# 02.04 Qualität des oberflächennahen Grundwassers (Ausgabe 1993)

## Problemstellung

Die Grundwasserbeschaffenheit wird durch natürliche und eine Vielzahl von menschlichen Einflüssen bestimmt. Negative Veränderungen der Grundwasserqualität in Form von Verunreinigungen und Belastungen des Grundwasserkörpers resultieren in erster Linie aus

– den gewerblich-industriellen Produktionsprozessen, einschließlich der Lagerung/Entsorgung anfallender Abfallstoffe (Deponien, Altlastenflächen),

– den Verunreinigungen des Bodens durch Schadensfälle und die unsachgemäße Lagerung von wassergefährdenden Stoffen,

– der Land- und Forstwirtschaft (Eintrag von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln) und

– dem Rieselfeldbetrieb.

Nach dem Wasserhaushaltsgesetz ist nicht nur das Grundwasser innerhalb ausgewiesener Trinkwasserschutzzonen, sondern aus Gründen der Umweltvorsorge die gesamte Grundwasserressource vor jeder vermeidbaren Beeinträchtigung flächendeckend zu schützen. Für das in Berlin im wesentlichen aus dem ersten Grundwasserstockwerk geförderte Trinkwasser besteht aufgrund der geologischen Situation ein hohes Verschmutzungsrisiko. Infolge der guten Durchlässigkeit der Deckschichten können Schadstoffe relativ ungehindert und in verhältnismäßig kurzer Zeit in den Grundwasserkörper eingetragen werden. Gerade in einem urbanen Ballungsraum wie Berlin sind daher für die **langfristige** Sicherstellung der **Trinkwasserversorgung** vorsorgende Maßnahmen des Grundwasserschutzes notwendig.

## Datengrundlage

### Meßprogramme

Zur Zeit liegt für Berlin noch kein einheitlicher Datenbestand vor. Aus diesem Grund mußte für Ost- und West-Berlin auf unterschiedliche Meßprogramme zurückgegriffen werden.

Für **West-Berlin** wird die Qualität des oberflächennahen Grundwassers durch das **Routinemeßprogramm** der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz regelmäßig überwacht. Es umfaßt 118 Straßenbrunnen und 75 Grundwasserbeobachtungsrohre. Die Wasserproben werden im Abstand von einem halben Jahr jeweils im Winter- und Sommerhalbjahr gezogen.

Die Untersuchungen erstrecken sich auf den physikalisch-chemischen Bereich und umfassen folgende Parameter:

Temperatur, Trübung, Geruch, Färbung, pH-Wert, Leitfähigkeit, Säurekapazität bis pH = 4,3, Sulfat, Ammonium-Stickstoff, Nitrit-Stickstoff, Nitrat-Stickstoff, anorganischer Stickstoff, Orthophosphat-Phosphor, Mangan, Eisen, Magnesium, Calcium, Chlorid, organischer Kohlenstoff, chemischer Sauerstoffbedarf (Oxidierbarkeit über Kaliumpermanganat-Verbrauch, 1987 eingestellt).

Zusätzlich wird das Routinemeßprogramm durch **Sonderuntersuchungen** z.B. auf Schwermetalle und AOX (adsorbierbare halogenierte Kohlenwasserstoffe) ergänzt. Außerdem werden die Straßenbrunnen in einem Turnus von drei Jahren von den Bezirken durch die Bestimmung bakteriologischer sowie physikalisch-chemischer Para­meter auf Trinkwasserqualität gemäß der Trinkwasserverordnung von 1990 untersucht.

Weiterhin werden seit 1985 Altablagerungen/Deponien durch das **Deponieüberwachungsprogramm** der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz regelmäßig kontrolliert. Hierzu sind ca. 500 Grundwasserbeobachtungsrohre im An- und Abstrombereich der belasteten Flächen installiert worden. In der Regel werden vier Messungen pro Jahr durchgeführt.

Für **Ost-Berlin** konnte auf die Daten des **Grundwassergütemeßnetzes** der ehemaligen Wasserwirtschaftsdirektion bzw. Oberflußmeisterei Berlin mit ca. 320 Meßpunkten zurückgegriffen werden, die in der Regel zweimal pro Jahr beprobt wurden.

