



**INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZE DES RHEINS
COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DU RHIN**

STATUSBERICHT RHEIN

**Chemisch-physikalische und biologische Untersuchungen bis 1991
Vergleich Istzustand 1990 - Zielvorgaben**

RAPPORT SUR L'ETAT DU RHIN

**Analyses physico-chimiques et biologiques jusqu'en 1991
Comparaison état réel 1990 - objectifs de référence**

REPORT ON THE STATE OF THE RHINE

**Chemical-physical and biological analysis until 1991
Comparison of the state in 1990 with the targets**

Summary and prospects

The report on the state of the Rhine gives evidence of the positive development of the chemical and biological state of the Rhine until 1991 as well as of the problems which still exist.

Chemical state

Even in critical low water periods the oxygen supply of the Rhine water may still be said to be satisfactory. This is due in particular to the significant decrease of easily degradable organic pollution brought about by the considerable treatment of municipal as well as industrial waste water in waste water treatment plants. The contents of phosphorous and ammonium nitrogen have quite clearly decreased, on the long run however, contents of nitrate nitrogen are slowly rising. This is a consequence of increasing lixiviation from agriculture and of the conversion of ammonium to nitrate in waste water treatment plants. The eutrophication of the Lower Rhine and of the North Sea is progressing, therefore nutrient inputs into the Rhine must be reduced.

Heavy metals

Since the mid-80s, the heavy metal contents of the Rhine water have reached a comparatively low level, partly around the limit of detection. Even before 1985 the enactment of regenerating measures by industrial and commercial polluters taken at the end of the 70s showed visible success. Analyses of heavy metal contents in suspended matter and sediments continue to give evidence of too high contents of heavy metals. Compared with earlier monitoring, results for suspended matter which exist at the Koblenz monitoring station for the years since 1973 show a clear decrease in the heavy metal contents in suspended matter as well as in water.

Lead, cadmium and mercury are regularly analyzed for the assessment of heavy metal accumulations in fish, which is also required by the food controls. Fish from the Rhine may only be sold if it satisfies the requirements of national food laws. If in a larger amount of fish the detected contents of noxious substances exceed the so-called legal maximum amount, fish from this body of water may no longer be sold. Analyses prove that the mercury content of the majority of barbel (Rhine km 57-180) exceeds the maximum content legally fixed to 0.5 mg/kg in

Germany and Switzerland. However, this is also the case for some pike (Rhine km 247-278). These results show that action for a further reduction in the mercury content must be taken. Lead and cadmium contents in fish from the Rhine are much lower and do not exceed national legally fixed threshold values for foodstuff.

Organic micropollution

The Rhine water was additionally analyzed with respect to a large number of organic micropollutions. In 1990 analysis results showed that many substances such as drins (aldrin, dieldrin, endrin, isodrin), DDT and metabolites, hexachlorobenzene (HCB) and polychlorinated biphenyls (PCB) are no longer detectable or are near the limit of determination. Measurements of highly volatile chlorinated hydrocarbons carried out at the monitoring stations Koblenz, Bimmen and Lobith show that, in 1990, only trichloromethane (chloroform) occasionally occurred in high concentrations. According to an extensive research programme on important organic noxious substances in the Rhine water this also applies to highly volatile halogen hydrocarbons. Chloroform was detected comparatively often, however contents decreased significantly during the examination period 1989-1991. The chloroform results correspond to those for AOX.

In the past years some herbicide and pesticide agents (PBSM containing N and P) were of considerable importance in the Rhine basin. Increasingly, attention was paid to substances such as atrazine, simazine, bentazone, metazachlor and metolachlor and different phosphoric acid esters (Sandoz accident). According to present results, the pollution of the Rhine by these agents has considerably decreased. Atrazine was found above all, the major part of it enters the Rhine via non-point sources due to the use of this substance in agriculture. As reduction measures have already been taken in all ICPR Member States (e.g. restrictions or interdictions of use), further reductions may be expected. Among the non-volatile organic substances the analyses concentrated on chloro- and nitrobenzenes and -toluols as well as on different aniline derivatives. In the past years the concentrations of these substances in the Rhine water have equally shown a marked decline. Comparatively low contents were found of the following substances: nitrobenzene, 1,2-dichlorobenzene, 4-chloro-2,6 dimethylaniline,

2-nitrotoluol, 2,6 dimethylaniline and N,N-dimethylaniline. However, these substances do not rank on the priority list of the Rhine Action Programme.

The organic sum parameter AOX comprising the major part of man-made organic chlorine and halogen compounds was monitored in the Rhine water. During the research period a marked decrease in AOX-values was found. This is a result of the substitution of chlorine bleaching by oxygen bleaching in the pulp and paper industry and of the partial substitution of chlorine in industry.

Many organic micropollutions were analyzed in suspended matter and in sediments. Distinctly measurable concentrations of hexachlorobenzene (HCB), polychlorinated biphenyls (PCB) and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAK) were found more than anything else in suspended matter and in sediments. Of all substances HCB has the highest contents in suspended matter in the Rhine and additionally these contents vary significantly (100 µg/kg and more). HCB is highly chronically toxic for aquatic organisms, it is persistent and strongly concentrated in suspended matter, sediments and organisms. Contrary to all other substances, HCB concentrations diminish by about 50 % from Seltz to Lobith which means that the main source of HCB contamination is to be presumed on the Upper Rhine. Analyses of sediments and of residues in fish from this part of the Rhine have led to the same results. In 1988 and 1990 high contents of HCB (ca. 1 mg/kg) were found in sediments at the barrage weirs on the Upper Rhine. Presumably floods transport part of the contaminated sediments downstream as suspended matter. This will then lead to increased HCB contents in suspended matter at the downstream monitoring stations.

