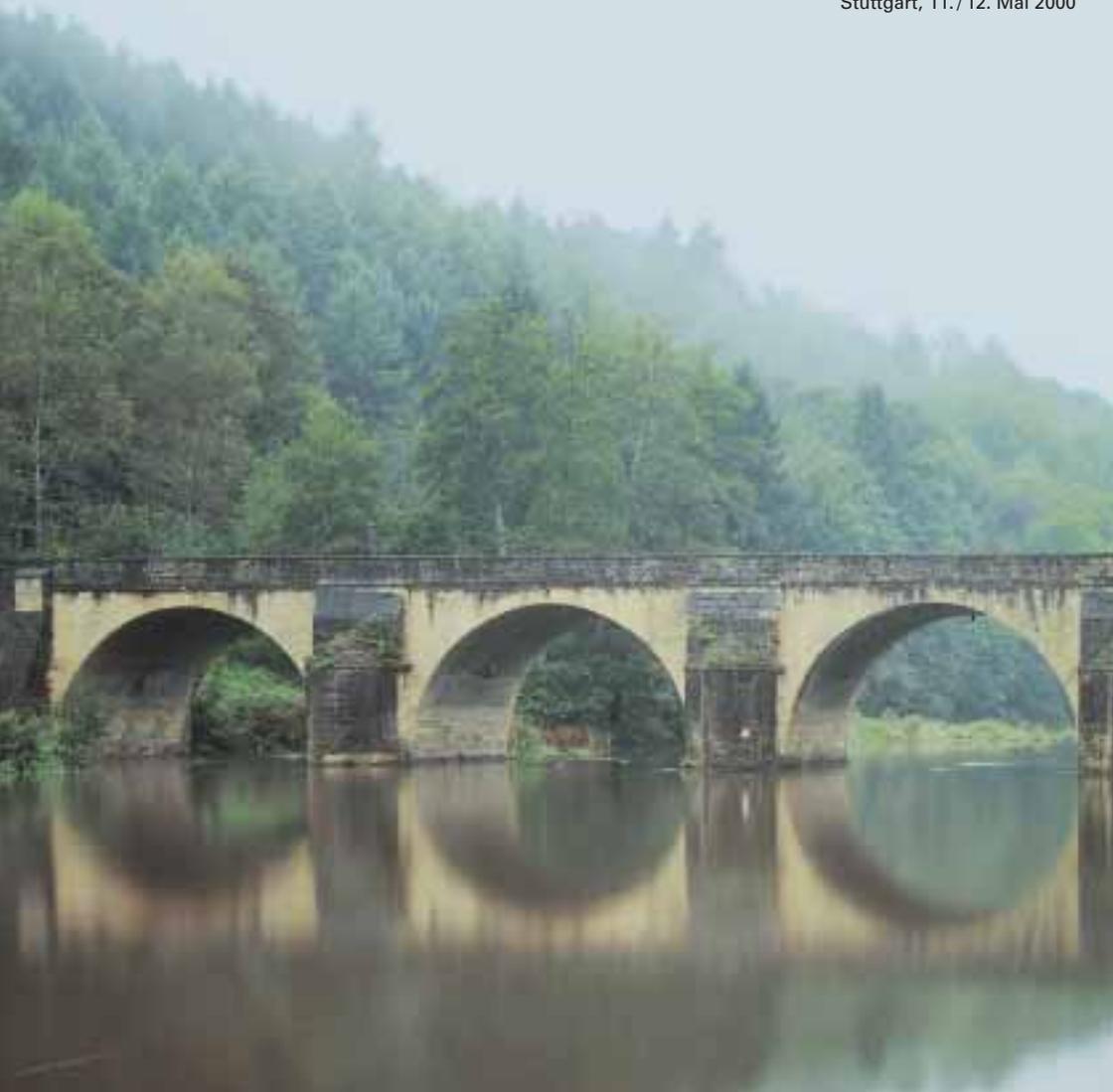


16. Arbeitstagung der IAWR



Die Trinkwasserversorgung auf dem Weg ins 3. Jahrtausend

Internationale Arbeitsgemeinschaft
der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet
Stuttgart, 11./12. Mai 2000



16. Arbeitstagung der IAWR

ISBN 90 70671 25 5

16. Arbeitstagung der IAWR



Die Trinkwasserversorgung auf dem Weg ins 3. Jahrtausend

Internationale Arbeitsgemeinschaft
der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet
Stuttgart, 11./12. Mai 2000

Sekretariat der IAWR

Postfach 57212

NL - 1040 BC Amsterdam

Tel. (0031) 20 - 58 40 660

Fax (0031) 20 - 688 16 41

Inhalt

9 **Begrüßungsansprache**

Oberbürgermeister Dr. Wolfgang Schuster
Landeshauptstadt Stuttgart

17 **Grußwort**

Staatssekretär Dr. Horst Mehrländer
Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg, Stuttgart

23 **Bericht zur Lage der IAWR**

Dipl.-Ing. ETH Max Gutzwiller
Präsident der IAWR, Stadtwerke, St. Gallen

33 **Die EU Wasser-Rahmenrichtlinie:**

Europas Wasserpolitik auf dem Weg ins neue Jahrtausend

Dr. Helmut Blöch, Europäische Kommission
Leiter des Bereiches Gewässerschutz, Brüssel

Festvortrag:

39 **Der Rhein im 21. Jahrhundert - noch mehr Wasser im Winter,
weniger im Spätsommer?**

Prof. Dr. Harmut Graßl
Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

**T h e m a – Liberalisierung in Europa – Auswirkungen auf die Wasserversorgungs-
unternehmen im Rheinstromgebiet?**

47 **Die Situation in der Schweiz**

Dr. Anton Kilchmann, SVGW, Zürich

57 **Die Situation in Deutschland**

Dipl.-Ing. Helmut Haumann, GEW, Köln

63 **Die Situation in den Niederlanden**

Ir. Maarten Gast, WRK, Amsterdam

T h e m a – Aktuelle Fragen des Gewässerschutzes

77 Optimierung des Gewässerschutzes oder Technologische Aufbereitung

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kühn, TZW, Karlsruhe

Mitautor:

Dr.-Ing. Uwe Müller, TZW, Karlsruhe

85 Hochwasserrückhaltung in Trinkwasserschutzgebieten am Rhein

Dr. U. Lang, Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH, Stuttgart

Mitautoren:

Prof. Dr. D. Maier, Stadtwerke Karlsruhe

G. Wendel, Gewässerdirektion nördlicher Oberrhein, Karlsruhe

T h e m a – Aktuelle Erkenntnisse zur Gewässergüte im Rheineinzugsgebiet

107 Untersuchungen zu endokrin wirksamen Stoffen in den Niederlanden

Dr. Walter Jülich, IAWR-RIWA, Amsterdam

125 Endokrin wirksame Stoffe aus Sicht der Industrie

Dr. Hans-Jörg Weideli, Ciba Specialty Chemicals Inc, Basel

131 Arzneimittel im Rheinstromgebiet

Dr. Frank Sacher, TZW, Karlsruhe

Mitautor:

Dr. Heinz-Jürgen Brauch, TZW, Karlsruhe

141 Untersuchungen zur Gentoxizität der Gewässer

Dr. Tamara Grummt, Umweltbundesamt, Forschungsstelle Bad Elster

165 Gentoxizität in Gewässern aus Sicht der chemischen Industrie

Dr. Matthias Andreae, BASF AG, Ludwigshafen

173 Mikrobiologische Belastung der Gewässer: Probleme in Gewässern durch enterale Krankheitserreger

Prof. Dr. Dr. Peter Kimmig, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart



Dr. Schuster
Oberbürgermeister,
Stuttgart

Begrüßungsrede

Hinweise zum Fernwassersystem des Landes Baden-Württemberg sowie zur präventiven Gewässerschutzpolitik

- **So liefert der Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung Wasser bis in den Norden des Landes.**
- **Die Landeswasserversorgung bedient mit Wasser aus dem Donauried, Karstgrundwasser der Egauquelle und aufbereitetem Donauwasser den Verdichtungsraum des mittleren Neckars.**
- **Zentrale Teile des Schwarzwalds erhalten ihr Wasser über den Zweckverband Wasserversorgung Kleine Kinzig aus der gleichnamigen Trinkwassersperre.**
- **Hinzu kommt der Zweckverband Nordostwürttemberg, der mit Wasser der Landes- und der Bodenseewasserversorgung die Mangelgebiete im Nordosten des Landes eindeckt.**

Die 4 Fernwasserversorgungen sind mit einem Anteil von etwa 30% an der öffentlichen Wassergewinnung beteiligt. Ca. 20% entfallen auf ungefähr 200 regionale Gruppenwasserversorgungen. Zur Hälfte sind jedoch die rund 1.000 örtlichen Versorger die solide Basis unserer Wassergewinnung.

Technische Aufbereitung, besonders aber die Maßnahmen zum Trinkwasserschutz gewährleisten die hohe Qualität des Baden-Württemberger Trinkwassers:

- **Seit 1990 wurden die Schutzgebietsflächen von 5.040 km² um mehr als 56% auf 7900 km² erweitert.**
- **Bundesweit beträgt die Gesamtzahl an Trinkwasserschutzgebieten bei einer Gesamtfläche von etwa 42.000 km² knapp 18.000.**
- **Hiervon entfallen heute ca. 15% auf die 2600 Schutzgebiete in Baden-Württemberg, die knapp 19% der bundesrepublikanischen Gesamtfläche ausmachen. Damit liegt unsere präventive Qualitätssicherung über dem Durchschnitt.**

Sehr geehrter Herr Präsident Gutzwiller,
 sehr geehrter Herr Staatssekretär Mehrländer,
 sehr geehrter Herr Dr. Blöch,
 meine Damen, meine Herren!

Gleich in doppelter Funktion begrüße ich Sie heute auf das Herzlichste im Kongress Zentrum Liederhalle der Landeshauptstadt Stuttgart – als Oberbürgermeister und als Verbandsvorsitzender des gastgebenden Unternehmens.

Ich freue mich sehr, Sie in Stuttgart willkommen heißen zu können und hoffe, daß Sie sich in unserer Stadt wohlfühlen. Nehmen Sie bitte nicht nur fachliche Impulse mit nach Hause. Nehmen Sie auch schöne Erinnerungen an Stuttgart im Frühling mit.

Wasser – der kostbarste Rohstoff, die Grundlage jedes Lebens. Dieses Bewußtsein spricht mächtig aus dem Vermächtnis von Pharao Ramses III., der voll stolz in seinem Todesjahr 1155 vor Christus vermerken ließ:

***‘Niemand habe ich die Wasser des Nils zurückgehalten,
 niemals habe ich ihm den Weg verbaut,
 niemals habe ich den Nil verschmutzt’***

Hier blickt ein Herrscher im Bewußtsein seiner Verantwortung und im Bewußtsein der Verpflichtung der ihm Nachfolgenden auf eine zentrale Leistung seiner Regierung zurück: Auf die Erhaltung der wichtigsten Lebensgrundlage seines Volkes.

Ganz aktuell blickten wir mit Betroffenheit in den Südosten Afrikas: Ungewöhnliche Konstellationen von Niederschlagsgebieten verwandelten Kulturlandschaften in Seengebiete. In Ostafrika dagegen leiden Millionen von Äthiopiern unter den Folgen einer jahrelangen Dürreperiode.

Wir sind existentiell abhängig von der Ressource ‘Wasser’. Heute und morgen genauso wie vor 3.000 Jahren, als ein mächtiger Pharao weniger kriegerischen Leistungen als der Sicherung der Wasserversorgung sein Vermächtnis widmete.

Wir müssen mit großer Sorge konstatieren: Die weltweiten, vom Menschen nutzbaren Wasservorräte verknappen sich. Der Gründe sind viele und sicherlich sind, wie die Erdgeschichte zeigt, Klimaveränderungen als Einflußfaktoren jederzeit möglich – ganz unabhängig vom Handeln des Menschen.

Entscheidend, da von den Handelnden beeinflussbar, sind die Faktoren, die der Mensch direkt zu verantworten hat:

- **Abholzung der Wälder**
- **Überweidung und Vernichtung der natürlichen Vegetationsdecke**
- **Ausdehnung landwirtschaftlicher Ausbaufächen mit künstlicher Bewässerung**
- **Verschmutzung**
- **Urbanisierung und Industrialisierung**
- **Sprunghaft weiter steigender Wasserbedarf der Menschen gerade in den potentiellen Mangelgebieten – bedingt durch das Bevölkerungswachstum ebenso wie bezogen auf den Pro-Kopf-Verbrauch.**

Gerade der letztgenannte Aspekt sollte erschrecken: Physiologisch benötigt ein Mensch je nach Klimazone seines Lebensraumes 1 bis 3 Kubikmeter Wasser im Jahr. Tatsächlich verbraucht ein Nordamerikaner statistisch 240 Kubikmeter im Jahr, ein Westeuropäer 100 und ein Afrikaner immerhin 18. Durch die industrielle Produktion steigt der statistische Pro-Kopf-Verbrauch um weitere 7 Kubikmeter im Jahr in Afrika und in Nordamerika gar um weitere 150 Kubikmeter.

Dem steht eine tatsächlich nutzbare und natürlich erneuerbare Wassermenge von durchschnittlich 1.800 Kubikmeter im Jahr pro Kopf gegenüber. Diese Zahl alleine sagt wenig.

Bedenkt man jedoch die regional extrem unterschiedliche Verfügbarkeit der Ressource Wasser und bedenkt ferner ihre saisonal unterschiedliche Nutzbarkeit, so wird deutlich: Schon heute überwiegen auf der Erde die Regionen des Wassermangels. Heute stehen einem Mitteleuropäer noch immerhin 6.000 Kubikmeter Trinkwasser im Jahr potentiell zur Verfügung. Immer mehr Länder können dagegen nur noch auf unter 1.000 Kubikmeter pro Kopf ihrer Bevölkerung zurückgreifen und leiden damit unter akutem Wassermangel.

Für ein Lebewesen – und damit auch für die Spezies Mensch – ist nicht allein die **Quantität** der Ressource Wasser entscheidend. Eigentlich noch wichtiger ist die **Qualität**. Und genau hier sündigt der wirtschaftende Mensch in besonders unverantwortlicher Weise:

Die industrielle und insbesondere auch agrarindustrielle Produktion bringt eine Vielzahl teilweise hochgiftiger Schadstoffe in den Wasserkreislauf ein. Gelangen diese ins Grundwasser, ist die Schädigung nahezu irreversibel.

Die Sorge um die Qualität der Oberflächengewässer hat in den altindustrialisierten Ländern zu konsequenter Abwasserbehandlung geführt. Die Güte der Oberflächengewässer konnte so nachhaltig verbessert werden.

Im Gegenzug dazu nimmt in den Ländern, die sich 'entwickeln', um dieses Probleme verschleiерnde Wort zu gebrauchen, die Verschmutzung explosionsartig zu. Zumeist sind saisonal unterschiedlich wasserführende Oberflächengewässer betroffen, die der direkten Trinkwasserversorgung dienen.

Ich brauche gar nicht den advocatus diaboli spielen, wenn ich mit großer Sorge auf die politischen Folgen dieser Entwicklungen blicke:

Armut, Unterernährung, Krankheit und Tod treffen ja nicht nur individuell. Sie wirken politisch destabilisierend. Der Kampf ums Wasser innerhalb von Staaten wie unter ihnen wird eine Herausforderung an die Weltgemeinschaft werden.

Ganz aktuell zeigt sich die Problematik in den Nahost-Friedensverhandlungen und in den Spannungen des gesamten mittleren Ostens: Der Jordan hat dort eine ähnliche Bedeutung wie der Nil in Ägypten. An den Quellen von Euphrat und Tigris liegt die Türkei. Ihre Staudämme nützen der Fruchtbarkeit Südostanatoliens. Am Mittel- und Unterlauf der Ströme sind Wasserdefizite zumindest saisonal die Folge und Quelle zunehmender Spannungen.

Ich bin mir bewußt, daß die Analyse leichter fällt als die Problemlösung. Die Probleme können nicht weltweit 'von oben' gelöst werden. Allerdings müssen die weltweit handelnden internationalen Organisationen endlich nicht nur abstrakt Problembewußtsein entwickeln, sie müssen in ihren Möglichkeiten auch konkret handeln. Das geschieht bislang nur unzureichend.

Ich bin allerdings überzeugt: Grundstein für ein letztlich weltweit wirksames Umsteuern sind nachhaltige Lösungen auf regionaler Ebene.

Und: Ich teile die Erkenntnis des griechischen Lyrikers Pindar (552 - 446 v. Chr.): **'Wasser ist das wertvollste aller Dinge'**. Sie ist im 3. Jahrtausend aktueller denn je!

Heute spreche ich zu einem großen Kreis von Fachleuten, die Experten sind bei einem gelungen Beispiel regionaler Problemlösung und die sich das Wissen Pindars zur Grundlage ihres Berufs gemacht haben.

Sie, die Sie die Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet und die Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein vertreten, können mit Stolz auf das in über 40 Jahren Erreichte zurückblicken.

Unter der Überschrift 'Feuchtes Kapitel' war am 18. Oktober 1958 in der Stuttgarter Zeitung vom Verfasser des Berichts zu lesen:

**'Mir schmeckt eigentlich der Kaffee schon seit Tagen besser. Ungelogen.
Denn das Wasser, das aus meiner langen Leitung fließt, schmeckt auf einmal ganz anders. Reiner, frischer, weicher, kalkärmer. Hoffentlich wirkt sich's aus.
Mr kanns ja brauche.'**

Was war geschehen? Am 6. Oktober 1958 waren die Anlagen der Bodensee-Wasserversorgung in Betrieb genommen worden.

Das Bewußtsein ist weitgehend verloren, daß unser Land in weiten Gebieten ein Land des Wassermangels und der Armut gewesen war.

Betroffen waren besonders die Karstgebiete der Hohenloher Ebene und der Albhochfläche. Ähnlich wie in heutigen Mangelgebieten stand dort allenfalls Regenwasser zur Verfügung, das in häuslichen Zisternen oder in künstlichen Dorfweihern, den 'Hülen', gesammelt wurde.

Es war Trink-, Wasch- und Löschwasser zugleich. Die Vorräte waren stets knapp und hygienisch bedenklich. Viele Dächer waren noch strohgedeckt und die überlieferte Bezeichnung 'Spatzenschißwasser' beschrieb neben der Gelbfärbung die substanzuelle Beschaffenheit des Trinkwassers. Die Folgen hiervon waren 'Graues Fieber' und 'Auszehrung', an der die Albbewohner noch 1870 reihenweise starben.

Da auf den Karsthochflächen Quellen fehlen und das Karstgrundwasser mehrere Hundert Meter tief liegt, waren auch sogenannte 'Bronnenschmecker' erfolglos. In den niederschlagsarmen Monaten herrschte akuter Wassermangel. Dann mußte Wasser aus den Tälern, oft aus Entfernungen von mehr als 10 km, angefahren werden. Hierbei waren nicht selten Höhenunterschiede von bis zu 200 m zu überwinden.

Dieser Not konnte nur mit einer teuren Fernversorgung, wie Mitte des 19. Jahrhunderts vom damaligen Staatstechniker Karl von Ehmman vorgeschlagen, abgeholfen werden. Die Notwendigkeit zum Anschluß an eine Fremdwasserleitung wurde gewöhnlich vor Ort sorgfältig geprüft – sogar durch König Karl von Württemberg persönlich.

Gleich in der Ortsmitte stieß der König auf die 'Hüle'. Der königlichen Anfrage: 'Wozu teures Fernwasser? Ihr habt doch eigenes', folgte untertänigst aber desto ernüchternd die Begründung: 'Majestät, wegen uns wär's net, aber 's Vieh nimmt's nemme'. Dem Antrag wurde berechtigterweise stattgegeben. Seit dieser Zeit genießt die Trinkwassergewinnung und -versorgung sowie der Trinkwasserschutz bei uns traditionell Priorität auf höchster Ebene.

In Baden-Württemberg sind die Trinkwasservorräte heute wie damals ungleich verteilt. Die zentralen und nordöstlichen Teile sind, hydrogeologisch bedingt, Mangelgebiete. Auch die Großstadt Stuttgart wäre heute nicht in der Lage, ihren Wasserbedarf aus örtlichen Vorkommen zu decken. Dagegen herrscht im oberschwäbischen Süden, dem Schwarzwald im Westen und dem Donauried im Osten Wasserreichtum. Das Fernwassersystem des Landes mit einer Länge von über 1.600 km gleicht diese Unterschiede aus:

Mit den baden-württembergischen Wasserressourcen und den vorhandenen Schutzgebieten kann der landesweite Trinkwasserbedarf qualitativ und quantitativ heute mehr als ausreichend gedeckt werden. Hinzu kommt, daß durch den Verbund der Wasserversorger und das Fernnetz eine ausgezeichnete Versorgungssicherheit gewährleistet ist. Außerdem verfügen wir über separate Einrichtungen und vorbereitete Pläne, mit denen beim Ausfall der Fernwasserzuleitung, z.B. in Katastrophenfällen, vorübergehend eine Notversorgung sichergestellt werden kann.

Fazit ist, unsere Versorgung befindet sich heute auf einem hohen Niveau.

Dies, und das ist die Verpflichtung gegenüber kommenden Generationen, soll jedoch auch im 3. Jahrtausend aufrecht erhalten bleiben. Hierzu muß in die Zukunft geplant werden.

Ausbau und ständige Modernisierung der Infrastruktur auf dem Gewinnungs- und Versorgungssektor sind künftig eine unserer zentralen Herausforderungen. Die Hauptverantwortung hierfür tragen die Wasserversorger. Heute gilt es, technische Neuerungen und modernes Management vorausschauend auf die künftigen Bedarfsansprüche abzustimmen. Ich bin überzeugt: Diese Aufgabe wird ähnlich zuverlässig wie bisher im Verbund der Versorgungsunternehmen gemeistert werden.

Unsere Anstrengungen dürfen sich aber nicht allein auf versorgungstechnische Maßnahmen konzentrieren. Die genutzten Ressourcen sind nicht unerschöpflich. Die Vorräte müssen durch die Mitwirkung aller sparsam und schonend bewirtschaftet werden.

Ein erheblicher Teil des baden-württemberger Wassers stammt aus den Oberflächengewässern des Rhein/Bodenseesystems und der Donau, die an den Grenzen des

Landes liegen. Unsere Nachbarn in Bayern, Österreich und der Schweiz haben gleichermaßen berechnete Ansprüche auf diese Vorräte. Hier sind gemeinsame Anstrengungen zur schonenden Bewirtschaftung, wie anderenorts in der Welt, besonders wichtig. Die Nachhaltigkeit unserer Versorgungslage, wie die der übrigen Anrainer, kann nur im nachbarschaftlichen Konsens gesichert werden. Hierzu bedarf es weiterhin wie bei der heutigen Tagung des kontinuierlichen grenzüberschreitenden Dialogs, nationaler und internationaler Absprachen.

Um die gemeinsamen Anstrengungen wenigstens mit einer Zahl zu quantifizieren: Allein in die Abwasserreinigung sind grenzüberschreitend im Bodenseeraum etwa 8 Milliarden DM geflossen – Anlaß für mich, an dieser Stelle den Regierungen und den zuständigen Behörden in den Bodenseeanrainerstaaten, den beteiligten Landkreisen und Kommunen meinen Dank auszusprechen. Danken möchte ich aber auch Ihnen, die heute der Einladung der veranstaltenden Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet gefolgt sind. Die inzwischen wieder ausgezeichnete Qualität des Bodenseewassers und die dramatisch positiven Qualitätsveränderungen des Rheinwassers sind maßgeblich auch Ihr Verdienst!

Bodensee und Rhein haben heute Modellcharakter für den integrierten Gewässerschutz in Europa. Dessen Aufgaben verändern sich allerdings stetig.

Galt der Kampf zunächst den auffälligen Belastungen, so steht jetzt die mikrobiologische Verunreinigung im Vordergrund. Das ist notwendig. Ich meine aber auch: Die immer feiner werdenden Nachweismethoden erfordern eine offene Beurteilung der Relevanz von Schadstoffkonzentrationen für die menschliche Gesundheit. Wenn keine gesundheitlich bedenklichen Folgen zu befürchten sind, sollten wir den Mut aufbringen, der Öffentlichkeit offen sagen: Diese Schadstoffkonzentration ist unbedenklich!

Schon heute verfolgen wir auch auf der Nutzerseite Konzepte mit ökologisch-ökonomischen Ansätzen. Diese greifen bereits erfolgreich, da sie auf das wachsende Umweltbewußtsein unserer Bevölkerung und unserer Wirtschaft abgestimmt sind.

Allein in der Landeshauptstadt Stuttgart reduzierte sich der Trinkwasserverbrauch von rund 53 Mio. m³ im Jahr 1990 um mehr als 13% auf ca. 46 Mio. m³ im Jahr 1999. Nicht allein in den Haushalten wurde Wasser gespart. Ein Großteil des Erfolgs resultiert aus dem industriellen Minderverbrauch. Hier sind neben umweltorientiertem Management in den Betrieben die Wasser- bzw. Abwasserkosten ein wirksames Regulativ.

Weiteres Einsparpotential bietet die moderne Städteplanung. Sofern die Bauleitplanung frühzeitig eine Regenwasserbevorratung vorsieht, kann der Brauchwasserbedarf direkt aus den Niederschlägen gedeckt und die Trinkwasserressourcen geschont werden.

Ein derartiges Konzept soll beispielsweise im Fall des 8,5 ha großen Areals der ehemaligen Reiterkaserne in Bad Cannstatt umgesetzt werden. Hier sollen neben 400 Wohneinheiten bis zu 60 Gewerbebetriebe neu angesiedelt werden. Ziel ist es, bei dieser Umnutzung pro Quadratmeter Dachfläche bis zu 20 l Zisternenvolumen einzurichten. Mit den gespeicherten Niederschlagsmengen können in einem 4 Personenhaushalt jährlich bis zu 55.000 l Trinkwasser eingespart werden. Im gesamten

Planungsgebiet wird mit einer Entlastung der Trinkwasserressourcen um insgesamt 5 Mio. l im Jahr gerechnet. Es ist zu erwarten, daß analoge Bestrebungen nicht nur in Stuttgart zum künftigen Standard bei der Umwidmung oder Neuausweisung von Siedlungsflächen zählen werden.

Eigentlich verfügt gerade Stuttgart über reiche Wasservorräte im Untergrund. 19 Brunnen und zahlreiche nichtgefaßte Austritte liefern bis zu 500 Sekundenliter.

Das Wasser ist jedoch *'ein Saltzwasser'* schrieb Jakob Frischlin 1580. *'Es frißt Schuch und Häs, waß man drauhs wäschet, so herb ist es'*. Laut exakten Beobachtungen von 1736 *'sterben darin alle Fische augenblicklich, die Frösche aber in einer kleinen Viertelstund'*. Weil der Geschmack *'offenbar der Dinten (Tinte) ähnlich'* und oft voll *'Säure und Räsigkeit'* ist, besonders aber weil es *'einem den Harnisch gewaltig butzen und fegen kann'* ist es für Trinkwasserzwecke völlig ungeeignet: Es handelt sich größtenteils um hochkonzentriertes, kohlenensäurehaltiges Mineralwasser.

Das stark mineralisierte Wasser wurde bereits im Mittelalter *'gut für die Rädigen und Schaebigen'* befunden. Infolge solcher balneologischer Wirkung sind derzeit 11 Fassungen als Heilquelle staatlich anerkannt. Die Heilwässer werden heute in den 3 Stuttgarter Mineralbädern Cannstatt, Leuze und Berg von zahlreichen Besuchern zu Kur- und Badezwecken genutzt. Wir Stuttgarter sind sehr stolz, daß wir infolge des hohen Dargebots über das **zweitgrößte Mineralwasservorkommen in Europa verfügen**.

Noch mehr schätzen wir Stuttgarter aber die Vorteile der Fernversorgung mit Trinkwasser, die Sie sich zur Aufgabe gemacht haben. Verschont sie uns doch, unser Mineralwasser trinken zu müssen. Vielmehr können wir genüßlich darin baden. Zudem muß unser Flüssigkeitsbedarf nicht ausschließlich durch Stuttgarter Wein gedeckt werden, wengleich dieser sehr empfehlenswert ist. Glücklicherweise bleibt nicht zuletzt durch das ausgezeichnete Fernwasserangebot soviel Wein übrig, daß wir ihn verkaufen können. Auch hierfür sind wir sehr dankbar.

In solchermaßen großer Verbundenheit mit Ihren Aufgaben heiße ich Sie in der deutschen *'Mineralwasserhauptstadt'* Stuttgart herzlich willkommen und wünsche Ihrer Arbeitstagung, nicht ganz ohne Eigennutz, einen ergebnisreichen Verlauf!

■



Bilgentöler



Grußwort

Dr. Horst Mehrländer

Der Staatssekretär im Wirtschaftsministerium des Landes
Baden-Württemberg

Anrede,

namens der Landesregierung von Baden-Württemberg darf ich Sie sehr herzlich zu Ihrer Arbeitstagung in Stuttgart begrüßen. Als Staatssekretär im Wirtschaftsministerium bin ich dankbar, zu Ihnen sprechen zu können; beweist die Einladung doch, dass Wasser und Wirtschaft nicht nur über das Wort Wasserwirtschaft eng miteinander verbunden sind.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

der frühere Stuttgarter Oberbürgermeister und Vorsitzende des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung, Manfred Rommel, hat nicht nur humorvolle und tief-sinnige Reden gehalten, er hat auch Tipps zum Schreiben von Reden gegeben. Darin stellt er fest:

'Die Rede hat immer einen Anfang und ein Ende. Was dazwischen liegt, ist nicht so wichtig. Der Anfang ist leicht. Der Redner kann beispielsweise sagen, dass er von der Sache nichts versteht und dies sogleich unter Beweis stellen, was ihn als einen ehrlichen Menschen ausweist.'

So räume ich denn gerne ein, dass Sie alle hier im Saal von der Wasserversorgung mehr verstehen als ich. Nun hat mir Professor Mehlhorn zusammen mit der Bitte um ein Grußwort ein ganz heißes Eisen in die Hände gedrückt: nämlich das Thema **'Liberalisierung der Wasserversorgung'**.

Diese Thema zwingt mich dazu, einen anderen guten Rat von Manfred Rommel zumindest teilweise zu missachten, lehrt er doch:

'Es ist ein ehernes Gesetz richtig verstandener Redekunst, grundsätzlich nur das zu sagen, was der Zuhörer bereits weiß und mit dem er auch übereinstimmt.'

Nun kann ich von diesem – wenn ich so sagen darf: überwiegend öffentlichrechtlichen – Auditorium nicht erwarten, dass Sie mit **meiner** Auffassung von einer Liberalisierung der Wasserversorgung voll übereinstimmen.

Um so wichtiger ist bei diesem Thema der Austausch der Meinungen und Erfahrungen. Als Wirtschaftspolitiker fühle ich mich natürlich vor allem von der ökonomischen Seite des Themas 'Liberalisierung der Wasserversorgung' angesprochen. Ich möchte deshalb in erster Linie auf die Analogie zur Öffnung des Strommarktes, auf Wettbewerbsfragen und auf die Chancen der deutschen Wasserwirtschaft auf dem Weltmarkt eingehen.

Liberalisierung, meine sehr geehrten Damen und Herren, ist ein urdemokratisches Prinzip und keine Vorstufe der Anarchie. Liberalisierung bedeutet nicht, auf staatliche Spielregeln zu verzichten, sondern die Befreiung von Bestimmungen und Vorschriften, die die individuelle Handlungsfreiheit über Gebühr einschränken. Was die Freiheit des Einzelnen einengt, was den Wettbewerb in der Wirtschaft beschränkt, muss deshalb permanent in Frage gestellt werden.

Heute ist es kaum noch nachvollziehbar, dass sich eine Gesellschaft wie die unsere noch vor wenigen Jahrzehnten mit einem, später zwei oder drei öffentlich-rechtlichen Fernsehprogrammen begnügte. Das Ende des Telefonmonopols brachte den Bürgerinnen und Bürgern beachtliche Kostenersparnisse. Dies gilt, fast über Nacht, auch für die Öffnung des Strommarktes. Nun ist Allen offensichtlich, dass der Wettbewerb verschiedener Anbieter kundenfreundlichere Preise bei zumindest gleichem Qualitätsstandard ermöglicht. Mehr Markt bedeutet Rückenwind für die deutsche Wirtschaft insgesamt. Warum dann nicht auch Wettbewerb bei der Wasserversorgung?

Nun sagen manche, Wasser sei mit Strom oder Gas überhaupt nicht zu vergleichen. Wasser sei genauso wenig ein Handelsgut wie Luft. Wasser wird aber längst gehandelt – und zwar zunächst vom Staat. Er hat die geordnete Bewirtschaftung des ober- und unterirdischen Wassers nach Menge und Beschaffenheit im Wasserhaushaltsgesetz geregelt. Über Erlaubnisse und Bewilligungen wird das Wasser zu einem Handelsgut, das die einen pro Kubikmeter, die anderen in kleineren Mengen flaschenweise verkaufen. Einer Liberalisierung des Wassermarktes werden neben rechtlichen vor allem ökologische Gründe entgegengehalten.

Nun hat sich der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen in seinem vor zwei Monaten vorgelegten Umweltgutachten 2000 auch mit den Fragen der Privatisierung und Liberalisierung der Wasserwirtschaft auseinandergesetzt. Der Sachverständigenrat zeigt sich davon überzeugt, dass nur in einem auf Wettbewerb beruhendem System Kostenpotenziale erkannt und genutzt werden können. Er plädiert deshalb für ein privatwirtschaftliches Angebot bei Wasser und Abwasser mit entsprechender Regulierung. Zugleich warnt der Sachverständigenrat davor, ein öffentliches Monopol lediglich durch ein privates zu ersetzen. Da kann ich ihm nur zustimmen. Ohne Wettbewerb macht Privatisierung keinen Sinn. In der Wasserversorgung sind bereits ein Viertel aller Unternehmen privatrechtlich organisiert, ohne dass dies zu Wettbewerb geführt hätte.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,
in der Diskussion über die Liberalisierung der Wasserversorgung nimmt unter den rechtlichen Fragen § 103 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) eine Schlüsselrolle ein.

Er schützte bis 1998 auch die Strom- und Gas-Monopolisten vor unbegrenztem Wettbewerb. Für die Wasserversorgung gilt er weiterhin als Ausnahmeregelung.

Nach dem derzeit geltenden Recht privilegiert § 131 Abs. 8 GWB i.V. m. § 103 a.F. die Wasserversorgungsunternehmen, wettbewerbsbeschränkende Absprachen zu treffen, vor allem über Konzessions- und Demarkationsverträge. Ein Anspruch auf Zugang zu Leitungsnetzen eines anderen Unternehmens besteht übrigens nach § 19 Abs. 4 Nr. 4 GWB unter bestimmten Voraussetzungen bereits heute.

Wenn wir nun die historischen Gründe hinterfragen, warum der Gesetzgeber ausschließliche Wegrechte und eine Aufteilung des Marktes, also einen Gebietsschutz, festgelegt hat, so war man damals der Auffassung, dass eine gesicherte Wasserversorgung zu niedrigen Preisen einen hohen Auslastungsgrad erfordere. Wirtschaftlichkeit sei nur bei kontinuierlichem Absatz möglich, was einen überschaubaren Kundenkreis mit relativ geringen Verbrauchsschwankungen voraussetze.

Nun zeigt uns die Öffnung des Strommarktes, dass die Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit im Wettbewerb besser berücksichtigt werden als bei Monopolen. Sie werden wissen, dass das Bundeswirtschaftsministerium derzeit die Abschaffung des § 103 GWB prüft. Dazu wurde ein Gutachten vergeben, das unter der Prämisse der Sicherstellung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft auf alle derzeit diskutierten Fragen eingehen soll. Wenn das Gutachten nicht zu einem gegenteiligen Votum kommt, sollte der Schritt zur Aufhebung des § 103 (alt) gegangen werden. Schließlich bleiben die geltenden Vorschriften des Gewässerschutzes, der Sicherung der Trinkwasserqualität oder anderen Umweltrechts von einer Aufhebung des Schutzes geschlossener Wasserversorgungsgebiete unberührt. Ein echter Wettbewerb im deutschen Wassermarkt setzt aber nicht nur die Aufhebung des § 103 WGB voraus. Im Rahmen eines Grußworts kann ich auf die vielen gesetzlichen Vorschriften von der verfassungsrechtlich garantieren kommunalen Selbstverwaltung bis hin zum Vorrang der örtlichen Wasserversorgung in den Landeswassergesetzen nicht weiter eingehen.

Eines sollten wir uns in Deutschland aber keinesfalls erlauben:

Nämlich EU-Verordnungen, die ja nicht zuletzt dem freien Wettbewerb in Europa dienen, bei der Umsetzung in nationales Recht noch zu verschärfen.

Die neue EG-Trinkwasser-Richtlinie hat den modernsten und schärfsten Standard der Welt gesetzt. Der Berliner Entwurf zur Änderung der Trinkwasserordnung geht darüber aber noch weit hinaus. Es ist preistreibend und wettbewerbsverzerrend. Aus den gleichen Gründen halte ich auch nichts von einem deutschen Alleingang zur Liberalisierung der Wasserversorgung. Im Binnenmarkt brauchen wir einheitliche verbindliche Vorgaben für alle.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich teile nicht die Auffassung, in Deutschland sei die Liberalisierung der Wasserversorgung bereits voll im Gange. Aber auf dem Wege zum Wettbewerb im Wassermarkt sind immerhin die ersten Schritte zu erkennen. Viele größere Wasserversorgungsunternehmen überprüfen ihre Organisationsstrukturen. Sie versuchen, ihre Wirtschaftlichkeit durch Kooperation und Effizienzsteigerung zu optimieren. In einer Fachzeitschrift für Umwelttechnik wurde dies kürzlich so überschrieben: *'Aufbruchstimmung. Die deutsche Wasserwirtschaft kommt aus den Startlöchern.'* (Zitatende)

Um bei dieser Sprache zu bleiben: ganz unten in den Startlöchern ruhen die kleinen Wasserversorger, die, so der Originalton des Artikels, 'an der Schwelle zur Schwindsucht operieren.'

Allein in Baden-Württemberg gibt es fast eintausend (993) Wasserversorgungsunternehmen. Von den 710 Mio m³ Trinkwasser, die insgesamt gewonnen werden, setzt allein die Bodenseewasserversorgung rd. 18 % um. Lassen wir die drei weiteren Fernwasserversorger und die 160 Gruppenwasserversorger außer Betracht, so decken insgesamt 829 Stadtwerke und Gemeindewasserversorgungen im Durchschnitt (!) gerade den Trinkwasserbedarf von rd. 9000 Einwohnern ab, gewerbliche Abnehmer mitgerechnet.

Ohne die Leistung der örtlichen Wasserversorger schmälern zu wollen: Rationalisierung und Kostensenkung wird bei diesen kleinen Versorgern nur durch Kooperationen oder Zusammenschlüsse untereinander oder mit Zweckverbänden möglich sein. Größere kommunale Wasserversorgungen suchen bereits Synergieeffekte durch Querverbund mit anderen Versorgungseinrichtungen der eigenen oder von Nachbargemeinden.

Von Privatisierung oder gar Liberalisierung kann aber bisher nur in Einzelfällen die Rede sein: so beim Einstieg der französischen Vivendi-Gruppe zusammen mit dem Stromerzeuger RWE und der Allianz bei den Berliner Wasserwerken.

Auch Eurawasser, Tochter von Thyssen und Suez-Lyonnaise des Eaux, ist vor allem in Ostdeutschland erfolgreich aktiv. Der erste Schritt zur Europäisierung des deutschen Wassermarktes ist damit getan. Offensichtlich suchen auch in Deutschland verstärkt die Energieversorger einen Zugang zum Wassermarkt. Die gesamte Versorgung und Entsorgung aus einer Hand anbieten zu können, ist ein strategischer Vorteil vor allem durch die hohe Kunden-Bindung.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

global gesehen ist das Trinkwasserproblem viel größer als das Ernährungsproblem. Kaum ein Drittel der Menschheit kann etwa 16 Mrd. m³ Trinkwasser genießen, die täglich auf der Welt verbraucht werden. Weite Teile der Welt mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser zu versorgen, ist eine humanitäre und eine wirtschaftliche Aufgabe, die nur von technologisch und finanziell leistungsfähigen Unternehmen gelöst werden kann. Aber die Technologie- und Exportnation Deutschland ist dabei, den Weltmarkt der Wasserwirtschaft zu verschlafen. Die beiden französischen Multi-Utility-Konzerne Suez Lyonnaise des Eaux und Générale des Eaux, Tochter des Mischkonzerns Vivendi, halten zusammen bereits einen Anteil von rd. einem Drittel des Weltmarkts. Sie bieten alle Komponenten für komplexe wasserwirtschaftliche Projekte, also Entwicklung, Anlagenfertigung, Engineering, Hoch- und Tiefbau und nicht zuletzt die Finanzierung aus einer Hand.

Deutsche Anlagenbauer und Consulting-Unternehmen sind mit wasserwirtschaftlichen Projekten auf dem Weltmarkt bisher fast nur auf dem Abwassersektor aktiv. Im internationalen Wettbewerb können nur Unternehmen mithalten, deren Größe und Kapitalausstattung es zulässt, hohe Projekt-Vorlaufkosten wegzustecken. Schließlich

kann nicht jeder Anbieter den Auftrag bekommen. Deutschland und gerade auch Baden-Württemberg genießen auf dem Weltmarkt den Ruf, Waren und Dienstleistungen hoher Qualität und Zuverlässigkeit anzubieten.

Auch in Entwicklungsländern sind moderne Technologien ein Wettbewerbsargument, auch wenn High-Tech-Ausrüstung dort nicht immer die beste Lösung darstellt. Im Auslandsgeschäft sind neben einer eigenen Präsenz vor Ort zumeist auch lokale Partner erforderlich. Solche Verbindungen müssen über Jahre aufgebaut werden. Von der Größe, aber auch wegen verschiedener rechtlicher Restriktionen, sind baden-württembergische Unternehmen nicht in der Lage, in das internationale Geschäft einzusteigen. Baden-Württemberg verfügt zwar über eine Reihe hervorragender Komponentenhersteller und Planer, aber nicht über Großanlagenbauer und -betreiber. Unsere Umweltschutzgüterindustrie ist mittelständisch strukturiert mit Betriebsgrößen von durchschnittlich 600 Beschäftigten.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

das Finanzvolumen auf dem globalen Markt rund um das Wasser beträgt jährlich rd. 200 Mrd. \$. Sie werden verstehen, dass ich mir als Wirtschaftspolitiker leistungsstarke deutsche Unternehmen wünsche, die auch auf dem Weltmarkt erfolgreich agieren können. Solche Unternehmen müssen aber auch im eigenen Lande im Wettbewerb stehen und Referenzen vorweisen, wenn sie international Ansehen erlangen wollen.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

bei der Liberalisierung des Energiemarktes ist der Preisrückgang für Großabnehmer und private Haushaltungen ein wichtiges Kriterium. Nun habe ich ganz bewußt nicht darüber geklagt, dass die deutschen Wasserpreise, vor allem auch unter Berücksichtigung der Abwassergebühren, weltweit zu den höchsten zählen. Von der Qualitätsfrage ganz abgesehen, ist ein Kostenvergleich ohnehin irreführend, wenn in anderen Staaten wie in Italien oder in Spanien die Öffentliche Hand die Kosten der Infrastruktur trägt. Auch diese Tatsache spricht für eine europäische Lösung.

Andererseits teile ich nicht die Auffassung derer, die behaupten, der Wasserpreis könne auch bei Wettbewerb kaum sinken, da Unternehmen schließlich Gewinne erzielen wollten. Ich bin davon überzeugt, dass Unternehmen, die Ver- und Entsorgung aus einer Hand anbieten, im Wettbewerb stehen und erfolgreich auf dem Weltmarkt tätig sind, in all ihren Sparten günstige Preise anbieten können. Solche Unternehmen würden sich auch massiv in der wassertechnologischen Forschung engagieren. Am Rande sei noch erwähnt, dass wir in Deutschland die Ausbildung in- und ausländischer Ingenieure und Wasserfachleute massiv vorantreiben müssen. Dabei sind Fremdsprachen und die Kenntnis der unterschiedlichen Gegebenheiten möglichst vor Ort zu vertiefen.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

wenn ich über internationale Aktivitäten rede, darf ich nicht versäumen, Sie alle, die Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR), zu ermutigen, Ihren Zusammenschluß auch als Basis weiteren gemeinsamen Vorgehens Richtung Konkurrenz-fähigkeit auf dem europäischen Markt zu sehen. Analog zu den flußgebietsbezogenen Strukturen, die die EU-Wasserrahmenrichtlinie

propagiert, könnte sich Ihre Arbeitsgemeinschaft zu einem echten europäischen Verbund entwickeln. Das Einzugsgebiet des Rheins ist übrigens auch die räumliche Abgrenzung der 'Internationalen Rhein-Maas-Aktivitäten', kurz IRMA genannt. Im Rahmen eines INTERREG-Programms fördert die EU hier nationale und grenzüberschreitende Projekte, die einen Beitrag zur Reduzierung der Überschwemmungsrisiken leisten. Wasser ist eben Lebenselixier und existenzielle Bedrohung zugleich. Nachhaltiger vorbeugender Hochwasserschutz muß alle Ansprüche den Raum einbeziehen. Deshalb ist in Baden-Württemberg das Wirtschaftsministerium in seiner Zuständigkeit für die Raumordnung und Landesplanung für dieses Programm verantwortlich. Ich denke, wir haben hier im Lande einen kleinen Beitrag dazu leisten können, die Hochwassergefahren für die Unterlieger am Rhein zu reduzieren. Davon dürften auch die dortigen Wasserwerke profitieren. Der vorbeugende Hochwasserschutz ist ein Dauerthema. Wir werden daran weiterarbeiten.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich habe beim Thema 'Liberalisierung der Wasserversorgung' kein Blatt vor den Mund genommen. Als Wirtschaftspolitiker und als Mensch bin ich Optimist. Haben Sie keine Angst vor der Liberalisierung. Wie sagte schon Ernst Jünger:

'Die Hoffnung führt uns weiter als die Furcht'.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.





Bericht zur Lage der IAWR

Dipl.-Ing. ETH Max Gutzwiller

Präsident der IAWR,
Stadtwerke, St. Gallen

Sehr geehrte Damen und Herren!

Traditionsgemäß hat der Präsident zu Beginn jeder Arbeitstagung in seinem Bericht zur Lage über Erfolge, Aktivitäten, neue Erkenntnisse, aber auch über Probleme, ungelöste Fragen oder gar Niederlagen zu berichten. Kurzum: Er hat Bilanz über die vergangenen 3 Jahre Arbeit in der IAWR zu ziehen und natürlich insbesondere über deren Hauptziel, nämlich den Stand der Sanierung der Oberflächengewässer im Rheineinzugsgebiet, Rechenschaft abzulegen.

Nun bin ich kein Freund der eigenen Nabelschau oder vergangenheitsbezogener Rechtfertigungen, weil diese Sichtweise uns bekanntlicherweise nicht viel weiter bringt. Vielmehr erfordert die heutige Zeit die frühzeitige Erkenntnis neuer Tendenzen und Entwicklungen, Ausrichtung auf sich rasch ändernde Rahmenbedingungen und vor allem schnelles und zielgerichtetes Handeln. Ich werde mich deswegen in den mir vorgegebenen 20 Minuten zu einigen Highlights unserer Arbeit, den positiven Aspekten des Gewässerzustand und einigen aktuellen Problemen äußern, um dann einen Blick in eine gemeinsame Zukunft zu wagen. Zukunft ist ja als Motto unserer Tagung angesagt: 'Die Trinkwasserversorgung auf dem Weg ins 3. Jahrtausend'. Also richten wir uns danach aus.

Die IAWR wurde bekanntlich zu einer Zeit gegründet, in der die Verschmutzung des Rheins besorgniserregende Ausmaße erreicht hatte. Das große Fischsterben 1969 im Rhein gereichte damals zum unmittelbaren Anlass, nämlich der Gründung der IAWR. Heute dürfen wir mit großer Genugtuung feststellen, dass die Wassergüte des Rheins und seiner Nebenflüsse wieder so gut ist, dass über 40 Fischarten und eine Vielzahl anderer Lebewesen darin heimisch geworden sind. Diese Botschaft konnten wir ja auch während unserer PR-Aktion, nämlich der Rheinbefahrung von Basel nach Amsterdamm vom 1.-11. Juni 1998, der Öffentlichkeit vermitteln, wobei auch über die Anliegen und Forderungen der Wasserwerke und der IAWR informiert wurde. Ihr war voller Erfolg beschieden, weil die Verdienste der IAWR im Hinblick auf die gute Wasserbeschaffenheit des Rheins glaubhaft vermittelt werden konnten. Es stellt sich

somit auch immer deutlicher die Grundsatzfrage, welche Aufgaben der IAWR in Zukunft zufallen sollen, nachdem sie der eigentlichen Zielsetzung sehr nahe gekommen ist, nämlich dass die Rohwasserbeschaffenheit so gut ist, dass eine Trinkwasseraufbereitung ausschließlich mit natürlichen oder naturnahen Aufbereitungsverfahren auskommt und daher eine Trinkwassergewinnung aus den Gewässern des Rheineinzugsgebiets auf lange Sicht als gesichert gelten darf.

Ich möchte deshalb ein paar charakteristische Aussagen über den heutigen Gewässerzustand machen, um anschließend die zukünftigen Aufgaben und Anforderungen oder Erwartungen, die uns im nächsten Jahrtausend begegnen könnten, zu umreißen.

Die Gewässergüte wird nach Anzahl und Konzentration an Wasserinhaltsstoffen, u.a. durch charakteristische Summenparameter, dargestellt. Maßgabe für die Beurteilung der Gewässergüte sollten dabei die Zielwerte des IAWR Memorandums von 1995 sein. Wie dem Rheinbericht von 96-98 zu entnehmen ist, sind die wichtigsten Nährstoffquellen in den Oberflächengewässern wie Ammonium, Nitrat sowie Orthophosphat weiter am Sinken. Wurde im Bodensee Ende der 80er Jahre noch eine Konzentration von 90 mg pro Kubikmeter gemessen, so ist dieser Wert heute erstmals unter die damals für nicht möglich gehaltene magische Grenze von weniger als 20 mg pro Kubikmeter gesunken. Es steht zu erwarten, dass dieser Wert noch weiter sinken wird. Welcher Zielwert jedoch anzustreben ist, wird noch Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten sein. Im Sinne des Minimierungsgebotes und der langfristigen Senkung der Nährstoffeinträge in die Nordsee ist auf jeden Fall noch eine weitere Konzentrationsabnahme erstrebenswert.

Anders stellt sich die Situation betreffend der Salzbelastung des Rheinwassers, insbesondere mit Chlorid, dar. Wie Sie wissen, ist es unter anderem aufgrund langjähriger Bemühungen der IAWR gelungen, 1991 ein internationales Zusatzabkommen der Rheinanliegerstaaten zu unterzeichnen, mit dem Ziel, die Salzeinleitungen im Elsass zu begrenzen. Hierzu haben die Rheinanliegerstaaten erhebliche Mittel bereitgestellt, um dieses Ziel so kurzfristig wie möglich zu erreichen. Eine Stilllegung wurde damals ebenfalls in Aussicht gestellt. Heute stellen wir zwar fest, dass die Chloridkonzentration im gesamten Rhein deutlich gesunken ist. Am Oberrhein wird sie, gemäß IAWR Zielwert, nur knapp überschritten. Mit großer Besorgnis sehen wir aber, dass die Stilllegung der Kaliminen aus wirtschaftlichen Gründen immer wieder hinausgeschoben wurde und der heute genannte Termin von 2004 nicht gesichert ist. Mit ebenso großer Sorge müssen wir zudem zur Kenntnis nehmen, dass die Salzgewinnung im Elsass zu nachhaltigen Belastungen der Grundwasservorkommen im Oberrheintal geführt hat, wie unsere Fachleute in den letzten Jahren feststellten. Derartige Beeinträchtigungen der Grundwasservorkommen sind für die IAWR nicht akzeptabel und rufen nach gezielten Gegenmaßnahmen. Nach dem Motto: 'Ein Unglück kommt selten allein' ist ebenfalls letztes Jahr bekannt geworden, dass in den stillgelegten Kaliminen Giftmüll eingelagert werden soll. Eine deutsch-französische Arbeitsgruppe der AWBR beschäftigt sich nachhaltig mit diesem Problem und hat veranlasst, dass eine Besichtigung organisiert wird, um sich vor Ort ein Bild von der Situation machen zu können. Einmal mehr kann mit diesem Beispiel gezeigt werden, dass die Überwachungsfunktion der IAWR zur Erhaltung der Gewässergüte einerseits und eine gezielte Abwehr möglicher Gefahrenherde andererseits nach wie vor zu den unabdingbaren Aufgaben gehören muss. Die IAWR wird mit diesem Problem auch an die IKS herantreten, um die politischen Behörden zu informieren und ihre Unter-

stützung zu erwirken, eine weitere Salzeinleitung so rasch wie möglich zu unterbinden und die Einlagerung von Giftmüll zu verhindern.

Bezüglich der Summenparameter wie DOC, AOX und AOS darf festgehalten werden, dass eine weitgehende Einhaltung der IAWR-Qualitätsziele gegeben ist. Im Sinne einer langfristigen Beurteilung der Rohwassergüte wird diesen organischen Messgrößen weiterhin große Bedeutung zukommen. Gleiches gilt auch für die organischen Einzelstoffe wie die leicht flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe, die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe sowie die Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel. Wegen ihrer gesamtheitlichen Bedeutung finden sich die entsprechenden Grenzwerte nicht nur im IAWR Memorandum, sondern auch in der EG Trinkwasserrichtlinie, beziehungsweise wurden sie in die nationalen Trinkwasserverordnungen übernommen. Die langjährige lückenlose Datensammlung belegt, dass auch hier in vielen Fällen eine deutliche Qualitätsverbesserung erreicht werden konnte.

Ein weiteres aktuelles Problem bilden die biologisch nur schwer abbaubaren Komplexbildner EDTA und DTPA. Wie bekannt, konnte mit den Produzenten, Anwendern, Behörden und Wasserwerken eine gemeinsame Zielvereinbarung abgeschlossen werden, nach der die EDTA-Frachten innerhalb 5 Jahren um 50% gesenkt werden sollten. Wir dürfen heute feststellen, dass am Oberrhein eine Verringerung von 30%, am Mittel- und Niederrhein immerhin eine durchschnittliche Reduzierung von 45% erreicht worden ist. Zwar wurde der im IAWR Memorandum geforderte Grenzwert von 5 µg pro Liter in den Jahren 96 bis 98 noch deutlich verfehlt, trotzdem ergibt sich eine positive Bilanz, wenn Verursacher und Betroffene auf freiwilliger Basis den notwendigen Handlungsbedarf erkennen und gemeinsam umsetzen wollen. Es bleibt zu hoffen, dass im Sinne eines integralen grenzüberschreitenden Gewässerschutzes weitere Vereinbarungen dieser Art erfolgen werden. Und die IAWR wird Sorge dafür tragen, dass nicht nur Vereinbarungen getroffen, sondern diese auch vollständig umgesetzt werden.

Eine Bewertung der Wassergüte wäre aber nicht umfassend, würden wir nicht auch die mikrobiologischen Kenngrößen wie Kolonienzahl, Gesamtkoliforme, Fäkalkoliforme mit in die Beurteilung einbeziehen. Die IAWR hat hierzu ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt und in einem arbeitsaufwendigen Prozess ihre Methodik innerhalb ihrer Schwesterverbände vereinheitlicht. Auch wenn die erkennbaren Tendenzen nicht als besorgniserregend interpretiert werden dürfen, ist eine kontinuierliche Überwachung im Sinne der Prävention angezeigt und hat deswegen Eingang in die IAWR Messprogramme gefunden, weil der Mikrobiologie ein immer größerer Stellenwert in der Beurteilung der Wassergüte zukommen wird. In speziellen Forschungsprojekten wird zusätzlich der Frage nach Herkunft und Vorkommen von Parasiten wie Kryptosporidien und Giarden nachgegangen. Besonders interessiert die Frage, wie diese Organismen vollständig in den Aufbereitungsanlagen der Wasserwerke entfernt werden können.

Geben Sie mir noch die Gelegenheit, von 3 wichtigen Geschäften, die uns zur Zeit beschäftigen, zu berichten. Das eine betrifft die Bilgenentwässerung, welche die Verhinderung von Schadstoffeinträgen der Schifffahrt zum Ziel hat. Bisher wurde diese Aufgabe im wesentlichen von den deutschen Partnerwerken und deren Ländern

finanziert. Ein kürzlich von den Rheinministern unterzeichnetes Abkommen sichert künftig die Finanzierung auf einer internationalen Basis, womit die Bilgenentwässerung für das gesamte schiffbare Rheinstromgebiet Gültigkeit erlangt.

Ein anderes Thema bildet der Hochwasserschutz. Nach den beiden Jahrhunderthochwässern zum Jahreswechsel 93/94 und im Januar 95 traten im Frühjahr 1999 wiederum zwei extreme Hochwasserereignisse auf, die zu großen Schäden geführt haben. Aus unserer Sicht dürfen wir feststellen, dass die Trinkwasserversorgung in keinem Moment gefährdet war, u.a. dies auch darum, weil die Wasserwerke ihre Anlagen für solche Ereignisse ausgelegt und finanziert haben. Anlass zur Besorgnis kommt von einer ganz anderen Seite, wenn es darum geht, im Rahmen des integrierten Rheinprogramms die geplanten Trinkwassergewinnungsanlagen in Hochwasser-Retentionsräume zu legen. Neben der Tatsache, dass in Hochwassersituationen zahlreiche Schadstoffe durch Anschwemmung eingetragen werden, kann infolge der Verkürzung der Retentionswege und -zeiten im Untergrund in Nähe der Förderbrunnen über mikrobiologische Verunreinigungen das Rohwasser soweit beeinträchtigt werden, dass die gebotene Sicherheit für die Trinkwassergewinnung nicht mehr gegeben ist. Dementsprechend hat eine Arbeitsgruppe der AWBR mit Unterstützung der entsprechenden Behörden umfangreiche Untersuchungsprojekte gestartet und ist zur Zeit daran, über Modellrechnungen die instationären Grundwasserströmungen zu erforschen, um entsprechende Prognoseberechnungen anzustellen. Ferner hat sich die Arbeitsgruppe zum Ziel gesetzt, die Gefahren für Wasserwerke im Einzugsgebiet der Überflutungsflächen abzuschätzen und entsprechende Gegenmaßnahmen vorzuschlagen.

Sie sehen, meine Damen und Herren, das Thema des integralen Gewässerschutzes ist nach wie vor aktuell und wird uns auch in Zukunft nachhaltig begleiten.

Ein letztes lokales Problem will ich heute zur Sprache bringen. Viele Wasserversorger des Landes Baden-Württemberg befürchten eine massive Verschlechterung des Trinkwasserschutzes, wenn die Neuordnung der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) in jener Weise in Kraft tritt, wie es die bislang bekannt gewordenen Pläne der Landesregierung verheißen. Danach drohen zwei Drittel der Wasserschutzflächen aus den Schutzgebieten der SchALVO herauszufallen. Die 'Folge' nach Ansicht der Wasserversorgungswirtschaft ist: steigende Nitratwerte für mehr als sechs Millionen Verbraucher, die ihr Trinkwasser aus Grundwasservorkommen beziehen. Die Kritik der Wasserversorgungswirtschaft an der geplanten SchALVO-Novellierung richtet sich insbesondere auf folgende Punkte:

- **Die Schutzbestimmungen für belastetes Grundwasser greifen viel zu spät. Der Einstiegswert von 35 mg Nitrat pro Liter Grundwasser (oder 25 mg bei starkem Anstieg), von dem an erst die Schutzbestimmungen wirksam werden sollen, ist viel zu hoch.**
- **Die Annahme des Landwirtschaftsministeriums, das eine nicht definierte 'ordnungsgemäße Landwirtschaft' in den Schutzgebieten durchgängig gewährleistet sei, beschreibt nicht die Wirklichkeit: Nitratanstiege im Grundwasser und in den Böden vieler Gebiete und Verstöße gegen die Schutzbestimmungen sind an der Tagesordnung.**
- **Die Umschichtung des 'Wasserpennings' auf die sogenannten MEKA-Gelder hat nur Alibicharakter. MEKA ist ein reines Unterstützungsprogramm für die Landwirtschaft.**
- **Wichtige Schutzauflagen wie das Umbruchverbot von Dauergrünland (Wiesen) müssen deshalb bleiben.**
- **Das Gülleverbot in engen Schutzzonen darf nicht aufgeweicht werden.**

Die Wasserwirtschaft hat konkrete Forderungen an eine neue SchALVO formuliert, die dem Wasserschutz wirklich dienen können. Dazu gehören Schutzmaßnahmen in einem Stufenprogramm bereits ab 15 Milligramm Nitrat pro Liter im Grundwasser, gezielte und schärfere Auflagen in Problem- und Sanierungsgebieten sowie die Beibehaltung bewährter Auflagen in allen Schutzgebieten, die allerdings durch konsequente Kontrollen auch umgesetzt werden müssen. Wie gut, dass es eine IAWR gibt!