### Ausgewählte Meßpunkte

Als Datengrundlage für **West-Berlin** wurden 94 Straßenbrunnen und 68 Grundwasserbeobachtungsrohre aus dem Routinemeßprogramm ausgewählt. Auswahlkriterium war die Verfilterung im ersten Grundwasserleiter, gleichzeitig wurde eine gleichmäßige Verteilung der Meßpunkte angestrebt. Ergänzend wurden 17 Meßpunkte des Deponieüberwachungsprogramms hinzugenommen. In der vorliegenden Karte sind die Mittelwerte aus den Messungen des Jahres 1989 dargestellt. Nur für die Oxidierbarkeit mußten Meßergebnisse aus dem Jahr 1986 verwendet werden, da ab 1987 keine Bestimmung dieses Parameters mehr erfolgte. Zur Beurteilung der Belastung mit organischen Stoffen wird die Untersuchung auf den Gehalt an gelöstem organischen Kohlenstoff als ausreichend angesehen.

Die Datengrundlage für **Ost-Berlin** basiert auf den Analyseprotokollen des Grundwassergütemeßnetzes der ehemaligen Wasserwirtschaftsdirektion Berlin aus dem Zeitraum 1989/90, wobei auch hier aus den Beprobungen jeder Meßstelle der Mittelwert gebildet wurde. Durch fehlende Messungen und Lagekoordinaten sowie die Verfilterung der Brunnen in tieferen Grundwasserleitern reduzierte sich die Anzahl der Meßpunkte erheblich, so daß nur noch 59 Meßpunkte zur Darstellung verwendet wurden. Ergänzend wurden daher Meßpunkte des Projektes ”Ökologische Ressourcenplanung Berlin und Umland” hinzugenommen (BMUNR/UBA 1992). Diese Daten stammen aus hydrologischen Erkundungsarbeiten der Jahre 1988 bis 1991. Insgesamt liegen für die östlichen Stadtbezirke somit 95 Meßstellen vor. Zum Großteil handelt es sich hierbei um Eigenwasserversorgungsanlagen und Straßenbrunnen.

Zur Ermittlung der **Belastung mit Pestiziden** wurden 1990 in einem speziellen Meßprogramm 48 Grundwasserbeobachtungsrohre in West-Berlin und im Jahr 1991 31 Meßstellen überwiegend in Ost-Berlin beprobt und untersucht. Einige Meßpunkte mit Belastungen wurden sowohl 1990 als auch 1991 beprobt. Für die Darstellung in der Karte wurde in diesen Fällen der jeweils aktuellere Wert herangezogen. Insgesamt konnten 69 Meßpunkte dargestellt werden.

Die **AOX**-Daten stammen aus einem Sonderunter­suchungsprogramm, in dem die Meßstellen des West-Berliner Routineprogramms 1989 einmalig beprobt wurden. Zusätzlich wurden für diesen Parameter einige Analysen aus Wasserproben hinzugenommen, die im Zuge von Grundwasserhaltungen bei Baumaßnahmen in den Jahren 1989 bis 1992 im gesamten Stadtgebiet gezogen wurden.

## Methode

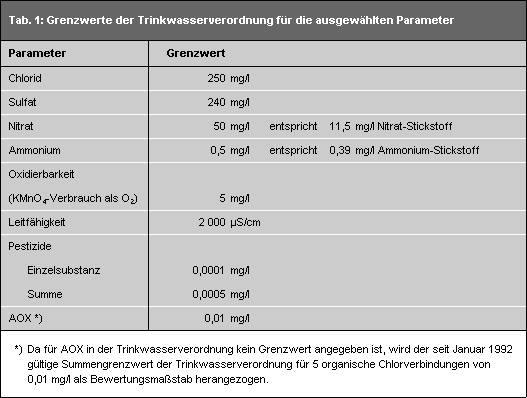
### Auswahl der Indikatoren

Als Indikatoren für die Qualität des oberflächennahen Grundwassers wurden die Standardparameter Chlorid, Sulfat, Ammonium, Nitrat, Oxidierbarkeit und Leitfähigkeit sowie die Belastung mit AOX und Pestiziden ausgewählt.

