorganische Komplexe setzen dagegen die Schwermetalle erst bei der Mineralisation der organischen Substanz frei. Nach Beendigung der Berieselung können Umlagerungsprozesse, wie das Einwandern von Schwermetallen in pedogene Oxide zu einer langfristigen Festlegung der Schwermetalle geführt haben.“

In Bodenproben der **Rieselfelder Münster** traten bei den höchsten Schwermetall-Gesamtgehalten die größten mobilisierbaren Anteile auf (schwer mobilisierbare Anteile: bestimmt im EDTA-Extrakt, leicht mobilisierbare Anteile: bestimmt im CaCl₂-Extrakt).

Untersuchungen von BURHENNE ET.AL (1997) zur Schwermetallbindung im Boden im Bereich der **Rieselfelder Schenkenhorst** im Süden Berlins ergaben folgende Anteile an löslichen Fraktionen (Summe aus Wasserextrakt, Acetat-Extrakt, EDTA-Extrakt, Angaben in %):

Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Zink
9 - 51	50 - 70	2 - 27	7 - 38	30 - 49	0 - 7	50 - 90

Eine Fraktionierung des Cadmiums in Berliner Rieselfeldböden durch RENGER ET.AL. (1995) zeigte, dass der Anteil des mobilen und leicht nachlieferbaren Cadmiums bei über 30 % lag. Ein beträchtlicher Anteil des Cadmiums kann nach Auffassung der Autoren mit dem Sickerwasser verlagert oder von Pflanzen aufgenommen werden.

Von GRUNEWALD ET AL (1996A) wurde nachgewiesen, dass bei dem relativ schwer mobilisierbaren Blei Stoffdurchbrüche aus Rieselfeldböden im Berliner Süden in das Grundwasser bisher offensichtlich gering waren, während der größere Teil des mobileren Cadmiums aus ursprünglich verrieseltem Abwasser nicht mehr in der Bodenzone vorhanden war. Hohe Cadmiumgehalte und gleichzeitig geringe Bleigehalte in Grabensedimenten der Vorflut bestätigten diese Annahme.

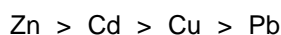
Im Ergebnis einer sequentiellen Extraktion von Schwermetallen in **Rieselfeldböden im Süden Berlins** wurde folgende Reihenfolge der Mobilität der Schwermetalle ausgewiesen:

Cd > Zn > Ni > Cu > Pb > Cr,

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

wobei in den Unterböden der mobile Anteil generell größer als in den Oberböden war (GRUNEWALD ET AL. 1996B).

Auf den **Rieselfeldern Berlin-Buch** wurde dagegen eine gegenüber Cadmium höhere Mobilität von Zink im Boden festgestellt (HOFFMANN 2001):



Umweltgeochemische Untersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Berliner Ballungsraum zeigten im Untergrund von landwirtschaftlich genutzten Flächen (z.B. Rieselfelder) eine Anreicherung von Cadmium, Chrom, Vanadium und Phosphor (BIRKE & RAUCH 2000).

Auf ehemaligen Rieselfeldern ließen sich im Ergebnis dieser Untersuchungen kontrastreiche Schwermetallanreicherungen feststellen, die in Verbindung mit intensiven Versauerungserscheinungen nach Einschätzung der Autoren zur Grundwassergefährdung beitragen.

Die Gefahrenbeurteilung für den Pfad Boden - Grundwasser soll nach Bodenschutzrecht durch die Betrachtung der Schadstoffeinträge über eine **Sickerwasserprognose** erfolgen (BBodSchV 1999).

Diese Prognose bedeutet,

- die von einer altlastverdächtigen Fläche ausgehenden oder in überschaubarer Zukunft zu erwartenden Schadstoffeinträge über das Sickerwasser in das Grundwasser, unter Berücksichtigung von Konzentrationen und Frachten und bezogen auf den Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Zone, abzuschätzen.

Der Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone (Ort der Beurteilung gemäß § 4 Abs. 3 BBodSchV) ist nicht exakt definiert und kann sich im Jahresverlauf ändern (SCHMID & ZEISBERGER 2001). Die direkte Beprobung des Sickerwassers am Ort der Beurteilung ist in aller Regel kaum möglich.

Deshalb wird eine Sickerwasserprognose zumeist

- durch Rückschlüsse oder Rückrechnungen aus Untersuchungen des Grundwassers im An- und Abstrom,
- auf der Grundlage von in-situ-Untersuchungen am Ort der Beurteilung,
- Materialuntersuchungen im Labor (z.B. Elutionsverfahren, Säulenversuche) oder
- unter Anwendung von numerischen Stofftransportmodellen (BBodSchV 1999, Anhang 1, Nr. 33, s.a. REINSTORF ET AL. 2001, DASIMA 2001, GÄTH & SCHUG 2000).

durchgeführt.

Wesentliche Faktoren für eine Sickerwasserprognose sind

- die regionalspezifische Nettosickerwasserspende,
- die Quellstärke (Ermittlung der mobilisierbaren Schadstoffanteile) und
- das Transportverhalten der Schadstoffe

unter Berücksichtigung des Schadstoffmetabolismus und -abbaus sowie der Festlegung von Schadstoffen in der ungesättigten Bodenzone (LFU 2001, GRATHWOHL & SUSSET 2001).

Bisher existiert kein bundeseinheitliches Vorgehen bei der Durchführung von Sickerwasserprognosen im Rahmen der Altlastenbearbeitung. Im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes SIWAP (Prognose des Schadstoffeintrages in das Grundwasser mit dem Sickerwasser - Sickerwasserprognose) werden z.Z. die wissenschaftlichen Grundlagen mit dem Ziel, entsprechende praktikable und justiziable Verfahren zu erarbeiten, geschaffen (RUDEK & EBERLE 2001).

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

Gleichzeitig werden in einer Reihe von Bundesländern und in verschiedenen Institutionen entsprechende Arbeitshilfen zur Durchführung und zum Vollzug von Sickerwasserprognosen vorbereitet (SCHMID 2001), wie z.B.:

- der Altlastenausschuss (ALA) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) beabsichtigt kurzfristig eine länderübergreifende Arbeitshilfe für die Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfad des Boden - Grundwasser zu erstellen;
- Hessen hat eine „Richtlinie zur Beurteilung des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser“ veröffentlicht (s. auch SCHMID & ZEISBERGER 2001), deren Anwendung auch in Rheinland-Pfalz empfohlen wird;
- in Bayern liegt eine Arbeitshilfe unter dem Titel „Bewertung von Grundwasserunreinigungen und schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten für den Wirkungspfad Boden - Wasser“ als Entwurf vor;
- in Nordrhein-Westfalen wurde eine „Arbeits- und Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung „Boden - Grundwasser“ (LANDESUMWELTAMT NRW 2002) sowie ein Merkblatt „Empfehlungen zur Durchführung von Säulenversuchen“ erstellt;
- in Niedersachsen arbeitet eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe an einer Arbeitshilfe mit dem Titel „Die Sickerwasserprognose in der Praxis“;
- in Sachsen wurde ein vorläufiger „Rahmenerlass Altlasten-/Grundwasserbewertungen und Festsetzung vorläufiger Sanierungszielwerte am Ende einer Detailuntersuchung“ herausgegeben (s. auch MÜLLER 2001);
- die Staatlichen Geologischen Dienste haben „Handlungsempfehlungen zur Sickerwasserprognose für die Bewertung des Wirkungspfad des Boden - Grundwasser“ erarbeitet.

Durch das Land Brandenburg werden z.Z. keine eigenständigen Arbeiten zur Durchführung von Sickerwasserprognosen ausgeführt.

In Tabelle 61 werden mittlere Schwermetallausträge mit dem Sickerwasser aus unbelasteten Böden in Deutschland in Abhängigkeit von der Nettosickerwasserspende (Grundwasserneubildung) angegeben.

Tab. 61: Mittlere Schwermetall-Austräge mit dem Bodensickerwasser auf unbelasteten Böden in Deutschland in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildung
Werte in g/ha/a, aus: BANNICK et al. (2001)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Sickerwasserkonzentration (µg/l)	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
Austrag bei 100 mm GW-Neubildung	0,14	4,6	4	0,14	8,9	0,28	19
Austrag bei 200 mm GW-Neubildung *	0,28	9,2	8	0,28	17,8	0,56	38
Austrag bei 300 mm GW-Neubildung	0,42	13,8	12	0,42	26,7	0,84	57
Austrag bei 400 mm GW-Neubildung	0,56	18,4	16	0,56	35,6	1,12	76

Sickerwasserkonzentration Medianwerte für alle Bodenarten

GW-Neubildung Grundwasserneubildungsrate = Nettosickerwasserspende

* 200 mm - mittlere Grundwasserneubildungsrate (Nettosickerwasserspende) für Deutschland

Im Ergebnis der Arbeiten zum UBA-Forschungsprojekt „Validierung von Boden-Eluatgehalten zur Prognose von Inhaltsstoffen des Bodensickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk/BBodSchV“ zeigte sich, dass eine Zuordnung der ermittelten Sickerwasserkonzentrationen zu bestimmten Bodensubstraten nicht möglich war, so dass die in Tabelle 61 angegebenen Sickerwasserkonzentrationen (Medianwerte aus Lysimeteruntersuchungen) Mittelwerte für alle Bodenarten (unbelastete Böden) darstellen (BIELERT ET AL.1999, BANNICK ET AL.2001). Sie können bei Sickerwasseruntersuchungen auf ehemaligen Rieselfeldern als Vergleichswerte herangezogen werden.

Mit Hilfe von **Schadstoff-Transportmodellen** (vorwiegend Simulationsmodelle) wurde versucht, für verschiedene Rieselfeldstandorte die langfristig ablaufende Schwermetallverlagerung im Boden und damit

- Literaturstudie -

einhergehende Gefährdung des Grundwassers zu prognostizieren (Tab. 63, vgl. auch NÜTZMANN ET AL 2000, SCHNEIDER & FÖHR 2000, ASBRAND 1997, STRECK 1995).

Die in Tabelle 62 dargestellten Ergebnisse einer solchen Modellierung für die Standorte der ehemaligen **Rieselfelder Berlin-Buch** und **Gatow** zeigen, dass die Festlegung der Schwermetalle im Rieselfeldboden und ablaufende Prozesse der Bodenversauerung langfristig offensichtlich zu einer ganz unterschiedlichen Freisetzung von Schwermetallen führen können.

Tab. 62: *Angaben zur möglichen Verlagerung von Zink und Cadmium auf den Rieselfeldern Berlin-Buch und Gatow in einem Zeitraum von 100 Jahren aus: STOFFREGEN et al. (1998)*

Zeit (Jahre)	Konzentration in der Bodenlösung in 180 cm Tiefe			Konzentration in der Festphase im Oberboden (0 - 20 cm)		
	mg/l			mg/kg		
	0	50	100	0	50	100
Zink						
Buch, mit Versauerung	20.000	27.000	90.0000	672	390	280
Buch, ohne Versauerung	20.000	5.600	4.900	672	580	520
Gatow, mit Versauerung	70	70	70	529	528	523
Cadmium						
Buch, mit Versauerung	76	430	328	28	22,6	18,2
Buch, ohne Versauerung	76	89	89	28	26,3	24,7

In Ackerböden der **Rieselfelder Braunschweig** eingetragene Schwermetalle wurden mit geringer Geschwindigkeit verlagert, die Cadmiunverlagerung ließ sich hinreichend genau modellieren (STRECK 1995). Obwohl die Cadmiumkonzentration im Abwasser seit Mitte der 80er Jahre stark gesunken war, wird nach Einschätzung des Autors auf der Grundlage von Modellierungsuntersuchungen diese im Sickerwasser des Gebietes Braunschweig zukünftig deutlich ansteigen. Die Beendigung der Verregnung von Abwasser würde diesen Konzentrationsanstieg zwar verzögern, aber nicht verhindern.

Das Grundwasserqualitätsziel von 0,003 mg Cadmium/l im Bereich der Rieselfelder Braunschweig erfordert nach INGWERSEN ET AL (2000) einen mittleren tolerierbaren Cadmium-Gesamtgehalt von 0,61 mg/kg Boden. Der Cadmium-Grenzwert der Klärschlammverordnung von 1 mg Cadmium/kg Boden sei deshalb für das Gebiet der Braunschweiger Rieselfelder für einen langfristigen Grundwasserschutz unzureichend.

Die Modellierung der Cadmium-Verlagerung auf **Rieselfeldern im Norden Berlins** erbrachte einen Wert von < 1 cm/a (im Vergleich: Chlorid und Nitrat > 1cm/a, RENGGER ET.AL. 1995). Die Autoren ermittelten, dass die Verlagerung und Retardation von Schwermetallen wesentlich durch den pH-Wert der Rieselfeldböden beeinflusst wurden und in der Reihenfolge Cd = Zn >> Cu > Pb abnahmen, d.h. die Verlagerungsgeschwindigkeit aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser war für Cadmium und Zink höher als für Kupfer und Blei.

HOFFMANN ET AL(2000) stellen dazu fest, dass auf den seit Mitte der 80er Jahre stillgelegten Rieselfeldern Berlin-Buch eine Tiefenversauerung durch Oxidation von Sulfiden zu Sulfat infolge der Einstellung der Verrieselung und dem Absinken des Grundwasserspiegels stattfindet. Diese Versauerung führt dazu, dass mobilisierte Schwermetalle in der Tiefe nahezu nicht zurückgehalten und mit dem Sickerwasser in Richtung Grundwasser verlagert werden können (Tab. 63).

Tab. 63: *Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung in unterschiedlichen Tiefen der Rieselfelder Berlin-Buch, Werte in mg/l, aus: HOFFMANN et al. 2000*

	50 cm	100 cm	180 cm	Prüfwert BBodSchV für den Pfad Boden-Grundwasser

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Cadmium	0,11 0,01 - 0,67	0,11 0 - 1,40	0,09 0,01 - 0,38	0,005
Kupfer	0,22 0,01 - 2,22	0,42 0,03 - 3,11	1,93 0,07 - 8,30	0,050
Zink	5,1 0,1 - 79	20,4 0,4 - 118	21,0 1,1 - 68	0,500

obere Zeile Mittelwerte
untere Zeile Minimum - Maximum

Im quartären Grundwasser (1. GWL) im Bereich der Mitte der 80er Jahre stillgelegten Rieselfelder im Norden Berlins wurden in den 90er Jahren folgende Maximalkonzentrationen an Schwermetallen gemessen (Werte in mg/l, aus: GINZEL & NÜTZMANN 1998):

Blei	Cadmium	Nickel	Zink
0,0045	0,013	0,49	3,5

Dabei wurde festgestellt, dass der Schwermetallaustrag nach zwischenzeitlicher Reduzierung nach 1996 wieder zunahm.

Untersuchungen des Grundwassers im Bereich der **Rieselfelder im Süden Berlins** ergaben gegenüber unbeeinflusstem Grundwasser erhöhte Kupfer-, Nickel- und Zink-Konzentrationen, während Kontaminationen des oberflächennahen Grundwassers mit Blei, Cadmium und Quecksilber nicht nachweisbar waren (SCHENK 1995). Ein Schwermetalleintrag aus dem 1. GWL unter den Rieselfeldern in den tieferliegenden 2. GWL hatte Mitte der 90er Jahre noch nicht stattgefunden (TRÖGER & ASBRAND 1995). Die teilweise starke Schwermetallanreicherung in den Rieselfeldböden in dieser Region scheint sich demnach bisher noch nicht in dem zu erwartenden Maße auf das Grundwasser ausgewirkt zu haben.

GRUNEWALD (1995) bemerkt dazu: „Aktuelle Gefährdungen sind im Bereich der beaufschlagten Rieselfelder aufgrund der hohen Gehalte an organischer Substanz und Gesamteisen sowie der günstigen pH-Werte und der damit verbundenen geringen Mobilität der Schadstoffe noch relativ gering.“

Untersuchungen des oberflächennahen Grundwasserleiters unter den **Rieselfeldern Fürstenwalde** in den Jahren 1992/1993 ergaben trotz teilweise sehr hoher Cadmium-Gehalte im Boden (vgl. Tab. 37) keine Hinweise auf eine umweltrelevante Cadmium-Belastung des Grundwassers, maximal wurden 0,004 mg Cd/l im Grundwasser gemessen. Vereinzelt wurden hohe Zinkkonzentrationen (maximal 5,30 mg Zn/l) ermittelt, während weitere Schwermetalle im Grundwasser unter den Rieselfeldern Fürstenwalde zumeist nicht nachzuweisen waren (LUA 1993B).

6.2.2 Organische Schadstoffe

TRÖGER & ASBRAND (1995) schätzten ein, dass die Belastung des Grundwassers mit organischen Schadstoffen im Bereich der **Rieselfelder im Süden Berlins** (Bereich Großbeeren und Sputendorf) insgesamt gering ist.

Vom September 1992 bis April 1995 in acht Beprobungszyklen durchgeführte Grundwasseranalysen in dieser Region zur Bestimmung organischer Schadstoffe ergaben nach HEBERER (1995)

- keine signifikanten rieselfeldrelevante Befunde für PAK, PCB, chlorierte Pestzide und Triazin-Herbizide,
- keine eindeutigen Aussagen zur Gefährdung des Grundwassers durch Phthalate, Phenole und Nitroschusverbindungen,
- den Nachweis des Vorhandenseins der PSM-Wirkstoffe Mecoprop und Dichlorprop (Phenoxycarbonsäuren) im Grundwasser in Konzentrationen zumeist < 100 ng/l.