Of all organic micropollutions monitored in fish, HCB occurs with the highest concentrations beside the higher chlorinated PCB congeners. Very high concentrations of HCB were found near to Rheinfelden. These are due to a pentachlorophenol (PCP) production plant which was closed down in September 1986 as well as to the later production of chlorinated silan in the same plant. In each case HCB occurred as a by-product. In 1990, excesses of the maximum permissible values according to German law were found in several eel, some European roach and some barbel. A comparison of the HCB contents in fish and suspended matter found in 1990 with those found in 1985 reveals that a markedly decreasing tendency can only be observed on the Lower Rhine. A further decrease in contents is therefore necessary.

Also, higher PCB contents were measured in suspended matter, sediments and fish. Although they are no longer produced or used in the Rhine basin, polychlorinated biphenyls still exist everywhere in the environment and reach the water bodies from diffuse sources. The maximum permissible content of higher chlorinated PCB in edible fish is being exceeded in the majority of eel in all riparian states of the Rhine. This is particularly true of the Dutch part of the Rhine, and in Switzerland and Germany this is also true of some barbel.

The large number of monitoring results from the four sections water, suspended matter, sediment, organisms reveals that the substances still creating problems in the Rhine water are, on the one hand and due to the necessity of North Sea protection, the nutrients, and on the other hand some organic micropollutions (chloroform, atrazin). The main contaminants in suspended matter and sediments are HCB, PCB, mercury, cadmium, copper and zinc, in the fish of the Rhine HCB, PCB and mercury. As far as HCB and PCB are concerned, production interdictions and interdictions of use exist in most of the riparian states of the Rhine. Nevertheless, investigations into the sources of pollution should be continued for all substances mentioned and measures reducing inputs should be fixed. This evaluation is supported by the results of the comparison of the actual state with the targets.

Comparison of the actual state with the targets of 1990

In 1991/1992 the ICPR elaborated targets for the most important noxious substances (heavy metals, organic micropollutions) as well as nutrients. These targets take into account the requirements of drinking water supply, fishery, the use of dredged material and habitats for aquatic organisms. An overall comparison of these aims with the 1990 measurement results showed that for about two thirds of the priority substances the targets have been reached or the concentrations are below the analytical limit of determination. However, for mercury, cadmium, copper, zinc, γ-HCH, chloroform, hexachlorobenzene and nutrients the targets were not reached in 1990 along the entire course of the Rhine. For cadmium, for example, the target has been set to 1.0 mg/kg matter in suspension, but in 1990 the test levels were still about two to four times as high. The target set for PCB is 0.0001 µg/l (= 0.1 ng/l); the test data calculated on the basis of suspended matter came out as much as ten times as high. A more detailed analysis is now being undertaken in order to find the origin of this pollution and it is being checked whether on-going rehabili-

tation measures will lead to the targets set or whether additional action must be developed and implemented.

Biological state of the Rhine

Stock of fish

Today 40 of the 47 fish species populating the Rhine at the end of the last century have returned to the river. However, less demanding species of white fish prevail. Fortunately, specimens of migratory fish such as salmon, sea trout, allice shad and sea lamprey have also been reported. Endangered species, such as schneider, barbel, nase and flounder have also been registered so that it is possible to speak of a distinct increase in returning endangered species. According to Lelek & Buhse (1992) only 23 fish species were registered in the Rhine around 1975 when Rhine water pollution had reached its peak. A large number of ecomorphological actions must be taken so that fish species may continue to regenerate and come closer to the original structure. Amongst others, free migration through the main stream must again be possible (e.g. by making existing obstacles, such as barrage weirs, surmountable) and spawning as well as nursery grounds in cut-offs and tributaries must again be made accessible or must be restored. The plan to reintroduce long distance migratory fish into the Rhine includes a certain number of the required ecomorphological measures for improvement.

Macrozoobenthon

Since the mid-seventies, when the pollution situation started to improve, the macrozoobenthon population has fortunately also increased. Gradually, the number of species approaches that assessed by Lauterborn around the turn of the century. However, due to the fact that human influence has considerably altered the habitats, the composition of species has distinctly changed. Many sensitive species preferring the current which formerly existed in and along the Rhine, such as stone flies, have disappeared and less demanding species prevail. Additionally, several foreign species (so-called neozoa) have begun to settle in the vacant spaces.

The High Rhine (Hochrhein) and the Restrhein along the Upper Rhine are distinctly characterized by different insect species. From the Upper Rhine and downstream, particularly on the Middle and Lower Rhine plattworms, leeches, snails and crustaceans prevail. Some insect species said to have died out have however returned (e.g. different larvae of ephemera and caddice worms). Typically new species are the plattworm *Dugesia tigrina*, the snail *Potamopyrgus antipodarum*, the water flea

Gammarus tigrinus or the crustacean *Corophium curvispinum* which has, since 1985, spread massively from the delta to the Upper Rhine.