Der Vorstand hat bezeichnenderweise gestern das neu erarbeitete Positionspapier der IAWR verabschiedet. Aus den Erfahrungen der Arbeit der letzten Jahre zieht er folgende Bilanz:

- **Die Forderung, dass die Güte der Oberflächengewässer in Beziehung zu den Anforderungen an die Trinkwasserqualität stehen muss, ist und bleibt unbestritten.**
- **Der Langzeitznachweis der großen antropogenen Umweltbelastungen aus Industrie, Landwirtschaft und den Agglomerationen ist weiterhin von großer Wichtigkeit, um damit den sachlichen Dialog und den notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten und sicherzustellen.**
- **Die IAWR ist aufgrund ihres breiten Fachwissens und ihrer wissenschaftlich abgesicherten Aussagen als verantwortungsbewusste Organisation im politischen Umfeld verpflichtet, ihre Kenntnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Dies kann geschehen durch Veröffentlichung der Güteanforderungen, Diskussionen von wissenschaftlichen Beiträgen und der Veröffentlichung der Jahresberichte und Fachbeiträge. Zwar steht fest, dass die formulierte Zielsetzung 'einer sicheren Trinkwassergewinnung mit ausschließlich natürlichen Aufbereitungsverfahren' bis heute noch nicht realisiert werden konnte, aber nichtsdestotrotz dürfen wir feststellen, dass die eingesetzten Mittel, nämlich eigene Messnetze, Forschungsprojekte, fundiertes Fachwissen und die Veröffentlichung unserer Forschungsergebnisse das Mittel der Wahl sind und auch in Zukunft sein werden. Und dass die Arbeit und die Bemühungen in Industrie, Landwirtschaft, Behörden und Politik Anerkennung gefunden haben, zeigt sich darin, dass unsere Untersuchungsergebnisse, Berichte, Schlussfolgerungen und Know-how in der Branche wie in der Öffentlichkeit als Anlass zur Diskussion, Denkanstöße und Wegleitung dienen können. Nach wie vor bleibt aber die Wächterfunktion eine wichtige Aufgabe auch für die Zukunft. Es gilt nicht nur, das Erreichte zu bewahren, sondern insbesondere auch neue Aufgabenbereiche aufzugreifen.**

Der Zeitpunkt ist für den Präsidenten gekommen, seinen Blick in die Zukunft zu richten:

Zunächst ein paar Worte zur EG-Trinkwasserrichtlinie. Bekanntlich wurde die Trinkwasserrichtlinie am 25.12.98 (welch schönes Weihnachtsgeschenk) in Kraft gesetzt. Sie ist binnen 2 Jahren in nationales Recht umzusetzen, aber spätestens bis Ende des Jahres auszuführen. In Deutschland wird dies über die Novellierung der Trinkwasserverordnung geschehen. Ein erster Referentenentwurf wurde vorgelegt, der Gegenstand einer Vernehmlassung der Verbände und der Länder bis Ende März dieses Jahres war. Die Ergebnisse werden in den neuen Entwurf eingearbeitet, und es darf wohl noch vor der Sommerpause damit gerechnet werden, dass das parlamentarische Verfahren eröffnet wird.

Die Wasserrahmenrichtlinie darf nicht mit der EG-Trinkwasserrichtlinie vermischt werden. Erfreulicherweise wurde die Einteilung der Grenzwertliste aus der EG-Trinkwasserrichtlinie in die Trinkwasserversorgung übernommen und diese damit fachlich klarer strukturiert. Demnach ist nun zwischen den mikrobiologischen, chemischen und

neuerdings sogenannten Indikatorparametern zu unterscheiden. Gerade die Einführung der Indikatorparameter stellt eine deutliche Verbesserung dar, weil Nichterhaltung eines Indikatorparameters lediglich als Hinweis gelten soll, dass mit der entsprechenden Wasserversorgung etwas nicht in Ordnung ist, aber das Trinkwasser weiter an den Verbraucher geliefert werden kann.

Weiter verdienen die besonderen Pflichten der Wasserversorgungsunternehmen zur Sicherung der Trinkqualität Erwähnung, indem der Verordnungsentwurf vorsieht, dass, wenn Befürchtungen für nachteilige mikrobiologische Belastungen des Rohwassers nicht ausgeschlossen werden können, das Wasser aufbereitet werden muss. Eine so weit gefasste Formulierung würde bedeuten, dass viele Wasserwerke, welche derzeit nur geringe oder sporadische Rohwasserbelastungen mit Chlor in den Griff bekommen, eine Aufbereitung nachrüsten müssten, was mit enormen Kosten verbunden wäre. In die gleiche Richtung zielt der Vorschlag, dass Wasserversorgungsunternehmen in Rohrnetzen, in denen eine Infektionsgefährdung nicht ausgeschlossen werden kann, eine hinreichende Desinfektionskapazität von Chlor oder Chlordioxid vorhalten müssen. Auch diese Forderung scheint in der Praxis wenig Sinn zu ergeben.

Zusammenfassend bringt der Neuentwurf der Trinkwasserversorgung in vielen Bereichen eine reine Umsetzung der seit 1998 gültigen EG-Trinkwasserrichtlinie. Jedoch wurden einige Verschärfungen vorgenommen, deren Zusatzkosten klar ausgewiesen werden müssen. Ich denke, hier kommt auf die IAWR als internationale Organisation mit ihrem breiten Fachwissen und ihrer praktischen Erfahrung eine neue und wichtige Aufgabe zu, diese Punkte aufzugreifen und kritisch zu durchleuchten.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich noch eine weitere EG-Richtlinie ansprechen, welche in den kommenden Jahren noch sehr große Bedeutung für die Arbeit der IAWR haben wird. Ich meine die schon erwähnte EG-Wasserrahmenrichtlinie. Diese steht nun unmittelbar vor der Vollendung, auch wenn zwischen dem Ministerrat bzw. der EU-Kommission einerseits und dem europäischen Parlament andererseits doch noch erhebliche Meinungsunterschiede bestehen.

Der Grundsatz, die vielen heute existierenden Richtlinien auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft und damit auch des Gewässerschutzes zu harmonisieren, kann nur begrüßt werden. Ebenso findet die Festlegung, sowohl für die Oberflächengewässer einschließlich der Küstengewässer einen guten ökologischen und chemischen Zustand erreichen zu wollen, sicher auch die generelle Zustimmung der IAWR. Gleiches soll auch für das Grundwasser gelten. Wo wir noch gewisse Zweifel haben, ist die Frage, ob es tatsächlich gelingt, diese Begriffe auch europaweit mit Leben zu füllen und einen europaweit harmonisierten Gewässerschutz zu erreichen. Ebenso findet der integrierende Ansatz, nicht jede Maßnahme allein zu sehen, sondern im Gesamtzusammenhang, unseren Beifall. Auch können wir den Ansatz, Maßnahmenpläne flussgebietsorientiert aufzustellen, nur unterstützen. Meine Damen und Herren, das nämlich macht die IAWR schon seit etwa 30 Jahren:

Flussgebietsorientierten Gewässerschutz! Wir sind also der Diskussion in der EU um immerhin dreißig Jahre voraus.

Die IAWR als eine Organisation mit Wasserversorgungsunternehmen aus insgesamt sieben europäischen Staaten, von denen leider ausgerechnet mein Heimatland nicht

zur EU gehört, ist somit geradezu prädestiniert dafür, die Wasserrichtlinie effektiv zu begleiten. Das Know-how und die kollegiale Diskussion unter den Wasserversorgungsunternehmen aus den verschiedenen europäischen Ländern ermöglicht der IAWR einen wichtigen Input zur europaweiten Diskussion um die Wasserrahmenrichtlinie. Nutzen wir also unsere Chance und erheben wir unsere Stimme!

Auch beim Vollzug der Wasserrahmenrichtlinien kommt der IAWR eine herausragende Bedeutung zu. Gemeinsam mit den Gewässerschutzkommissionen IKSR und IGKB sind unsere Organisationen flussgebietsorientiert, so dass wir so, wie wir sind, auf die neu entstehenden Strukturen des Flussgebietsmanagements 'aufspringen' können. Allerdings dürfen wir uns dann nicht nur um den Rhein als Hauptgewässer kümmern – dies haben wir ja noch nie gemacht – sondern verstärkt auch um die Begleitgewässer und die Grundwasservorkommen im Einzugsgebiet. Meine Damen und Herren, in der AWBR haben wir auf diese Entwicklung mit der Gründung des 'Arbeitskreises Oberrhein', der sich verstärkt auch um Fragen des Grundwasserschutzes in der Oberrheinebene kümmert, bereits reagiert.

Sicher wird uns in den nächsten Jahren das Thema Liberalisierung begegnen und je länger je mehr beschäftigen. Die Liberalisierung der Elektrizitäts- und Erdgasmärkte ist ja in Europa schon sehr weit fortgeschritten. Unter anderem deswegen, weil die Liberalisierung einer ganzen Wirtschaftsbranche nicht als steuerbarer Prozess vollzogen werden kann, sondern eigendynamisch abläuft und wie eine Lawine über die Unternehmen hereingebrochen ist. Auch wenn wir uns dieses Szenario in der Wasserversorgungswirtschaft bezüglich Auswirkung und Nachhaltigkeit vielleicht heute noch nicht vorstellen können, so wird die Liberalisierung in der Wasserwirtschaft Einzug halten. Warum soll denn das Lebensmittel Trinkwasser – so sieht es jedenfalls der schweizerische Gesetzgeber – anders behandelt werden, als irgendein anderes Lebensmittel, das heute auf dem freien Markt erhältlich ist? Wir kennen den Grund: Trinkwasser kann man nicht auswechseln und Trinkwasserversorgung kann man nicht aus den Regalen nehmen wie andere Lebensmittel. Unter dem Begriff Liberalisierung wird ja meistens die Durchleitung fremder Produkte durch bestehende Netze verstanden, womit eigentlich erst eine Konkurrenzsituation für den Kunden herbeigeführt werden kann. Für die Wasserversorger dürfte die Durchleitungsfrage aber vorläufig nicht im Vordergrund stehen. Schon deswegen, weil europaweit die Wassernetze noch gar nicht vernetzt sind und eine Vielzahl technischer Fragen, die in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielen, noch geklärt werden müssen. Unter anderem geht es um Fragen wie

- **korrosionschemische Vermischung unterschiedlicher Wässer**
- **Fragen der Qualitätsgarantie des durchzuleitenden Wassers**
- **oder wasserrechtliche Fragen bei der Entnahme von Wasser mit dem Zweck des freien Wasserhandels.**

Diese Fragen werden unsere Fachleute beschäftigen. Ich glaube aber, dass wasserfachliche Vereinigungen, also auch die IAWR, sich zu diesen Fragen öffentlich positionieren sollten, und zwar nicht reaktiv, sondern aktiv. Aus meiner Sicht ergeben sich folgende Themenkreise, die einer baldigen Bearbeitung bedürfen:

- **Die Liberalisierung des Wassermarktes darf nicht dazu führen, dass nur der Wasser-**

preis zum zentralen Diskussionsthema wird. Wenn man in EU-Kreisen von 'Strom als Comodity Product' spricht, so sollten wir hier nicht vergessen, dass das Trinkwasser in direkter Relation zum höchsten Gut, der Gesundheit, steht. Deswegen ist das hohe Maß an Versorgungssicherheit und die Trinkwasserqualität eine 'conditio sine qua non', die nicht ausschließlich wirtschaftlichen Zielen geopfert werden darf.

- Im Hinblick auf die Daseinsvorsorge muss dafür gesorgt werden, dass Trinkwasser nicht zum Objekt von Machtpositionen und damit von nicht mehr beherrschbaren Monopolen oder Oligopolen verkommt. Eine effiziente und ausreichende Kontrolle der öffentlichen Hand wird auch in Zukunft notwendig sein. Gerade hier bietet sich der IAWR und ihren Schwesterverbänden eine große Chance, indem wir Lösungsvorschläge struktureller Natur wie auch zur Sache anbieten und vorexerzieren können.

Ich denke dabei vor allem an folgende 3 Punkte:

- Wir müssen nicht nur den Nutzen unseres Handelns für die Unternehmen, sondern auch den Nutzen eines integralen Gewässerschutzes mehr herausarbeiten. Gerade dadurch, dass wir die Rohwasservorkommen nachhaltig schützen, leisten wir einen wesentlichen Anteil daran, dass unsere Wasserversorgungsunternehmen nicht als Reparaturbetriebe der Natur das Trinkwasser produzieren, sondern zu kostengünstigen und damit zu marktkonformen Bedingungen Trinkwasser aufbereiten und verteilen können.
- Seit etwa 30 Jahren arbeiten unsere Mitgliedswerke mit viel Engagement und Erfolg immer enger zusammen. Sozusagen als Nebenprodukt ergibt sich ein Beziehungsnetzwerk, und dieses ist ja nach Meinung der Fachleute das größte Kapital in einem Liberalisierungsprozess, das es zu nutzen gilt. Obwohl die bisherige Kernaufgabe, nämlich der Gewässerschutz, bleibt, bietet sich die Chance, gemeinsam am internationalen Markt mit Produkten, neuen Dienstleistungen und dem unbezahlbaren Fachwissen eine uns zustehende Position in der europäischen Wasserwirtschaft aufzubauen. Wenn wir uns vergegenwärtigen, welche Bedeutung eine Marke wie Yellow im internationalen Strommarkt erlangt hat, dann sollten wir uns nicht scheuen, die Marke IAWR so weit zu entwickeln und positionieren, dass uns eine vergleichbare Position in Zukunft beschieden sein könnte. Engagieren wir uns also mit dem gleichen Pioniergeist, mit dem wir vor 30 Jahren den Gewässerschutz aufgegriffen haben.
- Unsere Arbeitsgemeinschaft sollte durchaus in der Lage sein, miteinander gemeinsame Strategien zu entwickeln, um Aufgaben, die wir als Einzelunternehmen nicht mehr lösen können, zusammenzulegen und zum Nutzen aller Mitgliedswerke gemeinsam umzusetzen. Die Bürger und Bürgerinnen werden auch in Zukunft bereit sein, denjenigen Wasserpreis an unsere Unternehmen zu zahlen, der notwendig ist, um die Qualität und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Sie werden aber nicht bereit sein, mehr zu zahlen, wenn betriebswirtschaftliche und strukturelle Möglichkeiten unsererseits nicht aufgegriffen und umgesetzt werden, um einen kostengünstigen marktfähigen Abgabepreis realisieren zu können. In diesem Sinne haben sich die Endverteilunternehmen der deutschsprachigen Schweiz zur Swiss Citypower zusammengeschlossen, um in diesem Sinne ihre Kunden optimal bedienen zu können. Obwohl diese Vision noch recht nebulös wirkt und sicherlich konkretisiert werden muss, geben die bisherigen Markterfolge dieser Strategie Recht.

Diese Chance sollten wir nicht verpassen, weil ich glaube, dass wir diese auf internationaler Ebene in unserem Verband auch schaffen könnten.

Lassen Sie mich abschließen mit einem Blick auf unsere Arbeitstagung und damit in unsere gemeinsame Zukunft. Den ersten Block bildet das Thema Liberalisierung in Europa. Es geht darum, den Entwicklungsstand in den einzelnen Mitgliedsländern aufzuzeigen und innerhalb der Arbeitsgemeinschaft das Nötige zu veranlassen. Die beiden nachfolgenden Beiträge sollen aufzeigen, dass nach wie vor die Wächterfunktion der IAWR gefragt sein wird, wenn es darum geht, die heutige Rohwassergüte zu erhalten und im Sinne der langfristigen Vorsorge nach wie vor diejenigen Maßnahmen umzusetzen, die einem integralen Gewässerschutz dienlich sein können. Morgen werden wir uns dann dem Thema der Gewässergüte im Rheineinzugsgebiet zuwenden. Fachleute aus den eigenen Reihen wie aus Industrie und Wissenschaft werden hierzu ihre neuesten Forschungsergebnisse darlegen und wo möglich auch aufzeigen, wohin die Reise in Zukunft gehen wird.

Meine Damen und Herren, wir haben uns alle Mühe gegeben, Ihnen einen interessanten Querschnitt aus unserer Tätigkeit aufzuzeigen. Ich bin überzeugt, dass alle Anwesenden nicht umsonst nach Stuttgart gereist sind, wenn es um die uns alle berührende Frage geht: Wohin geht die Reise unserer Trinkwasserversorgung auf dem Weg ins 3. Jahrtausend?

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

■





Dr. Helmut Blöch
Europäische Kommission,
Brüssel

Die EU Wasser-Rahmenrichtlinie:

Europas Wasserpolitik
auf dem Weg ins neue Jahrtausend

Überblick

Die Europäische Union steht vor der vollständigen Neuausrichtung ihrer Wasser- und Gewässerschutzpolitik. Der Vorschlag der Europäischen Kommission für eine Wasser-Rahmenrichtlinie wird derzeit von Europäischem Parlament und Ministerrat beraten. Eine endgültige Verabschiedung wird für Mitte 2000 erwartet. Hauptziele der neuen EU Wasser-Rahmenrichtlinie werden sein:

- **Ausdehnung des Gewässerschutzes auf alle Gewässer**
- **Erreichung/Erhaltung eines 'guten Zustandes' bis zu einem festgesetzten Zeitpunkt**
- **Wasserwirtschaft auf Grundlage von Flußeinzugsgebieten**
- **Emissions- und Immissionskriterien**
- **Preise für Wasser, die den sorgsam Umgang mit Wasser fördern**
- **engere Einbindung der Bürger in Planungs- und Entscheidungsprozesse**
- **Straffung der Gesetzgebung**

Kurzer Rückblick und Bestandsaufnahme

Frühe europäische Wassergesetzgebung begann, in einer 'ersten Welle', in den 70er Jahren. Sie war weitgehend auf nutzungsspezifischen Gewässerschutz orientiert – also Gewässer für Trinkwasserentnahme¹, Badegewässer², Fisch³- und Muschelgewässer⁴. Dazu erforderte Umweltgesetzgebung damals im Ministerrat noch Einstimmigkeit. Die weitreichendste Regelung was absehbar 1980 die Trinkwasser-Richtlinie⁵ mit verbindlichen Qualitätszielen für unser Trinkwasser.

Wesentliche Dynamik ergab sich nach Aufnahme des Umweltschutzes als Ziel in den EG-Vertrag, und der Einführung von Mehrheitsentscheidungen im Ministerrat in den 80er Jahren. Daraus ergab sich die 'zweite Welle' von Wassergesetzgebung, deren erste Ergebnisse im Jahre 1991 waren:

- **die Richtlinie kommunale Abwasserbehandlung⁶, die Zweitbehandlung – also**

biologische Abwasserbehandlung – vorsieht, und noch weitergehende Reinigung, wo dies notwendig ist;

- **die Nitrat-Richtlinie⁷, welche die Gewässerverschmutzung aus der Landwirtschaft anspricht.**

Andere Ergebnisse dieser Entwicklungen waren Vorschläge der Kommission für:

- **eine neue Trinkwasser-Richtlinie; dabei wurden die Qualitätsziele überprüft und wo erforderlich verschärft (beschlossen November 1998)⁸;**
- **eine Richtlinie für die integrierte Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen⁹ (IPC Directive oder IVU-Richtlinie); sie wurde 1996 angenommen.**
- **Schließlich wurden im Jahre 1991 Regelungen für die Zulassung und den Einsatz von Pestiziden verabschiedet und 1998 präzisiert.**

Mehr Schutz für Europas Gewässer, mehr Beteiligung für den Bürger: die neue europäische Wasserpolitik

Mitte 1995 einigten sich Europäische Kommission, Europäisches Parlament und Rat über die Notwendigkeit eines grundlegendes Überdenkens der gemeinschaftlichen Wasserpolitik.

Während europäische Maßnahmen wie die Trinkwasser-Richtlinie und die Richtlinie kommunale Abwasserbehandlung mit vollem Recht als Meilensteine betrachtet werden können, hatte die europäische Wasserpolitik einen umfassenderen Gewässerschutz sicherzustellen und dabei das zunehmende Bewußtsein der Bürger und anderer beteiligter Gruppen an ihren Gewässern anzusprechen. Dies ist der Grund, warum die neue europäische Wasserpolitik in einem offenen Konsultationsprozeß entwickelt wurde, unter Einbeziehung aller interessierten Parteien.

Als ersten Schritt veröffentlichte die Kommission im Februar 1996 ihre 'Mitteilung zur Europäischen Wasserpolitik'¹⁰. Diese Mitteilung war formell an Rat und Europäisches Parlament gerichtet, gleichzeitig waren aber alle interessierten Gruppen – wie örtliche und regionale Behörden, Wassernutzer und Nichtregierungsorganisationen (NROs) zur Stellungnahme eingeladen. Zahlreiche Organisationen und Einzelpersonen antworteten schriftlich, wobei die meisten Kommentare das Grundsatzpapier der Kommission begrüßten.

Als Höhepunkt dieses offenen Prozesses veranstaltete die Kommission im Mai 1996 eine zweitägige Wasserkonferenz. An dieser Konferenz nahmen etwa 250 Delegierte teil, einschließlich Vertretern von Mitgliedstaaten, regionaler und örtlicher Behörden, Vollziehungsbehörden, Wasserversorger, Industrie, Landwirtschaft, und – last but not least – Konsumenten- und Umweltschutzorganisationen.

Nach dieser weitreichenden Konsultation der interessierten Gruppen, einschließlich der Wasserkonferenz von Brüssel, präsentierte die Kommission ihren Vorschlag für eine Wasser-Rahmenrichtlinie, mit den folgenden Hauptzielen:

- **Ausdehnung des Gewässerschutzes auf alle Gewässer, mit dem Ziel der Erreichung eines 'guten Zustandes'**

- **stärkere Einbindung der Bürger**
- **Bewirtschaftung der Gewässer auf Grundlage von Flußgebieten**
- **'kombinierter Ansatz' von Emissionsgrenzwerten und Immissionszielen**
- **Preise für Wasser, die den sorgsamen Umgang mit Wasser fördern**
- **Straffung der Gesetzgebung**

Ausdehnung des Gewässerschutzes

Alle Gewässer Europas werden dem Schutz nach der Wasser-Rahmenrichtlinie unterliegen, Grundwasser und Oberflächengewässer (derzeit ist nach europäischem Recht nur eine beschränkte Anzahl von Gewässern geschützt; vgl. Abschnitt 'Kurzer Rückblick und Bestandsaufnahme').

'Guter Zustand' für alle Gewässer innerhalb festgelegter Zeiträume

Nach der Richtlinie werden die Mitgliedstaaten sicherzustellen haben, daß ein 'guter Zustand' innerhalb eines bestimmten Zeitraumes erreicht bzw. erhalten wird.

Für Grundwasser wird dieser gute Zustand sowohl als Quantität wie als chemische Reinheit definiert, für Oberflächengewässer ist die ökologische Qualität das wesentliche Kriterium. Die Mitgliedstaaten müssen Programme für eine systematische Überwachung der Qualität und Quantität ihrer Grundwässer und Oberflächengewässer ausarbeiten.

Einbindung der Bürger

Bei der Verbesserung der Gewässergüte wird die Rolle von Bürgern und Bürgergruppen ganz wesentlich sein. Die Sorge um Europas Gewässer wird mehr Beitrag von Bürgern, interessierten Gruppen und Nichtregierungsorganisationen (NROs) erfordern. Für dieses Ziel wird die Wasser-Rahmenrichtlinie Information und Konsultation fordern, wenn die Bewirtschaftungspläne für die Flußgebiete ausgearbeitet werden. Weiters die Europäische Kommission alle zwei Jahre eine Konferenz veranstalten, um einen regelmäßigen Gedanken- und Erfahrungsaustausch über den Schutz europäischer Gewässer sicherzustellen. Ebenfalls vorgesehen ist die Einrichtung eines Netzwerkes für den Austausch von Information und Erfahrung zwischen Wasserexperten aus der ganzen Gemeinschaft.

Wasserwirtschaft auf Grundlage von Flußgebieten

Gewässer halten sich nicht an Verwaltungsgrenzen. Darum wird die Wasser-Rahmenrichtlinie, gestützt auf Erfahrungen aus verschiedenen Regionen Europas, das Ziel einer Gewässerbewirtschaftung auf Grundlage von Flußeinzugsgebieten setzen, weil diese Einzugsgebiete die natürliche geographische und hydrologische Einheit sind. Gleichzeitig wird aber nicht in die Verwaltungsstrukturen der Mitgliedstaaten eingegriffen; sie können entscheiden, mit welchen Strukturen sie die Ziele erreichen. Regionen und Flußgebiete wie jene an Rhein und Bodensee haben als positive Beispiele für diesen Ansatz in der Wasserwirtschaft gedient, mit ihrer Zusammenarbeit und ihrer gemeinsamen Setzung von Zielen über die Grenzen von Mitgliedstaaten hinaus, und sogar über die Mitgliedstaaten der EU hinaus.

Maßnahmenprogramme, 'kombinierter Ansatz'

Im Mittelpunkt jedes Flußgebietsplanes steht die Verpflichtung der Mitgliedstaaten, ein Maßnahmenprogramm auszuarbeiten, um das Ziel des guten Zustandes in allen Gewässern des Einzugsgebietes sicherzustellen. Startpunkt eines solchen Programms ist die volle Umsetzung aller relevanter nationaler oder lokaler Gesetzgebung, sowie von 11 gemeinschaftsrechtlichen Vorschriften, einschließlich horizontaler Maßnahmen wie der Umweltverträglichkeitsprüfung und der IVU-Richtlinie. Falls diese grundlegenden Maßnahmen nicht ausreichen, um das Ziel des guten Zustandes zu erreichen, muß das Programm um alle die Maßnahmen ergänzt werden, die notwendig sind. Diese können strengere Vorgaben für Emissionen aus Industrie oder Landwirtschaft ebenso umfassen wie kommunale Abwasserquellen.

Die Richtlinie legt einen 'kombinierten Ansatz' bei der Bekämpfung der Verunreinigung fest

- **einerseits durch Setzung von Emissionsgrenzwerten,**
- **andererseits durch Festlegung von Immissions(Wassergüte)zielen.**

In jedem Einzelfall wird das jeweils strengere Konzept gelten. Die Mitgliedstaaten werden daher in ihren Maßnahmenprogrammen sowohl Emissionsgrenzwerte für Punktquellen wie Immissions(Wassergüte)ziele festzulegen haben, welche die Summenwirkung solcher Emissionen ebenso wie von diffusen Verschmutzungsquellen zu begrenzen haben. Die Emissionsgrenzwerte sind in Übereinstimmung mit Gemeinschaftsrecht, nationaler und regionaler Gesetzgebung festzulegen, u.a. mit der IVU-Richtlinie und der Richtlinie zur kommunalen Abwasserbehandlung für Anlagen und Einleitungen, die diesen Richtlinien unterliegen. Für relevanten Schadstoffe und Verschmutzungsquellen, die noch nicht von EU Gesetzgebung erfaßt sind, wird die neue Wasser-Rahmenrichtlinie Rat und Parlament verpflichten, gemeinschaftsweite Emissionsbegrenzungen festzulegen, in Übereinstimmung mit festgelegten Prioritätskriterien. Dort wo Wassergüteziele oder Emissionsgrenzwerte für bestimmte Stoffe in der Tochterrichtlinie der Richtlinie über gefährliche Stoffe aus dem Jahre 1976 festgesetzt sind, werden diese in die Wasser-Rahmenrichtlinie integriert.

Gewässer für die Trinkwasserentnahme werden – weiterhin – besonders geschützt: Mitgliedstaaten werden Güteziele für jedes wesentliche Gewässer festzulegen haben, das für die Trinkwasserentnahme verwendet wird oder in Zukunft werden könnte.

Wasserquantität angesprochen

Die Rahmenrichtlinie ist das erste Stück europäischer Wassergesetzgebung, das auch die Frage der Wasserquantität anspricht. Sie sieht vor, daß das Maßnahmenprogramm für jedes Flußgebiet ein Gleichgewicht zwischen Entnahme und Wiederaufladung von Grundwasser sicherstellen muß. Weiters werden alle Entnahmen von Oberflächenwasser oder Grundwasser eine vorherige Genehmigung benötigen; ausgenommen davon sind nur Gebiete, wo nachgewiesen werden kann, daß diese Entnahme keinen wesentlichen Einfluß auf den Zustand des Gewässers haben werden. Diese Vorgaben, zusammen mit kostendeckenden Preisen, werden dazu beitragen, das Wasser als eine Ressource zu schützen.

Preise für Wasser als Beitrag zum sorgsamem Umgang mit Wasser

Die Notwendigkeit einer Erhaltung ausreichender Versorgung mit einer Ressource, für die der Bedarf laufend steigt, ist ebenfalls eine der treibenden Kräfte hinter einer der wahrscheinlich wichtigsten Neuerungen der Richtlinie – der Einführung einer Verpflichtung für Konsumentenpreise für Dienstleistungen wie Trinkwasserversorgung und Abwassersammlung und -reinigung, die zum Gewässer- und Ressourcenschutz beiträgt. Während dieser Grundsatz in einigen Ländern eine lange Tradition hat, ist dies derzeit in anderen nicht der Fall. Ausnahmeregelungen werden aber möglich sein, z.B. in benachteiligten Gebieten.

Straffung der Gesetzgebung: sieben alte Richtlinie werden aufgehoben

Die Rahmenrichtlinie wird die Wassergesetzgebung der Gemeinschaft übersichtlicher machen, indem sieben Rechtsnormen der 'ersten Welle' ersetzt werden jene über Oberflächengewässer und die zugehörigen Richtlinien über Meß- und Probenahmemethoden und über den Austausch von Information über die Qualität von Süßwassergewässern, über Fischgewässer, Muschelgewässer und Grundwasser, und die Richtlinie über die Ableitung gefährlicher Stoffe. Die operativen Vorgaben dieser Richtlinien werden in die Rahmenrichtlinie übernommen, sodaß sie aufgehoben werden können.

Im Gegensatz dazu wird die Rahmenrichtlinie andere Kernstücke der Wasser-Gesetzgebung ergänzen und vervollständigen, insbesondere die Richtlinie kommunale Abwasserbehandlung und die Nitrat-Richtlinie sowie die Vorschriften über Pestizide aus dem Jahre 1991, und die IVU-Richtlinie aus dem Jahre 1996. Die Trinkwasser-Richtlinie und die Badegewässer-Richtlinie dagegen werden in ihrem Inhalt nicht berührt, wenn sie auch die Ziele der Wasser-Rahmenrichtlinie unterstützen.

Stand der politischen Debatte in den europäischen Institutionen (Mai 2000)

- **Die Europäische Kommission hat ihre Vorschläge für die Wasser-Rahmenrichtlinie vorgelegt, im Februar 1997, November 1997 und Februar 1998¹¹.**
- **Das Europäische Parlament hat den Vorschlag beraten und seinen Standpunkt (1. Lesung) im Februar 1999 beschlossen¹².**
- **Aufbauend auf der 1. Lesung im Europäischen Parlament hat die Europäische Kommission ihren Vorschlag im Juni 1999 abgeändert¹³.**
- **Der Ministerrat hat im Oktober 1999 seinen Gemeinsamen Standpunkt beschlossen¹⁴.**
- **Das Europäische Parlament hat im Februar 2000 die 2. Lesung abgeschlossen¹⁵.**
- **Der Ministerrat hat im März 2000 beschlossen, nicht alle vom Parlament geforderten Abänderungen zu billigen (Artikel 251(3) EG Vertrag).**
- **Das Vermittlungsverfahren nach dem EG Vertrag muß daher im Frühjahr/Sommer 2000 stattfinden und innerhalb der Frist (6 + 6 Wochen) zu einer Einigung führen; nicht fristgerechte Einigung gilt als Ablehnung.**
- **Eine endgültige Entscheidung ist damit bis Juni/Juli 2000 zu erwarten.**

Zu den wesentlichen Punkten, wo es noch Differenzen zwischen Parlament und Rat gibt, gehören u.a.

- **Verbindlichkeit der Umweltziele, sowie Fristen für die Erreichung des Zieles 'guter Zustand'**
- **Ausnahmeregelungen (Nachfristen; Kriterien)**
- **Grundwasserqualität (Ziel; Kriterien für Handlungsverpflichtung)**
- **Preise/Gebühren für Wasser**
- **Gefährliche Stoffe**

Zusammenfassung

Europas Gewässer brauchen mehr Schutz, und sie brauchen Schutz über Landesgrenzen hinaus. Dies ist nach 25 Jahren europäischer Gewässerschutzanstrengungen eine Forderung nicht bloß der Wissenschaftler und Experten, sondern in einem stets zunehmenden Umfang auch eine Forderung von Bürgern und Umweltschutzorganisationen. Viel ist in den vergangenen Jahren schon geschehen, aber nicht genug und nicht überall in Europa mit dem gleichen Nachdruck. Der jüngst erschienene Bericht der Europäischen Umweltagentur¹⁶ unterstreicht dies.

Nehmen wir die Herausforderung des Gewässerschutzes an, eine der großen Herausforderungen für die Europäische Union an der Schwelle zum neuen Jahrtausend, aber auch an der Schwelle zu einer neuen Erweiterung der Union.

Dieser Beitrag stellt die Meinung des Verfassers dar, und nicht unbedingt jene der Europäischen Kommission.

- 1 Richtlinie Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung 75/440/EWG
- 2 Richtlinie Badegewässerqualität 76/160/EWG
- 3 Richtlinie Fischgewässer 78/659/EWG
- 4 Richtlinie Muschelgewässer 79/923/EWG
- 5 Trinkwasser-Richtlinie 80/778/EWG
- 6 Richtlinie kommunale Abwasserbehandlung 91/271/EWG
- 7 Richtlinie Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen 91/676/EWG
- 8 (Neue) Trinkwasser-Richtlinie 98/68/EG
- 9 Richtlinie für die integrierte Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen 96/61/EG
- 10 Mitteilung an Rat und Europäischen Parlament zur Europäischen Wasserpolitik KOM(96)59
- 11 Europäische Kommission: Vorschläge für eine Wasser-Rahmenrichtlinie vom 26.02.1997, KOM(97)49, AB I. C184 vom 17.06.1997, vom 26.11.1997, KOM(97)614, AB I. C16 vom 20.1.1998, und vom 17.02.1998, KOM(98)76, AB I. C108 vom 7.4.1998
- 12 AB I. C150/388 vom 28.05.1999
- 13 Geänderter Vorschlag für eine Wasser-Rahmenrichtlinie vom 17.06.1999, KOM(1999)271
- 14 Gemeinsamer Standpunkt des Rates vom 22.10.1999, AB I. C343 vom 30.11.1999
- 15 Noch nicht im Amtsblatt veröffentlicht
- 16 Europäische Umweltagentur: Umwelt in der Europäischen Union - an der Wende des Jahrhunderts, Luxembourg 1999; ISBN 92-9157-202-0, Kurzfassung ISBN 92-828-6773-0



Hartmut Graßl

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg
Meteorologisches Institut, Universität Hamburg

Der Rhein im 21. Jahrhundert

Noch mehr Wasser im Winter,
weniger im Spätsommer?

1. Der globale Wasserkreislauf

Wasser ist die für das Klima der Erde wichtigste Substanz. Es bedeckt über 80 Prozent der Erdoberfläche, es ist flüssig der dunkelste Teil der Erdoberfläche mit nur etwa 4 Prozent Reflexionsvermögen für Sonnenstrahlung bei Schönwetter über dem tiefen Ozean, es stellt mit frischem Pulverschnee die hellste aller natürlichen Oberflächen bei einer Reflexionsfähigkeit von bis zu 90 Prozent. Gasförmig ist Wasser das bei weitem wichtigste Treibhausgas der Erdatmosphäre, welches grob zwei Drittel des Treibhauseffektes der Atmosphäre von insgesamt etwa 30°C trägt. Bei einer mittleren Verweildauer von nur etwa 9 Tagen in der Atmosphäre für ein Wassermolekül wird auch seine hohe Bedeutung für die Energetik der Erde rasch klar. So wird von dem im globalen Mittel an der Erdoberfläche eingestrahelten Strahlungsfluß der Sonne von etwa 170 Wm⁻² fast die Hälfte (ca. 80 Wm⁻²) für die Verdunstung von Wasser gebraucht. Der in die Atmosphäre aufsteigende Wasserdampf trägt diese Wärme latent zum Ort seiner Kondensation, wo sie wieder frei wird. Er gleicht so den Verlust an Energie durch Abstrahlung aus der Atmosphäre in den Weltraum wieder aus.

Betrachtet man den globalen Wasserkreislauf (einen Vergleich von empirischen Schätzungen und Modellergebnissen enthält Abb. 1), so fällt als Charakteristik ins Auge:

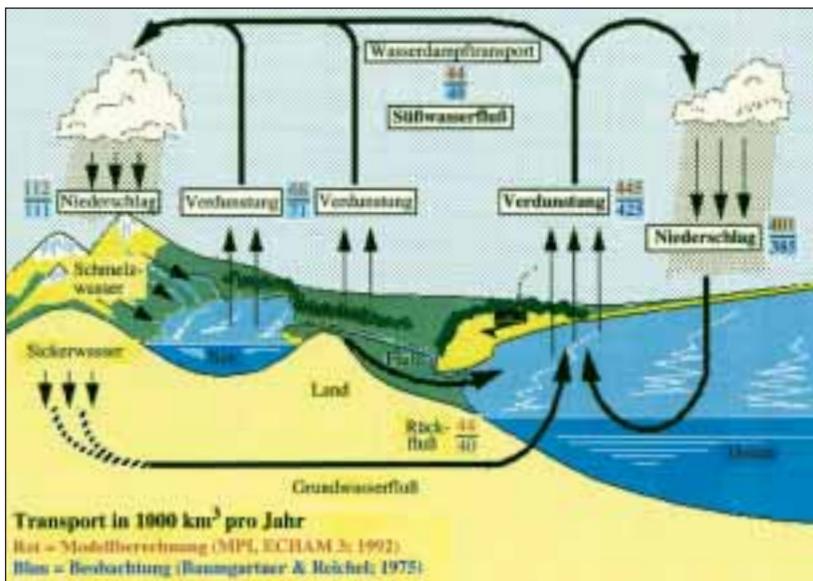
- **Weniger als ein Fünftel des Niederschlags fällt auf die Kontinente.**
- **Der Abfluß von den Kontinenten entspricht etwa 40% des Niederschlags.**
- **Mehr als die Hälfte des Niederschlags auf Kontinenten stammt aus der Verdunstung über den Kontinenten.**

Unsere Kenntnis des globalen Wasserkreislaufs ist aber noch so unvollständig, daß globale Zirkulationsmodelle mit den Beobachtungsdaten nicht hart genug getestet werden können.

Die folgenden Abschnitte werden sich auf einen kleinen Teilaspekt des globalen Wasserkreislaufes konzentrieren, nämlich das Einzugsgebiet des Rheins, und dabei

Abbildung 1

Der globale Wasserkreislauf, angegeben sind die Flüsse in Einheiten 10^3 km^3 (Kubikkilometer) sowohl für empirische Abschätzungen als auch für ein globales Klimamodell.



auf die Veränderungen des Abflusses als Folge von Klimaänderungen besonders achten. Diese Aufgabe ist schwierig, weil eine Regionalisierung von Klimaänderungen nur ganz vorsichtig gestattet ist, vor allem wegen der noch immer großen Unsicherheit bei der Simulation von Niederschlag in gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Modellen. Eine wesentliche Hilfe, ein Ergebnis der letzten Jahre, ist dabei die erfolgreiche Simulation der globalen Veränderungen der Temperatur im 20. Jahrhundert sowie die Übereinstimmung von beobachteten breitenabhängigen Niederschlagsänderungen mit Modellergebnissen. Die Extrapolation in das 21. Jahrhundert ist damit in die Kategorie 'We calculate with some confidence' aufgerückt, nachdem noch vor ca. 7 Jahren gesagt werden mußte: Die Modelle geben gegenwärtiges Klima annähernd korrekt wieder; aber die beobachteten Klimaänderungen sind wegen fehlender Daten zur Entwicklung der Antriebe zu Veränderungen (z.B. für Sulfataerosole) noch nicht von Modellen nachvollzogen.

2. Einordnung des Faktors Klimaänderungen

Die Wasserführung eines Flusses ist längst nicht mehr nur von Klimavariabilität und Klimaänderungen abhängig. Seit wir Menschen Landwirtschaft betreiben, aber noch mehr seit wir eine Industriegesellschaft geworden sind, sind durch Landnutzungsänderungen die Abflußmenge, ihr Jahrgang und die Wasserqualität oft drastisch beeinflusst worden. Große Flüsse wie Colorado, Nil und Gelber Fluß schütten zu bestimmten Zeiten fast kein Wasser mehr ins Meer, denn es wurde zum Teil genutzt

aber oft ungenutzt von Feldern und Stauseen in die Atmosphäre verdunstet. Auch der Rhein wurde kräftig beeinflusst. So ist sein Abfluß durch Rodung von Wäldern schon vor Jahrhunderten, durch Begradigung seit etwa 200 Jahren noch weiter beschleunigt worden. In jüngster Zeit wird der Abfluß im Sommerhalbjahr durch verstärkte Bewässerung vor allem in Zeiten geringer Wasserführung gemindert. Dennoch ist der Rhein ein Fluß mit vergleichsweise geringer Amplitude des Jahresgangs geblieben, was ihn wegen fehlender großer Stromschnellen zum fast idealen Schifffahrtsweg macht. Eine zentrale Frage für die Rheinanlieger bei der Diskussion um Klimaänderungen durch den Menschen lautet: Bleibt der Rhein ganzjährig schiffbar? Bevor ich versuche diese Frage zu beantworten, werden im Abschnitt 3 und 4 beobachtete und vorhergesagte Veränderungen von Klimaparametern in Europa vorgestellt und in Abschnitt 5 die generelle Problematik der Abschätzung von zukünftigem Klima im Rheingebiet anhand von vermeintlich einfachen Fragen und komplexeren Antworten beleuchtet.

3. Beobachtete Trends in Europa

Dank eines dichten Beobachtungsnetzes, das ursprünglich vor allem aus dem Wunsch entstand, Klimavariabilität für die Abschätzung von Sicherheitsvorkehrungen bei Infrastrukturbauten zu kennen, und dank intensiver Prüfung der Homogenität solcher Zeitserien vor einer Trendanalyse, können wir für das Rheineinzugsgebiet Trends der Temperatur und des Niederschlags für verschiedene Jahreszeiten gesichert angeben. Nach Abb. 2, die nur einen kleinen Ausschnitt der Analysen von Rapp und Schönwiese (1996) wiedergibt, hat die Wintertemperatur von 1891 bis 1990 im gesamten

Tabelle 1

Verschiebung der Jährlichkeiten der Hochwasserabflüsse an Enz, Donau und Nahe infolge der bereits eingetretenen Änderungen des Winterklimas (Kubik-meter pro Sekunde).

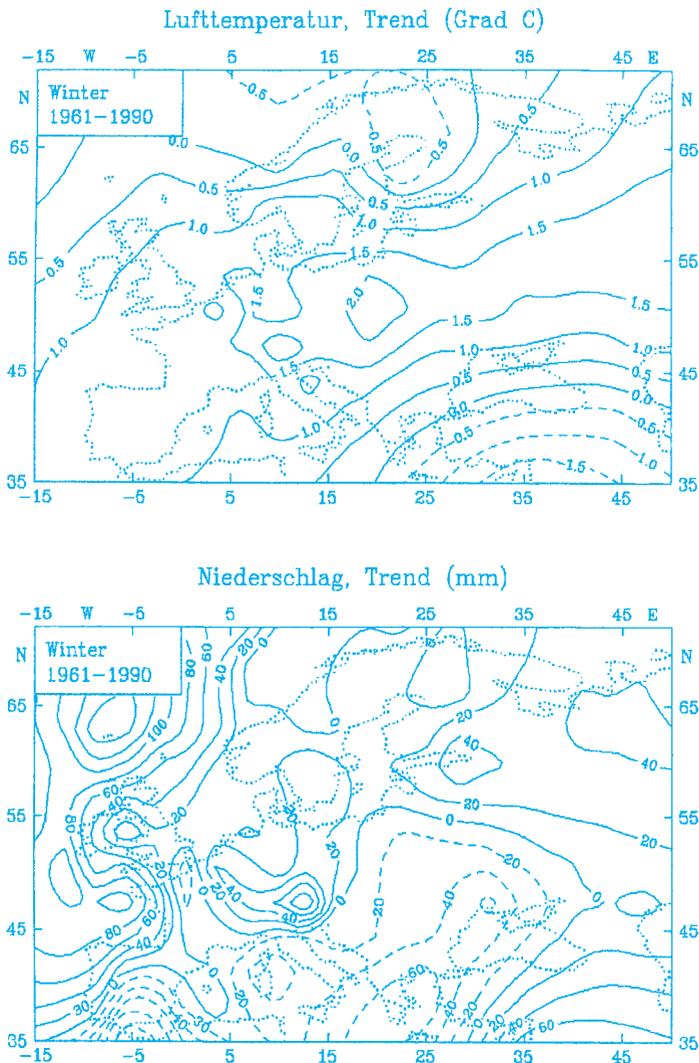
Enz, Pegel Pforzheim	Jährlichkeit:							
	Wahrscheinliche Wiederkehr des Hochwassers in Jahren							
Meßzeitraum	2	5	10	20	30	50	100	200
1932-1989	133	200	245	288	313	344	385	427
1932-1997	143	231	289	344	377	417	471	525
1977-1997	204	309	380	449	488	538	605	

Donau, Pegel Beuron	Jährlichkeit:							
	Wahrscheinliche Wiederkehr des Hochwassers in Jahren							
Meßzeitraum	2	5	10	20	25	50	100	200
1926-1976	104	147	175	202	210	237	263	289
1926-1995	124	187	229	269	282	321	360	399
1977-1995	184	261	312	361	376	424	471	

Nahe, Pegel Boos	Jährlichkeit:							
	Wahrscheinliche Wiederkehr des Hochwassers in Jahren							
Meßzeitraum	2	5	10	20	30	50	100	200
1952-1976	276	441	550	655	715	790	891	993
1952-1997	334	526	652	744	844	931	1049	1166
1977-1997	408	611	745	874	948	1041	1166	

Abbildung 2

Temperaturtrend im Winter in K für 1961 bis 1990 (Lufttemperatur in 2 m Höhe über Grund) und Niederschlagstrend (in %) im Winter von 1961 bis 1990; aus Rapp und Schönwiese (1996).



Rheineinzugsgebiet um ca. 1K zugenommen. Also ist die Schneefallgrenze mit hoher Wahrscheinlichkeit um ca. 150 m angestiegen. Allein in den drei Jahrzehnten von 1961 bis 1990 stieg die Niederschlagsmenge des Winters (Dezember bis Februar) im Rheingebiet um 10 bis etwas über 20% an. Nach Untersuchungen von Caspary (1998) hat diese Niederschlagszunahme zu drastischen Änderungen in der Extremwertstatistik für Hochwasser von Nebenflüssen des Rheins und auch der Donau geführt.

Wie Tabelle 1 unterstreicht, ist es dabei zu alle 10 Jahre wiederkehrenden Pegelständen gekommen, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch als 100-jähriges Hochwasser definiert worden waren (siehe dazu auch den Kasten 'Problematik Extremwerte'). Die für das Mittelrheingebiet über Jahrhunderte rekonstruierten Hochwasser und seit dem 19. Jahrhundert auch direkt gemessenen Pegelstände sprechen ebenfalls eine deutliche Sprache:

- **Schwund bzw. Ausbleiben der mit Eisstau verbundenen Hochwasser im 20. Jahrhundert,**
- **starke Zunahme der Winterhochwasser in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts,**
- **Schrumpfung der Anzahl der Sommerhochwasser.**

4. Vorhergesagte Temperatur- und Niederschlagsänderungen

Die Vorhersage regionaler Klimaänderungen ist an mehrere Voraussetzungen gebunden: realistische Emissionsszenarien bei vorgegebenem Verhalten der Menschheit, aussagekräftige und globale gekoppelte Modelle der Atmosphäre und des Ozeans sowie für gegenwärtiges Klima getestete regionale Modelle. Dabei sollte keineswegs bei Skalen die kleiner sind als ein Vielfaches (ca. Vierfaches) der Modellauflösung interpretiert werden. Eine solche Regionalisierung für Europa ergibt für den Niederschlag nicht mehr als folgende Grundaussage: Zunahme in nördlichen Breiten, Abnahme im Mittelmeerraum. Nimmt man die Daten zum Jahresgang für Niederschlag und Temperatur hinzu, ist folgende Detaillierung noch zugelassen:

Problematik Extremwerte

Extreme Wetterereignisse und extreme Abflüsse sind per definitionem selten, so daß statistische Aussagen darüber unsicher sind. Soll aus einer 80-jährigen Zeitserie der Pegelstände eines Flusses das sogenannte 100-jährige Hochwasser bestimmt werden, so macht man folgende oft nicht gerechtfertigte Annahmen:

- Anpassung einer mathematischen Funktion an beobachtete Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Abweichungen vom Mittel und Extrapolation zur gewünschten Wiederkehrtrate.
- Stabilität der Verteilungsfunktion während des gesamten Meßzeitraumes, d.h. Abwesenheit von Klimaänderungen.
- Homogenität der Zeitreihe, also Fehlen von Landnutzungsänderungen im Einzugsgebiet und von Maßnahmen zur Flußregulierung.

Die schwerwiegendste Annahme ist die zweite; besonders heute, wo kräftige und rasche Klimaänderungen eingesetzt haben. Temperatur, Niederschlag, Abfluß und andere Klimaparameter zeigen in den vergangenen Jahrzehnten eindeutige Trends, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zumindest teilweise anthropogen sind.

Wie soll bei dieser Unsicherheit z.B. ein Damm oder ein Deich bemessen werden? Erstens ist die Zeitserienanalyse, wie z.B. in Tabelle 1, für verschiedene Abschnitte der Zeitserie mit fortgeschrittenen statistischen Methoden zu wiederholen. Zweitens sind mit numerischen Abflußmodellen die Folgen geplanter Regulierungsmaßnahmen abzuschätzen. Drittens sollte mit der Modellkette 'Gekoppeltes Atmosphäre/Ozean-Modell plus regionales Klimamodell mit aufwendiger Parameterisierung der Landoberflächenprozesse plus Abflußmodell (alle getestet für gegenwärtiges Klima) für zukünftiges Klima

eine neue Verteilungsfunktion berechnet werden. Viertens muß eine zusätzliche Sicherheitsmarge eingeplant werden, weil die Abschätzungen Fehler enthalten.

Manche mögen jetzt einwenden, daß das die Fähigkeit zur Finanzierung durch die Länder und den Bund übersteigt. Ich gebe zu bedenken, daß allein ein großes Winterhochwasser im Rheingebiet Schäden in Milliar-

denhöhe verursacht und daß der gesamte Küstenschutz in Deutschland unter einem Promille des Bruttosozialproduktes liegt.

Im Rheingebiet ist die Zunahme der Winterniederschläge bei zunehmendem Treibhauseffekt sehr wahrscheinlich und die Abnahme der Sommerniederschläge vor allem im südlichen Teil wahrscheinlich.

Im folgenden Kapitel sollen, gestützt auf diese Aussagen, Fragen zur Zukunft im Rheingebiet beantwortet werden.

5. Die wahrscheinlichen Trends im Rheingebiet im 21. Jahrhundert

Das Frage- und Antwortspiel soll in den Quellregionen beginnen und sich immer stärker dem gesamten Einzugsgebiet zuwenden.

Frage:

Werden die meisten Alpengipfel unter 3500 m Höhe fast gletscherfrei?

Antwort:

Die Wahrscheinlichkeit dazu ist schon für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts gegeben, weil eine Temperaturänderung von mindestens 1K kaum noch zu vermeiden ist. Also wird die Gleichgewichtslinie der Gletscher (wo Akkumulation in Zehrung übergeht) dabei um mindestens 150 m ansteigen, viele Kleingletscher werden verschwinden und höher gelegene nur noch stark geschrumpfte Nährgebiete mit überproportionalem Rückgang der Zungen zeigen. Solange der Schmelzvorgang anhält, wird die Dramatik des danach stark reduzierten Abflusses in trockenen Sommern noch verschleiert. Nach Haeberli und Beniston (1998) sind die Flächen- und Volumenverluste der Alpengletscher so dramatisch, daß fast eisfreie Ostalpen im 21. Jahrhundert sehr wahrscheinlich sind.

Frage:

Nehmen die Winterhochwasser unterhalb Basels zu?

Antwort:

Höchstwahrscheinlich ja und zwar aus mehreren Gründen: Erstens fällt weniger Winterniederschlag als Schnee in den Gebirgstälern und Mittelgebirgen, so daß der Abfluß weniger verzögert wird als früher. Zweitens wird die Niederschlagsmenge im Winter weiterhin eher zu- als abnehmen, womit die Böden bei mehr großen Niederschlagsereignissen schon bei Einsetzen des Niederschlags nahe zur Wassersättigung sind. Drittens nimmt bei höheren Temperaturen die Regenmenge pro Niederschlagsereignis wie beobachtet zu. Ein international abgestimmtes Maßnahmenbündel ist also dringend geboten.

Frage:

Kann man bei Basel wieder wie im Sommer im Jahre 1540 durch den Rhein waten?

Antwort:

Wahrscheinlich nicht, weil die Schweizer (und Österreichischen) Behörden eingreifen könnten, obwohl bei unkontrolliertem Abfluß für Spätsommer/Frühherbst extreme Niedrigstände wegen geringerer Sommerniederschläge wahrscheinlicher würden als bisher. Die Schiffbarkeit des Rheins ist eine so wichtige natürliche Ressource, daß wohl bald weitere abgestimmte Maßnahmen dazu existieren werden.

Frage:

Wird die Wasserqualität im Rhein weiter verbessert werden können?

Antwort:

Ganzjährig nur, wenn für den Niedrigwasserstand im Spätsommer/Frühherbst die Schiffbarkeit noch erhalten werden kann. Das setzt auch voraus, daß die Bewässerung dann nicht weiter stark zunimmt.

Frage:

Wirkt ein eingehaltenes Kioto-Protokoll dämpfend auf die Abflußamplitude des Rheins?

Antwort:

In der bisherigen Form ist es nicht erkennbar dämpfend. Auch die wohl folgenden Verschärfungen in den Jahren nach 2012 dämpfen eher die hohen Winterwasserstände unterhalb Basels als sie die Niedrigwasserstände im Spätsommer/Frühherbst anheben können. Diese Einschätzung beachtet die in Modellrechnungen und Beobachtungen gefundene geringere Sommerniederschlagsabnahme als Winterniederschlagszunahme.

6. Schlußfolgerungen

Die Beobachtungen im 20. Jahrhundert und die Hochrechnungen mit Klimamodellen für vorgegebene Emissionen von Treibhausgasen deuten für das Rheingebiet auf höhere Sommer- und Wintertemperaturen im 21. Jahrhundert, mehr Winterniederschlag und eher weniger Sommerniederschlag. Daraus folgt für das Rheingebiet:

- 1. Hohe Wahrscheinlichkeit für eine zunehmende Abflußamplitude (weniger im Spätsommer und mehr im Winter).**
- 2. Früherer Zeitpunkt für mittleren Hochwasserstand wegen früherer Schneeschmelze.**
- 3. Starker Schwund des Gletschervolumens mit langfristig schrumpfendem Sommerabfluß.**

Die Folgen sind: Schwierigere Bedingungen für Schifffahrt, Hochwasserschutz, hohe Wasserqualität und Bewässerung.

Dies gilt auch, zwar abgeschwächt, bei verschärftem Kioto-Protokoll.

Die Wasserwerke sollten schon heute die Klimaänderungen durch den Menschen in ihre Aktivitäten und Planungen einbeziehen.

Literatur

- Caspary, H.J. (1998); Hochwasserverschärfung infolge von Klimaänderungen.
in: Lozàn, Graßl, Hupfer (Hsg.), Warnsignal Klima, Wissenschaftliche Auswertungen,
Hamburg, 259-264.
- Caspary, H.J. und W. Haeberli (1999): Klimaänderungen und die steigende Hochwassergefahr,
in: H. Graßl: Wetterwende, Campus Verlag, Frankfurt, 206-229.
- Haeberli, W. and M. Beniston (1998): Climate change and its impacts on glaciers and
permafrost in the Alps, *Ambio* 27, 258-265
- Rapp, J. und C.D. Schönwiese (1996) : Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in
Deutschland 1891-1990, Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Serie B, Meteorologie
und Geophysik, Bd. 5, Universität Frankfurt, Frankfurt/ Main.



Dr. Anton Kilchmann

Direktor des Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW),
Zürich

Liberalisierung in Europa

Auswirkungen
auf die Wasserversorgungsunternehmen im
Rheinstromgebiet?

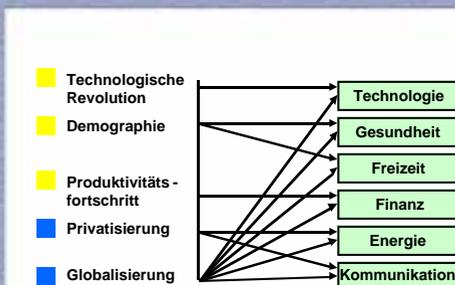
– Die Situation in der Schweiz –

Abschied von den nationalen Wirtschaften [1]

Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein verlief die Industrialisierung auch in der Schweiz und damit der Strukturwandel entlang nationaler Grenzen. Damit entstanden fast eigenständige Wirtschaftsgebilde mit Stahlwerken, Turbinenfabrikationen, Lokomotivfabriken, usw. In den Siebzigerjahren setzte die Globalisierung der Wirtschaft ein. Früher geschützte Dienstleistungsbranchen öffneten sich dem internationalen Wettbewerb. Global getriebene und wirkende Unternehmen drangen in diesen Markt ein. Damit waren nicht mehr alleine nationale Rahmenbedingungen, sondern auch Megatrends wie die Globalisierung – und zwar in zunehmend dominantem Masse – treibende Kräfte für einen Strukturwandel (Abb. 1). Wer eine Novartis-Aktie kauft, investiert sein Geld zwar in die schweizerische chemische Industrie, aber der Wert der Aktie richtet sich nach dem Weltmarkt und kann nur mit dem Aktienwert anderer global agierenden Unternehmen verglichen werden.

Abbildung 1

Abschied von den nationalen Wirtschaften



Quelle: NZ Z, 16/17.10.99, Holzgang A.

Der Druck nach billigem Trinkwasser nimmt zu

Mit dem Verschwinden der nationalen Märkte erhalten die Kosten für die Infrastrukturbereitstellung und damit der Ruf nach billigem Wasser, Strom und Gas eine steigende Bedeutung. Die Reduktion dieser Kosten stellt einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit eines Standortes dar. Generell ist es Ziel allen Wirtschaftens, die Bevölkerung mit möglichst preiswerten Gütern zu versorgen. Dies gilt ganz klar auch für Trinkwasser. Könnten die Kosten für Trinkwasser und Abwasser in der Schweiz um 15% gesenkt werden, würde über eine halbe Milliarde Schweizer Franken in andere Wirtschaftsbereiche fließen. Ob jedoch in sinnvollere oder intelligentere ist nicht garantiert.

Eigentliche Wettbewerbskräfte fehlen

Wasserversorgungen sind natürliche, resistente Monopole. Ein möglicher Konkurrent kann ohne grosse irreversible Anfangsinvestitionen gar nicht in den Markt eindringen. Für das Wasserversorgungsunternehmen ist dies ein Schutz. Es kann sich somit gewisse Ineffizienzen leisten ohne den Markteintritt eines Konkurrenten befürchten zu müssen. Die Wettbewerbsfähigkeit wird nicht permanent in einem Markt gemessen. Es sind deshalb Wege und Mittel zu suchen, um die Leistungsfähigkeit zu verbessern. Den Staatsbetrieben wird vorgeworfen, dass dem Risikomanagement ein viel zu geringer Stellenwert beigemessen werde, da (fast) alle Risiken stillschweigend von der Allgemeinheit getragen werden und dass die höheren Gesamtkosten einfach auf entsprechend höhere Gebühren abgewälzt werden [4]. Das Risiko, dass eine überdimensionierte Wasserversorgung gar nie ihre Redundanz auslasten muss, weil das Zusammentreffen des seltenen Ereignisses einer Trockenperiode mit dem seltenen Ereignis eines Ausfalls eines ganzen Pumpwerkes sehr unwahrscheinlich ist, trägt der Konsument durch entsprechend hohe Wasserpreise.

Ob aber der Kunden alle zwanzig Jahre in einer Trockenperiode bereit ist, während zwei bis drei Tagen auf frisches Trinkwasser zu verzichten, diese Frage sollte auch diskutiert werden.

Unbestritten ist hingegen, dass die Trinkwasserqualität immer einwandfrei sein muss, denn in einem Monopol kann der Kunde den Lieferanten nicht wechseln.

Eine breite Allianz von treibenden Kräften

Das stetige Ansteigen der Wasserpreise wird auch in der Schweiz nicht mehr stillschweigend hingenommen. Vermehrt glaubt der Bürger, dass öffentliche Unternehmen vergleichsweise ineffizient seien.

Diese Hypothese wurde denn auch in einer grossen Anzahl von Untersuchungen im In- und Ausland empirisch überprüft. Eine Zusammenstellung von über 50 Untersuchungen zeigt uns die Abbildung 2 nach Buhofer & Pommerhenne [2]. Über 90% dieser Studien bestätigen die Hypothese, dass öffentliche Betriebe zum Teil deutlich höhere Kosten und eine niedrigere Produktivität aufweisen. Darf man den Autoren glauben, dann sollen die Mehrkosten bei der Wasserversorgung, weil sie als staatliche Leistung erbracht wird, weltweit 15% bis 170% betragen.

Derartige Zahlen unterstützen das Vorurteil, dass staatliche Betriebe grundsätzlich ineffizient seien und werden europaweit gerne von dem Politikern aufgenommen.