**Ammonium** und **Nitrat** gelten als Parameter für Ver­unreinigungen des oberflächennahen Grundwassers durch Abwässer und Fäkalien, die **Oxidierbarkeit** läßt Rückschlüsse auf die organische Belastung zu. Die elektrische **Leitfähigkeit**, ein Summenparameter für gelöste Substanzen im Grundwasser, steht als Kenngröße für die Belastung mit anorganischen Stoffen und als Maß für eine allgemeine Verunreinigung mit Salzen. Gleiches gilt für die **Chloride**. ”Chemisch stabil”, unterliegen Chloride keinen Veränderungen und können daher über weite Strecken verfolgt werden. Grundwasserbeeinträchtigungen durch erhöhte **Sulfat**-Werte deuten auf Trümmerschutt im Untergrund bzw. auf Deponien mit hohem Bauschuttanteil hin. **AOX** steht für die adsorbierbaren halogenierten Kohlenwasserstoffe und dient als Indikator für intensive industrielle Nutzung. Die Anwesenheit von AOX ist gleichermaßen charakteristisch für Verunreinigungen durch die Lagerung industrieller Abfälle (Altlasten).

### Grenzwerte

Die graphische Darstellung der Ergebnisse orientiert sich an den gesetzlich festgelegten Grenzwerten der **Trinkwasserverordnung**. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese Grenzwerte streng genommen nur für das Trinkwasser (Reinwasser) gelten, hier aber mangels anderer Kriterien als Beurteilungsmaßstab für das Grundwasser herangezogen werden. Grundsätzlich ist eine Grundwasserqualität anzustreben, die anthropogen nicht beeinflußt wurde. In Tabelle 1 sind für die ausgewählten Parameter die entsprechenden Grenzwerte der Trinkwasserverordnung zusammengestellt.



Tab. 1: Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für die ausgewählten Parameter

Für **AOX** lag die Nachweisgrenze in dem angeführten Meßprogramm bei 0,01 mg/l, das heißt, in der Karte konnte unterhalb des Grenzwertes keine Differenzierung erfolgen. Die 10-fache Überschreitung dieses Wertes wurde gesondert gekennzeichnet.

Da bei den **Pestiziduntersuchungen** an vielen Standorten mehrere Substanzen gefunden wurden, wurde zur Beurteilung in der Karte der Summengrenzwert von 0,0005 mg/l herangezogen.

### Darstellung

Auf die Darstellung mittels Isolinien (Linien gleicher Konzentration eines Stoffes) oder in Form von Gleichenkarten, womit die flächenhafte Verteilung der Konzentrationen abgebildet werden kann, wurde verzichtet. Testrechnungen mit Hilfe von geostatistischen Verfahren (Kannenberg 1992) haben gezeigt, daß insbesondere bei Grundwasserbelastungen, die auf punktuelle Verursacherquellen zurückzuführen und daher lokal begrenzt sind, die Punktdaten wegen der unzureichenden Meßpunktdichte nicht auf die Fläche übertragen werden können. Die dabei ermittelten Schätzfehler sind zu groß. Bei Stoffen, die überwiegend durch diffuse Quellen eingetragen werden – wie z.B. Sulfat – werden deutlich bessere Ergebnisse erzielt. Im Interesse einer einheitlichen Darstellung wurden die Meßwerte aber immer punktbezogen dargestellt.

Die Karte gibt einen Überblick über die Verteilung der untersuchten Stoffe im Grundwasser. Lokal begrenzte Verunreinigungen wie z.B. durch Altlasten können mit der vorhandenen Meßpunktdichte nicht oder nur zum Teil erfaßt werden.