Plankton

With respect to the algae growth (phytoplankton) in the Rhine, assessment is made that the phytoplankton density is about ten times as high as at the turn of the century. This is due to the high nutrient contents in the Rhine. Today high densities of diatoms and green algae occur; they are ubiquitous and insensitive species. Chlorophyll-a-concentrations (as a measure for algae density) vary markedly from one year to another, all depending on the discharge and the weather conditions. The concentrations assessed on the Lower Rhine in 1990 (up to 170 $\mu\text{g/l}$) rank among the highest ones observed in the Rhine during the last ten years. Particularly in the 70s, toxic substances influenced the density of phytoplankton; this is also true of the massive development of filtering animals such as dreissena mussels and the above mentioned crustaceans. Research should be undertaken in order to learn how far and by which measures, e.g. a continued reduction of phosphorous inputs, plankton growth can be reduced to a maximum of 100 μg chlorophyll/l on the German/Dutch border.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Statusbericht Rhein belegt die im allgemeinen als erfreulich zu bezeichnende Entwicklung des chemischen und biologischen Zustandes des Rheins bis 1991 und zeigt zugleich die derzeit noch existierenden Problembereiche auf.

Chemischer Zustand

Die Versorgung des Rheinwassers mit Sauerstoff kann selbst in kritischen Niedrigwasserperioden als zufriedenstellend bewertet werden. Dies ist insbesondere bedingt durch die gravierende Abnahme der leicht abbaubaren organischen Belastung, die auf die umfassende Reinigung kommunaler und industrieller Abwässer in Kläranlagen zurückzuführen ist. Die Gehalte an Phosphor und Ammoniumstickstoff haben deutlich abgenommen, die Nitratstickstoffgehalte steigen jedoch - langfristig gesehen - langsam an. Letzteres ist Folge erhöhter Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und Umwandlung von Ammonium in Nitrat in Kläranlagen. Die Nährstoffeinträge in den Rhein sind wegen der zunehmenden Eutrophierung im Niederrhein und in der Nordsee weiter zu senken.

Schwermetalle

Die Schwermetallgehalte im Rheinwasser liegen seit Mitte der 80er Jahre auf einem relativ niedrigen Niveau, z.T. im Bereich der Bestimmungsgrenze. Die bereits Ende der 70er Jahre eingeleiteten Sanierungsmaßnahmen bei industriellen und gewerblichen Einleitern zeigten bereits vor 1985 deutliche Erfolge.

Die in den letzten Jahren zusätzlich durchgeführten Schwermetallanalysen in Schwebstoff und Sedimenten weisen jedoch immer noch erhöhte Schwermetallgehalte auf. Ein Vergleich mit früheren Schwebstoffmeßergebnissen, die für die Meßstelle Koblenz seit 1973 vorliegen, ergibt aber eine ebenso deutliche Schwermetallabnahme in Schwebstoffen wie im Wasser.

Für die Feststellung der Schwermetallanreicherung in Fischen, die auch aus Lebensmittelkontrollgründen erforderlich ist, werden routinemäßig Blei, Cadmium und Quecksilber analysiert. Ein Rheinfisch darf nämlich nur verkauft werden, wenn er den national geltenden lebensmittelrechtlichen Bestimmungen entspricht. Werden in einer nicht unerheblichen Zahl von Fischen Schadstoffgehalte nachgewiesen, die

über den sogenannten gesetzlichen Höchstmengen liegen, so dürfen die Fische aus diesem Gewässer nicht verkauft werden. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Quecksilbergehalte in einem Großteil der untersuchten Barben (Rhein-km 57-180) die in Deutschland und der Schweiz gesetzlich festgelegte Höchstmenge für Fische von 0,5 mg/kg überschreiten. Dies ist aber auch bei einigen Hechten (Rhein-km 247-278) der Fall. Auf Basis dieser Ergebnisse sind somit Maßnahmen für eine weitergehende Quecksilberverringerung ins Auge zu fassen. Die Blei- und Cadmiumgehalte in Rheinfischen liegen wesentlich geringer und überschreiten die nationalen, lebensmittelrechtlichen Grenzwerte nicht.

Organische Mikroverunreinigungen

Das Rheinwasser wurde zudem auf eine Vielzahl organischer Mikroverunreinigungen untersucht. Die Ergebnisse des Jahres 1990 zeigten, daß viele Substanzen wie die Drine (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin), DDT und Metabolite, Hexachlorbenzol (HCB) und polychlorierte Biphenyle (PCB) im Wasser nicht mehr nachweisbar sind oder im Bereich der Bestimmungsgrenze liegen. Messungen der leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffe an den Meßstationen Koblenz, Bimmen und Lobith belegen, daß lediglich Trichlormethan (Chloroform) 1990 gelegentlich in hohen Konzentrationen auftritt. Aus einem umfangreichen Forschungsvorhaben über das Vorkommen wichtiger organischer Schadstoffe im Rheinwasser geht in bezug auf die leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe das gleiche Ergebnis hervor. Chloroform konnte vergleichsweise häufig nachgewiesen werden, wobei die Gehalte im Untersuchungszeitraum 1989-1991 signifikant zurückgingen. Die Befunde für Chloroform stimmen mit dem Rückgang von AOX überein.

Einzelne Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel-Wirkstoffe (N- und P-haltige PBSM) spielten in den letzten Jahren im Rheineinzugsgebiet eine große Rolle. Stoffe wie Atrazin, Simazin, Bentazon, Metazachlor und Metolachlor sowie verschiedene Phosphorsäureester (Sandoz-Unfall) sorgten für erhöhte Aufmerksamkeit. Die jetzt vorliegenden Resultate zeigen, daß die Belastung des Rheins mit diesen Wirkstoffen erheblich zurückgegangen ist. Gefunden wurde vor allem noch Atrazin, das heute zum überwiegenden Teil aus diffusen Einträgen aus der Anwendung in der Landwirtschaft stammt. Auf-

grund der bereits in den IKSR-Mitgliedstaaten eingeleiteten Reduzierungsmaßnahmen (z.B. Anwendungsbeschränkungen bzw. -verbote) sind noch weitere Abnahmen zu erwarten.