- Literaturstudie -

Im Grundwasser der Region wurde der Arzneimittelwirkstoff Chlofibrinsäure nachgewiesen. Die Konzentration dieses Stoffes, bestimmt in fast 700 Wasserproben aus dem Bereich Großbeeren-Sputendorf, schwankte zwischen 1 ng/l und 4.500 ng/l, wobei in der Tendenz eine Konzentrationsabnahme vom beaufschlagten Abwasser über das Oberflächenwasser aus Drainagegräben bzw. Rieselfeld-Vorflutern zum Grundwasser festzustellen war (SCHEYTT ET AL.2000).

Die Belastungsverteilung des Grundwassers mit Chlofibrinsäure spiegelte die Lage der Rieselfelder sowie deren Abstrombereiche gut wider. Im weiteren Umfeld der Rieselfelder nahm die Chlofibrinkonzentration im 1. GWL ab, in den tieferliegenden GWL dagegen wieder zu. HEBERER (1995) schlussfolgerte daraus, dass Chlofibrinsäure, welche mit kommunalem Abwasser in die Rieselfelder eingetragen wurde, im Rieselfeldboden nicht fixiert und in tiefer liegende Grundwasserstockwerke verlagert wurde. Von den Autoren wurde eingeschätzt, dass durch die Chlofibrinfunde zwar die Qualität des Grundwassers beeinträchtigt ist, bezüglich der Trinkwassernutzung jedoch keine gesundheitlichen Gefahren ausgingen.

Ein ähnliches Verhalten wurde bei diesen Untersuchungen unter den Rieselfeldern Großbeeren und Sputendorf für die erstmalig in Umweltproben nachgewiesene Verbindung N-(Phenylsulfonyl)-sacrosin festgestellt (Konzentrationen bis 0,150 mg/l).

Die vereinzelt in hohen Konzentrationen im Grundwasser im Bereich dieser Rieselfelder nachgewiesenen leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) hatten ihre Quelle vor allem ausserhalb der Rieselfelder (SCHENK 1995).

HOFFMANN ET AL(2000) fanden im Grundwasser im Bereich der **Rieselfelder Berlin-Buch** Kohlenwasserstoff-Konzentrationen (MKW) bis zu 300 µg/l und PAK-Konzentrationen bis zu 0,7 µg/l.

Das oberflächennahe Grundwasser unter den **Rieselfeldern Fürstenwalde** war 1992/1993 nicht mit den im Boden nachgewiesenen PCB und MKW (s. Tab. 45) kontaminiert, während für die Stoffgruppe der PAK Konzentrationen zwischen 0,01 und 0,19 µg PAK/l im Grundwasser gemessen wurden (LUA 1993B). Im gleichen Grundwasser wurden auch Tenside nachgewiesen (< 0,06 - 1,8 mg anionische Tenside/l).

6.3 Sonstige Auswirkungen von Rieselfeldern auf das Grundwasser

Die Einstellung der Abwasseraufleitung auf die Rieselfelder im Berliner Umland hatte und hat erheblichen Einfluss auf den **Gebietswasserhaushalt**. Im Süden von Berlin wurde seit 1987 ein deutliches Fallen des Grundwasserspiegels um mehr als vier Meter registriert (SCHENK 1995).

In der Niederung am Großbeerener Graben (Nuthegraben) existieren eine Vielzahl von Gräben, die zur Nuthe hin entwässern. Während des Betriebs der Rieselfelder um Großbeeren, Sputendorf und Osdorf wurden über dieses Grabensystem die umliegenden Rieselfelder entwässert (MANDL 2001). Mit Einstellung des Rieselfeldbetriebs gingen die Abflüsse erheblich zurück, die Grundwasserstände fielen von Jahr zu Jahr, der Großbeerener Graben fiel abschnittsweise sogar trocken, d.h. es entstanden deutliche Defizite im Wasserhaushalt der Region.

Zum Ausgleich dieser Defizite wurde von 1997 bis 1999 probeweise über einen sogenannten Bewässerungsüberleiter Klarwasser aus der Kläranlage Waßmannsdorf in die Nuthegrabenniederung geleitet. Unter Einbeziehung der Belange des Natur- und Bodenschutzes sowie der Flächennutzung soll basierend auf den Erkenntnissen aus dieser Probephase nunmehr ein wasserhaushaltliches Management erarbeitet werden (MANDL 2001).

Im Norden von Berlin traten im Zusammenhang mit der Stilllegung der Rieselfelder u.a. Probleme mit der Wasserführung der Panke und des Tegeler Fließ auf.

Die Stilllegung der Rieselfelder im Berliner Umland hatte auch einen deutlichen Einfluss auf die Hochwasserereignisse der Vorflut, die in der Regel deutlich zurückgingen.

7 Möglichkeiten zur Nutzung ehemaliger Rieselfelder

Der **Zustand** der ehemaligen Rieselfelder 1997 im Land Brandenburg, insbesondere im Umland von Berlin, wurde wie folgt beschrieben (LUA 1997B):

Kategorie I: *aufgelassene und umgestaltete Flächen, auf denen die typischen Riesefeldstrukturen seit mehreren Jahren beseitigt sind, der Boden durchmischt und erneut eingeebnet wurde;*

Kategorie I: *nicht mehr beaufschlagte Flächen mit erhaltener Riesefeldstruktur, d.h. Tafeln, Dämme und Grabensysteme sind noch vorhanden;*

Kategorie III: *Flächen mit intakter Riesefeldstruktur und Feuchthaltung.*

Die Feuchthaltung des letzten Riesefeldkomplexes im Land Brandenburg (Rieselfelder Wansdorf) wurde 1999 eingestellt.

SOWA ET AL.(1992) haben Anfang der 90er Jahre folgende Grundforderungen im Zusammenhang mit der Folgenutzung von Riesefeldern formuliert:

- Einstellen bzw. Einschränken der Zufuhr von Schadstoffen beim Aufbringen von Wasser, Klärschlamm oder sonstiger Abfall;
- Erhalt, Pflege und Schutz der Riesefeldlandschaften und Feuchtbiotope;
- Bodennutzung und Nutzungsänderungen ohne Gefährdung der Schutzgüter, hier speziell der menschlichen Gesundheit, der Bodenfunktionen, der Biotope und der Gewässer;
- ökologisch verträgliche Sanierungslösungen für schadstoffbelastete Böden und Grundwasserleiter.

Für die stillgelegten Rieselfelder in Berlin und dessen Umland wurden folgende Varianten einer möglichen Nachnutzung vorgeschlagen (BAUER & POHL 1998):

- **landwirtschaftliche Nutzung** zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen;
- **forstwirtschaftliche Nutzung** mit sorgfältiger Bestandesbegründung, geeigneter Baumauswahl sowie Mulcheinsatz;
- **naturschutzliche Nutzung**, jedoch mit regelmäßigen Eingriffen, wie Meliorationskalkungen und Pflegemaßnahmen;
- **Erholungsnutzungen** unter der Prämisse geringer Bodenstörungen;
- **Bebauung**, wenn belastetes Bodenmaterial abgetragen oder versiegelt wird.

In Brandenburg und in anderen Regionen Deutschlands sind derzeit u.a. folgende Nutzungen von ehemaligen Riesefeldern bekannt:

- städtebauliche Erschließung für Gewerbegebiete, Verkehr und Naherholung (z.B. Rieselfelder in Freiburg, Rieselfelder in Hannover-Garbsen),
- Errichtung von Sport- und Freizeitanlagen (z.B. Anlage für Motorcross-Sport auf den Riesefeldern Schenkenhorst, Landkreis Potsdam Mittelmark),
- landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Nutzung (z.B. Rieselfelder im Norden Berlins (Aufforstung), Rieselfelder der Stadt Dortmund, Rieselfelder Gütersloh),
- Schutz und Erhalt von ökologisch wertvollen Feuchtgebieten als Reservate für geschützte Vögel (z.B. Rieselfelder Münster, Rieselfelder Bielefeld - Windel),
- Nutzung von Riesefeldern für Kläranlagenabflüsse (z.B. Rieselfelder Braunschweig).

SCHENK (1997) stellt zur Nutzung stillgelegter Rieselfelder in Brandenburg fest: „Für die Nachnutzung ehemaliger Rieselfelder kann es keine allgemeingültigen Empfehlungen geben. Zu verschieden sind die Belastungsverhältnisse im Boden und der geologische Aufbau der einzelnen Gebiete, so dass für jeden Riesefeldstandort auf der Basis einer naturräumlichen Bestandsaufnahme eine individuelle Lösung gefunden werden muss. Darüber hinaus sind die Nutzungsansprüche an den Raum zu verschiedenartig, als dass sich mit einer einzigen Nutzungsvariante ein Konzept für alle Riesefeldflächen realisieren ließe.“

Deshalb wurden durch den „Wissenschaftlich-Technischen Beirat Rieselfelder“ beim Landesumweltamt Brandenburg verschiedene Varianten der Folgenutzung von ehemaligen Rieselfeldern, wie landwirtschaftliche Nutzung, forstwirtschaftliche Nutzung, Bebauung oder Brache detailliert betrachtet und bewertet, ohne dabei eine Empfehlung zugunsten einer bestimmten Nutzungsvariante zu geben (LUA 1997B).

Ein von der TU Dresden erstelltes Konzept für die Rieselfelder Berlin-Karolinenhöhe sieht das Ökosystem Rieselfeld als Transformationsglied zwischen Abwasserbehandlung und den umgebenden Gewässern in technologischer und ökologischer Funktionalität.

In den 90er Jahren wurden ca. 3 Mio. m³ gereinigtes Abwasser aus dem Ablauf der Kläranlage Ruhleben sowie Mischwasser aus dem Einzugsgebiet der Pumpwerksgruppe Spandau (letzteres bis 1996 mit Duldung der zuständigen Wasserbehörde) auf die Rieselfelder Karolinenhöhe zur Versickerung geleitet.

Die Berliner Wasserbetriebe schlugen vor, zur regionalen Grundwasseranreicherung, zukünftig die Rieselfelder Karolinenhöhe pro Jahr mit maximal 4 Mio. m³ gereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Ruhleben und 0,5 Mio. m³ Mischwasser zu beschicken (HEINZMANN 2000).

Durch die Beaufschlagung von ehemaligen Rieselfeldern mit gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen könnten nach Ansicht von u.a. NESTLER ET AL(1990), SOWA ET AL(1992 u.1993), HEINZMANN (2000), MILDE ET AL(1985), LINKE ET AL(1990), MELSHEIMER (1997), KUNOWSKI ET AL(1997), LUA (1997B), ERTL & GINZEL (2000) folgende Ziele erreicht werden:

- Minimierung des Stoffeintrages durch Umstellung der Verrieselung von Rohabwasser bzw. mechanisch gereinigtem Abwasser auf Klarwasser aus Kläranlagen;
- Schutz der Oberflächengewässer vor einer Direkteinleitung von Kläranlagenabläufen bei Havarien durch Zwischenspeicherung auf biologisch aktiv gehaltenen Rieselfeldern;
- Schaffen einer naturnahen Behandlungsmöglichkeit für anfallendes Regenwasser aus Misch- und Trennkanalesationen der Städte;
- Nutzung der Rieselfelder als Feinreinigungs- und Schönungsstufe für das Ablaufwasser von Kläranlagen;
- Schutz der Rieselfeldböden vor Degradierung und Remobilisierung von akkumulierten Schadstoffen durch Erhalt des Humus- und Feuchtestatus;
- Nutzung der ökologisch wertvollen Feuchtgebiete als eutrophe, hoch produktive aquatische Ökosysteme zur N- und P-Elimination;
- Ausgleich des Wasserhaushaltsdefizits und langfristige Sanierung des Grundwassers durch naturräumliche Grundwasseranreicherung;
- Steuerung der Schadstoffausbreitung in kontaminierten Grundwasserleitern durch Infiltration;
- Erhalt der kulturhistorisch wertvollen Rieselfeldlandschaft als stadtoökologischer Freiraum für Freizeit- und Erholungsnutzung;
- Erhalt des bewässerten Landbaus mit dienendem Charakter für Landschaftspflege und Landschaftsschutz.

Von SOWA ET AL(1992) wurden in diesem Zusammenhang folgende Funktionstypen der Rieselfeldgestaltung nach landschaftlichen, ökologischen und wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten unter Nutzung der Kenntnisse aus dem Rieselfeldgebiet Münster vorgeschlagen:

- Typ I: Rieselfelder als bewässerte landwirtschaftliche Nutzfläche**
Berrieselung mit gut gepuffertem, mechanisch-biologisch gereinigtem Abwasser (2 - 5 m/a); Anbau von Futter- und Zierpflanzen unter Kontrolle der Schwermetallgehalte;
- Typ II: Rieselfelder als Zwischenspeicher für Feuchtwiesenbiotope**
auf hochdurchlässigen Böden mit mächtiger Aerationzone, gewährleistet bei periodischer Überstauung eine naturräumliche Grundwasseranreicherung von 10 - 25 m/a; Pflege der Feuchtwiesen durch extensives Mähen in avifaunistisch unbedenklichen Zeiträumen;

Typ III: Rieselfelder als Teichkaskadensysteme mit hohem Mäandrierungsgrad
zur Zwischenspeicherung und Schönung von mechanisch - biologisch vorgereinigtem Abwasser; Flachwasserteiche mit mäandrierenden, makrophytenbesetzten Verlandungszonen; Grundwasseranreicherung von 3 - 7 m/a möglich; auf geringdurchlässigen Arealen;

Typ IV: Kaskadensystem von Schönungsteichen
Teiche mit geringem Eutrophierungsgrad, Wasserüberleitung in angrenzende Gewässer bei Einhaltung spezieller Richtwerte;

Ein Beispiel für die Feuchthaltung von ehemaligen Rieselfeldern in Verbindung mit wasserwirtschaftlichen Maßnahmen stellt ein Projekt zur möglichen Nutzung der ehemaligen Rieselfelder Deutsch Wusterhausen und Boddinsfelde im Süden Berlins dar (HEINZMANN 2000).

Das gereinigte Abwasser aus der nördlich der beiden Rieselfeldkomplexe liegenden Kläranlage Waßmannsdorf sollte über den Nottekanal auf die Rieselfelder geleitet werden. Diese Maßnahme sollte vordergründig der Stützung der Wasserführung der Spree und gleichzeitig zur Feuchthaltung der Rieselflächen dienen.

Nach SCHENK (1997) wäre zwar eine ständige Feuchthaltung der betroffenen Rieselfeld-Flächen im Berliner Umland prinzipiell möglich, das dazu benötigte Abwasservolumen läge aber weit unter den für eine wirtschaftliche Entsorgung des vorab gereinigten Abwassers notwendigen Mengen.

Im Ergebnis intensiver Untersuchungen der Rieselfelder im Süden Berlins hat sich eine Nutzung zur weiteren Reinigung von Abwasser aus Kläranlagenabläufen auf diesen Rieselfeldern im Sinne einer „vierten Reinigungsstufe“ als **nicht** sinnvoll herausgestellt, da:

- mit dem gereinigten Abwasser noch zu große Stofffrachten in die Rieselfeldböden eingetragen würden,
- die vorhandenen Rieselfeldflächen nur zur Verrieselung eines Teiles der im Raum Berlin anfallenden Abwässer ausreichen,
- dabei die Gefahr besteht, dass es infolge der Verrieselung des gereinigten Abwassers zur Freisetzung von Phosphaten in den Rieselfeldböden kommen kann, die einen erhöhten Phosphateintrag über Dränagen in die Oberflächengewässer bewirken würden.

Im Zuge der Erstellung einer „Machbarkeitsstudie zur Wiedervernässung von Rieselfeldstandorten im Land Brandenburg“ wurden im Ergebnis einer naturschutzfachlichen Prüfung die in Tabelle 64 ausgewiesenen Möglichkeiten für die Nachnutzung der Rieselfeldflächen im Umland von Berlin dargestellt (LUA 1998).