Der derzeitige österreichische Bundeskanzler Wolfgang Schüssel bezeichnete in einer

Abbildung 2

Kostenvergleich zwischen privater und öffentlicher
Produktion in verschiedenen Ländern*



<u>Leistungsbereiche</u>	<u>Kostenabweichung der öffentlichen Produktion</u>		
Fluglinien	12%	bis	100%
Müllabfuhr	15%	bis	60%
Wasserversorgung	15%	bis	170%
Bauleistungen	20%	bis	60%
Feuerwehr	40%	bis	90%
Gebäudereinigung	50%	bis	90%
Wettervorhersage		bis	50%
Waldbewirtschaftung		bis	100%
Buslinien		bis	60%
Inkassodienst		bis	200%

*Quelle: Buhofer & Pommerehne 1985, S.39. Die Ergebnisse beziehen sich auf Untersuchungen über Australien (3), die Bundesrepublik Deutschland (8), Dänemark (2), Kanada (3), Schweiz (2), und die Vereinigten Staaten (35)



renommierten Schweizer Zeitung die Staatsbetriebe, Zitat als 'steinzeitliche Geldvernichtungsmaschinen' [3]. In den Chor der Unzufriedenen hat sich schon seit einiger Zeit die Wirtschaft, insbesondere die Landwirtschaft und das Gewerbe mit der Forderung nach tiefen Wasserpreisen eingereiht. Die Wirtschaft will jedoch nicht nur tiefere Preise, sondern sie will auch am Betreibermarkt und Finanzierungsmarkt teilnehmen können.

Als zusätzliche Kraft – insbesondere in der Schweiz – wirkt die schlechte Finanzsituation eines Teils der Kommunen; sie hat die Bereitschaft in der Behörde und in der Bevölkerung erhöht, die Wasserversorgung neu zu organisieren.

Als Folge der schrittweisen Liberalisierung der leitungsgebundenen Energiemärkte in Europa ist auch die Schweiz gezwungen, ihre Märkte für Strom und Gas zu öffnen. Viele Unternehmen verteilen als Stadtwerke oder auf Neudeutsch als 'multy utilities' nebst Strom und Gas auch Trinkwasser und müssen sich als Folge dieses neuen Wettbewerbes neu ausrichten und strukturieren. Das Wasser als 'Schlüsselreiz' erhält je nach strategischer Ausrichtung eine neue Bedeutung und wird auch entsprechend positioniert.

Letztlich wirken auch die gestiegenen Qualitätsanforderungen an Wasserversorgungen und die gestiegene Komplexität der Probleme z.B. Membrananlagen bei Karstgewässern, Virusdiskussion, usw. als Motor für eine Änderung in der Trinkwasserbranche.

Die Ziele der Wirtschaft

Nun wohin soll die Reise gehen, die durch diese Kräfte ausgelöst wird? Die Wirtschaft will nicht nur tiefere Preise, nein sie möchte auch am Betreibermarkt teilnehmen.

Gegenüber dem Staat und den Geldgebern (Banken) soll eine separate Gesellschaft (AG) gegründet werden. Gemeinden, Kantone, Betreiber, Lieferanten, Banken, Konsumenten, usw. sind mögliche Aktionäre. Dadurch erhalten die Banken die nötige Transparenz und Sicherheit für eine entsprechende Kreditqualität; sie sind somit an diesem Finanzierungsgeschäft interessiert.

Die untenstehende Tabelle gibt eine Übersicht in der Aufteilung der Aufgaben (nach [4]):

Öffentlich-rechtlicher Betrieb	Privates Betreiberunternehmen
Staat plant	Staat plant
Staat lässt bauen	Ein Privater lässt bauen
Staat finanziert	Ein Privater finanziert
Staat betreibt	Ein Privater betreibt
	Staat kontrolliert
	Staat unterstützt
	Heimfall an den Staat

Um ein derartiges Betreibermodell erfolgreich installieren zu können, sind folgende Schritte nötig:

1. **Die Gemeinde schreibt die Konzession für die Wasserversorgung aus. Diese Konzession beinhaltet einen genau formulierten Leistungsauftrag, indem die Menge (in Funktion der Zeit), die Qualitätsvorgaben, die Dauer und die Heimfallregelung wichtige Eckpunkte bilden.**
2. **Interessierte Betreiber reichen ihre Offerte ein.**
3. **Offertenvergleich und Entscheid**
4. **Vertragliche Regelung mit dem Betreiber**
5. **Betrieb durch den konzessionierten Betreiber.**

Dieses sogenannte Betreibermodell ist bis heute in der Schweiz ein theoretischer Ansatz geblieben.

Noch weitergehende Interessen aus rein betriebswirtschaftlichem Kalkül haben die Finanzinstitute. Sie möchten in Infrastrukturanlagen, d.h. in private Unternehmen investieren. Die Investoren, vor allem Pensionskassen und Versicherungen, versprechen sich dadurch eine sichere Geldanlage. Bei natürlichen Monopolen werden die Gebühren durch eine Behörde kontrolliert, die bei der Festlegung der Kosten einen fairen Gewinnzuschlag toleriert. Verluste oder auch nur ungenügende Renditen sind damit ausgeschlossen; die Investoren rechnen mit dauerhaften Renditen von 6 bis 8 % [5]. Der Kaufpreis der Infrastrukturanlagen könnte den Käufern im Prinzip egal, d.h. zu hoch sein, da die Investitionen durch die an die Abschreibung angepassten Gebühren auf jeden Fall abgegolten werden. Die Diskussion um den Verkauf von natürlichen Monopolen fokussiert sich zur Zeit auf die Hochspannungsnetze der Elektrizitätswirtschaft. Die Diskussion ist insofern höchst interessiert, weil private Unternehmen nicht den Wettbewerb sondern den Gewinn suchen. Gerichtliche Verurteilungen von europäischen Rohrherstellern oder weltweit agierenden Vitamin C-Produzenten wegen unerlaubten Preisabsprachen bestätigen diesen Sachverhalt.

Den Konsumenten als Kunde gewinnen

Der Einzelkunde will ein einwandfreies Produkte und einwandfreie Dienstleistungen zu einem günstigen Preis. Das alleine genügt noch nicht. Trinkwasser hat teilweise den Charakter eines Vertrauensgutes – der Kunde sieht dem Wasser vielfach nicht an, ob die Qualität stimmt – und es wird durch einen Monopolisten verteilt. Der Kunde kann seinen Lieferanten – sofern er mit ihm unzufrieden ist – nicht wechseln. Also ist Transparenz ein entscheidendes Bedürfnis für den Kunden.

Entpolitisierung und neue unternehmerische Strukturen

Ausgehend von der Vielzahl unterschiedlicher Kräfte, Wünsche und Rahmenbedingungen haben sich in der Schweiz eine Vielfalt von Lösungsansätzen zur Liberalisierung der Wasserversorgungen entwickelt. Allen ist eines gemeinsam: die Unternehmen sollen entpolitisiert und flexibler werden.

a) **Beispiel Interlaken** [6]

Die Industriellen Betriebe Interlaken versorgen als kommunales Unternehmen die drei Vertragsgemeinden Interlaken, Matten und Unterseen mit Elektrizität, Gas und Wasser. Organisatorisch gliedern sich die Betriebe in die drei Bereiche Administration, Elektrizitätswerk sowie Gas- und Wasserwerk. Bei einem Jahresumsatz von rund 27 Mio. Franken zählt der Personalbestand 63 Personen, wovon 8 Lehrlinge.

Als wichtigste Rahmenbedingung bei der Liberalisierung galt die Vorgabe, dass die Besitzverhältnisse unangetastet blieben. Aus Angst vor vermögensrechtlichen Auseinandersetzungen wurde die Lösung in Form einer Aktiengesellschaft verworfen. Gewählt wurde die Form einer 'öffentlich-rechtlich selbständigen Anstalt', welche nach der Gemeindegesetzgebung des Kantons Bern möglich ist und die Vorteile einer privatrechtlichen AG ausschöpft.

Die Industriellen Betriebe Interlaken werden bereits seit vier Jahren in dieser Form geführt.

Als Hauptvorteile sieht der Werkleiter folgende Punkte:

- **vollständige unternehmerische Freiheit**
- **kompetente Organe mit kurzen Entscheidungswegen**
- **Steuerfreiheit**
- **Gewinnabschöpfung minim**
- **Erträge bleiben im Unternehmen**
- **subsidiäre Besitzzgarantie (günstiges Rating).**

b) **Beispiel Kloten** [7]

Die Industriellen Betriebe Kloten AG versorgen die Stadt Kloten (17'131 EW) und den Flughafen 'Unique Airport Zürich' mit Strom und Wasser. Die 25 Mitarbeiter erzielen einen Umsatz von rund 30 Mio. Franken.

Der Flughafen als Kunde konsumiert ein Drittel des umgesetzten Wasser und zwei Drittel des verkauften Stroms - er stellt als Grosskunde in einem liberalisierten Markt ein eigentliches 'Klumpenrisiko' dar.

Die Werke wurden bis zur Gründung der Aktiengesellschaft als Verwaltungsabteilung

geführt. Je nach Umfang und Betrag eines Geschäftes mussten sechs Entscheidungsstufen durchlaufen werden. Im Extremfall einer Volksabstimmung vergingen so bis zu 600 Tage bis ein Entscheid über 'go-no go' feststand. In der Aktiengesellschaft sind im Maximum nur noch drei Stufen zu durchlaufen, und die längste Frist verkürzt sich um Faktor 6 auf 100 Tage.

Nebst den zeitlichen Problemen wollte der Flughafen auch auf die Sicherheit und Qualität der Versorgung Einfluss haben. Er wollte sich also unbedingt beim Lieferanten z.B. in Form eines Aktientausches beteiligen.

Dies war durch das Rechtskleid der Aktiengesellschaft denn auch problemlos möglich. Damit konnte die Stadt Kloten ihren Grosskunden behalten und der Flughafen selber hat nun einen der kritischen Punkte – nämlich die Lieferung von Strom und Wasser – selber im Griff.

c) **Beispiel Aarau** [8] (Abb. 3)

Die Industriellen Betriebe Aarau versorgen die Stadt Aarau und umgebende Gemeinden mit Strom, Gas und Wasser. Sie betreiben zudem ein eigenes Flusskraftwerk und führen einen Bereich Elektroinstallationen und andere Erwerbe.

Die Strategie des Unternehmens zielt darauf ab, die Gemeinden entweder mit Strom und/oder Gas und/oder Wasser beliefern zu können und sie in die Unternehmen durch z.B. Beteiligungen einbinden zu können. Diese Vorgaben bewirken, dass eine Holding AG mit 5 eigenständigen Tochtergesellschaften als geeignetste Lösung gewählt wurde. Während bei der Gasversorgung AG und der Elektrizitätsversorgung AG keine Beschränkung bei der Veräusserung der Mehrheitsverhältnisse besteht, ist dies bei der Wasserversorgung AG nur mit Zustimmung des Einwohnerrates möglich. Interessant ist auch die im Konzessionsvertrag festgeschriebene Preisgestaltung. Demnach werden die Preise von der Wasserversorgungs AG festgelegt und müssen vom Stadtrat genehmigt werden. Grundsätzlich soll die Versorgung der Stadt Aarau mit Wasser nicht gewinnorientiert, sondern lediglich selbsttragend sein.

d) **Beispiel Luzern** [9] (Abb. 4)

Ausgelöst durch die Strommarktliberalisierung ist der Energiemarkt in Bewegung geraten. Die Städtischen Werke Luzern sind davon als Querverbundunternehmen und Endverteiler sehr stark betroffen. Insbesondere auf Grund der aktuellen Marktentwicklungen, die faktisch bereits das noch nicht in Kraft gesetzte Elektrizitätsmarktgesetz des Bundes übertreffen, ist heute ein hoher Handlungsdruck gegeben.

Mit der sogenannten Allianzstrategie wird der Erfolg durch Zusammenarbeit gesucht. Über Allianzen mit geeigneten Partnern soll versucht werden, die notwendige Grösse und Stärke zu erreichen, um von den erwähnten Chancen auch voll profitieren zu können. Dazu gehört insbesondere der Kontakt zu überregional tätigen Kunden (Marktzugang), die Stärkung in der Einkaufsmacht im Energiegeschäft (Marktmacht) und die Möglichkeit, Synergien zur Kostensenkung zu nutzen. Ein erster Schritt ist mit der Beteiligung an der Swiss City Power AG, zu deren Gründung die Städtischen Werke Luzern aktiv beigetragen haben, vollzogen.

Mit einer neuen, innovativen Produktpalette soll im Rahmen der Querverbundstrategie dem reinen Preiskampf im Stromgeschäft begegnet werden. Ein breites Produkt- und Dienstleistungsangebot sowie ein attraktives Preis-/Leistungsverhältnis sind dafür unabdingbare Voraussetzungen.

Abbildung 3
Struktur 'Aarauer-Model'

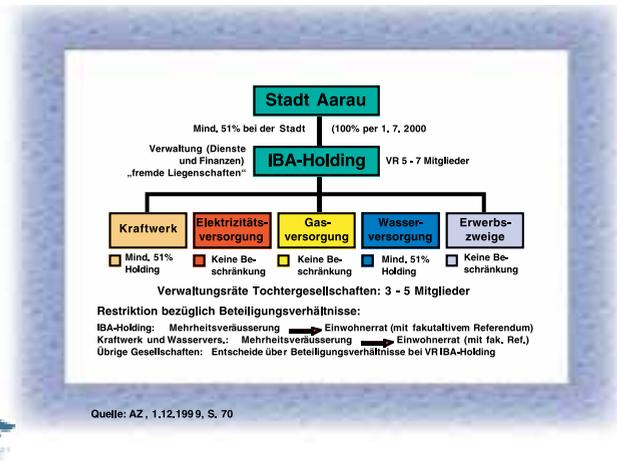
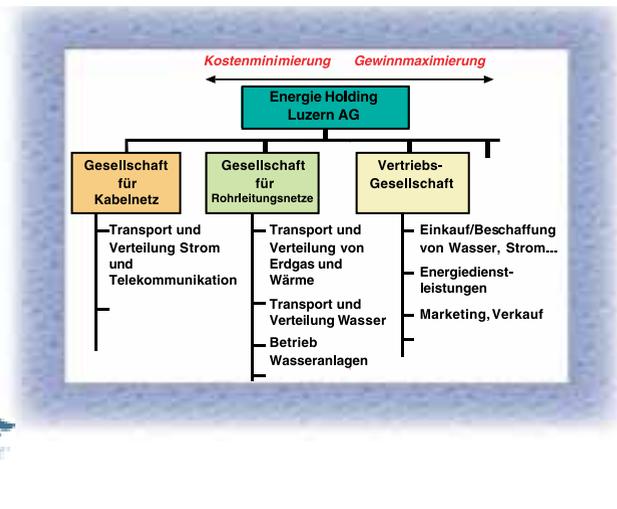


Abbildung 4
Beispiel Luzern



Das Qualitätsprodukt Wasser spielt für die Strategieumsetzung eine entscheidende Rolle. Wasser hat zwar finanziell eine eher untergeordnete Bedeutung, aber aus Wettbewerbsüberlegungen einen sehr hohen Stellenwert. Einerseits eignet sich Wasser hervorragend als Imageträger für das Gesamtunternehmen und nimmt andererseits, da es mittelfristig im Monopol verbleibt, eine gewisse 'Türöffnerfunktion' für andere Produkte wahr; der Zugang zu allen Kundinnen und Kunden in der Stadt Luzern bleibt erhalten. Hinzu kommt die bewährte Synergienutzung zwischen den Bereichen Erdgas und Wasser sowie die Tatsache, dass viele potentielle Allianzpartner ebenfalls zu der Gruppe der Querverbundunternehmen gehören.

Die Ausgliederung der Wasserversorgung und die Delegation der hoheitlichen Aufgaben an das neue Unternehmen sind deshalb weitgehend Fragen der Wettbewerbschancen, die den Städtischen Werken Luzern für das Überleben im freien Markt mitgegeben werden.

Ausgehend von diesen strategischen Überlegungen wählten die Städtischen Werke Luzern die Holdingstruktur mit den folgenden drei operativen Tochtergesellschaften als ihre neue Unternehmenstruktur:

- **'Kabelnetz' AG**
- **'Rohrleitungsnetz' AG u.a. mit Transport, Verteilung und Produktion Trinkwasser**
- **'Vertrieb' AG u.a. mit Beschaffung/Verkauf von Trinkwasser.**

Die neue Unternehmensstruktur widerspiegelt die beiden ökonomischen Prinzipien der 'Kostenminimierung' (für Netze als natürliche Monopole) und der 'Gewinnmaximierung' (Vertrieb).

e) **Beispiel Zug**

Die Wasserwerke Zug AG versorgen als private Aktiengesellschaft schon seit Jahrzehnten die Gemeinden Zug, Cham und Hüneberg, dies sind ca. 5'500 Gebäude, mit Trinkwasser. Das Unternehmen wurde 1878 von Bürgern als private Aktiengesellschaft gegründet, weil die Gemeinde nicht fähig war, einwandfreies Trinkwasser zu liefern. Es ist dominant in der Elektrizitäts- und Gasverteilung, aber auch in der Signalverteilung (Kabelfernsehen) tätig und versorgt weite Gebiete der Zentralschweiz. Die 169 Mitarbeiter haben 1999 einen Umsatz von insgesamt 143 Mio. SFr. erzielt; 7.5 Mio. SFr. davon im Bereich Wasser mit 5.6 Mio. m³ Wasser. Das Aktienkapital beträgt 25 Mio. SFr.

Rund 20 % der Aktien sind in öffentlicher Hand und die Mehrheit der rund 3'000 Aktionäre – meistens Kleinkunden – lebt in der Region d.h. im Versorgungsgebiet.

Ein detaillierter Konzessionsvertrag zwischen den Gemeinden und der Aktiengesellschaft regelt den Bau und Betrieb der Wasserversorgung. Die Gemeinden haben Einsitz im Verwaltungsrat. Vor Änderungen im Tarif nehmen die Werke mit dem Gemeinderat informativ Rücksprache. Sie entrichten der Gemeinde für sämtliche Rechte und Konzessionen eine Konzessionsgebühr von 7 bis 10 % aus den Bruttoeinnahmen durch den Wasserverkauf.

Neue wasserwirtschaftliche Strukturen

Die Bevölkerung der Schweiz von ca. 7 Mio. Einwohnern wird von rund 3'000 Wasserversorgungen mit Trinkwasser versorgt. Rund 40 % des verteilten Trinkwassers benötigt keine Aufbereitung und kann ab Quelle direkt verteilt werden; rund ein Drittel wird einstufig, der Rest mehrstufig aufbereitet. Auf Grund der reichen Wasservorkommen musste in der Schweiz kein nationales Transportnetz aufgebaut werden.

Effizienzsteigerung und Aufbau der Fachkompetenz in der Wasserversorgung sind nicht nur durch neue Organisationsformen, sondern auch durch den Zusammen-

schluss von Wasserversorgungen und das Ausnützen von Synergien möglich. Als Kräfte wirken:

- **der Staat, der abgestimmt auf die natürliche Verhältnisse (Einzugsgebiete) einen Zusammenschluss fördert oder anordnet**
- **der Wettbewerb, der die verselbständigten Werke zwingt, nach Möglichkeiten der Kosteneinsparung zu suchen.**

Bund und Kantone haben die Verantwortung für die Wasserversorgung an die Gemeinden delegiert. In einigen Regionen besteht die Tendenz, dass mehrere Gemeinden – zum Teil auf Druck der kantonalen Behörden – ihre Wasserversorgungen vernetzen und sich in Gruppenwasserversorgungen als öffentlich-rechtliche Zweckverbände oder als einfache Gesellschaften zusammenschliessen, um die Aufgaben der Wasserversorgung, insbesondere Wassergewinnung und Spitzendeckung, gemeinsam zu lösen [11]. In den Ballungsgebieten Zürich, Genf, Bern und Basel kommt zum System der Gruppenwasserversorgung die Überlagerung mit einem überregionalen Verbundsystem hinzu.

a) **Beispiel regionale Wasserversorgungen im Kanton Bern** [10]

Die regionale Wasserversorgung hat im Kanton Bern eine lange Tradition. Mehrere grössere Wasserversorgungen wurden auf privater gewinnorientierter Initiative von der Gründung an gemeindeübergreifend konzipiert und betrieben. Als die Kenntnisse über die lokalen Wasservorkommen zunahmen und vor allem das Wasser gepumpt werden konnte, wurden die Wasserversorgungen lange Zeit als reine Gemeindeaufgabe verstanden. Erst seit rund 25 Jahren werden wieder vermehrt Wasserverbände realisiert. Am Anfang waren es allerdings reine Einzweckorganisationen, d.h. die gemeinsame Erstellung eines Wasserwerks zur Beschaffung von Zuschusswasser. Mit ähnlicher Zielsetzung wurden auch viele, meist bilaterale Verträge zwischen Wasserversorgungen mit Wasserüberschuss und Wassermangel abgeschlossen. Erst seit 15 Jahren werden umfassendere Verbände als Gemeindeverbände oder Aktiengesellschaften gegründet, denen die gesamte Wasserbewirtschaftung obliegt. Im Kanton Bern werden sechs regionale Wasserversorgungen als Aktiengesellschaften geführt. Aktionäre sind ausschliesslich die angeschlossenen rund 60 Wasserversorgungen. Die AG hat gegenüber dem Zweckverband nur noch geringe Vorteile, da die neue Bernische Gemeindegesetzgebung den Verbänden praktisch die gleiche Autonomie zugesteht.

Die öffentliche Wasserversorgung ist bekanntlich ein natürliches Monopol, unabhängig von seiner Rechtsform. Damit dieses nicht missbraucht wird, unterstehen alle Wasserversorgungen im Kanton Bern einem gesetzlichen Leistungsauftrag, sowohl im Hinblick auf die Erschliessungs- und Versorgungspflicht wie auch auf Wassermenge, Qualität, Druck und Löschbereitschaft und schliesslich auch hinsichtlich Finanzierung und Tarifierung.

Kommunikation als Chance

Die Liberalisierung findet nicht nur im Geldbeutel sondern auch im Kopf statt. Liberales Denken lebt – im Gegensatz zum totalitären Denken – von Toleranz und Transparenz.

Die Wasserversorgungen tun gut daran, den aufgeklärten Konsumenten als Kunde zu entdecken. Nach dem Motto 'Tue Gutes und sprich davon' sind die Leistungen der Wasserversorgung zu kommunizieren. Insbesondere die Querverbundunternehmen pflegen aus strategischen Überlegungen eine zielgerichtete Information mit ihren Kunden.

Nebst den unternehmerischen und wasserwirtschaftlichen Strukturveränderungen ist die Kommunikation ein wichtiges Element, um die Liberalisierung in der Wasserversorgung auf geeignete Bahnen zu lenken.

Schlussbetrachtung

Wir leben in einer sich rasch verändernden Gesellschaft mit komplexen Problemen, die nicht mehr mit der Suche nach der Wahrheit gelöst werden können. Was ist schon die Wahrheit in der Gentechnologie oder in der Klimadiskussion? Anstatt nach der Wahrheit zu suchen, beginnen wir mit der Suche nach pragmatischen Zielen. Nicht mehr zuverlässiges Wissen, welches vielfach abgekoppelt von der Allgemeinheit in einer Studierstube ausgetüfelt wird, ist gefragt - sondern sogenanntes 'sozial robustes Wissen' [12]. Der alleinige Glaube an die Unfehlbarkeit der Experten wird abgelöst durch das von Laien und anderen Experten akzeptierte Wissen. Diese Vorgänge haben auch für unsere Branche eine wichtige Bedeutung, gilt es doch, zukünftig nicht nur 'Wasserexperten' in die Diskussion über die zukünftigen Strukturen der Wasserwirtschaft einzubinden, sondern auch Vertreter von 'ausserstehenden' Disziplinen und 'fremden' Kreisen.

Literatur

- [1] Holzgang A., Meier P.: 'Der Strukturwandel verändert die Aktienwelt', NZZ, 16./17. Oktober 1999, S. 29
- [2] Buhofer & Pommerhene: 'Privatisierung auf kantonaler und kommunaler Ebene', Verlag Paul Haupt, Bern, 1993
- [3] B. A.: 'Keine Anzeichen für einen Aufbruch in der ÖVP', NZZ, 28. Juli 1999, S. 1
- [4] www.synara.ch/Workshop UBS (Abruf 14.1.2000)
- [5] NZZ: 'Kaufinteresse am schweizerischen Hochspannungsnetz', 2. März 2000, S. 21
- [6] Schiltknecht M.: 'Industrielle Werke Interlaken als selbständige, öffentlichrechtliche Anstalt', Tagungsunterlagen Wassersymposium 22. März 2000, SVGW Zürich
- [7] Föllmi H.: 'Von der öffentlichen Verwaltung zur AG', Tagungsunterlagen Wassersymposium 22. März 2000, SVGW Zürich
- [8] Keller H.: Persönliche Notizen an den SVGW zum Thema Liberalisierung in der Wasserversorgung, SVGW, 5.1.2000
- [9] Graf H.J.: 'Von der öffentlichen Verwaltung zur Holding', Tagungsunterlagen Wassersymposium 22. März 2000, SVGW, Zürich
- [10] Berdat F.: 'Regionalisierung, Finanzierung und Privatisierung der öffentlichen Wasserversorgung', Schreiben an den SVGW, 22.12.1999
- [11] Klein H.-P.: 'Struktur der schweizerischen Wasserversorgung in der Privatisierungsdiskussion', Vortrag PUSCH-Tagung, Zürich, 2000
- [12] Nowotny H.: 'Keine Angst vor der Agora, Wissenschaft und Gesellschaft - eine neue Beziehung', Bulletin ETH Zürich, Nr. 277, April 2000, S. 8



Dipl.-Ing. Helmut Haumann

Vorstandssprecher der Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln AG
Präsident der Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e. V. (ARW)

Liberalisierung in Europa

Auswirkungen
auf die Wasserversorgungsunternehmen im
Rheinstromgebiet?

– Die Situation in Deutschland –

Vorreiterrolle des Energiemarktes

Am Anfang des Weges in das 3. Jahrtausend steht die Trinkwasserversorgung in Deutschland vor der Liberalisierung. Das macht sich besonders in Querverbundunternehmen bemerkbar. In den Sparten Strom und Gas wurden bzw. werden die Märkte europaweit geöffnet. Die Unternehmen haben Kosten den Prozessen wie Erzeugung und Durchleitung zuzuordnen. Durch stagnierende oder zurückgehende Abnahmen entstandene Überkapazitäten müssen vermarktet oder zurückgebaut werden. Die Vermarktung kann nicht mehr auf ein Konzessionsgebiet beschränkt bleiben. Diesbezügliche Einschränkungen durch Gemeindeordnungen verlieren mit der Liberalisierung ihre Rechtfertigung. Unter diesen Randbedingungen wird das Monopol 'Wasser' zu einem Fremdkörper im eigenen Querverbundunternehmen.

Die besondere Betroffenheit der Rhein-Wasserwerke

Anders als im Bundesdurchschnitt überwiegen bei den Rhein-Wasserwerken die im Querverbund organisierten Wasserversorgungsunternehmen. Von den 43 deutschen Rhein-Wasserwerken sind nämlich nur 20 ausschließlich Wasserversorger, also weniger als die Hälfte, allerdings mit einem mehr als hälftigen Anteil an der Gesamtfördermenge. Letzteres liegt an den großen Trinkwassermengen von nur drei überregionalen Fernwasserversorgern. Im Bundesdurchschnitt ist das Verhältnis annähernd umgekehrt: 1011 ausschließlich in der Wasserversorgung tätigen Unternehmen standen 1997 nur 581 im BGW organisierte Querverbundunternehmen gegenüber. Die Betroffenheit der Rhein-Wasserwerke beim Thema 'Liberalisierung' ist damit überdurchschnittlich.

Politische und rechtliche Randbedingungen

Zudem sind sich ändernde politische und rechtliche Randbedingungen im Gespräch. So beabsichtigt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie die Streichung der noch bestehenden Sonderregelung im § 103 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) für den Bereich Wasser. Die Konsequenzen wären ein Verbot der Demarkation, womit ein konkurrierender Leitungsbau möglich wird, und eine Erleichterung der Durchleitung. Die Europäische Union sieht zwar derzeit noch keine zwangsweise Marktöffnung für Wasser vor. Aber Überlegungen zur Einführung

eines einheitlichen Konzessionsrechtes mit Ausschreibungspflicht weisen auch beim Wasser in Richtung Wettbewerb; so auch der Entwurf der Europäischen Wasser-rahmenrichtlinie mit der Einführung kostendeckender Preise und die Tatsache, dass die EU Quersubventionierungen Grenzen setzen will.

Marktsituation in Deutschland

In Deutschland sind die Abgabemengen bei Trinkwasser rückläufig. Auch in diesem Sektor muss also über Stilllegungen und das Erschließen neuer Geschäftsfelder und Märkte nachgedacht werden. Ein großes Potenzial des Wassermarktes liegt im Ausland. An diesem Markt sind deutsche Unternehmen aber nur zu weniger als 1 % beteiligt. Umgekehrt sind deutsche Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen inzwischen zu begehrten Objekten ausländischer Investoren geworden. Schließlich erreichten 1998 die geschätzten Umsätze in der Trinkwasserbranche 9,0 Mrd. € und die Investitionen 2,7 Mrd. €. Im nächsten Jahrzehnt stehen in Deutschland geschätzte Investitionen von 15 Mrd. € in der Trinkwasserversorgung an. Längst hat bereits der Wettbewerb um die Versorgungsunternehmen selbst begonnen.

Hoffnungen und Besorgnisse

Die eventuellen Auswirkungen der Liberalisierung können aus Sicht der Unternehmenseigner hoffnungsvoll oder skeptisch betrachtet werden.

Hoffnungen:

- **Freisetzung von Rationalisierungs- und Kostensenkungspotenzialen**
- **Verlangsamte Wasserpreisanstiege oder sogar Verbilligungen**
- **Kostentransparenz und Ende der Quersubventionierungen**
- **Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit**
- **Verbesserte Dienstleistungen, Kundenorientierung**

Besorgnisse:

- **Eingehen höherer Risiken**
- **Verlust kommunaler Kontrollen**
- **Preissteigerungen nach Marktberreinigung**
- **Vernachlässigung von Vorsorge und Ressourcenschutz**
- **Technische Machbarkeit, Investitionsbedarf und Haftungsfragen**

Schön wäre es natürlich, wenn sich die Hoffnungen erfüllen ließen, ohne damit Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Es soll deshalb im Folgenden auf einige Besorgnisse näher eingegangen werden.

Technische Machbarkeit

Das Durchleiten und Mischen unterschiedlicher Wässer ist nur unter bestimmten Voraussetzungen machbar. Alle in ein gemeinsames Netz einzuspeisenden Wässer müssten aufbereitet und in entscheidenden Parametern vereinheitlicht werden. Große Investitionen würden erforderlich. Das erscheint weder sinnvoll, wirtschaftlich noch wünschenswert. Ähnliche Vorbehalte 'technischer Nichtmachbarkeit' ließen noch vor wenigen Jahren eine Liberalisierung des Strommarktes absurd erscheinen. Heute wird im inzwischen liberalisierten Strommarkt darüber nicht einmal mehr gesprochen. Technisch nicht Machbares ist also kein verlässlicher Ausschließungsgrund für eine Liberalisierung. Im fortlaufenden gesellschaftlichen Wertewandel kann es ja durchaus

als reizvolle Innovation gelten, in komplexen Versorgungsverträgen Haftungsfragen zu regeln und neue technische Anforderungen zu definieren. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass die Fachleute der Rhein-Wasserwerke einen solchen Wertewandel unterstützen würden. Auch künftig wird sicherlich das Machbare nur dort realisiert, wo es erforderlich und auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Vernachlässigung von Vorsorge und Ressourcenschutz

Für die Rhein-Wasserwerke stellt die mit einer Liberalisierung eventuell einhergehende Vernachlässigung von Vorsorge und Ressourcenschutz die größte gemeinsame Besorgnis dar. Das Spezifische der Rhein-Wasserwerke ist ja ihre Mitgliedschaft in den Organisationen der Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR). Die IAWR 'fördert auf internationaler Ebene Bestrebungen und Maßnahmen, die darauf gerichtet sind, die durch Verschmutzung und sonstige Beeinträchtigung der Beschaffenheit des Rheins und seiner Nebenflüsse (Rheineinzugsgebiet) verursachten Gefahren für die öffentliche Wasserversorgung abzuwenden und zu beseitigen', so ihre satzungsgemäße Aufgabe. Die Rhein-Wasserwerke unterhalten ein international abgestimmtes Messprogramm, führen Arbeitstagungen durch und begründen erforderliche Gewässerschutzmaßnahmen.

Rheinwasseruntersuchungen

Die Rheinwasseruntersuchungen resultierten aus der Not, dass keine andere Instanz die für die Wasserwerke wichtigen chemischen Flusswasseranalysen vornahm. Zuständig hierfür sind die deutschen Bundesländer. Diese haben in den 80er Jahren nachgerüstet. Es entstand am Rhein ein Netz von Messstationen mit automatischer Probenahme und teilweiser Online-Analytik. Zusätzlich setzen mehrere Länder Messschiffe zur Überwachung des Rheins und seiner Nebenflüsse ein. Das deutsche Untersuchungsprogramm Rhein (DUR), das von der Deutschen Kommission zum Schutze des Rheins (DK) verabschiedet wird, ist mit dem Programm der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) und mit den Messprogrammen der Wasserwerke abgestimmt. Letzteres erfolgt seit nunmehr 15 Jahren in der von DK und ARW gemeinsamen Besprechungsgruppe Gütemessprogramme Rhein. Die Aufgabenteilung zwischen Behörden und Wasserwerken sieht wie folgt aus: Parameter zur Routineuntersuchung werden behördlicherseits erhoben, während sich die Wasserwerke vorrangig der Analyse noch unbekannter Wasserinhaltsstoffe widmen. Relevante Neuentdeckungen sollen später in die behördlichen Messprogramme übernommen werden. Früher wurden die Rheinwasseruntersuchungen der ARW vom Land Nordrhein-Westfalen finanziell unterstützt. Die Bezuschussungen wurden 1992 eingestellt.

Aktive Unterstützung des Gewässerschutzes

Vorsorgender Gewässerschutz ist die ideale Risikominimierung für die Trinkwasserbeschaffenheit auch jenseits festgelegter Grenzwerte. Die Rhein-Wasserwerke unternehmen vielerlei Anstrengungen,

- um für eine Gewässerbeurteilung Summen- und Gruppenparameter zu entwickeln, die zum Teil auch in das deutsche Abwasserabgabengesetz aufgenommen wurden (AOX),
- um Zielwerte für die Gewässerbeschaffenheit vorzugeben, die behördlicherseits zur Beurteilung von Abwassereinleitungen herangezogen wurden,

- **um unfallbedingte Gewässerbelastungen nachzuweisen, deren Herkunft dann behördlicherseits nachgegangen werden konnte, und**
- **um organische Mikroverunreinigungen analytisch erfassbar zu machen und sie schon am Ort ihrer Entstehung in den Griff zu bekommen.**

Trotz des Zieles, die Gewässer so zu schützen, dass mit ausschließlich natürlichen Verfahren Trinkwasser gewonnen werden kann, blieb den Wasserwerken aber der Bau von Aufbereitungsanlagen nicht erspart.

Risikobereitschaft

Es ist unstrittig, dass die Wasserwerke von Vorsorgemaßnahmen auch selber profitieren. Unter den heute zum Maßstab werdenden Wirtschaftlichkeitskriterien, die eine präzise Gegenleistung für Aufwendungen fordern, kämen aber viele Vorsorgemaßnahmen nicht mehr zum Tragen. Die Einführung des Wettbewerbes erfordert ein Bekenntnis auch zum Risiko. Um trotzdem der Vorsorge einen hohen Stellenwert zu erhalten, bieten sich folgende Wege an:

- **die Finanzierung der freiwilligen Leistungen der Wasserwerke durch die an diesen Leistungen interessierten Behörden,**
- **gesetzliche Regelungen, die zu diesen Leistungen verpflichten, wobei Wettbewerbsverzerrungen natürlich zu vermeiden sind,**
- **eine Verlagerung der Vorsorge auf die Zulassung von Produkten, deren Herstellung und deren Verbleib.**

Eben in dieser Reihenfolge sollten Strategien entwickelt werden. Vielleicht wäre damit der positive Effekt verknüpft, dass Vorsorge mit etwas mehr Vorsicht umgesetzt würde. Es ist nämlich durchaus ein Missstand, wenn wie bisher ausschließlich das Medium Trinkwasser durch entsprechende Vorsorge-Grenzwerte geschützt werden soll und darüber hinaus als Rechtsinstrument zum Durchsetzen eines vorsorgenden Gewässerschutzes missbraucht wird.

Nicht bezahlte Dienstleistungen

Typische von Wasserwerken in Deutschland erbrachte, aber nicht abgerechnete Dienstleistungen sind:

- **die Vorhaltung von Feuerlöschreserven,**
- **die Sicherstellung einer hohen Betriebssicherheit durch Kapazitätsvorhaltungen und gleichzeitig die Unterhaltung von Notbrunnen,**
- **und schließlich die zahlreichen Maßnahmen zum Ressourcenschutz, nicht nur das Medium Wasser betreffend,**
- **sondern auch die Bereiche Land- und Forstwirtschaft.**

Diese Aufzählung zeigt nicht nur, in welchem Umfeld die Wasserwirtschaft fördernd tätig ist, sie macht auch deutlich, dass internationale Preisvergleiche, die deutsches Trinkwasser als zu teuer ausweisen, es eben an der Vergleichbarkeit fehlen lassen. Deutlich wird aber auch, wo zur Herstellung einer Vergleichbarkeit der Preise und unter dem Druck der Wirtschaftlichkeit über Aufgaben zu verhandeln sein wird, die den Wasserwerken zurzeit unentgeltlich abverlangt werden. Es ist zumindest erörterungswürdig, ob ein Versorgungsunternehmen, das selber durch Schaffung von

Redundanzen auch den Ausfall eines seiner Versorgungseinrichtungen ersetzen kann, zusätzlich nach dem Wassersicherstellungsgesetz Notbrunnen unterhalten muss. Diese doppelte Sicherheit ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht dauerhaft finanzierbar.

Künftige Kooperation der Rheinwasserwerke

Nachdem die Sanierung des Rheins große Erfolge zeitigte und die Trinkwassergewinnung wieder gesichert ist, stellen sich neue Aufgaben hinsichtlich der Gütesicherung des Grundwassers und der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Die Erfahrungen der Rhein-Wasserwerke mit der internationalen Zusammenarbeit in einem Flusseinzugsgebiet werden bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie eine wichtige Unterstützung sein. Dabei können auch Dritten Dienstleistungen angeboten werden: Gewässergüteüberwachung, Güteauswertungen, Forschungsprojekte zur Erfassung und Beurteilung organischer Mikroverunreinigungen.

Da künftig auch Grundwasser in die Gesamtbewirtschaftung einbezogen wird, könnten die damit zusammenhängenden Erhebungen und Auswertungen von den Wasserwerken angeboten werden, die auf diesem Gebiet bereits selber tätig geworden sind und Erfahrungen gesammelt haben. Zunehmend besteht Handlungsbedarf durch die anstehenden Maßnahmen beim Hochwasserschutz und der Renaturierung der Gewässer.

Schließlich bleiben die lokal erbrachten Dienstleistungen zu erwähnen: Vorhalten von Feuerlöschreserven, Sicherstellung einer hohen Betriebssicherheit durch Kapazitätsvorhaltungen oder Verbünde, Unterhaltung von Notbrunnen und die Maßnahmen zum Ressourcenschutz, auch im Bereich Land- und Forstwirtschaft.

Auch im Verbändewesen gibt es Rationalisierungsmöglichkeiten, die nicht ungenutzt bleiben sollten. Innerhalb IAWR wird deshalb zu prüfen sein, ob neben dem Dachverband noch 3 Regionalverbände als selbständige Einheiten erhalten bleiben müssen.

Schlussfolgerungen

Aus der Erkenntnis, dass gegenwärtig trotz gewichtiger Gegenargumente die Abschaffung von Monopolen zugunsten eines liberalisierten Marktes politisch gewollt ist, sind folgende Schlüsse zu ziehen:

Bestehende Strukturen werden verändert, wenn Monopole dem freien Wettbewerb geöffnet werden. In der Abfolge gleichen sich die Szenarien bei den unterschiedlichen Branchen der Ver- und Entsorgung mit oder von leitungsgebundenen Produkten:

- **Neue Unternehmen werden gegründet, bestehende verlieren Kunden, müssen Absatz und Personal reduzieren.**
- **Zwischen Produzenten und Endverbraucher etabliert sich der Handel.**
- **Prozesse wie 'Produktion' und 'Netze' werden betriebswirtschaftlich von einander abgegrenzt.**
- **Überkapazitäten werden zu Dumpingpreisen am Markt angeboten.**
- **Unterhaltungsmaßnahmen und Investitionen werden minimiert.**
- **Preisreduzierungen werden durch Steuererhöhungen für den Verbraucher wieder neutralisiert.**
- **Im Preiskampf werden wenige Unternehmen überleben.**
- **Der danach neugeordnete Markt kann schließlich wieder Preisanhebungen durchsetzen.**

Man könnte sich Zwischenstufen des zum Teil leidvollen Weges ersparen, würde man

sich von vorneherein auf den Endpunkt einstellen.

Querverbundunternehmen erleben derzeit die Einführung des Wettbewerbes im Strom- und Gassektor. Die noch gültige Ausnahme für die Wasserbranche kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass neben dem Wegfall von alten Monopolen bereits ein Wettbewerb um die Unternehmen selbst begonnen hat.

Vor diesen neuen Randbedingungen treten die alten Aufgaben in ihrer Bedeutung zurück. Besonders davon betroffen ist das Ziel einer weiteren Sanierung des Rheins. Das ist kein existentielles Anliegen der Wasserwerke mehr, da die schon erreichten Sanierungserfolge eine wieder jederzeit sichere Trinkwasserversorgung ermöglichen. Gleichwohl bleibt das Ziel für die Wasserwerke verbindlich. Es wird aber zu prüfen sein, wie dies noch wirtschaftlicher erreicht werden kann mit welchen Finanzierungsmöglichkeiten. Gerade hinsichtlich der zu erwartenden EU-Wasserrahmenrichtlinie werden zahlreiche neue Anforderungen auf das Gewässermanagement zukommen. Die Rhein-Wasserwerke werden ihr Fachwissen, ihre Untersuchungskapazitäten und Forschungsmöglichkeiten gerne als Dienstleistungen zu marktwirtschaftlichen Konditionen zur Verfügung stellen.

Wir betrachten die unter dem Zeichen der Liberalisierung geänderten Rahmenbedingungen als Herausforderung, um die Trinkwasserversorgung ins 3. Jahrtausend wirtschaftlich und sicher, eben mit der gebotenen Nachhaltigkeit, zu führen.





Ir. Maarten K. H. Gast
Gemeentewaterleidingen,
Amsterdam

Liberalisierung in Europa

Auswirkungen
auf die Wasserversorgungsunternehmen im
Rheinstromgebiet?

– Die Situation in den Niederlanden –

1. Inhalt Vortrag

Wie stellt sich die Situation in den Niederlanden dar? Ich möchte in meinem Vortrag eingehen auf die geschichtliche Entwicklung, auf den gesetzlichen Rahmen und auf die heutige praktische Situation. Ein weiterer – und wie ich meine, sehr wichtiger Punkt – sind die politischen Vorhaben, die Entwicklungsmöglichkeiten, die wir als Wasserbetriebe sehen und das Dilemma, in dem wir uns gegenwärtig befinden.

2. Die Trinkwasserversorgung

2.1 Geschichte

Die Geschichte der Trinkwasserversorgung in den Niederlanden beginnt 1853 mit der ersten Trinkwasserlieferung in Amsterdam. Anfänglich lag diese in Händen eines mit englischem Kapital gegründeten Privatunternehmens; die Kosten beliefen sich auf 1 Pfennig pro Eimer, das entspricht ungefähr 1 DM pro Kubikmeter - gegenüber DM 2,50 heute. Seit mehr als 100 Jahren ist daraus ein kommunales Unternehmen geworden.

Nachher sind in den letzten 150 Jahren überall in den Niederlanden von den Kommunen gegründete Wasserwerke entstanden, die ab 1920 von den Provinzen im Hinblick auf die notwendige Versorgung der ländlichen Gegenden genehmigt wurden. Seit dem 2. Weltkrieg sind fast alle Haushalte – das heißt 16 Millionen Einwohner – an das Trinkwassernetz angeschlossen, während ca. 15.000 zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch ohne Anschluss sind.

2.2 Gesetzliche Situation

Es gibt in den Niederlanden ein Wasserversorgungsgesetz (Waterleidingwet). Dieses Gesetz regelt die Qualität des Trinkwassers und die Organisation der Trinkwasserversorgung. Zuständig für die Organisation sind die Provinzen. Darüber hinaus regelt dieses Gesetz die Planung, das heißt die Sicherstellung der Gewinnung und Lieferung - eine Aufgabe der VEWIN, der nationalen Organisation der Trinkwasserbetriebe.

Die Hauptfrage, welche Institution für die Trinkwasserversorgung verantwortlich ist, ist nirgends geregelt, weder im Wasserversorgungsgesetz, noch in den Gesetzen zum Gesundheits- oder Umweltschutz oder in den Wohnungsgesetzen. In der diesbezüglichen Diskussion können wir uns nur auf das Grundgesetz berufen, in dem es einen allgemeinen Artikel zur konstitutionellen Einrichtung der Gemeinden und Provinzen gibt.

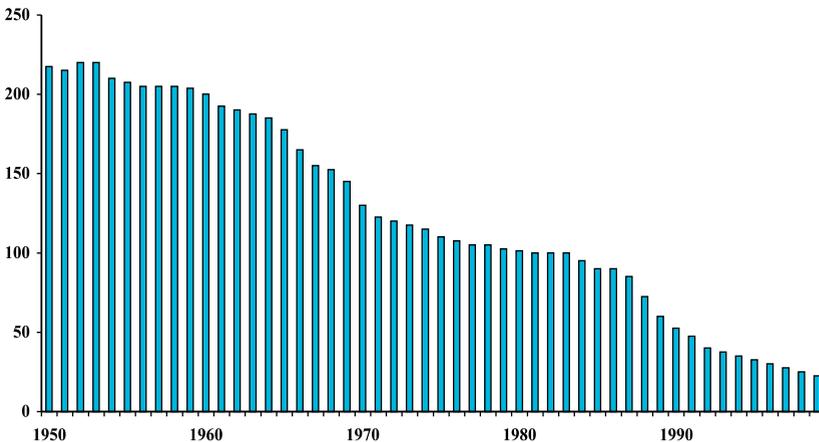
2.3 Anzahl der Betriebe

Von 1950 bis heute ist die Anzahl der Trinkwasserbetriebe, die sich ursprünglich auf über 200 belief, auf circa 20 zurückgegangen. (Abb. 1)

Also ganz andere Zahlen als in der Schweiz mit 3.000 und in Deutschland mit 6.500 Betrieben.

Abbildung 1

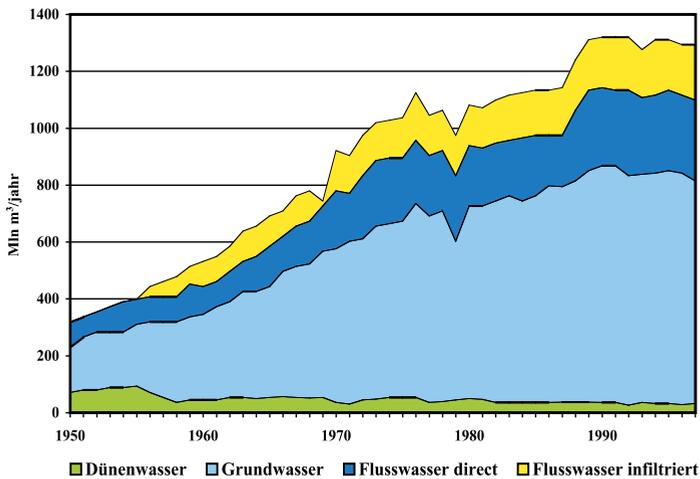
Zahl der Trinkwasserbetriebe (1950-2000)



In demselben Zeitraum ist die Trinkwasserlieferung ständig angestiegen, und zwar von 200-300 Millionen auf 1,2/1,3 Milliarden Kubikmeter pro Jahr. (Abb. 2)

Abbildung 2

Trinkwasserlieferung (1950-2000)



Wir sehen also für denselben Zeitraum eine Verfünffachung auf der einen gegenüber einer Reduzierung auf ein Zehntel auf der anderen Seite.

2.4 Aktuelle Situation

Zum 1. Januar 2000 gab es in den Niederlanden noch 19 Trinkwasserbetriebe - und dazu zähle ich nur die reinen Trinkwasserbetriebe, also nicht die Zulieferergesellschaften wie WRK (Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland) und WBB (Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch).

Diese 19 Unternehmen lassen sich auf drei unterschiedliche Methoden einteilen:

1. Versorgungsgebiet

- 16 Regionalbetriebe
- 3 Versorgung einer Gemeinde (Tilburg, Maastricht, Doorn)

2. Eigentumsstatus

- 1 Gemeindebetrieb (Amsterdam)
- 17 Öffentlich-rechtliche Körperschaften
- 1 Privatunternehmen (Doorn)

3. Produktlieferung

- 16 nur Trinkwasser
- 3 Trinkwasser + Energie +++ (DELTA, NUON, Maastricht)

Abbildung 3

Versorgungsgebiete Trinkwasser

-  Arbeitsgemeinschaft DGPW
-  Arbeitsgemeinschaft Hydron
-  Arbeitsgemeinschaft DELTA, WBE und TWM
- 100** Einwohner x 1000



3. Anderes Wasser und Energie

3.1 Kanalisation

Wie sieht es auf dem Gebiet der Kanalisation aus? Die Verantwortung für die Kanalisation ist im Umweltschutzgesetz geregelt. Sie ist Aufgabe der Gemeinden. Zum 1. Januar 2000 hatten wir 537 Gemeinden in den Niederlanden. Und dann ergibt sich ein durchaus anderes Bild.

Abbildung 4
Verwaltungsgrenzen Gemeinden



3.2 Abwasserreinigung

Die Abwasserreinigung ist im Wasserhaushaltsgesetz als Aufgabe der Wasserverbände geregelt.

Die Wasserverbände sind verantwortlich für die Qualität und Quantität der Oberflächengewässer. Bei ihnen liegt auch die Zuständigkeit für die passive Qualitätskontrolle - also die Regulierung - und die aktive Kontrolle - also die Reinigung. Zum Stichtag des 1.1.2000 gab es 22 Wasserverbände, die in diesem Bereich tätig waren. Zuständig für das Grundwasser sind nicht die Wasserverbände, sondern die Provinzen.

Abbildung 5

1. Januar 2000: 22 Wasserverbände



3.3 Energie

Die Energieversorgung lässt sich in Strom und Erdgas unterteilen. Hier haben wir 4 Großunternehmen, zusätzlich im Stromsektor 10 kleinere und im Erdgasbereich 14 kleinere Betriebe.

Sehe Abbildung 6 und 7.

Die 4 großen sind Nuon, Essent, Eneco und Remu.

Abbildung 6
Versorgungsgebiete Elektrizität

— NUON	5,7 Millionen Einwohner
— Essent	5,2 „
— Eneco	2,5 „
— REMU	1,1 „



4. Weiterentwicklung der Trinkwasserversorgung

4.1 Möglichkeiten

Welche Möglichkeiten zeichnen sich ab bei der Weiterentwicklung des gesamten Versorgungsbereichs oder auch nur der Trinkwasserbetriebe?

Wir sehen vier Entwicklungsmöglichkeiten:

1. Fixierung status quo
2. Zusammenlegung Trinkwasserbetriebe
3. Integrierte Wasserbetriebe (Trink- und Abwasser)
4. Multi-utilities

Abbildung 7

Versorgungsgebiete Erdgas

■	- NUON	4,5 Millionen Einwohner
■	- Essent	4,0 „
■	- Eneco	3,0 „
■	- REMU	1,0 „



4.2 Regierungsstandpunkt

Welchen Kurs fährt die niederländische Regierung in der Trinkwasserversorgung? Sie vertritt einen deutlichen Standpunkt, der voll und ganz vom Parlament und auch von der Bevölkerung unterstützt wird.

Dieser Standpunkt ist:

- **Trinkwasser ist ein natürliches Monopol, die Versorgung eine öffentliche Aufgabe.**
- **Gewinnung, Lieferung und Verteilung sollen in einer Hand sein und bleiben. Das heutige Niveau soll aufrechterhalten werden, das heißt, der hohe Qualitätsstandard, eine gesicherte Lieferung und der Preis müssen gewahrt bleiben. Genau in dieser Reihenfolge: Qualität, Liefergarantie und Preis, wird das für wichtig gehalten. Der Preis steht an dritter Stelle.**
- **Keine Privatisierung und keine Marktwirkung in den wesentlichen Zuständigkeitsbereichen der Organisationen.**
- **Ein obligatorisches Bench-Marking, um diese Monopole transparenter zu machen.**

Zu dem wesentlichen Aufgaben müssen auch gerechnet werden:

- **Naturschutz der Wasserschutzgebiete**
- **Umweltschutz**
- **Entwicklungshilfe**
- **Wir sollen unser Wissen und unsere Erfahrung auch anderen Teilen der Welt zur Verfügung stellen.**
- **Anliegen des Parlaments ist weitere Integration im Wasserkreislauf.**

Um dieses Vorhaben auch in die Tat umzusetzen, bereitet die niederländische Regierung momentan eine Änderung des Trinkwassergesetzes vor, die darauf abzielt, dass die Trinkwasserbetriebe ausschließlich öffentliches Eigentum sein dürfen.

Weiter erwägt die Regierung, festzuschreiben, welche Betriebe welche Versorgungsgebiete haben werden.

4.3 Zusammenlegung der Trinkwasserbetriebe

Die Zusammenlegung der Trinkwasserbetriebe ist nicht Aufgabe des Staates, sondern eine Angelegenheit der Betriebe selbst. Nach der ersten Bench-Mark, 1997, ist zu erkennen, dass durch eine bessere Ausnutzung der Produktionsbetriebe, durch Einsparungen im Ein- und Verkauf und durch geringere Overheadkosten eine 10- bis 30%ige Senkung der operationellen Kosten möglich wäre.

In verschiedenen Regionen Hollands werden jetzt Fusionsgespräche geführt und ich kann mir vorstellen, dass wir in Zukunft nur noch 5 bis 8 Betriebe haben werden. Das wäre eine gute Sache.

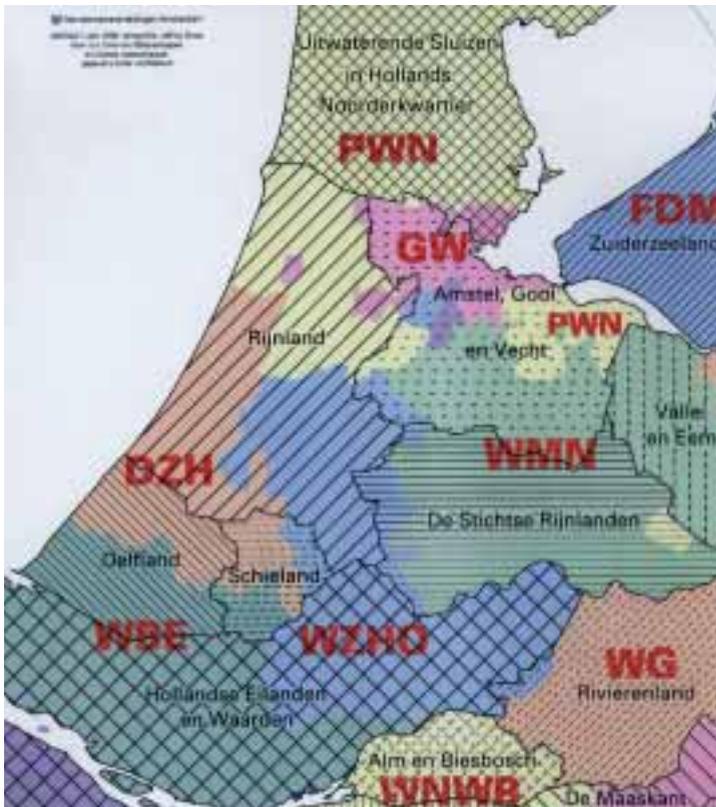
4.4 Integration im Wasserkreislauf

Die andere Entwicklungsrichtung heißt Integration im Wasserkreislauf, eine Lösung, die mit Sicherheit Vorteile hat, Vorteile im Bereich der Grundwasserkontrolle und -nutzung. Die Kanalisation ist für kleine Gemeinden eine große Aufgabe, die finanzielle Probleme aufwirft. Größere Betriebe könnten diese besser lösen. Vorteile brächte auch eine Integration des Managements der verschiedenen Netze und – wie das in Deutschland und auch in anderen Ländern üblich ist – eine gemeinsame Rechnung für Trinkwasser, Kanalisation und Abwasserreinigung wäre sicherlich eine positive Entwicklung.

Das große Problem in den Niederlanden ist jedoch die Abgrenzung der Verwaltung, die bei uns historisch ganz anders gewachsen ist als in vielen anderen Ländern. Da haben wir auf der einen Seite die Eigentümer der Trinkwasserbetriebe, auf der anderen Seite die Gemeinden mit ihrer Zuständigkeit für die Kanalisation und auf der dritten Seite die Wasserverbände mit ihren eigenen Vorstandsstrukturen, die für die Abwasserreinigung verantwortlich sind.

Abbildung 8

Trinkwasserbetriebe und Wasserverbände



Ein Detailbild des Großraum Amsterdam macht deutlich, wie schwierig das sein kann. Das Schwarz steht für die verschiedenen Wasserverbände, die farbigen Flächen markieren die Versorgungsgebiete der Trinkwasserbetrieben.

Wie Sie sehen, verlaufen die Grenzen der Trinkwasserversorgung und der Abwasserreinigung nirgendwo deckungsgleich. Diese Gebiete sind zwar nicht allzu groß, aber dicht bevölkert. Es wird eine sehr schwierige Aufgabe sein, dies besser aufeinander abzustimmen.

4.5 Multi-Utilities

Die dritte Entwicklungsrichtung ist die der Multi-Utilities. Auch dieser Weg hat sicherlich Vorteile. Diese Vorteile sind:

- **ein einziger Auskunft- und Beratungsschalter für die Abnehmer**
- **nur eine Rechnung für Wasser, Abwasser und Energie**
- **eine stärkere Integration des Managements der einzelnen Netze.**

Hinzu kommt ein weiterer Punkt, der in den Niederlanden und auch in Deutschland große Bedeutung hat, die Kommerzialisierung unseres Know-hows im Ausland. Wir sehen, dass die Engländer und Franzosen fast die ganze Welt mit ihrem Know-how und ihrer Erfahrung überziehen. Auch wir haben sehr viel anzubieten, und in Holland wird oft darüber gesprochen, wie wir die Welt an unserem Know-how teilhaben lassen können – oder wie wir damit Geld verdienen können. Die großen Energiebetriebe mit ihren großzügigen finanziellen Möglichkeiten wären dazu sicher in der Lage.

Das Problem hier ist jedoch die Privatisierung der Energiebetriebe, die zwar noch nicht stattgefunden hat, aber erwartet wird und auch von den Energiebetrieben selbst vorausgesagt wird. Wie ich in 4.2 erläutert habe, befürwortet die Regierung nicht eine Privatisierung der Wasserversorgung – da liegt also Konfliktpotential.

Und wenn wir uns die aktuelle Situation genauer anschauen, zeigt sich, dass die vier großen Multi-Utilities in Holland alle auf dem Strom- und Erdgassektor tätig sind, einige auch im Telecom-, Müll- und Abwasserbereich aktiv sind, während nur zwei auf dem Trinkwassersektor operieren (DELTA und NUON).

Abbildung 9
Aktivitäten der Multi-Utilities

	Elektrizität	Erdgas	Telecom	Mühl/ Abwasser	Trinkwasser
NUON	●	●	–	●	●
Essent	●	●	●	●	●
Eneco/REMU etc.	●	●	–	●	●
DELTA	●	●	●	●	●

Activ ●
 Beschränkt activ ●

5. Dilemma

Das Dilemma, in dem wir uns befinden, ist folgendes:

(siehe unterstehendes Übersicht)

Monotrinkwasserbetriebe:

- + Weitere Konzentration gut möglich
- Ausnahme international

Integrierte Wasserbetriebe:

- + Freiwillige Zusammenarbeit entsteht
- Verwaltungsintegration sehr schwierig

Multi-utilities:

- + Kommerzialisierung Wasserkenntnis
- Privatisierung für Wasser nicht erlaubt

Die Entwicklungstendenz zu Monotrinkwasserbetrieben hat den Vorteil, dass eine weitere Konzentration ohne weiteres möglich ist und gut funktionieren wird. Wenn wir die Entwicklung in diese Richtung weiter vorantreiben, handeln wir uns den Nachteil ein, international mehr und mehr eine Ausnahme zu werden oder zu bleiben, nicht allein in Europa, sondern weltweit.

Momentan entstehen integrierte Wasserbetriebe aus einer freiwilligen Zusammenarbeit zwischen Wasserverbänden, Trinkwasserbetrieben und Gemeinden. Die faktische Verwaltungsintegration wird aber in den Niederlanden sehr schwierig sein.

Die Multi-Utilities haben den Vorteil der Kommerzialisierung unseres Know-hows, aber dem steht gegenüber, dass eine Privatisierung des Wassers per Gesetz nicht gestattet sein wird und weder vom Parlament noch von der Bevölkerung gewünscht ist.

Von daher sind Prognosen über eine künftige Entwicklung äußerst schwierig. Die aktuelle Situation ist, dass verschiedene Betriebe Fusionsgespräche führen.

Im Westen haben wir schon eine Zusammenarbeit zwischen Amsterdam und den andern zwei Dünenwasserbetrieben DZH (Den Haag) und PWN (Noord-Holland). Im Verbund mit einer vierten Partei, der WRK, als Zuliefergesellschaft, ist das sicherlich eine Option, die sich weiterentwickeln ließe.