An schwerflüchtigen organischen Einzelstoffen wurden insbesondere Chlor- und Nitrobenzole bzw. -toluole sowie verschiedene Anilinderivate untersucht. Auch die Konzentrationen dieser Stoffe im Rheinwasser haben in den letzten Jahren erheblich abgenommen. Nachgewiesen - mit relativ geringen Gehalten - wurden Nitrobenzol, 1,2-Dichlorbenzol, 4-Chlor-2,6-Dimethylanilin, 2-Nitrotoluol, 2,6-Dimethylanilin und N, N-Dimethylanilin, die jedoch nicht Stoffe der prioritären Liste des Aktionsprogramms Rhein sind.

Als summarischer organischer Parameter wurde im Rheinwasser AOX, der den Großteil der anthropogenen organischen Chlor- und Halogenverbindungen erfaßt, gemessen. Im Untersuchungszeitraum sind durchweg deutliche Verringerungen der AOX-Werte gemessen worden. Diese sind ursächlich mit den Maßnahmen zur Umstellung der Bleichstufe von Chlor auf Sauerstoff bei der Zellstoff- und Papierindustrie, weitergehenden Abwasserreinigungsmaßnahmen und den teilweisen Ersatz von Chlor bei der chemischen Industrie verknüpft.

Eine Vielzahl organischer Mikroverunreinigungen wurde auch in den Schwebstoffen und Sedimenten untersucht. In deutlich meßbaren Konzentrationen wurden vor allem Hexachlorbenzol (HCB), die polychlorierten Biphenyle (PCB) und die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) in Schwebstoffen und Sedimenten gefunden. HCB ist diejenige Substanz, die die höchsten Gehalte in Rheinschwebstoffen und zudem starke Gehaltsschwankungen aufweist (100 µg/kg und mehr). HCB hat eine hohe chronische Giftigkeit für Wasserlebewesen, der Stoff ist langlebig und reichert sich stark in Schwebstoffen, Sedimenten und Organismen an. Im Gegensatz zu allen anderen Substanzen fällt HCB im Rheinlängsprofil von Seltz bis Lobith auf etwa die Hälfte ab, so daß die HCB-Hauptquelle im Oberrhein zu vermuten ist. Dies wurde durch Sedimentuntersuchungen und Rückstandsanalysen in Fischen desselben Rheinabschnittes untermauert. Insbesondere wurden in den Oberrhein-Staustufen 1988 und 1990 hohe HCB-Gehalte (ca. 1 mg/kg) im Sediment gefunden. Bei starken Hochwässern wird wahrscheinlich ein Teil der belasteten Sedimente als Schwebstoff weitertransportiert und erhöht dadurch die HCB-Gehalte in Schwebstoffen an den unterhalb gelegenen Meßstationen.

Von allen gemessenen organischen Mikroverunreinigungen in Fischen ist HCB neben den höherchlorier-

ten PCB-Kongeneren ebenfalls der Schadstoff mit den höchsten Konzentrationen. Die sehr hohen HCB-Gehalte in der Nähe von Rheinfeldern sind auf eine seit September 1986 stillgelegte Produktionsstätte für Pentachlorphenol (PCP) sowie die in diesem Werk anschließend durchgeführte Chlorsilan-Produktion zurückzuführen. In diesen Produktionsstätten fiel HCB als Nebenprodukt an. Höchstmengenüberschreitungen nach deutschem Recht wurden 1990 bei zahlreichen Aalen und einigen Rotaugen und Barben festgestellt. Vergleicht man jedoch die 1990er HCB-Gehalte in Fischen und im Schwebstoff mit den Werten von 1985, so wird eine deutlich abnehmende Tendenz lediglich am Niederrhein sichtbar, weitere Gehaltsabnahmen sind daher erforderlich.

Des Weiteren wurden in Schwebstoffen, Sedimenten und Fischen erhöhte PCB-Gehalte gemessen. Polychlorierte Biphenyle sind - obwohl sie im Rheineinzugsgebiet nicht hergestellt bzw. nicht mehr verwendet werden - noch überall in der Umwelt vorhanden und gelangen heute vorwiegend auf diffusen Wege in die Gewässer. Die Höchstmengen für höherchlorierte PCB in Speisefischen werden bei einem Großteil der Aale in allen Rheinanliegerstaaten überschritten - besonders deutlich im niederländischen Rheinabschnitt -, in der Schweiz und in der Bundesrepublik auch bei einzelnen Barben.

Aus der Vielzahl der vorgelegten Meßergebnisse in den 4 Bereichen Wasser - Schwebstoff - Sediment - Organismen kristallisiert sich heraus, daß im Rheinwasser einerseits die Nährstoffe - aus Gründen des Nordseeschutzes - und andererseits einige organische Mikroverunreinigungen (Chloroform, Atrazin etc.) heute noch Problemstoffe darstellen. Als Hauptkontaminanten in Schwebstoffen und Sedimenten sind insbesondere HCB, PCB, Quecksilber, Cadmium, Kupfer und Zink, in Rheinfischen HCB, PCB und Quecksilber zu nennen. Für HCB und PCB existieren bereits in den meisten Rheinanliegerstaaten Herstellungs- und Anwendungsverbote. Dennoch sollten für alle genannten Stoffe - soweit wie möglich - die Quellen weiter erforscht und Maßnahmen zur Emissionsminderung festgelegt werden. Diese Bewertung wird durch die Ergebnisse des Ist-Soll-Vergleichs für 1990 untermauert.