Tab. 64: Möglichkeiten für die Nachnutzung der Rieselfeldflächen im Umland von Berlin, aus: LUA (1998)

RFB	mögliche Nachnutzung
Sputendorf	Wiedervernässung, Erhalt der Rieselfelder als größten zusammenhängenden Rieselfeldkomplex der Region, ggf. auch als technische Denkmäler, Erhalt und Entwicklung der für den Arten- und Biotopschutz wichtigen Habitatsstrukturen, Einbeziehung in Konzepte zur landschaftsgebundenen Erholung (Regionalpark Teltow)
Großbeeren, Osdorf Waßmannsdorf Boddinsfelde	ordnungsgemäße Landwirtschaft, Erhalt landschaftsgliedernder Elemente und des Offenlandcharakters, Anlage von Feldgehölzen vorrangig über natürliche Sukzession (ggf. mit Initialpflanzungen), Einbeziehung in Erholungskonzepte unter Beachtung des Arten- und Biotopschutzes, wenn möglich ggf. auch Wiedervernässung
Großziethen	ordnungsgemäße Landwirtschaft
Deutsch Wusterhausen	Wiedervernässung, Erhaltung bestehender Rieselfeldstrukturen, in Teilbereichen Anlage von Teichen/Mäandern, ggf. Teichkaskaden, Einbeziehung in Konzepte zur landschaftsgebundenen Erholung, ggf. auch als technisches Denkmal, Nutzung von

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Riesefeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

	Klarwasser der Kläranlage Waßmannsdorf und/oder der anfallenden Niederschlagswässer des Flughafens BBI bei Schönefeld
Münchehofe	ordnungsgemäße Landwirtschaft, ggf. Wiedervernässung
Hellersdorf	gestalterische Aufwertung, Naherholung
Hobrechtsfelde Schönerlinde	ordnungsgemäße Landwirtschaft, Erhalt und Entwicklung landschaftsgliedernder Elemente, teilweise Waldentwicklung vorrangig über natürliche Sukzession (ggf. mit Initialpflanzungen)
Mühlenbeck	Aufwertung des Ortsbilds im bebauten Bereich, im südlichen Bereich ordnungsgemäße Landwirtschaft, Einbeziehung in landschaftsbezogene Erholung unter Beachtung von Arten- und Biotopschutzaspekten, Erhaltung und Entwicklung naturnaher Stand- und Fließgewässer
Wansdorf	vorrangig Beibehaltung der Verrieselung, möglichst Klarwasserverrieselung, Anlage zusätzlicher Landschaftselemente zur Belebung d. Landschaftsbildes
Karolinenhöhe- Seeburg	vorrangig Wiedervernässung, möglichst Klarwasserverrieselung, Anlage zusätzlicher Landschaftselemente zur Belebung des Landschaftsbildes

RITSCHEL & KRATZ (2000) haben diese Vorschläge präzisiert und aktualisiert. Unter Berücksichtigung neuer Ergebnisse der Untersuchung ehemaliger Rieselfelder, aktueller regionalpolitischer Entwicklungen und aktueller gesetzlicher Vorgaben wurde von den Autoren ein **Konzept zu einer umweltverträglichen Nachnutzung von Riesefeldern** mit speziellem Bezug auf die stillgelegten Rieselfelder im Berliner Umland formuliert, welches u.a. folgende Schwerpunkte und Prämissen beinhaltet:

- *gezielte Planung und Einflussnahme durch die für den Bodenschutz zuständigen Behörden hinsichtlich einer umweltverträglichen Nachnutzung der ehemaligen Rieselfelder,*
- *dabei Berücksichtigung der Belange des Umweltschutzes (Natur-, Boden- und Gewässerschutz) und der Regionalplanung,*
- *Zielvorgabe für die im Umland Berlins liegenden Rieselfeldflächen ist die Gestaltung ausgewählter Rieselfelder als Naturschutz- und Erholungsflächen (z.B. Spazierwege),*
- *Anstreben einer möglichst kleinteiligen, vielfältigen und extensiven Nutzung (u.a. Land- und Forstwirtschaft, Sukzession),*
- *auf gering belasteten Standorten ordnungsgemäße landbauliche Nutzung unter Ausschluss des Anbaus von Nahrungspflanzen,*
- *Entwicklung von möglichst naturnahen Forsten oder Erholungsflächen für die an ehemalige Rieselfelder angrenzenden Siedlungsbereiche,*
- *Erhaltung der wertvollen an die feuchten, nährstoffreichen Standortbedingungen angepassten Biozönose (große Artenvielfalt, viele gefährdete Pflanzen- und Tierarten) durch weitere Feuchthaltung geeigneter Bereiche,*
- *Erhalt einer ganzjährig geschlossenen Vegetationsdecke zur Minimierung humantoxikologischer Risiken,*
- *Ablehnung von Aktivitäten, die die vorhandene intakte Vegetationsdecke zerstören (z.B. Motocross- oder Mountainbike-Strecken),*
- *Berücksichtigung des durch den gemeinsamen Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin für die künftige Nutzung der Rieselfelder vorgegebenen Rahmens (Rieselfelder sind ausgewiesener Freiraum, s. VERORDNUNG 1998),*
- *Einbeziehung der Rieselfelder in die Konzeptionen zur Entwicklung von Regionalparks im Berliner Umland,*
- *teilweise Erhaltung noch bestehender Rieselfeldstrukturen als gliedernde Landschaftselemente und aus kulturhistorischen Gründen; Berücksichtigung des kulturhistorischen Wertes der von Riesefeldern geprägten Landschaft,*
- *Unterschützstellung ausgewählter Flächen (z.B. Naturschutz- oder Bodenplanungsgebiete),*
- *geringe Versiegelung und Erhalt als Freiraum (Offenlandschaften),*
- *keine Wiedervernässung langjährig aufgelassener Flächen ohne Sicherungsmaßnahmen,*
- *Wohnbebauung nur auf unbelasteten Teilflächen, ansonsten Gewerbeansiedlung,*
- *Nutzungsfestschreibung in Abhängigkeit vom Kontaminationsgrad.*

8 Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern

Zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern sind durch den Pflichtigen gemäß § 4 Abs. 2 und 3 BBodSchG (1998)

- Maßnahmen zur Abwehr schädlicher Bodenveränderungen zu ergreifen,
- der Boden sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren,
- sonstige Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen durchzuführen.

Derartige Maßnahmen gemäß BBodSchV können auf ehemaligen Rieselfeldern in Abhängigkeit von der jeweiligen konkreten Standortsituation sein:

- **Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen**, d.h. vorwiegend Maßnahmen zur Nutzungseinschränkung,
- **Dekontaminationsmaßnahmen** zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe,
- **Sicherungsmaßnahmen** zur langfristigen Verhinderung und/oder Verminderung der Ausbreitung der Schadstoffe.

Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern sind im engen Zusammenhang mit der **aktuellen und planungsrechtlich zulässigen zukünftigen Nutzung** dieser Flächen zu sehen, d.h.:

- (1) Maßgeblich bei der Festlegung der Pflichten der Gefahrenabwehr ist die planungsrechtlich zulässige Nutzung des stillgelegten Rieselfeldkomplexes oder von Teilbereichen und das sich daraus ergebende Schutzbedürfnis hinsichtlich der Wirkungspfade Boden - Mensch und Boden - Nutzpflanze.
- (2) Für die Sanierungsziele beim Wirkungspfad Boden - Grundwasser spielt die Nutzung keine Rolle.
- (3) Fehlen planungsrechtliche Festsetzungen (Bebauungspläne, Fachplanungen ...), bestimmt die Prägung des Gebietes unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung das Schutzbedürfnis (LFU 2001).

8.1 Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen im Sinne von § 2 Abs. 8 BBodSchG sollen insbesondere durch Nutzungsbeschränkungen Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindern oder vermindern.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen im Altlastenbereich können sein (SRU 1995):

- Nutzungseinschränkungen,
- Sicherung vor Zutritt,
- Evakuierung von Anwohnern oder
- Zwischenlagerung ausgetretener Stoffe.

Für stillgelegte Rieselfeldflächen wurden zum Zwecke der Gefahrenabwehr vor allem Maßnahmen zur Verminderung der Mobilisierung von Schadstoffen, wie

- Aufrechterhaltung hoher Humusgehalte im Oberboden,
- Verhinderung von pH-Wertabsenkungen und/oder
- Feuchthaltung ohne größere Durchströmung

empfohlen.

- Literaturstudie -

RENGER ET AL (1995) betonen, dass es sich dabei um zum Teil widersprechende Ziele handelt. Ständige Durchfeuchtung von stillgelegten Rieselfeldböden führt z.B. zu Durchlüftungsverhältnissen, die die Mineralisierung der organischen Substanz fördern und zur Freisetzung von H^+ -Ionen führen. Der Humusgehalt kann aber nur durch ständige Zufuhr von organischen Stoffen oder durch eine intensive Feuchthaltung (Klarwasserverrieselung, d.h. Verminderung des Redoxpotenzials) erhalten werden.

GRUNEWALD ET AL (1996) heben hervor, dass Änderungen der Bodennutzung auf Rieselfeldern (Ackerbau: Pflügen, Biomasseentzug; Forstwirtschaft: Anpflanzung von Nadelhölzern, d.h. Absenkung des pH-Wertes im Boden) die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz, die Bodenversauerung und damit die Mobilisierung von Schwermetallen beschleunigen. Deshalb seien aus der Sicht des Bodenschutzes alle Maßnahmen auf die Verhinderung einer Degradierung durch Erosion, Humusabbau und Versauerung zu konzentrieren.

Die Autoren empfehlen deshalb zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern Maßnahmen, die keine kurzfristigen Systemänderungen bedingen, wie:

- Feuchthaltung der Flächen mit weitgehend gereinigtem Wasser,
- möglichst ganzjährige Vegetationsbedeckung und Belassung der Biomasse vor-Ort (Grünbrache, Mulchung),
- im Bedarfsfall eine pH-Stabilisierung, Mergelung, keine intensive Bodenpflege.

Im Ergebnis der Arbeiten am Verbundprojekt „Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Schadstoffen ...“ wurden ähnliche Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen für stillgelegte Rieselfelder vorgeschlagen (BAUER & POHL 1998):

- **Verlangsamen des Humusabbaus**, d.h. keine Bodenbearbeitung, keine Bewässerung in Trockenperioden, kein Biomasseentzug und Förderung des Bodenlebens;
- **Bremsen der Bodenversauerung**, d.h. keine versauerungsfördernde Pflanzen (z.B. Coniferen) anbauen und gezielte Kalkungsmaßnahmen durchführen;
- **Reduzieren der Stoffverlagerung**, d.h. Sickerwasserbildung durch Vegetationsbestockung minimieren und den pH-Wert sowie die organische Substanz im Boden stabilisieren.

Eingriffe, welche die Diffusion von Sauerstoff in das Porensystem begünstigen und damit die Mineralisierung fördern, z.B. Umbrechen und Zerkleinern des Bodenmaterials, Maßnahmen mit intensiver Bodenpflege oder Kalkung, sollten auf stillgelegten Rieselfeldern minimiert werden (LUA 1997B).

Der Verbleib der auf Rieselfeldern produzierten Biomasse kann den Gehalt an organischer Bodensubstanz stabilisieren und damit die Retardation des Schadstoffpools vergrößern. Zur Vermeidung von wind- und wasserbedingten Erosions- und Transportprozessen sollte eine mehrjährige Vegetationsbedeckung angestrebt werden. Ebenso kann eine Zufuhr und schonende Einbringung von Sorptionsträgern (Tone, organische Substanzen) zur Gefahrenabwehr in Betracht gezogen werden (LUA 1997B).

SCHENK (1997) empfiehlt im Sinne einer Nutzungseinschränkung für die Rieselfelder im Süden Berlins, eine Bearbeitung der Böden, wie z.B. Grünlandumbruch, zu unterlassen, um die Freisetzung von Schadstoffen durch Mineralisierung der organischen Bodensubstanz und pH-Wert-Absenkung möglichst zu minimieren.

Flächenhaft verbreitete Grünbrachen mit einer geschlossenen Vegetationsdecke auf ehemaligen Rieselfeldern schließen nach Ansicht von SCHMIDT (1995) eine Gefährdung des Menschen durch inhalative und dermale Aufnahme von Schadstoffen (Wirkungspfad Boden - Mensch) weitgehend aus.

Zum Schutz des Wirkungspfad Boden - Pflanze - (Tier) werden üblicherweise auf Standorten mit großflächigen Schwermetallkontaminationen neben

- Maßnahmen zur Verringerung der Schadstoffverfügbarkeit für die Pflanzen, z.B. durch Verringerung der Mobilität von Schwermetallen und
- anbau- und erntetechnischen Maßnahmen vor allem,

- Literaturstudie -

- Nutzungsbeschränkungen beim Anbau von Kulturpflanzen, wie
 - *Ausschluss des Anbaus spezieller Kulturen und Sorten,*
 - *Erstaufforstung,*
 - *Umwandlung von Ackerland in extensives Grünland,*
 - *Stilllegung von Ackerland,*
 - *Nutzung von kontaminierten Flächen zu Naturschutzzwecken oder als Streuobstwiesen*

empfohlen (SCHÄRLI ET AL 1997, LAVES & SUNTHEIM 1997, KÖNIG 1997, KURZ ET AL 1997).

Bei der Auswahl der für den jeweiligen Standort wirksamsten Schutz- und Beschränkungsmaßnahme sind nach KÖNIG (1997) folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Ausschluss humantoxischer Wirkungen beim Verzehr von Gemüse und Obst,
- Verwertbarkeit von Nahrungspflanzen als Lebensmittel,
- Verwertbarkeit von Futterpflanzen als Futtermittel,
- Ausschluss phytotoxischer Wirkungen.

Ziel von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern muss es nach METZ ET AL (2000) sein:

- **die Sorptionskraft des Bodens zu erhalten oder zu verbessern**, d.h. dem Absinken des pH-Wertes und der verstärkten Mineralisierung der organischen Bodensubstanz gegenzusteuern (kontrollierte Bewirtschaftung belasteter Standorte);
- **Pflanzenarten und Sorten auszuwählen**, für die eine geringe Schadstoffaufnahme in Pflanzenorgane, die der menschlichen Ernährung dienen, nachgewiesen ist;
- **Verfahren zur nachhaltigen Reduzierung des Schadstoffgehaltes** im Boden bzw. des Schadstofftransfers Boden - Pflanze durch Einmischen von Ton, Lehm oder anderen Sorptionsträgern in belastete Bodenhorizonte zu entwickeln.

SOWA ET AL (1992) empfehlen bei landwirtschaftlicher Nutzung von ehemaligen Rieselfeldflächen folgende Kulturen im Rahmen eines überwachten Anbaus:

- Grasland, vorwiegend als bewässertes Dauergrasland,
- Dauerkulturen zur Produktion industrieller Rohstoffe (Schilf ...),
- Zierpflanzen, vorzugsweise Sumpf- und Wasserpflanzen,
- Roggen, Kartoffeln, Mais, Möhren, Tomaten.

RITSCHEL & KRATZ (2000) empfehlen eine landbauliche Nutzung unter Ausschluss des Anbaus von Nahrungspflanzen nur auf gering belasteten stillgelegten Rieselfeldflächen.

Ebenso plädiert DORN (1999) dafür, auf Rieselfeldböden generell von einer Nahrungsgüter- und Futtermittelproduktion abzusehen. Dagegen könnten Fruchtarten zur Produktion industrieller Rohstoffe oder Zierpflanzen angebaut werden. Dabei sollten allerdings eine Minimalbodenbearbeitung zur Minderung des Humusabbaus, die Bewässerung mit aufbereitetem Wasser und Meliorations- und Erhaltungskalkungen gegen die Bodenversauerung im Vordergrund stehen.

Im Ergebnis der Arbeiten zum Projekt „Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächenwasser“ wurde empfohlen, keine unkontrollierte Gewinnung des Grundwassers im Rieselfeldbereich zuzulassen und aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter der betroffenen Region kein Grundwasser zu entnehmen (LUA 1997A).

Durch SOWA ET AL (1992) werden die in Tabelle 65 ausgewiesenen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zur Abwehr von Gefahren, die von stillgelegten Rieselfeldern ausgehen können, empfohlen.

Tab. 65: Mögliche Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf ehemaligen Rieselfeldern aus: SOWA et al. (1992)

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

Schutzgut	Gefährdung durch	Maßnahmen zur Gefahrenabwehr
Mensch	human pathogene Keime	Zutrittsbeschränkungen zu kontaminierten Flächen
Mensch, Nutzpflanze, Nutztier	schadstoffbelastete Nahrungsmittel, Pflanzenschadstoffe	eingeschränkter Nutzpflanzenanbau
Feuchtbiootope	Einstellung der Wasser- und Nährstoffzufuhr	Zufuhr von spezifisch aufbereitetem Wasser
Rieselfeld-Böden	Nutzungsänderung - Bodendegradierung	bewässerter ökologischer Landbau
Grundwasser	Remobilisierung von Bodenschadstoffen im Sickerwasser; Altlasten des Grundwasserleiters	Infiltration von Klarwasser geohydraulische Maßnahmen und Reinfiltration
Oberflächengewässer	Direkteinleitung von Kläranlagenabläufen	Nutzung von Rieselfeldern als Puffersysteme und Schönungsanlagen
historische Rieselfeldlandschaft	Folgenutzungen, Bebauung	Beschränkung von Bebauungen

Bei der Planung von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen i.S. von § 2 BBodSchG ist demnach zu berücksichtigen, dass die langjährige Beaufschlagung von Rieselfeldern mit Abwasser oftmals zur Herausbildung spezieller Biotope und zu kulturhistorisch bzw. stadtoökologisch wertvollen Landschaftselementen geführt hat (Tab. 66).

Tab. 66: *Kulturtechnische Anlagen und Biotopstrukturen von Rieselfeldern am Beispiel der Rieselfelder Berlin-Karolinenhöhe und Braunschweig*
aus: SOWA et al. (1992)

Kulturtechnische Anlagen	Biotopstrukturen
Absetzbecken	Wasserflächen
Rieselgräben und Dämme	Obstbäume, Gehölze, Kraut- und Gräser, Hochstauden
Schlamm-trockenbeete	Schlammfluren
Hangrieselflächen	Wiesengesellschaften
Staurieselflächen	Feuchtwiesen, Brachen, Röhrichte
Klärteiche	Wasserflächen, Schlammfluren
Schönungsteiche	Wasserflächen, Röhrichte
Entwässerungsgräben	Fließgewässer, Gehölze

Ein herausragendes Beispiel für die Bedeutung von ehemaligen Rieselfeldern für den Naturschutz sind die Rieselfelder in Münster/Westfalen, heute Europareservat für seltene Watt- und Wasservögel (HARENGERD 1995).

ACHAZI (1995) weist darauf hin, dass eine gezielte ökologische Sanierung, Stabilisierung und gegebenenfalls Renaturierung der Rieselfelder im Umland von Berlin anzustreben sei. Dabei sollen landschaftspflegerische Aspekte (Erhalt einer einzigartigen Kulturlandschaft, Biotop- und Artenschutz) mit landschaftshaushaltlichen Aspekten (Aufrechterhaltung des Gewässerhaushalts, Wiedererlangung bzw. Aufrechterhaltung von Bodenfunktionen) verbunden werden (vgl. auch RITSCHEL & KRATZ 2000).