In Mittelholland wurde schon Hydron als Kooperationsverband zwischen Utrecht, Flevoland und dem Osten Südhollands gegründet.

In Brabant wird ein gemeinsames Unternehmen für die ganze Provinz vorbereitet.

Im Osten wird über eine Fusion zwischen den Trinkwasserbetrieben der Provinzen Overijssel und Gelderland gesprochen; es geht dabei um den in Abbildung 3 rotmarkierten Teil von Gelderland, der nicht zu Nuon gehört.

Auch die Multi-Utilities sitzen nicht still. Zur Zeit laufen Gespräche zwischen Nuon und der Wasserversorgung der Provinz Limburg. Während die Direktion eine solche Fusion befürwortet, sprechen sich Provinz und Gemeinden dagegen aus.

Ein ähnliches Szenario ist in Gelderland zu beobachten. Wie schon erwähnt, führen die Trinkwasserbetriebe von Overijssel und Gelderland Fusionsgespräche, aber Nuon, das in der Mitte von Gelderland schon über einen Teil der Trinkwasserversorgung verfügt, hat für die Aktien von Wasserbetrieb Gelderland 500 Millionen geboten. Die 78 Gemeinden, die die Aktien haben, denken jetzt darüber nach. Hier sind die Rollen jedoch anders verteilt: Die Geschäftsleitung des Unternehmens sagt nein, aber die Gemeinden haben sich Bedenkzeit erbeten.

Auf der nächsten Arbeitstagung werde ich Ihnen erzählen können, was gesiegt hat, das Geld oder das Prinzip.

■



Blick auf Bonn vom Drachenfels



Optimierung des Gewässerschutzes oder technologische Aufbereitung

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kühn
DVGW-Technologiezentrum Wasser,
Karlsruhe

1. Einführung

Gewässerschutz, Aufbereitung und Kostensenkung stellen drei Bereiche dar, die nicht ohne weiteres miteinander in Einklang gebracht werden können. Ein immer weiter reichender Gewässerschutz und eine Intensivierung der Aufbereitung führen in der Regel zu mehr Kosten. Die Verbraucher stellen immer höhere Güteanforderungen an das Trinkwasser, bedingt durch den steigenden Lebensstandard und durch eine wesentliche einfachere Informationsbeschaffung zu umweltrelevanten und toxikologischen Fragestellungen beispielsweise über das Internet. Der steigende Lebensstandard bewirkt gleichzeitig eine stärkere Beanspruchung der Gewässer, da vermehrt chemische Hilfsstoffe von der Industrie produziert und von den Verbrauchern im Haushalt eingesetzt werden und somit über das Abwasser in die Oberflächenwässer gelangen.

Die Erörterung der theoretischen Fragestellung, ob dem Gewässerschutz oder der Aufbereitung der Vorzug zu geben ist, erfordert die Betrachtung von zwei Grenzfällen. Fall 1 besteht in einem Verzicht auf den Gewässerschutz, wenn eine intensive und moderne Aufbereitung zur Verfügung steht. Fall 2 geht davon aus, dass bei einem umfassenden Gewässerschutz keine Aufbereitung mehr erforderlich ist. Diese beiden Fälle sollen im Folgenden ausführlicher diskutiert werden. Die Lösung – das sei hier vorweggenommen, muss allerdings lauten: Optimierter Gewässerschutz und eine angepasste Aufbereitung.

2. Möglichkeiten und Grenzen von Aufbereitung und Gewässerschutz

2.1 Aufbereitung

Aufbereitungsanlagen werden insbesondere an Standorten, an denen eine Verunreinigung des Rohwassers nicht auszuschließen ist, mehrstufig ausgelegt. Damit ist das sogenannte multiple-barrier-system geschaffen, das eine Vorsorge auch gegen unbekannte Risiken gewährleistet. Darüber hinaus gilt es aber auch, durch die Aufbereitung technische Anforderungen an das Wasser zu erfüllen, so dass oft schon

allein aus diesem Grund auf eine Aufbereitung nicht verzichtet werden kann. Dies betrifft z. B. die Einstellung einer Wasserhärte, wie sie die Verbraucher wünschen. Die Eigenschaften des aufbereiteten Wassers müssen darüber hinaus so beschaffen sein, dass ein starker korrosiver Angriff ausgeschlossen ist. Außerdem gilt es, die Wiederverkeimung im Verteilungsnetz zu unterbinden, beispielsweise durch eine Entnahme von Substanzen während der Aufbereitung, die für die Aufkeimung des Wassers verantwortlich sind, d. h. die Aufbereitung muss auch dazu dienen, das Wasser in einem Leitungsnetz über längere Distanzen und Zeiträume verteilen zu können.

Mit dem Einsatz einer Aufbereitungstechnologie sind technische Anwendungsgrenzen verbunden. Aufbereitungsverfahren sind in der Regel wenig selektiv und wirken damit unspezifisch auf die Gesamtheit der Wasserinhaltsstoffe. Beispielsweise werden durch eine Aktivkohlebehandlung nicht nur Mikroverunreinigungen adsorbiert, sondern ebenso organische Wasserinhaltsstoffe natürlicher Herkunft. Bei bestimmten Aufbereitungsverfahren wie beispielsweise der Oxidation sowie der Desinfektion bilden sich unerwünschte Neben- und Abbauprodukte. Durch die Entnahme von Wasserinhaltsstoffen im Prozess der Aufbereitung fallen Rückstände an, die wiederum aufbereitet und entsorgt werden müssen. Der Aufbereitungsprozess ist zudem durch geeignete Verfahren zu überwachen. Die Wasseraufbereitung ist somit mit einem gewissen Kostenaufwand verbunden und hat technische Grenzen.

Allerdings kann einzig und allein eine optimierte Aufbereitung die erforderliche Sicherheit bei der Trinkwassergewinnung leisten. Selbst ein perfekter Gewässerschutz ist nicht in der Lage, natürliche Verunreinigungen beispielsweise biologischen Ursprungs, die für die Gesundheit der Verbraucher von Bedeutung sind, zu verhindern. Hinzu kommen die bereits erwähnten technischen Anforderungen an das Wasser, aufgrund deren oft auch natürliche Wasserinhaltsstoffe, z. B. Härte, Eisen und Huminstoffe mittels Aufbereitung entfernt werden müssen. Die Vorteile eines umfassenden Gewässerschutzes sind jedoch unbestritten und werden im nachfolgenden Kapitel diskutiert.

2.2 Gewässerschutz

Auch wenn ein hoher Stand beim Gewässerschutz keine 100 %-ige Sicherheit bieten kann, führt er doch zu einer effektiveren und sichereren Trinkwasseraufbereitung. Eine hinreichend gute Rohwasserbeschaffenheit im Wasserwerk gestattet es, kostengünstige Technologien einzusetzen, den Verbrauch von Zusatz- und Hilfsstoffen wie beispielsweise Aktivkohle zu minimieren und den Kontroll- und Analysenaufwand zu begrenzen. Einem Trinkwasser, das aus einem geschützten Einzugsgebiet stammt, bringen die Verbraucher zudem ein höheres Vertrauen entgegen. Ein gutes Rohwasser ist die Grundlage für die Akzeptanz des Lebensmittels Trinkwasser durch den Verbraucher. Der Gewässerschutz sorgt nicht zuletzt dafür, dass die Gewässer auch künftig gesund und ökologisch wertvoll sind.

Der Gewässerschutz beruht auf mehreren Säulen. Zulassungsbeschränkungen von gefährlichen Stoffen regeln die Einleitung von Substanzen. Aus Sicht der Trinkwasseraufbereitung ist mit erster Priorität die Begrenzung der Einleitung von Stoffen in die Gewässer, die auf Grund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften im Prozess der Trinkwasseraufbereitung nicht oder unzureichend entfernt werden können, zu fördern.

Dabei handelt es sich insbesondere um biologisch nicht abbaubare Stoffe. Zukünftige Anforderungen sollten die Minimierung der Einleitung naturfremder, nicht abbaubarer Substanzen zum Ziel haben. Um diese Forderungen in der Praxis durchzusetzen, muss eine Überwachung und Kontrolle der Beschaffenheit des Gewässers erfolgen. In Hinblick auf nicht auszuschließende Havariefälle gehört zu einem umfassenden Gewässerschutz auch die Kenntnis des Gefährdungspotentiales für das Gewässer, wie beispielsweise die Lage von Industriebetrieben, kommunalen Kläranlagen, Chemikalienlagern usw. Bei der Erarbeitung von Maßnahmeplänen sind sowohl Maßnahmen für den direkten Gewässerschutz als auch für die nachfolgende Trinkwasseraufbereitung zu erarbeiten. Darüber hinaus bietet ein sicher und schnell ansprechendes Frühwarnsystem einen guten Schutz bei der Trinkwassergewinnung.

Der Gewässerschutz wird durch verschiedene Vorschriften wie Abwasserrichtlinien oder Einleitungsbescheide bestimmt. Die Wasserrahmenrichtlinie der EU sowie das DVGW Arbeitsblatt W 251 geben Anhaltspunkte vor, inwieweit sich Gewässer zur Trinkwassergewinnung eignen bzw. zu bewirtschaften sind.

Ein Trend, wie er sich in der im Juli 2000 verabschiedeten Wasserrahmenrichtlinie der EU abzeichnet, besteht darin, dass eine Aufgliederung in einzelne bedeutende Wassereinzugsgebiete gemäß ihren jeweiligen hydrologischen bzw. hydrogeologischen Eigenschaften länderübergreifend erfolgt. Dieses Prinzip verfolgt die IAWR bereits seit mehreren Jahren. Es bleibt daher zu hoffen, dass die gemachten Erfahrungen sowie die gesammelten Erkenntnisse auch bei der künftigen Gesetzgebung berücksichtigt werden.

Mit dem IAWR-Memorandum erarbeitete die IAWR 1995 ein Bewertungsmaß für die Wasserbeschaffenheit des Rheins [1]. Das Memorandum fordert u. a. eine Beschaffenheit des Oberflächengewässers, die eine Gewinnung des Trinkwassers ausschließlich mit natürlichen Verfahren gestattet. Weitergehende chemisch-physikalische Aufbereitungsverfahren sollen insbesondere bei Unfällen, Betriebsstörungen oder Niedrigwasserperioden eine zufriedenstellende Trinkwasserqualität gewährleisten. Darüber hinaus fordert das IAWR-Memorandum, naturfremde, biologisch schwer abbaubare oder gesundheitlich bedenkliche Stoffe, die bis in das Trinkwasser gelangen können, den Gewässern fernzuhalten.

2.3 Erfolge und Probleme im Gewässerschutz

In den letzten Jahren wurden am Rhein, u. a. bedingt durch das IAWR-Memorandum, beachtliche Erfolge im Gewässerschutz erzielt. Demnach sind die IAWR-Forderungen für die allgemeinen Parameter, wie beispielsweise Sauerstoffsättigung, pH-Wert und Leitfähigkeit, erfüllt.

Unter den gelösten anorganischen Wasserinhaltsstoffen gelang es insbesondere bei Ammonium, eine erhebliche Verminderung der Fracht zu erzielen. Abbildung 1 zeigt Werte für die Ammoniumfracht im Rhein im Vergleich mit anderen Flüssen für die Jahre 1975 und 1995. In diesem Zeitraum wurde eine Verminderung der Ammoniumfracht um ca. 60 bis 90 % erzielt. Für den Rhein ging im betrachteten Zeitraum die Ammoniumfracht um ca. 80 % zurück.

Abbildung 1

Verminderung der Ammoniumfracht in Fließgewässern zwischen 1975 und 1995

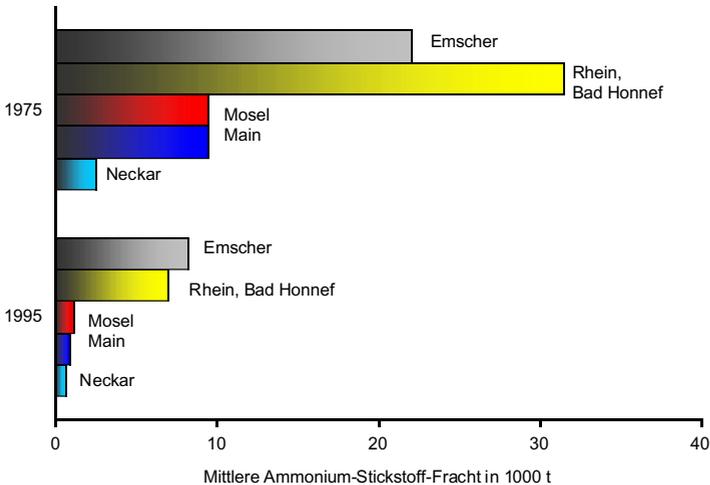


Abb. 2 stellt die Jahresfracht von Chlorid im Rhein bei Basel, Karlsruhe, Düsseldorf und Wesel in den Jahren 1980 bis 1999 dar. In diesem Zeitraum wurde eine Abnahme der Chloridfracht zwischen ca. 30 % und 60 % erzielt. Obwohl in den letzten 20 Jahren eine erhebliche Verminderung der Chloridfracht gelang, wird die vom IAWR-Memorandum vorgegebene Zielkonzentration für Chlorid im Rheinwasser von 100 mg/L nicht im gesamten Flusssystem erfüllt. Es sind somit weitere Anstrengungen notwendig, um den Chloridgehalt im Rhein zu vermindern.

Hinsichtlich der organischen Wasserinhaltsstoffe, wie sie beispielsweise über den DOC, AOX oder AOS erfassbar sind, wurden in den letzten Jahre beachtliche Anstrengungen unternommen, so dass heute die Substanzen unter den vom IAWR-Memorandum vorgegebenen Zielkonzentrationen liegen.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die DOC-Konzentration im Rhein für verschiedene Zeitabschnitte zwischen 1970 und 1999. Die DOC-Gehalte wurden als Funktion der Wasserführung aufgetragen. Die Wasserführung wurde normiert dargestellt. Q50 % entspricht der mittleren langjährigen Wasserführung. Aus dem Bild geht hervor, dass Anfang der 70-er Jahre insbesondere bei niedriger Wasserführung eine hohe organische Belastung im Rhein vorlag. Mit steigender Wasserführung war zwar eine Abnahme der DOC-Konzentration zu verzeichnen, jedoch lag die DOC-Konzentration immer noch über den entsprechenden Werten der folgenden Jahre. Seit Mitte der 80-er Jahre ist die DOC-Konzentration im Rhein weitgehend konstant geblieben. Die in den 70-er Jahren ausgeprägte Abhängigkeit der Beziehung zwischen Konzentration und Abfluss trat in den Folgejahren nicht mehr auf. Das unterschiedliche Verhalten der DOC-Konzentration in Abhängigkeit von der Wasserführung wird darauf zurückgeführt, dass der Verschmutzungsgrad durch Abwassereinleiter in den Rhein in

den 70-er Jahren höher war als in den 80-er bzw. 90-er Jahren. Wird von einem näherungsweise konstanten Abwasserstrom ausgegangen, werden die über Abwässer eingetragenen Substanzen mit ansteigender Wasserführung immer mehr verdünnt, mit der Folge, dass sich die Konzentration im Flusswasser vermindert. In den 90-er Jahren ist demgegenüber sogar ein geringfügiger Anstieg der DOC-Konzentration mit zunehmender Wasserführung verbunden. Dies kann durch einen Anstieg des Stoffeintrages über Abschwemmungen in Perioden mit hoher Wasserführung bei einem gleichzeitig relativ geringen Eintrag über Abwassereinleitungen erklärt werden. Bei der DOC-Konzentration im Rhein wurde somit ein Stand erreicht, der sich, bedingt durch natürliche Stoffeinträge über Abschwemmungen, kaum noch verbessern lässt.

Abbildung 2

Verminderung der Chloridfracht im Rhein nach verschiedenen Flusskilometern

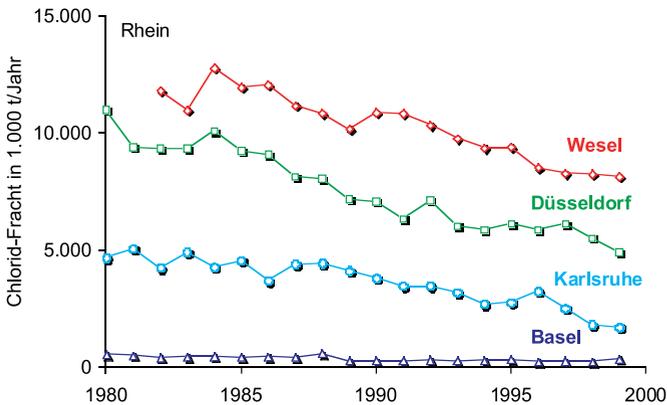


Abbildung 3

DOC-Konzentration im Rhein bei Karlsruhe in Abhängigkeit von der Wasserführung für den Zeitraum 1970 bis 1999

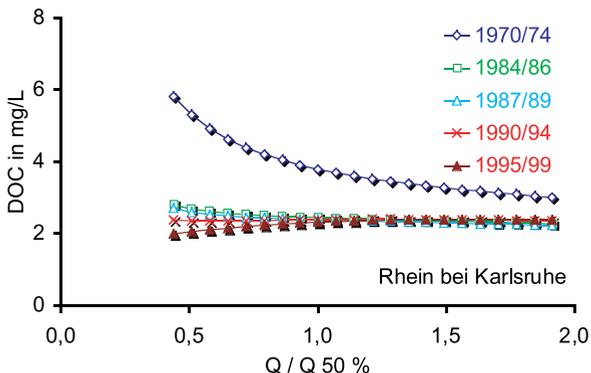
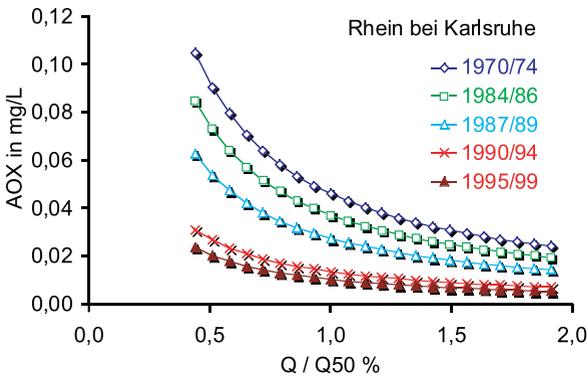


Abbildung 4

AOX-Konzentration im Rhein bei Karlsruhe in Abhängigkeit von der Wasserführung für den Zeitraum 1970 bis 1999

**Abbildung 5**

Carbamazepingehalte im Rhein in den Jahren 1996 bis 1999

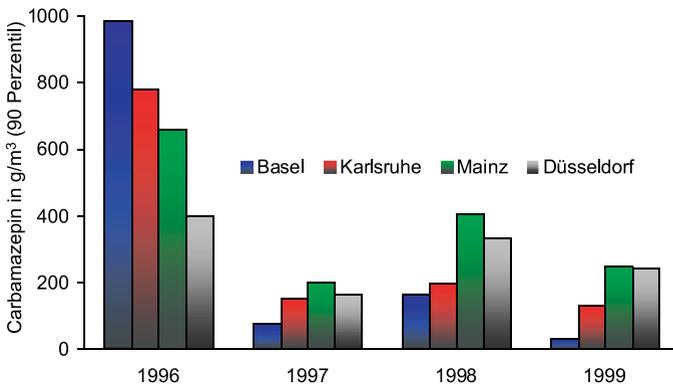
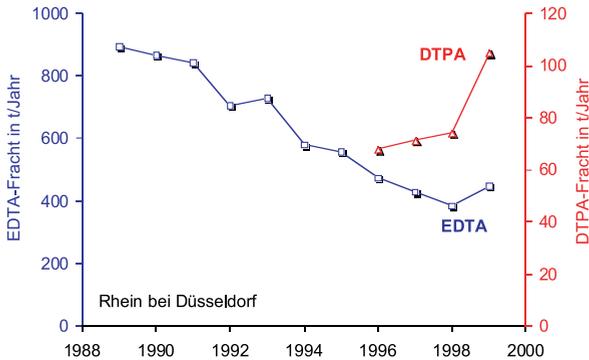


Abbildung 4 vermittelt in analoger Darstellung zu Abb. 3 AOX-Konzentrationen, die im Rhein bei Karlsruhe in den vergangenen Jahren auftraten. Wie aus dem Verlauf der Ausgleichskurven hervorgeht, ist seit den 70-er Jahren eine kontinuierliche Verminderung der AOX-Konzentration im Rheinwasser zu verzeichnen. Im Vergleich zur DOC-Konzentration ist bei der AOX-Konzentration die Abhängigkeit von der Wasserführung wesentlich stärker ausgeprägt. Dies beruht darauf, dass die mittels AOX erfassbaren Stoffe zu einem erheblichen Anteil über Abwassereinleitungen eingetragen werden, also bei niedriger Wasserführung und konstanter Einleitung höhere Konzentrationen vorliegen. Bei einem weitgehend konstanten Eintrag der Stoffströme aus Abwassereinleitungen tritt mit ansteigender Wasserführung eine zunehmende Verdünnung ein. Die Abhängigkeit der AOX-Konzentration von der Wasserführung war auch in den

Abbildung 6

Entwicklung der Jahresfrachten für die zwei Komplexbildner EDTA und DTPA für den Rhein bei Düsseldorf



90-er Jahren noch gegeben. Für das Rheinwasser wird auch künftig ein abnehmender AOX-Gehalt erwartet, sofern die Gewässerschutzmaßnahmen fortgesetzt werden.

Auch einzelne organische Spurenstoffe spiegeln die Erfolge der letzten Jahre im Gewässerschutz wieder. Abb. 5 zeigt ein Konzentrationsprofil für Carbamazepin für den Rhein für vier verschiedene Probenahmestellen in den Jahren 1996 bis 1999. Carbamazepin ist ein Arzneimittelwirkstoff und wird u. a. als Antiepileptikum eingesetzt. 1996 lagen entlang des Rheins die Carbamazepingehalte zwischen 400 und 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Unter Mitwirkung der produzierenden pharmazeutischen Industrie gelang es, die Konzentrationen stark zu verringern.

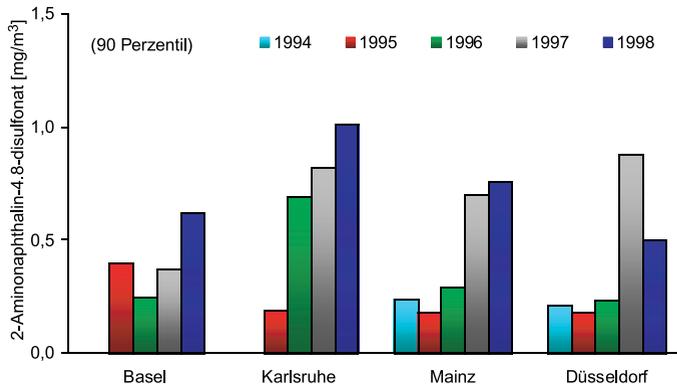
Allerdings treten einzelne Spurenstoffe wie beispielsweise synthetische Komplexbildner oder bestimmte Pestizide zeitweise immer noch in unerwünschten Konzentrationen auf. In Abb. 6 sind die Jahresfrachten der Komplexbildnern EDTA und DTPA für den Rhein bei Düsseldorf dargestellt. Bei EDTA handelt es sich um eine zwischenzeitlich relativ bekannte Substanz. So wurde 1991 eine Erklärung zwischen Behörden, Industrie und Wasserversorgungsunternehmen zur Verminderung der Gewässerbelastung mit EDTA abgegeben, die eine Halbierung innerhalb von fünf Jahren vorsah. Dies wurde, wenn auch in einem langen Zeitraum, weitgehend erreicht. DTPA zählt ebenso zu den Komplexbildnern, besitzt aber im Vergleich zu EDTA einen weit aus geringeren Bekanntheitsgrad. Der DTPA-Eintrag in den Rhein wird auch nicht durch besondere Vereinbarungen geregelt. Wie Abbildung 6 zeigt, ist seit Beginn der 90-er Jahre eine Verminderung der EDTA-Fracht im Rhein festzustellen. Demgegenüber war in den letzten Jahren ein Anstieg der DTPA-Fracht im Rhein zu verzeichnen.

Ein leichter Anstieg der Konzentration im Rheinwasser ist beispielsweise auch für 2-Aminonaphthalin-4,8-disulfonat zu erkennen (Abb. 7).

Die letztgenannten Beispiele zeigen, dass bei Einzelsubstanzen durchaus mit zunehmenden Konzentrationen gerechnet werden kann.

Abbildung 7

Konzentrationsprofil für 2-Aminonaphthalin-4.8-disulfonat in Rheinwasser

**3. Folgerungen und Zielvorstellungen für die Zukunft**

Mit der Wasserrahmenrichtlinie plant die EU die Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers. Demnach wird beispielsweise bei der Flussgebietsplanung sowohl die nationale als auch die internationale Koordination eine wichtige Rolle spielen. Im Einzugsgebiet sind die Aktivitäten der Menschen und damit punktförmige und diffuse Einleitungen zu erfassen. Es werden Emissionsgrenzwerte festgelegt, Vorgaben für Immissionsbetrachtungen aufgrund von Qualitätsstandards getroffen sowie spezielle Regelungen u. a. für Gewässer zur Entnahme von Trinkwasser unter Berücksichtigung der Deckung der Kosten der Wasserdienstleistungen formuliert.

Es handelt sich demnach um Ansätze, wie sie prinzipiell seitens der IWAR bereits seit Jahren verfolgt werden. Aus diesem Grund kann die IAWR für ihre Mitgliedswerke das Wissen einbringen und entscheidend bei der Umsetzung der Richtlinie mitwirken.

Für die Versorgungsunternehmen bedeutet dies, dass auch künftig der Gewässerschutz seinen Stellenwert behalten wird. Der Gewässerschutz ist Voraussetzung für eine effektive und kostengünstige Trinkwassergewinnung sowie für die Akzeptanz des Trinkwassers durch die Verbraucher. Eine 100 %-ige Sicherheit im Hinblick auf eine mikrobiologische Belastung, das Auftreten neuartiger Mikroverunreinigungen und das Eintreten von Unfällen kann auch ein weitestgehender Gewässerschutz nicht garantieren. Auch in Zukunft kann nur eine gut konzipierte Aufbereitung, die allen hygienischen und technischen Anforderungen an das Trinkwasser gerecht wird, die hohe Qualität des Trinkwassers gewährleisten.

Literatur

[1] IAWR-Memorandum 1995

Hochwasserrückhaltung in Trinkwasserschutzgebieten am Rhein

G. Wendel

Gewässerdirektion Nördlicher Oberrhein,
Projektgruppe Karlsruhe

Dr. U. Lang

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH,
Stuttgart

Prof. Dr. D. Maier

Stadtwerke Karlsruhe

Vorwort

Ein wichtiger Bestandteil des Hochwasserschutzes am Rhein ist die Erstellung und der Erhalt von Retentionsräumen zur Speicherung von Wasser während Hochwasserwellen. Durch diesen zusätzlichen Flächenbedarf ergibt sich eine Reihe von Konfliktpunkten mit anderen Interessenträgern. Im Falle von nahegelegenen Trinkwasserversorgungen sind die möglichen Veränderungen im Grundwasserleiter durch einen Retentionsraum näher zu untersuchen. Dabei spielt der Eintrag von wassergefährdenden Stoffen während Hochwasserereignissen mit Überflutung des Retentionsraumes eine wichtige Rolle. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die im Hochwasserfall mitgeführten Schwebstoffe im Retentionsraum verbleiben. Die langjährigen Schwebstoffmessungen am Rhein weisen darauf hin, dass hauptsächlich die Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe, das Hexachlorbenzol und die chlorierten Biphenyle an den Schwebstoffen adsorbieren.

Am Beispiel des geplanten Wassergewinnungsgebiets Kastenwört südlich von Karlsruhe und dem geplanten Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört, der in 400 bis 600 m Entfernung zu den geplanten Fassungsbrunnen liegt, werden die hydrodynamischen Prozesse mit Hilfe eines numerischen Modells untersucht. Damit lassen sich die Fliesspfade aus dem Retentionsraum unter Berücksichtigung der stark instationären Strömungsverhältnisse identifizieren und die veränderten Strömungsverhältnisse im Bereich der geplanten Wasserwerksbrunnen abschätzen.

Der Beitrag Hochwasserrückhaltung in Trinkwasserschutzgebieten ist wie folgt dreigeteilt:

- 1. Integriertes Rheinprogramm Hochwasserschutz und Ökologie am Oberrhein.**
- 2. Berechnung der Einflüsse von Hochwasser-Rückhaltemaßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse am Beispiel des Retentionsraumes Bellenkopf/Rappenwört.**
- 3. Relevante Aspekte der Trinkwasserverträglichkeit von Hochwasserrückhaltemaßnahmen.**

1 Integriertes Rheinprogramm Hochwasserschutz und Ökologie am Oberrhein



G. Wendel,
Gewässerdirektion Nördlicher Oberrhein,
Projektgruppe Karlsruhe

1. Aufgabenstellung und Zielsetzung des Integrierten Rheinprogrammes (IRP)

Das Hochwasser vom Mai 1999 hat wiederum gezeigt, wie dringend notwendig die Verbesserung des Hochwasserschutzes am Rhein für die Unterlieger der Staustufe Iffezheim ist.

Auf der Grundlage des deutsch-französischen Vertrages von 1982 hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, einen 200-jährlichen Hochwasserschutzes am Oberrhein, wie er vor dem Oberrheinausbau vorhanden war, zu erreichen. Nach neueren Berechnungen ist ein Rückhaltevolumen von 253 Mio. m³ bereitzustellen. Hiervon muss Baden-Württemberg 168 Mio. m³, Frankreich 55 Mio. m³ u. Rheinland-Pfalz 30 Mio. m³ erbringen. Erste Erfahrungen bei der Umsetzung haben gezeigt, daß aus wasserwirtschaftlichen und ökologischen Gründen eine rein technische Planung nicht möglich ist.

Zur Umsetzung dieser Hochwasserschutzkonzeption dient das vom Land Baden-Württemberg im Jahr 1988 aufgelegte 'Integrierte Rheinprogramm' (IRP). Die Ziele dieses Programmes bestehen in der Wiederherstellung des 200-jährlichen Hochwasserschutzes unterhalb von Iffezheim bei gleichrangiger Berücksichtigung von ökologischen Aspekten (Erhaltung u. Regeneration der Rheinauenlandschaft). Danach sind nunmehr 13 Retentionsräume mit 170 Mio. m³ erforderlich.

1.1 Derzeit vorhandener Hochwasserschutz

Der Oberrhein wurde in den Jahren 1929 bis 1977 zwischen Basel und Iffezheim auf einer Länge von rd. 165 km mit insgesamt 10 Staustufen ausgebaut. Dadurch erlangte dieser Rheinabschnitt einen nahezu 100%-igen Hochwasserschutz.

Unterhalb von Iffezheim bis Worms ist hingegen derzeit nur noch ein Schutz gegen ein ca. 90 - 100-jährliches Ereignis gegeben. Unmittelbar nach Abschluss des Oberrheinausbaus im Jahre 1977 war der Schutzgrad sogar auf rd. 60 Jahre zurückgegangen.

Das Gelände hinter den Dämmen wurde immer intensiver genutzt, indem sich Siedlungen, Industriegebiete und Infrastruktureinrichtungen immer stärker zum Rhein hin ausdehnten, wodurch enorme Sachwerte hinter den Dämmen geschaffen wurden. Würde heute unterhalb von Iffezheim ein 200-jährliches Hochwasser auftreten, wäre mit Schäden von bis zu 12,4 Mrd. DM zu rechnen.

1.2 Ursache der Hochwasserverschärfung

Ursache der Hochwasserverschärfung ist das Abschneiden von rd. 130 km² links- und rechtsrheinischer Vorländer (Auen) durch die Dämme der Staustufen. Dadurch ging wertvoller Rückhalteraum verloren. Als Folge wurden die Scheitel der Hochwasserwellen so beschleunigt, dass dies zu einer ungünstigen Überlagerung der Wellenscheitel des Rheins mit denen der Nebenflüsse am Oberrhein führte. Dadurch wurde die Hochwassergefahr unterhalb Iffezheim deutlich erhöht.

	Pegel Maxau	Pegel Worms
Leistungsvermögen des Rheinbettes	5000 m ³ /s	6000 m ³ /s
200 - bzw. 220-jährlicher Abfluss (nach Ausbau, 1977)	5700 m ³ /s	6800 m ³ /s
Hochwasserscheitelerhöhung	700 m ³ /s	800 m ³ /s

Eine weitere Folge ist, dass den bis dahin regelmäßig bei Hochwasser überfluteten angrenzenden Auen durch die nun ausbleibenden Überflutungen die Lebensgrundlage entzogen wurde. Auetypische Lebensgemeinschaften sind hier nur noch in Relikten vorhanden.

2. Das Hochwasserschutzkonzept des Landes Baden-Württemberg

Aufgrund der Erfahrungen in den Umweltverträglichkeitsprüfungen bei einigen Rückhalteräumen, sowie bei Einsätzen der bereits fertiggestellten Polder Altenheim und

Abbildung 1
Übersicht über die Rückhaltmassnahme in Baden-Württemberg

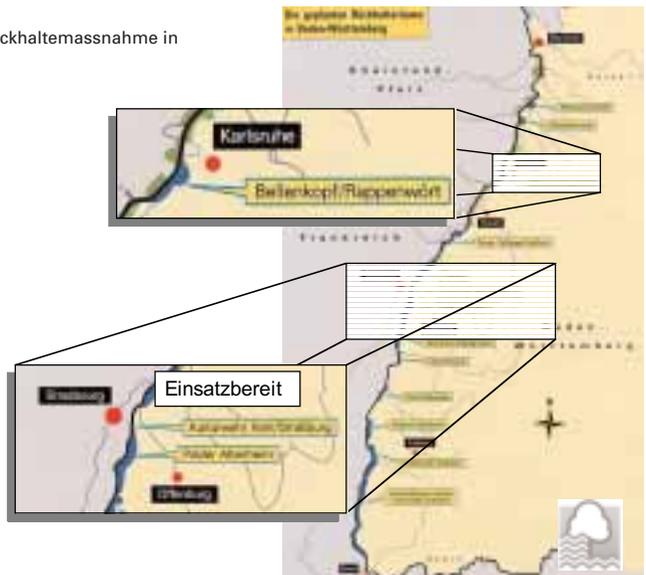


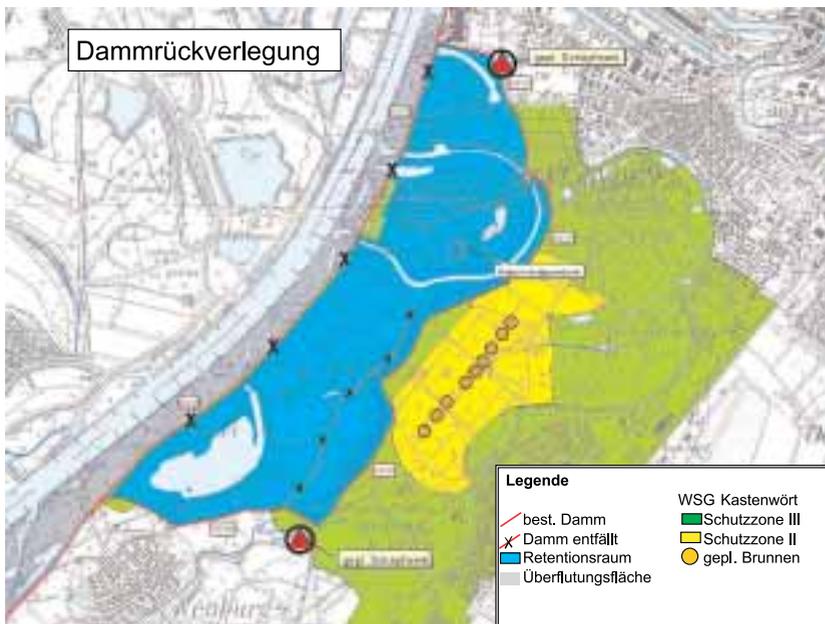
Tabelle 1

IRP-Maßnahmen gemäß Rahmenkonzept

Nr	Rückhalteraum	Typ	Ret.-Fläche (ha)	Max. Retentions-Volumen Mio m ³	Projektphase
1	Südlich Breisach	Vorland-tieferlegung	1020	25.0	Vorbereitung ROV
2	Kulturwehr Breisach	Wehr	510	9,3	Vorbereitung PFV
3	Breisach/Burkheim	Polder	600	6,5	Vorbereitung PFV
4	Wyhl/Weisweil	Polder	600	7,7	Vorbereitung PFV
5	Elzmündung	Polder	550	5,3	Vorbereitung PFV
6	Meißenheim/Ichenheim	Polder	390	5,8	vorgeplant
7	Altenheim	Polder	520	17,6	Anpassung
8	KWK/ Straßburg	Wehr	700	37.0	Anpassung
9	Freistett	mittlerer Polder	460	9.0	vorgeplant
10	Söllingen/Greffern	Polder	580	12.0	Seit 1998 im Bau
11	Bellenkopf/Rappenwört	DRV oder Polder	510	14.0	Vorbereitung ROV
12	Elisabethenwört	DRV oder Polder	400	11,9	Vorbereitung ROV
13	Rheinschanzinsel	kleiner Polder	210	6,2	Vorbereitung PFV

Abbildung 2

Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört als Dammrückverlegung



dem Kulturwehr Kehl/Straßburg wurden im Integrierten Rheinprogramm (Hochwasserschutz und Ökologie) folgende Grundsätze festgelegt, die die noch herzustellenden Rückhalteräume erfüllen müssen:

- **Aus ökologischen Gründen soll die maximale Überflutungshöhe nur 2,50 m über dem oberen Silberweidenniveau betragen.**
- **Auetypische Lebensgemeinschaften können sich nur entwickeln, wenn sie in natürlicher Regelmäßigkeit und in einer verträglichen Höhe überflutet werden und dabei stehendes Wasser weitgehend vermieden wird (ökologische Flutungen sowie Fließpolder).**

2.3 Derzeitiger Stand der Realisierung

Von den 13 Räumen (siehe Abb. 1) sind das Kulturwehr Kehl und die Polder Altenheim mit 55 Mio m³ einsatzbereit. Zusammen mit den von Frankreich und Rheinland-Pfalz bereits fertiggestellten Rückhalteräumen stehen zur Zeit rd. 90 Mio. m³ Rückhaltevolumen zur Verfügung.

Aktuell wird derzeit der Polder Söllingen/Greffern gebaut. Für den Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört, der nachfolgend beschrieben wird, laufen zur Zeit die Voruntersuchungen für das Raumordnungsverfahren.

Der Retentionsraum erstreckt sich von Rheinstetten-Neuburgweier im Süden bis zum Rheinhafendampfkraftwerk im Norden, entsprechend Rhein-km 354,5 bis 359,3. Tangiert sind die Gemarkungen Neuburgweier, Mörsch, Forchheim und Karlsruhe. Das Gelände wird recht unterschiedlich genutzt. So finden sich hier Wasser-, Wiesen-, Streuobst-, Kleingarten- und forstwirtschaftliche Flächen sowie als Sondernutzungsfläche der Rheinpark Rappenwört. Die wichtigsten Gewässer sind der Fermasee, Panzergraben, Federbach, Rappenwörter Altrhein und das Grüne Wasser. Die retentionsraumrelevanten Daten sind auf der beigefügten Anlage dargestellt.

Für den Retentionsraum wurden nachfolgend genannte Varianten untersucht:

- **Dammrückverlegung** (ungesteuerte Retention)
- **Polder** (gesteuerte Retention)

Dammrückverlegung (ungesteuerte Retention)

Bei der Dammrückverlegung wird der Rheinhauptdamm XXV teilweise abgetragen und die landeinwärts liegenden Dämme XXVa und XXVI reaktiviert (s. Abb. 2). Zur Verbindung untereinander müssen kurze Dammschnitte neu erstellt werden. Die maßgebenden Dammkronen ergeben sich aus den jeweiligen Wasserspiegellagen im Retentionsraum zuzüglich einem Freibord von 80 cm. Die Wasserspiegellagen sind bei der ungesteuerten Retention mit denen im Rhein identisch, d.h. sie liegen am südlichsten Punkt bei ca. 109,60 m ü.NN und am nördlichsten Punkt beim Rheinhafendampfkraftwerk bei ca. 108,40 m ü.NN. Sowohl die Beschickung als auch die Entleerung erfolgen entlang des gesamten Retentionsraums über den rheinparallelen Leinpfad, der ab einem gewissen Rheinwasserstand überströmt wird.

Bei Realisierung dieser Variante sind folgende Anpassungsmaßnahmen inner- und außerhalb des Retentionsraums erforderlich:

- **Außengraben entlang HWD XXVI zur Aufnahme von Druck- und Sickerwasser.**
- **Schöpfwerk im nördlichen Bereich bei der Einmündung des anzulegenden Außengrabens in den Alten Federbach. Dieses wird für den nördlichen Außengraben und den Alten Federbach ausgelegt und fördert ebenfalls in den Retentionsraum.**
- **Schöpfwerk nördlich der Kläranlage Neuburgweier; hierbei werden im Retentionsfall die ankommenden Abflüsse aus dem Federbach, Panzergraben und südlichen Außengraben in den Retentionsraum gefördert.**
- **Umbau der Schließe 4.**
- **Eindeichung des Naturschutzzentrums; hier muß noch abschließend die Frage der ständigen Zugänglichkeit geklärt werden.**
- **Fluchtinseln innerhalb der Tiergehege.**
- **Anpassung von Straßen- und Wegequerungen, Erhöhung von Hochspannungsmasten, Drainageleitung im Bereich Badenwerk, Sicherung der bestehenden Kanalisation.**
- **Durchfahrt Hermann-Schneider-Allee für Straße und Straßenbahn.**
- **Sicherung Rheinpark Rappenwört.**

Polder (gesteuerte Retention)

Bei einem Polder wird der Rheinhauptdamm XXV beibehalten bzw. teilweise saniert und erhöht (s. Abb. 3). Der landseitige Dammverlauf entspricht dem der ungesteuerten Retention. Die Rheinhauptdämme XXVa und XXVI werden ebenfalls saniert und erhöht. Zur Beschickung ist am südlichen Ende des Fermasees ein Einlaßbauwerk geplant. Die Entleerung erfolgt über das im Bereich der unteren Rappenwörtschließe bei Rhein-km 358,3 gelegene Auslaßbauwerk.

Entgegen früheren Planungen muß der Retentionsraum im Falle der Poldervariante zur Vermeidung nicht umweltverträglicher Überflutungshöhen durch einen Querriegel in zwei Teil-Polder unterteilt werden. Hierdurch ergibt sich eine Verminderung des ursprünglichen Retentionsvolumens. Die maßgeblichen Wasserstände bei Bemessungsabfluß betragen im

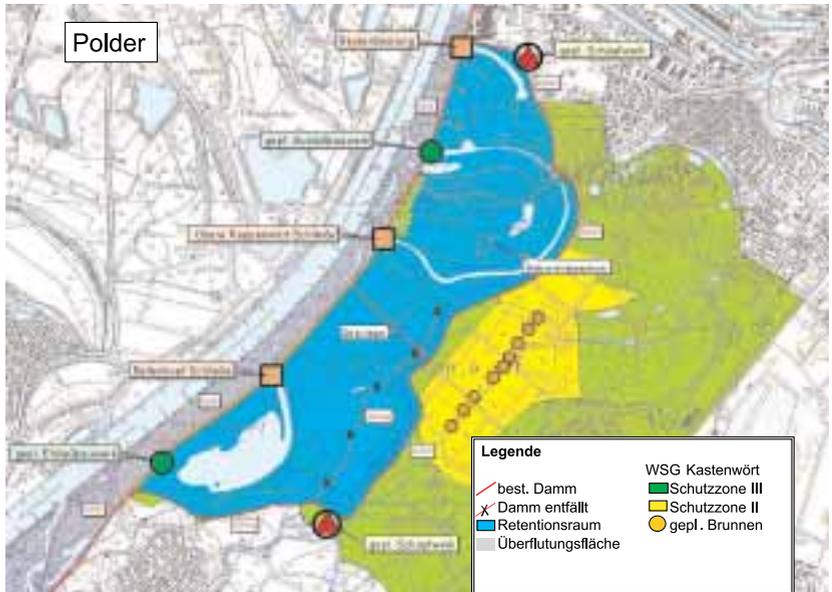
- **Polder-Süd 109,10 m ü.NN**
- **Polder-Nord 108,50 m ü.NN**

Die jeweilige Dammhöhe liegt 0,80 m über den genannten Wasserspiegellagen.

Zur Unterteilung ist der Neubau eines Querriegels zwischen dem HWD XXV und HWD XXVI vorgesehen. Für den neuzubauenden Querriegel sind insgesamt drei höhenmäßig gestaffelte Durchlaßbauwerke erforderlich, am Federbach, in der Mitte und am westlichen Rand des Querriegels.

Abbildung 3

Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört als Polder



Zur Wiederherstellung aueähnlicher Verhältnisse sind ökologische Flutungen vorgesehen, deren Beginn und Ende rheinwasserstandsabhängig zu steuern sind. Für die optimale Durchströmung werden hierzu drei Durchlässe entlang des Rheindammes XXV mit einbezogen. Dies sind der Ausbau der vorhandenen Bellenkopf- und Oberen Rappenwört-Schließe sowie der Neubau eines Durchlasses am Grünen Wasser.

Bei einer gesteuerten Retention sind Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Diese sind weitgehend identisch mit denjenigen der ungesteuerten Retention. Lediglich bei der Zugänglichkeit zum Rheinpark liegt ein wesentlicher Unterschied. Der Rheinpark Rappenwört ist bei der Poldervariante ständig über den HWD XXV erreichbar, bei der Dammrückverlegung muß die Zufahrt entweder über einen hochwasserfreien Steg oder die Höherlegung der Hermann-Schneider-Allee erfolgen.

Das Retentionsvolumen beider Varianten beträgt rund 14 Mio m³. Hierfür werden ca. 510 ha Fläche in Anspruch genommen.

– **Geplante Wassergewinnungsanlage 'Kastenwört' der Stadtwerke Karlsruhe**

Im Untersuchungsraum befindet sich die geplante Wassergewinnungsanlage 'Kastenwört' der Stadt Karlsruhe. Die vorgesehenen 9 Entnahmebrunnen liegen östlich vom Federbach in einem Abstand von 400 m bis 600 m zu dem geplanten Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört in der weiteren Schutzzone (Zone III). Die mittlere Entnahmemenge beträgt ca. 6,5 Mio m³ /a.

Die Ergebnisse eines von den Stadtwerken Karlsruhe und der ehemaligen Oberrhein-agentur an Prof. Kobus in Auftrag gegebenen grundwasserhydraulischen Gutachtens (1997) zeigen, daß bei stationärer Berechnung die Laufzeiten des Grundwassers zwischen dem Polder und den Wasserwerksbrunnen in der Größenordnung der von den Stadtwerken angestrebten Mindestlaufzeit von 200 Tagen liegen. Hierbei hat der Außengraben eine wichtige Entwässerungsfunktion. Mit Hilfe eines dreidimensionalen Modells wurde ermittelt, daß ca. 90 % des Infiltrationswassers aus dem Nahbereich des Dammes durch den Außengraben wieder aufgenommen wird und nur die restlichen 10 % den Wasserwerksbrunnen zuströmen.

Veröffentlichungen der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) wie, 'Gewässerschutz im IRP' und die von der LfU bearbeitete Studie über die 'Auswirkungen von Überflutungen auf flußnahe Wasserwerke' belegen, daß bei der z.Z. vorhandenen Beschaffenheit des Rheinwassers kein Anlaß besteht, die Eignung des geplanten Retentionsraumes für künftige Überflutungen wegen nachteiliger Wirkungen auf die Beschaffenheit des Grundwassers in Frage zu stellen.

2.4 Weiteres Vorgehen

Der Raum Bellenkopf/Rappenwört ist ein wichtiger Bestandteil in der Hochwasserschutzkonzeption am Oberrhein für die Erreichung des angestrebten 200-jährlichen Hochwasserschutzes. Nach dem Rahmenkonzept des Landes Baden-Württemberg sind alle 13 Räume unverzichtbar. Gerade im Hinblick auf die Sicherstellung des Hochwasserschutzes auch für die Stadt Karlsruhe kann daher auf diesen Raum nicht verzichtet werden.

Die GwD NOR hat nach Aussprache in den zuständigen Gremien der Stadt Karlsruhe gemeinsam mit der Stadtverwaltung beschlossen, vor Einleitung des Raumordnungsverfahrens die erforderlichen Untersuchungen hinsichtlich Grundwasserbeeinflussung und Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen.

Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört (Anlage)

- Lage

Zwischen Rhein-km 354,5 und Rhein-km 359,5. Der Rückhalteraum erstreckt sich von Rheinstetten-Neuburgweier im Süden bis zum Rheinhafendampfkraftwerk (RDK) der Badenwerk AG im Norden.

Bis zum Bau des Dammes XXV in den Jahren 1934/35 wurde dieses Gebiet regelmäßig überflutet. Die ehemalige Aue ist in diesem Bereich z.T. noch vorhanden.

- Betroffene Gemeinden

Karlsruhe, Rheinstetten, OT Neuburgweier

– Fläche, Retentionsvolumen und Kosten

Fläche	Volumen	Kosten (Stand 12/96)	
510 ha	14 Mio m ³	ca. 112 Mio DM (Polder)	ca. 93,7 Mio DM (Dammrückverlegung)

– Untersuchte Varianten

- Dammrückverlegung (ungesteuerte Retention)
- Polder (gesteuerte Retention)

– Besonderheit

Im Untersuchungsraum befindet sich die geplante Wassergewinnungsanlage 'Kastenwört' der Stadt Karlsruhe. Seit dem 01.08.1996 ist die Verordnung des RP Karlsruhe zum Schutz des Grundwassers im Einzugsgebiet der geplanten Wassergewinnungsanlage 'Kastenwört' der Stadtwerke Karlsruhe in Kraft.

– Beurteilung

Für diesen Raum wäre sowohl ein Polder als auch eine Dammrückverlegung machbar. Der Raum ist grundsätzlich zur Hochwasserrückhaltung geeignet, wenn sichergestellt wird, daß er im Retentionsfall durchströmt wird und ökologische Flutungen vorgenommen werden.

2 Berechnung der Einflüsse von Hochwasserrückhalte- maßnahmen auf die Grundwasserqualität am Beispiel des Retentionsraumes Bellenkopf/Rappenwört



Dr. U. Lang

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH,
Stuttgart

1. Problemstellung

Während des Einstaus von Retentionsräumen werden die natürlichen Grundwasser-
verhältnisse zeitweise beeinflusst. Dabei ist zwischen der Auswirkung auf die Strö-
mungsverhältnisse durch den gefüllten Retentionsraum und dem Eintrag bzw. dem
Transport von Wasser aus dem Retentionsraum in das Grundwasser zu unterschei-
den. Da die Retentionsräume in direktem hydraulischen Kontakt mit dem Grund-
wasserleiter stehen, erfolgt eine Piezometerhöhenänderung im Grundwasserleiter.
Diese pflanzt sich in Abhängigkeit von den Untergundparametern, insbesondere dem
speichernutzbaren Hohlraumanteil, und der strömungsbestimmenden Randbedin-
gungen, wie Oberflächengewässer, im Grundwasserleiter fort. Die kurzfristige Ände-
rung der Verhältnisse im Bereich des Retentionsraumes führt auch im Grundwasser-
leiter zu sehr dynamischen Prozessen. Im Grundwasserleiter werden Grundwasser-
standsänderungen innerhalb von wenigen Stunden und Tagen hervorgerufen.

Das über den Retentionsraum in den Grundwasserleiter eingetragene Wasser bewegt
sich deutlich langsamer als die sehr schnelle Ausbreitung der Piezometerhöhen-
änderung. Im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung ist es wichtig die Verlagerung
des eingetragenen Wassers im Grundwasserleiter zu kennen und so den Einfluß eines
Retentionsraumes auf das Grundwasser und dessen Nutzung beurteilen zu können.
Am Beispiel des Retentionsraumes Bellenkopf/Rappenwört erfolgt derzeit eine inten-
sive Untersuchung der Auswirkungen des Retentionsraumes auf die geplante Trink-
wasserversorgung Rappenwört. Um die komplexen Strömungs- und Transport-
prozesse prognostizieren zu können, wird ein numerisches Modell verwendet. Dieses
Modell wird derzeit anhand sämtlicher verfügbarer Daten aufgebaut und anhand von
Messungen an die natürlichen Verhältnisse angepaßt.

2. Untersuchungsraum Bellenkopf/Rappenwört

Im Bereich Bellenkopf/Rappenwört südlich von Karlsruhe ist ein 5,1 km² großer Reten-
tionsraum geplant (Regierungspräsidium Karlsruhe, 1993). Derzeit steht zur Diskus-
sion, den Retentionsraum als ungesteuerten oder gesteuerten Polder zu bauen. Ein
wichtiger Aspekt bei der Abwägung liegt in der Beeinflussung der Grundwasserströ-
mungsverhältnisse im Hinblick auf die geplante Trinkwasserversorgung Kastenwört
der Stadtwerke Karlsruhe. Die Brunnen der geplanten Trinkwasserversorgung Kasten-
wört sind 400 bis 600 m von dem geplanten Retentionsraum entfernt. Der Rhein
befindet sich in einer Entfernung von ca. 1800 m von den geplanten Entnahmebrun-
nen. Darüber hinaus liegen im Untersuchungsgebiet zahlreiche kleinere oberirdische
Gewässer vor, die die Grundwasserströmungsverhältnisse maßgeblich beeinflussen.

Dieses Netz von Oberflächengewässern stellt die Vorflut für den Grundwasserleiter dar. Das Grundwasser wird insbesondere durch den Federbach, der parallel zum Rhein verläuft, aufgenommen. Bei mittleren hydrologischen Verhältnissen stellen sich die in Abb. 4 dargestellten Grundwasserströmungsverhältnisse ein, die mit Hilfe des von Huber (1996) erstellten Grundwasserströmungsmodells berechnet wurden. Zwischen dem Federbach und dem Rhein ergibt sich ein verhältnismäßig geringes Piezometerhöhengefälle, das sich an der Wasserspiegellage des Rheins und der des Federbaches orientiert. Nach Osten versteilt sich das Piezometerhöhengefälle. Aus südöstlicher Richtung erfolgt die großräumige Zuströmung zu dem Vorflutsystem in Rheinnähe. Die Wasserwerksbrunnen liegen oberstrom des Federbaches. Den Brunnen fließt bei Mittelwasserständen ausschließlich Grundwasser aus dem östlichen Rheintal zu. Dieses Grundwasser unterscheidet sich in der Qualität deutlich vom Rheinwasser.

Abbildung 4

Berechnete Piezometerhöhen mit Zuströmung zu den Wasserwerksbrunnen bei Mittelwasserständen



Das Grundwasserleitersystem im Untersuchungsraum läßt sich in vertikaler Richtung wie folgt unterteilen (GLA, 1994):

- **Oberes Kieslager**
- **Oberer Zwischenhorizont**
- **Mittleres Kieslager**
- **Unterer Zwischenhorizont**
- **Altquartär und Pliozän**

Die beiden hauptsächlichen Grundwasserleiter sind das Obere und Mittlere Kieslager, die Durchlässigkeiten in der Größenordnung von $2 \cdot 10^{-3}$ m/s aufweisen. Die Brunnen der vorgesehenen Trinkwasserversorgung Kastenwört entnehmen das Grundwasser im unteren Teil des Oberen Kieslagers und im Unteren Kieslager. Dadurch wird nur das tiefere Grundwasser für die Trinkwasserversorgung genutzt. Das oberflächennahe Grundwasser kann über die Brunnen hinwegströmen, da die Entnahmerate bei Mittelwasserverhältnissen deutlich kleiner ist als der innerhalb des Fassungsbereichs liegende natürliche Grundwasserabstrom. Die Fassungsbrunnen werden nach Abb. 4 auch durchströmt.

Eine wichtige Größe für die Beurteilung der Auswirkungen durch den geplanten Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört sind die Durchlässigkeitsverhältnisse in den Deckschichten oberhalb des Grundwasserleiters. Hierzu wurden von den Stadtwerken Karlsruhe (1996) umfangreiche bodenkundliche Untersuchungen im Bereich des geplanten Retentionsraumes durchgeführt. Anhand von Doppelringinfiltrometer wurden die vertikalen Durchlässigkeiten der Deckschichten unter gesättigten Verhältnissen bestimmt. Diese liegen zwischen 0,5 und $4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dies zeigt, daß im Bereich des Retentionsraumes eine ungehinderte Versickerung von Rheinwasser erfolgen kann.

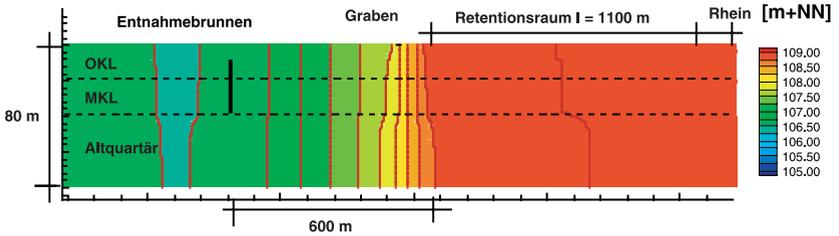
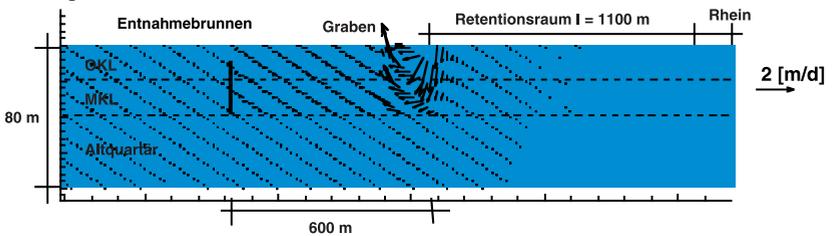
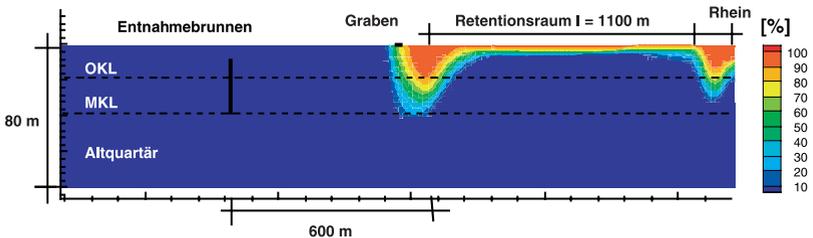
Die Grundwasserströmungsverhältnisse im Untersuchungsraum sind einerseits durch die Wasserspiegelschwankungen im Rhein und andererseits durch die Grundwasserneubildung aus Niederschlag beeinflusst. Hauptsächlich durch die Wasserspiegelschwankungen im Rhein erfährt das Grundwassersystem eine einseitige dynamische Grundwasserstandsanzugung, die zumindest in Rheinnähe zu starken Grundwasserstandsschwankungen während Hochwasserereignissen führt. Bei einem Rheinhochwasser verändern sich die Strömungsrichtungen gegenüber Mittelwasserverhältnissen (siehe Abb. 4) deutlich. Der Rhein ist nicht mehr Vorfluter für das Grundwasser. Es fließt Wasser aus dem Rhein in den Grundwasserleiter hinein. Nach den bisherigen Stichtagsmessungen bei Hochwasser drehen sich die Strömungsrichtungen zwischen dem Federbach und dem Rhein um. Der Federbach nimmt dann verstärkt Wasser aus westlicher Richtung auf. Diese Vorflutwirkung wird durch zahlreiche Mulden und Gräben zwischen dem Federbach und dem Rhein verstärkt, die nur bei Hochwasserhältnissen Wasser führen. Während einer Messkampagne im Februar 1999 wurde eine hochwasserbedingte Grundwasseraufnahme des Federbaches im Untersuchungsraum von bis zu $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ bestimmt.

3. Instationäre Prinzipuntersuchungen an einem vertikalen Schnitt

Um die instationären Strömungs- und Transportprozesse zu untersuchen, wurden erste Prinzipbetrachtungen an einem vertikalen Schnitt durchgeführt. Diese Betrachtungen dienen dazu, die prinzipiellen Ausbreitungsvorgänge zu untersuchen.

Abbildung 5

Berechnete Piezometerhöhen, Strömungsgeschwindigkeiten und Ausbreitung des Retentionswassers im 2D-Modell nach 10 Tagen

Piezometerhöhen**Geschwindigkeiten****Rheinwasser**

OKL: Oberes Kieslager, MKL: Mittleres Kieslager

Abgesicherte Aussagen zu den Auswirkungen des geplanten Retentionsraumes sind damit nicht möglich. Diese Aussagen können erst auf der Basis eines dreidimensionalen und instationären Grundwasserströmungsmodells erfolgen, das derzeit aufgebaut und an die natürlichen Gegebenheiten angepaßt wird.

Das 2D-Prinzipmodell ist in vertikaler Richtung entsprechend o.g. geologischer Schichtung aufgebaut. Der Retentionsraum wurde auf einer Breite von 1100 m vom Rhein in Richtung der Wasserwerksbrunnen angenommen (siehe Abb. 5). Direkt neben dem Retentionsraum liegt ein Entwässerungsgraben. Dieser Entwässerungsgraben drainiert das Grundwasser und senkt den Grundwasserspiegel direkt hinter dem Damme des Retentionsraumes unter das Gelände ab. Die Brunnenreihe liegt 600 m vom Damme entfernt. Am linken Modellrand wurde eine Festpotentialhöhe und am rechten Modellrand eine Randstromlinie unter dem Rhein angenommen. Dieses Prinzipmodell stellt schematisiert die Verhältnisse in der Mitte der geplanten Brunnenreihe dar. Am nördlichen und südlichen Ende liegen die Wasserwerksbrunnen deutlich näher am Retentionsraum.