Ist-Soll-Vergleich 1990

Die IKSR hat in den Jahren 1991/92 immissionsbezogene Zielvorgaben für die wichtigsten Schadstoffe (Schwermetalle, organische Mikroverunreinigungen) und Nährstoffe erarbeitet. Sie berücksichtigen die Belange der Trinkwasserversorgung, Fischerei, Baggergutentnahme und die Lebensraumansprüche aquatischer Lebewesen. Der globale Vergleich dieser Ziele mit den Meßdaten des Jahres 1990

zeigte, daß bei rund 2/3 der prioritären Stoffe die Zielvorgaben bereits erfüllt sind oder unter der analytischen Bestimmungsgrenze liegen. Hingegen wurden die gewünschten Ziele bei Quecksilber, Cadmium, Kupfer, Zink, γ -HCH, Chloroform, Hexachlorbenzol, PCB und Nährstoffen 1990 noch nicht auf der gesamten Rheinstrecke erreicht. So liegt das Ziel für Cadmium z.B. bei 1,0 Milligramm/Kilogramm Schwebstoff, die 1990er Meßwerte sind aber etwa zwei bis vier mal so hoch. Für die PCB gilt eine Zielvorgabe von 0,0001 Milligramm/Liter (= 0,1 Nanogramm/Liter); die aus Schwebstoffen berechneten Meßwerte lagen bis zu 10 mal höher. Dafür sind jetzt die Belastungsursachen detailliert zu untersuchen und es ist abzuklären, ob bereits die laufenden Sanierungsmaßnahmen das gesteckte Reduzierungsziel erreichen oder ob zusätzliche Maßnahmen entwickelt und in die Wege geleitet werden müssen.

Biologischer Zustand

Fischbestand

Von den ehemals - am Ende des letzten Jahrhunderts - im Rhein vorhandenen 47 Fischarten kommen heute wieder 40 Arten vor. Es dominieren allerdings wenig anspruchsvolle Weißfischarten. Erfreulicherweise wurden auch Einzelexemplare von Wanderfischen wie Lachs, Meerforelle, Maifisch und Meerneunauge gemeldet. Andere gefährdete Fischarten wie Schneider, Barbe, Nase und Flunder konnten ebenfalls registriert werden, so daß von einer deutlichen Zunahme von gefährdeten Fischarten gesprochen werden kann. Nach Lelek & Buhse (1992) wurden um 1975 - Zeitraum schlechtester Wasserqualität im Rhein - nur noch 23 Fischarten nachgewiesen. Für eine weitere Erholung des Fischbestandes und eine Annäherung an die ursprüngliche Fischartenzusammensetzung sind allerdings vielfältige ökomorphologische Maßnahmen zu realisieren. Diese beziehen sich einerseits auf die Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit des Hauptstroms (Überwindbarmachung von Wanderhindernissen, z.B. Wehren) sowie auf den Wiederanschluß und die Wiederherstellung von Laichgebieten und Jungfischhabitaten in Altgewässern bzw. Nebenflüssen des Rheins. Der Plan zur Wiedereinführung der Langdistanz-Wanderfische in den Rhein enthält bereits einen Teil der erforderlichen ökomorphologischen Verbesserungsmaßnahmen.

Makrozoobenthon

Die Besiedlung des Rheins mit wirbellosen Kleinlebewesen (Makrozoobenthon) zeigt ebenfalls eine erfreuliche Zunahme der Artenzahlen seit der Abwasserentlastung Mitte der 70er Jahre. Die Artenzahl nähert sich allmählich wieder der von Lauterborn um die Jahrhundertwende festgestellten Größenord-

nung. Bedingt durch den für die menschliche Nutzung stark veränderten Lebensraum hat sich die Artenzusammensetzung jedoch deutlich verändert. Viele, früher vorhandene, strömungsliebende und empfindliche Arten - z.B. Steinfliegen - sind verschwunden und Arten mit geringeren Ansprüchen an den Lebensraum haben sich durchgesetzt. Zudem haben mehrere fremde Arten (sog. Neozoa) begonnen, die entstandenen Freiräume zu nutzen.

So sind der Hochrhein und der Restrhein (Oberrhein) deutlich durch verschiedene Insektenarten geprägt. Vom Oberrhein an stromabwärts, vor allem am Mittel- und Niederrhein prägen vorwiegend Plattwürmer, Egel, Schnecken und Krebstiere das Besiedlungsbild. Einige Insektenarten treten jedoch auch hier wieder auf, die zuvor bereits als verschollen galten (z.B. verschiedene Eintagsfliegen- und Köcherfliegenlarven). Typische neue Arten sind der Plattwurm *Dugesia tigrina*, die Schnecke *Potamopyrgus antipodarum*, der Flohkrebs *Gammarus tigrinus* oder der Schlickkrebis *Corophium curvispinum*, der sich seit 1985 von der Mündung her bis in den Oberrhein massenhaft ausgebreitet hat.

Plankton

Zum Algenwachstum (Phytoplankton) im Rhein kann festgehalten werden, daß heute aufgrund der hohen Nährstoffgehalte im Rhein eine wesentlich größere Phytoplanktondichte (etwa das Zehnfache) herrscht als zur Jahrhundertwende. Zentrische Kieselalgen und Grünalgen kommen heute in hohen Dichten vor; es handelt sich dabei um überall vorkommende, unempfindliche Arten. Die Chlorophyll-a-Konzentrationen (als Maß für die Algendichte) schwanken deutlich von Jahr zu Jahr, eine enge Verknüpfung mit dem Abfluß und der Witterung ist gegeben. Die 1990 im Niederrhein ermittelten Konzentrationen gehören zu den höchsten (bis zu 170 $\mu\text{g/l}$), die im Rhein im vergangenen Jahrzehnt beobachtet wurden. Insbesondere in den 70er Jahren wirkten sich toxische Substanzen auf die Phytoplanktondichte aus; dies gilt auch für die massive Entwicklung von filtrierenden Tieren, wie z.B. von Dreissena-Muscheln und den zuvor genannten Schlickkrebsen. Es sollte untersucht werden, inwieweit und durch welche Maßnahmen, z.B. weitere Reduzierung von Phosphoreinträgen, eine Begrenzung des Planktonwachstums auf 100 μg Chlorophyll/l als Maximum an der deutsch-niederländischen Grenze erzielt werden kann.