In diesem Zusammenhang sind auch die Bemühungen der Länder Brandenburg und Berlin im Rahmen der gemeinsamen Landesplanung zur Schaffung von acht **Regionalparks im Berliner Umland** (Naturpark Barnim, Barnimer Feldmark, Müggel-Spree-Park, Flutgrabenaue, Teltow Park, Potsdamer Havelseen, Döbriitzer Heide-Gatow, Krämer Forst) zu sehen.

- Literaturstudie -

So sind z.B. die ehemaligen Rieselfelder in den Gemarkungen Großbeeren, Ruhlsdorf, Sputendorf, Schenkenhorst Bestandteil des Regionalparks Teltow Park.

8.2 Sanierungsmaßnahmen

Zur Sanierung von Altlasten werden sowohl Maßnahmen zur Dekontamination als auch zur Sicherung eingesetzt.

Dabei werden üblicherweise die in Tabelle 67 dargestellten Verfahren unterschieden.

In der praktischen Umsetzung können sowohl einzelne der genannten Verfahren als auch Verfahrenskombinationen zum Einsatz kommen.

Tab. 67: Verfahren zur Altlastensanierung, aus: SRU (1995), DOETSCH (1997)

Art der Maßnahme	Verfahren
Dekontaminationsmaßnahmen	
Dekontamination von Matrices	aktive hydraulische und pneumatische Verfahren (Grundwasserentnahme, Bodenluftabsaugung)
	chemisch-physikalische Verfahren (Desorptionsverfahren, Extraktions- und Dispersionsverfahren, naßmechanische Aufbereitung, elektrokinetische Verfahren, chemische Umwandlung durch Oxidation oder Reduktion)
	mikrobiologische Verfahren (Bioreaktoren, Biomieten, Landfarming)
	thermische Verfahren (Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse)
Umlagerung	Ausräumung (Auskoffern) und Umlagerung
Sicherungsmaßnahmen	
Unterbrechung der Kontaminationswege	passive hydraulische und pneumatische Verfahren (Grundwasserabsenkung, -umleitung, Gaserfassung)
	Einkapselungsverfahren (Oberflächenabdichtung, vertikale Abdichtung, Untergrundabdichtung)
	Immobilisierungsverfahren

8.2.1 Dekontaminationsmaßnahmen

Dekontaminationsmaßnahmen gemäß § 5 BBodSchV sind zur Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern geeignet, wenn sie auf technisch und wirtschaftlich durchführbaren Verfahren beruhen, die ihre praktische Eignung zur umweltverträglichen Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe gesichert erscheinen lassen (BBodSchG 1998). Im einzelnen können dies Maßnahmen in-situ (im Boden selbst), nach Auskoffern des Bodens auf dem Rieselfeld (on-site) oder außerhalb des Rieselfeldareals (off-site) sein.

Sogenannte Hochlastflächen auf ehemaligen Rieselfeldern, wie

- Einleiterbereiche,
- Intensivfilter,
- Zuleitergräben,
- Absetzbecken oder
- Schlamm lagerplätze

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

sollten aufgrund ihres hohen Gefährdungspotenzials sofort ausgegrenzt, gesichert (LUA 1997B) und ggf. saniert werden (LUA 1997A).

Diese hochbelasteten Flächen oder Teilbereiche sollten vorrangig dekontaminiert werden. Eine Variante zur Dekontamination des Bodens von ehemaligen Rieselfeldern stellt aufgrund des Schadstoffinventars (vorwiegend Schwermetalle) der Aushub von kontaminiertem Boden und dessen ordnungsgemäße Entsorgung (off-site) dar.

Infolge der oftmals großflächigen Ausdehnung von Rieselfeldern stellt der komplette Aushub des kontaminierten Rieselfeldbodens zwar ein technisch durchführbares, aber wirtschaftlich nicht verhältnismäßiges Verfahren dar. Dekontaminationsmaßnahmen, speziell der Aushub von hochkontaminiertem Boden, werden deshalb in der Regel auf hochbelastete Teilflächen bzw. die Oberbodenhorizonte dieser Teilflächen beschränkt sein (z.B. Aushub der obersten 30 cm Boden im Falle der Bebauung von stillgelegten Rieselfeldflächen, s. LUA 1997a).

Bestandteil von Dekontaminationsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldern muss die Aufnahme und ordnungsgemäße Entsorgung von kontaminierten Schlammresten aus Absetzbecken, Lager- und anderen Flächen, z.B. von Dämmen und Wällen, sein.

Bei der Sanierung von Rieselfeldflächen anfallender schwermetallbelasteter Bodenaushub kann entweder auf für diese Abfallart zugelassene Deponien verbracht oder einer chemisch-physikalischen Behandlung (Wasch- und Extraktionsverfahren) zugeführt werden. Beides sind off-site-Verfahren zur Dekontamination von ehemaligen Rieselfeldern.

GRUNEWALD (1995) schlägt für die Rieselfelder im Süden Berlins als Maßnahmen zur Gefahrenabwehr im Sinne einer Dekontamination standortbezogene Entscheidungen nach Nutzungsprioritäten vor, wie:

- Schlammreste aus Absetzbecken und Lagerplätzen aufnehmen und entsorgen,
- Hochlastbereiche identifizieren und dort gesonderte Maßnahmen durchführen.

Nach HÜTTL & SEMMEL (1995) ist bei der Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern auf kleinen Flächen nutzungsabhängig ein Bodenaushub erforderlich.

Auf den stillgelegten Rieselfeldern der Stadt Freiburg, auf denen ein neuer Stadtteil für perspektivisch über 10.000 Bewohner entsteht, werden nach HEINRICHSMIEIER (1995) bei der Umnutzung von Teilen der Rieselfelder in einen Standort mit Wohnbebauung folgende Dekontaminationsmaßnahmen durchgeführt:

- Bodenaustausch im Bereich künftiger Kinderspielplätze und Hausgärten,
- Abtrag des belasteten Oberbodens (0,5 m), d.h. von ca. 320.000 m³ Boden,
- Einsatz dieses Erdaushubs zur Geländemodellierung im Bereich der ehemaligen Rieselfelder, aber außerhalb der Bebauung.

An der TU Hamburg-Harburg und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen der Bundesrepublik Deutschland wird seit mehreren Jahren im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs intensiv an der Entwicklung von neuartigen **Technologien zur Dekontamination** von kontaminierten Böden gearbeitet.

Bestandteil dieser Arbeiten ist auch die Frage, wie mit schwermetallbelasteten Rieselfeldböden umgegangen werden kann (DANKWARTH ET AL.2000, GERTH & FÖRSTNER 2000). Die Autoren stellen dazu fest, dass für mehrere Hektar umfassende mäßig bis stark kontaminierte Standorte die Anwendung technischer Sanierungsverfahren zwar geboten, jedoch aus Kostengründen meist nicht realisierbar ist. Dringend erforderlich seien daher alternative Maßnahmen, durch die eine unkontrollierte Verlagerung und Verbreitung der Schadstoffe verhindert wird. Für einen stark mit Arsen und Chrom belasteten Rieselfeldboden (Abwasserbeseitigungsflächen einer ehemaligen Gerberei) wird deshalb die Eignung verschiedener biologischer, elektrochemischer und thermischer Dekontaminationsverfahren geprüft.

- Literaturstudie -

Nach MAYWALD & WEIGEL (1997) spielen neben der chemisch-physikalischen Behandlung von schwermetallbelastetem Bodenaushub oder der in-situ Schwermetallimmobilisierung zunehmend auch biologische Methoden zur Dekontamination von schwermetallbelasteten Böden eine Rolle. Dazu wurden z.B. verschiedene Konzepte der Schwermetallentfernung mit Hilfe des Anbaus von höheren Pflanzen auf belasteten Standorten (Phytoremediation) entwickelt (s. auch TRAPP & KARLSON 2000, UBA 1999). Dabei wird das unterschiedliche Vermögen von verschiedenen Pflanzenarten und -sorten zur Aufnahme von Schwermetallen ausgenutzt (FELIX 1997, HERZIG ET AL 1997).

Als Hyperakkumulatoren werden Pflanzenarten bezeichnet, die mehr als 0,1 % Nickel, Cobalt, Kupfer, Chrom und Blei oder auch 1 % Zink akkumulieren können. Die mit Schwermetallen angereicherten Pflanzen werden nach der Ernte verbrannt und die Asche deponiert oder zur Metallrückgewinnung verwendet (ISKANDAR & ADRIANO 1997). In den Tabellen 68 und 69 wird an zwei Beispielen das unterschiedliche Schwermetall - Aneignungsvermögen von Pflanzen dargestellt.

Tab. 68: Schwermetall-Entzug durch Akkumulatorpflanzen auf belasteten Böden aus: KABATA-PENDIAS (1997)

	Gehalt im Boden (kg/ha in 0 - 30 cm)	Entzug durch Akkumulatorpflanzen (g/ha)	Entzug durch Referenzpflanzen (g/ha)
Blei	75	500	100
Cadmium	1,5	100	1
Chrom	150	500	50
Kupfer	45	500	100
Nickel	39	100	50
Zink	135	1.500	400

Aus Tabelle 69 ist ersichtlich, dass eine wirksame Schwermetallverringerung in kontaminierten Böden mit Hilfe des Anbaus von Akkumulatorpflanzen ein sehr lang dauernder Prozess ist.

Als Schwachstellen der Phytoextraktion auf schwermetallbelasteten Böden erweisen sich derzeit die

- ungenügenden Erträge bzw. nicht ausreichenden Schwermetallentzugsraten der verfügbaren Akkumulatorpflanzen und die
- unzureichende Pflanzenverfügbarkeit der im Boden angereicherten Schwermetalle.

Mit Hilfe der Züchtung mittels Gewebe- und Zellkulturen und der Gentechnik könnten sich zukünftig neue Möglichkeiten der Nutzung von großflächig belasteten Standorten durch geeignete schwermetallakkumulierende Pflanzen ergeben. Vorstellbar ist, dass auf diesem Weg die Schwermetallakkumulation von bestimmten Pflanzenarten und -sorten so verbessert werden könnte, dass sich daraus erfolgversprechende Perspektiven zur praxisrelevanten Sanierung großflächig schwermetallbelasteter Böden, z.B. auch auf stillgelegten Rieselfeldern, eröffnen werden (HERZIG ET AL 1997, ISKANDAR 2001).

Tab. 69: Cadmium - Entzug durch Akkumulatorpflanzen auf einem mit Cadmium belasteten Boden, Bodengehalt: 6,6 mg Cd/kg, aus: FELIX (1997)

Pflanze	Cd-Gehalt in den Pflanzen (mg/kg TS)	aus dem Boden durch die Pflanzen auf- genommenes Cd (g/ha/a)	Jahre, bis ein Cd-Gehalt von 0,8 mg/kg im Boden erreicht wird (Jahre)
Akkumulatorpflanzen			
Weide (Hybrid)	22	222	77
Hellerkraut *	12	192	89
Tabak	8,6	115	149

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Indischer Senf	3,5	80	214
Mais (Zuchtlinie)	7,5	74	231
Vergleichspflanzen			
Raps	0,83	23	743
Chinaschilf	0,83	4,6	3.717
Rettich	0,60	5,0	3.420
Weißer Gänsefuß	0,32	2,0	8.550

* andere Thlпси-Arten können bis zu 25.000 mg Zink/kg und 560 mg Cadmium/kg aufnehmen

Belastungen des Wassers in Trinkwasserfassungen mit Schadstoffen aus Rieselfeldern können durch Maßnahmen, wie

- Installation zusätzlicher Aufbereitungsstufen in den Wasserwerken,
- Abschalten einzelner belasteter Brunnen,
- Aufrechterhaltung der Förderung ohne Trinkwassernutzung,
- Verschneiden von belastetem und unbelastetem Wasser,
- befristetes Abschalten oder völlige Schließung der Gewinnungsanlage,
- Fremdbezug von Rohwasser,
- Erschließung neuer Rohwasservorkommen

begegnet werden (UBA 1995).

Derartige Maßnahmen erscheinen für kontaminiertes Grundwasser unter Rieselfeldern in Abwägung der technischen Realisierbarkeit und Verhältnismäßigkeit in der Regel besser geeignet als andere Maßnahmen der Grundwasserdekontamination.

Möglichkeiten zur in-situ-Sanierung von Grundwässern unter ehemaligen Rieselfeldern, z.B. von stark stickstoffbelasteten Grundwasserleitern, werden forschungsseitig bearbeitet und erprobt (NIDESI 2000).

Zur Beurteilung der Verunreinigung des Grundwassers wurde im Zusammenhang mit der Erarbeitung der BBodSchV das sogenannte **Geringfügigkeitsschwellen-Konzept** entwickelt (LAWA 1998/2000, TRENCK ET AL 1999, BANNICK ET AL 2001). Neben der Sickerwasserprognose stellt dabei die Grundwasser-oberfläche, d.h. der Ort der wasserrechtlichen Beurteilung eine zentrale Kenngröße dar. Zur Beurteilung sind die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser am Ende der Sickerstrecke, d.h. beim Eintritt in die Grundwasser-oberfläche heranzuziehen.

Grundwasser am Ort der Beurteilung kann als im rechtlichen Sinne **nicht** verunreinigt (in nur unerheblichem Ausmaß in seiner chemischen Beschaffenheit verändert) eingestuft werden, wenn trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber den regionalen Hintergrundwerten

- im oder durch das Grundwasser am Ort der Beurteilung keine relevanten ökotoxikologischen Wirkungen auftreten können
- und wenn außerdem
- die Anforderungen der Trinkwasserverordnung (s. TrinkwV 2001) oder entsprechend abgeleitete Werte eingehalten werden.

Diese Konzentrationen (Geringfügigkeitsschwellen) entsprechen im Wesentlichen den nach wasserrechtlichen Maßstäben abgeleiteten Prüfwerten der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden - Grundwasser (BANNICK ET AL 2001).

8.2.2 Sicherungsmaßnahmen

Sicherungsmaßnahmen i.S. von § 2 Abs. 7 BBodSchG sind Maßnahmen zur Sanierung von Altlasten, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen (BBodSchG 1998). Die in Tabelle 67 ausgewiesenen Verfahren zur Sicherung von Altlasten lassen sich wie folgt beschreiben (vgl. DOETSCH 1997):

- Literaturstudie -

- **Immobilisierungsverfahren** werden vor allem eingesetzt, um durch Bindung der Schadstoffe, deren Mobilität und Mobilisierbarkeit zu vermindern.
- **Einkapselungsverfahren** reduzieren den Zutritt von Niederschlagswasser oder Grundwasser in die Altlast und damit die Verlagerung von Schadstoffen in unkontaminierte Bereiche (Boden, Grundwasser). Gleichzeitig wird bei Anwendung dieser Verfahren der direkte Kontakt mit der Altlast unterbunden.
- **Passive hydraulische Verfahren** haben das Ziel, durch Umleitung oder Eingrenzung von zu- oder abströmenden flüssigen Medien den Austrag von Schadstoffen in das Grundwasser und die weitere Ausbreitung des kontaminierten Grundwassers einzuschränken.

Als speziell auf schwermetallbelasteten Flächen, d.h. möglicherweise auch auf stillgelegten Rieselfeldern oftmals wirksame Technologien zur Altlastensicherung werden **Immobilisierungsverfahren** betrachtet. Zur Schwermetall-Immobilisierung werden vor allem

- **Kalke**, die eine Erhöhung des pH -Wertes des Bodens und eine damit einhergehende Festlegung von Schwermetallen bewirken (Nachteile: gleichzeitige Stimulierung der Mineralisierung der organischen Substanz, kurze Wirkungsdauer);
- **Kationenaustauscher** (zumeist unbehandelte Tonminerale), die an ihrer Oberfläche Schwermetalle binden (Nachteile: chemisch unspezifisch, hohe Ca- und Mg-Konzentrationen können Schwermetalle remobilisieren);
- mit Aluminium **modifizierte Tonminerale**, die Schwermetalle spezifischer als reine Tonminerale binden (Zumischung von Aluminium-Montmorillonit in den kontaminierten Boden)

und Kombinationen verschiedener Bindemittel eingesetzt (MARSCHNER ET AL 1995, FURRER ET AL 1997, GUPTA ET AL 1997).

In der Altlastensanierung häufig angewandte **Einkapselungsverfahren**, wie die vollständige Versiegelung von Flächen, die Einkapselung mittels vertikaler Wände oder die Oberflächenabdichtung mittels Abdeckung von belasteten Flächen mit geeigneten Materialien sind auf ehemaligen Rieselfeldern nur eingeschränkt anwendbar.

In LUA (1997A) wird deshalb empfohlen, einer **Versiegelung** von Flächen auf ehemaligen Rieselfeldern nur unter der Voraussetzung zuzustimmen, dass das auf den Flächen anfallende Wasser dem Grundwasserkörper über geeignete Systeme wieder zugeführt wird.

Als Beitrag zu einer Sicherung, insbesondere zum Schutz des Wirkungspfadens Boden - Mensch, kann der Erhalt oder die Herstellung einer geschlossenen **Vegetationsdecke** auf stillgelegten Rieselfeldflächen angesehen werden (LUA 1997A, RITSCHEL & KRATZ 2000).

Auch die **Erstaufforstung** auf stillgelegten Rieselfeldern kann zur Altlastensicherung beitragen, da dabei die Grundwassererneubildung durch Erhöhung der Evapotranspiration und daraus resultierend die Schadstoffverlagerung in den Rieselfeldboden reduziert werden können (LUA 1997B).

Vor Beginn der Aufforstung auf den betroffenen Rieselfeldflächen ist immer eine Gefährdungsabschätzung durchzuführen (DINKELBERG & RITSCHEL 2001). Ergibt sich im Ergebnis dieser Untersuchungen, dass Maßnahmen zur Gefahrenabwehr nicht erforderlich sind, kann sich u.U. zur Bodenverbesserung i.S. der Wiederherstellung von Bodenfunktionen das Auf- oder Einbringen von geeignetem Bodenmaterial in Vorbereitung der Aufforstung als sinnvoll erweisen.