Mit Hilfe des Prinzipmodells wurden instationäre Strömungs- und Transportbetrachtungen durchgeführt, bei denen ein Poldereinstau angenommen wurde. Das Wasser fließt zu Beginn der Betrachtung vom Festpotentialrand durch die Wasserwerksbrunnen zum Entwässerungsgraben und zum Rhein. Am ersten Tag erfolgt eine Wasserspiegelerhöhung im Rhein um 4 m. Danach wird der Retentionsraum geflutet. Die Wasserspiegel im Retentionsraum und im Rhein wurden gleich angesetzt. Nach 10 Tagen Einstau im Retentionsraum ergeben sich die in Abb. 5 dargestellten Piezometerhöhen und Geschwindigkeitsverhältnisse. Unter dem Retentionsraum stellen sich Piezometerhöhen entsprechend dem Einstauniveau ein. Die größten Strömungsgeschwindigkeiten liegen unter dem Damm zwischen Retentionsraum und Entwässerungsgraben vor. Hier stellt sich auch ein großer Piezometerhöhengradient zwischen Retentionsraum und Entwässerungsgraben im Grundwasserleiter ein. Das Polderwasser versickert verstärkt in Dammnähe und tritt im Entwässerungsgraben wieder aus. Der Einfluß der unterschiedlichen Durchlässigkeiten in den geologischen Schichten ist aus den Geschwindigkeiten deutlich abzulesen. Die hauptsächliche Grundwasserströmung findet im Oberen und Mittleren Kieslager statt. Im Altquartär sind die Durchlässigkeiten um eine Zehnerpotenz geringer. Deshalb sind die Strömungsgeschwindigkeiten auch entsprechend klein. Im Bereich des Dammes liegen auch sehr große Vertikalgeschwindigkeiten vor, die die Notwendigkeit einer tiefendifferenzierten Betrachtung aufzeigen. Die tiefsten Piezometerhöhen liegen nach 10 Tagen zwischen den Wasserwerksbrunnen und dem rechten Modellrand vor. Hier erfolgt eine Zuströmung von beiden Seiten. In diesem Bereich wird zu diesem Zeitpunkt der speichernutzbare Hohlraumanteil durch den ansteigenden Wasserspiegel gefüllt. Bei der Berechnung wurde ein Hohlraumanteil von 10% angesetzt.

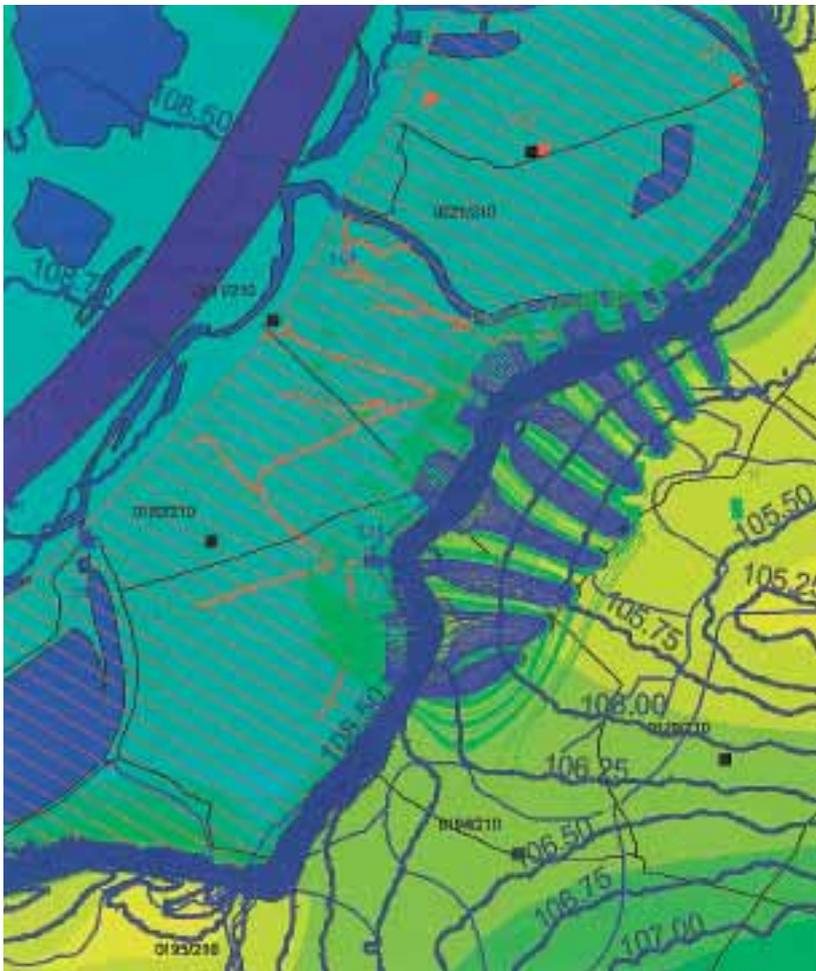
Sensitivitätsuntersuchungen zum Einfluß des Entwässerungsgrabens haben gezeigt, daß der hydraulische Anschluß des Entwässerungsgrabens eine wichtige Rolle auf die Strömungsverhältnisse und die Wasserbilanz des Gesamtsystems hat. Kann dem Entwässerungsgraben ungehindert Grundwasser zufließen, so wird deutlich mehr Grundwasser entzogen als bei einer kolmatierten Gewässersohle, die eine Abdichtung gegenüber dem Grundwasser bewirkt. Bei verbessertem Zufluß zum Entwässerungsgraben ist auch die Infiltration aus dem Retentionsraum deutlich größer als bei kolmatierter Gewässersohle. Für unterschiedlich kolmatierte Gewässersohlen, die mit unterschiedlichen Leakagekoeffizienten realisiert wurden, wurden nach 20 Tagen folgende Bilanzgrößen ermittelt:

Leakagekoeffizient 10^{-4} [1/s]	Kolmation	Abfluß auf eine Länge von 1200 m [l/s]		
		Polder	Entwässerungsgraben	Rheinseitiger Zufluß zu den Brunnen
1,16	Gering	2522	2485	37
0,93		2365	2324	41
0,69		2181	2097	84
0,46		1889	1778	111
0,23		1382	1204	178
0,12	Hoch	1047	734	313

Diese Zusammenstellung zeigt deutlich, daß der Zufluß zu den Wasserwerksbrunnen aus dem Polderbereich ab Leakagekoeffizienten von $0,23 \cdot 10^{-4}$ m/s in derselben

Abbildung 6

Berechnete Piezometerhöhen mit Zuströmung zu den Wasserwerksbrunnen im Retentionsfall



Größenordnung liegen, wie die Entnahme ($Q=200$ l/s) selbst. Dabei ist allerdings anzumerken, daß dies nur temporär während des Poldereinstaus erfolgt.

Zusätzlich zu den Strömungsbetrachtungen wurden auch erste Transportbetrachtungen durchgeführt. Dabei wurde das Wasser im Rhein und das über den Retentionsraum zufließende Wasser markiert. Bei der Transportberechnung wurden advective und dispersive Transportprozesse berücksichtigt. Durch den um einen Tag voraus-eilenden Wasserspiegelanstieg im Rhein erfolgt ein vorwiegend vertikales Eindringen von Rheinwasser unter dem Rhein innerhalb des ersten Tages. Danach wird der Retentionsraum mit Wasser geflutet, so daß hier das Rheinwasser über die Polder-sole in den Grundwasserleiter eindringt. Wie Abb. 5 zeigt, wird das Rheinwasser aus dem Retentionsraum vorwiegend im Bereich des Dammes in den Untergrund einge-

tragen. Hier liegen auch die größten Versickerungsgeschwindigkeiten vor. Zwischen dem Retentionsraum und dem Rhein erfolgt eine vollständige Piezometerhöhenanhebung im Grundwasserleiter auf das Niveau des Rheines. Das unter dem Retentionsraum vorhandene Grundwasser bewegt sich während des Einstaus nur geringfügig. Auch über den Rhein wird nur unwesentlich Rheinwasser in den Grundwasserleiter eingetragen, da kein Unterschied zwischen Rheinwasserspiegel und Piezometerhöhe im Grundwasserleiter vorliegt. Das Rheinwasser am Damm des Retentionsraumes dringt nach 10 Tagen bereits bis auf die Basis des Mittleren Kieslagers ein. Dies zeigt, daß sehr große Wassermassen bis in große Tiefen verlagert werden.

Durch einen 20-tägigen Einstau des Retentionsraumes werden Wassermassen in der Größenordnung von 2,5 bis 3,0 Mio m³ in den Untergrund eingetragen. Untersuchungen mit unterschiedlichen Leakagekoeffizienten im Abzugsgraben haben gezeigt, daß die nach 20 Tagen Einstau vorhandene Menge an Rheinwasser im Untergrund bei allen Varianten in etwa gleich ist. Über den Abzugsgraben kann somit nur das oberflächennahe Kurzschlußwasser aus dem Untergrund abfließen.

Anhand einer Langzeitbetrachtung muß die Verlagerung des eingetragenen Wassers aus dem Retentionsraum weiter untersucht werden. Dies kann allerdings nicht mit Hilfe eines 2D-Prinzipmodells erfolgen. Hierzu wird das derzeit im Aufbau befindliche dreidimensionale Grundwasserströmungsmodell benötigt, mit dem kurzfristige Strömungsänderungen infolge Poldereinstau und hydrologisch bedingten langfristigen Änderungen betrachtet werden können.

4. Erste dreidimensionale Prognosebetrachtungen und weitere Vorgehensweise

Für den Untersuchungsraum wurden bereits erste großräumige Modellbetrachtung mit einem dreischichtigen Modell von TGU (1991) durchgeführt, um die Piezometerhöhenänderungen beim Poldereinstau abzuschätzen. In der Diplomarbeit Huber (1996) wurde ein dreidimensionales Modell aufgebaut und weitere stationäre Modellrechnungen unter Berücksichtigung der Wasserwerksentnahmen durchgeführt. Die stationären Piezometerhöhenverhältnisse bei Mittelwasser und bei Einstau des Retentionsraumes sind mit dem dreidimensionalen Strömungsmodell berechnet worden und in Abb. 4 und 6 dargestellt. Daraus geht eine direkte Zuströmung zu den Wasserwerksbrunnen während des Einstaus des Retentionsraumes hervor. Diese ersten abschätzenden stationären Betrachtungen wurden von Huber (1996) durchgeführt. Dabei konnte nachgewiesen werden, daß für einen nicht kolmatierten Entwässerungsgraben die Laufzeiten zwischen Retentionsraum und Wasserwerksbrunnen größer als 200 Tage sind.

Im Hinblick auf eine mögliche langfristige Beeinflussung der Wasserqualität im Bereich der geplanten Trinkwasserbrunnen von Kastenwört lassen sich mit dem bestehenden stationären Grundwasserströmungsmodell keine weiteren abgesicherten Aussagen ableiten. Aus diesem Grund erfolgt derzeit der Aufbau und die Eichung eines dreidimensionalen instationären Grundwassermodells. Mit diesem instationären Modell lassen sich unterschiedliche Einstaubedingungen im Retentionsraum untersuchen. Für die beiden derzeit zur Diskussion stehenden Varianten als ungesteuerter oder gesteuerter Retentionsraum kann die Langzeitverfrachtung des eingetragenen

Wassers und eine mögliche Zuströmung zu den Wasserwerksbrunnen untersucht werden. Mit Hilfe des Modells kann nachgewiesen werden, welche Einstaubedingungen zu einer Zuströmung zu den geplanten Wasserwerksbrunnen führen. Dies ist ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Wahl der Retentionsvariante, da die Zuströmung von Wasser aus dem Polderraum eine deutlich aufwendigere Wasseraufbereitung erfordert als die Entnahme von Grundwasser, das nicht aus dem Retentionsraum stammt.

■

Literatur

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1994):

‘Dokumentation des Projektes Stadtwerke Karlsruhe – Erstellung der hydrogeologischen Grundlagen für das geplante Grundwassermodell Karlsruhe’.

Huber, O. (1996):

‘Systematische Untersuchungen zu den Strömungsverhältnissen infolge des Einstaus des Polders Bellenkopf/Rappenwört unter besonderer Berücksichtigung der naheliegenden Trinkwasserversorgung’, Diplomarbeit, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.

Regierungspräsidium Karlsruhe (1993):

‘Retentionsraum Bellenkopf/Rappenwört (Voruntersuchungen) Abschlußbericht’, Integriertes Rheinprogramm

Stadtwerke Karlsruhe, Versorgungsbetriebe Abteilung Hydrologie und Grundwasserschutz (1996):

‘Wassersicherstellungsgebiet Kastenwört – Bodenkundliche Untersuchungen im Bereich des geplanten Polders Kastenwört/Bellenkopf’, Arbeitsbericht 09-2/96

3 Relevante Aspekte der Trinkwasserverträglichkeit von Hochwasserrückhaltmaßnahmen



Prof. Dr. D. Maier
Stadtwerke Karlsruhe

Unabhängig von allen Ergebnissen der Modellrechnungen, die sich auf die wässrige Phase beschränken, sind bei der Planung von Hochwasserrückhaltmaßnahmen weitere gesamtökologische und trinkwasserrelevante Aspekte zu berücksichtigen.

1. Überflutung von Baggerseen

Wie viele vergleichende Messungen am Rhein beweisen (AWBR- und ARW-Berichte) ist die uferfiltratfreie Grundwasserqualität im Vergleich zur Rheinwasserqualität deutlich besser, wie in Tabelle 1 am Rhein bei Karlsruhe gezeigt werden kann.

Tabelle 1

Vergleich von landseitigem Grundwasser mit Rheinwasser

Parameter	Rhein bei Karlsruhe	Rheinnahes Grundwasser
Σ Tri- und Tetrachlorethen	0,32 mg/l	< 0,1 mg/l
Atrazin	0,04 mg/l	< 0,01 mg/l
Organische Halogenverbindungen	8,8 mg/l	< 5 mg/l
AOS	42,5 mg/l	< 10 mg/l
DOC	2,2 mg/l	0,76 mg/l

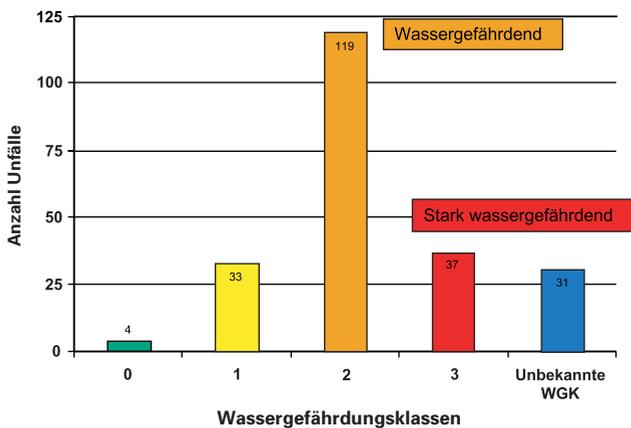
Eine Überflutung von Baggerseen und Kiesgruben durch Hochwasserrückhaltmaßnahmen führt zur unmittelbaren Verschlechterung der Grundwasserqualität. Nach der EG-Richtlinie des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (80/68/EWG) stellt die Überflutung von Baggerseen mit Rheinhochwasser einen Verstoß gegen die Artikel 3 und 4 dieser Richtlinie dar. Diese Artikel besagen, dass die Mitgliedsstaaten die erforderlichen Maßnahmen ergreifen müssen, um die Ableitung von wassergefährdenden Stoffen in das Grundwasser zu verhindern bzw. zu begrenzen, damit die Verschmutzung des Grundwassers durch diese Stoffe verhütet wird. Eine gezielte Überflutung von Baggerseen führt also zum gezielten Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser.

2. Überflutung nach Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen

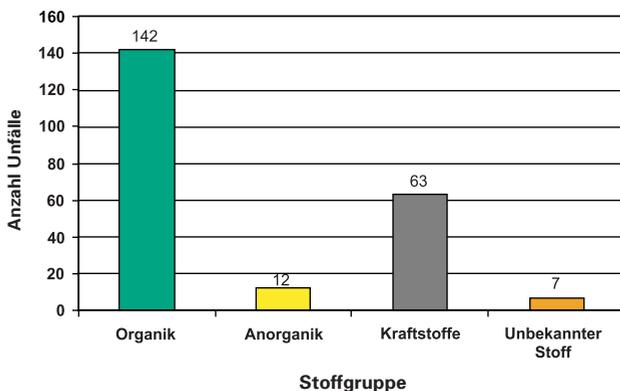
In den zurückliegenden 12 Jahren hat sich zwar die Zahl der Unfälle auf dem Rhein gegenüber früher deutlich verringert, dennoch ereignen sich pro Jahr statistisch gesehen noch etwa 17 Unfälle am Rhein.

Abbildung 7

Anzahl der Unfälle auf dem Rhein, differenziert nach Wassergefährdungsklassen

**Abbildung 8**

Anzahl der Unfälle auf dem Rhein differenziert nach Stoffgruppen (1987-1999)

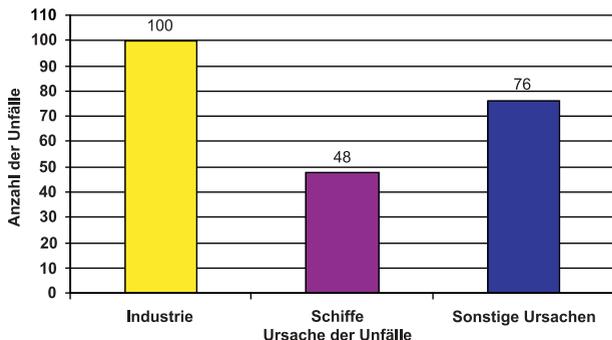


Die Aufgliederung dieser Unfälle in Unfälle geordnet nach Wassergefährdungsklassen in Abb. 7 zeigt deutlich, dass die Unfälle mit Stoffen aus den für die Trinkwasserversorgung relevanten Wassergefährdungsklassen 2 (wassergefährdend) und 3 (stark wassergefährdend) insgesamt knapp 70 % ausmachen.

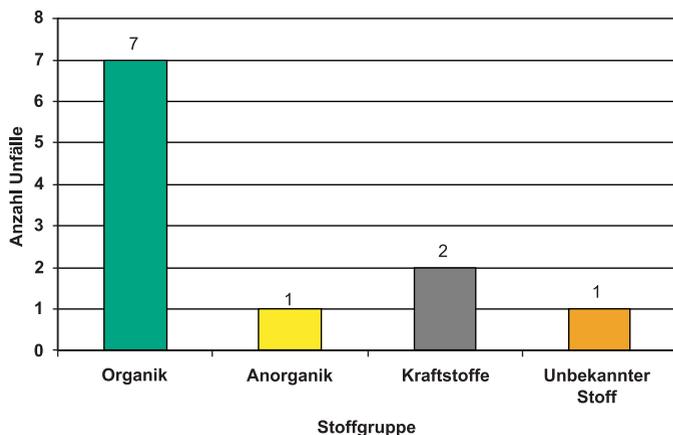
Nach der Abb. 7 handelt es sich hierbei um über 91 % organische Schadstoffe. Von 224 Unfällen am Rhein in den zurückliegenden 13 Jahren waren nach Abb. 9 100 Unfallursachen auf Störungen im Bereich von Industrieanlagen zurückzuführen,

Abbildung 9

Ursachen der Unfälle auf dem Rhein zwischen 1987 und 1999

**Abbildung 10**

Anzahl der Unfälle auf dem Rhein bei Hochwasser differenziert nach Stoffgruppen



48 Unfälle wurden durch Schiffshavarien verursacht. Unbekannte oder sonstige Ursachen wurden 76mal registriert.

Leider gab es im Betrachtungszeitraum am Rhein auch 11 Unfälle während Hochwassersituationen, wie die Abb. 10 zeigt. Dieses Beispiel beweist, dass die Rückhalte-räume unbedingt so zu gestalten sind, dass auf Unfälle am Rhein reagiert werden kann. Dies ist ein wesentliches Argument gegen die natürliche Dammrückverlegung, die andererseits auch aus Wirksamkeitsgründen abzulehnen ist.

3. Schadstoffbelastung der Hochwasserschwebstoffe

Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass nach Hochwasserereignissen beträchtliche Schwebstoffmengen in den Rückhalteräumen liegen bleiben. Zu den hauptsächlich nachgewiesenen organischen Schadstoffen, die an diese Schwebstoffe adsorbiert sind, zählen die Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe, das Hexachlorbenzol und die chlorierten Biphenyle.

Abbildung 11

Schadstoffbelastung von Hochwasserschwebstoffen am Rhein bei Iffezheim

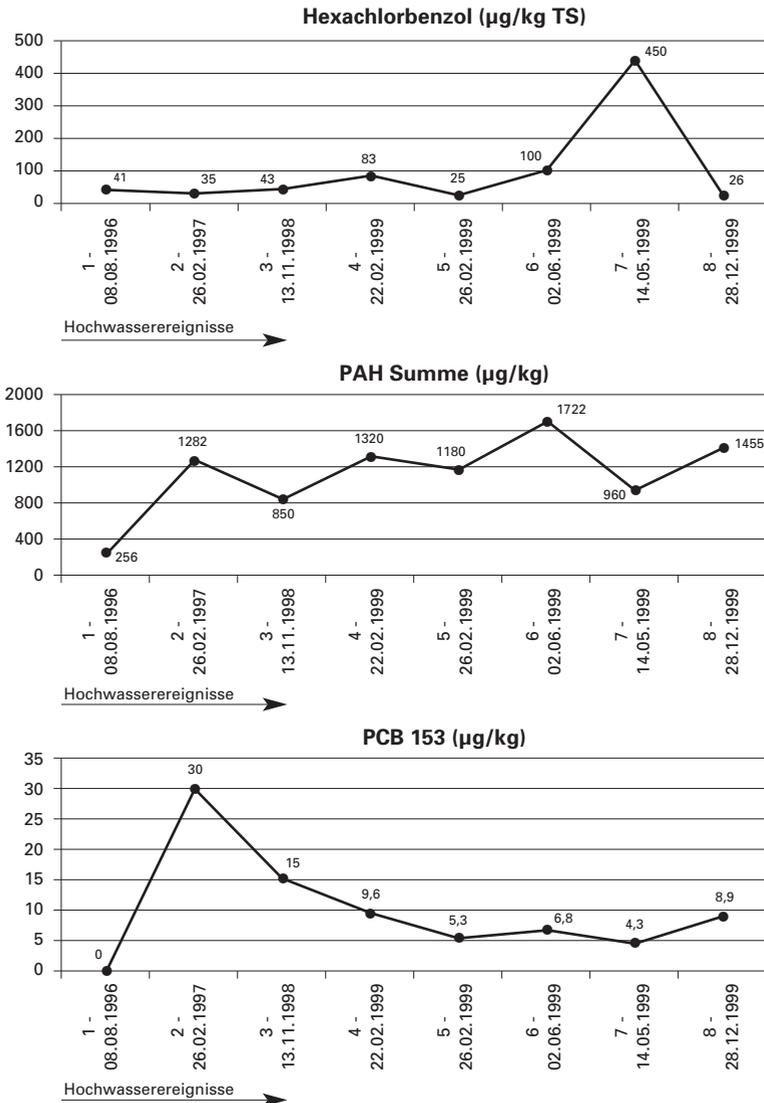
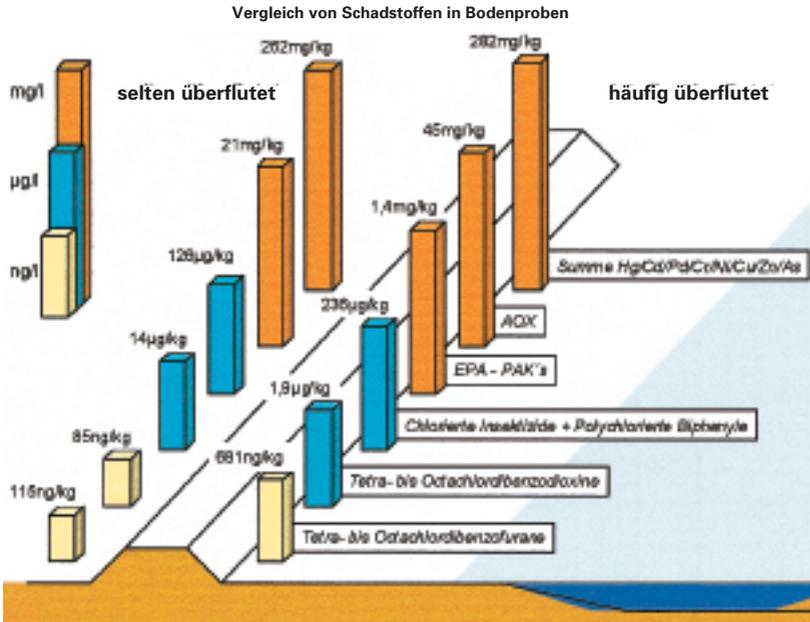


Abbildung 12

Gemessene Schadstoffkonzentrationen in Bodenproben von häufig und selten überfluteten Bereichen



Schwebstoffuntersuchungen während Hochwassersituationen am Rhein bei Iffezheim zeigen, dass die Konzentrationen für diese Stoffe in den Sedimenten außerordentlich stark schwanken können, wie die Ganglinien in Abb. 11 für aufeinanderfolgende Hochwässer bei Iffezheim für verschiedene Schadstoffgruppen belegen. Ein Vergleich der Bodenqualitäten des Obersten Zentimeters Bodenflächen aus häufig bzw. selten mit Rheinwasser überfluteten Böden vor und hinter dem Rheindamm bei Karlsruhe (Kastenwört) beweist, dass die Sedimentbelastung langfristig zu einer deutlichen Bodenverschlechterung führt, wie Abb. 12 darstellt.

Problematisch ist die Tatsache, dass sich diese Schadstoffe in der Nahrungskette anreichern können und damit die erwünschte Renaturierung der Auenwälder nur aus botanischer nicht dagegen aus zoologischer Sicht gelingt. Untersuchungen der Universität Heidelberg (Hollert) haben gezeigt, dass Hochwasserereignisse am Neckar wegen der Schadstoffbelastung der Sedimente zu ökologischen Beeinträchtigungen von Organismen führen können. Es ist daher dringend erforderlich, derartige Untersuchungen in die öffentlichen Untersuchungsprogramme zum Integrierten Rheinprogramm mit aufzunehmen.



Walter Jülich
RIWA- IAWR,
Amsterdam

Untersuchungen zu endokrin wirksamen Stoffen in den Niederlanden

Wie allgemein bekannt, geht es dem Rhein immer besser. Die Zeit der Giftkatastrophen ist vorbei, die Zeit der toten Fische und Schaumberge. Zwar erfreuen uns alle Jahre wieder die Analytiker mit der Mitteilung, daß sie einige neue Stoffe im Rheinwasser analysieren können, aber die meisten dieser Stoffe sind nicht toxisch und der Schaden hält sich in Grenzen. Auch die Medien berichten selten darüber.

Neue Probleme und Fragen

Bisweilen aber gibt es Beobachtungen über unerwartete Phänomene in der Umwelt, die aufhorchen machen und für einen Strom von Zeitungsmeldungen sorgen, ja sogar für Filme im Fernsehen. Gemeint sind Berichte über Geschlechtsveränderungen bei Tieren und die Beeinträchtigung der Fortpflanzung bei Tier und Mensch. Wir erfahren dann beispielsweise, daß der Mann von heute nur noch halb so viel Mann ist wie sein Großvater, daß die Anzahl und Qualität der Spermien jedes Jahr mit 1-2% sinkt, und daß letztendlich die Fortpflanzung einer ganzen Nation gefährdet ist. Eine Unmasse von wissenschaftlichen Artikeln erscheint in Europa und Nordamerika (lesenswert u.a. BLW 1997), gekrönt von lesbaren Darstellungen der Katastrophe, die sich anzubahnen scheint: so veröffentlichte Greenpeace eine Broschüre mit dem Titel 'Poisoning the Future' (Allsopp et al. 1997), Cadbury ein Buch 'Die Verweiblichung der Natur' (Cadbury 1997), und Colborn ein Buch 'Die bedrohte Zukunft' (Colborn et al. 1996), das sogar mit dem Vorwort eines amerikanischen Vizepräsidenten geschmückt wird.

Was ist los? Fest steht, daß es eine große Zahl von Beobachtungen gibt, die eindeutig belegen, daß hormonartige Wirkungen von Stoffen industrieller Herkunft ausgehen. Fest steht auch, dass die hormonell gesteuerte Entwicklung bei Tier und Mensch sehr störanfällig sein kann.

Grund genug also für umfangreiche Forschungsprojekte der Umweltbehörden in Europa und Amerika, der EU, der Wasserwerksverbände und (last but not least) der Industrieverbände weltweit.

Nebenbei sei erwähnt, daß zur Zeit auch ein großes Forschungsvorhaben der EU läuft, COMPREHEND genannt, von 'Community Programme of Research on Environmental Hormones and Endocrine Disruptors', an dem 13 Institutionen aus 7 Ländern teilnehmen. Es tut sich also was.

Endokrin wirksame Substanzen im Trinkwasser?

Der heutige Vortrag soll, nach einigen weiteren einleitenden Bemerkungen, über die Untersuchungen berichten, die in den Niederlanden zu diesem Thema durchgeführt wurden. Ziel der Untersuchung war, zu klären, inwieweit diese Stoffe bzw. deren Wirkungen im Rohwasser der Wasserwerke nachgewiesen werden können und ob endokrin wirksame Stoffe die Aufbereitungsschritte der Trinkwasserwerke durchdringen und damit in das Trinkwasser gelangen können.

Entwicklung von Mensch und Tier

Die Untersuchungen zu den Wirkungen von Xeno-Östrogenen (wie man die hormonartig wirkenden Stoffe auch nennt, die nicht natürlicher Herkunft sind) sind gerechtfertigt, denn Mensch und Tieren weisen in frühen Stadien der Ontogenie Perioden großer Empfindlichkeit auf, bei denen sich hormonale Störungen schwerwiegend auswirken können (Harvey et al. 1999, Wilson et al. 1998). Gewiesen sei auf das DES-Hormon, das seinerzeit zur Aufrechterhaltung der Schwangerschaft in großen Mengen eingesetzt wurde, und von dem wir heute wissen, daß es eine Generation später Krebs an den Geschlechtsorganen der Töchter auslösen kann.

Die Umweltverschmutzung mit Industriechemikalien (einschließlich der Pestizide) wird als Hauptursache für Fortpflanzungsstörungen genannt und zahlreiche Stoffe aus den unterschiedlichsten Stoffklassen können hier eine Rolle spielen. Bisweilen wird übersehen, daß es noch weitere hormonartig wirkende Stoffe in der Umwelt geben kann, wie die natürlichen Geschlechtshormone von Tier und Mensch (Wegener et al. 1999, Blok & Wösten 2000) und die Phyto-Östrogene (Adlercreutz 1995, 1999).

Erwähnenswert ist ferner, daß die östrogene Potenz der Xeno-Östrogene meist sehr niedrig ist und um den Faktor 100.000 bis 10 Millionen unter der des Östradiols liegt. Dennoch können diese geringen Wirkungen bei aquatischen Organismen eine Rolle spielen.

Beobachtungen an Wildtieren

Geschlechtsveränderungen bei Fischen

Angler an den kleinen Flüssen in England beobachteten in den 60er und 70er Jahren, daß die männlichen Fische, die sie gefangen und aufgeschnitten hatten, durchaus auch weibliche Merkmale aufwiesen. Diese Befunde wurden an das Ministry of Agriculture and Fisheries gesandt, das davon zunächst nicht beeindruckt war und antwortete, daß es sich wohl um eine Spielart der Natur handele, so etwas könne schon mal vorkommen. Da sich diese Beobachtungen aber häuften, sah sich dasselbe Ministerium genötigt, einen Forschungsauftrag zu vergeben. Die Untersuchung ergab zweierlei:

- **Erstens, daß die Verweiblichung der Fische evident ist, Ursache sind offensichtlich Stoffe, die im Ablauf der Kläranlagen enthalten sind, gedacht wurde u.a. an die Alkylphenole Nonylphenol oder Octylphenol.**
- **Zweitens, daß in männlichen Fischen das Vitellogenin, ein Dotterprotein nachweisbar ist, das normalerweise in der Leber der weiblichen Fische produziert wird, bei Störung durch Xeno-Östrogene Stoffe aber auch in männlichen Fischen. - Damit war der Vitellogenintest geboren. (Desbrow et al. 1998, Gimeno et al. 1996, Harries et al. 1997, Purdom et al. 1994, Routledge et al. 1998, Sumpter & Jobling 1995, Tyler et al. 1996)**

Beobachtungen an Alligatoren

Auf der anderen Seite des großen Teiches, im Lake Apopka, einem der großen Seen Floridas, gab es andere alarmierende Beobachtungen:

- **Die Alligatoren dieses Sees pflanzten sich kaum noch fort, während ihre Artgenossen in anderen Seen sich keinerlei Zwang auferlegten.**
- **Die Zahl der Eier nahm ab, ebenso wie die Länge des Penis.**

Die Ursache suchte man auch hier in Industriechemikalien, insbesondere wurde auf den Pestizideintrag gewiesen, der diesen See vor Jahren vergiftete (Guillette et al. 1994b, 1995a-b, 1996a-b).

Beobachtungen am Floridapanther

Eine weitere Beobachtung betraf den Floridapanther. Es handelt sich hier um eine besondere Rasse, die nur in Florida vorkommt und dort vom Aussterben bedroht ist. Die Population besteht nur noch aus 30-50 Tieren. Die meisten Tiere weisen Entwicklungs- und Fortpflanzungsanomalien auf (Cryptorchismus, geringe Spermienzahl, morphologisch aberrante Spermien) (Barone et al. 1994). Die vermutete Ursache waren auch hier hormonartig wirkende Industriechemikalien.

Beim Floridapanther gibt es aber andere Ursachen, die viel wahrscheinlicher sind:

- **Der Lebensraum ist klein und fragmentarisch.**
- **Die Population ist sehr klein und besteht nur aus einigen Dutzend Tieren.**

Damit wird das Fortpflanzungsverhalten eher durch räumliche Probleme und Inzucht gestört (Roelke et al. 1993), wengleich einige Untersuchungen hohe Gehalte an persistenten chlororganischen Verbindungen nachgewiesen haben (Facemire et al. 1995), was darauf hinweisen kann, dass diese Stoffe zusätzlich zu den Inzuchtproblemen gewirkt haben könnten.

Ich bringe das Beispiel der Fische, Alligatoren und des Floridapanthers bewußt, um deutlich zu machen, daß es auf dem Gebiet der Fortpflanzungsstörungen bei Tier und Mensch eine große Zahl von Beobachtungen gibt, bei denen ein Kausalzusammenhang mit endokrin wirkenden Umweltstoffen entweder tatsächlich besteht (siehe Fische), oder wahrscheinlich ist (siehe Alligator), oder vermutlich nicht (oder nur teilweise) besteht (siehe Floridapanther).

Es gibt Hunderte von weiteren Beispielen, auf die ich hier aus Zeitgründen nicht eingehen werde, z.B. auf den Intersex bei Fischen (also der Bildung von Eizellen in den Testes der männlichen Fische), oder auf den sog. Imposex bei Meeresschnecken, verursacht durch Tributylzinn, wobei weibliche Schnecken zusätzlich einen Penis entwickeln (Harding et al. 1992).

Beobachtungen am Menschen

Human-Wildlife-Connection

Was den Menschen betrifft, so ist die Zuordnung von beobachteten oder vermuteten Störungen der Fortpflanzungsfähigkeit zu Umweltchemikalien schwer möglich, da experimentelle Daten naturgemäß meist fehlen. Mit dem Begriff 'Human-Wildlife-

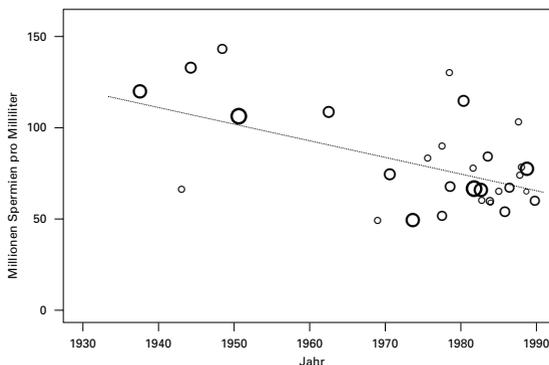
Connection' wird daher zum Ausdruck gebracht, daß aufgrund der großen Ähnlichkeit des Hormonsystems von Wirbeltieren und Menschen es nicht ausgeschlossen ist, daß die Wirkungen von Xeno-Östrogenen, die im Tierreich nachgewiesen wurde, auch beim Menschen vorkommen können (Colborn & Clement 1992, Guillette 1994a).

Spermienreduktion

Aufsehen erregten die Veröffentlichungen von Carlsen et al. (1992), Skakkebaek et al. (1994) und Toppari et al. (1995), die die Untersuchungen an 15.000 dänischen Männern zusammengefaßt hatten und feststellten, daß in dem Zeitraum von 50 Jahren die Anzahl der Spermien von 113 Millionen/mL auf 66 Millionen/mL, also etwa die Hälfte zurückgegangen war. Die entsprechende Graphik, die dies u.a. belegen sollte, ist hier wiedergegeben. Der gezeigte Rückgang ist dramatisch und, wenn wahr, besorgniserregend. Untersuchungen in anderen Ländern kamen entweder zu einem ähnlichen Ergebnis, wie in Belgien (Van Waleghem et. al. 1994, 1996) oder in Paris (Auger et al. 1995).

Abbildung 1

Spermakonzentration (Millionen Spermien pro Milliliter)
(nach Carlsen et al. 1992, Brit. Med. J. 305: 609-613)



Andere Forscher fanden in ihrem Material jedoch keine statistisch signifikante Änderung, wie etwa in Finnland (Suominen & Vierula 1993), in anderen Teilen Frankreichs (Toulouse) (Bujan et al. 1996) oder in Nordamerika (Seattle) (Paulsen et al. 1996). Auch wurde darauf hingewiesen, dass die geographische Variationsrate recht hoch sein kann (Fisch & Goluboff 1996).

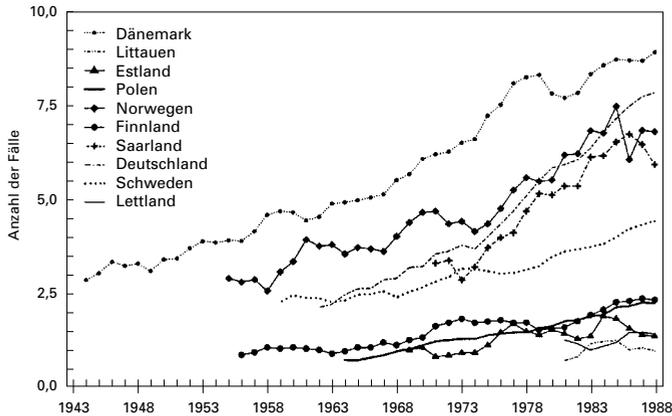
Kritiker wiesen darauf hin, daß die Datenmenge früherer Jahrzehnte zu gering sei und außerdem die Methoden nicht vergleichbar seien – und daß man in der Graphik von Carlsen et al. (1992) die Messpunkte für die Jahre 1970 bis 1990 auch so interpretieren kann, daß eine leichte Zunahme der Spermienzellen beobachtet wird.

Hodenkrebs

Weitere, vielleicht weniger kontroverse Beobachtungen betreffen die Zunahme einer seltenen Krebsform bei jungen Männern, die des Hodenkrebses. Dieser Krebs tritt immer noch selten auf, in vielen Ländern der Erde (Großbritannien, skandinavische und baltische Länder, U.S.A., Australien und Neu-Seeland) wurde aber eine statistisch gesicherte Zunahme festgestellt (Adami et al. 1994, Forman & Møller 1994, Toppari et al. 1995).

Abbildung 2

Auftreten von Hodenkrebs (Anzahl der Fälle unter 100.000 Personen)
(nach Adami et al. 1994, Int. J. Cancer 59: 33-38)



Die Zunahme ist in den einzelnen Gebieten sehr unterschiedlich, von kaum nachweisbar bis sehr deutlich. Ein Kausalzusammenhang mit dem Vorkommen von Xeno-Östrogenen konnte jedoch nicht erbracht werden, kann aber auch nicht ausgeschlossen werden.

Hormone und deren Wirkungsmechanismen

Rufen wir uns in Erinnerung, daß endokrin wirksame Stoffe unterschiedlicher Herkunft in der Natur vorkommen können. Es sind entweder körpereigene Stoffe, oder Phyto-Östrogene pflanzlicher Herkunft, oder Xeno-Östrogene, die über industrielle und städtische Abwassereinleitungen die Gewässer erreichen.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts hat man erkannt, daß besondere Botenstoffe, die vom Blutstrom durch den Körper transportiert werden, viele Lebensvorgänge steuern. Sie erhielten den Namen Hormone (von gr. ὁρμᾶν (hormaino) od. ὁρμᾶω (hormao) = antreiben) und haben in der Ontogenese von Mensch und Tier eine Schlüsselrolle.

Hormone sind chemische Überträgerstoffe, die in geringen Mengen im Blut zirkulieren und von bestimmten Geweben oder Drüsen in das Blut ausgeschieden werden (endokrine Drüsen). Sie wirken über Rezeptoren auf andere Gewebe oder Organe ein und regulieren Organfunktionen und Stoffwechselfvorgänge.

Hormone sind keine einheitliche Stoffgruppe. Einige sind Polypeptide, deren Wirkung an die Aminosäuresequenz gebunden ist, wodurch sie häufig artspezifisch sind (wie z.B. das Insulin), während andere Hormone relativ einfach gebaute niedermolekulare Verbindungen sind (wie z.B. die Geschlechtshormone). Die Erkenntnis, daß hormonartig wirkende Stoffe auch aus völlig anderen xenobiotischen Stoffgruppen stammen können, war die große Überraschung der letzten Jahre. Diese Xeno-Östrogene sind körperfremde Stoffe, die nach Aufnahme in den Körper und Bindung an spezifische Hormonrezeptoren wie ein körpereigenes Hormon wirken können.

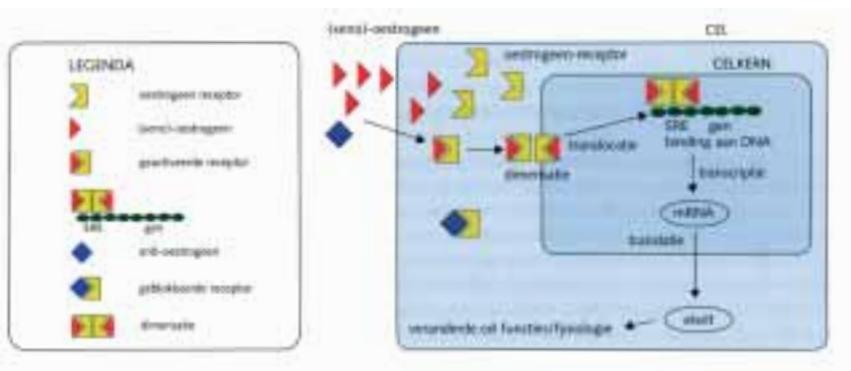
Für eine Hormonwirkung ist immer eine Wechselwirkung mit einem Rezeptor erforderlich. Diese können an die Zellmembran gebunden oder im Zellinnern zu finden sein. Normalerweise lösen Hormone eine Kette von Reaktionen aus, die schließlich zum Effekt führen. Die Ausschüttung der Geschlechtshormone wird über Hormone des Hypophysenvorderlappens und des Hypothalamus gesteuert. Die Geschlechtshormone zirkulieren im Blut, entweder als freie Moleküle, oder zumeist an Transporteipweiße gebunden.

Wirkungsmechanismus von Östrogenen in Zellen

Stereoidhormone wie die Geschlechtshormone dringen in die Zellen ein, wonach der Hormon-Rezeptor-Komplex in den Zellkern transportiert wird und sich an spezifische Regulatorsequenzen des Strukturgens der DNA anlagert. Die Bildung von messenger-RNA wird stimuliert, dieses verläßt den Zellkern und gelangt zu den Ribosomen, dem Ort der Proteinsynthese. Viele körperfremde Stoffe können auf diesen Mechanismus der 'Induktion' einwirken, sofern sie wie das körpereigene Hormon über die Rezeptorbindung die entsprechenden genetischen Strukturen im DNA-Molekül aktivieren. Eine Graphik soll den Vorgang verdeutlichen.

Abbildung 3

Wirkungsmechanismus von Östrogenen und Xeno-Östrogenen



Wenn ein Xeno-Östrogen (= die roten Dreiecke) die Zellmembran passiert hat, kann es an einen Östrogenrezeptor (= die gelben Gebilde) im Zellplasma binden. Nach Aktivierung des Rezeptors entsteht ein Komplex von zwei beladenen Rezeptoren. Dieses Dimer dringt in den Zellkern ein und bindet an ein spezifisches DNA-Segment (das 'estrogen responsive element' ERE). Dort findet nach Transkription die Bildung einer m-RNA statt, und es folgt über weitere Schritte die Synthese spezifischer Eiweiße, die die Zellfunktion und damit die Physiologie des Organismus beeinflussen.

Risiken für Mensch und Umwelt

In zahlreichen Ländern haben sich die Umweltämter und Gesundheitsministerien mit der Frage der endokrin wirksamen Umweltstoffe beschäftigt. So erschien vor wenigen Jahren ein spezieller Bericht der nordamerikanischen EPA zu diesem Thema (EPA 1997) und Ende vorigen Jahres der umfangreiche Bericht der National Academy of Sciences (Washington) (NRC 1999), die im Auftrage der EPA die Literatur zu diesem

Thema ausgewertet hat. Dem Komitee gehörten zahlreiche Spezialisten amerikanischer Forschungseinrichtungen an, die, so wird ehrlich berichtet, bei der Interpretation der veröffentlichten Daten durchaus nicht stets einer Meinung waren. Die in diesem amerikanischen Bericht vertretene Meinung entspricht in großen Linien der Meinung, die z.B. der Gesundheitsrat der Niederlande (GR 1999) vertritt, die ich hier als Überleitung zu den Meßergebnissen bringe.

Aquatische Ökosysteme

Negative Auswirkungen von hormonartig wirkenden Stoffen auf Organismen vor allem aquatischer Ökosysteme sind erwiesen, ein strenger Kausalzusammenhang fehlt aber noch häufig. Es besteht dennoch Grund zur Besorgnis, dass bestimmte Stoffe das Fortbestehen einzelner Arten, vor allem in marinen Ökosystemen, gefährden können. Es ist aber schwierig, den Rückgang bestimmter Arten auf die Anwesenheit gewisser Stoffe zurückzuführen, da viele andere Faktoren ebenfalls eine Rolle spielen können.

In dem Bericht wurde die Relevanz von etwa 77 Stoffen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften untersucht, 34 davon sind als (potentielle) Xeno-Östrogene für die Niederlande von Bedeutung und sollen in der Umwelt genauer verfolgt werden.

Auswirkungen auf den Menschen

Was den Menschen betrifft, so sind negative Einflüsse durch Aufnahme von Xeno-Östrogenen zwar nicht auszuschließen, wurden aber bisher nicht nachgewiesen. Eine direkte, akute Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung besteht nicht. Dennoch besteht weiterer Forschungsbedarf, wemgleich angemerkt werden muß, daß die Konzentration und die östrogene Potenz der in Frage kommenden Schadstoffe gering ist.

Ausgeklammert sind bei dieser Aussage die Hormonzusätze, die in einigen Ländern in Fleisch vorkommen können. In diesen Nahrungsmitteln können durchaus relativ hohe Hormonkonzentrationen auftreten.

Im Einzelnen

Eine Zuordnung der Spermienreduktion zu hormonell aktiven Stoffen wird kontrovers diskutiert, ein Kausalzusammenhang zwischen der Aufnahme von Xeno-Östrogenen und dem Auftreten teratologischer Bildungen wie Hypospadie (Ureteröffnung auf der Unterseite des Penis), Cryptorchismus (Hoden in der Bauchhöhle) und Hodenkrebs ist beim Menschen nicht nachgewiesen.

In der Umwelt bestehen jedoch deutliche Hinweise auf Beziehungen zwischen Fortpflanzungs- und Entwicklungsstörungen und exogenen hormonell aktiven Stoffen, Beziehungen, die durch Laborversuche erhärtet werden konnten. Die in der Natur beobachteten Gonadenanomalien bei Möven oder die Pisanomalien bei Alligatoren konnten durch hormonell aktive Stoffe (hier DDT) auch im Labor erzeugt werden.

Die pränatale Exposition des Menschen zu hohen Konzentrationen an PCB und PCDF kann die Ontogenie des Nervensystems negativ beeinflussen.

Es gibt deutliche Hinweise auf die Beeinträchtigung des Immunsystems durch Organochlorverbindungen (vor allem PCB) bei Möven und Robben, und es wird vermutet, dass die Immunsuppression bei diesen Tieren für die Häufung der Infektionen durch Bakterien und Viren verantwortlich ist. Beim Menschen erlaubt das Datenmaterial keine verlässlichen Aussagen.

Es ist wahrscheinlich, dass Xeno-Östrogene in der Umwelt für den Rückgang einiger Arten verantwortlich sind (Fische, Schnecken, Alligator, Vögel, Fischotter, marine Säugetiere). Ein Kausalzusammenhang ist oft schwer nachzuweisen, es ist aber zu befürchten, dass für wesentlich mehr Arten eine Kausalkette besteht.

Obwohl einige Xeno-Östrogene (wie Toxaphen, DDE, DDT, TCDD und Endrin) für die Bildung von Tumoren bei einigen Versuchstieren verantwortlich gemacht wurden, besteht im Allgemeinen die Auffassung, dass Xeno-Östrogene keine Tumoren in Fortpflanzungsorganen oder endokrinen Organen nach postnataler Exposition verursachen. Die Bestimmung der Risiken für Mensch und Umwelt ist schwierig, da langjährige Messdaten für die meisten Stoffe fehlen (vor allem in niedrigen Konzentrationsbereichen). Besonders heikel wird auch die Beurteilung der Hintergrundbelastung mit Xeno-Östrogenen, angesichts des Vorherrschens von relativ hohen Konzentrationen von hormonartig wirkenden Stoffen im Körper oder in der Nahrung (natürliche Hormone, Kontrazeptiva, Aufnahme von Phyto-Östrogenen mit der Nahrung). Zu beachten ist, dass die biologische Wirkung einiger Xeno-Östrogene bei niedrigen Konzentrationen stärker ist als bei hohen Konzentrationen, die normalerweise in Laborversuchen verwendet werden.

LOES-Projekt

Nach den zahlreichen Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften wuchs in den Niederlanden der Bedarf nach Meßdaten. In seltener Einmütigkeit kamen Vertreter des Verkehrsministeriums und des Gesundheitsministeriums bzw. deren Forschungsinstitute RIZA, RIKZ, RIVM mit Vertretern von Wasserwerksorganisationen (RIWA) und Betreibern von Kläranlagen zusammen und vereinbarten, gemeinsam das Thema zu untersuchen. Damit war das Projekt 'Landelijk onderzoek **Ö**estrogene **S**toffen' (= nationale Untersuchung östrogenen Stoffe) geboren. Bei den Untersuchungen wirkten mehrere Universitätsinstitute aus Amsterdam und Wageningen sowie einige unabhängige Institute mit.

Beschlossen wurde eine landesweite Untersuchungen hormonartig wirkender Stoffe in den Niederlanden, mit zusätzlichen Proben aus Belgien und Deutschland. Nach einer umfangreichen Vorstudie wurden Wasserproben und Sedimente aus den Flüssen Rhein und Maas untersucht, ferner Seen, Küstengewässer, sowie Prozeß- und Trinkwasser der Wasserwerke. Im Jahre 1999 wurden drei Messserien untersucht, die RIWA lieferte für jede Serie 30 Wasserproben.

Ziel war der Nachweis von Wirkungen und das Auffinden von Stoffen, die den physiologischen Haushalt der Geschlechtshormone beeinflussen und damit die Fortpflanzung stören können.

Untersuchung chemischer Stoffe

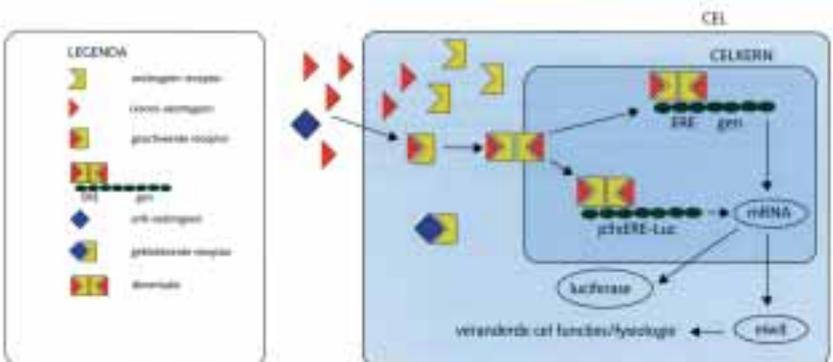
Chemische Untersuchungen betrafen die natürlichen und synthetischen Geschlechtshormone, also das Östradiol sowie das Hormon der Pille, das Ethinylöstradiol. Analysiert wurden ferner bestimmte Xeno-Östrogene wie die Polyalkylphenole und deren Ethoxylate, ferner Phthalate, Bisphenol A, sowie an einigen Orten auch die Reihe der polybromierten Brandschutzmittel, polybromierte Biphenyle und Diphenylether (BUA 1987, Denneman et al. 1998, EHC 1987-97, GR 1999, Hester & Harrison 1999, Keith 1997).

Einsatz von Biotestverfahren

Zum Einsatz kamen verschiedene Wirkungstests, deren Brauchbarkeit in einer umfangreichen Vorstudie erhärtet wurde (Belfroid et al. 1999, Vethaak et al. 2000). Diese sind hier aufgelistet:

- ER-Calux wurde für alle Proben eingesetzt. Dieser Test verwendet eine menschliche Brustkrebszelllinie. Gemessen wird der Prozeß von der Rezeptorbindung bis hin zur Genaktivierung. Der Rezeptor befindet sich bereits in der Zelle, das Reporter-gen wurde eingeschleust. Die Meßwerte sind eine Resultante von östrogen- und anti-östrogen-er Wirkung. Sowohl hydrophile wie lipophile Stoffe werden erfaßt.
- DR-Calux wurde ausschließlich für Dioxin-artige Stoffe verwendet.
- Der YES-Assay mißt die Bindung hormonartiger Stoffe an einen menschlichen Östrogenrezeptor, der in eine Hefezelle eingeschleust wurde. Ebenfalls mitgemessen werden die Aktivierung des Rezeptors und die Bindung an das Reporter-gen. Nachteil der Methode ist, daß relativ große und lipophile Moleküle die Membran der Hefezelle nicht passieren können.
- Der bereits erwähnte Vitellogenintest wurde vor allem an Zu- und Abläufen von Kläranlagen verwendet,
- Die histologische Untersuchung an Fischen, Abweichungen bei Lebenszykli von Fischen, Geschlechtsumwandlung bei Fischen und Anreicherung von Schadstoffen wurde nur an 'hotspots' untersucht. Zu diesem Zweck wurden Körbe mit Fischen und Muscheln eine Zeit lang in Abwasserströmen aufgehängt und die Tiere anschließend untersucht.

Abbildung 4
ER-Calux-Assay



Da der ER-Calux-Test in Vorversuchen mit weniger Material auskam und die niedrigste Nachweisgrenze hatte, wurde er bevorzugt für Wasserproben verwendet. In Untersuchungen der Umweltproben waren ER-Calux und YES ungefähr gleich, wobei der YES-Test etwas häufiger unter der Nachweisgrenze lag.

Ausscheidung von Östrogenen

Bei aller Euphorie über das Auffinden von Xeno-Östrogenen darf nicht vergessen werden, daß natürliche Hormone in großen Mengen ausgeschieden werden, ein Einfluß auf die Fortpflanzungsbiologie von Fischen in Abwasserströmen ist daher zumindest nicht auszuschließen (Wegener et al. 1999, Blok & Wöster 2000).

Die Höhe der Ausscheidung von natürlichen Östrogenen ist je nach Geschlecht und Alter unterschiedlich.

Tabelle 1

Ausscheidung von Östrogenen durch den Menschen

Bevölkerungsgruppe	Ausscheidung (µg/Tag)	Mittelwert der Ausscheidung (µg/Tag)
Kinder	1 - 40	20
Männer	40 - 130	85
Frauen (nicht schwanger)	50 - 450	250
Frauen (nach Menopause)	5 - 50	28

Die Ausscheidung von natürlichen Hormonen ist am höchsten während der Schwangerschaft, und beträgt dann zwischen 450 und 30.000 µg/Tag. Für die Berechnung wurde ein Mittelwert von 10.000 µg/Tag angenommen.

In der folgenden Tabelle sehen sie die Mittelwerte für die verschiedenen Bevölkerungsgruppen in den Niederlanden, ferner die Angabe aus dem statistischen Jahrbuch, wie hoch der Prozentsatz der jeweiligen Gruppe an der Gesamtbevölkerung ist, und daraus errechnet der proportionale Beitrag je Gruppe. Das Ergebnis dieser Überschlagsrechnung:

- **im Durchschnitt scheidet jeder der 16 Millionen Einwohner der Niederlande täglich 210 µg Östrogene aus,**
- **das ergibt für das Gesamtgebiet der Niederlande eine tägliche Ausscheidung von etwa 3,2 kg.**

Tabelle 2

Mittlere Ausscheidung von Östrogenen durch die niederländische Bevölkerung

Bevölkerungsgruppe	Prozentsatz der Bevölkerung	Östrogenausscheidung pro Tag (µg/d)	Proportionaler Beitrag je Gruppe (µg/d)
Kinder bis 14 Jahren	16 %	20	3,2
Jugendliche 14-19 Jahre	8 %	100	8
Männer	32 %	85	27,2
Frauen	31 %	250	77,5
Schwangere Frauen	0,9 %	10.000	90
Alte Personen	13	28	3,6

Mittlere Östrogenausscheidung pro Person in den Niederlanden: 209,5 µg pro Tag

Wenn man die Ausscheidungen von Rindern, Schweinen und Geflügel hinzuaddiert, kommt man auf eine ausgeschiedene Menge an natürlichen Östrogenen von etwa 50 kg/Tag. – Damit verglichen ist die Ausscheidung des Hormons der Antibabypille, dem Ethinylöstradiol bescheiden und beträgt nur etwa 43 g/Tag für die Niederlande.

Hormone in Kläranlagen

Die Vorstudie (Belfroid et al. 1999) zeigte, daß im Zulauf und Ablauf von Kläranlagen natürliche und synthetische Hormone nachgewiesen werden konnten.

Tabelle 3

Natürliche und synthetische Hormone (Vorstudie) (in ng/L)

Matrix	17 β -Östradiol	17 α -Östradiol	Östron	17 α -Ethinylöstradiol
Oberflächengewässer	< - 5,5	< - 1,1	< - 5,3	< - 4,3
Städtische Abwässer				
Influent	10 - 48	< - 9	10 - 140	< - 10
Sediment	< - 4,3	<	<	<
Effluent	< - 12	< - 5	< - 47	< - 8
Industrielle Abwässer				
Influent	1 - 25	< - 8	3 - 92	< - 8
Sediment	<	<	<	<
Effluent	< - 1,8	< - 2,1	< - 11	< - 3

In den Gewässern wurden Hormone praktisch nicht nachgewiesen, mit Ausnahme der Meßstellen Lobith (Rhein) und Eijsden (Maas). Dies gilt nur für die Vorstudie, denn während der Untersuchung von 1999 wurden nur noch in der Maas geringe Spuren von Östron gefunden wurden.

Ergebnisse des LOES-Projekts

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse, soweit sie Untersuchungen von Wasserproben der Trinkwasserwerke (RIWA) betrafen, ist erschienen (Ghijzen & Hoogenboezem 2000). Die Publikation der Gesamtergebnisse steht noch aus.

Bisphenol A im Rhein (Abb. 5)

Bisphenol A ist im Rhein vor allem an Orten zu erwarten, die durch Abwassereinleitungen beeinflusst werden. Überraschend ist das Auftreten in einigen Proben mit Grundwasser und Uferfiltrat. Der linke Teil der Graphik zeigt Grundwasseranalysen im Kölner Raum, die rechte Hälfte der Graphik zeigt, daß das Prozeßwasser stellenweise und das Trinkwasser kein Bisphenol A aufweist.

Bisphenol A in der Maas (Abb. 6)

In der Maas sehen wir ein ähnliches Bild. Die linke Hälfte der Graphik zeigt einige Meßstellen mit hohen, durch Abwassereinleitungen aus dem Lütticher Raum geprägten Werten, während das Prozeß- und Trinkwasser frei von Bisphenol A sind. Auffallend ist der hohe Wert bei Brakel; da zu diesem Zeitpunkt auch hohe Phthalatwerte gefunden wurden, liegt der Verdacht nahe, dass es sich hier um Anzeichen einer ungewöhnlichen Abwasser- oder Schadstoffeinleitung handelt.