Résumé et perspectives

Le Rapport sur l'état du Rhin met en évidence l'évolution généralement positive de l'état chimique et biologique du Rhin jusqu'en 1991 et montre quels problèmes subsistent encore actuellement.

Etat chimique

L'alimentation des eaux du Rhin en oxygène peut être considérée comme satisfaisante, même pendant les périodes d'étiage critiques. Ceci est dû notamment à la baisse sensible de la pollution organique facilement dégradable obtenue grâce à l'amélioration sensible de l'épuration des eaux usées urbaines et industrielles dans des stations d'épuration. Les teneurs en phosphore et azote ammoniacal ont fortement diminué, les teneurs en azote nitrique, par contre, augmentent lentement à longue échéance. Cette augmentation est due à un accroissement du lessivage des nitrates des surfaces agricoles et à la transformation de l'ammonium en nitrate dans les stations d'épuration. Il convient de poursuivre les efforts de réduction des apports de nutriments dans le Rhin en raison de l'eutrophisation croissante dans le Rhin inférieur et la mer du Nord.

Métaux lourds

Les teneurs en métaux lourds des eaux du Rhin se situent à un niveau relativement bas depuis le milieu des années 80, en partie à proximité de la limite de dosage. Les mesures d'assainissement appliquées dès la fin des années 70 aux rejets industriels ont porté leurs fruits avant même 1985.

Les analyses supplémentaires sur les métaux lourds effectuées au cours des dernières années dans les matières en suspension et les sédiments ont cependant mis en évidence des teneurs trop élevées. En les comparant aux résultats de mesures sur les matières en suspension d'années antérieures (disponibles depuis 1973 pour la station de mesures de Coblenz) on note cependant que la baisse des métaux lourds dans les matières en suspension est similaire à celle constatée dans l'eau.

Des analyses de routine sont effectuées sur le plomb, le cadmium et le mercure, afin de déterminer l'accumulation des métaux lourds dans les poissons et contrôler en outre les produits alimentaires. Un poisson du Rhin ne peut être vendu que s'il satisfait aux dispositions fixées par la législation nationale en vigueur sur les produits alimentaires. Si l'on détecte, dans un nombre non négligeable de poissons, des teneurs en substances nuisibles dépassant les quantités maximales légales, les poissons de ce cours

d'eau ne peuvent être vendus. Les résultats des analyses montrent que les teneurs en mercure mesurées dans un grand nombre des barbeaux analysés (km-Rhin 57-180) dépassent la limite maximale de 0,5 mg/kg légale pour les poissons en Allemagne et en Suisse. C'est également le cas pour quelques brochets (km-Rhin 247-278). Sur la base de ces résultats, il convient d'envisager des mesures visant à une réduction supplémentaire du mercure. Les teneurs en plomb et cadmium dans les poissons du Rhin sont nettement inférieures et ne dépassent pas les valeurs limites fixées par la législation nationale sur les produits alimentaires.

Micropollutions organiques

En outre, de nombreuses micropollutions organiques ont été analysées dans les eaux du Rhin. Les résultats obtenus en 1990 ont montré que beaucoup de substances telles que les drines (aldrine, dieldrine, endrine, isodrine), les DDT et les métabolites, l'hexachlorobenzène (HCB) et les polychloro-biphényles (PCB) n'étaient plus détectables dans l'eau ou se situaient à proximité de la limite de dosage. Les mesures effectuées sur les hydrocarbures chlorés volatils dans les stations de mesures de Coblenz, Bimmen et Lobith en 1990 montrent que seul le trichlorométhane (chloroforme) apparaît parfois en concentrations élevées. Un important projet de recherches sur la présence de substances nuisibles organiques importantes dans le Rhin donne le même résultat pour les hydrocarbures halogénés volatils. Le chloroforme a souvent pu être détecté bien que les teneurs aient cependant nettement diminué pendant la période d'étude allant de 1989 à 1991. Les résultats obtenus pour le chloroforme concordent avec le recul des AOX.

Certaines substances actives de produits phytosanitaires et d'insecticides (produits phytosanitaires contenant N et P) ont joué un rôle important dans le bassin du Rhin au cours des dernières années. Les substances telles que l'atrazine, la simazine, le bentazone, le métazachlore et le métolachlore ainsi que différents esters phosphoriques (accident de Sandoz) ont attiré l'attention. Les résultats à présent disponibles montrent que la pollution du Rhin par ces substances actives a sensiblement diminué. On a surtout trouvé de l'atrazine provenant aujourd'hui essentiellement d'apports diffus dus à l'utilisation dans l'agriculture. Les mesures de réduction déjà mises en oeuvre dans les Etats membres de la CIPR (p.ex. limitations et/ou interdictions d'utilisation) devraient permettre d'autres baisses.