Grundsätzlich wird aber das **Auf- oder Einbringen von Bodenmaterial** auf ehemaligen Rieselfeldern für nachfolgende Aufforstungen als nicht erforderlich angesehen (MLUR 2000B, DINKELBERG & RITSCHEL 2001).

Die Anforderungen, die beim Auf- und Einbringen von Bodenmaterial auf ehemalige Rieselfelder im Land Brandenburg zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen zwingend zu beachten sind, können wie folgt zusammengefasst werden (DINKELBERG & RITSCHEL 2001):

- Literaturstudie -

- Einhaltung der Vorsorgeanforderungen gemäß BBodSchG/BBodSchV) bezüglich des einzusetzenden Bodenmaterials
(Art und Menge sowie Qualität, wie physikalische Eigenschaften und stoffliche Belastungen, Einhaltung der Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. der Z0 - Werte der Technischen Regeln der LAGA),
- nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung mindestens einer Funktion der Rieselfeldböden
(z.B. Wiederherstellung und Sicherung von natürlichen Funktionen des Bodens als Filter- oder Puffermedium durch Erhöhung der Wasser- sowie Sorptionskapazität oder von Nutzungsfunktionen, keine Beeinträchtigung anderer Bodenfunktionen, Strukturverbesserung des Rieselfeldbodens und bedarfsgerechte Nährstoffzufuhr),
- Berücksichtigung der Schadstoffbelastung des auf- und einzubringenden Bodenmaterials und des Rieselfeldbodens durch entsprechende Untersuchungen,
- Berücksichtigung der Nährstoffzufuhr durch das auf- und einzubringende Bodenmaterial,
- Vermeidung nachteiliger Veränderungen der Rieselfeldböden,
(z.B. Verdichtungen, Vernässungen)
- Auf- und Einbringverbot von Bodenmaterial an Rieselfeldstandorten in bestimmten Schutzgebieten.

Als eine Sicherungsmaßnahme i.S. des BBodSchG zur Abdeckung von belasteten Rieselfeldstandorten kann das von METZ ET AL (2001), HOFFMANN (2001) oder BÖKEN & HOFFMANN (2001) beschriebene Einfräsen von unbelastetem Geschiebelehm und -mergel (z.B. Bodenaushub aus Baumaßnahmen in Berlin) in Rieselfeldböden, speziell im Berliner Umland, betrachtet werden.

Mit dieser „Überlehmung“ von stillgelegten Rieselfeldböden (von den Autoren auch als „Projekt zur Sicherung und Sanierung von flachgründig schwermetallbelasteten Standorten“ bezeichnet) sollen vorrangig folgende Ziele erreicht werden (HOFFMANN ET AL 1999, HOFFMANN ET AL 2000):

- *Bildung von stabileren Bindungsformen der Schwermetalle im Boden und Reduzierung der Schwermetallverlagerung;*
- *Senkung der Schadstoffkonzentrationen in der Bodenlösung und damit Verringerung des ökotoxikologischen Potentials und der schädlichen Auswirkungen auf Pflanzen, deren Wurzeln sowie auf Mikroorganismen;*
- *Verbesserung der Nährstoffversorgung der Baumbestände auf umgestalteten Rieselfeldern und langfristige Erhöhung der Nährstoffspeicherfähigkeit der Rieselfeldböden;*
- *Verbesserung der Wasserspeicherkapazität durch Erhöhung des Schluff- und Tongehaltes und damit Verbesserung des Pflanzenwachstums (Baumwachstum auf umgestalteten Rieselflächen);*
- *effektive Verlangsamung der Schadstoffverlagerung durch schnelle Begründung gesunder Waldbestände mittels Reduzierung der Grundwasserneubildung und Aufnahme von mobilen Schwermetallen aus der Bodenlösung;*
- *Verdrängung der Quecke und damit Schaffung von Raum für eine artenreiche Vegetation in der Krautschicht;*
- *Bildung von stabileren Bodenaggregaten, in Verbindung mit einem ausgeglicheneren Wasserhaushalt, zum besseren Schutz vor Winderosion.*

Bei der Erprobung dieses Verfahrens waren auf einer ca. 20 ha großen Rieselfläche auf den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch folgende Effekte zu beobachten (HOFFMANN ET AL 1999, METZ ET AL 2001):

- Anstieg des Boden-pH-Wertes von 4,5 auf 7,0,
- Senkung des Humusgehaltes von 3 % auf 2 %,
- Senkung der Schwermetallgehalte im Boden durch Verdünnung (z.B. Cu um 34 %, Zn um 27 %),
- Anstieg der Sorptionsleistung für Schwermetalle,
- deutliche Reduzierung der mobilen Schwermetallanteile,
- Rückgang der Schwermetallaufnahme durch Pflanzen,
- Verbesserung des bodenbiologischen Zustandes,
- deutliche Verbesserung der Wasserspeichereigenschaften der Rieselfeldböden.

9 Überwachungsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldern

Eine Überwachung von ehemaligen Rieselfeldern ist dann notwendig, wenn im Ergebnis der orientierenden Untersuchung und/oder Detailuntersuchung kurzfristig Sanierungsmaßnahmen für nicht erforderlich erachtet, mittel- bzw. langfristig aber nicht ausgeschlossen werden.

Ziel der Überwachung von ehemaligen Rieselfeldern im Sinne von § 15 BBodSchG muss es sein, durch geeignete Boden- und Wasseruntersuchungen, z.B. im Rahmen von Monitoring-Programmen, die Entwicklung des von den Standorten ausgehenden Gefahrenpotenzials zu verfolgen, um bei Notwendigkeit rechtzeitig Maßnahmen zur Gefahrenabwehr festlegen zu können.

Überwachungsmaßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldern sind deshalb von besonderer Bedeutung, da nach Einstellung der Abwasserbeaufschlagung kurz- und längerfristig Veränderungen im Boden und Wasserhaushalt eintreten, die u.a. eine verstärkte Mobilisierung von Schadstoffen bedingen können.

Im Ergebnis der Arbeiten mehrerer Forschungsvorhaben im Bereich der stillgelegten Rieselfelder Berlin - Buch wurde als Überwachungsmaßnahme ein sogenanntes **Dauermonitoring** vorgeschlagen (RENGER ET AL. 2001). Dabei gilt es nach Auffassung der Autoren insbesondere die Stoffverlagerung und daraus resultierende Gefährdungen des Grundwassers zu überwachen, d.h. im Rahmen dieses Monitoring sind

- die Veränderungen im Verlagerungsverhalten in zeitlicher Abhängigkeit durch die eng-maschige Erfassung der Bodenlösungskonzentration zu erfassen,
- Perioden der Stoffverlagerung durch zeitlich-räumliche Auflösung bei der Messung der Wasserhaushaltskomponenten zu erkennen,
- mittelfristig Aussagen zur Quantifizierung von Stoffflüssen mit der Anwendung von Prognosemodellen zu treffen,
- langfristige, umweltgerechte und grundwasserschützende Strategien zur Flächennutzung zu entwickeln und umzusetzen.

Ein **Überwachungsprogramm** für stillgelegte Rieselfeld-Standorte wurde im Rahmen des Projektes „Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer“ erarbeitet (LUA 1997A).

Bestandteil dieses Vorschlages für ehemalige Rieselfelder im Süden Berlins, auf denen die Abwasserrieselung eingestellt wurde, sind die

- Überwachung der **Bodenzone** durch Entnahme und Untersuchung von Boden- und Sickerwasserproben,
- Überwachung des **Grundwassers** durch Nutzung und Erweiterung des bestehenden Grundwasserstandsmessnetzes des Landesumweltamtes Brandenburg mittels Entnahme und Untersuchung von Grundwasserproben (zweimal jährlich nach einem Grundprogramm, einmal zweijährig nach einem erweiterten Programm),
- Überwachung von im Umfeld der Rieselfelder liegenden **Oberflächengewässern**.

Bei sanierten Altlasten stellt die Überwachung im Rahmen der **Nachsorge** ein Instrument dar, um die Nachhaltigkeit einer Sanierung bzw. die tatsächliche und zeitlich befristete Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen über einen längeren Zeitraum zu kontrollieren (BARTETZKO ET AL 1999).

Im diesen Sinne können derartige Maßnahmen, z.B. die Überwachung des Grund- und Oberflächenwassers nach Durchführung von Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen betreffend, auch für Rieselfeldstandorte erforderlich werden.

Quellenverzeichnis

- ACHAZI, R.K. (1995): Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraumtypischen Ökosystemen - eine Übersicht. In: KIRCHNER, M. & H. BAUER (Hrsg.): *Statusseminar zum Förderschwerpunkt „Ökotoxikologie“ des BMBF. Forschungsberichte des Projektträgers 2/95. GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, München.* 71-87.
- ACHAZI, R.K. & M. HECK (1995): Einfluß von anthropogenen Schadstoffen (PAK und PCB) auf terrestrische Invertebraten urbaner Ökosysteme. In: KIRCHNER, M. & H. BAUER (Hrsg.): *Statusseminar zum Förderschwerpunkt „Ökotoxikologie“ des BMBF. Forschungsberichte des Projektträgers 2/95. GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, München.* 111-126.
- ACUB (1989): Recherche zu ehemaligen und noch bestehenden Rieselfeldern in der DDR. Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie Jena, Bereich ACUB (unveröffentlicht).
- ALCOCK, R.E., A. SWEETMAN & K.C. JONES (1999): Assessment of organic contaminant fate in waste water treatment plants. I: Selected compounds and physicochemical properties. *Chemosphere*, 38:2247-2262.
- ANISIMOVA, MARINA, A., ROGASSIK, J., SCHNUG, E. (2001): Carbon balance of waste irrigated forest soils: a case study in north-west Germany. *Landbauforsch. Völknerode*, 51: 159-164.
- ANORDNUNG (1987): Anordnung über die allgemeinen Bedingungen für den Anschluß an und für die Einleitung von Abwasser in die öffentlichen Abwasseranlagen - Abwassereinleitungsbedingungen - vom 22. Dezember 1987. *Gesetzblatt der DDR, Teil 1, 3: 27 - 40.*
- ALA (2001): Arbeitshilfen zur Qualitätssicherung in der Altlastenbehandlung. *Ständiger Ausschuß „Altlasten“ (ALA) der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). Stand September 2001.*
- ARBEITSMATERIALIEN (2000): Arbeitsmaterialien zur Altlastenerkundung von ehemaligen Agrochemischen Zentren (ACZ). *AUA GmbH Jena im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Jena.* 103 S.
- ASBRAND, M. (1997): Dreidimensional – regionalhydrodynamisches Verfahren zur Bewertung einer großräumigen Grundwasserbelastung - Rieselfeldbezirke Sputendorf und Großbeeren südlich Berlins. Technische Universität Berlin, Dissertation.
- ASSMANN, R. & V. KLEMM (1990): Geschichtliche Entwicklung der Berliner Rieselfelder. *VDLUFA - Kongreß 1990, Exkursionsführer*, 19-25.
- ATV (1997): Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. ATV - Handbuch. *Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin, 4. Aufl.*
- AUHAGEN, A., R. CORNELIUS, E. KILZ, S. KOHL, M. KRAUSS, K. LAKENBERG, B. MARSCHNER, W. SCHILLING, H.J. SCHLOSSER, A. SCHMIDT (1994): Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch. Phase I: 1991-93. *Kulturbuch Verlag, Berlin.* 237 S.
- AURAND, K., H. DIZER, Z. FILIP, G. MILD, V. NEUMAYR & K. SEIDEL (1984): Vergleichende Untersuchungen an langfristig mit Abwasser belasteten Böden zur Beurteilung der Reinigungsvorgänge durch den Untergrund bei künstlichen Grundwasseranreicherungen. *Institut für Wasser-, Boden- und Luftthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin, BMFT - FB -T 84-104.*
- BACHMANN, G. et.al. (1998): Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes. *Bodenschutz & Altlasten, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Nr. 4.*
- BANNICK, C.G., ELKE BIEBER, H. BÖKEN et.al. (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzte Böden. *Umweltbundesamt Berlin, Texte 59/01.*
- BARTETZKO, G., G. RIPPEN & P. WIESERT (1999): Erarbeitung von Programmen zur Überwachung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten. *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 96/99.*
- BAUER, H. & D. POHL (Hrsg) (1998): Bodenökologische Untersuchungen zur Wirkung und Verteilung von organischen Stoffgruppen (PAK, PCB) in ballungsraumtypischen Ökosystemen. Gemeinsamer Abschlußbericht. *GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, München.*
- BAUER, K., I. PIETSCHMANN & P. WARNKE (1991): Erfassung und Bewertung von Schwermetallen aus Abwassereinleitungen im Industriegebiet Berlin-Schöneeweide und -Treptow unter territorialökonomischen Gesichtspunkten. *Korrespondenz Abwasser*, 38: 410-419.
- BAUMANN, H. & A. BRAMM (1997): Untersuchungen über mögliche Grundwasserkontamination als Folge der Abwasserlandbehandlung im Abwasserverband Braunschweig. *Z. Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 18: 200-212.
- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes - Bodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17. März 1998. *Bundesgesetzblatt, Teil I: 502-510.*
- BBodSchV (1999): Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. *Bundesgesetzblatt, Teil I: 1554-1582.*

- Literaturstudie -

- BECHMANN, W. & K. GRUNEWALD (1995): Organische Schadstoffe in Böden und Substraten des Rieselfeldgebietes südlich Berlin. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.*, 158: 543-548.
- BEER, CHRISTINA (2000): Pflegekonzepte für Gräben im Naturschutzgebiet Freiburger Rieselfeld. *Seminar: Pflege von Wiesengräben. 28. Juni 2000, Freiburg.*
- BIELERT, U., H. HEINRICHS & K.-W. BECKER (1999) Validierung von Boden-Eluatgehalten zur Prognose von Inhaltsstoffen des Boden-Sickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk BBodSchV. *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 86/99.*
- BIRKE, M. & U. RAUCH (2000): Umweltgeochemische Untersuchungen im Berliner Ballungsraum. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. www.bgr.de/b417/ballung_berlin.htm*
- BJARSCH, B. (1997): 125 Jahre Berliner Rieselfeld - Geschichte. *Wasser & Boden*, 49 (3): 45-48.
- BLUME, H. P. (1995): Ökosystemare Beschreibung von Rieselfeldern. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 11-19.
- BLUMENSTEIN, O., K. GRUNEWALD & R. SCHUBERT (1991): Das Altlastengebiet Rieselfelder Berlin-Süd - Eine geoökologische Herausforderung. *Potsdamer Geograph. Forsch.*, 1: 1- 80.
- BLUMENSTEIN, O. (1995): Anorganische Schadstoffe - Zustand und Dynamik. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*. 9: 19-26.
- BLUMENSTEIN, o.: Geoökologische Aspekte des Evolutionsprozesses hemerober Geosysteme im jungpleistozänen Raum. *Potsdamer Geograph. Forsch.*, 13: 1-189.
- BLUMENSTEIN, O., FRANKA FISCHER & R. SCHUBERT (1997a): Zur Indikation von Remobilisierungsprozessen unter nicht mehr genutzten Rieselfeldflächen. *Geoökodynamik*, XVIII: 61-78.
- BLUMENSTEIN, O., FRANKA FISCHER & R. SCHUBERT (1997b): Bodenveränderungen durch die Verrieselung von Abwasser. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 141: 323-342.
- BÖKEN, H. & C. HOFFMANN (2001): Rieselfelder im Norden Berlins - Projekt zur Sicherung und Sanierung flachgründig schwermetallbelasteter Böden. *www.berliner-rieselfelder.de*
- BOLL, R. & T. EGGERS (1987): Erfahrungen mit der landwirtschaftlichen Verwertung kommunaler Abwässer. *VDLUFA - Schriftenreihe*, 23: 25-47.
- BURHENNE, M., I. SCHNEIDER & H. BURKOWSKY (1997): Schwermetalle in Böden der Rieselfelder Berlin - Süd. *Z. Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 9: 94-96.
- BUYSCH, H.P. & H.P. FÜLLING (1992): Prüfung der Versickerungseignung von Böden für vorgeklärtes Abwasser. *Korrespondenz Abwasser*, 39: 1006-1009.
- BWB (2001): Die Abwasserentsorgung im Umland Berlins. *Berliner Wasserbetriebe. www.bwb.de*
- DALE, S. (2000): Regenerative Solutions for managing community-generated organic waste. *IDRC REPORTS. Science from the developing world. www.idrc.ca/reports*
- DÄMMGEN, U., M. LÜTTICH & CORNELIA SCHOLZ-SEIDEL (2001): Atmosphärische Deposition von Cadmium in landwirtschaftlich Nutzflächen in Deutschland. *Landbauforsch. Völkenrode*, 50:103-131.
- DANKWARTH, FRANKA, J. GERTH & U. FÖRSTNER (2000): Minimize arsenic mobility in contaminated soil as a natural attenuation approach. In: *NRIAGU, J. (Hrsg.): Proc. 11th Int. Conf. Heavy metals in the Environment. University of Michigan, Ann Arbor.*
- DASIMA (2001): Datenbank und Suchmaschine für Simulationsprogramme in der Altlastenbehandlung. *www.umwelt.sachsen.de/lflug/Dasima*
- DINKELBERG, W. & J. RITSCHEL (2001): Anforderungen beim Auf- und Einbringen von Materialien auf und in Böden - Fallbeispiel Rieselfelder. *Berichte aus der Arbeit 2000, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 157-161.
- DOETSCH, P. (1997): Sicherung oder Dekontamination von Altlasten? *Umweltbundesamt Berlin, UBA - Texte 22/97.*
- DORN, JANA (1999): Untersuchungen zu Einzel- und Kombinationswirkungen von ausgewählten anorganischen und organischen Schadstoffen beim Anbau verschiedener Pflanzenarten auf Rieselboden. *Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich - Gärtnerische Fakultät, Dissertation.*
- EPA (1992): Guidelines for water reuse. *US EPA, Proces Design Manual.*
- ERTL, C. & G. GINZEL (2000a): Wiedervernässung des ehemaligen Rieselfeldes Karolinenhöhe in Berlin mit geklärtem Abwasser. *Korrespondenz Abwasser*, 47: 1828-1832.
- ERTL, C. & G. GINZEL (2000b): Naturnahe Nachbehandlung von gereinigtem Abwasser auf einer umgestalteten Rieselfeld. *Wasser & Boden*, 52 (9): 23-28.
- EWG (1998): Dumping sewage sludge on organic farms ? Why USDA should just say no. *EWG - Environmental working Group, Washington DC.*
- FEIGIN, A., I. RAVENA & J. SHALVET (1991): Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. *SPRINGER - Verlag: Berlin, Heidelberg, New York*, 224 S.
- FELIX, H. (1997): Vor-Ort-Reinigung schwermetallbelasteter Böden mit Hilfe von metallakkumulierenden Pflanzen (Hyperakkumulatoren). *TerraTech*, 2: 47-49.