## Kartenbeschreibung

### Oxidierbarkeit

Die Werte für die **Oxidierbarkeit** sind mit 3,0 mg O2/l im Mittel über das gesamte Stadtgebiet insgesamt leicht erhöht. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung wurde in 25 Fällen überschritten, dies entspricht rund 10 % aller beprobten Meßpunkte. Als Ursache sind Deponien und Altlastenflächen, aber auch der Einfluß der Rieselfeldnutzung bzw. Abwasserverwertungsflächen zu nennen. Tendenziell treten erhöhte Werte im Bereich des Urstromtals auf. Eine auffällige Häufung von hohen Werten ist nördlich und südlich des großen Müggelsees zu beobachten; hier macht sich der Einfluß der Abwasserverwertungsflächen bzw. nicht kanalisierter Siedlungsgebiete bemerkbar.

### Leitfähigkeit

Die elektrische **Leitfähigkeit** gilt als Kenngröße für die Belastung mit anorganischen Stoffen. Speziell machen sich hier die salzhaltigen Einträge in den Untergrund, die Nitrat, Phosphat, Chlorid und Sulfat enthalten, bemerkbar. Bezogen auf den jeweiligen Mittelwert zeigen sich in beiden Stadthälften ähnliche Verhältnisse. Der Mittelwert für das gesamte Stadtgebiet liegt bei etwa 1 000 µS/cm, Grenzwertüberschreitungen der Trinkwasserverordnung liegen lediglich an 3 Meßpunkten vor. Legt man den niedrigeren Leitwert von 1 000 µS/cm der EG-Richtlinie ”Qualitätsanforderungen an Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung” zugrunde, ergeben sich allerdings Überschreitungen an 92 Meßpunkten.

### Ammonium

**Ammonium** entsteht als Abbauprodukt von tierischem und pflanzlichem Eiweiß. In unbelasteten Grundwässern sind in der Regel nur Spuren vorhanden. Das Vorkommen von Ammonium im oberflächennahen Grundwasser deutet in der Regel auf Verunreinigungen mit Abwässern und Fäkalien hin. Gesundheitliche Schädigungen durch Ammoniumionen sind zur Zeit nicht bekannt, ihre Anwesenheit im Grundwasser ist jedoch aufgrund ihres meist fäkalen Ursprungs hygienisch bedenklich.

Als Ursache für die **verhältnismäßig hohen Ammonium-Konzentrationen** im Grundwasser ist in erster Linie der jahrzehntelange Rieselfeldbetrieb zu nennen, bei dem große Teile des aufgebrachten Abwassers dem Grundwasser zugeführt werden. Weiterhin erfolgen Belastungen durch die Versickerung von Abwasser in den nichtkanalisierten Gebieten und durch undichte Kanalisationsrohre. Hohe Ammonium-Werte können aber auch unter natürlichen Bedingungen bei sauerstoffarmen Grundwässern, z. B. unter Moorlagen, auftreten, da hier eingebrachtes Ammonium nicht oxidiert werden kann. Insgesamt wird an 123 Meßpunkten der Grenzwert der Trinkwasserverordnung überschritten; dies entspricht rund 45 % der beprobten Meßstellen. Auch der Mittelwert für Ammonium-Stickstoff liegt für das Stadtgebiet mit 1,2 mg/l weit über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Deutlich erkennbar sind die im Vergleich zum Urstromtal wesentlich niedrigeren Ammonium-Gehalte in den Grundwasserproben aus den Hochflächen. Es kann vermutet werden, daß die Deckschichten aus Mergel wesentlich besser in der Lage sind, eingebrachtes Ammonium zurückzuhalten, als die gut durchlässigen Sande.

### Nitrat

Die **erhöhten Nitrat-Gehalte** des Trinkwassers in Teilen der **Bundesrepublik** gaben in den letzten Jahren Anlaß zu öffentlichen Diskussionen. Nitrat gilt in hoher Konzentration als toxisch; es kann im Magen-Darm-Trakt zu Nitrit reduziert werden, das sich dann mit dem Hämoglobin des Blutes verbindet und den Sauerstofftransport im Blutkreislauf einschränkt. Dies führt zu Sauerstoffmangelerscheinungen und besonders bei Säuglingen und Kindern zu Blausucht, die tödlichen Ausgang haben kann. Außerdem können bei der Umsetzung des Nitrats auch Nitrosamine mit krebserregender Wirkung entstehen.