Parmi les substances individuelles organiques difficilement volatiles, les analyses ont porté notamment sur les chloro- et nitrobenzènes et -toluènes ainsi que sur certains dérivés des anilines. Les concentrations de ces substances ont fortement diminué dans le Rhin ces dernières années. Des teneurs relativement faibles de nitrobenzène, 1,2-dichlorobenzène, 4-chloro-2,6-diméthylaniline, 2-nitrotoluène, 2,6-diméthylaniline et N,N-diméthylaniline ont été détectées; ces substances ne font cependant pas partie de la liste prioritaire du Programme d'Action "Rhin".

Comme paramètre organique global, on a analysé dans les eaux du Rhin les AOX qui englobent la majorité des composés organiques chlorés et halogénés anthropogènes. Les valeurs d'AOX mesurées pendant la période d'étude font état de sensibles réductions. Celles-ci sont liées aux mesures visant au remplacement de la phase de blanchissement au chlore par celle à l'oxygène dans l'industrie de la pâte à papier et du papier, à des mesures plus strictes d'épuration des eaux usées et à la substitution partielle du chlore dans l'industrie chimique.

De nombreuses micropollutions organiques ont également été analysées dans les matières en suspension et les sédiments. Des concentrations clairement mesurables ont été trouvées notamment pour l'hexachlorobenzène (HCB), les polychloro-biphényles (PCB) et les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA) dans les matières en suspension et les sédiments. L'HCB est la substance dont les teneurs sont les plus élevées dans les matières en suspension du Rhin et accusent les plus fortes variations (100 µg/kg et plus). L'HCB présente une forte toxicité chronique pour les organismes aquatiques, est persistant et s'accumule fortement dans les matières en suspension, les sédiments et les organismes. A l'opposé de toutes les autres substances, les teneurs d'HCB baissent d'env. 50% sur le profil longitudinal du Rhin entre Seltz et Lobith. On suppose donc que la principale source d'HCB se situe sur le Rhin supérieur. Des études sur les sédiments et les analyses de résidus dans les poissons l'ont prouvé. Des teneurs élevées d'HCB (env. 1 mg/kg) ont notamment été trouvées en 1988 et 1990 dans les sédiments des barrages situés sur le Rhin supérieur. Lors de fortes crues, certains sédiments pollués sont probablement transportés sous forme de matières en suspension et conduisent ainsi aux teneurs en HCB mesurées dans les matières en suspension dans les stations de mesures situées en aval.

De toutes les micropollutions organiques mesurées dans les poissons, l'HCB est, outre les congénères de PCB fortement chlorés, également la substance nuisible dont les concentrations sont les plus éle-

vées. Les teneurs en HCB très élevées à proximité de Rheinfelden sont dues à une unité de production de pentachlorophénol (PCP) fermée depuis septembre 1986 et à la production ultérieure de silane de chlore. L'HCB était un produit secondaire de ces unités de production. Les quantités maximales fixées selon le droit allemand ont été dépassées en 1990 dans de nombreuses anguilles et dans quelques gardons et barbeaux. Si l'on compare les teneurs en HCB mesurées en 1990 dans les poissons et les matières en suspension avec celles de 1985, on constate que les valeurs tendent à baisser uniquement sur le Rhin inférieur. Il est donc nécessaire d'engager d'autres mesures de réduction.

En outre, des teneurs en PCB élevées ont été mesurées dans les matières en suspension, les sédiments et les poissons. Les polychloro-biphényles sont encore omniprésents dans l'environnement - bien qu'ils ne soient pas fabriqués dans le bassin du Rhin ou plus utilisés - et parviennent essentiellement par voie diffuse dans les cours d'eau. Les quantités maximales fixées pour les PCB fortement chlorés dans les poissons comestibles sont dépassées dans un bon nombre d'anguilles dans tous les Etats riverains du Rhin - notamment dans le tronçon néerlandais du Rhin et aussi dans quelques barbeaux en Suisse et en République fédérale d'Allemagne.

Il ressort des nombreux résultats de mesures dans les 4 domaines eau - matières en suspension - sédiments - organismes que les nutriments d'une part - eu égard à la protection de la mer du Nord - et certaines micropollutions organiques d'autre part (chloroforme, atrazine, etc..) sont des substances qui continuent à poser problème. Les principaux contaminants dans les matières en suspension et les sédiments sont surtout l'HCB, les PCB, le mercure, le cadmium, le cuivre et le zinc; dans les poissons du Rhin, ce sont l'HCB, les PCB et le mercure. Pour toutes ces substances, il convient - autant que possible - d'analyser plus en détail les sources et de prendre des mesures visant à la réduction des émissions. Cette évaluation est étayée par les résultats de la comparaison entre l'état réel en 1990 et l'état souhaité.

Comparaison entre l'état réel 1990 et l'état souhaité
En 1991 et 1992, la CIPR a élaboré des objectifs de référence sur les immissions pour les principales substances nuisibles (métaux lourds, micropollutions organiques) et nutriments. Ces objectifs tiennent compte des besoins de l'alimentation en eau potable, de la pêche, de l'extraction de granulats et des habitats requis par les organismes aquatiques. La comparaison globale entre ces objectifs et les mesures effectuées en 1990 a montré que pour environ les 2/3 des substances prioritaires les objectifs

de référence étaient déjà atteints ou étaient proches de la limite de dosage analytique. Par contre, les objectifs souhaités pour le mercure, le cadmium, le cuivre, le zinc, le gamma-HCH, le chloroforme, l'hexachlorobenzène, les PCB et les nutriments n'ont pas encore été atteints en 1990 sur l'ensemble du Rhin. Un exemple: l'objectif de référence pour le cadmium est fixé à 1,0 milligramme/kilogramme de matière en suspension; les valeurs mesurées en 1990 le dépassaient cependant encore de deux à quatre fois. L'objectif de référence des PCB est de 0,0001 microgramme/litre (= 0,1 nanogramme par litre); les valeurs de mesure calculées à partir des matières en suspension étaient jusqu'à 10 fois supérieures à cet objectif. Il convient donc ici d'analyser en détail les causes de pollution et de déterminer si les mesures d'assainissement en cours suffisent dès à présent à atteindre l'objectif de réduction visé ou s'il faut développer et engager des mesures supplémentaires.