- Literaturstudie -

- FELIX - HENNINGSSEN, P. & CLAUDIA ERBER (1992): Gehalte und Bindungsformen von Schwermetallen in Böden der Rieselfelder von Münster (Westfalen). *Kieler Geograph. Schriften*, 85: 59-73.
- FILIP, Z., S. KANAZAWA & J. BERTHELIN (2000): Distribution of microorganisms, biomass ATP, and enzyme activities in organic and mineral particles of a long-term wastewater irrigated soil. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 163:143-150.
- FÖRSTER, L., R. TEICHARDT, R. METZ, W. HÜBNER (1988): Anfall und Einsatz von kommunalem Abwasser sowie ausgewählter Produktionsabwässer der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft für Bewässerungszwecke. *Fortschrittsberichte Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, AdL, Berlin*, 26, Heft 11.
- FRIEDRICH, C (1992): Die Rieselfelder im südlichen Umland von Berlin. *Berichte aus der Arbeit 1991, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*.
- FROESE, K.L. & KARINA A.M. BODO (1999): Health effects associated with wastewater treatment, disposal, and reuse. *Water Environment Research*, 71: 1119-1126.
- FURRER, G., BARBARA LOTHENBACH & R. SCHULIN (1997): Naturnahe Bindemittel für die Immobilisierung von Schwermetallen in belasteten Kulturböden. *TerraTech*, 2: 43 - 44.
- GÄTH, S. & BETTINA SCHUG (2000): Regionalisierung der Filter- und Verlagerungseigenschaften von Böden gegenüber Schwermetallen am Beispiel des Cadmiums. *Bodenschutz*, 5: 6 - 10.
- GERTH, J., A. LEBERER & V. KLEINSCHMIDT (1996): Rieselfeldböden auf einem ehemaligen Gerbereistandort: Belastungen und Prozesse. In: *Bodenschutz in Schleswig-Holstein - Spannungsfeld zwischen den Nutzungsinteressen. Tagungsband*, 114- 118.
- GERTH, J. & U. FÖRSTNER (2000): Zukünftige Nutzbarkeit arsen- und chromkontaminierter Rieselfeldböden. *Technische Universität Hamburg-Harburg, Sonderforschungsbereich 1888, Forschungsbericht 1995-2000. www.tu-harburg.de/forschung*
- GERTH, J., FRANKA DANKWARTH & U. FÖRSTNER (2001): Natural attenuation of inorganic pollutants - a critical view. In: *STEGMANN, R., G. BRUNNER, W. CALMANO & G. MATZ (Hrsg.): Treatment of contaminated soil. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York*, 603-614.
- GIES, A., CHRISTA GOTTSCHALK, PETRA GREINER, W. HEGER, MARIKA KOLOSSA, BETTINA RECHENBERG, ELKE ROSSKAMP, CHRISTA SCHROETER - KERMANI, K. STEINHÄUSER & CHRISTINE THROL (2001): Umweltchemikalien, die auf das Hormonsystem wirken - Belastungen, Auswirkungen, Minderungsstrategien. *Umweltbundesamt Berlin*, 59 S.
- GINZEL, G. & G. NÜTZMANN (1998): Veränderungen ökohydrologischer und hydrochemischer Verhältnisse in einem ehemaligen Rieselfeldareal im Nordosten Berlins. *Bodenökologie und Bodengeneese, Technische Universität, Berlin*. 26: 73-85.
- GRATHWOHL, P. & B. SUSSET (2001): Sickerwasserprognose für organische Schadstoffe: Grundlagen und Stand der Forschung. *altlasten spektrum*, 10: 285-293.
- GRÜN, M., B. MACHELETT, HELLA KRONEMANN, W. PODLESACK, R. METZ, MARIE-LUISE MARTIN & J. SCHNEIDER (1989): Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete. *Forschungs- und Entwicklungsbericht. Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie Jena // AdL der DDR., Jena // Berlin, (unveröffentlicht)*.
- GRÜN, M., B. MACHELETT, R. METZ, HELLA KRONEMANN, W. PODLESACK & J. SCHNEIDER (1990a): Cadmiumbelastung von Boden und Pflanze im Gebiet der Rieselfelder südlich Berlins. *VDLUFA - Schriftenreihe, Kongreßband 1990*, 32: 763-768.
- GRÜN, M., B. MACHELETT, HELLA KRONEMANN, R. METZ & W. PODLESACK (1990b): Schwermetallbelastung von Boden und Pflanze im Gebiet der Rieselfelder Berlins. *VDLUFA - Kongreß 1990, Exkursionsführer*; 31-41.
- GRÜN, M., B. MACHELETT & W. PODLESACK (1990d): Kontrolle der Schwermetallbelastung landwirtschaftlich genutzter Böden in der DDR. *VDI Berichte*, 837: 593-612.
- GRUNEWALD, K. (1995): Böden im Rieselfeldgebiet südlich Berlin - Untersuchungen zum Altlaststatus. *Z. Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 7: 164-167.
- GRUNEWALD, K., W. BECHMANN & H. BUKOWSKY (1996 a): Untersuchungen zur Schadstoffdynamik nach Nutzungsänderung im Rieselfeldgebiet südlich Berlins. *Geoökodynamik, XVII*: 69-80.
- GRUNEWALD, K., H. BUKOWSKY & W. SCHADE (1996 b): Schwermetalle und deren Bindung in Böden und Substraten des Rieselfeldgebietes südlich Berlin. *Archiv Acker- Pflanzenbau Bodenkunde*, 40: 49-56.
- GUPTA, S., R. KREBS & KATHRIN WENGER (1997): Feldtaugliche Ansätze zur Sanierung schwermetallbelasteter Böden. *TerraTech*, 2: 45-47.
- HAGENDORF, U.(1999): Verbleib von Abwasserinhaltsstoffen bei bewachsenen Bodenfiltern (Pflanzenkläranlagen) im Langzeitbetrieb. *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 78/99*.
- HAIDER, K. & A. SCHÄFER (2000): Umwandlung und Abbau von Pflanzenschutzmitteln in Böden - Auswirkungen auf die Umwelt. *Enke im Georg Thieme Verlag. Stuttgart, New York*, 224 S.
- HARENGERD, M. (1995): Feuchtgebiet von internationaler Bedeutung - Rieselfelder Münster. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 91-95.
- HARENGERD, M. & C. SUDFELDT (1995): Rieselfelder Münster. *LÖBF - Mitteilungen*, 2: 74-76.

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

- HARENGERD, M., T. KEPP, M. SCHMITZ & C. SUDFELDT (1995): Aktuelle Entwicklungen im Europareservat „Rieselfelder Münster“. *Berichte zum Vogelschutz*, 33: 81-91.
- HEBERER, T. (1995): Rieselfelder südlich Berlins - Untersuchungen auf organische Kontaminanten. *Technische Berlin, Institut für Lebensmittelchemie*. www.wasseranalytik.de
- HEBERER, T. & H.-J. STAN (1998): Arzneimittelrückstände im aquatischen System. *Wasser & Boden*, 50 (1): 20-25.
- HEBERER, T., K. REDDERSEN, D. FELDMANN & T. ZIMMERMAN (2001): From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic system of Berlin. www.wasseranalytik.de
- HEINRICHSMEIER, K. (1995): Nutzungs- und Bodenschutzaspekte bei der Umwandlung des ehemaligen Rieselfeldes der Stadt Freiburg in einen neuen Stadtteil. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9.
- HEINZMANN (2000): Beispiele für integriertes Management von Wasserressourcen in der Region Berlin - Brandenburg. *Wasserwirtschaft in urbanen Räumen. Schriftenreihe Wasserforschung*, 3: 171-197.
- HERMS, U. & G. BRÜMMER (1984): Einflußgrößen der Schwermetalllöslichkeit und -bindung in Böden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde.*, 147: 400-424.
- HERZIG, R., MICHELE GUADAGNINI & H. ERISMANN (1997): Chancen der Phytoextraktion. Sanfte Bodendekontamination von Schwermetallen mit Hilfe biotechnisch verbesserter Akkumulatorpflanzen. *Terra-Tech*, 2: 49-52.
- HOFFMANN, C. (2000): Berliner Rieselfelder, Stand: 18.07.2000. www.tu-berlin.de/fb7/ioeb/bodenkunde/Skriptstadtoeko/Stadtoekologie-Teil5.htm
- HOFFMANN, C. (2001): Die ehemaligen Rieselfelder Berlin-Buch - Untersuchungen zu Schwermetallmobilität, -transport und Risikopotentialen. *Technische Universität Berlin, Fakultät Architektur, Umwelt, Gesellschaft, Dissertation*.
- HOFFMANN, C. & M. RENGER (1998): Schwermetallmobilität in Rieselfeldböden. *Bodenökologie und Boden-genese, Technische Universität Berlin*, 26: 30-39.
- HOFFMANN, C., R. METZ, O. ZEUSCHNER, A. JÄNICKE & M. RENGER (1999): Verwendung von Bodenaushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte. *Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges.*, 91 (3): 1225-1228.
- HOFFMANN, C., H. BÖKEN, R. METZ, & M. RENGER (2000): Verwendung von Geschiebemergel - Aushub zur Sicherung schwermetallbelasteter, großflächiger Altlastenstandorte. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 24: 45-50.
- HÖHNE, L. (2001): Stand der Reduzierung von EDTA und NTA in Oberflächengewässern. *Berichte aus der Arbeit 2000. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 124-125.
- HÜTTL, F. & H. SEMMEL (1995): Ökomanagement Rieselfelder Problematisierung, Ergebnisse, Schlußfolgerungen. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 96-98
- INGWERSEN, J., T. STRECK & J. RICHTER (1997): Cadmium - Verlagerung in den Böden des Abwasserregnungsgebietes Braunschweig. *Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges.*, 85:249-252.
- INGWERSEN, J., T. STRECK, J. UTERMANN & J. RICHTER (2000): Ground water preservation by soil protection: Determination of tolerable total Cd contents and Cd breakthrough times. *J. Plant Nutrition Soil Science*, 163: 31-40.
- ISAL (1997): ISAL - Informationssystem Altlasten. Version Brandenburg. Stand: 03/97. *Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*.
- ISKANDAR, I.K. & D.C. ADRIANO (1997): Remediation of soils contaminated with metals - a review of current practices in the USA. In: ISKANDAR, I.K. & D.C. ADRIANO (Hrsg.): *Remediation of soils contaminated with metals. Advances in Environmental Science*, 1-26.
- ISKANDAR, I.K. (Hrsg.) (2001): Environmental restriction of metals-contaminated soils. *Lewis Publ. CRC Press LLC: Boca Raton*.
- KABATA - PENDIAS, ALINA (1997): Trace metal balance in soils - a current problem in agriculture. In: ADRIANO, D.C., Z-S. CHEN, S.-S. YANG & I.K. ISKANDAR (Hrsg.): *Biogeochemistry of trace metals. Advances in Environmental Science*, 173-192.
- KAISER, T., W. SCHWARZ, M. FROST & W. PESTEMER (1998): Evaluierung des Gefährdungspotentials bisher wenig beachteter Stoffeinträge in Böden. *Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 60/98*.
- KALBERLAH, F. (1999): Cadmium und seine Verbindungen. In: EIKMANN, T., U. HEINRICH, B. HEINZOW & R. KONIETZKA (Hrsg.): *Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen. Ergänzbare Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung. Erich Schmidt Verlag, Berlin*, D 172.
- KAUTZKY, H. (2001): Chemische und mikrobiologische Belastung von Gerbereialtstandorten. *altlasten spektrum*, 10: 229-237.
- KLOSS, ROSEMARIE (1996): Geologisch-bodenkundliche Standorterkundung im Bereich der Rieselfelder der Stadt Braunschweig. *Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges.*, 81:143-153.

- Literaturstudie -

- KÖNIG, W. (1997): Maßnahmen zur Gefahrenabwehr auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen. In: *Plant impact at contaminated sites. Workshop. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Schmollenberg.*
- KOSSDORFF, K. (2001): Kontaminanten und Schwermetalle in Lebensmitteln. *Ernährung, 25: 320-327.*
- KRATZ, W. (1995): Untersuchungen zu organisch - chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin - Buch. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 9: 27-32*
- KRAUSS; H.-H. & B.STROHBACH (1999): Beitrag zur bodenkundlichen Zustandserfassung der ehemaligen Rieselflächen nördlich Berlins. *Beiträge Forstwirtschaft und Landschaftsökologie, 33: 33-38.*
- KÜHNE, U. & TESSMANN, J. (1996): Untersuchung von Nachnutzungsmöglichkeiten auf einem ehemaligen Rieselfeldstandort (Versuchsanlage Waßmannsdorf). *Berichte aus der Arbeit 1995, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 56-60.*
- KUMAR, M.S. (1999): Proceedings of the national workshop on wastewater treatment and integrated agriculture. *SARDI South Australian Research and Development Institute.*
- KUNOWSKI, von J., H - J. SCHULZ, & T. BÜTTNER (1997): Verbesserung der Oberflächenqualität durch die Boden- und Grundwasserpassage von Klarwasser. *Wasser & Boden, 49 (2) 26-40.*
- KURZ, H., R. SCHULZ, & V. RÖMHELD (1997): Einfluss der Sortenwahl auf die Dauer einer Biodekontamination von mit Cadmium und Thallium belasteten Böden. In: *Plant impact at contaminated sites. Workshop. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Schmollenberg.*
- LABO (1997): Eckpunkte zur Gefahrenbeurteilung des Wirkungspfades Bodenverunreinigungen/Altlasten - Pflanze. *Ad-hoc-Arbeitsgruppe "Schwermetalltransfer Boden/Pflanze" des Arbeitskreises „Bodenbelastung“ der Bund / Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).*
- LANDESUMWELTAMT NRW (2002): Vollzugshilfe zur Gefährdungsabschätzung „Boden-Grundwasser“. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Band 17
- LANGEMACH, T., V. DEUTRICH, & R. Metz (1995): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Wildtieren aus ehemaligen Rieselfeldflächen. *Tierärztliche Umschau, 24: 480-490.*
- LAVES, D.; & L. SUNTHEIM (1997): Nutzungskonzept schwermetall-belasteter Landwirtschaftsflächen. *Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges., 85: 733-736.*
- LAWA (1998/2000): Geringfügigkeitsschwellen zur Beurteilung von Grundwasserschäden und ihre Begründung. *LAWA Ad-hoc-Arbeitskreis Prüfwerte vom 21.12.1998, in Verbindung mit Beschluß der 114. LAWA-Sitzung zu TOP 4.1 vom 17./18.02.2000.*
- LEITFADEN (1998): Erkundung ehemaliger Gerbereistandorte. *Umweltbundesamt Berlin. Projektträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung des BMBF. 154 S.*
- LfU (2001): Arbeitshilfe zur Bearbeitung von Verdachtsflächen/altlastverdächtigen Flächen und schädlichen Bodenveränderungen/Altlasten nach BBodSchG. *Landesanstalt für Umweltschutz Baden - Württemberg, Karlsruhe, 72 S. und Anhang.*
- LINKE, H., W. NESTLER, E. SOWA & F. SARFERT (1990): Landschaftsgestaltung und Nutzung von Rieselfeldern als Areale einer ökologisch orientierten Abwasserbehandlung. *Agrarsoziale Gesellschaft Göttingen, ASG-Materialsammlung, 183: 95-107.*
- LITZ, N., RITA BOJE - HADERER, SIMONE JUNG, D. MERKEL, G. OFFENBÄCHER & W. SCHNAAK (1998): Konzept zur Ermittlung und Bewertung der Relevanz schädlicher organischer Inhaltsstoffe im Klärschlamm. *Korrespondenz Abwasser, 45: 492-498.*
- LITZ, N. (2000): Klärschlammrelevante organische Schadstoffe auf landwirtschaftlich genutzten Böden. In: *Schadstoffeinträge in Böden, 1. Bodentage, Gemeinschaftstagung ATV-DVWK und BVB 08.und 09. Mai 2000 in Hannover.*
- LUA (1993a): Analyse der Schadstoffbelastung der Rieselfelder Rüdersdorf. Abschlußbericht. *Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Jena // Potsdam, Juni 1993.*
- LUA (1993b): Analyse der Schadstoffbelastung der Rieselfelder Fürstenwalde. Abschlußbericht. *Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Jena // Potsdam, Juni 1993.*
- LUA (1997a): Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer - Gemeinsamer Abschlußbericht 1996. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Berlin, Potsdam, Band 13/14.*
- LUA (1997b): Empfehlungen des Wissenschaftlich-Technischen Beirates Rieselfelder (WTB) beim Landesumweltamt Brandenburg zur Rieselfeldnachnutzung im Umland von Berlin. *Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Stand: 4. Dezember 1995, 31 S.*
- LUA (1998): Machbarkeitsstudie zur Wiedervernässung von Rieselfeldstandorten im Land Brandenburg um Berlin (Entwurf). *Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam.*
- LUA (1999): Belastungsmusterkarten zur Kennzeichnung von Verdachtsflächen großräumiger Bodenbelastungen als fachliche Grundlage zu § 21 BBodSchG im Land Brandenburg. *Abschlußbericht des For-*

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

schungs- und Entwicklungsvorhabens. FEZ Fernerkundungszentrum Potsdam GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam.