In **Berlin** ist der **Nitrat-Gehalt** des Grundwassers **im allgemeinen niedrig** (Mittelwert bei 8 mg/l). Lediglich an 13 Meßpunkten wurde der Grenzwert der Trinkwasserverordnung überschritten, dies entspricht rund 5 % der beprobten Meßstellen. Diese günstige Ausgangsstellung ist darauf zurückzuführen, daß intensiv bewirtschaftete Landwirtschaftsflächen im Stadtgebiet so gut wie nicht vorhanden sind. Die Landwirtschaft mit ihrem erheblichen Mineraldünger-/Gülleeinsatz gilt als ein Hauptverursacher hoher Nitratbelastungen des Grundwassers. Die Ballung von Grenzwertüberschreitungen im Norden Pankows ist auf die in Betrieb befindlichen bzw. stillgelegten groß­flächigen Abwasserverrieselungsflächen zurückzuführen.

### Sulfat

Die **Sulfat-Gehalte** im Grundwasser liegen im gesamten Stadtgebiet **relativ hoch**. Zwar ist das Grundwasser in Sedimentgesteinen generell sulfatbetont, die hohen Werte in Berlin sind jedoch im wesentlichen künstlichen Ursprungs. Die Ursache ist auf die großflächige Verteilung von Bauschutt – insbesondere Trümmerschutt – im Untergrund zurückzuführen. Bau-/Trümmerschutt enthält sulfathaltigen Gips, der vom Niederschlagswasser ausgewaschen wird. Daher treten im Innenstadtgebiet tendenziell höhere Werte auf als im Außenbereich. Punktuell erhöhte Werte sind darüberhinaus im Einflußbereich von Deponien mit hohem Bauschuttanteil, wie z.B. dem Teufelsberg, zu verzeichnen. 54 Meßpunkte liegen über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung, dies entspricht etwa 20 % der beprobten Meßstellen. Der Durchschnittswert liegt in West-Berlin mit 202 mg/l höher als in Ost-Berlin mit 132 mg/l. Der Mittelwert für die Gesamtstadt beträgt 181 mg/l.

### Chloride

**Chloride** sind toxikologisch unbedenklich, können aber als Maß für eine allgemeine Verunreinigung gelten. Die Chlorid-Gehalte des Berliner Grundwassers sind im allgemeinen **relativ niedrig**. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung wird nur punktuell an 12 Meßstellen überschritten. Generell zeigt die räumliche Verteilung der Chlorid-Gehalte ein ausgeglichenes Bild. Lediglich im Stadtteil Köpenick zeigen sich auffällig hohe Werte, die geologisch bedingt sind. Hier steigt salzhaltiges Grundwasser aus tieferliegenden Schichten zum Teil bis an die Oberfläche auf. Weitere Grenzwertüberschreitungen zeigen sich in der Umgebung von Deponien.

### AOX

Die Anwesenheit von **AOX** (adsorbierbaren halogenierten Kohlenwasserstoffen) im Grundwasser ist immer auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen (Auswirkungen gewerblich-industrieller Nutzungen bzw. Verunreinigungen durch Altlasten). Es zeigt sich, daß bei mehr als der Hälfte der untersuchten Grundwassermeßstellen zum Teil **erhebliche Überschreitungen** des gewählten Bewertungsmaßstabs vorliegen, wobei vor allem in Spandau eine Häufung hoher Werte zu erkennen ist. Gleichzeitig liegen aber auch außerhalb dieser Gebiete Punkte mit erhöhten AOX-Werten vor, was auf lokale Verursacher/Altlasten zurückzuführen ist. An 14 Meßpunkten wurden Werte über 0,1 mg/l, also dem 10fachen Beurteilungsmaßstab, ermittelt.