Abbildung 7
Phthalate in Rheinwasser

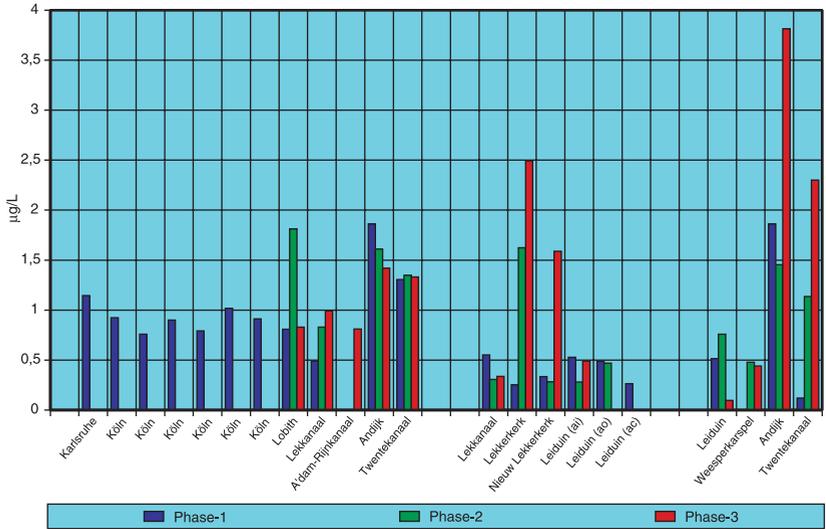


Abbildung 8
Phthalate in Maaswasser

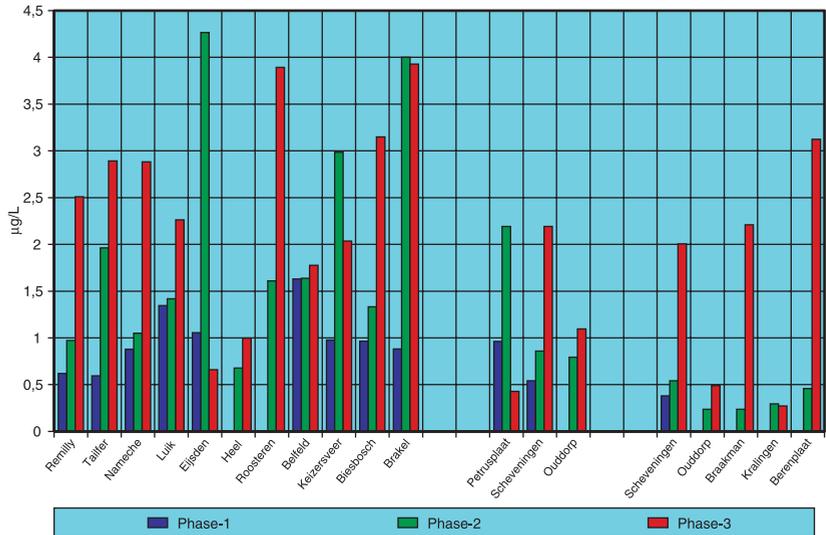
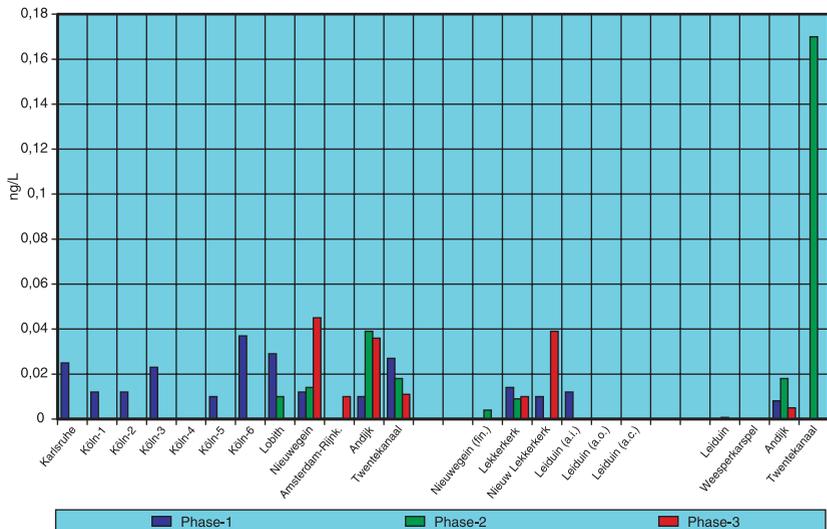
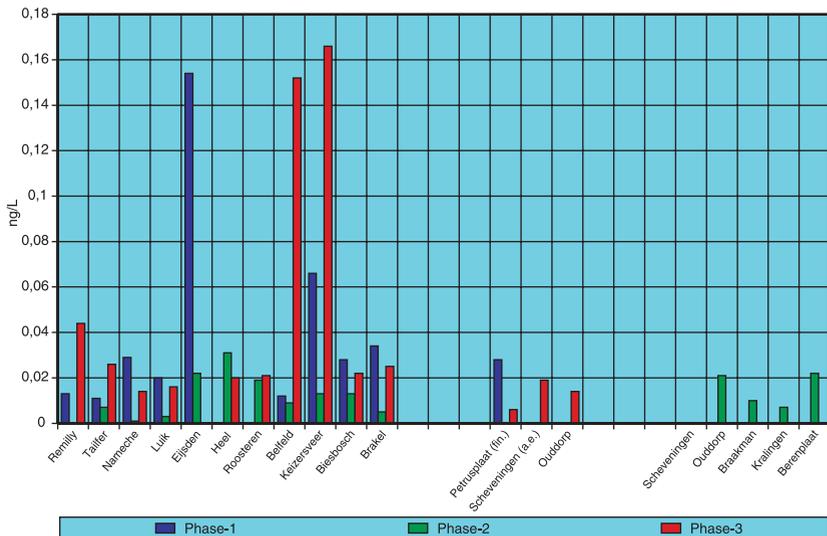


Abbildung 9

ER-Calux-Assay mit Rheinwasser (in ng/L EEO)

**Abbildung 10**

ER-Calux-Assay mit Maaswasser (in ng/L EEO)



Phthalate im Rhein (Abb. 7)

Einige Phthalate konnten im Rheinwasser, Prozeßwasser und einigen Trinkwasserproben nachgewiesen werden, in relativ geringen Konzentrationen auch in einigen Grundwasserproben des Kölner Raumes. Es wurde nach neun verschiedenen Phthalaten gesucht (DMP, DEP, DPP, DMPP, DBP, BBP, DCHP, DEHP, DOP), doch nur zwei Stoffe (DEHP, DBP) konnten in Konzentrationen $> 0,1 \mu\text{g/L}$ nachgewiesen werden.

Phthalate in der Maas (Abb. 8)

Verglichen mit der Situation am Rhein ist die Maas hier stärker belastet. Auffallend sind die rel. hohen Werte des Flußwassers. Von den neun untersuchten Phthalaten kamen nur vier (DEP, DMPP, DBP, DEHP) in Konzentrationen $> 0,1 \mu\text{g/L}$ vor. DEP war das häufigste Phthalat der Maas, im Rhein dagegen das DEHP.

ER-Calux am Rhein (Abb. 9)

Die Ergebnisse des ER-Calux-Assays, wiedergegeben in ng/L EEQ (estradiol äquivalent), liegen für Rhein- und Maaswasser unter $0,3 \text{ ng/L EEQ}$, sind also sehr niedrig. Ab $0,3 \text{ ng/L EEQ}$ wird in experimentellen Untersuchungen die Vitellogeninproduktion bei Fischen angeregt. Damit wäre aus Sicht der Trinkwasserwerke eine Konzentration erreicht, die an der Wasserentnahmestelle eines Wasserwerks unerwünscht ist. An allen Meßstellen lag die beobachtete Konzentration jedoch weit unter diesem vorläufigen Grenzwert.

In der Vorstudie wurde nachgewiesen, dass das Flußwassers des Rheins bei Lobith und der Maas bei Eijsden eine deutliche östrogene Potenz aufweist, während die beiden folgenden stromabwärts gelegenen Meßpunkte Maassluis und Haringvliet kaum noch Wirkungen zeigten. Auffallend war damals die relativ hohe Belastung der Maassedimente.

Die neue Untersuchung zeigt nur geringe Wirkungen des Rheinwassers und Prozeßwassers. Trinkwasser ist im allgemeinen ohne Befund, mit einer Ausnahme im Osten des Landes (Twentekanal), für die es noch keine Erklärung gibt.

ER-Calux an der Maas (Abb. 10)

An der Maas fallen einige Messstellen mit höheren östrogenen Wirkungen auf, die jedoch auch hier unter dem vorläufigen Grenzwert von $0,3 \text{ ng/L EEQ}$ liegen. Die Werte für Prozeßwasser und Trinkwasser liegen auf ähnlich niedrigem Niveau wie am Rhein.

Zusammenfassung der Wasseruntersuchungen des LOES-Projekts

Ich komme zum Schluß. Die Untersuchungen an den Wasserproben, die die RIWA geliefert hat, haben ergeben, daß Bisphenol A und Phthalate auftreten, bisweilen auch mit hohen Werten, deren Ursache noch nicht gefunden wurde. Bisphenol A herrscht in der Wasserphase vor, Phthalate und Alkylphenole vorwiegend in Schwebstoffen und Sedimenten. Natürliche Hormone wurden nur sporadisch gefunden und dann nur in sehr niedrigen Konzentrationen.

Was die Wirkungstests betrifft, so treten Wirkungen vor allem in Abwasserfahnen auf, Flußwasser zeigt selten eine östrogene Potenz, und die Entnahmestellen der Wasserwerke sind im allgemeinen ohne Befund. Auch ist das Trinkwasser, mit einer auffallenden Ausnahme, ohne Befund. Allgemein kann man feststellen, daß die

östrogene Potenz des Flußwassers um einen Faktor 100-300 unter der östrogenen Potenz der Kläranlagenzuläufe liegt. Dies weist auf eine gute biologische Abbauleistung in den Kläranlagen hin, auch die anschließende Verdünnung im Flußwasser spielt eine Rolle. In den meisten Fällen liegen die Konzentrationen der hormonartig wirkenden Stoffe unter der Nachweisgrenze für den Vitellogenintest. – Übrigens ist es bisher nicht möglich, die beobachteten Wirkungen spezifischen Substanzen zuzuschreiben.

Im großen und ganzen also keine alarmierenden Berichte, wenngleich es einige Auffälligkeiten in den Meßdaten gibt, die geklärt werden sollten. Weitere Untersuchungen von Wasserproben sollten vorerst durchgeführt werden, da die bisher erhaltene Datenmenge einfach zu gering ist, um die Hände schon jetzt beruhigt in den Schoß legen zu können.

Verwendete Literatur

- Adami, H. & 11 al. (1994). Testicular cancer in nine Northern European countries. -- *Int. J. Cancer* 59: 33-38.
- Adlercreutz, H. (1995). Phytoestrogens: epidemiology and possible role in cancer protection. -- *Environ. Health Perspect.* 103 (suppl. 7): 103-112.
- Adlercreutz, H. (1999). Phytoestrogens. State of the Art. -- *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 7: 201-207.
- Allsopp, M., D. Santillo & P. Johnston (1997). Poisoning the Future. Impact of Endocrine-Disrupting Chemicals on Wildlife and Human Health. -- Greenpeace International.
- Auger, J., J.M. Kunstmann, F. Czyglik & P. Jouannet (1995). Decline in semen quality among fertile men in Paris during the past 20 years. -- *New Engl. J. Med.* 332: 281-285.
- Barone, M.A., M.E. Roelke, J. Howard, J.L. Brown, A.E. Anderson & D.E. Wildt (1994). Reproductive characteristics of male Florida panthers: Comparative studies from Florida, Texas, Colorado, Latin America, and North American zoos. -- *J. Mammol.* 75: 150-162.
- Belfroid, A.C., A.J. Murk, P. de Voogt, A.J. Schäfer, G.B.J. Rijs & A.D. Vethaak (1999). Hormoonontregelaars in water. Oriënterende studie naar de aanwezigheid van oestrogeen-actieve stoffen in watersystemen en afvalwater in Nederland. -- RIKZ (Middelburg).
- Blok, J. & M.A.D. Wösten (2000). Herkomst en lot van natuurlijke oestrogenen in het milieu. -- RIWA-Amsterdam.
- BLW - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1997). Stoffe mit endokriner Wirkung im Wasser. -- *Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie* 50.
- BUA - Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe 203 (1997). Bisphenol A. -- S. Hirzel (Stuttgart).
- Bujan, L., A. Mansat, F. Potonnier & R. Mieuisset (1996). Time series analysis of sperm concentrations in fertile men in Toulouse, France between 1977 and 1992. -- *Brit. Med. J.* 312: 471-472.
- Cadbury, D. (1997). The Feminization of Nature. Our Future at Risk. -- Hamish Hamilton (London).
- Carlsen, E., A. Giwercman, N. Keiding & N.E. Skakkebæk (1992). Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. -- *Brit. Med. J.* 305: 609-613.
- Colborn, T. & C. Clement (eds.) (1992). Chemically-induced Alterations in Sexual and Functional Development. -- *Adv. Modern Environ. Toxicol.*
- Colborn, T., D. Cumanoski & J.P. Myers (1996). Die bedrohte Zukunft. -- Droemer Knauer (München). (Übers. von 'Our Stolen Future', Dutton/Penguin, New York)
- COMPREHEND - Community Programme of Research on Environmental Hormones and Endocrine Disruptors (2000). Year 1 Annual Report.
- Denneman, W.D., N. Heeg, A.J. Paalsma & H.M.J. Janssen (1998). Xeno-oestrogenen en drinkwater(bronnen). -- RIWA-Amsterdam.

- Desbrow, C., E.J. Routledge, G.C. Brighty, J.P. Sumpter & M. Waldock (1998). Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. I. Chemical fractionation and in vitro biological screening. -- *Environ. Sci. Technol.* 32: 1549-1558.
- EHC - Environmental Health Criteria 71 (1987). Pentachlorophenol. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 116 (1990). Tributyltin compounds. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 123 (1992). Alpha- and Beta-hexachlorocyclohexanes. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 124 (1991). Lindane. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 131 (1992). Diethylhexyl phthalate. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 140 (1993). Polychlorinated biphenyls and terphenyls. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 189 (1997). Di-n-butyl-Phthalate. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 192 (1997). Flame Retardants: A General Introduction. -- World Health Organisation (Genf).
- EHC - Environmental Health Criteria 195 (1997). Hexachlorobenzene. -- World Health Organisation (Genf).
- EPA - Environmental Protection Agency (1997). Special Report on Environmental Endocrine Disruption: An Effect Assessment and Analysis. -- EPA/630/R-96/012.
- Fisch, H. & E.T. Goluboff (1996). Geographical variations in sperm counts: a potential cause of bias in studies on semen quality. -- *Fertility and Sterility* 65: 1044-1046.
- Facemire, C.F., T.S. Gross & L.J. Guillette (1995). Reproductive impairment in the Florida panther. Nature or nurture. -- *Environ. Health Perspect.* 103 (suppl. 4): 79-86.
- Forman, D. & H. Møller (1994). Testicular cancer. -- *Cancer Surv.* 19-20: 323-341.
- Ghijzen, R.T. & W. Hoogenboezem (2000). Endocrine disrupting compounds in the Rhine and Meuse basin. Occurrence in surface, process and drinking water. -- RIWA-Amsterdam, 96 p.
- Gimeno, S., A. Gerritsen, T. Browmer & H. Komen (1996). Feminization of male carp. -- *Nature* 384: 221-222.
- GR - Gezondheidsraad (1999). Hormoonontregelaars in ecosystemen. -- Gezondheidsraad (Den Haag) 1999/13.
- Griffin, J.E. & S.R. Ojeda (1996). *Textbook of Endocrine Physiology*. -- Oxford Univ. Press (Oxford, New York).
- Guillette, L.J. (1994a). Endocrine-disrupting environmental contaminants and reproduction: lessons from the study of wildlife. In: D.R. Popkin & L.J. Peddle (eds.). *Women's Health Today: Perspectives on Current Research and Clinical Practice*, pp. 201-207.
- Guillette, L.J., T.S. Gross, G.R. Masson, J.M. Matter, H.F. Pericival & A.R. Woodward (1994b). Developmental abnormalities of the gonad and abnormal sex hormone concentrations in juvenile alligators from contaminated and control lakes in Florida. -- *Environ. Health Perspect.* 102: 680-688.
- Guillette, L.J., T.S. Gross, D.A. Gross, A.A. Rooney & H.F. Pericival (1995a). Gonadal steroidogenesis in vitro from juvenile alligators obtained from contaminated and control lakes. -- *Environ. Health Perspect.* 103 (suppl. 4): 31-36.
- Guillette, L.J., D.A. Crain, A.A. Rooney & D.B. Pickford (1995b). Organization versus activation: The role of endocrine-disrupting contaminants (EDCs) during embryonic development in wildlife. -- *Environ. Health Perspect.* 103 (suppl. 7): 157-164.
- Guillette, L.J. & D.A. Crain (1996a). Endocrine-disrupting contaminants and reproductive abnormalities in reptiles. -- *Comments on Toxicology* 5: 381-399.
- Guillette, L.J., D.B. Pickford, D.A. Crain, A.A. Rooney & H.F. Pericival (1996b). Reduction in penis size and plasma testosterone concentrations in juvenile alligators living in contaminated environment. -- *Gen. Comp. Endocrinol.* 101: 32-42.
- Harding, M.J.C., S.K. Bailey & I.M. Davies (1992). TBT imposex survey of the North Sea. -- UK Dept. Environ.
- Harries, J.E., D.A. Sheahan, S. Jobling, P. Matthiessen, P. Neall, J.P. Sumpter, T. Tylor & N. Zaman (1997). Estrogenic activity of five United Kingdom rivers detected by measurement of vitellogenesis in caged male trout. -- *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 534-542.
- Harvey, P.W., K.C. Rush & A. Cockburn (1999). *Endocrine and Hormonal Toxicology*. -- Wiley (New York).
- Hester, R.E. & R.M. Harrison (1999). *Endocrine Disrupting Chemicals*. -- Issues in Environ. Sci. & Techn. 12.
- Keith, L.H. (1997). *Environmental Endocrine Disruptors*. -- Wiley (New York).

- NRC - National Research Council (1999). *Hormonally Active Agents in the Environment*. -- National Academy of Sciences (Washington).
- Paulsen, C.A., N.G. Berman & C. Wang (1996). Data from men in the greater Seattle area reveals no downward trend in semen quality: further evidence that deterioration of semen quality is not geographically uniform. -- *Fertility and Sterility* 65: 1015-1020.
- Purdum, C.E., P.A. Hardiman, V.J. Bye, N.C. Eno, C.R. Tyler & J.P. Sumpter (1994). Estrogenic effects of effluents from sewage treatment works. -- *Chem Ecol.* 8: 275-285.
- Roelke, M.E., J.S. Martenson & S.J. O'Brien (1993). The consequences of demographic reduction and genetic depletion in the endangered Florida panther. -- *Curr. Biol.* 3: 340-350.
- Routledge, E.J., D. Sheehan, C. Desbrow, G. Brighty, M. Waldock & J.P. Sumpter (1998). Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. II. In vivo responses in trout en roach. -- *Environ. Sci. Technol.* 32: 1559-1565.
- Skakkebaek, N.E. & N. Keiding (1994). Changes in semen and the testis. -- *Brit. Med. J.* 309: 1316-1317.
- Sumpter, J.P. & S. Jobling (1995). Vitellogenesis as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment. -- *Environ. Health Perspect.* 103 (suppl. 7): 173-178.
- Suominen, J. & M. Vierula (1993). Semen quality of Finnish men. -- *Brit. Med. J.* 306: 1579.
- Toppari, J. & 18 al. (1995). *Male Reproductive Health and Environmental Chemicals with Estrogenic Effects*. -- Miljøprojekt (Copenhagen) nr. 290.
- Tyler, C.R., B. van der Eerden, J.P. Sumpter, S. Jobling & G. Panter (1996). Measurement of vitellogenin, a biomarker for exposure to oestrogen, in a wide variety of cyprinids. -- *J. Comp. Physiol.* 166: 418-426.
- Van Waeleghem, K. N. De Clercq, L. Vermeulen, F. Schoonjans & F. Comhaire (1994). Deterioration of sperm quality in young Belgian men during recent decades. -- *Human Reproduction* 9 (suppl. 4): 73.
- Van Waeleghem, K. N. De Clercq, L. Vermeulen, F. Schoonjans & F. Comhaire (1996). Deterioration of sperm quality in young healthy Belgian men. -- *Human Reproduction* 11: 325-329.
- Vethaak, A.D., G.B.J. Rijs, B. van der Burg & A. Brouwer (eds.) (2000). *Endocrine-disrupting compounds: wildlife and human health risks. Proceedings of a symposium (27 October 1998, The Hague)*. -- RIKZ, Middelburg.
- Wegener, G., J. Persin, F. Karrenbrock, O. Rörden & I. Hübner (1999). Vorkommen und Verhalten von natürlichen und synthetischen Östrogenen und deren Konjugaten in der aquatischen Umwelt. -- *Vom Wasser* 92: 347-360.
- Wilson, J.D., D.W. Foster, H.M. Kronenberg & P.R. Larsen (eds.) (1998). *Williams Textbook of Endocrinology* (9th ed.). -- Saunders (Philadelphia).



Dr. Hans-Jörg Weideli
Ciba Specialty Chemicals Inc,
Basel

Endokrin-wirksame Stoffe:

Aus der Sicht der Industrie

Zusammenfassung

- Die Chemische Industrie nimmt die Östrogen-Problematik ernst, sie ist an einer Lösung ebenso interessiert wie die Behörden oder Umweltverbände.
- Eine Zusammenarbeit mit allen interessierten Gruppen bei der Suche nach einer wissenschaftlichen Lösung des Problems ist vorrangig.
- Die Entwicklung zeitgemässer und aussagerkäftigerer Testmethoden ist wichtig um eine wissenschaftlich fundierte Lösung zu finden. Die Industrie beteiligt sich aktiv an der Forschung.
- Die Untersuchung des 'Low Dose Effect' ist wichtig für die gesamte Endokrin-Problematik. Ihre Bestätigung würde die akademische Forschung auf dem Gebiet der Endokrinologie grundlegend verändern.
- Eine vernünftige Anwendung des 'Vorsorge-Prinzips' (precautionary principle), das die Einschränkung oder gar das Verbot von einzelnen Stoffen vorsieht, ist vordringlich, und sollte geregelt werden.
- Die Trinkwasserqualität hat höchste Priorität im Hinblick auf die Anwendung von Plastik in Leitungsrohren. Eine Verschmutzung der Einzugsgebiete für Trinkwasser durch Chemikalien in der Umwelt muss vermieden werden.

Einleitung

Endokrin-wirksame Stoffe aus der Natur und von Menschenhand geschaffen kennt man bereits seit den frühen 30-er Jahren. Der Zusammenhang zwischen übermässigem Konsum von Klee und der vorübergehenden Unfruchtbarkeit von Schafböcken wurde schon im letzten Jahrhundert beobachtet und beschrieben. Aber erst vor etwa 15 Jahren wurde diese Problematik wieder aufgenommen, nicht zuletzt auf Grund der Umweltverschmutzung durch polychlorierte Biphenyle und Dioxine.

Definitionen

Da auf dem Gebiet der endokrin-wirksamen Stoffe sehr grosse Begriffs-Konfusion herrscht, ist es wichtig, diese genau zu definieren. Es soll aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass die hier verwendeten Begriffe und Definitionen nicht von allgemeiner Gültigkeit sind.

Potential Endocrine Disruptor (PED) =

Xenobiotische (körperfremde) Substanz mit möglichem Potential im intakten Organismus oder seinen Nachkommen (oder Sub-Populationen davon) einen Effekt am endokrinen System zu erzeugen (natürliche und synthetische Stoffe).

Endocrine Disruptor (ED) =

Xenobiotische Substanz mit nachgewiesenen gesundheits-schädlichen Effekten auf das endokrine System des intakten Organismus oder seinen Nachkommen (oder Sub-Populationen davon).

Folgende endokrine Hormone sind von besonderer Bedeutung für die Entwicklung höherer Organismen:

Geschlechtshormone (Weiblich):	Östrogene, Gestagen, Lactogene, Anti - Androgene,
Geschlechtshormone (Männlich):	Androgene, Anti - Östrogene
Schilddrüsenhormon:	Tyroxin
Parathormon:	Calcitonin
Nebennierenhormone:	Glucocorticoide
Neurotransmitter:	Gonadotropine, Thyreotropine, Somatostatin
Pankreashormon:	Insulin

Obwohl alle Hormone von ähnlicher grosser Bedeutung sind wird den Geschlechtshormonen und dem Schilddrüsenhormon der Grossteil der Aufmerksamkeit geschenkt, nicht zuletzt deshalb, weil die anderen Hormone, und ihre Beeinflussung durch artfremde Substanzen noch nicht in genügendem Masse untersucht sind.

Stellenwert der ED - Problematik für die Chemische Industrie

Die Chemische Industrie nimmt die ED-Problematik sehr ernst; eine schnelle Lösung der noch offenen wissenschaftlichen Fragen ist vordringlich. Die Industrie unterstützt alle Bestrebungen, aussagekräftige und international anerkannte Verfahren zu entwickeln und zu validieren, die zur Klärung der anstehenden Fragen beitragen. Die Industrie ist ferner der Meinung, dass zusätzliche Forschung notwendig ist, speziell im Rahmen der 'Low-dose-Problematik' (siehe unten) und in bezug auf die ökologischen Folgen von sehr kleinen Dosen von Stoffen, denen Organismen und ganze Populationen von Organismen für längere Zeit ausgesetzt sind.

Ende der 80-er Jahre hat die Chemische Industrie unter dem Namen 'Responsible Care' einen Codex verabschiedet nach dem sie sich verpflichtet sich nicht nur um die technischen Eigenschaften seines Produktes zu kümmern, sondern auch um die

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt, und dies in allen Phasen des Produkt-Lebenszyklus. Dies umfasst Produktion, Vertrieb, Anwendung, Endverbrauch und die Entsorgung. In diesem Zusammenhang hat die ED-Problematik allergrösste Bedeutung für die Chemische Industrie.

Der hohe Stellenwert dieses Problems für die Chemische Industrie spiegelt sich auch darin wieder, dass bereits 1994 von den Mitgliedern der CEFIC (European Chemical Industry Council) eigens für diesen Zweck die EMSG (Endocrine Modulator Study Group) gegründet wurde. Die EMSG fördert gemeinsam mit Behörden und andern Industrie-Organisationen die akademische Forschung auf dem Gebiet der endokrinen Problematik. Dies schliesst auch ein welt-weites gemeinsames Langzeit-Forschungsprogramm ein, sowie die gemeinsame Entwicklung von Testmethoden zur Erkennung von ED's in Mensch, Tier und Umwelt.

Die Chemische Industrie hat sich auch bereit erklärt freiwillig am amerikanischen HPV-Programm (High Production Volume Chemicals) mitzumachen und einen Grunddatensatz zu erarbeiten, der es erlauben soll, nebst Toxizität auch das endokrine Potential einzelner Produkte abzuschätzen. Ein ähnliches Programm hat auch die internationale Vereinigung der Chemischen Industrie ins Leben gerufen, die ebenfalls zum Ziel hat gross-volumige Substanzen, die nicht durch das HPV-Programm abgedeckt sind, auf ihr toxikologisches und öko-toxikologisches Potential zu untersuchen.

Sollte dabei der Beweis erbracht werden, dass einzelne Substanzen eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen, ist die Chemische Industrie auch bereit einzelne Substanzen vom Markt zu nehmen oder ihren Gebrauch einzuschränken, sofern gleichwertiger, aber umweltverträglicher Ersatz vorhanden ist.

Relevanz von ED's für den Menschen

Es gibt nur wenige Stoffe, die beim Menschen auf Grund ihrer Datenlage als ED bezeichnet werden können. Im wesentlichen sind dies synthetische Oestrogene, die in der Vergangenheit zu therapeutischen Zwecken eingesetzt wurden, wie DES (Diethylstilbestrol), sowie PCBs, die sich im menschlichen Körperfett anreichern können, um später in die Muttermilch zu gelangen. Dazu kommen einige Pestizide, und ein paar Phytoöstrogene, also pflanzliche östrogen-ähnliche Stoffe, wie Genistein und Coumestrol, die ähnliche aber weit weniger potente Wirkung zeigen. Am meisten Erfahrung wurde mit DES gesammelt, das gegen frühen Fötenverlust während der Schwangerschaft therapeutisch eingesetzt wurde. Für alle andern Chemikalien liegen nur ungenügend oder gar keine Daten vor. Entsprechend ist die Diskussion über mögliche endokrine Effekte auch unter Wissenschaftlern sehr kontrovers. Grund dafür sind unter anderem auch die zur Zeit noch unzureichenden tierischen Testsysteme.

Kausale Verbindungen zwischen Chemikalien und Human-Effekten sind selten, meistens sind es nur Vermutungen. Auch die Theorie, dass Dosierungen weit unter den Expositionen die bisher geprüft wurden, noch zu signifikanten Effekten beim Menschen führen könnten, ist hypothetisch (Low Dose Theory). Die wenigen Resultate, die dies vermuten lassen, stehen mindestens ebenso vielen Resultaten gegenüber, die diese Theorie nicht bestätigen, ja sogar widerlegen.

Gesundheitliche Effekte, die in den letzten Jahrzehnten zugenommen haben sollen, wie reduzierte Spermienzahl, reduzierte Fertilität, Genital-Abnormalitäten, Endometriosis, erhöhte Hodenkrebs-Raten, können vielfältige Gründe haben, Chemikalien sind nur eine von vielen Möglichkeiten.

Um die vielen übertriebenen Presseberichte etwas zu relativieren, hat die Amerikanische Umweltbehörde EPA folgendes Statement abgegeben:

99,9 % aller Chemikalien (Stoffe), die wir einnehmen, sind natürlichen Ursprungs. 1'000 Chemikalien allein wurden im Kaffee gefunden, 28 wurden geprüft und 19 davon sind Tier-Karzinogene. Natürliche Pestizide finden wir in unserer Nahrung, 63 wurden geprüft, und 35 waren Tier-Karzinogene.

Die menschliche durchschnittliche Diät enthält ca. 1500 mg natürliche Pestizide pro Tag, ungefähr 10'000 mal mehr als künstliche Pestizide.

Unsere tägliche Aufnahme von Östrogenen und östrogen-ähnlichen Substanzen beträgt (nach Safe)

Östrogenquelle	Östrogen-Äquivalent*, µg/Tag
Pille (Geburtenkontrolle)	18'675
Post-Menopausentherapie	3'350
Phytoöstrogene in der Nahrung	102
Xeno-Östrogene (synthetische Stoffe)	0.0000025

*): Aktivität bezogen auf das natürliche Östrogen (β -Oestradiol)

Interessanterweise sind einige Plastik-Additive, die den Metabolismus der Schilddrüsenhormone bei Ratten und Mäusen beeinträchtigen, überhaupt nicht aktiv in Primaten und somit wahrscheinlich auch nicht im Menschen. Das bedeutet, dass zwischen Versuchstier und Mensch erhebliche Unterschiede bestehen können, was den Hormonhaushalt betrifft, und dass die tier-experimentellen Resultate nicht blind auf den Menschen übertragen werden können.

Erschwerend bei der Beurteilung der Relevanz von experimentellen Daten ist die Tatsache, dass die validierten konventionellen Tierversuchsmodelle oft andere Resultate liefern als die nicht validierten 'in-vitro' Test-Methoden. Was zur Zeit noch aussteht ist eine wissenschaftliche Erklärung für die beobachteten Unterschiede zwischen Zellkultur-Experimenten, Tierversuchen und den beobachteten Effekten am Menschen.

Relevanz der EDs für die Umwelt

Im Gegensatz zum Menschen wurden einige Substanzen identifiziert, die in aquatischen Organismen zu schädlichen Effekten des endokrinen Systems führen können:

- **Organo-Metall-Verbindungen, die bei Schnecken, Muscheln und Fischen zu Geschlechtsveränderungen führen können, besonders in mariner Umgebung.**

- **DDT, das bei Wasservögeln zu dünneren Eierschalen und damit zum Verlust der Brut führt.**
- **PCBs (polychlorierte Biphenyle), die bei Fischen und andern aquatischen Tieren zum Verlust der Nachkommenschaft führen können.**
- **Nonylphenol, Octylphenol und seine Ethoxylate, die bei Fischen, Muscheln und Wasserkrebsen zum Tod und zum Verlust der Fertilität führen können.**

DDT und PCBs sind in Europa ganz oder teilweise verboten auf Grund ihrer Persistenz in der Umwelt, ihrer Fähigkeit in Organismen anzureichern (Bioakkumulation) und auf Grund ihrer Toxizität. Persistente und bio-akkumulierende Stoffe mit hormon-ähnlicher Wirkung sind besonders kritisch, da lange nach ihrem Austrag die Stoffe in der Umwelt immer noch vorhanden sind. Solche Stoffe reichern sich im Fettgewebe von Tier und Mensch an und können noch lange nach der letzten In-Verkehr-Setzung der Substanz beträchtlichen Schaden anrichten.

Ein kausaler Zusammenhang zwischen Chemikalien und Effekten in der Umwelt ist schwierig zu ermitteln, Langzeitschäden durch sehr kleine Konzentrationen sind besonders tückisch.

Aber auch im aquatischen Bereich müssen die Testmethoden verbessert und validiert werden, bevor schlüssige Aussagen gemacht werden können.

PCBs, Nonylphenol, einige Pestizide, Phthalate und Bisphenol-A sind zur Zeit die meist genannten Stoffe, denen eine Korrelation von Dosis und Wirkung nachgesagt wird. Die Langzeit-Effekte sowie Effekte auf ganze Populationen sind noch weitgehend unbekannt. Der Einfluss von hormon-ähnlichen Substanzen auf den Menschen via Trinkwasser ist noch wenig bekannt, doch ist dieses Problem von grösster Bedeutung in Zusammenhang mit plastifizierten Trinkwasser-Leitungen, die giftige Blei- und Eisenrohre ersetzen.

Durch die Industrie geförderte Forschung

1994 gründete CEFIC die EMSG mit dem Zweck sich der endokrinen Problematik anzunehmen. Die EMSG lancierte das 'Long-Term Research Project' zusammen mit der CMA (Chemical Manufacturing Assoc. USA), SPI (Society of the Plastics Industry, Inc. USA), APERC (Alkyl Phenol & Ethoxylates Research Council), ACPA (American Crop Protection Assoc.), JCIA (Japan Chemical Industry Assoc.), CEFIC und anderen inklusive einigen Behörden Europäischer Länder.

Im Rahmen dieses Programmes wurden Forschungsprojekte ausgeschrieben und von einem internationalen Gremium aus Industrie und Akademia ausgewählt. Die finanziell unterstützten Projekte umfassen Themen wie Analytische Methodik, Umweltmessungen im Boden, Wasser und in Organismen, Validierung biologischer Testmethoden ('in-vitro' und 'in-vivo'), Grundlagenforschung in Endokrinologie bezüglich Hormon-Rezeptoren, Mechanismus von Hormonfunktionen, die 'low-dose-theory', sowie epidemiologische Studien am Menschen, ökologische Studien an Wasserorganismen, Vögeln und komplexen Oekosystemen.

Zudem werden die möglichen hormonellen Effekte von Chemikalien wie Di-n-butylphthalat, DDT, Bisphenol-A, Nonylphenol, Octylphenol, Organo-Metall-verbindungen, PCBs, Pestizide u.a. untersucht. Zusätzlich werden Studien an Phytoöstrogenen wie

Genstein und Coumestrol, sowie Studien an natürlichen und synthetischen Hormonen unterstützt.

Ziel all dieser Studien ist es, so schnell wie möglich abzuklären welche Rolle Chemikalien bei hormonell bedingten schädlichen Effekten auf Mensch und Umwelt spielen. Zudem soll, wenn überhaupt möglich, abgeklärt werden, ob und in welcher Weise in Zukunft SAR (Structure - Activity - Relationship) zur Eruierung von EDs eingesetzt werden kann.

Vorsorge - Prinzip (Precautionary Principle)

Das Vorbeuge - oder Präventiv-Prinzip der EU sieht vor, dass Chemikalien mit möglichen endokrinen Eigenschaften und bei begründetem Verdacht verboten oder in ihrer Anwendung stark eingeschränkt werden können.

EU-Court of Justice Document C180/96, pt 99 (1998):

Where there is uncertainty as to the existence or extent of risk to human health, the commission may take protective measures without having to wait until the reality and seriousness of those risks become apparent.

Leider haben sich die EU-Behörden noch nicht geeinigt was sie unter 'begründetem Verdacht' verstehen. Die Industrie ist entschieden dagegen, dass nicht oder nur unzureichend geprüfte Substanzen eingeschränkt oder gar aus dem Verkehr gezogen werden, nur auf Grund eines Verdachtes oder eines nicht-validierten biologischen Tests. Die Industrie ist der Meinung, dass Wissenschaftlichkeit länger-fristig eher zum Ziel führt als unsachliche Entscheidungen.

Bevor einzelne Chemikalien aus dem Verkehr gezogen oder in ihrer Anwendung eingeschränkt werden, sollte immer eine Risiko-Analyse durchgeführt werden. Es sollte auch vorgängig abgeklärt werden ob eventuelle Ersatzprodukte nicht wesentlich toxischere Eigenschaften besitzen.





Arzneimittel im Rheinstromgebiet

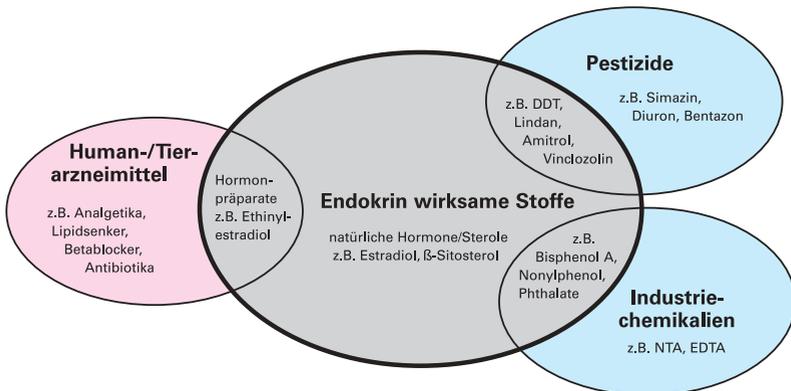
Frank Sacher und **Heinz-Jürgen Brauch**
 DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW),
 Karlsruhe

Einleitung

Meldungen und Berichte in Presse und Fernsehen haben dazu geführt, dass das Vorkommen von Arzneimittelrückständen und endokrin wirksamen Substanzen in der Umwelt in letzter Zeit verstärkt in das Blickfeld der Öffentlichkeit getreten ist. In der öffentlichen Diskussion wird dabei häufig nicht unterschieden zwischen Arzneimitteln und endokrin wirksamen Verbindungen, d.h. Stoffen, die eine Wirkung auf das hormonelle System besitzen. Diese Unterscheidung ist für eine fachlich richtige Beurteilung der Situation aber ebenso wichtig, wie die Differenzierung zwischen Arzneimittelbefunden in Oberflächengewässern wie dem Rhein und Aussagen zur Trinkwasserqualität (siehe Abb. 1) [1]. Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf Humanarzneimittel und deren Vorkommen in Oberflächengewässern wie dem Rhein sowie ihrem Verhalten bei der Trinkwasseraufbereitung.

Abbildung 1

Unterscheidung zwischen Arzneimitteln und endokrin wirksamen Verbindungen

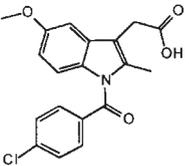
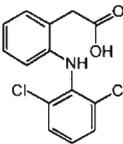
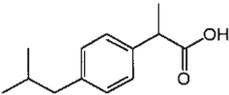
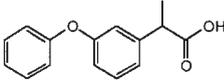
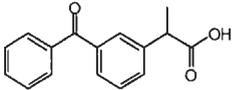
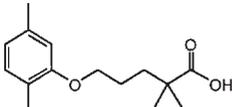


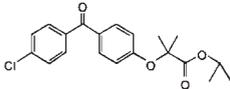
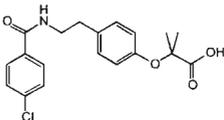
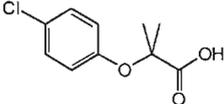
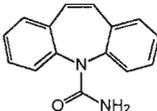
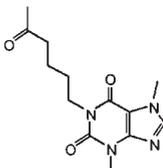
Die jährlichen Produktionsmengen von Arzneimittelwirkstoffen betragen bis zu mehreren 100 Tonnen. Die Wirkstoffe gelangen durch menschliche Ausscheidungen und durch unsachgemäße Entsorgung in kommunale Kläranlagen und, da sie nicht in allen Fällen vollständig eliminiert werden, in die entsprechenden Vorfluter [2-5].

Am TZW wurden umfangreiche und systematische Untersuchungen zum Vorkommen von pharmazeutischen Wirkstoffen und Metaboliten in der aquatischen Umwelt durchgeführt. Die Auswahl der Analyte erfolgte aufgrund der in Deutschland jährlich verordneten Mengen, die aus der Zahl der verordneten Tagesdosen [6] und der durchschnittlichen Tagesdosis [7] errechnet wurden. Für die Mehrzahl der untersuchten Verbindungen lagen die jährlichen Verordnungsmengen zwischen 20 und 100 t. Eine Zusammenstellung der untersuchten Wirkstoffe, ihre CAS-Nummern und ihre Strukturformeln findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1

Liste der untersuchten Arzneimittelwirkstoffe

Verbindung	CAS-Nr.	Strukturformel
Indometacin (Analgetikum/Antiphlogistikum) $C_{19}H_{16}NO_4Cl$	53-86-1	
Diclofenac (Analgetikum/Antiphlogistikum/Antirheumatikum) $C_{14}H_{11}NO_2Cl_2$	15307-86-5	
Ibuprofen (Antirheumatikum/Antiphlogistikum) $C_{13}H_{18}O_2$	15687-27-1	
Fenoprofen (Antirheumatikum) $C_{15}H_{14}O_3$	31879-05-7	
Ketoprofen (Analgetikum/Antiphlogistikum) $C_{16}H_{14}O_3$	22071-15-4	
Gemfibrozil (Lipidsenker) $C_{15}H_{22}O_3$	25812-30-0	

Verbindung	CAS-Nr.	Strukturformel
Fenofibrat (Lipidsenker) $C_{20}H_{22}O_4Cl$	49562-28-9	
Bezafibrat (Lipidsenker) $C_{19}H_{20}NO_4Cl$	41859-67-0	
Clofibrinsäure (Lipidsenker, Metabolit) $C_{10}H_{11}O_3Cl$	882-09-7	
Carbamazepin (Antiepileptikum) $C_{15}H_{12}N_2O$	298-46-4	
Pentoxifyllin (durchblutungsförderndes Mittel) $C_{12}H_{18}N_4O_3$	-	

Für die analytische Bestimmung der Arzneimittelwirkstoffe stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (siehe z.B. [2]). Am TZW wird derzeit die GC/MS-Kopplung nach Festphasenanreicherung auf RP-C18-Material und Elution mit Aceton sowie Derivatisierung der sauren Verbindungen mit Pentafluorbenzylbromid eingesetzt [8]. Mit diesem Verfahren lassen sich aus Oberflächenwasser Bestimmungsgrenzen zwischen 5 und 20 ng/L erreichen.

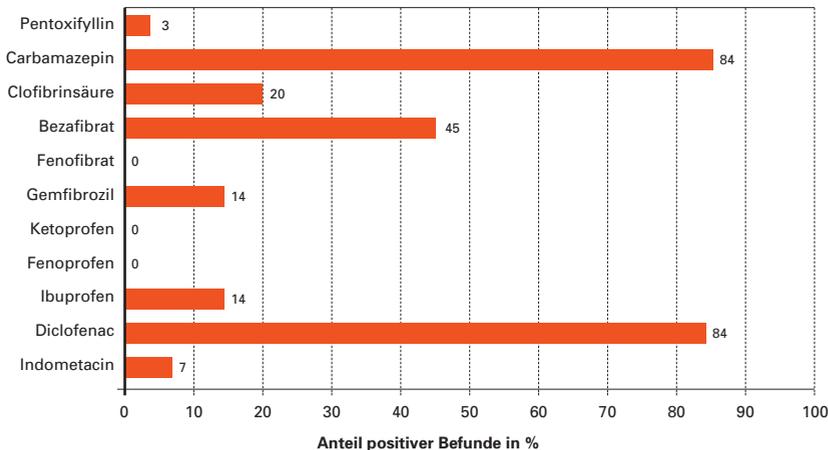
Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen im Rhein

In den Jahren 1996 bis 2000 wurden am TZW etwa 250 Proben von verschiedenen Probenahmestellen entlang des Rheins entnommen und auf die in Tabelle 1 beschriebenen Wirkstoffe analysiert. In Abbildung 2 sind die prozentualen Anteile an positiven Befunden, die für einen Wirkstoff in diesen Proben erhalten wurden, zusammengestellt.

Man erkennt, dass im Untersuchungszeitraum acht von zwölf analysierten Wirkstoffen in mindestens drei Proben nachgewiesen werden konnten. Nur die Verbindungen Fenofibrat, Ketoprofen und Fenoprofen wurden im Rhein nicht gefunden. Die beiden Verbindungen, die am häufigsten nachgewiesen wurden, sind das Antirheumatikum Diclofenac und das Antiepileptikum Carbamazepin. Für diese beiden Wirkstoffe sind in

Abbildung 2

Humanarzneimittel im Rhein



den Abbildungen 3 und 4 die Konzentrationen an verschiedenen Messstellen entlang des Rheins in den Jahren 1996 bis 2000 dargestellt. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um monatliche Stichproben.

Diclofenac, das u.a. unter den Markennamen Voltaren, Allvoran oder Rewodina vertrieben wird, ist eine Verbindung mit schmerz- und entzündungshemmender Wirkung. Die Zahl der verordneten Tagesdosen (DDD) betrug 1997 in Deutschland 360 Millionen, die Tagesdosen liegen zwischen 25 und 200 mg. Mit einer durchschnittlichen Tagesdosis von 100 mg errechnet sich eine jährliche Verordnungsmenge von 36 t. *Carbamazepin*, das u.a. in den Präparaten Finlepsin, Tegretal, Sirtan und Timonil enthalten ist, ist ein Antiepileptikum, das jedoch auch eine stimmungsaufhellende und antriebssteigernde Wirkung besitzt. Im Jahr 1998 wurde diesem Wirkstoff die Auszeichnung 'Pharmaklassiker mit Zukunft' verliehen. Die Zahl der verordneten Tagesdosen betrug 1997 67 Millionen, die Tagesdosis selbst liegt zwischen 200 und 1200 mg. Mit einer durchschnittlichen Tagesdosis von 700 mg ergibt sich für Carbamazepin eine jährliche Verordnungsmenge von ca. 50 t.

Die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Daten zeigen, dass die Konzentrationen an Diclofenac und Carbamazepin im Rhein zwischen wenigen ng/L und mehreren 100 ng/L liegen. Die Konzentrationsverläufe lassen jedoch einen einheitlichen Zusammenhang zwischen den nachgewiesenen Konzentrationen und der Probenahmestelle genausowenig erkennen wie zwischen den Konzentrationen und dem Zeitpunkt der Probenahme. Immer wieder treten einzelne Konzentrationsspitzen auf, für die bislang noch keine befriedigende Erklärung gefunden werden konnte. Um die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen an Diclofenac und Carbamazepin im Rhein besser beurteilen zu können, sind in den Abbildungen 5 und 6 die 90-Perzentilwerte, die aus den jährlichen Einzelkonzentrationen für die jeweilige Messstelle berechnet wurden, dargestellt.

Während sich für Diclofenac kein einheitlicher Trend über alle Messstellen feststellen lässt, fällt für Carbamazepin der vergleichsweise starke Rückgang der 90-Perzentilwerte zwischen den Jahren 1996 und 1997 auf. Dieser Rückgang ist am deutlichsten für die Messstelle Basel und wird im Längsverlauf des Rheins schwächer, ist jedoch auch an der Messstelle Düsseldorf noch klar zu erkennen. Eine Ursache für die hohen Gehalte an Carbamazepin im Oberlauf des Rheins im Jahr 1996 lag in der Einleitung von Abwässern eines pharmazeutischen Industrieunternehmens. Durch Verfahrensumstellungen bei der Abwasserbehandlung konnten diese Einleitungen stark reduziert werden, wie der Rückgang der Konzentrationen deutlich zeigt [9]. In den folgenden Jahren blieben die Gehalte dann annähernd auf einem konstanten Niveau.

Abbildung 3
Diclofenac im Rhein (Stichproben)

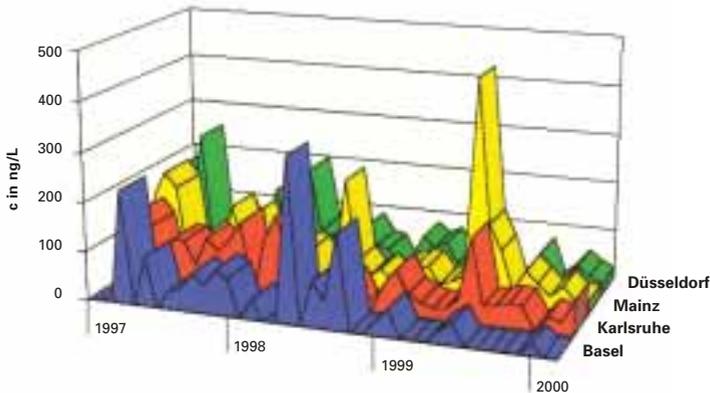


Abbildung 4
Carbamazepin im Rhein (Stichproben)

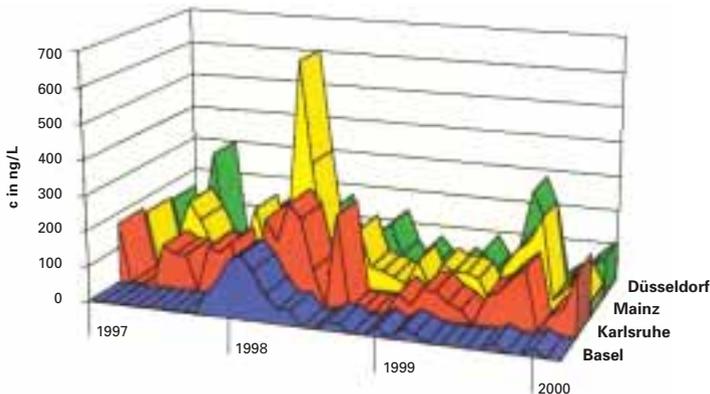
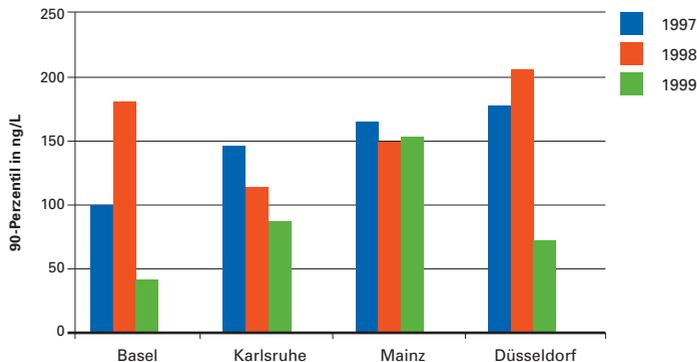
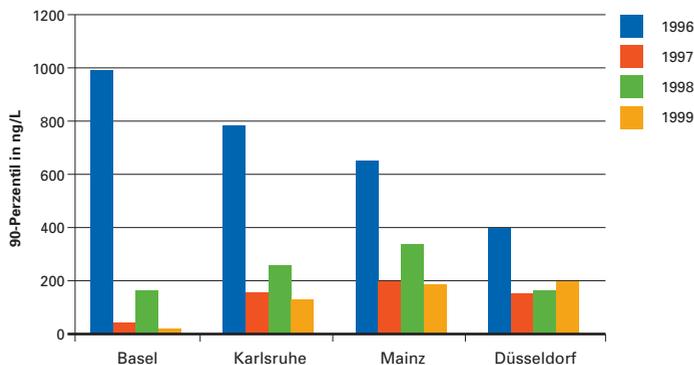


Abbildung 5

Diclofenac im Rhein (90-Perzentile)

**Abbildung 6**

Carbamazepin im Rhein (90-Perzentile)



Neben Diclofenac und Carbamazepin wurden im Rhein in den letzten Jahren auch das Schmerzmittel Ibuprofen und die Lipidsenker Gemfibrozil, Bezafibrat und Clofibrinsäure vergleichsweise häufig gefunden. Der schmerz- und entzündungshemmende Wirkstoff Indometacin sowie der Durchblutungsförderer Pentoxifyllin traten dagegen nur selten auf. Im Rahmen weiterer Messungen, die allerdings mit weitaus weniger Proben durchgeführt wurden, konnten darüber hinaus die Betablocker Metoprolol, Propranolol, Bisoprolol und Timolol sowie die beiden Wirkstoffmetabolite Fenofibrinsäure und Salicylsäure im Rhein nachgewiesen werden [2, 3, 10]. Die Konzentrationen dieser Verbindungen lagen i.d.R. unter 100 ng/L, in manchen Fällen sogar unter 10 ng/L. Auch in anderen größeren deutschen Fließgewässern wie Main, Donau, Neckar oder Elbe lassen sich Arzneimittelrückstände nachweisen, wobei das Substanzspektrum und die Konzentrationen i.d.R. mit dem Rhein vergleichbar sind. In kleineren Flüssen mit vergleichsweise hohem Abwasseranteil wie beispielsweise der Schussen lassen sich dagegen einzelne Wirkstoffe in deutlich höheren Konzentrationen von bis zu mehreren µg/L nachweisen.

Verhalten der Arzneimittelwirkstoff bei der Trinkwasseraufbereitung

In Deutschland wird das Wasser des Rheins in Form von Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung genutzt. Aus diesem Grund stellt die Uferpassage i.d.R. die erste Aufbereitungsstufe dar. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen das Verhalten der Wirkstoffe Diclofenac und Carbamazepin bei der Uferpassage [11].

Dargestellt sind die Konzentrationsverläufe für Diclofenac und Carbamazepin von Juni 1997 bis April 1999 im Rhein und in einem Rheinuferfiltrat, das als Rohwasser zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Man erkennt, dass Diclofenac im Untersuchungszeitraum im Uferfiltrat nicht nachzuweisen war, obwohl es im Rhein nahezu ständig auftrat. Carbamazepin ist dagegen im Uferfiltrat permanent vorhanden, wobei im Vergleich zum Rhein nur ein Ausgleich der Schwankungen, jedoch keine signifikante Konzentrationsverminderung festzustellen ist.

Abbildung 7

Verhalten von Diclofenac bei der Uferpassage

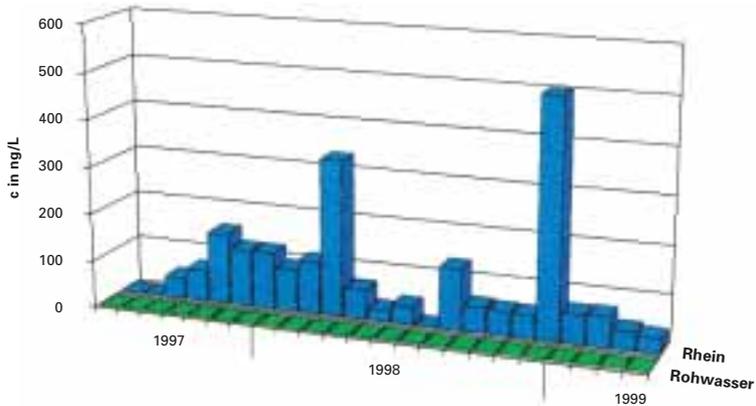
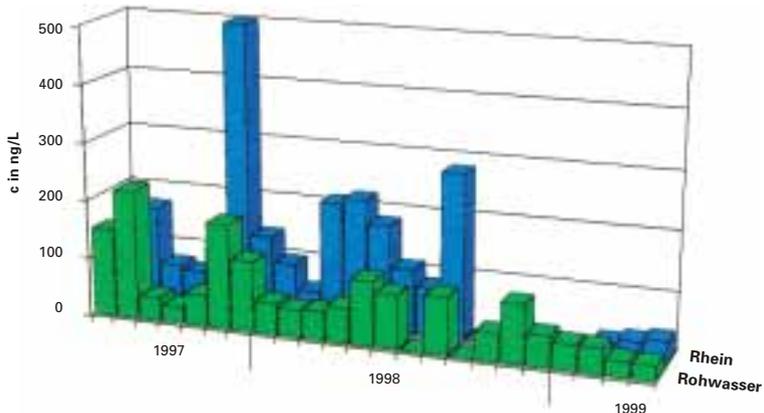


Abbildung 8

Verhalten von Carbamazepin bei der Uferpassage



Ein vergleichbare Elimination wie für Diclofenac wird auch für die anderen Arzneimittelwirkstoffe, die regelmäßig im Rhein auftreten, gefunden. In den Rheinuferfiltraten wird i.d.R. nur das Antiepileptikum Carbamazepin nachgewiesen. Im Rahmen eines vom DVGW geförderten Verbundforschungsvorhabens, an dem neben dem TZW das ESWE-Institut für Wasserforschung und Wassertechnologie in Wiesbaden und das Institut für Wasserforschung in Schwerte beteiligt waren, wurde das Verhalten ausgewählter Arzneimittelwirkstoffe während verschiedener Stufen der Trinkwasseraufbereitung untersucht. In den Abbildungen 9 und 10 sind Ergebnisse, die am TZW bei Laboruntersuchungen zum Verhalten von Carbamazepin bei der Ozonung und der Aktivkohlefiltration erhalten wurden, dargestellt [12].

Abbildung 9

Verhalten von Carbamazepin bei der Ozonung (c_0 (Carbamazepin) = 10 µg/L; c_0 (Ozon) = 1 mg/L)

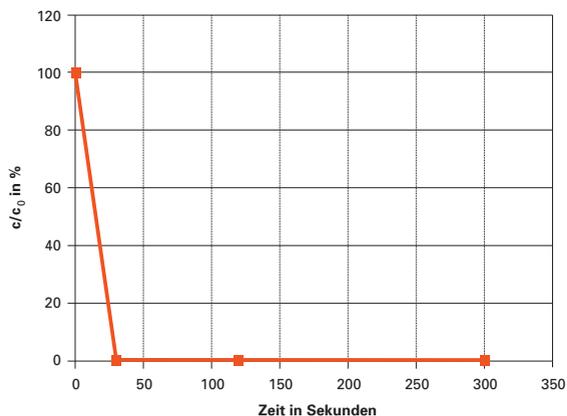


Abbildung 10

Verhalten von Carbamazepin bei der Aktivkohlefiltration (c_0 (Carbamazepin) = 100 µg/L; vorbeladene Aktivkohle F300)

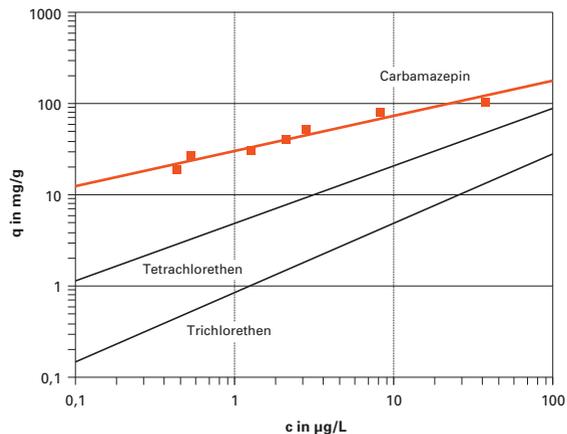
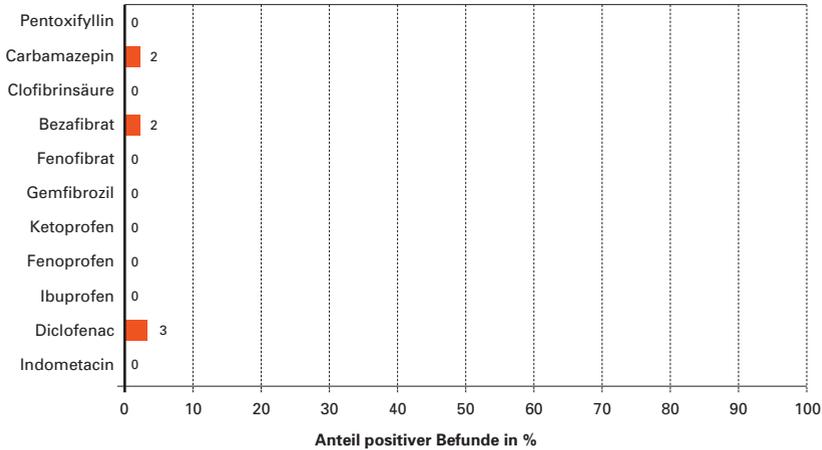


Abbildung 11

Humanarzneimittel im Trinkwasser



Man erkennt, dass im Falle der Ozonung schon sehr kurze Kontaktzeiten ausreichen, um Carbamazepin vollständig zu eliminieren. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit Resultaten, die in einem Wasserwerk erhalten wurden, bei dem im ozonten Rohwasser kein Carbamazepin nachgewiesen wurde, obwohl es im Rohwasser in Konzentrationen bis 500 ng/L enthalten war [11]. Ozonungsprodukte des Carbamazepins sind derzeit nicht bekannt.

Wie Abbildung 10 zeigt, adsorbiert Carbamazepin sehr gut an Aktivkohle. Im Vergleich zu Tri- und Tetrachlorethen lassen sich für Carbamazepin bei einer gegebenen Konzentration deutlich höhere Beladungen erzielen, d.h. Carbamazepin lässt sich besser durch Aktivkohle entfernen als die beiden Halogenkohlenwasserstoffe. Die Aktivkohlefiltration stellt damit ebenfalls eine sehr effektive Verfahrensstufe dar, um Carbamazepin aus dem Wasser zu entfernen.