- LUA (2000a): Materialien zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. *Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 2000.*
- LUA (2000b): Humanarzneimittel in der Umwelt - Erhebung von Humanarzneimitteln im Land Brandenburg 1999. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Band 25.*
- LUA (2000c): Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt - Literaturstudie zur Bedeutung dieser Stoffe im Land Brandenburg. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Band 26.*
- LUA (2001a): Tierarzneimittel in der Umwelt - Erhebung von Tierarzneimitteln im Land Brandenburg für den Zeitraum von Juli 1998 bis Juni 1999. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Band 29.*
- LUA (2001b): Pflanzenschutzmittel in der Umwelt. Erhebung zu Wirkstoffmengen von Pflanzenschutzmitteln im Land Brandenburg. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, Band 30.*
- MANDL, F. (2001): Stabilisierung des Gebietswasserhaushalts durch gereinigtes Abwasser - Erfahrungen aus dem Probetrieb des Bewässerungsüberleiters in der Nuthegrabenniederung. *Berichte aus der Arbeit 2000, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam, 82-87.*
- MARA, D. & SANDY CAIRNCROSS (Edit.) (1989) Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. *WHO World Health Organisation, Genf. 187 S.*
- MARKUS, J. & A. B. MC BRATNEY (2000): A review of the contamination of soil with lead. I. Origin, occurrence and chemical form of soil lead. *Progress Envir. Sci., 2: 291-318*
- MARSCHNER, B., U. HENKE & G. WESSOLEK (1995): Effects of meliorative additives on the adsorption and binding forms of heavy metals in a contaminated topsoil from a former sewage farm. *Z. Pflanzener-nähr. Bodenkd., 162: 281-286.*
- MAYWALD, F. & H.J. WEIGEL (1997): Zur Biochemie und Molekularbiologie der Schwermetallaufnahme und -speicherung bei höheren Pflanzen. *Landbauforsch. Völknerode, 3: 103-126.*
- MEINICKE, INES & H.-D. BERNITZ (1996): Der Gemüsegarten Berlins. Bilder einer Ausstellung. *Natur & Text in Brandenburg GmbH, Rangsdorf.*
- MEISSNER, R., H. RUPP & H. GUHR (1993): Schwermetallbelastung von Boden und Wasser im Bereich der Magdeburger Rieselfelder und Auswirkungen auf deren künftige Nutzung. *Wasser & Boden, 45(2):76-80.*
- MELSHEIMER, K. (1997): Die Wiederverwendung geklärten Abwassers am Beispiel der Verrieselung von Klarwasser auf dem Rieselfeld Karolinenhöhe in Berlin. *Korrespondenz Abwasser, 44: 1226-1234.*
- METZ, R., M. GRÜN & B. MACHELETT (1990a): Umgestaltung der Berliner Rieselfelder - altlastbedingte Entscheidungsvarianten für Nutzungskonzeptionen. *VDLUFA - Kongreß 1990, Exkursionsführer, 42-49.*
- METZ, R. M. GRÜN & B. MACHELETT (1990b): Umgestaltung der Berliner Rieselfelder - altlastbedingte Entscheidungsvarianten für Nutzungskonzeptionen. *VDLUFA - Schriftenreihe, Kongreßband 1990, 32: 755-762.*
- METZ, R., P. HEROLD, M. GRÜN, B. MACHELETT (1991): Abschlußbericht zur Forschungsleistung „Umweltatlas Berlin - Schwermetallbelastung der Rieselfelder“. *Humboldt-Universität zu Berlin, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau im Auftrag Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, Oktober 1991.*
- METZ, R., H. BÖKEN, & C. HOFFMANN (2000): Schwermetalle in der Nahrungskette, im Pfad Boden-Pflanze-Tier-Mensch. *Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, 711-718.*
- METZ, R., H. BÖKEN, S. PIEPER, C. HOFFMANN (2001): Chemische und biologische Aspekte der Schadstoffimmobilisierung mit Bodenaushub auf ehemaligen Rieselfeldern in Berlin. *Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges., 95: 229-232.*
- MILDE, G., E. EILENBERGER, Z. FILIP, A.B. ISMAIL, M.KIPER, J.M. LOPEZ PILA, W. ROTARD, F. SARFERT, K. SEIDEL (1985): Hygienische Befunde bei der Grundwasseranreicherung mit unterschiedlich gereinigtem Abwasser. *In: BÖHNKE, B. (Hrsg.): Gewässerschutz und Abwasserreinigung als komplexe Aufgabe. Gewässerschutz : Wasser : Abwasser, Aachen, 69: 869-889.*
- MLUR (1999): Neues Bodenschutzgesetz schließt Lücke im Umweltrecht. *Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Potsdam, Pressemitteilung vom 26. Februar 1999.*
- MLUR (2000b): Aufforstung von Rieselfeldern. Anforderungen aus der Sicht des Bodenschutzes. *Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Potsdam, 26. Oktober 2000.*
- MOERS (2001): Bebauungsplan Nr. 116 der Stadt Moers - Moers Meerbeck Ost. *Stadt Moers, 19.02.2001.*
- MOSHIRI, G.A. (Hrsg.) (1993): Constructed wetlands for water quality improvment. *Lewis Publ.: Boca Raton, Ann Arbor, London. 632 S.*

- Literaturstudie -

- MÜHLNICKEL, R., G. SÄNGERLAUB, H. Gebhardt (1989): Schwermetallanreicherung in Böden des Abwasserbehandlungsgebietes Braunschweig. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 152: 93-97.
- MÜLLER, G. (2001): Altlastenbewertung für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser (Sickerwasser-prognose) und Festsetzung vorläufiger Sanierungsziele im Freistaat Sachsen. *altlasten spectrum*, 10: 120-127.
- MUNR (1998): Handbuch zur Altlastenbearbeitung im Land Brandenburg. *Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam.*
- NEBRA (2001): Biosolids history. *New England Biosolids & Residuals Association, Tamworth, NH, USA.* www.nebiosolids.org
- NESTLER, W., E. SOWA, L. LUCKNER & F. SARFERT (1990): Umweltgerechte Nutzung ehemaliger Rieselfelder Berlins. *Wasserversorgung - Wassertechnik*, 5:106-108.
- NIDESI (2000): Verfahren zur in-situ-Reinigung stark stickstoffbelasteter Grundwasserleiter. *BMFT - Förderprojekt 02 / WT 9587/9* www.bwb.de/d/pgs/projekte/nitrifikation.html.
- NÜTZMANN, G., G. GINZEL, E. HOLZBECHER, H. SCHOLZ & C. HOFFMANN (2000): Grundwasserschutz durch Bodenverbesserung auf ehemaligen Rieselfeldern: Folgenabschätzung mit Hilfe gekoppelter Modelle. *Wasser & Boden*, 52 (9): 9-14.
- PEIJNENBURG, W., R. BAERSELMAN, A. de GROOT, T. JAGER, D. LEENDERS, L. POSTHUMA & R. VAN VEEN (2000): Quantifikation of metal bioavailability for lettuce (*Lactuca sativa* L.) in field soils. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 39: 420-430.
- PESCOD, M.B. (1992): Wastewater treatment and use in agriculture. *FAO irrigation and drainage paper*, 47.
- PORTMANN, H.-D. (1995): Ökologisch verträgliche Rieselfeldnachnutzung *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 56-62.
- PORTMANN, H.-D., J. TEERSMANN & U. KÜHNE (1994): Ökomanagement Rieselfeld - Problematisierung, Ergebnisse, Schlußfolgerungen. *Berichte aus der Arbeit 1993, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 93-96.
- RADÜNZ, K.-J. (1987): Abwasserentsorgung in Braunschweig. *Wasser & Boden*, 39 (11): 580-584.
- REINSTORF, F., B. SUSSET, D. MARRE, P. GRATHWOHL & W. WALTHER (2001): Modelle zur Sickerwasserprognose. *Bodenschutz*, 6 :18-24.
- RENGER, M. & B. MEKIFFER (1998): Belastungen und Gefährdungspotentiale urbaner Böden. *In: Bodenökologie & Bodengenese. Technische Universität Berlin*, 26: 3-22.
- RENGER, M., C. HOFFMANN & L. SCHLENTHER (1995): Bindung, Mobilität und Transport von Schadstoffen in Rieselfeldflächen. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 32-40.
- RENGER, M., C. HOFFMANN & C. BOWO (2001): Monitoring auf den Forstflächen Buch. www.tu-berlin.de/fb7/ioeb/bodenkunde/F&E%20Sanierung.html
- RITSCHHEL, J. (2000): Hintergrundwerte organischer Schadstoffe in Böden Brandenburgs. *Berichte aus der Arbeit 1999, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 181-187.
- RITSCHHEL, J. & W. KRATZ (2000): Konzept zu einer umweltverträglichen Nachnutzung von Rieselfeldern. *Wasser & Boden*, 52 (9): 29-32.
- ROSE, G.D. (1999): Community - based technologies for domestic wastewater treatment and reuse: options for urban agriculture. *IDRC. Cities feeding people, CFP Report Series, Report 27.* www.idrc.ca/cfp/rep27
- RUDEK, R. & S.H. EBERLE (2001): Der Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung - Ein Überblick. *altlasten spektrum*, 10: 294-304.
- SALT, C. (1988): Schwermetalle in einem Rieselfeld - Ökosystem. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der Technischen Universität Berlin*, Nr. 53.
- SCHÄRLI, M.A., O. TIETJE, A. HEITZER, S. HESSKE & R.W. SCHOLZ (1997): Integrale Beurteilung sanfter Bodensanierungen bei großflächigen Schwermetallbelastungen: Die ökologische Perspektive. *Mitt. Deut. Bodenkdl. Ges.*, 85: 765-768.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. Bearbeiter: P. SCHACHTSCHABEL, H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE & U. SCHWERTMANN unter Mitarbeit von W.R. FISCHER, M. RENGER & O. STREBEL. *Ferdinand Enke Verlag: Stuttgart.*
- SCHEYTT, T., SUSANNE GRAMS & M. ASBRAND (2000): Grundwasserströmung und -beschaffenheit unter dem Einfluss 100-jähriger Rieselfeldwirtschaft. *Wasser & Boden*, 52 (9):15-22
- SCHENK, R.(1995): Zum aktuellen Stand der bodenkundlichen und hydrogeologischen Untersuchungen im Forschungsprojekt „Rieselfelder südlich Berlins“. *Berichte aus der Arbeit 1994, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 171-176.
- SCHENK, R.(1997): Die Rieselfelder südlich Berlins - Methodik, und Ergebnisse eines interdisziplinären Forschungsprojektes. *Berichte aus der Arbeit 1996, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 44-49.
- SCHLENTHER, L., B. MARSCHNER, C. HOFFMANN & M. RENGER (1996): Ursachen mangelnder Anwuchserfolge bei der Aufforstung der Rieselfelder in Berlin-Buch. *Bodenkundliche Aspekte. Verh. Ges. Ökol.*, 25: 349-359.

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

- SCHMID, T. (2001): Sickerwasserprognose - Aktivitäten in den Ländern. *altlasten spectrum*, 10: 310-315.
- SCHMID, T. & V. ZEISBERGER (2001): Sickerwasserprognose in Vollzug und Praxis. *altlasten spectrum*, 10: 221-228.
- SCHMIDT, M. (1995): Planungsrelevante Aspekte einer Rieselfeldnachnutzung im Verflechtungsraum Brandenburg - Berlin. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*, 9: 4-10.
- SCHMIDT, R. (1998): Steckbrief Boden: Pseudogley. *Bodenschutz*, 3: 26-27.
- SCHNEIDER, W. & T. FÖHR (2000): Prognose des Arsenaustrags aus einem kontaminierten Rieselfeldboden unter Berücksichtigung der Heterogenität in der wasserungesättigten Zone. *Technische Universität Hamburg-Harburg, Sonderforschungsbereich 1888, Forschungsbericht 1995-2000*.
www.tu-harburg.de/forschung
- SCHWARZ, K. (1960): Entwicklung, Stand und Verbesserungsmöglichkeiten der Abwasserbehandlung in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der weiträumigen Verwertungsanlagen. *Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Wissenschaftliche Abhandlung, Nr.45*.
- SCHWARTZBROD, J., P. GASPARD & L. THIRAT (1998): Pathogenic micro-organisms in sludge an effect of various treatment precess for their removal. *European Water Management*, 1: 64-69.
- SOWA, E., C. LEIBENATH, C. NITSCHKE, W. KRITZNER (1993): Überwachung der Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit bei naturräumlicher Grundwasseranreicherung auf ehemaligen Rieselfeldern. *Wasser & Boden*, 45 (12): 703-707
- SOWA, E., NESTLER, W., LEIBENATH, C. & W.UHLMANN (1992): Schutzgutbezogene Folgenutzung von Rieselfeldern. *Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag, Berlin*, 7150: 1-38.
- SRU (1995): Sondergutachten Altlasten II. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. *Metzler - Poeschel, Stuttgart*, 285 S.
- STOFFREGEN, H., C. HOFFMANN & G. WESSOLEK, G. (1998): Simulation des Schwermetalltransports in ehemaligen Rieselfeldern unter Einfluß von pH-Änderungen. *Bodenökologie & Bodengenese. Technische Universität Berlin*, 26:164-175.
- STRAUCH, D. (1998): Pathogenic micro-organisms in sludge. Anarobic digestion and disinfection methods to make sludge usable as fertiliser. *European Water Management*, 1: 12-26.
- STRECK, T. (1995): Verlagerung von Cadmium in einem Sandboden im Feldmaßstab. *Mitt. Deut. Bodenkdl. Ges.*, 78: 179-186.
- STROHBACH, B. (2000): Böden der Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch - Entstehung und Eigenschaften. *Wasser & Boden*, 52 (9): 4-8.
- STUDIE (2000): Pflanzenschutzmittel bei der Altlastenerkundung - Analysestrategien zu deren Bestimmung und Bewertung. *AUA GmbH Jena im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena*. 58 S.
- TEISER, B.(1998) : Klärschlammverwertung / Verregnung durch den Abwasserverband Braunschweig. *TU Braunschweig, Publikationen der Zentralstelle für Weiterbildung*. 12. ZAF - Seminar.
- TGL (1984). Fachbereichsstandard Abwasser der DDR: Begriffe der Wasserwirtschaft, biologische Abwasserreinigung. *TGL 55032/04 vom 10.01.1984*.
- TRAPP, S. & U. KARLSON (2000): Aspekte der Phytoremediation organischer Schadstoffe. *Z. Umweltchem. Ökotox.*, 12: 246-255.
- TRENCK, von der K.T., R. RÖDER, H. SLAMA, CHRISTIANE MARKARD & CHRISTIANE KÜHL (1999): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen zur Beurteilung von Grundwasser-verunreinigungen. *Umweltmed. Forsch. Prax.*, 4: 335-346.
- TrinkWV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkWV) vom 21. Mai 2001, Bundesgesetzblatt Teil I: 959
- TRÖGER, U. & M. ASBRAND (1995): Belastung des Grundwassers durch Schadstoffverlagerung im Verbreitungsgebiet der Rieselfelder südlich Berlins. *Studien und Tagungsberichte, Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam*.9: 43-55.
- UBA (1988): Abbau der Schwermetallbelastung aus Wasserversorgungsleitungen - Bleibericht. *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 11/88*.
- UBA (1991): Veränderungen des Nitratabbauvermögens tieferer Bodenschichten durch Stickstoffübersorgung. *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 01/91*.
- UBA (1995): Grundlagen und Kriterien für die Durchführung von Sanierungsplänen bei Überschreitung der Grenzwerte für Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM). *Umweltbundesamt Berlin, UBA-Texte 37/95*.
- UBA (1996): Abwasserverregnung - Aufbringung von Abwasser auf landwirtschaftliche Flächen. *Umweltbundesamt Berlin. Abschlußbericht. UBA-FB 96-075*.
- UBA (1999): Pflanzenbelastung auf kontaminierten Standorten. *Umweltbundesamt Berlin, Berichte 99/01*.
- UMWELTATLAS (2000): Digitaler Umweltatlas Berlin. 01.10 Rieselfelder. *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, Stand: Mai 2000*. www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