Eine besondere Problematik ergibt sich für die Gruppe der leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe (LCKW). Diese Stoffe werden neben anderen bei der Bestimmung der AOX mit erfaßt. Wie die Untersuchungen von Brühl et al. (1991) belegen, erweisen sich den Grundwasserleiter überlagernde Geschiebemergel nicht als wirksame Schutzbarriere für diese Stoffgruppe. Vielmehr durchdringen LCKW auch Geschiebemergelüberdeckungen relativ ungehemmt, wobei bei der Migration unter den dort vorherrschenden reduzierenden Bedingungen zum Teil eine Umwandlung dieser Stoffe in noch stärker grundwassergefährdende Abbauprodukte stattfindet.

### Pestizide

Von den im Jahre 1991 auf **Pestizide** untersuchten 31 Grundwasserproben wurden in 16 Proben Pestizide nachgewiesen. Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Einzelsubstanzen wurde an den untersuchten Meßstellen 11 mal überschritten. Der Summengrenzwert, der in der Karte als Beurteilungsmaßstab herangezogen wurde, wurde zweimal überschritten. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser hält schon den bloßen Fund von Pestiziden – unabhängig von der gemessenen Konzentration – für bedenklich.

Die Meßstellen mit den hohen Werten liegen im Bereich des ehemaligen Grenzstreifens. Hier macht sich der jahrelange, sehr hohe Einsatz von Pestiziden zur Freihaltung der Grenzsicherungsanlagen bemerkbar. In Ost-Berlin wurden Pestizide vor allem unter landwirtschaftlich genutzten Gebieten nachgewiesen; allerdings liegen die Konzentrationen in relativ geringen Wertebereichen.

In der Regel wurden Triazine und die entsprechenden Metaboliten, aber auch Lindan und DDT festgestellt. Außerdem wurde in den Ost-Berliner Meßstellen in 10 Proben ein Stoff aus der Gruppe der Phenoxycarbonsäuren gefunden, wobei allerdings nicht sichergestellt ist, daß die Belastung von einer Herbizid-Anwendung stammt.

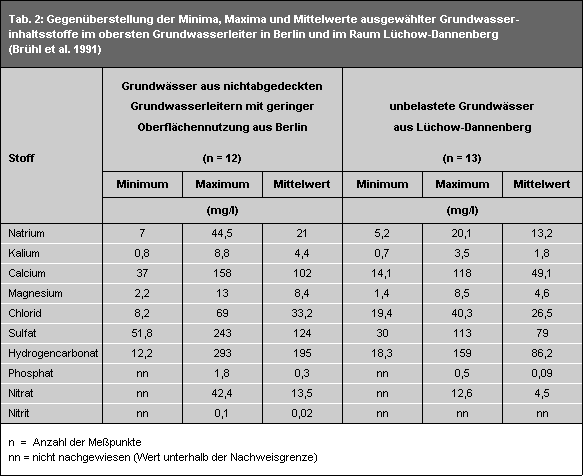
### Cadmium

Weiterhin wurden die Daten in Bezug auf eine Grundwasserbelastung durch **Cadmium** ausgewertet. Cadmium steht aufgrund seines Umweltverhaltens stellvertretend als Indikator für die Belastung des Grundwassers mit Schwermetallen. Es weist eine hohe Akkumulationsrate im Boden auf, wobei aus der Möglichkeit der Remobilisierung und Auswaschung zumindest potentiell ein erhebliches Gefährdungsmoment für das Grundwasser resultiert. Gleichzeitig wirkt Cadmium stark toxisch auf den menschlichen Organismus. Leber, Niere und Knochenmark sind die anfälligsten Organe bzw. Akkumulationspunkte bei chronischer oder akuter Cadmiumexposition, wobei die Cadmiumabsorption größtenteils über den Verdauungstrakt erfolgt.

Auf eine Darstellung in der Karte wurde jedoch verzichtet. Einerseits, weil für Ost-Berlin nur unzureichende Daten verfügbar waren, andererseits ist derzeit in Berlin keine nennenswerte Belastung des Grundwassers mit Cadmium zu registrieren. Lediglich an 14 Meßstellen wurde Cadmium überhaupt nachgewiesen, an den restlichen 165 Meßpunkten ist der Nachweis negativ bzw. unterhalb der Nachweisgrenze.