Betrachtet man die Ergebnisse, die bei der Uferpassage, der Ozonung und der Aktivkohlefiltration erhalten wurden, so erstaunt es nicht, dass die Anzahl an Arzneimittelbefunden im Trinkwasser sehr gering ist, wie die Daten in Abbildung 11 belegen. Aufgetragen ist hier der Anteil positiver Befunde bei nahezu 100 untersuchten Proben, wobei nicht nur Wasserwerke entlang des Rheins in das Untersuchungsprogramm einbezogen wurden. Positive Befunde traten nur in solchen Wasserwerken auf, die keine Ozonung oder Aktivkohlefiltration zur Aufbereitung einsetzen. Im Trinkwasser der Rheinwasserwerke ist bislang noch kein positiver Befund für die in Tabelle 1 genannten Wirkstoffe bekannt.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Arzneimittelwirkstoffe gelangen durch natürliche Ausscheidungen, durch unsachgemäße Entsorgung oder durch Produktionsabwässer in die Oberflächengewässer.

Auch im Rhein treten regelmäßig eine Vielzahl von Wirkstoffen auf. Die Verbindungen, die am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen nachgewiesen werden, sind das Antirheumatikum Diclofenac und das Antiepileptikum Carbamazepin, die in den Jahren 1996 bis 2000 in über 80 % von mehr als 250 untersuchten Rheinwasserproben in Konzentrationen zwischen 10 und 1000 ng/L gefunden wurden. Darüber hinaus sind insbesondere die lipidsenkenden Wirkstoffe Bezafibrat und Clofibrinsäure für den Rhein von Bedeutung.

Bei der Uferpassage werden die meisten Arzneimittelwirkstoffe wirkungsvoll eliminiert. Allein Carbamazepin wird regelmäßig in den Rheinuferfiltraten nachgewiesen. Durch eine Ozonung oder eine Aktivkohlefiltration kann auch Carbamazepin effektiv entfernt werden, sodass Befunde an Arzneimittelrückständen im Trinkwasser nur in Ausnahmefällen auftreten.

Eine gesundheitliche Gefährdung des Menschen durch Arzneimittel über das Trinkwasser ist aus diesem Grund derzeit nicht erkennbar [1]. Bei einer Bewertung des Vorkommens von Arzneimitteln in Oberflächengewässern muss zwischen einer humantoxikologischen und einer ökotoxikologischen Beurteilung unterschieden werden. Während die humantoxikologischen Auswirkungen der Arzneimittelbefunde aufgrund der im Vergleich zu den üblicherweise verordneten und eingenommenen Tagesdosen geringen Konzentrationen in den Gewässern als nicht relevant eingestuft werden, ist die Datenlage für eine Beurteilung der ökotoxikologischen Relevanz von Arzneimittelwirkstoffen in der Umwelt derzeit nicht ausreichend.

Literatur

- [1] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Relevanz von Arzneimitteln, hormonell wirksamen Substanzen und Kosmetika in Gewässern. Wasser-Information Nr. 54 (1998).
- [2] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: Rückstände von Arzneimitteln in Wasserproben – Befunde und deren Bewertung aus Sicht der Trinkwasserversorgung. DVGW-Schriftenreihe Nr. 94 (1999).
- [3] Th. A. Ternes: Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Wat. Res.* **32**, 3245-3260 (1998).
- [4] Chr. G. Daughton, Th. A. Ternes: Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environ. Health Perspect.* **107** (6), 907-938 (1999).
- [5] F. Sacher, E. Lochow, D. Bethmann, H.-J. Brauch: Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen in Oberflächenwässern. *Vom Wasser* **90**, 233-243 (1998).
- [6] U. Schwabe, D. Paffrath (Hrsg.): *Arzneiverordnungs-Report 1998*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1999.
- [7] Rote Liste 1998. Hrsg.: Bundesverband der pharmazeutischen Industrie e.V. Editio Cantor Verlag, Aulendorf 1998.
- [8] H.-J. Hübschmann: *Handbuch der GC/MS*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1996.
- [9] S. Schuller, H.-J. Brauch, M. Fleig, B. Hamsch, W. Kühn: Der Rhein im Jahr 1998. Jahresbericht 1998 der Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e.V. **55**, 9-52 (1999).
- [10] unveröffentlichte Ergebnisse des TZW
- [11] H.-J. Brauch, F. Sacher, E. Denecke, T. Tacke: Wirksamkeit der Uferfiltration für die Entfernung von polaren organischen Spurenstoffen. *gwf Wasser Abwasser* **141** (4), 226-234 (2000).
- [12] F. Sacher, H.-J. Brauch: Bewertung organischer Einzelstoffe im Hinblick auf ihr Verhalten bei der Wasseraufbereitung. Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser **7**, 111-127 (1999).



Untersuchungen zur Gentoxizität der Gewässer

Kurzfassung des Abschlussberichts zum BMBF-Verbundvorhaben
'Erprobung, Vergleich, Weiterentwicklung und Beurteilung von
Gentoxizitätstests für Oberflächengewässer'

Förderkennzeichen: 02WU9563/2

Dr. Tamara Grummt

Umweltbundesamt, Forschungsstelle Bad Elster,
Bad Elster

1. Einleitung

In den gegenwärtigen Diskussionen über zukunftsweisende Konzepte im gesundheitsbezogenen Umweltschutz rücken unerwünschte Wirkungen in den Mittelpunkt, die im konventionellen Umweltschutz bisher nicht beachtet werden. Dazu gehören u.a. endokrine, neurotoxische, immuntoxische und gentoxische Wirkungen. Für zahlreiche Umweltchemikalien sind Wechselwirkungen zwischen Umwelttoxine und der DNA nachgewiesen.

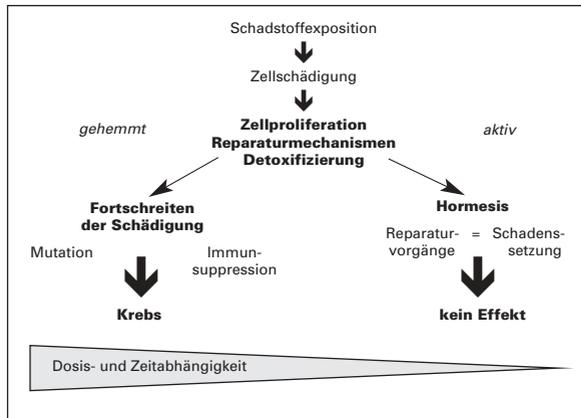
Gentoxische Substanzen können vererbare Mutationen (Mutagenität), Tumore (Kanzerogenität) und embryonale Missbildungen hervorrufen. Ob ein Schaden an der DNA gesetzt wird und dieser Schaden dann letztlich zu den oben genannten Folgen führt, hängt wesentlich von den zahlreichen Abwehr- und Reparaturmöglichkeiten auf der Zell- und Gewebeebene ab. Hierzu zählen u.a. die Aufnahme- und Stoffwechsellbarrieren gegenüber kanzerogenen Stoffen, die Immunabwehr und eine Reihe von DNA-Reparaturmechanismen (siehe Abb. 1).

Im normalen Lebenszyklus der Zelle besteht zwischen Schadenssetzung und -reparatur ein Gleichgewicht. Die spontanen und die induzierten DNA-Schäden, wie sie im Niedrigdosis-Bereich auftreten können, werden in den meisten Fällen effizient repariert. Ein Konzentrationsanstieg der Umwelttoxine, eine Exposition über einen langen Zeitraum und die Schädigung und Alterung der zellulären und geweblichen Abwehr können dieses Gleichgewicht stören; die Mechanismen der Belastungsverarbeitung werden 'überrannt'. Dies führt u.a. zu einer strukturellen und funktionalen Veränderung der DNA.

Über lange Zeit blieben für die Erkundung der Krebsursachen nur zwei methodische Ansätze mit ausreichender Validität: die epidemiologische Untersuchung und der Tierversuch. Weil diese Untersuchungen z.T. sehr aufwendig sind, besteht unter Toxikologen schon lange der Wunsch, schnelle (und kostengünstige) Alternativverfahren zur Verfügung zu haben. Da krebserzeugende Noxen gleichsam auch mutagen wirken, sollte es im Idealfall gelingen, Stoffe im Mutagenitätstest in kanzerogen

Abbildung 1

Rolle der Reparatur- und Immunmechanismen im Prozess der Kanzerogenese



und nichtkanzerogen einzuteilen. Diese meist mikrobiellen und zellbiologischen Kurzzeittests erfassen drei wesentlich verschiedene Kategorien an genetischen Endpunkten: Induktion von DNA-Schäden und -Reparatur, Genmutationen und zytogenetische Veränderungen sowie In-vitro-Transformationsvorgänge kultivierter Säugerzellen. Besonders in den letzten zwei Jahrzehnten sind diese Kurzzeittests einzeln oder in Kombination zum Screening auf potenzielle kanzerogene und gentoxische Aktivitäten von Einzelsubstanzen und komplexen Umweltgemischen entwickelt und erfolgreich eingesetzt worden. Testergebnisse haben nicht selten zu einer Verminderung der Exposition, zur Substitution der gentoxischen Noxe und zu Präventivmaßnahmen geführt.

Im Hinblick auf die weitreichenden Konsequenzen positiver Befunde für den regulatorischen Bereich und den prospektiven Gesundheitsschutz, d. h., Expositionen gegenüber gentoxischen Verbindungen zu vermindern oder (soweit realisierbar) gänzlich zu vermeiden, ist eine umfangreichere Abklärung des erhobenen Befundes hinsichtlich der Art des Schadens und des Schadensausmaßes dringend erforderlich. Zugriff zu diesen Aussagen kann nur über die Aufdeckung der für den Schaden verantwortlichen Mechanismen und Substanzen erfolgen.

2. Fragestellung im Verbundvorhaben

Das theoretische Konzept, dass zwischen Kanzerogenese und Mutagenese (soma-tische Mutationstheorie) eine enge Parallelität besteht, bildet die Grundlage für den Einsatz gentoxikologischer Verfahren zum Nachweis potenziell karzinogener Substanzen.

Für die Gentoxizitätstestung in der Chemikalien- und Arzneimittelprüfung steht eine Vielzahl von standardisierten Kurzzeittests zur Verfügung. Die verbindliche Teststrategie beruht auf folgenden wesentlichen Voraussetzungen:

- dem Vorhandensein von Kenntnissen über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der zu testenden Substanz

- dem standardisierten Vorgehen beim Erarbeiten der Datenbasis als Grundlage für die Bewertung der Substanz
- dem Einsatz von validierten Testsystemen für die biologischen Endpunkte (z. B. Gen- und Chromosomenmutationen)
- der Möglichkeit der Einbeziehung toxikokinetischer Daten in die Risikoabschätzung
- dem definierten Konzentrationsbereich für die Testreihen und zum Aufzeigen von Dosis-Wirkung-Beziehungen und
- dem Einsatz von testspezifischen Bewertungskriterien für die Beurteilung einer Substanz.

Diese Eckpfeiler in der Einzelsubstanzprüfung machen den prinzipiellen Unterschied zur Ausgangsbasis in der Umwelttoxikologie deutlich. Im Umweltbereich muss von komplexen Gemischen mit z. T. unbekannter stofflicher Zusammensetzung bei räumlich und zeitlich variierenden Expositionsmustern im Niedrigdosis-Bereich ausgegangen werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die eventuellen Spätschäden erst nach einer langen Latenzzeit sichtbar werden. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass zahlreiche Studien zu gentoxischen Effekten von Wasserinhaltsstoffen bzw. von DNA-Schädigungen in aquatischen Organismen in jüngster Vergangenheit durchgeführt wurden. Trotz dieser erfreulichen Sachlage ist jedoch anzumerken, dass systematische Untersuchungen auf dem Gebiet der aquatischen Gentoxikologie fehlen. Der Einbau von spezifischen Untersuchungsprogrammen in die Gewässerüberwachung und folglich in regulatorische Vorschriften erfordert eben diese systematische Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen. Das Verbundvorhaben stellte den ersten Schritt zur Initiierung grundlegender Arbeiten auf dem Gebiet der praxisbezogenen Gentoxizitätsprüfung dar und kann als repräsentativ für aktuelle Konzepte in der Wasserforschung angesehen werden. Die inhaltlichen Schwerpunkte des umfangreichen Forschungsprogramms waren durch folgende Fragestellungen definiert:

- Sind gentoxische Effekte in nativen Wasserproben nachweisbar und ist das Ausmaß der Exposition erfassbar?
- Welche methodischen Möglichkeiten gibt es für die Erfassung von gentoxischen Effekten in nativen Wasserproben?
- Welche Zielzellen oder Testorganismen sind für die Wirkung aquatischer Gentoxine zugänglich und welche Relevanz hat der Nachweis von DNA-Schäden in den Untersuchungsobjekten?
- Was sind vertretbare Expositionsniveaus, um mögliche Risiken so gering wie möglich zu halten?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde ein Forschungsprogramm entwickelt, das im Wesentlichen ein Vorgehen in mehreren Entscheidungsstufen vorsah:

- die Auswahl geeigneter Testverfahren zum Nachweis gentoxischer Effekte im aquatischen Bereich.
Zur Bearbeitung dieser Thematik konnte nicht nur auf etablierte Verfahren zurückgegriffen werden. Durch den Einsatz gewässerrelevanter Testorganismen wurde eine verbesserte Aussagefähigkeit und Einsatzfähigkeit für das praxisbezogene Gewässermonitoring angestrebt.
- die qualitative sichere Identifizierung von gentoxischen Gefährdungspotenzialen in nativen Wasserproben.

Kernziel dieser Arbeiten war es, eine praktikable und aussagefähige Testbatterie zum sicheren Nachweis von Gentoxizität aufzustellen.

Ein wichtiges übergeordnetes Ziel bestand nicht zuletzt darin, die Debatte über einen nachhaltigen Gewässerschutz aus der Perspektive der unerwünschten Wirkungen anzuregen. Bei der in Deutschland gegebenen Gewässerqualität und den entsprechenden Expositionsmustern ist die Einbeziehung spezifischer (gentoxischer) Wirkungen in diese Debatte heute hoch aktuell.

3. Projektteilnehmer

Der Forschungsverbund setzte sich aus 15 Teilprojekten zusammen. In der Tabelle 1 sind die Einzelprojekte, die beteiligten Einrichtungen und die Projektleiter aufgelistet. Gleichzeitig gibt sie Auskunft über die eingesetzten Testverfahren und Testorganismen. Durch das Zusammenführen von Universitäten und vergleichbaren Forschungseinrichtungen sowie von Behörden und Wasserversorgungsunternehmen konnte bereits in dem frühen Stadium der Entwicklung eine möglichst weitgehende Einbeziehung der verschiedenen Interessengruppen erreicht werden. Auf dieser Grundlage ließen sich zeitgleich zur Bearbeitung des Forschungsprogramms konkrete Problemlagen (z.B. Konsequenzen für die Trinkwasserversorgung) diskutieren, um langfristig Einfluss auf die Entwicklung pragmatischer Modelle für die Risikobewertung zu entwickeln.

Tabelle 1

Teilprojekte des Verbundvorhabens

Nr.	Titel des Teilprojektes	Einrichtung/Institution
1	Alkalische Filterrelution (AFE) zum Nachweis von DNA-Schäden mit aquatischen tierischen und pflanzlichen Organismen (Erprobung, Anwendung, Beurteilung)	GEW-Werke Köln AG Projektleiter: Frau Dr. Hübner
2	Alkalische Filterrelution zum Nachweis von DNA-Schäden mit aquatischen Organismen unterschiedlicher Organisationsstufen (Entwicklung, Erprobung)	Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, AMMUG Projektleiter: Frau Dr. Waldmann
3	In situ-Untersuchungen zum gentoxischen Potential ausgewählter Oberflächengewässer mit dem DNA-Aufwindungstest an Fischzellen, Fischlarven, Fischen, Krebsen und Muscheln	TU Berlin, Institut für Ökologie Projektleiter: Herr Prof. Dr. Hansen
4	In situ-Untersuchungen zum gentoxischen Potential ausgewählter Oberflächengewässer mit dem DNA-Aufwindungstest an Fischzellen, Fischlarven, Fischen, Krebsen und Muscheln	Stadtwerke Düsseldorf AG Projektleiter: Herr Schubert
5	Nachweis von DNA-Schäden in aquatischen Protozoen, Pflanzen und Crustaceen mit der Mikrogelelektrophorese	WFM Wasserforschung Mainz GmbH Projektleiter: Frau Dr. Obst
6	Weiterentwicklung, Anpassung und Validierung der Mikrogelelektrophorese (Comet Assay) mit Muscheln für die Untersuchung gentoxischer Wirkeffekte von Oberflächengewässern, Laboruntersuchungen und In situ-Expositionen	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe Projektleiter: Frau Deventer
7	Comet Assay an Primärzellen und permanenten Zelllinien von Fischen	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig Projektleiter: Herr Dr. Segner

Nr.	Titel des Teilprojektes	Einrichtung/Institution
8	Weiterentwicklung, Anpassung und Validierung der Mikrogelelektrophorese (Comet Assay) mit Fischen und induzierten Fischzellen	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Zoologisches Institut Projektleiter: Herr Dr. Braunbeck
9	Weiterentwicklung und Anwendung bakterieller Testsysteme (<i>S. typhimurium</i>). Untersuchungen an nativen Proben und Wasserextrakten	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Hygieneinstitut Projektleiter: Herr Dr. Erdinger
10	Weiterentwicklung chemisch-analytischer Verfahren zur Erfassung genotoxischer Substanzen in Wässern	DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe Projektleiter: Frau Dr. Hamsch
11	umu-Gentoxizitätstest	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe Projektleiter: Herr Dr. Zipperle
12	Die DNA Reparatur (Unscheduled DNA Synthesis) als in vivo- und in vitro-Parameter zur Bewertung genotoxischer Potentiale in Oberflächengewässern in Kombination mit mikrobiellen und zellbiologischen Testverfahren	Umweltbundesamt, Forschungsstelle Bad Elster Projektleiter: Frau Dr. Grummt
13	UDS-Test und Comet Assay mit Fisch- und Säugetierzelllinien	Cytotest Cell Research GmbH Roßdorf Projektleiter: Herr Prof. Dr. Miltenburger
14	Entwicklung und Erprobung eines luminometrischen bakteriellen Kurzzeit-Gentoxizitätsverfahrens zur Untersuchung DNA-schädigender (genotoxischer) Substanzen in Oberflächengewässern	Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, AMMUG Projektleiter: Herr Dr. Reifferscheid
15	Koordination des Verbundvorhabens	Umweltbundesamt, Forschungsstelle Bad Elster Projektleiter: Frau Dr. Grummt

4. Strukturierung des Projektablaufs

Der themenbezogene Projektablauf gliederte sich in drei Phasen:

1. Phase:

Etablierung und Optimierung der biologischen Verfahren durch die Gentoxizitätstestung von Monosubstanzen

2. Phase:

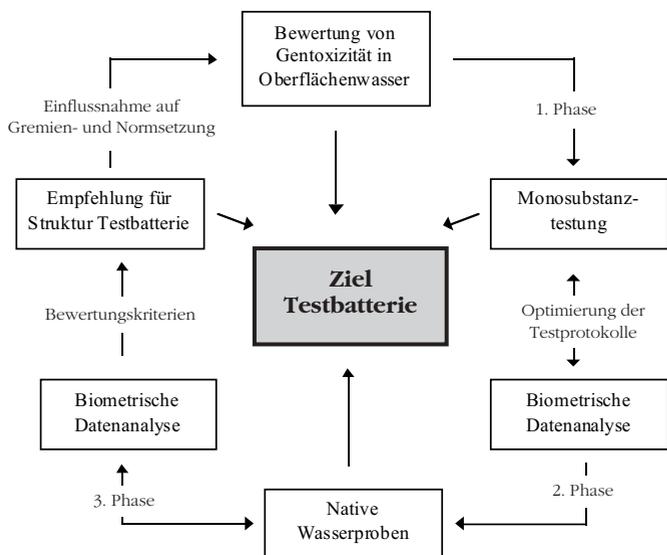
Anwendung der optimierten Methoden auf native Wasserproben
4 Probenahmestellen an der Rheinschiene: Rhein bei Karlsruhe, Köln und Düsseldorf; Wahnbachtalsperre
3 Probenahmestellen im Elbeinzugsgebiet: Elbe bei Schmilka und Schnackenburg, Mulde bei Dessau sowie 2 Zusatzbeprobungen an der Elbe bei Schmilka.

3. Phase:

Biometrische Bearbeitung der Testergebnisse mit dem Ziel, für den jeweiligen Test Bewertungskriterien zu erarbeiten und Empfehlungen für den Einbau in die Testbatterie zu geben.

Abbildung 2

Darstellung der Verknüpfung innerhalb der Projektphasen



Die Phase 3 ist nicht streng von den Phasen 1 und 2 zu trennen, wird aber aus Gründen der Gewichtung hier einzeln aufgelistet. Tatsächlich fand eine permanente biometrische Bearbeitung der Versuchsdaten statt, so dass unmittelbar Einfluss auf die Entwicklung der Methoden, Planung, Durchführung und Interpretation der Versuche genommen werden konnte. Abb. 2 verdeutlicht die disziplinären Zusammenhänge der Teilaspekte im Verbundvorhaben.

4.1 Untersuchungsprogramm**4.1.1 Phase 1** – Monosubstanzen und vereinfachte Ringanalyse

Das Ziel der 1. Phase bestand darin, die methodischen Voraussetzungen für die Testung von nativen Oberflächenwässern zu schaffen. Die einzelnen Testverfahren waren zu erproben bzw. weiterzuentwickeln. Hierfür wurden mit 2-Acetylamino-fluoren, Benzo(a)pyren, N-Nitrosodimethylamin, Nitrofurantoin sowie 4-Nitrochinolin-N-oxid fünf gewässerrelevante gentoxische Monosubstanzen ausgewählt, mit denen die Projektteilnehmer ihre Methoden etablierten und für die Phase 2 optimierten. Bei den fünf Positivsubstanzen handelt es sich um bekannte Mutagene und potenzielle Kanzerogene. Bei ihrer Auswahl orientierte man sich an den im internationalen Schrifttum umfangreich dokumentierten Angaben zu Wirkungsart und -stärke dieser Substanzen.

In einer vereinfachten Ringanalyse wurden die auf der Grundlage der Monosubstanz-testung erarbeiteten Testprotokolle auf ihre Sensitivität und Reproduzierbarkeit überprüft. Eine native Wasserprobe wurde mit dem EPA-Standard Base/Neutrals Mixture

EPA 8270 C dotiert. Diese basierte auf den Nachweisgrenzen und Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die Substanz 4-NQO, wie sie in den Teilprojekten für die jeweiligen Testsysteme ermittelt wurden.

4.1.2 Phase 2 – Native Oberflächenwässer

4.1.2.1 Beprobungsplan

Für die Anwendung und Erprobung der Testsysteme zum Nachweis genotoxischer Effekte in nativen Oberflächenwässern wurde in der 2. Phase ein umfangreiches Screeningprogramm am Rhein und an der Elbe absolviert. Die Abb. 3 zeigt die Probenahmeorte und den Beprobungsplan. Die Auswahl der Probenahmestellen und die Festlegung der Probenahmeterminen orientierte sich für den Rhein am ARW- und für die Elbe am ARGE-ELBE-Messprogramm. Die Probenahmeorte am Rhein befanden sich in Maxau bei Karlsruhe (km 359,3; LfU-Messstelle), in Köln (km 685,8) und in Düsseldorf-Flehe (km 732,1; beides ARW-Messstellen). Im Einzugsgebiet des Rheins war die Probenahmestelle Wahnbachtalsperre (Beprobung in Siegburg Siegelsknippen). An der Elbe lagen die Probenahmeorte in Schmilka (km 4,1) sowie in Schnackenburg (km 474,7). Außerdem wurde die Mulde bei Dessau (Mulde 7,6 km oberhalb Mündung in Elbe) beprobt. Bei den drei letztgenannten Probenahmeorten handelt es sich um Messstationen, die im Rahmen des ARGE-ELBE Messprogrammes von örtlichen Dienststellen des Bundes und der Länder betreut werden.

Im Verlaufe eines Jahres wurden im monatlichen Wechsel entweder die Elbeschiene (3 Probenahmeorte) oder die Rheinschiene (4 Probenahmeorte) beprobt. Die zwei Zusatzbeprobungen an der Elbe bei Schmilka fanden am 29.04.1998 und am 13.05.1998 statt.

Abbildung 3

Probenahmeorte und Beprobungsplan



- 1 Karlsruhe
- 2 Wahnbachtalsperre
- 3 Köln
- 4 Düsseldorf
- 5 Schmilka
- 6 Dessau/Mulde
- 7 Schnackenburg

05.02.1997	Elbe
03.03.1997	Rhein
02.04.1997	Elbe
12.05.1997	Rhein
25.06.1997	Elbe
21.07.1997	Rhein
20.08.1997	Elbe
29.09.1997	Rhein
15.10.1997	Elbe
12.11.1997	Rhein
10.12.1997	Elbe
07.01.1998	Rhein

4.1.2.2 Probentransport

Für die Untersuchungen an nativen Wasserproben in der 2.Phase des Verbundvorhabens waren insgesamt sieben Probenahmestellen ausgewählt worden (s. 4.1.2.1). Die beteiligten dreizehn Untersuchungsstellen waren auf acht Standorte im Bundesgebiet verteilt (Abb. 4).

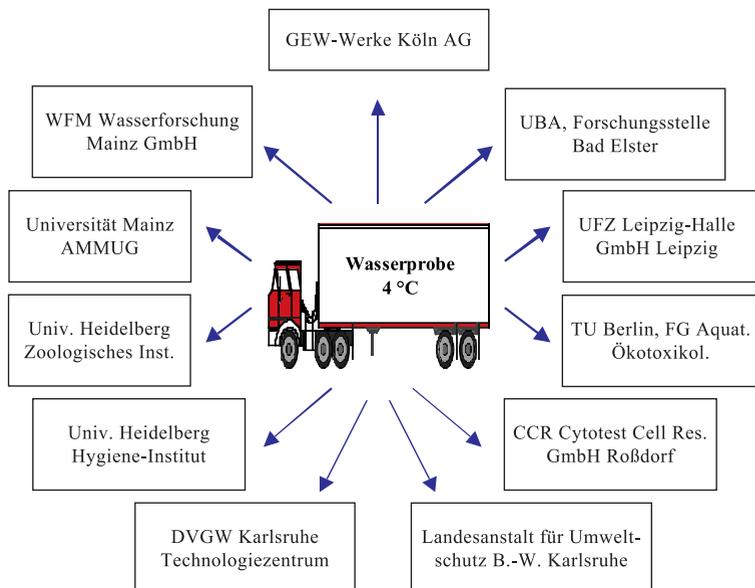
Der von den jeweils eingesetzten Testsystemen abhängige Probenbedarf lag zwischen 100 ml und ca. 20 l Probenvolumen pro Untersuchungsstelle. Insgesamt war von jeder Probenahmestelle ein Probenvolumen von 80 Litern in 2-Liter Duranglasflaschen bereitzustellen.

Zwischen Februar 1997 und Januar 1998 waren insgesamt zwölf Probenahmetermine festgelegt. Die an den Probenahmestellen bereitgestellten gekühlten Proben sollten alle Untersuchungsstellen innerhalb von 24 Stunden mit einer Wassertemperatur von 4 °C erreichen, um eine möglichst hohe Stabilität der Wasserproben zu gewährleisten. Weiterhin sollte ein nahezu zeitgleicher Beginn für die experimentellen Arbeiten in allen Laboratorien garantiert werden.

Mit der Erarbeitung und verantwortlichen Durchführung des Logistikkonzeptes wurde die Düsseldorfer Consult GmbH beauftragt.

Abbildung 4

Probentransport und beteiligte Untersuchungsstellen



4.1.2.3 Biometrische Auswertung der Versuchsdaten

Der Biometrie kamen in dem Verbundvorhaben zwei zentrale Aufgaben zu:

- **Einheitliche Erfassung und Dokumentation der Versuchsdaten**
- **Entwicklung und Anwendung von Auswertungskonzepten**

Bei der Prüfung von Monosubstanzen, die in steigenden Konzentrationen geprüft werden, kann der Signifikanzfaktor zur Ermittlung der sensitiven Konzentration benutzt werden. Das ist die kleinste Konzentration, von der an der Quotient den Signifikanzfaktor übertrifft.

Mit diesem Konzept wurden sowohl die Versuche mit Monosubstanzen als auch die Versuche mit Wasserproben ausgewertet.

4.1.2.4 Chemische Analytik

Im Rahmen des Teilprojekts 10 (DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe) wurden empfindliche und zuverlässige Analysenverfahren für potenziell gentoxische organische Einzelstoffverbindungen entwickelt und im Rahmen des gemeinsamen Messprogramms auf Oberflächenwasserproben angewendet. Darüber hinaus wurden alle Proben anhand physikalisch-chemischer Parameter hinsichtlich ihrer chemischen Grundbelastung charakterisiert.

Tabelle 2

Substanzliste potenziell gentoxischer aromatischer Stickstoffverbindungen

Substanz	Substanz
Anilinderivate	2-Aminobiphenyl
2-Aminotoluol (o-Toluidin)	4-Aminobiphenyl
4-Chloranilin (p-Chloranilin)	4,4'-Diaminobiphenyl
2-Methoxyanilin (o-Anisidin)	4,4'-Oxydianilin
4-Methoxyanilin (p-Anisidin)	4,4'-Diaminodiphenylthioether
2,4-Dimethoxyanilin	4,4'-Methyldianilin
2-Methoxy-5-methylanilin (p-Cresidin)	4,4'-Methylenbis(2-chloranilin)
4-Methoxy-2-methylanilin (m-Cresidin)	2-Acetaminofluoren
2-Methoxy-5-nitroanilin	
2-Amino-4-nitrotoluol	Aminoanthrachinone
2,4,5-Trimethylanilin	2-Aminoanthrachinon
	1-Amino-2-methylantrachinon
Phenylendiaminderivate	1,4-Diaminoanthrachinon
2,4-Diaminotoluol	
2,6-Diaminotoluol	Aromatische Azoverbindungen
4-Chlor-o-phenylendiamin	Azobenzol
2,5-Diaminonitrobenzol	p-Aminoazobenzol
3,4-Diaminonitrobenzol	4'-Amino-2,3'-dimethylazobenzol
2,4-Diaminoanisol	4-Dimethylaminoazobenzol
	4-Dimethylamino-2-methylazobenzol
Mehrkernige aromatische Amino- verbindungen	Aromatische Nitroverbindungen
1-Aminonaphthalin	2,4-Dinitrotoluol
2-Aminonaphthalin	1-Nitronaphthalin
1,5-Diaminonaphthalin	2-Nitronaphthalin
1-Aminoanthracen	4-Nitrochinolin-N-oxid
2-Aminoanthracen	

Da auf Grund der Vielzahl an potenziell gentoxischen Substanzen unterschiedlichster chemischer Natur eine vollständige analytische Erfassung nicht möglich ist, musste zunächst eine Auswahl von Zielverbindungen erfolgen, für die dann sensitive und reproduzierbare Nachweisverfahren entwickelt und optimiert wurden. Nach umfangreichen Literaturrecherchen wurden aus der großen Liste an gentoxischen bzw. potenziell gentoxischen Verbindungen 41 aromatische Stickstoffverbindungen ausgewählt, die industriell in größeren Mengen hergestellt oder verwendet werden und deshalb in Oberflächenwasser eingetragen werden könnten (Tab. 2). Zum Nachweis der ausgewählten Einzelstoffe wurde die Kopplung Gaschromatographie/Massenspektrometrie nach automatisierter Festphasenanreicherung der Analyten aus der Wasserprobe eingesetzt.

5. Ergebnisse

5.1 Monosubstanzen und vereinfachte Ringanalyse

Entsprechend der Zielstellung im Verbundvorhaben war nach Abschluss der Monosubstanztestung und der vereinfachten Ringanalyse die Sensitivität der einzelnen Testsysteme einzuschätzen. Diese Einschätzung beruhte auf der biometrischen Auswertung der Daten. Grundlegende Beurteilungskriterien waren dabei die Aussagekraft des Testsystems und die Reproduzierbarkeit der Befunde. Auf Grund der im Verbund erarbeiteten Datenfülle werden nachfolgend die Ergebnisse in komprimierter Form dargestellt. Für Detailinformationen sind die Einzeldaten in den BMBF-Abschlussberichten der Teilprojekte verfügbar.

In Bezug auf die im Laufe der Monosubstanztestung etablierten und optimierten Testprotokolle stellten sich die Nachweisgrenzen (Sensitivität) in den verschiedenen Testsystemen folgendermaßen dar:

Für **AAF** erstreckten sich die Nachweisgrenzen über den Konzentrationsbereich von 5,6 µg/l (UDS/Fisch-Primärhepatozyten) bis zu $2,23 \times 10^5$ µg/l (Comet Assay/Säugerzelllinie).

B(a)P induzierte im UDS-Test (Fisch-Primärhepatozyten) ab 3,7 µg/l gentoxische Effekte.

Im DNA-Aufwindungstest (Fischzelllinie RTG-2) lag die niedrigste gentoxische Konzentration bei $5,0 \times 10^3$ µg/l.

DMNA wies für die Induktion gentoxischer Aktivität ebenfalls einen ähnlich breiten Konzentrationsbereich auf: von 10 µg/l im Comet Assay (Protozoon) bis $9,3 \times 10^6$ µg/l im umu-Test (DIN).

NF verursachte ab 1 µg/l im Comet Assay (Protozoon) positive Effekte; im DNA-Aufwindungstest (Fischzelllinie PLHC-1) konnte dagegen erst ab $2,5 \times 10^5$ µg/l eine gentoxische Wirkung beobachtet werden.

4-NQO wirkte ab einer Konzentration von 0,5 µg/l im umu-Test (fluorometrisch) gentoxisch, im DNA-Aufwindungstest (Muschel/Weichkörper) war hingegen eine gentoxische Aktivität erst ab einer Konzentration von 250 µg/l nachweisbar.

Die große Spannweite der substanzspezifischen Nachweisgrenzen (Sensitivitäten) innerhalb eines Testsystems soll am Beispiel des umu-Tests in seiner luminometrischen Variante erläutert werden:

Mit einer hohen Empfindlichkeit reagierte das System auf 4-NQO, die Nachweisgrenze

lag hier bei 2 µg/l. Nahezu insensitiv blieb der Test beim DMNA mit einer Nachweisgrenze von 4 µg/l. Innerhalb dieser Grenzkonzentrationen lagen die Nachweisgrenzen für die drei übrigen Monosubstanzen: für NF bei 7 µg/l, für AAF bei 10 µg/l und für B(a)P bei 250 µg/l.

Einen weiteren Beleg für die großen wirkungsbezogenen Konzentrationsbereiche stellte die Tatsache dar, dass nicht jede Monosubstanz in den einzelnen Testvarianten genotoxisch wirkte, aber im gleichen System mit einer anderen Substanz eine sehr niedrige Wirkkonzentration nachgewiesen werden konnte (Tab. 3).

Die direkte Überprüfung der in der Monosubstanztestung gewonnenen Ergebnisse durch die vereinfachte Ringanalyse, in der eine native Wasserprobe mit einem gen-

Tabelle 3

Genotoxische Konzentrationsbereiche in den Testsystemen - Monosubstanzen

● = AAF ● = 4-NQO ● = B(a)P ● = NF ● = DMNA

Testsystem	Genotoxische Konzentrationsbereiche (µg/l)				
	< 10	10-100	100-1000	> 1000	kein Effekt
Alkalische Filterrelution - Muschel	●	● ●	—	●	—
Alkalische Filterrelution - Alge	—	●	—	—	● ●
DNA-Aufwindungstest – Fischzelllinie (RTG-2)	—	●	—	● ● ● ● ●	—
DNA-Aufwindungstest – Fischzelllinie (PLHC-1)	—	—	●	●	● ● ● ●
DNA-Aufwindungstest – Muschel in vitro	—	●	—	—	● ● ● ●
DNA-Aufwindungstest – Muschel in vivo	—	—	●	● ●	● ● ●
DNA-Aufwindungstest – Fischlarven	—	● ●	●	●	—
Comet Assay – Alge	● ●	—	●	—	● ● ●
Comet Assay – Protozoon	● ● ●	—	—	—	● ● ●
Comet Assay – Muschel	—	●	—	● ●	● ● ●
Comet Assay – Fischzelllinie (RTG-2)	●	—	●	● ●	●
Comet Assay – Fischzelllinie (RTL-W1)	●	—	●	—	—
Comet Assay – Säugerzelllinie (V79)	—	● ●	—	● ● ● ●	—
Comet Assay – Fisch in vivo Primärhepatozyten	●	—	—	●	● ● ● ● ●
Comet Assay – Fisch in vivo Kiemenzellen	●	—	—	—	● ● ● ● ● ●
Comet Assay – Fisch ex vivo Primärhepatozyten	●	●	●	● ●	—
Comet Assay – Fisch ex vivo Kiemenzellen	●	—	●	●	● ●
UDS-Test – Fisch in vitro Primärhepatozyten	● ●	●	●	—	—
Ames-Test - Standard	—	● ● ● ●	●	—	●
Ames-Test - modifiziert	● ●	●	●	—	●
umu-Test - DIN	● ●	●	●	●	—
umu-Test - fluorometrisch	● ●	●	—	—	—
umu-Test - luminometrisch	● ● ●	—	●	●	—

toxischen Standardgemisch (Base/Neutrals Mixture EPA 8270 C) aufdotiert wurde, ergab in allen Projekten einen auf die Substanz 4-NQO bezogenen reproduzierbaren qualitativen und quantitativen Nachweis von Gentoxizität.

Für die 1. Phase ließ sich aus dieser Datenlage folgende **Zwischenbilanz** ziehen:

- **Die optimierten Testprotokolle sind ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert.**
- **Mit den Testverfahren ist Gentoxizität in einem breiten Konzentrationsbereich sicher und reproduzierbar nachweisbar.**
- **Die biometrische Bearbeitung der Daten gestattet eine eindeutige Interpretation der Daten.**

Damit waren in allen Teilprojekten die Voraussetzungen für die Gentoxizitätstestung nativer Wasserproben gegeben.

5.2 Native Oberflächenwässer

Auf Grund der Datenfülle, die sich aus der Gesamtanzahl an Wasserproben, aus der zweifachen Wiederholung und den Testvarianten innerhalb eines Testansatzes pro Wasserprobe ergibt, ist an dieser Stelle auf die detaillierte Wiedergabe der Befunde verzichtet und ihre komprimierte Darstellung gewählt worden.

5.2.1 Messschiene Rhein

5.2.1.1 Biologische Testung

Im Untersuchungszeitraum vom 03.03.1997 bis zum 07.01.1998 ergab sich bei 4 Messstellen und 17 Testvarianten eine Gesamtanzahl von 408 Testansätzen. Davon wurden 343 als nichtgentoxisch und 65 als gentoxisch bewertet (Abb. 5). Bei der Betrachtung der einzelnen Messstellen zeigte sich das folgende Bild: Proben von der Messstelle Karlsruhe erwiesen sich in 86 der 102 Testansätze als nichtgentoxisch. Hingegen in 16 Testansätzen wurden die Proben als gentoxisch eingestuft (Abb. 6). In den Wasserproben der Wahnbachtalsperre konnte in 8 von 102 Testansätzen gentoxisches Potenzial nachgewiesen werden. 94 Testansätze zeigten keine gentoxische Aktivität (Abb. 7). Die Proben der Messstelle Köln blieben in 85 der 102 Testansätze ohne gentoxische

Abbildung 5

Anteil positiver Befunde im Untersuchungsprogramm Rhein/Wahnbachtalsperre

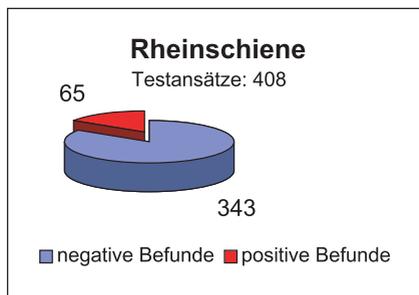
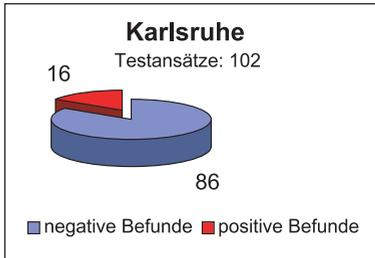
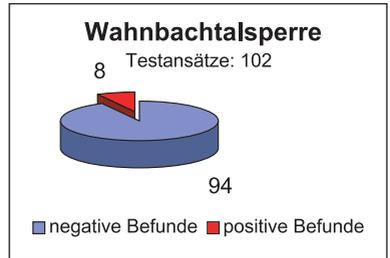


Abbildung 6

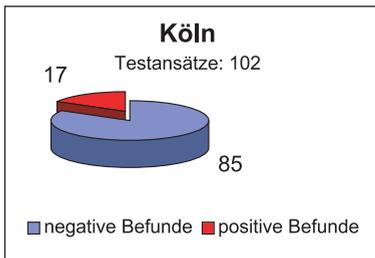
Anteil positiver Befunde -
Messstelle Karlsruhe

**Abbildung 7**

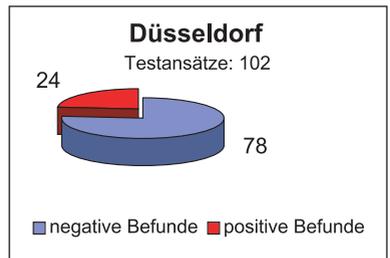
Anteil positiver Befunde -
Messstelle Wahnbachtalsperre

**Abbildung 8**

Anteil positiver Befunde -
Messstelle Köln

**Abbildung 9**

Anteil positiver Befunde -
Messstelle Düsseldorf



Wirkung. 17 Ansätze zeigten Gentoxizität (Abb.8). Unter den 4 Messstellen der Rheinschiene wiesen die Proben der Messstelle Düsseldorf den höchsten Anteil an positiven Befunden auf. In 24 von 102 Testansätzen waren diese Proben gentoxisch. In den anderen 78 Testansätzen blieben die gentoxischen Effekte aus (Abb. 9).

5.2.1.2 Chemische Analytik

In der nachfolgenden Tabelle sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die summarischen Konzentrationen für die 41 ausgewählten potenziell gentoxischen aromatischen Stickstoffverbindungen zusammengestellt.

Aus Tab. 4 wird ersichtlich, dass im Untersuchungszeitraum an den 3 Messstellen am Rhein nur eine geringe Belastung mit aromatischen Stickstoffverbindungen zu verzeichnen war. Die Summe der Einzelsubstanzkonzentrationen pro Entnahmetermin und -stelle lag dabei durchweg teilweise sogar recht deutlich unter 100 ng/l. Die Anzahl der detektierten Einzelsubstanzen betrug in Karlsruhe 1 bis 2, in Köln und Düsseldorf 1 bis 3. Es handelte sich dabei hauptsächlich um die Anilinderivate o-Toluidin, o-Anisidin und m-Cresidin.

Einmal konnte im Rhein bei Düsseldorf die Substanz 2-Amino-4-nitrotoluol nachgewiesen werden. Man erkennt auch aus Tab. 4, dass die Konzentrationen an aroma-

Tabelle 4

Analysenergebnisse aromatischer Stickstoffverbindungen - Messschiene Rhein

Probenahme- datum	Summe der aromatischen Stickstoffverbindungen ($\mu\text{g/l}$) - Rhein			
	1 Karlsruhe	2 Wahnbach- talsperre	3 Köln	4 Düsseldorf
03.03.97	0,009	0,200	0,012	0,011
12.05.97	n.n.	n.n.	0,037	0,037
21.07.97	n.n.	n.n.	0,040	0,050
29.09.97	0,005	n.n.	0,059	0,086
12.11.97	0,008	n.n.	0,030	0,030
07.01.98	0,021	n.n.	0,014	0,009

n.n. aromatische Stickstoffverbindungen (Zielverbindungen) nicht nachweisbar

Tabelle 5

Analysenergebnisse physikalisch-chemischer Parameter - Messschiene Rhein

Probenahme- stelle	Probenahme- datum	Parameter				
		DOC [mg/l]	AOX [$\mu\text{g/l}$]	AOS [$\mu\text{g/l}$]	SAK (254 nm) [m^{-1}]	elektrische Leitfähigkeit [mS/m]
Karlsruhe	03.03.97	1,5	5	n.b.	2,3	23,1
	12.05.97	1,8	9	58	5,4	40,8
	21.07.97	2,1	7	41	6,2	36,0
	29.09.97	2,1	12	57	4,4	69,0
	12.11.97	2,4	14	68	5,3	74,0
	07.01.98	2,2	9	49	5,7	38,6
Köln	03.03.97	4,2	17	n.b.	12,9	52,8
	12.05.97	2,4	17	57	6,5	83,4
	21.07.97	2,4	13	70	6,4	62,8
	29.09.97	2,5	12	92	5,8	95,0
	12.11.97	3,2	14	92	7,6	93,0
	07.01.98	3,3	17	76	8,9	61,1
Düsseldorf	03.03.97	4,1	18	n.b.	12,4	53,0
	12.05.97	2,3	17	75	6,6	77,0
	21.07.97	2,4	12	92	6,6	61,5
	29.09.97	2,6	15	94	6,3	68,0
	12.11.97	2,9	14	96	7,3	80,0
	07.01.98	3,3	17	76	8,9	61,1
Wahnbachtal- sperre	03.03.97	1,5	5	n.b.	2,3	23,1
	12.05.97	1,3	6	43	2,4	23,1
	21.07.97	1,5	5	29	2,5	24,1
	29.09.97	1,5	5	27	2,4	29,0
	12.11.97	1,5	<5	25	2,5	24,0
	07.01.98	1,4	5	31	2,1	23,2

n.b. nicht bestimmt

tischen Stickstoffverbindungen an den Probenahmestellen Köln und Düsseldorf in der Regel höher sind als an der Probenahmestelle Karlsruhe, was im wesentlichen auf Einleitungen der chemischen Industrie zwischen diesen Stellen zurückzuführen ist. Die entgegengesetzt verlaufende Belastung im Januar 1998 dürfte ihre Ursache in einer erhöhten Wasserführung (Hochwasser) des Rheins haben.

Die Analyseergebnisse für die Probenahmestellen Köln und Düsseldorf stimmen gut überein. Die räumliche Nähe dieser beiden Probenahmestellen und das Fehlen größerer Nebenflüsse bzw. Einleiter in diesem Flussabschnitt sind dafür als Ursache anzusehen.

In der Wahnbachtalsperre (Siegburg) wurden während des gesamten Untersuchungszeitraumes bis auf eine Ausnahme (03.03.97: 0,200 µg/l 2,4-Dinitrotoluol) keine weiteren gentoxischen Zielverbindungen gefunden.

Nachfolgend sind die Analyseergebnisse für verschiedene summarische Parameter aufgeführt. Durch deren Bestimmung ließ sich die Grundbelastung der untersuchten Oberflächenwässer charakterisieren.

Bei einem Vergleich der in Tab. 5 aufgeführten Ergebnisse mit Daten, die im Rahmen von langfristigen ARW-Messprogrammen für Mischproben an denselben Rhein-Probenahmestellen ermittelt wurden, konnte festgestellt werden, dass die im Verbundvorhaben analysierten Stichproben als repräsentativ für das Oberflächengewässer angesehen werden können. Im Längsverlauf des Rheins ist ähnlich wie bei den aromatischen Stickstoffverbindungen für alle untersuchten physikalisch-chemischen Parameter eine Zunahme der Belastung zu beobachten. Die Wahnbachtalsperre ist deutlich geringer belastet als der Rhein.

5.2.2 Messschiene Elbe/Mulde

5.2.2.1 Biologische Testung

Im Untersuchungszeitraum vom 05.02.1997 bis 13.05.1998 wurden bei 3 Messstellen und 17 Testvarianten insgesamt 321 Testansätze vermessen. In 48 von ihnen war gentoxische Aktivität zu erkennen. Die verbleibenden 273 Testansätze waren nicht-gentoxisch (Abb. 10). Zur regionalen Verteilung der gentoxischen Befunde ergab sich

Abbildung 10

Anteil positiver Befunde im Untersuchungsprogramm Elbe/Mulde

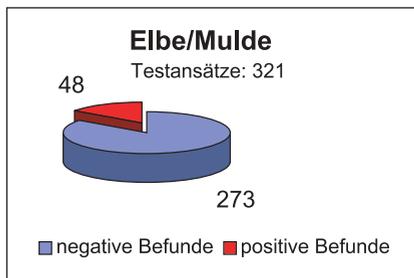
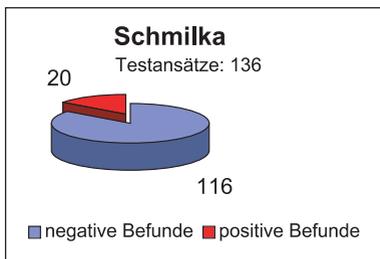
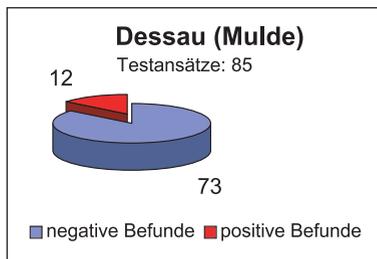


Abbildung 11

Anteil positiver Befunde -
Messstelle Schmilka

**Abbildung 12**

Anteil positiver Befunde -
Messstelle Dessau/Mulde



folgendes Bild: Die Wasserproben vom Messpunkt Schmilka wiesen in 20 von 136 Testansätzen gentoxische Aktivität auf, in 116 wurde keine gentoxische Aktivität gefunden (Abb. 11). In 12 der 85 Testansätzen waren die Proben der Messstelle Dessau/Mulde gentoxisch, in den übrigen 73 Ansätzen konnten keine gentoxischen Befunde erhoben werden (Abb. 12).

Auch in Wasserproben der Messstelle Schnackenburg fand sich Gentoxizität. Hier waren 16 von 102 Testansätzen gentoxisch und 86 von ihnen nichtgentoxisch (Abb. 13).

5.2.2.2 Chemische Analytik

In der nachfolgenden Tabelle sind die summarischen Konzentrationen für die aromatischen Stickstoffverbindungen zusammengefasst.

Die in Tab. 6 dargestellten Ergebnisse zeigen für die Probenahmestellen Schnackenburg/Elbe und Dessau/Mulde eine annähernd so geringe Belastung mit aromatischen Stickstoffverbindungen, wie sie auch für den Mittellauf des Rheins festgestellt wurde.

Tabelle 6

Analysenergebnisse aromatischer Stickstoffverbindungen - Messschiene Elbe/Mulde

Summe der aromatischen Stickstoffverbindungen ($\mu\text{g/l}$) - Elbe/Mulde

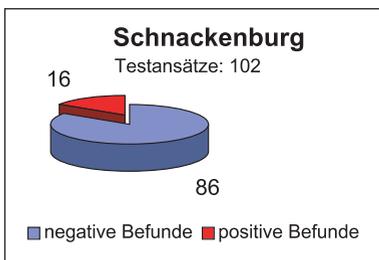
Probenahme- datum	5 Schmilka	6 Dessau (Mulde)	7 Schnackenburg
05.02.97	0,184	0,035	*
02.04.97	0,517	**	0,190
25.06.97	0,142	0,031	0,034
20.08.97	0,250	0,043	0,010
15.10.97	0,089	0,057	0,059
10.12.97	0,470	0,072	0,088
29.04.98	0,284	**	**
13.05.98	0,408	**	**

* keine Probenzustellung

** keine Probenahme

Abbildung 13

Anteil positiver Befunde -
Messstelle Schnackenburg



An der Probenahmestelle Schmilka/Elbe liegt die Summe der Einzelkonzentrationen dagegen meist recht deutlich über den an den anderen Probenahmestellen ermittelten Stoffgehalten. Die Belastung der Elbe mit organischen Stoffen in Schmilka ist auf Einleitungen auf tschechischem Gebiet zurückzuführen. Im weiteren Verlauf der Elbe kommt es zu einem Verdünnungseffekt durch zahlreiche Zuflüsse. Deren Belastung mit organischen Stoffen ist jedoch so gering, dass es insgesamt zu einer Konzentrationsabnahme im Längsverlauf der Elbe kommt.

In der Elbe ist das Auftreten der meisten aromatischen Stickstoffverbindungen aber relativ großen zeitlichen Schwankungen unterworfen (Messstelle Schmilka, Okt. 1997: 89 ng/l; April 1997: 517 ng/l). An den Elbe-Messstellen konnte im Vergleich zum Rhein eine größere Palette an potenziell gentoxischen aromatischen Stickstoffverbindungen nachgewiesen werden. So schwankte die Anzahl der nachgewiesenen Zielverbindungen je Probenahmedatum in der Elbe bei Schmilka zwischen 2 und 5, bei Schnackenburg zwischen 1 und 4 und in der Mulde bei Dessau zwischen 1 und 2.

Neben den Anilinderivaten o-Toluidin, o- und p-Anisidin, m-Cresidin und 2,4,5-Tri-methylanilin wurden in Schmilka die Verbindungen p-Chloranilin, Azobenzol, 2,4-Dinitrotoluol und 2-Amino-4-nitrotoluol nachgewiesen.

An der Probenahmestelle Schnackenburg wurde zudem die Verbindung p-Cresidin detektiert.

Die höchsten Konzentrationen in der Elbe wurden für 2,4-Dinitrotoluol gefunden. Der Maximalwert, gemessen im April 1997 an der Messstelle Schmilka, lag bei 410 ng/l. An der Probenahmestelle Dessau/Mulde konnten nur die Substanzen o-Toluidin und p-Chloranilin detektiert werden. Die Summe der Einzelsubstanzkonzentrationen lag hier durchweg deutlich unter 100 ng/l.

Die bei den Untersuchungen der summarischen Parameter ermittelten Analysenwerte sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Die im Verbundvorhaben analysierten Stichproben von den Elbe/Mulde-Probenahmestellen sind ebenfalls als repräsentativ für die beiden Oberflächengewässer anzusehen (Vergleich mit Daten aus ARGE-ELBE Messprogrammen).

Hinsichtlich der Grundbelastung ist festzustellen, dass die Proben aus der Elbe deutlich höher belastet waren als die Proben aus dem Rhein (vgl. Tab. 5 mit Tab. 7). Auch bei den physikalisch-chemischen Parametern waren die höchsten Analysenwerte bei den Elbeproben aus Schmilka erhalten worden. Im weiteren Verlauf der Elbe bis Schnackenburg ist hinsichtlich der Höhe der einzelnen Analysenwerte (bis auf die

Tabelle 7

Analyseergebnisse physikalisch-chemischer Parameter - Messschiene Elbe/Mulde

Probenahme- stelle	Probenahme- datum	Parameter				
		DOC [mg/l]	AOX [µg/l]	AOS [µg/l]	SAK (254 nm) [m ⁻¹]	elektrische Leitfähigkeit [mS/m]
Schmilka	05.02.97	5,9	49	200	16,3	54,5
	02.04.97	5,3	23	140	14,7	41,3
	25.06.97	4,7	56	200	13,9	52,3
	20.08.97	5,0	32	190	14,7	50,0
	15.10.97	6,0	35	180	16,4	42,0
	10.12.97	5,3	42	180	14,1	55,0
	29.04.98	5,0	40	160	13,7	47,1
	13.05.98	5,2	41	140	14,1	48,2
Schnackenburg	05.02.97 *	-	-	-	-	-
	02.04.97	4,8	21	130	12,7	41,7
	25.06.97	4,9	22	180	12,4	124
	20.08.97	5,0	22	170	13,3	99,1
	15.10.97	5,5	23	190	13,4	113
	10.12.97	4,9	33	180	12,6	126
Dessau/Mulde	05.02.97	3,8	17	97	8,3	65,5
	02.04.97 **	-	-	-	-	-
	25.06.97	4,6	17	150	11,6	61,7
	20.08.97	4,3	16	170	11,3	56,7
	15.10.97	4,5	15	140	9,9	63,0
	10.12.97	4,6	21	180	11,5	73,0

* keine Probenzustellung
** keine Probenahme

elektrische Leitfähigkeit) ein Rückgang zu verzeichnen. Die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit bis Schnackenburg resultiert aus dem Eintrag hoher Salzfrachten durch die Saale.

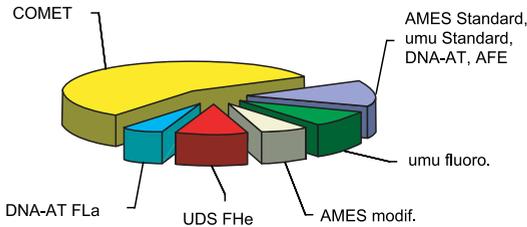
5.3 Testspezifische Häufigkeitsverteilung der Positivbefunde

Die Häufigkeit, mit der ein Testsystem gentoxisches Potenzial in den untersuchten nativen Oberflächenwässern angezeigt hat, gibt Tab. 8 wieder. Wie oben dargelegt, wurden mit den Rheinproben in den 17 Testvarianten insgesamt 65 positive Befunde erhoben. Davon entfielen allein 44 auf den Comet Assay in der Variante Protozoon, Alge, Fisch oder Säugerzelle. Die bakteriellen Prüfsysteme umu- und Ames-Test (in der fluorometrischen sowie modifizierten Form) zeigten 6-mal bzw. 5-mal Gentoxizität an. Der UDS-Test wies ebenfalls 5 Rheinproben als gentoxisch aus. Die übrigen 8 Testsysteme identifizierten hingegen zusammen nur 5-mal ein gentoxisches Potenzial. Im Ames- und umu-Test nach Standardprotokoll bzw. im luminometrischen Ansatz waren alle nativen Wasserproben nichtgentoxisch. Das Resümee ist, dass die positiven Befunde überwiegend in den Varianten des Comet Assay, im modifizierten Ames-, im fluorometrischen umu- und im UDS-Test erhoben wurden.

Abbildung 14

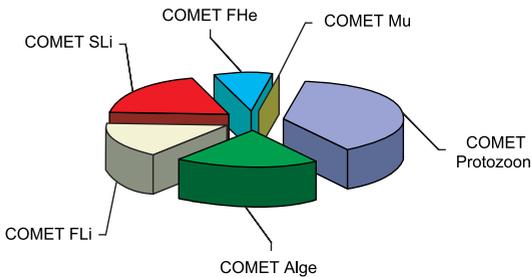
Testspezifische Verteilung der positiven Befunde nativer Wasserproben aus Rhein und Elbe

COMET: Comet Assay, **AMES Standard:** Ames Test nach Standard-protokoll, **AMES modif.:** modifizierter Ames Test, **umu Standard:** umu-Test nach DIN, **umu fluoro.:** fluorometrischer umu-Test, **DNA-AT FLa:** DNA-Aufwindungstest mit Fischlarven, **AFE:** Alkalische Filterrelution, **UDS FHe:** UDS-Test mit Fisch-Primärhepatozyten

**Abbildung 15**

Anteil der einzelnen Testvarianten an den Positivbefunden im Comet Assay

SLi: Säugerzelllinie, **FLi:** Fischzelllinie,
Mu: Muschel, **FHe:** Fisch-Primärhepatozyten



Eine ähnliche Sensitivität wiesen die Testsysteme gegenüber den Proben aus Elbe und Mulde auf. In den verschiedenen Modifikationen des Comet Assay wurden 27 Proben als gentoxisch identifiziert. Das sind 56 % der 48 positiven Proben. Im modifizierten Ames-Test, im fluorometrischen umu-Test und im UDS-Test wirkten insgesamt 11 Proben gentoxisch. 4-mal waren die Proben von der Elbeschiene auch im DNA-Aufwindungstest mit Fischlarven positiv. D. h., mit dem Test wurden 8 % der Gentoxizität gefunden; in den Rheinproben waren es nur 3 %. Die übrigen Testsysteme, wie Alkalische Filterrelution, DNA-Aufwindungstest mit der Muschel, Comet Assay mit der Muschel, Ames- und umu-Test nach Standardprotokoll bzw. im luminometrischen Ansatz zeigten insgesamt nur 6-mal gentoxische Aktivität an.

In Bezug auf das Oberflächengewässer widerspiegeln die Ergebnisse insgesamt keine nennenswerte Abweichung in der testspezifischen Häufigkeitsverteilung: Sowohl in den Rhein- als auch in den Elbeproben entfielen etwa 60 % an positiven Befunden auf

Tabelle 8

Testspezifische Häufigkeitsverteilung positiver Befunde nach Prüfung der nativen Oberflächenwässer von Rhein und Elbe

Testsystem	Testorganismus	Anzahl Positivbefunde		
		Rhein	Elbe	Gesamt
Comet Assay	Protozoon	14	6	20
Comet Assay	Alge	11	7	18
Comet Assay	FLi	12	6	18
Comet Assay	SLi	6	5	11
umu	Bakt. fluoro.	6	4	10
UDS	FHe	5	5	10
AMES	Bakt. modif.	5	2	7
DNA-AT	FLa	2	4	6
Comet Assay	FHe	1	3	4
AFE	Mu	1	3	4
DNA-AT	FLi	1	2	3
DNA-AT	Mu	1	1	2
Comet Assay	Mu	0	0	0
AMES	Bakt. DIN	0	0	0
umu	Bakt. lumino.	0	0	0

113

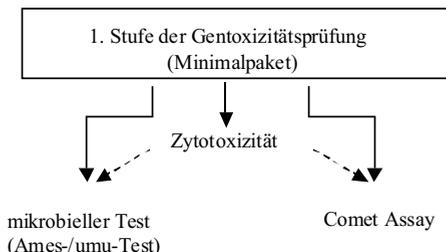
den Comet Assay, knapp 20 % auf die bakteriellen Testsysteme, etwa 10 % auf den UDS-Test mit Primärhepatozyten (Abb. 14). In seinen verschiedenen Testvarianten bewies der Comet Assay in Abhängigkeit des eingesetzten Testorganismus eine recht unterschiedliche Sensitivität. Wie Tab. 8 und Abb. 15 vermitteln, zeigte der Test mit Protozoon, Alge, Fisch- und Säugerzelllinie am häufigsten Gentoxizität in Oberflächenwasser an. Unter den gewählten Versuchsbedingungen konzentrierten sich die meisten positiven Befunde auf diese vier Varianten, die damit im Vergleich zum Comet Assay mit Fisch-Primärhepatozyten und Muschel als auch zu den übrigen biologischen Verfahren am empfindlichsten auf gentoxische Einflüsse reagierten.