- VERORDNUNG (1998): Verordnung über den gemeinsamen Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsraum Brandenburg – Berlin vom 02. März 1998. Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Brandenburg, Teil II.
- VERORDNUNG (2001b): Verordnung (EG) Nr. 466/2001 der Kommission zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 08. März 2001. *Amtsblatt der EG, Nr. L 77/1*.
- VERORDNUNG (2001c): Futtermittelverordnung vom 23. November 2000, geändert am 12. März 2001. *Bundesgesetzblatt, Teil I, 431-454*.
- WHITEHOUSE, L. J., H. WANG & M. D. TOMER (2000): New Zealand guidelines for utilisation of sewage effluent on land. Rotura, New Zealand Treatment Collective and Forrest Research.
- WHO (1989): Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. *World Health Organisation, Genf, Technical Report, 778: 1-74*.
- WIESE, M. (2000): Geschichte der Abwasserentsorgung in Berlin und Nutzungsgeschichte im Planungsgebiet „Rieselfelder Berlin - Buch. *Technische Universität Berlin, Fachbereich Bodenkunde. www.tu-berlin.de/fb7*.
- WILBERS, A., & P. FELIX-HENNINGSSEN (1994): Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe in Böden von Rieselfeldern am Beispiel der Stadt Münster. *Wasser & Boden. 46 (4): 14-18*.
- WILCKE W. (2000): Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soli - a review. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkde., 163: 229-248*.
- WINKLER, CAROLINA (1996): Geschichtliche Entwicklung der Siedlung Alt Hellersdorf. *Hellersdorfer Heimatbriefe 3. www.hellersdorf2000.de*.
- WITTE, H. (1998): Noch mehr Gift im Klärschlamm ? *Korrespondenz Abwasser, 45: 962-966*.
- YATES, M.V. (2001): Pathogens in reclaimend water. *University of California Riverside. www.geoflow.com/wastewater*

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
ACUB	Agrochemischer Untersuchungs- und Beratungsdienst der DDR
AdL	Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
ALA	Ständiger Ausschuss „Altlasten“ der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Boden
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAY	Freistaat Bayern
BBodSchG	Bundes - Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BGA	Bundesgesundheitsamt
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BW	Baden - Württemberg
BWB	Berliner Wasserbetriebe
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d	Tag
DDR	Deutsche Demokratische Republik
d.h.	das heißt
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
F/E	Forschung und Entwicklung
FS	Frischsubstanz
ggf.	gegebenenfalls
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
ha	Hektar
H	Hessen
HUB	Humboldt - Universität zu Berlin
i.d.R.	in der Regel
IPE	Institut für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie Jena
i.S.	im Sinne
ISAL	Informationssystem Altlasten Brandenburg
k.A.	keine Angaben
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
km	Kilometer
l	Liter
LABO	Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Boden
LAGA	Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Bund-/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LPG	Landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaft
LUA	Landesumweltamt Brandenburg
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
Mio.	Million
MLUR	Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Brandenburg
MUNR	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg
mm	Millimeter
MSVV	Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr Brandenburg
MV	Mecklenburg - Vorpommern
n	Anzahl
n.b.	nicht bestimmt
ng	Nanogramm
Nr.	Nummer

- Literaturstudie -

NRW	Nordrhein - Westfalen
NSA	Niedersachsen
OB	Ost - Berlin
OBS	organische Substanz im Boden
Pkt.	Punkt
PSM	Pflanzenschutzmittel
RP	Rheinland - Pfalz
RFB	Rieselfeldbezirk
s.	siehe
s	Sekunde
SA	Sachsen - Anhalt
SH	Schleswig - Holstein
SN	Freistaat Sachsen
ssp.	Species
t	Tonnen
TE	Toxizitätsäquivalente
TGL	Fachbereichsstandard der DDR
TH	Freistaat Thüringen
TÖB	Träger öffentlicher Belange
TS	Trockensubstanz
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt Berlin
UM	Umland
u.U.	unter Umständen
VEW	Vereinigte Elektrizitätswerke
vgl.	vergleiche
WB	West - Berlin
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	Weltgesundheitsorganisation
z.T.	zum Teil
z.Z.	zur Zeit

Anlage 1

Schematische Darstellung von Rieselfeldelementen aus HOFFMANN (2001)

Anlage 2

Schema der Hang-, Stau- und Furchenverrieselung aus SCHENK (1995)

Anlage 3

Rieselfeldbezirke im Umland von Berlin (LUA 2000)

nur in Druckbroschüre enthalten bzw. in Originalliteratur nachlesbar

Anlage 4

Übersicht zu Rieselfeldern in Brandenburg

nach

LUA 1998, LUA 1999, HOFFMANN 2001,
RITSCHEL & KRATZ 2000, SCHWARZ 1960, SOWA ET AL 1992,
METZ ET AL 1991, GRÜN ET AL 1989, ACUB 1989

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV
- Literaturstudie -

Ort	Landkreis/ Kreisfreie Stadt	Betriebs- zeitraum	Fläche [ha]	Abwasser- menge [mm/a]	Art der Ab- wasserbeauf- schlagung	ISAL - NR.	An- merkung
Angermünde	Uckermark	1974 - 1991	0,900	k.A.	Stauverrieselung	0211731024	Fäkalienv- rieselung
Beelitz/ Heil- stätten	Potsdam- Mittelmark	1903 -	3,5	20.520	Stauverrieselung	keine	siehe Datenblatt
Beeskow	Oder-Spree	1932 -	15	8.300	Stauverrieselung und Verregnung	k.A.	teilweise mit neuem Klär- werk bebaut
Belzig	Potsdam- Mittelmark	k.A.	k.A.	0,47 Mio. m ³	k.A.	keine	wahrschein- lich kommu- nales Riesel- feld
Belzig	Potsdam- Mittelmark	1934 -	12	k.A.	Verregnung	keine	Abwasser aus Stärke- fabrik
Bernau	Barnim	1927 -	15	5.000	Stauverrieselung z.T. im Wald	nicht im ISAL erfasst	siehe Datenblatt
Boddinsfelde (RFB Berlin-Süd)	Dahme- Spreewald	1905 - 1989	115	3,5 Mio. m ³ /a	Stauverrieselung	329610262	siehe Datenblatt
Borkheide	Potsdam- Mit- telmark	1960 - 1996	k.A.	k.A.	k.A.	keine	Geflügel- schlachthof mit Absetz- becken
Branden- burg- Görden	Stadt Brandenburg	1912 - 1993	2,8	1.000 m ³ /d	k.A.	0301510287	Rieselfeld ist saniert (Ab- deckung)
Branden- burg- Wend- gräben	Stadt Brandenburg	1900 - 1973 Fläche wird z.T. noch genutzt	108	2.300 500 m ³ /d	Stauverrieselung Furchenverries- elung	0301510286	Rieselfeld ist teilw. noch in Betrieb (ca. 65 ha)
Branden- burg- Neuschmerz- ke	Fläche liegt nicht im Stadt- gebiet von Brandenburg	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	bei SCHWARZ (1960) aus- gewiesen
Cottbus	Stadt Cottbus	1917 - 1960	3,0	k.A.	Stauverrieselung Furchenverries- elung	102520041	siehe Daten- blatt
Cottbus	Stadt Cottbus	1925 - 1974	30	k.A.	Stauverrieselung Furchenverries- elung	102520231	siehe Daten- blatt
Cottbus	Stadt Cottbus	1900 - 1974	127	k.A.	Stauverrieselung Furchenverries- elung	102520251	siehe Daten- blatt
Dallmin	Prignitz	1911 - 1995	k.A.	0,5 Mio. m ³ /a	Stauverrieselung Verregnung	0337701109	Abwasser aus der Stärkefabrik Dallmin
Deutsch Wusterhau- sen (RFB Berlin-Süd)	Dahme- Spreewald	1903 - 1994	543	1,8 Mio. m ³ /a	Stauverrieselung	329610227	siehe Datenblatt
Dreetz	Ostprignitz- Ruppin	1939/40 - 1995	0,5 + 12	1.460	Stauverrieselung	k.A.	Ver- regnungs- anlage auf 12 ha Ende1970 stillgelegt
Eberswalde	Barnim	1880 -	3,5	5.400	Stauverrieselung	nicht im ISAL erfasst	Landesan- stalt

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Ort	Landkreis/ Kreisfreie Stadt	Betriebs- zeitraum	Fläche [ha]	Abwasser- menge [mm/a]	Art der Ab- wasserbeauf- schlagung	ISAL - NR.	An- merkung
Eisenhütten- stadt	Oder-Spree	1952/55 - 1989	16,8	450	Verregnung	0203671008	heute: Nut- zung durch Agrargenos- senschaft
Fahlhorst (zu RFB Sputendorf)	Potsdam- Mit- telmark	Stilllegung vor 1970	k.A.	k.A.	Stauverrieselung	0338692904	siehe Daten- blatt
Felgentreu	Teltow - Fläming	k.A.	220	k.A.	Verregnung		landwirt- schaftliche Nutzfläche
Finsterwalde	Elbe-Elster	1923	20	2.850	Stauverrieselung	nicht vergeben	Weiternut- zung von ca. 10 ha
Forst (Sacro)	Spree-Neiße	1950/56 -	360	1.800	Verregnung	k.A.	
Frankfurt- Kliestow	Stadt Frankfurt/O.	1960	673	330	Verregnung	0204531217	25 % industr. Abwasser, heute: Weideland
Fürstenwä- de	Oder-Spree	1904 - 1993	24	4.015	Stauverrieselung	224671040	Teilfläche mit neuem Klär- werk bebaut
Fürstenwä- de	Oder-Spree	1980 - 1993	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	evt.Rieselfeld vom Far- benwerk oder NVA / WGT
Gentzrode	Ostprignitz - Ruppin	- 1993	0,5	k.A.	Stauverrieselung Furchenverrieselung	im ISAL: WGT-Liegen- schaft	ehemalige WGT - Lie- genschaft
Großbeeren (RFB Berlin-Süd)	Teltow - Fläming	1893 - 1994	746	3,2 Mio. m³/a	Stauverrieselung	k.A.	seit 1999 unter Denk- malschutz, soll Freilicht- museum werden
Groß Dölln	Uckermark	1965/70 - 1994	0,075	k.A.	Stauverrieselung	246739121	Abwasser von WGT- Liegenschaft
Groß Dölln	Uckermark	1979- 1994	0,072	k.A.	Stauverrieselung	246739120	Abwasser von WGT - Liegenschaft
Güterfelde (zu RFB Sputendorf)	Potsdam- Mit- telmark	Stilllegung vor 1970	k.A.	k.A.	Stauverrieselung	0338692901	siehe Datenblatt
Großziethen (RFB Berlin-Süd)	Dahme- Spreewald	1890 - 1989	68	0,4 Mio. m³/a	Stauverrieselung	329610171	siehe Datenblatt
Hellersdorf (RFB Berlin-Ost)	Barnim	1886 - 1969	716	11,0 Mio. m³/a	Stauverrieselung	nicht im ISAL erfasst	nur teilweise in Brandenburg
Hennicken- dorf/ Rehfelde	Märkisch- Oderland	1980 - 1991	32	k.A.	Stauverrieselung Abwassersi- ckerbecken	0245643012 0245643013	Teilfläche mit Kompostier- anlage
Hobrechts- felde (RFB Berlin-Nord)	Barnim	1898 - 1985	757	37,0 Mio. m³/a	Stauverrieselung	nicht im ISAL erfasst	nur teilweise in Brandenburg

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

Ort	Landkreis/ Kreisfreie Stadt	Betriebs- zeitraum	Fläche [ha]	Abwasser- menge [mm/a]	Art der Ab- wasserbeauf- schlagung	ISAL - NR.	An- merkung
Jüterbog	Teltow - Fläming	1953/56 -	160	1.000	Verregnung	k.A.	
Ketzin	Havelland	1900 -	11,7	k.A.	Stauverrieselung	nicht im ISAL erfasst	Abwasser aus Zucker- fabrik
Kleinziethen (RFB Berlin-Süd)	Dahme- Spreewald	1890 - 1989	180	siehe Waßmanns- dorf	Stauverrieselung	k.A.	siehe Datenblatt
Kyritz	Ostprignitz- Ruppin	1928 - 1991	138,4	k.A.	Verregnung, Verrieselung	k.A.	vorwiegend Abwasse- raus Stärke- fabrik
Luckenwalde	Teltow - Fläming	1911 -	47,6	4.000	Stauverrieselung Furchenverrieselung	k.A.	50 % ge- werbliche Abwässer
Ludwigsfelde- Löwen- bruch	Teltow - Fläming	1940 -	210	150	Verregnung -Rohrberieselung	k.A.	siehe Datenblatt
Lübben	Dahme- Spreewald	1914 -	26	1.000	Hangverrieselung Furchenverrieselung	331610542	1960: 220 ha geplant - "Rieselwe- se"
Mühlenbeck (RFB Berlin-Nord)	Oberhavel	1911 - 1985	190	siehe Schönerlinde	Stauverrieselung	k.A.	siehe Datenblatt
Münchehofe (RFB Berlin-Ost)	Märkisch- Oderland	1907 - 1976	104	14,5 Mio. m³/a	Stauverrieselung	0245643193	Teilfläche mit Kompostier- anlage
Nauen	Havelland	1929 -	32	1.800	Stauverrieselung	k.A.	siehe Datenblatt
Neuruppin	Ostprignitz- Ruppin	1911 - vo- rauss.2002	40	4.000	Stauverrieselung Furchenverrieselung	335680443	siehe Datenblatt
Neuruppin	Ostprignitz- Ruppin	1925 - 1999	7,5	k.A.	Stauverrieselung	k.A.	Abwasser aus Kran- kenhaus
Oranienburg	Oberhavel	1930 - 1967	k.A.	k.A.	k.A.	336650586 ?	
Osdorf (RFB Berlin-Süd)	Teltow - Fläming	1876 - 1976	1195	20,0 Mio. m³/a	Stauverrieselung	k.A.	siehe Datenblatt
Passow	Uckermark	1960 - 1989	2,0	k.A.	Hangverrieselung	0211731252	
Perleberg	Prignitz	stillgelegt	k.A.	k.A.	Furchenverrieselung	0337701439	Abwasse- raus Schlachthof
Potsdam- Babelsberg	Stadt Potsdam	1907 -	15	4.000	Stauverrieselung	k.A.	heute: teilweise mit Kleingärten
Potsdam- Golm	Stadt Potsdam	1936 -	140	520	Verregnung	k.A.	heute: Brach- fläche, Unter- suchung ist erfolgt
Pritzwalk	Prignitz	1942 -	150	250	Verregnung -Rohrberieselung	k.A.	Wiesen- und Ackerflächen
Ragow	Dahme- Spreewald	k.A.	6	k.A.	k.A.	329610708	Druckaus- gleichsturm mit Rieselfeld
Schenken- horst (zu RFB Sputen-	Potsdam- Mittelmark	siehe Sputendorf	siehe Sputen- dorf	siehe Sputendorf	Stauverrieselung	0338692902	siehe Datenblatt

Gefährdungsabschätzung und Sanierung von ehemaligen Rieselfeldern
unter Berücksichtigung der Anforderungen von BBodSchG/BBodSchV

- Literaturstudie -

dorf)							
Schönerlinde (RFB Berlin-Nord)	Barnim	1893 - 1985	154	8,5 Mio. m³/a	Stauverrieselung	nicht im ISAL erfasst	siehe Datenblatt
Schwedt	Uckermark	1949/53 -	50	1.100	Hangverrieselung Furchenverrieselung	k.A.	Wildverrieselungsfläche
Ort	Landkreis/ Kreisfreie Stadt	Betriebs- zeitraum	Fläche [ha]	Abwasser- menge [mm/a]	Art der Ab- wasserbeauf- schlagung	ISAL - NR.	An- merkung
Seeburg (zu RFB Karolinenhöhe)	Potsdam- Mittelmark	1890 -	331 *	2,6 * Mio. m³/a	Stauverrieselung	k.A.	* nur teilweise in Brandenburg
Spreetal	Spree-Neiße	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	LMBV, 2000 Kontaminationsunters. URS Deutschland GmbH
Sputendorf (zu RFB Sputendorf)	Potsdam- Mittelmark	1890 - 1994 *	1186 *	7,6 * Mio. m³/a	Stauverrieselung	0338692903	* Angaben zu RFB Sputendorf gesamt
Storkow	Oder- Spree	1985 -	24,08	k.A.	Verrieselung von biologisch gereinigtem Abwasser	214671011	noch in Betrieb, gehört zum Klärwerk
Tasdorf (RFB Berlin-Ost)	Märkisch-Oderland	1910 - 1976	168	7,0 Mio. m³/a	Stauverrieselung	0245643214	siehe Datenblatt
Teupitz	Dahme-Spreewald	1908 - 1994	k.A.	k.A.	k.A.	329610450	
Vetschau	Oberspreewald- Lausitz	1965 - 1980	152	0,675 - 1,022 Mio. m³/a	Verregnung	k.A.	landwirtschaftl. Nutzflächen in Görlitz und Stradow
Wansdorf (RFB Berlin-West)	Havelland	1912 - 1998	106	10 Mio. m³/a	Stauverrieselung	334633557	Bezg. ISAL: Rieselfelder und Gräben
Wansdorf (RFB Berlin-West)	Havelland	k.A.	k.A.	k.A.	Stauverrieselung	334633558	Bezg. ISAL: Rieselfeld Wansdorfer Weg
Waßmannsdorf (RFB Berlin-Süd)	Dahme-Sreewald	1890 - 1989	258	14,5 Mio. m³/a	Stauverrieselung	329610418	Gemarkung Selchow
Waßmannsdorf (RFB Berlin-Süd)	Dahme-Sreewald	1890 - 1989	258	14,5 Mio. m³/a	Stauverrieselung	329610484	Bezg. ISAL: Rieselfelder mit Klärschlammdeponie
Werneuchen	Barnim	1960 (geplant)	44	k.A.	k.A.	nicht im ISAL erfasst	1960 geplant
Wutike	Prignitz	nicht stillgelegt	k.A.	k.A.	Verregnung	k.A.	Abwasser aus der Stärkefabrik Kyritz