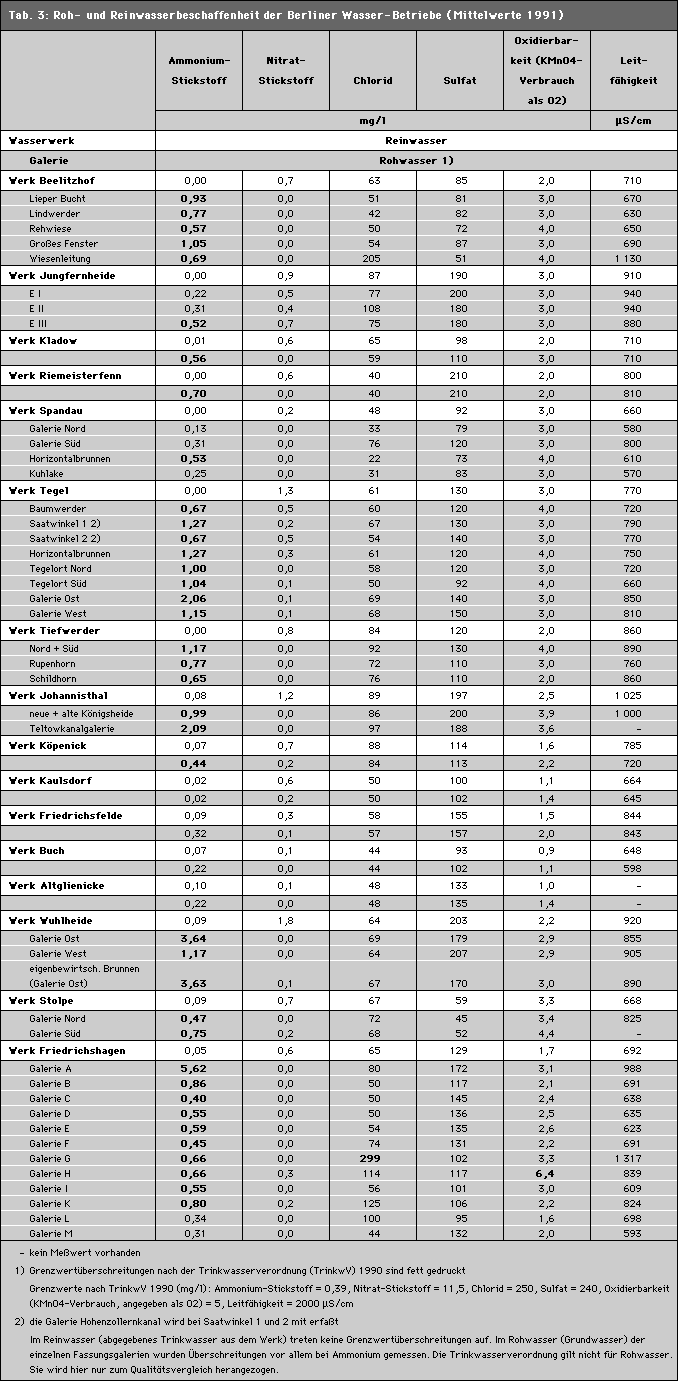
### Gesamtbetrachtung

Insgesamt muß festgestellt werden, daß die gesamte Grundwasserressource im Berliner Raum durch anthropogene Zusatzlasten weit über das geogen bedingte Niveau verändert wurde und merklich belastet ist. Die Gegenüberstellung von Analysen Berliner Grundwässer mit unbelasteten Grundwässern aus einem Referenzgebiet in Lüchow-Dannenberg zeigt, daß die Grundwässer in Lüchow-Dannenberg für die meisten der untersuchten Stoffe sowohl im Mittelwert als auch bei den Maxima deutlich geringere Beträge aufweisen (vgl. Tab. 2).