Etat biologique

Population piscicole

Parmi les 47 espèces piscicoles présentes dans le Rhin à la fin du siècle passé, 40 espèces sont à nouveau détectées. Les espèces de poissons blancs, moins exigeantes, dominent. On note avec satisfaction la présence de quelques exemplaires de poissons migrateurs, tels que saumon, truite de mer, alose et lamproie marine. D'autres espèces piscicoles menacées, p.ex. le spirilin, le barbeau, le hotu et le flet, ont aussi pu être observées, de sorte que l'on peut parler d'une nette augmentation des espèces piscicoles menacées. Selon Lelek & Buhse (1992), on ne détectait plus que 23 espèces piscicoles autour de 1975 - date à laquelle la qualité des eaux du Rhin était la plus mauvaise -. Il convient cependant d'engager diverses mesures écomorphologiques afin de poursuivre la restauration de la population piscicole et de se rapprocher le plus possible de la composition initiale des espèces piscicoles. Ces mesures portent d'une part sur la restauration du libre passage dans le fleuve majeur (possibilités de franchissement des obstacles à la migration, p.ex. barrages) et d'autre part sur le raccordement et la restauration de zones de frayères et d'habitats de juvéniles dans les anciens bras et affluents du Rhin. Le plan de restauration des grands migrateurs dans le Rhin comprend déjà une partie des mesures nécessaires à l'amélioration de l'écomorphologie.

Macrozoobenthos

Le peuplement du Rhin par les petits organismes invertébrés (macrozoobenthos) connaît également

une évolution positive du nombre d'espèces depuis la mise en oeuvre de mesures d'épuration des eaux usées dès le milieu des années 70. Le nombre des espèces se rapproche progressivement de l'ordre de grandeur indiqué par Lauterborn pour le début de ce siècle. Les influences des activités humaines sur l'espace vital ont entraîné de sensibles modifications dans la composition des espèces. De nombreuses espèces rhéophiles sensibles jadis présentes - les plécoptères p.ex. - ont disparu, faisant place à des espèces moins exigeantes envers leur habitat. Par ailleurs, plusieurs espèces étrangères (dites neozoa) ont commencé à s'implanter dans les zones désertées par les espèces autochtones.

Le haut Rhin et le vieux Rhin (Rhin supérieur) sont donc caractérisés par la présence de différentes espèces d'insectes. En aval du Rhin supérieur, en particulier sur le Rhin moyen et le Rhin inférieur, le peuplement se compose surtout de platodes, de sangsues, de mollusques et crustacés. Quelques espèces d'insectes qui étaient considérées comme disparues (p.ex. différentes larves d'éphémères et de trichoptères) apparaissent de manière isolée. De nouvelles espèces typiques sont le platode *Dugesia tigrina*, le mollusque *Potamopyrgus antipodarum*, la daphnie *Gammarus tigrinus* ou le crustacé de vase *Corophium curvispinum* qui s'est massivement implanté à partir de 1985 depuis l'embouchure jusque dans le Rhin supérieur.

Plancton

En ce qui concerne la croissance des algues (phytoplancton) dans le Rhin, on constate qu'en raison des teneurs élevées en nutriments dans le Rhin le phytoplancton est nettement plus dense aujourd'hui (il a pratiquement décuplé) qu'au début du siècle. Les densités de diatomées centriques et d'algues vertes sont aujourd'hui élevées; il s'agit en première ligne d'espèces peu sensibles et omniprésentes. Les concentrations de chlorophylle a (unité de mesure de la densité des algues) varient sensiblement d'une année à l'autre; il existe une étroite relation avec le débit et les conditions atmosphériques. Les concentrations déterminées en 1990 dans le Rhin inférieur sont parmi les plus élevées (jusqu'à 170 µg/l) mesurées au cours de la décennie passée. Les substances toxiques ont exercé une influence sur la densité du phytoplancton, en particulier dans les années 70; ceci explique également le développement massif des animaux filtreurs, p.ex. des dreissènes polymorphes et des crustacés de vase susmentionnés. Il convient d'examiner dans quelle mesure il est possible de limiter la croissance du plancton à une valeur maximale de 100 µg de chlorophylle/l à hauteur de la frontière germano-néerlandaise et quelles mesures, p.ex. une autre réduction des apports de phosphore, pourraient permettre d'atteindre cet objectif.

Herausgeber/éditeur/editeur:

Internationale Kommission zum Schutze des Rheins/
Commission Internationale pour la Protection du Rhin/
International Commission for the Protection of the Rhine
Postfach 309, D-56003 Koblenz
Tel.: (261) 1 24 95
Fax: (261) 3 65 72

Der komplette Bericht ist in deutscher und französischer Sprache gegen eine Schutzgebühr von 20,-- DM beim IKSR-Sekretariat erhältlich.

Le rapport complet est disponible en allemand et en français au secrétariat de la CIPR contre paiement d'une contribution aux frais de 20,-- DM.

The complete report is available in German and French at the ICPR-secretariate. The fee is DM 20,--.