6. Sachstand

6.1 Empfehlungen zum Aufbau einer Testbatterie

Im Verbundvorhaben wurde nach einer brauchbaren Kombination von Kurzzeittests gesucht, die eine möglichst sichere Identifizierung gentoxischer Effekte ermöglicht. Die Diskussionen in den zurückliegenden 10 bis 20 Jahren auf dem Gebiet der Chemikalien- und Arzneimittelprüfung haben gezeigt, dass es für den Nachweis von Gentoxizität kein einzelnes Ideal-Testsystem gibt. Im Wesentlichen ist als Schlussfolgerung eine Teststrategie entwickelt worden, die aus 3 aufeinander folgenden Stufen besteht. Das Prüfschema geht davon aus, dass in der ersten Phase 2 bis 3 In-vitro-Verfahren verschiedener biologischer Endpunkte für eine befriedigende Antwort auf eine mögliche gentoxische Wirkung der getesteten Noxe ausreichen. Auch für das Umweltmonitoring wird diesem unbestrittenen Diktum gefolgt, dass für den Nachweis von Gentoxizität eine in Stufen aufgegliederte Testhierarchie notwendig ist. Ziel einer 1. Stufe (Basisprüfung) muss es sein, unter Verwendung von 2 bis 3 Kurzzeitverfahren das gentoxische Potenzial der Wasserprobe sicher aufzuzeigen. Für ein

derartiges qualitatives Screening ist eine hohe Sensitivität der Testsysteme das entscheidende Auswahlkriterium, auch unter dem Aspekt, dass Substanzgemische mit unbekanntem genotoxischen Potenzial getestet werden. Als logische Konsequenz des vorhandenen Wissens und der experimentellen Daten aus dem Verbundvorhaben wurde für die 1. Stufe der Genotoxizitätsprüfung folgendes Minimalpaket vorgeschlagen:



Ziel dieser Basisprüfung ist es, **qualitative** Aussagen zur Genotoxizität einer Probe zu treffen. Aus diesem Grunde sollten in der 1. Stufe der Genotoxizitätsprüfung vorrangig In-vitro-Methoden eingesetzt werden. Die Daten belegen die hohe Verlässlichkeit der In-vitro-Tests in ihrer Aussagefähigkeit. Die ausgewählten Testverfahren (Ames-, umu-Test und Comet Assay) sind vergleichsweise schnell durchzuführen und sie können zwischen genotoxisch (ja) und nichtgenotoxisch (nein) sicher differenzieren. Um eine Beeinflussung der Genotoxizität bzw. der Maskierung genotoxischer Effekte durch die zytotoxische Wirkung einer Testsubstanz auszuschließen, muss der Substanzprüfung eine Zytotoxizitätsbestimmung vorgeschaltet werden. Die Art der Zytotoxizitätstestung ist dabei wesentlich vom Testsystem und den jeweiligen Testorganismen abhängig.

Während für die mikrobiellen Testsysteme (umu- und Ames-Test) bereits genormte Testprotokolle zur Verfügung stehen, muss beim jetzigen methodischen Entwicklungsstand die Validierung und Standardisierung des Comet Assays zügig vorangetrieben werden, so dass letztendlich auch die Testvarianten für den Einbau in die Testbatterie definiert werden können.

Die Ja/Nein-Entscheidung (genotoxisch/nichtgenotoxisch) in der Basisprüfung kann nicht als endgültige, wissenschaftlich abgesicherte Risikoabschätzung angesehen werden, da solche wesentlichen Voraussetzungen, wie z. B. quantitative Aussagen und die Erfassung von Wirkmechanismen, nicht erfüllt sind.

Die im Verbund etablierte Basisprüfung mit ihrem qualitativen Vorhersagewert hat ihren Stellenwert dort, wo es gilt, aus Vorsorgegründen potenziell genotoxische Substanzen weitgehend aus der Umwelt fernzuhalten bzw. mit vertretbarem Kostenaufwand zu minimieren. Die Basisprüfung stellt keine festgeschriebene Prüfstrategie dar. Die Heterogenität der Umweltproblematik erlaubt dies auch nicht. Die Prüfstrategien sind entsprechend den jeweils vorliegenden Expositionsszenarien und dem damit verbundenen wissenschaftlichen Kenntnisstand methodisch an die spezifische Fragestellung anzupassen.

Während für Immissionsmessungen die Basisprüfung als ausreichend angesehen werden kann, wird es für zeitnahe Gefährdungsabschätzung und Beweissicherung bei Schadensfällen und bei der Bewertung von kontinuierlichen Emissionen von Substan-

zen mit Verdacht auf gentoxische Wirkung notwendig sein, die Basisprüfung um Testsysteme zu erweitern, die das entsprechende Wirkpotenzial der zu untersuchenden Substanz sowohl qualitativ als auch quantitativ erfassen.

In jedem Falle wird die Basisprüfung jedoch die Grundlage für eine Erstbewertung eines möglichen gentoxischen Gefährdungspotenzials liefern. Art und Umfang der notwendigen Untersuchungen zur Risikoabschätzung geben damit wesentlich die Struktur der Testbatterie und die sich daraus abzuleitende Teststrategie vor.

6.2 Ausblick

Mit den Ergebnissen des Verbundvorhabens ist im internationalen Vergleich auf dem Gebiet der aquatischen Gentoxikologie ein hoher Entwicklungsstand erreicht worden. Auf Grund der methodischen Fortschritte und der erworbenen Erfahrungen im Verbundvorhaben erfolgte die Erarbeitung einer einheitlichen Testbatterie (Minimalpaket für die Basisprüfung) und die Festschreibung von Bewertungskriterien für die erhobenen Befunde. Die wissenschaftlichen und methodischen Grundlagen für die qualitative Erfassung von gentoxischen Gefährdungspotenzialen im nativen Oberflächenwasser sind damit geschaffen. Diese qualitativen Aussagen sind grundsätzlich sehr hilfreich und ausreichend, um mögliche unerwünschte Wirkungen, zu denen gentoxische Effekte zählen, zu identifizieren. Gleichwohl muss man bei kritischer Betrachtung der Methodenentwicklung und der vorgeschlagenen Testbatterie zu dem Schluss kommen, dass die Risikoabschätzung für gentoxische Effekte im aquatischen Bereich noch am Anfang steht.

Grundsätzlich bestehen große Wissenslücken zu den Wirkmechanismen gentoxischer Substanzen, und zwar vorrangig in komplexen Gemischen. Die Kenntnisse der spezifischen Wirkmechanismen und deren gegenseitige Beeinflussung in komplexen Gemischen sind die grundlegenden Voraussetzungen für eine regulatorische Risikoabschätzung. Unter diesem Aspekt der toxikologisch-administrativen Risikobegrenzung ist es notwendig, folgende Schwerpunkte zu bearbeiten und Lösungswege aufzuzeigen:

- **Standardisierung und Validierung der einzelnen Methoden**
- **Überprüfung der Plausibilität der erhobenen Befunde unter Beachtung der Spezifität des Endpunktes**
- **umfangreiche Untersuchungen zu den spezifischen Wirkmechanismen gentoxischer Stoffe mit dem Ziel der Quantifizierung von Effekten**
- **Erarbeitung von Daten zu Hintergrundbelastungen (Referenzwerte) in nativen Wasserproben**
- **genaue Analysen von Kombinationswirkungen unter Berücksichtigung sekundärer Mechanismen in Umweltproben (Matrixeffekte)**
- **Aufbau von Datenbanken hinsichtlich der historischen Kontrollen**
- **Weiterentwicklung der Bewertungskriterien mit dem Ziel der Erarbeitung von Qualitätszielen**
- **Diskussion zur Verfahrensweise bei der Beurteilung der Befunde, und zwar vorrangig bei singular positiven In-vitro-Befunden.**

Der aufgeführte Forschungsbedarf verdeutlicht, dass sich die aquatische Gentoxikologie immer noch in einem Stadium befindet, das einen routinemäßigen Einsatz weitgehend ausschließt. Dennoch sollte mit dem Wissen um die Unsicherheiten beim Einsatz der Testbatterie die methodische Weiterentwicklung und die Erhebung von Daten vorgenommen werden. Dies voranzutreiben, ist es sinnvoll, die aufgezeigten Konzepte in den Forschungsbereich umzusetzen.

Mittelfristiges Ziel der wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der aquatischen Gentoxizitätsprüfung sollte es sein, die im Verbund begonnenen Standardmethoden fortzuschreiben und weiterzuentwickeln, um möglichst die Vielfalt der spezifischen Fragestellungen im aquatischen Bereich bearbeiten und in regulatorische Vorschriften aufnehmen zu können. Trotz der bestehenden Einwände gegen die Integration zusätzlicher Parameter in bestehende Messprogramme zielte das Forschungskonzept maßgeblich darauf ab, Untersuchungsprogramme finanzierbar zu halten, Weiterentwicklungen zu ermöglichen und damit auch im Kontext zu den Fragestellungen des zukünftigen Gesundheitsschutzes die Möglichkeiten für einen nachhaltigen Gewässerschutz zu schaffen.

■



Die Mosel bei Koblenz



Gentoxizität in Gewässern aus Sicht der chemischen Industrie

Dr. Matthias Andreae

BASF AG, Produktsicherheit, Chemikalienrecht, Toxikologie
und Ökologie

1. Einleitung

Das Umweltbundesamt (UBA) und der Verband der deutschen chemischen Industrie (VCI) initiierten im Jahre 1991 ein gemeinsames mit ca. 1,2 Mio. DM dotiertes Projekt zur 'Quantitativen Beurteilung von Mutagenität in Abwasserströmen der chemischen Industrie'. Ziel des Forschungsvorhabens war die Etablierung eines geeigneten Prüf-systems zur Quantifizierung des mutagenen Potenzials komplexer Industrieabwässer. Von 1991 bis 1996 wurden insgesamt ca. 200 Abwasserproben mit verschiedenen Testsystemen geprüft. Die Untersuchungen wurden von der Cytotest Cell Research GmbH in Rossdorf unter Leitung von Prof. Miltenburger und dem Arbeitskreis 'Molekulare Mechanismen umweltbedingter Gentoxizität' an der Universität Mainz unter Leitung von Prof. Zahn durchgeführt.

Zu Beginn des Forschungsvorhabens im Jahre 1991 lagen nur wenige unsystematische Daten zum mutagenen Potential von Industrieabwässern vor. Vor allem fehlte eine breite repräsentative Datenbasis, die möglichst viele verschiedene Sektoren der chemischen Industrie abdeckte. Dem gegenüber standen zahlreichen Untersuchung zur Mutagenität in Oberflächengewässern. Wegen der geringen Substanzkonzentrationen wurden diese Untersuchungen überwiegend mit aufkonzentrierten Wasserproben durchgeführt, was natürlich immer die Gefahr der Artefaktbildung mit sich bringt, da jeder Konzentrationsprozess über chromatographische Verfahren oder über Verdampfung immer auch ein Selektionsprozess entsprechend den physikalisch chemischen Eigenschaften der Inhaltsstoffe darstellt. Die chemische Zusammensetzung des Konzentrates ist daher häufig nicht identisch mit der nativen Wasserprobe, was eine Extrapolation der Laborergebnisse auf die Gewässer fragwürdig macht. Hinzu kommen noch unbekannte chemische Reaktionen oder Ausfällungen, die während des Konzentrationsprozess stattfinden können. Zur Vermeidung von falsch positiven Ergebnissen wurden in dem Forschungsprojekt ausschließlich native Abwässer verwendet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden einige Abwässer auf einen einheitlichen DOC-Gehalt eingestellt.

Insgesamt lieferten 19 Firmen aus wichtigen Bereichen der chemischen Industrie (Grundchemie, Zwischenprodukte, Pharmazeutika, Agrochemikalien und Pestizide) und drei kommunale Kläranlagen Abwässer für die Untersuchungen. Die Abläufe der kommunalen Kläranlagen dienten als Kontrolle.

2. Testsysteme

Vor dem Start der Messkampagne, musste ein geeignetes Testsystem für die Überwachung komplexer Abwässer gefunden werden. Bei den verschiedenen bakteriellen und eukaryontischen Testsystemen beruht der Nachweis der Mutagenität auf verschiedenen Endpunkten, wie z.B. Punktmutationen, Leserastermutationen bis hin zu Schäden an den Chromosomen. Es ist daher klar, dass ein bestimmter genotoxischer Effekt nicht notwendigerweise von allen Testsystemen gleichermaßen erkannt wird. Die damalige Projektleitung beschloss sich auf Testsysteme zu konzentrieren, die damals bereits als Standardtests für die Anmeldung neuer Stoffe nach ChemG etabliert waren, nämlich der Ames- und den Chromosomen-Aberrationstest (CA). Zusätzlich sollten noch als sogenannte Schnelltest der bakterielle umu-Test und weitere eukaryontische Testsysteme, wie AFE und DIT untersucht werden.

Die im Rahmen dieses Projektes eingesetzten eukaryontischen Testsysteme beruhen auf verschiedenen Endpunkten, wie der Chromosomen-Aberration in der V79 Zell-Linie des chinesischen Hamsters (CA-Test), der durch Wirkstoffe induzierten Hemmung der replikativen DNA-Synthese in HeLa S3 Zellen (iDIT Test), dem Austausch von Schwesterchromatiden in V79 Zellen (SCE Test) und der Bestimmung von Einzelstrangbrüchen der DNA mit Hilfe der alkalischen Filterelution (AFE Test).

Erste Untersuchungen mit den erwähnten eukaryontischen Testsystemen ergaben, mit Ausnahme des CA, häufig nicht reproduzierbare bzw. unsystematische Ergebnisse. Als Grund wurde die z.T. hohe Osmolarität einiger Abwässer vermutet, die zu unspezifischen Effekten und Schäden auf zellulärer Ebene führen kann. Weiterhin stellten sich einige eukaryontischen Testsysteme, insbesondere der AFE als schwierig in der Durchführung heraus, so dass eine hochqualifizierte Labormannschaft erforderlich ist, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

Wegen dieser Schwierigkeiten werden im Folgenden nur die Ergebnisse mit den bakteriellen Testsysteme Ames und umu, sowie einige Ergebnisse mit dem CA-Test vorgestellt.

– Wirkweise des Ames- und des umu-Tests

Der **Ames-Test** beruht auf einem Satz verschiedener *Salmonella typhimurium* Histidin-Mangelmutanten, die nicht in der Lage sind auf histidinfreiem Agar zu wachsen. In Gegenwart von Mutagenen kommt es zu Rückmutationen, welche die Abhängigkeit von extern zugeführtem Histidin wieder aufhebt. Die Rate der Rückmutationen wird durch Auszählen der neu gebildeten Kolonien auf histidinfreiem Agar bestimmt und wird als Maß für die Mutagenität des geprüften Stoffes bzw. Abwassers herangezogen. Im klassischen Ames-Test werden meist zwei verschiedene Mutanten von *Salmonella typhimurium* verwendet, nämlich der Stamm TA 100 zum Nachweis von

Punkt-, und der Stamm TA98 für Leserastermutationen. Die Sensitivität des Ames-Test konnte 1975 durch Einführung des Plasmids pKM 101, welches das mucAB Gen trägt, stark erhöht werden. Dieses Gen spielt eine wichtige Rolle in der bakteriellen Mutagenese (sog. Error Prone DNA repair).

Der **umu-Test** basiert auf dem *Salmonella typhimurium* Stamm TA 1353, welcher auf einem Plasmid das umuC Gen gekoppelt an das lacZ-Gen trägt. Das umuC Gen gehört ebenfalls zur Familie der DNA Reparaturgene, die bei einem gentoxischen Angriff aktiviert werden. Durch die Kopplung beider Gene kommt es gleichzeitig zur Expression des lacZ-Gens. Das Genprodukt des lacZ-Gens, β -Galaktosidase, kann leicht in einem kolorimetrischen Test nachgewiesen und als Indikator für ein mutagenes Potenzial verwendet werden.

Im Gegensatz zum Ames-Test, wo tatsächlich Rückmutationen ermittelt werden, wird im umu-Test nur die Aktivierung eines Reparatursystems nachgewiesen, was nicht notwendigerweise auch die Manifestation einer Mutation bedeuten muss. Bei erfolgreicher Reparatur sollten keine Mutanten entstehen. Der Ames-Test ermittelt tatsächliche Mutationen, während der umu-Test das mutagene Potenzial eines Stoffes oder eines Abwassers nachweist.

Im Gegensatz zu den bakteriellen Testsystemen ist der **CA-Test** konzipiert chromosomale Defekte in eukaryontischen Zellen zu ermitteln. Hierzu werden Säugerzellen in Abwässern exponiert und anschließend einer Colchizinbehandlung unterzogen, um die Trennung der Schwesterchromatide während der Mitose zu blockieren. Als Folge der Cochicinbehandlung sammeln sich die Chromosomen in der Mitte der Zelle währen der Metaphase. Bei einer Schädigung der DNA durch Mutagene im Abwasser kommt es zu Formveränderungen an den entsprechenden Chromosomen, die lichtmikroskopisch erfasst werden können.

Einige Substanzen entfalten ihr mutagenes Potenzial erst nach entsprechender enzymatischer Modifikation in der Zelle oder im Organismus. Um derartige metabolische Aktivierungen ebenfalls zu erfassen, wird in Parallelansätzen eine mikrosomale Enzympräparation aus Säugerleberzellen, besser bekannt als S9-Mix, zugegeben.

Eine Abwasserprobe wurde in dem hier beschriebenen Forschungsprojekt dann als mutagen eingestuft, wenn in einem Ames-Test die Anzahl der Revertanten mindestens um den Faktor 2 und in einem umu-Test die β -Galaktosidase-Aktivität um den Faktor 1,5 im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle erhöht war. Beim CA-Test wurde jede Chromosomenanomalie als Hinweis auf Mutagenität gewertet.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind zwei typische Messperioden dargestellt. Es wurden die Abwässer von drei Firmen geprüft. Zur besseren Vergleichbarkeit des mutagenen Potentials wurden die verschiedenen Abwässer vor der Messung auf einen DOC von 40 mg/l eingestellt. Die Normierung auf gelösten Kohlenstoff wurde vorgenommen, da davon ausgegangen wurde, dass nur die löslichen organischen Bestandteile des Abwasser für eine mutagene Wirkung verantwortlich sind. Die Osmolarität der Abwässer variierte bedingt durch den unterschiedlichen Salzgehalt in weiten Grenzen. In der ersten Messreihe waren 33% der 45 Proben Ames-positiv. Das heißt durch diese Abwässer wurde die Rückmutationsrate im Vergleich zur Kontrolle um mindestens

den Faktor 2 erhöht. Der CA-Test ergab nur 3 positive Ergebnisse aus den 15 Proben vom Juli 1991. Zu dieser Zeit war der umu-Test noch nicht in das Prüfprogramm aufgenommen worden.

In der zweiten Untersuchungsreihe im November 1991 wurde das Abwasser der gleichen Firmen noch einmal geprüft. Der Anteil an Ames-positiven Proben stieg auf 50%, während der CA-Test in keinem Fall Mutagenität anzeigte. Der umu-Test, der im November 1991 in das Prüfprogramm aufgenommen wurde, zeigte bei 16% der untersuchten Proben ein mutagenes Potenzial an.

Bei der Bewertung der Korrelation ist zu berücksichtigen, dass eine Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen Testsystemen mit unterschiedlichen Endpunkten nicht zwangsläufig gegeben ist. Gerade die Säugerzellmodelle verfügen über sehr effiziente Reparatursysteme und eine hohen Metabolisierungskompetenz, so dass viele Mutationen nicht zum Tragen kommen. Aber auch die bakteriellen Systeme weisen z.T. eine geringe Übereinstimmung auf. In der ersten Versuchsserie konnte nur in zwei Fällen ein übereinstimmendes Ergebnis zwischen Ames und Umu ermittelt werden. Dies macht nur 4% der untersuchten Fälle aus. In der Wiederholungsuntersuchung war die Korrelation zwischen AMES und umu mit 11% Übereinstimmung bei mutagenen Proben etwas besser.

Tabelle 1

Vergleich von Ergebnissen aus Untersuchungen mit AMES, CA und umu (89 untersuchte Wasserproben)

Nr.	Anzahl Proben	Beprobungszeitraum	DOC (mg/l)	Anzahl Firmen	Ames-positiv	CA-positiv	Umu-positiv	Korrelation Ames/CA
1-15	15	07/91	auf 40 eingest.	3	9	3	n.d.	2
16-32	17	08/91	auf 40 eingest.	3	6	0	n.d.	-
33-45	13	10/91	auf 40 eingest.	3	0	0	n.d.	-
	$\Sigma = 45$ (100%)				$\Sigma = 15$ (33%)	$\Sigma = 3$ (7%)		$\Sigma = 2$ (4%)
								Korrelation Ames/umu
46-67	22	11/91	auf 40 eingest.	3	11	0	6	4
68-89	22	11/91	Auf 40 eingest.	3	11	0	1	1
	$\Sigma = 44$ (100%)				$\Sigma = 22$ (50%)	$\Sigma = 0$ (0%)	$\Sigma = 7$ (16%)	$\Sigma = 5$ (11%)

Da der CA-Test in den vergangenen Versuchsreihen nur selten ein mutagenes Potenzial anzeigte, wurde er im weiteren Verlauf des Forschungsprogramms nicht mehr durchgeführt.

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass der Anteil Ames-positiver Abwasserproben von 50% auf 13% gesunken ist, während der Anteil umu positiver Proben von 16 auf 33% angestiegen ist. Die Korrelation von Ames-Test und umu-Test liegt mit 13% im Bereich der vorherigen Kampagne. Zusätzlich wurden noch Abläufe einer kommunalem Kläranlage in das Programm aufgenommen. Diese Proben zeigten in keinem Testsystem ein mutagenes Potenzial.

Tabelle 2

Vergleich von Ergebnissen aus Untersuchungen mit AMES und umu
(24 untersuchte Wasserproben)

Nr.	Anzahl Proben	Beprobungs-zeitraum	DOC (mg/l)	Anzahl Firmen	Ames-positiv	Umu-positiv	Korrelation Ames/umu
90-99 107	11	11/92	auf 40 eingest.	3	0	3	0
108-113	6	11/93	auf 40 eingest.	3	2	3	2
114-120	7	02/94	auf 40 eingest.	3 +1 kommunale Kläranlage	1	2	1
	$\Sigma = 24$ (100%)				3 (13%)	8 (33%)	3 (13%)

Zur Verbesserung der Datenbasis wurde, wie in Tabelle 3 ersichtlich, die Anzahl der beteiligten Firmen (ca. 50% Direkteinleiter) sukzessiv von 3 auf 19 erhöht. Außerdem wurden weitere kommunale Kläranlagen eingebunden.

Tabelle 3

Vergleich von Ergebnissen aus Untersuchungen mit AMES und umu
(59 untersuchte Wasserproben)

Nr.	Anzahl Proben	Beprobungs-zeitraum	DOC (mg/l)	Anzahl Firmen	Ames-positiv	Umu-positiv	Korrelation Ames/umu
121-130	10	03/94	natives Abw.	9 +1 kommunale Kläranlage	2	0	0
131-153	23	01/95	natives Abw.	19 +2 kommunale Kläranlagen	5	5	2
154-179	26	05/95	natives Abw.	19 +2 kommunale Kläranlagen	1	5	0
	$\Sigma = 59$ (100%)				8 (14%)	10 (17%)	2 (3%)

Von März 1994 bis Mai 1995 wurden 59 Proben von zuletzt 19 Firmen und 2 kommunalen Kläranlagen geprüft. Wegen der geringen Mutagenität, die bisher während der Kampagne gefunden wurde (bei den meisten Fällen, die hier als positiv gewertet wurden, sind die o.g. testspezifischen Signifikanzkriterien gerade erreicht worden, grössere Überschreitungen sind selten), wurde für die hier gezeigten Daten keine DOC-Einstellung mehr vorgenommen. Unter diesen Bedingungen waren 14% der Proben Ames-positiv und 17% umu-positiv mit einer Übereinstimmung der Ergebnisse von ca. 3%.

Im Folgenden wurde das Abwasser derjenigen Firmen, die in den beiden vorherigen Testserien Mutagenität gezeigt hatten (Proben 131-179) nach 6 Monaten noch einmal untersucht. Von jeder dieser 11 Wasserproben wurden 3 Aliquote entnommen, getrennt eingefroren und unabhängig voneinander bei CCR (umu, Ames) und AMMUG (umu) in wöchentlichem Abstand geprüft. Dabei wurden zwei Proben mit mutagenem Potenzial ermittelt, wobei sich nur bei einer Probe eine Übereinstimmung zwischen Ames und umu ergab. Die Wiederholung dieser Untersuchungen ergab lediglich ein umu-positives Ergebnis.

4. Schlussfolgerungen

Das Ziel des Projektes war die Abschätzung des mutagenen Potenzials verschiedener Abwässer der chemischen Industrie. Über 200 überwiegend industrielle Abwässer wurden mit verschiedenen prokaryontischen und eukaryontischen Testsystemen überprüft.

Zurückblickend auf die gesamte Messkampagne lässt sich feststellen, dass das

Abbildung 1
Prozentualer Anteil von Abwässern mit mutagenem Potenzial

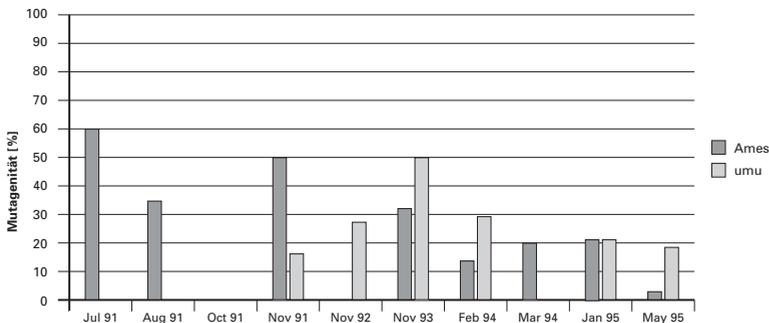
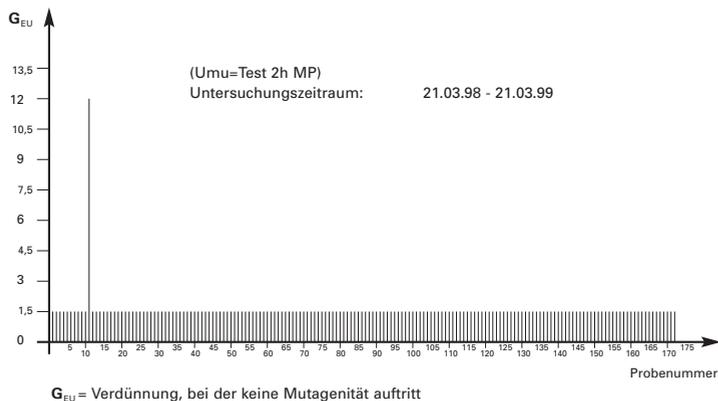


Abbildung 2
Untersuchungen zum erbgutverändernden Potenzial des Kläranlagenablaufs



mutagene Potenzial der untersuchten Abwässer in der Zeit von 1991 bis 1995 zurückgegangen ist (Abb. 1). Dies mag auf die generelle Verringerung von industriellen Abwässer zurückzuführen sein oder auf die Anwendung verbesserte Produktionstechniken, die zu weniger und meist besser abbaubaren Nebenprodukten führen.

Verglichen mit den bakteriellen Testsystemen, zeigten die eukaryontischen Testsysteme häufig abweichende und schwer interpretierbare Ergebnisse, was eventuell auf deren höhere Anfälligkeit gegenüber hohen osmotischen Potenzialen zurückzuführen ist. Andererseits ist es generell schwierig Ergebnisse von Untersuchungen zu vergleichen, die auf verschiedenen Endpunkten basieren. Trotzdem konnte eine Korrelation zwischen den bakteriellen Systemen Ames-Test und Umu-Test, besonders bei negativen Ergebnissen, festgestellt werden. Für die Routineüberwachung gibt es für den Einsatz des umu-Tests zwei Argumente: zum einen liefert der umu-Test die Ergebnisse innerhalb weniger Stunden, was ihn besonders kostengünstig macht, zum anderen kann mit Hilfe des umu-Test ein mutagenes Gesamtpotenzial angezeigt werden, weil die Aktivierung des umuC Gens in Bakterien unabhängig von der Art der Mutation ist. Um vergleichbare Informationen von einem Ames-Test zu erhalten, müssten mindestens die *S. typhimurium* Stämme T98 und TA 100, geprüft werden.

5. BASF-Messkampagne

Seit 1999 ist eine Novelle des Abwasserverordnung in Kraft ist, welche die Einleitung von Abwässern in Oberflächengewässer regelt. In Anhang 22 sind die Anforderungen für Abwässer aus der Produktion und Weiterverarbeitung der chemischen Industrie geregelt. Für die Einleitestelle, also der Auslauf einer Kläranlage, ist neben dem CSB, Stickstoff und Phosphor die Giftigkeit der Abwässer und deren mutagenes Potenzial von Bedeutung. Danach darf das mutagene Potenzial des Kläranlagenauslaufs einen G_M -Wert von 1,5 nicht überschreiten.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse einer jüngeren Messkampagne der BASF AG am Standort Ludwigshafen dargestellt. Insgesamt wurden von März 1998 bis März 1999 172 2h-Mischproben untersucht, die ca. jeden 2-3 Tag zu unterschiedlichen Tageszeiten gezogen wurden. Es wurde keine Einstellung des DOC vorgenommen. Über den gesamten Beprobungszeitraum wurde in nur einem Fall eine Überschreitung des G_M -Wertes von 1,5 festgestellt. Dieser G_M -Wert von 12 wurde in Gegenwart von S9-Mix ermittelt. Allerdings ergab eine Wiederholungsuntersuchung der gleichen Probe sowohl mit, wie auch ohne metabolische Aktivierung keinerlei Hinweise auf Mutagenität.

Die hier gezeigten Ergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass durch Einsatz moderner Technologien und effizienter Abwasserkläreinrichtungen die Belastung von Oberflächengewässern mit mutagenen Stoffen aus Abwässern der chemischen Industrie sehr gering gehalten werden kann.





Festabend



Peter Kimmig

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg,
Stuttgart

Mikrobiologische Belastung der Gewässer

Probleme in Gewässern durch enterale
Krankheitserreger

Einleitung

Oberflächengewässer machen nicht nur den Reiz einer Landschaft aus, sondern sie haben auch praktische Aufgaben zu erfüllen. So werden sie nach Aufbereitung für die Trinkwasserversorgung genutzt, zugleich müssen Oberflächengewässer - speziell Fließgewässer - aber auch ungeklärte und geklärte Abwässer aufnehmen. Spezielle Probleme machen hierbei fäkale Belastungen; sie sind nicht nur unästhetisch und umweltbelastend sondern sie bergen auch Gefahren aus medizinischer Sicht, da sie **Infektionserreger** enthalten können. Bei den im Darm von Mensch und Tier vorkommenden Infektionserregern handelt es sich um Vertreter von Bakterien, Viren und Parasiten. Wenn diese bei der Aufbereitung nicht oder nur ungenügend entfernt werden, können trinkwasser-bedingte Epidemien auftreten. Als Verursacher kommen Vertreter aller drei Gruppen in Frage, wie eine Zusammenstellung von Trinkwasser-epidemien in den USA von 1971 - 1994 gezeigt hat (vgl. Tab.1) (CDC 1998). Im folgenden sollen die drei genannten Typen der Infektions-Erreger kurz dargestellt und auf die speziellen Infektionsprobleme näher eingegangen werden.

Tabelle 1

Wasserbürtige Trinkwasserepidemien in den USA (1971-1994)

Erreger	Anzahl der Epidemien	Anzahl der Erkrankten
Gastroenteritis (ohne Nachweis des Erregers)	347	83 107
<i>Giardia</i>	127	27 259
<i>Cryptosporidium</i>	19	421 202
<i>Hepatitis A</i>	30	853
<i>Campylobacter</i>	16	5 480
<i>Salmonella, non typhoid</i>	13	2 995
<i>Salmonella Typhi</i>	7	293
<i>Shigella</i>	66	10 731
Norwalk-Virus	24	10 908

Bakterien

Bakterien gehören zu den sog. Prokaryonten, d.h. sie haben keinen eigentlichen Zellkern, sondern das Bakterienchromosom liegt frei im Zellplasma. Darüber hinaus besitzen Bakterien in Form von Plasmiden weiteres genetisches Material. Diese stellen kleinere ringförmige DNS-Strukturen dar, die auf sexuellem und asexuellem Weg unter Bakterien der gleichen aber auch verschiedener Spezies ausgetauscht werden können. Unangenehmerweise tragen derartige Plasmide häufig Resistenzgene oder Toxingene, sodaß auf diesem Weg neue resistente bzw. toxinbildende Bakterien entstehen können.

Im Zellplasma befinden sich auch alle erforderlichen Strukturen zur Proteinsynthese;

Bakterien können sich daher in unbelebten Medien weiter vermehren, pathogene Keime benötigen mit einigen Ausnahmen (z.B. *Pseudomonas aeruginosa*) organisches Material als Nährmedium. Der Stoffaustausch mit der Umgebung wird wie bei allen Zellen über die Zellmembran vermittelt, Bakterien weisen jedoch zusätzlich noch eine *Zellwand* auf, die sackartig über die Zelle gezogen ist; dieser sog. Mureinsacculus ist verantwortlich für die osmotische Stabilität, die Morphologie und das Färbeverhalten der Bakterien. Die verschiedenen Bakterienformen (Stäbchen, Schrauben, Kugeln) sowie das Färbeverhalten (Gramfärbung, Ziehl-Neelsen-Färbung) stellen wichtige Kriterien zur Identifizierung der Bakterien dar:

Gramnegative Stäbchen werden in erster Linie durch Enterobacteriaceen repräsentiert. Diese Keime sind – wie der Name sagt – Bewohner des menschlichen und tierischen Darms und werden in der Wasserbakteriologie als Fäkalindikatoren (Gesamtcoliforme und Fäkalcoliforme) erfasst. Die Enterobacteriaceen können apathogen sein, wie etwa die meisten E. coli-Stämme. Darunter verbergen sich aber auch zahlreiche pathogene Vertreter, wie Salmonellen, Shigellen, EHEC und Yersinien. Im Gegensatz zu diesen Sekundärverunreinigern haben andere Stäbchen-Bakterien ihr natürliches Habitat im Oberflächenwasser und im Leitungssystem. Dies ist *Pseudomonas aeruginosa*, welcher bei der Standard-Wasserbakteriologie meist nicht erfasst wird; für den Nachweis von Legionellen sowie von atypischen Mykobakterien sind ebenso spezielle Verfahren erforderlich.

Unter den *Schraubenbakterien* sind vor allem die Vibrionen, zu denen auch der Cholera-Erreger gehört, sowie die Gattung Campylobacter zu nennen. Apathogene Vibrionen haben ihren natürlichen Standort im Wasser, Cholera-Vibrionen und Campylobacter-Bakterien sind dagegen darmpathogene Keime, die sekundär ins Wasser gelangen.

Unter den *Kugelbakterien* (Kokken) schließlich spielen die darmbewohnenden Fäkalstreptokokken in der Wasserbakteriologie die größte Rolle und fungieren ebenfalls als Fäkalindikatoren.

Von den im Wasser vorkommenden pathogenen Keimen spielen die *Enteritis-Erreger* die größte Rolle (vgl. Tab.2 u. 3). Diese Enteritiden können akut verlaufen, wie etwa die meisten Salmonellen-Enteritiden; hierbei beträgt die Inkubationszeit wenige Stunden bis Tage, die Krankheitsdauer 1-2 Tage. *Subakute* Enteritiden mit einer Inkubationszeit von Tagen und einer Dauer von Wochen werden typischerweise von Ruhr-Bakterien (Shigellen) und Yersinien verursacht, Campylobacter-Enteritiden nehmen

mit einer Krankheitsdauer von 5-7 Tagen eine Mittelstellung ein. Bei dem durch spezifische Salmonellenspezies verursachten Typhus und Paratyphus schließlich handelt es sich um hochfieberhafte *systemische* Erkrankungen, bei denen das gesamte Immunsystem betroffen ist. Pathogene Pseudomonaden sind demgegenüber in erster Linie *Eitererreger*. Die gefährlichste Spezies *Pseudomonas aeruginosa* verursacht eiternde Geschwüre (blau-grüner Eiter), Ohreiterungen, Nierenbeckenentzündungen und Dermatitis. Legionellen können zu einem sommergrippeartigen Krankheitsbild (Pontiac-Fieber) oder zur *Lungenentzündung* (Legionellenpneumonie) führen, betroffen sind vor allem ältere immungeschwächte Menschen. Immungeschwächte Menschen sind auch die Zielgruppe für die atypischen Mykobakterien. Sie können bei diesen ein *tuberkuloseähnliches* Krankheitsbild verursachen.

Viren

Im Gegensatz zu Bakterien haben Viren keinen eigenen Stoffwechsel. Es handelt sich vielmehr um Organismen, die lediglich aus genetischem Material (DNS oder RNS) bestehen, das in einer Proteinhülle verpackt ist. **Viren brauchen daher zu ihrer Vermehrung lebende Zellen**, deren Syntheseapparat sie in ihre Dienste stellen. Bei einer Infektion heftet sich das Virus zunächst mit spezifischen Rezeptoren an der Zelloberfläche an, um daraufhin ins Innere der Zelle hineingezogen zu werden. Hier angekommen löst sich die Proteinverpackung auf, und die Virusnukleinsäure wird frei (uncoating). Viren können an zwei Stellen in das Zellgeschehen eingreifen: Die Nukleinsäure von DNS-Viren gelangt in den Zellkern, wird hier in das Wirtsgenom integriert und kann so als Teil der zentralen Kommandozentrale die Zelle umfunktionieren. Die Nukleinsäure von RNS-Viren dagegen übernimmt die Rolle einer Boten-RNS. Bei ihrer Ablesung produziert der zelleigene Proteinsynthese-Apparat dann virus-eigenes Protein. Die Freisetzung der Viren geht im ersten Fall an der Zelloberfläche vor sich. In einem komplexen Knospungsprozeß werden die Viren hier unter Mitnahme eines Teils der Zellmembran frei. Die Zellmembran, die diese Viren als Hülle umgibt, stellt dabei den Schwachpunkt der Erreger dar; derartige *behüllte* Viren können in der Umwelt nur kurzfristig überdauern. Im zweiten Fall können Viren durch Aufbrechen der Zelle frei werden. Die derart entstehenden *unbehüllten* Viren zeichnen sich durch eine hohe Stabilität gegenüber Umwelteinflüssen aus. Zu dieser Gruppe gehören sämtliche Viren, die sich im Darm von Mensch und Tier vermehren. Bei fäkaler Belastung von Wässern sind dementsprechend auch derartige darmpathogene Viren anzutreffen (vgl. Tab.2 u. 3). Zu diesen gehören die Enteroviren, die ihrerseits Polio-, Coxsackie- und ECHO-Viren sowie Hepatitis A-Viren umfassen; weiterhin die Adenoviren, unter denen zwei Serotypen darmpathogen sind; die Rotaviren (Gerba et. al. 1996), die sich durch eine radspeichenartige Struktur auszeichnen; die Astroviren, die durch eine sternartige Struktur gekennzeichnet sind sowie die Caliciviren. Caliciviren weisen in der klassischen Form becherartige Strukturen an der Oberfläche aus. In diese Gruppe gehören aber auch die Norwalk-like-Viren, die keine auffällige Struktur aufweisen und auch als small-round-structured viruses bezeichnet werden (Green et al. 2000). Speziell Norwalk-like-Viren haben sich bei Untersuchungen des LGA von Stuhlproben als bedeutsame Erreger von Gruppenerkrankungen erwiesen.

Infektionen mit darmpathogenen Viren äußern sich i.d.R. als akute Enteritiden, die sich im Gegensatz zu den typischen Salmonelleninfektionen meist über mehrere Tage hinziehen. Bei Rotavirus-Infektionen kann es sogar zu einer wochenlangen Dauer mit

Darmschleimhautveränderungen kommen. Ein völlig abweichendes Krankheitsbild verursachen demgegenüber die Enteroviren. Sie führen zu systemischen Infektionen unter dem Bild einer Sommergrippe, häufig mit Befall des zentralen Nervensystems, was bei den Polioviren besonders ausgeprägt ist. Hepatitis A-Viren führen zu einer speziellen Form der Leberentzündung.

Parasiten

Parasiten sind höhere Lebewesen (Eukaryonten), die auf Kosten eines anderen Organismus, des sog. Wirtes leben. **Eine Weitervermehrung von Parasiten außerhalb des Wirtes ist nicht möglich.** Unter den hier interessierenden Darmparasiten gibt es zwei Gruppen, nämlich die *Würmer* (Helminthen), bei denen man Saugwürmer (Trematoden), Bandwürmer (Cestoden) und Fadenwürmer (Nematoden) unterscheidet; ihre Eier werden mit dem Stuhl bzw. Kot abgegeben. Eine weitaus größere Rolle in der Wasserhygiene spielt die zweite Gruppe, nämlich die einzelligen Parasiten oder *Protozoen* und hier v.a. Kryptosporidien und Giardien (Wagner u. Kimmig, 1992). Die Bedeutung anderer Vertreter wie Toxoplasma oder Cyclospora ist noch wenig untersucht.

Kryptosporidien gehören zu den Darmkokzidien. Ihre infektiösen Dauerstadien (Oozysten) werden mit Stuhl und Kot frei und können i.d.R. über die Umwelt auf oralem Weg zur Infektion des Menschen führen. Im Darm werden daraus vegetative Stadien, die sog. Sporozysten, frei und nisten sich unmittelbar an der Zelloberfläche im Mikrovillus-Saum ein, der eine Kapsel um sie bildet. Innerhalb dieser kommt es zur Vermehrung, die freiwerdenden Stadien befallen weitere Darmareale, bis es zu einer erheblichen Reduzierung der resorbierenden Darmoberfläche kommt. Eine nach 3 - 4 Tagen einsetzende geschlechtliche Differenzierung führt wiederum zur Bildung infektiöser Oozysten.

Giardien gehören zu den Geißeltierchen (Flagellaten) und verbreiten sich gleichfalls über infektiöse Dauerstadien (Zysten), die auf identischem Weg wie die Kryptosporidien zur Infektion des Menschen führen können. Aus den oral aufgenommenen Zysten werden im Darm vegetative Stadien frei, die sich mittels einer Saugscheibe an der Darmoberfläche anheften und so gleichfalls zu einer Verringerung der resorbierenden Oberfläche führen. Unter einem unbekanntem Stimulus werden nach Tagen bis Wochen wieder infektiöse Zysten gebildet, womit sich der Infektionskreislauf schließt.

Das durch Darmparasiten verursachte Krankheitsbild äußert sich i.d.R. bei immunkompetenten Personen in einer Enteritis, die bei Würmern - wenn überhaupt - nur in milder Form auftritt, jedoch über Monate bis Jahre bestehen bleibt. Kryptosporidien dagegen verursachen eine bis zu 2 Wochen, bei Kindern auch länger anhaltende akute Enteritis. Giardienbefall schließlich kann zu monatelangen Magen-/Darmerscheinungen führen.

Wirtsspezifität (vgl.Tab. 2 und 3)

Viele Spezies von Bakterien v.a. aber von Viren und Parasiten sind *artspezifisch*, d.h. sie sind nur für den Menschen bzw. eine bestimmte Tierart pathogen und lösen nur hier eine Erkrankung aus. Andere Vertreter hingegen sind weniger spezialisiert und

Tabelle 2

Fäkalkeime humaner Herkunft

Bakterien	Viren	Parasiten
Salmonellen <i>Salmonella Typhi</i> <i>Salmonella Paratyphi</i>	Enteroviren Poliovirus Coxsackievirus Echovirus Hepatitis-A-Virus	Nematoden <i>Ascaris</i> <i>Trichuris</i>
Shigellen <i>Shigella flexneri</i> <i>Shigella sonnei</i>	Reoviren Humanes Rotavirus Reovirus	Cestoden <i>Hymenolepis</i>
Colibakterien EPEC ETEC	Adenoviren Humanes Adenovirus	
Cholera vibrionen <i>Vibrio cholerae</i> <i>Vibrio eltor</i>	Caliciviren Norwalk-like-Virus (NLV) Small-Round-Structured-Virus (SRSV) Hepatitis-E-Virus	

Tabelle 3

Fäkalkeime: Zoonoseerreger

Bakterien	Parasiten
Salmonellen <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Salmonella typhimurium</i>	Coccidien <i>Cryptosporidium</i>
Campylobacter <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Campylobacter coli</i>	Flagellaten <i>Giardia lamblia</i>
Yersinien <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Cestoden <i>Taenia saginata</i>
Colibakterien EHEC	

können bei Mensch und Tier Erkrankungen auslösen. Bei diesen sog. *Zoonosen* (vgl. Tab. 3) handelt es sich um Krankheiten/Infektionen, die auf *natürliche* Weise auf Wirbeltiere und Menschen übertragen werden. Dies bedeutet, dass für den Menschen nicht nur Infektionserreger aus menschlichen Fäkalien eine Rolle spielen, sondern ebenso die zoonotischen Erreger aus tierischem Kot.

Häufigkeit

Die Darstellung der einzelnen Erreger ist für sich alleine genommen wenig aussagekräftig. Von entscheidender Bedeutung ist die Häufigkeit ihres Auftretens. Unter den darmpathogenen *Bakterien* dürften die Enteritis verursachenden Salmonellen die

größte Rolle spielen. In der Bundesrepublik Deutschland ist pro Jahr mit mehreren 100.000 Salmonelleninfektionen zu rechnen, 1 - 2% der Bevölkerung scheiden kurz-dauernd Salmonellen aus. Geflügel ist zu etwa 70% infiziert, darüber hinaus scheiden verschiedene Säugetiere Salmonellen häufig unerkannt aus. Die Erreger von Typhus, Paratyphus sowie die Ruhrbakterien sind demgegenüber sehr viel seltener. Bei Asylberatern konnten im LGA bei der Untersuchung von 3.500 Stuhlproben nur 1 x Typhus und nur 7 x Shigellen nachgewiesen werden. Gegenüber den Salmonellenosen werden die *Campylobacter-Enteritiden* in ihrer Bedeutung eher verkannt. Nichtsdestoweniger sollen sie in entwickelten Ländern etwa so häufig sein wie jene. Unter dem tierischen Reservoir ist das Geflügel zu 17 - 100% mit *Campylobacter* infiziert, Schweine weisen einen ähnlichen Befallsgrad auf, Rinder sind zu 40% infiziert.

Virale Infektionen sollen etwa 30 - 40% aller humanen Gastroenteritiden ausmachen und damit doppelt so häufig sein wie bakterielle Enteritiden. Nichtsdestoweniger werden sie gegenüber diesen i.d.R. unterbewertet. Dies hängt mit den unzureichenden Untersuchungsmethoden zusammen. Bei gezielter Untersuchung jedoch wird ihre Bedeutung offenbar. So konnten im LGA innerhalb eines halben Jahres 15 durch Norwalk-like-Viren verursachte Gruppenerkrankungen festgestellt werden (Fleischer et al., 2000). *Parasitenbedingte Darmerkrankungen* treten gegenüber bakteriellen und viralen Infektionen zurück. *Kryptosporidien* sollen für 1 - 3% der Durchfallserkrankungen in Mitteleuropa verantwortlich sein; die Zahl dürfte eher zu niedrig liegen, wenn man in Betracht zieht, daß Durchfallkälber bis zu 40% Kryptosporidien-infiziert sind. Die Häufigkeit der menschlichen *Giardien*-Infektionen liegt gleichfalls bei 1 - 2%. Die Größe des Eintrags über Haustiere und Wildtiere ist nicht bekannt. *Wurminfektionen* schließlich machen in Deutschland etwa 1 - 2% der eingesandten Stuhlproben aus. Hier ist indes mit einer hohen Dunkelziffer zu rechnen, was sich etwa in Norddeutschland in dem Problem der Zystizerkose (Finnen-Infektion) von Rindern manifestiert, die durch vom Menschen ausgeschiedene Bandwurmeier verursacht wird.

Umweltbelastung

Die z.T. hohen Ausscheidungsraten von Erregern führen zu einer entsprechenden Kontamination der Umwelt. In Abwasserzuläufen kann faktisch zu 100% mit enteropathogenen Bakterien, Viren und Parasiten gerechnet werden (Fleischer, 1998). Angesichts einer optimalen Reinigungsleistung von bestenfalls 99,9% sind bei hohem Erregereintrag die Keime dementsprechend auch im Ablauf vorhanden, so dass sie sich letztendlich in dem als Vorfluter genutzten Oberflächenwasser wiederfinden (Antoniadis et al. 1982).

Bakteriologische Untersuchungen der Oberflächengewässer liegen in Baden-Württemberg in großem Umfang vor. Bei den Gesamtcoliformen gelten als Grenzwert 10.000 Keime/100ml, als Richtwert 500 Keime/100ml. Bei den Fäkalcoliformen liegt der Grenzwert bei 2.000/100ml, der Richtwert bei 100/100ml. Unter Zugrundelegung dieser Werte ist die Qualität der Oberflächengewässer als sehr unterschiedlich zu beurteilen. Manche Gewässer, wie etwa die Jagst bei Jagsthausen weisen zu jeder Zeit unterhalb der genannten Grenzwerte liegende Werte auf, nach Einleitung einer Kläranlage steigen die Werte an, überschreiten die Grenzwerte jedoch nicht. Bei einer anderen Entnahmestelle in der Jagst sowie in Seckach, Kocher und Schozach finden sich dagegen bakteriologische Werte, die zu bestimmten Entnahmezeiten um ein Mehrfaches über dem Limit liegen (Tabelle 4).

Tabelle 4

Übersicht von Erregermengen in verschiedenen Oberflächengewässern
(n.n.= nicht nachweisbar, PFU = Plaque forming Unit)
(nach Meyer, 2000)

	Jagst	Seckach	Kocher	Schozach
Gesamtcolliforme Bakterien in 100 ml Oberflächenwasser	430 - >11000	2400 - >11000	430 - >11000	1500 - >11000
Fäkalcoliforme Bakterien in 100 ml Oberflächenwasser	150 - 4600	430 - >11000	150 - 11000	430 - >11000
Fäkalstreptokokken in 100 ml Oberflächenwasser	<30 - 430	<30 - 2400	<30 - 1500	<30 - >11000
Salmonellen in 1 Liter Oberflächenwasser	n.n.	n.n. - positiv	n.n.	n.n.
Viren (Zellkultur) in 20 l Oberflächenwasser	n.n. - 2 PFU	n.n. - 6 PFU	n.n. - 2 PFU	n.n. - 11 PFU
Kryptosporidien in 10 l Oberflächenwasser	n.n. - 6	n.n. - 7	n.n. - 4	n.n. - 6
Giardien in 10 l Oberflächenwasser	n.n. - 21	n.n. - 199	n.n. - 81	n.n. - 44

Untersuchungen von Oberflächenwässern auf *Viren und Parasiten* sind im Vergleich zur Bakteriologie nur sporadisch vorgenommen worden. Dies hängt mit der sehr aufwendigen Methodik zusammen, die nicht nur ein kompliziertes *Anreicherungsverfahren* beinhaltet, sondern auch ein aufwendiges *Detektiionsverfahren* in Form von Zellkultur, PCR (Viren) (Fleischer, 1998) bzw. Immunfluoreszenz (Parasiten) (Wagner-Wiening et al. 1995). Im Landesgesundheitsamt sind diese Verfahren seit einigen Jahren etabliert. Die damit vorgenommenen Untersuchungen zeigen, dass auch Viren und Parasiten (Kryptosporidien, Giardien) in der Oberflächengewässern Baden-Württembergs regelmäßig nachzuweisen sind (Tab. 4, 5 und Abb.1) (Wagner-Wiening 1999, Fleischer 1998)

Tabelle 5

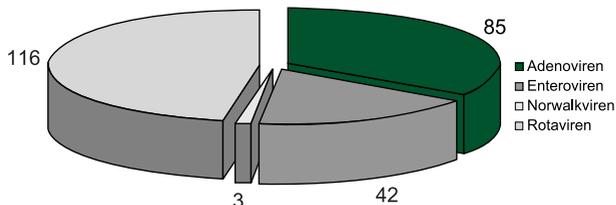
Ergebnisse der Untersuchungen von Rohwässern auf Kryptosporidien und Giardien
Untersuchungszeitraum 1992-1994

Parasit	Gewässer- typ	Proben insgesamt	Proben positiv	Mittlere Zysten- zahl /100 l Wasser	Proben negativ
Giardien	Fluss	15	9	5,3	6
	See	23	8	0,4	15
	Karst	51	4	0,3	47
Krypto- sporidien	Fluss	18	5	5,5	13
	See	23	7	7,9	16
	Karst	57	20	6,5	37

Abbildung 1

Vorkommen von enteropathogenen Viren in Rohwässern
(Untersuchungszeitraum 1997-1999)

Anzahl der viruspositiven Oberflächenwässer 1997-1999
(Gesamtzahl der untersuchten Proben **N=165**)

**Überlebenszeit in der Umwelt**

Der Nachweis von Mikroorganismen in Gewässern stellt eine Momentaufnahme dar. Ein abgerundetes Bild erhält man erst bei Kenntnis der Überlebenszeit dieser Erreger. Über die Überlebenszeit von Darmkeimen in Abwässern und Oberflächenwässern sind eine Fülle von Untersuchungen veröffentlicht worden (Mathys, 1998). Die Ergebnisse sind naturgemäß divergent, da die Überlebenszeit von einer Reihe von Variablen wie Temperatur und pH beeinflusst wird. Die folgenden Angaben sind daher *cum grano salis* zu betrachten. Im Grundwasser überleben Bakterien und Viren z.T. über ein Jahr (Althaus & Matthes, 1982; DVGW, 1983).

Die Überlebensfähigkeit von enteritischen Salmonellen beträgt Wochen bis Monate. Coli-Bakterien sind etwas weniger stabil, halten aber in dem lebensfeindlichen Milieu 'Gülle' bis zu 9 Wochen aus. *Campylobacter*-Bakterien und Shigellen sind wenig umweltstabil und überleben meist nur Tage. Die enteralen Viren zeigen trotz eines übereinstimmenden Aufbaus große Unterschiede in der Überlebenszeit. Diese ist artabhängig und beträgt Tage bis Monate. Unter den Parasiten überdauern Kryptosporidien Monate, Giardien mindestens einige Wochen. Der Rekord liegt bei Wurmeiern, die sogar Jahre in der Umwelt überdauern können. Die im Vergleich zu Coli-Bakterien z.T. deutlich längeren Überlebenszeiten von Parasiten und Viren führen zu der Konsequenz, dass bei diesen Erregern die *Fäkalindikatoren versagen können*; dies bedeutet, dass auch beim Fehlen von klassischen Fäkalindikatoren mit der Existenz von Viren und Parasiten gerechnet werden muss. Diese fehlende Korrelation hat sich in zahlreichen Untersuchungen, darunter auch eigenen, vielfach bestätigt.

Infektionsgefährdung

Zur Beurteilung einer Infektionsgefahr ist neben der Kenntnis der Gewässerbelastung und der Überlebenszeit der Keime schließlich auch die Kenntnis der erforderlichen Infektionsdosen von entscheidender Bedeutung (vgl. Tab. 6).

Während bei enteritischen Salmonellen die erforderlichen Infektionsdosen mit 10^5 bis 10^7 Keimen i.d.R. recht hoch liegen (bei einzelnen Spezies allerdings nur bei 10^1 - 10^2),

Tabelle 6

Infektionsdosis/Infektionsschwelle unterschiedlicher Erreger

Erreger	Anzahl/Dosis
Salmonellen	10 ⁵ - 10 ⁷ Keime
Shigellen	10 - 100 Keime
Hepatitis-A-Viren	1 - 10 PFU
Rotaviren	1 - 10 PFU
Cryptosporidien, Giardien	1 - 100 Zysten
Würmer	1 Ei

(PFU: plaque forming units)

liegen die Infektionsdosen bei Viren und vor allem bei Parasiten (Miller et al. 1986, Rendtorff 1990)) mit nur wenigen Erregern sehr niedrig, so dass es bei entsprechender Belastung hier zu Direktinfektionen – etwa beim Schwimmen – kommen kann.

Größere Bedeutung haben indessen die im Oberflächenwasser vorhandenen Keime, wenn diese als Trinkwasser aufbereitet werden. Vor allem Viren und Parasiten können hier Probleme machen, wie aus einer Aufstellung der Trinkwasserepidemien in den USA hervorgeht (vgl. Tab. 1) (Exner 1997, Payment et al. 1985, Seitz et al. 1997).

In Deutschland sind bisher keine durch Wasser übertragenen Epidemien mit Viren bzw. Kryptosporidien oder Giardien bekannt geworden. Dies wird mit der sehr viel aufwendigeren Strategie für das Trinkwasser begründet, bei der die seuchenhygienische Sicherheit nicht nur durch Desinfektion sichergestellt wird, sondern durch ein auf Max von Pettenkofer und Robert Koch zurückgehendes Multibarrieren-Prinzip, das vor allem *Ressourcenschutz* und eine angemessene *Wasseraufbereitung durch Flockung und Filtration* beinhaltet (Schoenen et al. 1997). Dieser Erfolg sollte Ansporn sein, die bewährten Verfahren beizubehalten oder sogar auszubauen und bei Bedarf durch erweiterte Überwachungssysteme - etwa für Viren und Parasiten - fortlaufend zu ergänzen.



Literatur

Althaus, H. & Matthes, G.: Lebensdauer von Bakterien und Viren in Grundwasserleitern, Umweltbundesamt, Materialien 1/82, Erich Schmidt Verlag Berlin(1982).

Antoniadis, G., Seidel, K., Bartocha, W., Lopez, J.M.: Virenelimination aus städtischen Abwässern durch biologische Abwassereinigung. Zbl. Bakt. Hyg. B176, 537-545 (1982)

CDC : Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks, United States 1995-1996, Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR) 47, 1-19 (1998)

DVGW: Forum Mikroorganismen und Viren in Grundwasserleitern, München 1983, DVGW Schriftenreihe Nr. 35, (1983)

- Exner, M: Ziele des BMBF-Forschungsvorhabens: Verhalten von Mikroorganismen und Viren im Trinkwasser, DVGW Schriftenreihe Wasser 91, 9-32 (1997)
- Green KY, Ando T, Balayan MS, Berke T, Clarke IN, Estes MK, Matson, DO, Nakata S, Neill JD, Studdert MJ, Thiel HJ: Taxonomy of caliciviruses. J. Infect Dis. 181, 322-330 (2000)
- Fleischer, J.: Untersuchungen zur Belastung von Rohwässern mit enteropathogenen Viren. Jahresbericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg. S. 68-71. (1997)
- Fleischer, J.: Untersuchungen zur Belastung von Oberflächen- und Rohwässern mit enteropathogenen Viren und anderen Krankheitserregern. Jahresbericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg. S. 84-87. (1998)
- Fleischer, J.: Elimination von enteropathogenen Viren und Fäkalindikatoren bei der erweiterten biologischen Abwasserreinigung. Diss. Univ. Tübingen (1998)
- Fleischer J, Wagner-Wiening C, Kimmig P.: Epidemiologie von Norwalk-Viren in Baden-Württemberg. Gesundh. Wes. 62, 604-608 (2000)
- Gerba, C.P., Rose, J.B., Haas, C.N., Crabtree, K.D.: Waterborne Rotavirus: A risk assessment. Water Research 30, 2929-2940 (1996)
- Mathys, W.: Abschätzung gesundheitlicher Risiken beim Betrieb von Kleinkläranlagen, speziell von Pflanzkläranlagen; Literaturstudie im Auftrag des Ministers f. Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen (1998)
- Meyer, J.: Beregnung von Kulturen zum Rohverzehr mit Oberflächenwasser. Projektbericht des LGA im Auftrag des MLR Baden-Württemberg (2000)
- Miller, R.A., Bronsdon, M.A., Morton, W.R.: Determination of the infectious dose of *Cryptosporidium* and the influence of inoculum size on disease severity in a primate model. Abstr. Ann. Meet. Am. Soc. Microbiol. 148,49, (1986)
- Payment, P., Tremblay, M., Trudel, M.: Relative resistance to chlorine of poliovirus and coxsackievirus isolates from environmental sources and drinking water. Appl. Environ. Microbiol. 49, 981-983 (1985)
- Rendtorff, R.C.: The experimental transmission of *Giardia lamblia* among volunteer subjects. J. Inf. Dis. 191, 312-315 (1990)
- Schoenen, D., Botzenhart, K., Exner, M., Feuerpfeil, I., Hoyer, O., Sacré, C., Szewzyk, R., Vermeidung einer Übertragung von Cryptosporidien und Giardien mit dem Wasser. Bundesgesundheitsblatt 12, 466-475 (1997)
- Seitz, H.M., Karanis, P.: Die Elimination parasitischer Protozoen bei der Trinkwasseraufbereitung. DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 91, 205-216 (1997)
- Wagner, C., Kimmig, P.: *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia*- Vorkommen in Oberflächen- und Trinkwasser- Bedeutung und Nachweisverfahren. Gesundh.-Wes. 54, 662-665 (1992)
- Wagner-Wiening, C., Kimmig, P.: Detection of viable *Cryptosporidium parvum* oocysts by PCR. Appl. Environ. Microbiol. 61, 4514-4516 (1995)
- Wagner-Wiening, C. : Epidemiologische und methodische Untersuchungen zu Kryptosporidien und Giardien. Diss. Universität Hohenheim (1999)

Druck

B.V. Drukkerij De Eendracht, Schiedam

Gestaltung und Prepress

Jan Ketting, Amsterdam

B.V. Drukkerij De Eendracht, Schiedam