Tab. 2: Gegenüberstellung der Minima, Maxima und Mittelwerte ausgewählter Grundwasserinhaltsstoffe im obersten Grundwasserleiter in Berlin und im Raum Lüchow-Dannenberg (Brühl et al. 1991)

Besonders die Ammonium- und AOX-Werte sind fast im gesamten Stadtgebiet erhöht und überschreiten die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung bzw. den für Aox gewählten Bewertungsmaßstab. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß Ammonium während der Aufbereitung im Wasserwerk zu Nitrat oxidiert wird. Hierbei wird zwar der Nitrat-Gehalt erhöht, dies ist aber bei den geringen Konzentrationen unbedenklich. Tabelle 3 zeigt diese Veränderung bei der Wasseraufbereitung sowie die Roh- und Reinwasserdaten der Brunnen der Berliner Wasserwerke. Hierbei sind die Werte des aus den Brunnen geförderten Rohwassers jeweils denen des ins Trinkwassernetz eingespeisten Reinwassers gegenübergestellt.



Tab. 3: Roh- und Reinwasserbeschaffenheit der Berliner Wasser-Betriebe (Mittelwerte 1991)

Für AOX ist die Situation kritischer zu beurteilen, da die Stoffe nur mit einem aufwendigen technischen Verfahren aus dem Wasser entfernt werden können. Andere Stoffe, die Hinweise auf industrielle Verunreinigungen des Grundwassers liefern könnten, wie z.B. Arsen, PAK oder Mineralöle, wurden bisher nur punktuell untersucht und können deshalb in einer flächendeckenden Karte nicht dargestellt werden.

## Literatur

[1] Berliner Wasserwerke 1984:

Bericht über das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Entwicklung von Methoden zur Aufrechterhaltung der natürlichen Versickerung von Wasser, unveröffentlicht.

[2] BMUNR/UBA (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / Umweltbundesamt) (Hrsg.) 1992:

Vorläufige Arbeitskarte und Text: Qualität des oberflächennahen Grundwassers, F&E-Vorhaben 109 02 043 “Ökologische Ressourcenplanung Berlin und Umland – Planungsgrundlagen”, unveröffentlicht.

[3] Brühl, H., Brose, F. 1989:

Geochemische Untersuchungen oberflächennaher Lockergesteine und Grundwässer im Stadtgebiet von Berlin (West) unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffverteilungen, 2. Zwischenbericht, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.

[4] Brühl, H., Brose, F., Gallier, A. 1991:

Geochemische Untersuchungen oberflächennaher Lockergesteine und Grundwässer im Stadtgebiet von Berlin (West) unter besonderer Berücksichtigung von Schadstoffverteilungen, Kurzfassung des Forschungsvorhabens, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.

[5] Hässelbarth, U. 1982:

Ohne Trinkwasser keine Stadt, in: Wissenschaftsmagazin der TU-Berlin, 2, Bd.2, Berlin, S. 96-98.

[6] Kannenberg, M. 1992:

Geostatistische Auswertung ausgewählter Grundwasserbeschaffenheitsparameter, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.

[7] Kloos, R. 1986:

Das Grundwasser in Berlin, Hrsg.: Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.

[8] Mattheß, G. 1990:

Die Beschaffenheit des Grundwassers, 2. Auflage, Berlin und Stuttgart.

[9] SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1992:

Gewässerkundlicher Jahresbericht für Berlin und Umland, Abflußjahr 1991, Berlin.

[10] Stan, H.-J. 1990:

Pestiziduntersuchungen im Berliner Grundwasser 1990, Abschlußbericht, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.

[11] Stan, H.-J. 1991:

Pestiziduntersuchungen im Berliner Grundwasser 1991, Abschlußbericht, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.

[12] Voigt, H.-J. 1990:

Hydrogeochemie – eine Einführung in die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hongkong.

### Gesetze

[13] EG-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 15. Juli 1980, Amtsblatt EG Nr. L 229/11.

[14] EG-Richtlinie über die Qualitätsanforderungen an Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung vom 16. Juni 1975, Amtsblatt EG Nr. L 194/34.

[15] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), in der Fassung vom 23. September 1986, GVBl. S. 1606.

[16] Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 5. Dezember 1990, BGBl.I, S. 2612.