

Aktuelle und zukünftige Entwicklung der Belastung mit Chlorid im Rheineinzugsgebiet

- Studie im Auftrag der RIWA -

RIWA
Rhine Water Works
The Netherlands



Dipl.-Ing. Michael Fleig
Sabine Mertineit
Prof. Heinz-Jürgen Brauch

September 2008

Association of River Waterworks

Aktuelle und zukünftige Entwicklung der Belastung mit Chlorid im Rheineinzugsgebiet

- Studie im Auftrag der RIWA -



Dipl.-Ing. Michael Fleig
Sabine Mertneit
Prof. Heinz-Jürgen Brauch



Inhaltsverzeichnis

1	Wesentliche Ergebnisse/Belangrijkste bevindingen	5
2	Einleitung	11
3	Die Chlorid-Belastung im Rheineinzugsgebiet	13
4	Betrachtung von Teileinzugsgebieten	19
4.1	Salzbelastung auf dem Rheinabschnitt bis Basel	20
4.2	Oberrhein und Nebengewässer	22
4.2.1	Neckar	23
4.2.2	Main	24
4.3	Mittelrhein mit Mosel	24
4.3.1	Mosel	25
4.4	Niederrhein und Nebengewässer	27
4.4.1	Ruhr	28
4.4.2	Emscher	29
4.4.3	Lippe	30
4.4.4	Weitere Nebengewässer	30
4.4.5	Gesamtbilanz für den Niederrhein	32
5	Aktuelle und zukünftige Entwicklungen	35
6	Anhang	39
6.1	Grundlagen der Auswertung	39
6.2	Spezielle Arten der Darstellung	40
6.3	Auswertungen zu Konzentration, Transport und Fracht	41
6.4	Darstellung von Konzentration, Transport und Fracht an den Messstellen der Wasserwerke	56
6.5	Literatur	71



Die starken Veränderungen der Belastung des Rheins und seiner Nebengewässer mit Chlorid fanden in den letzten einhundert Jahren statt.

Die Belastung des Rheins und seiner Nebengewässer mit Chlorid fanden in den letzten einhundert Jahren statt. In diesen Zeitraum fällt die stetige Zunahme der Chlorid-Frachten ebenso wie die Reduzierung in den letzten Jahrzehnten. Insbesondere für den Bereich des Oberrheins konnte eine deutliche Verminderung der Chlorid-Belastung erreicht werden (Abb. 1). Auch am Niederrhein gab es einige wenn auch geringere Verbesserungen. Nach wie vor unverändert sind die Einträge über die Mosel aus Frankreich.

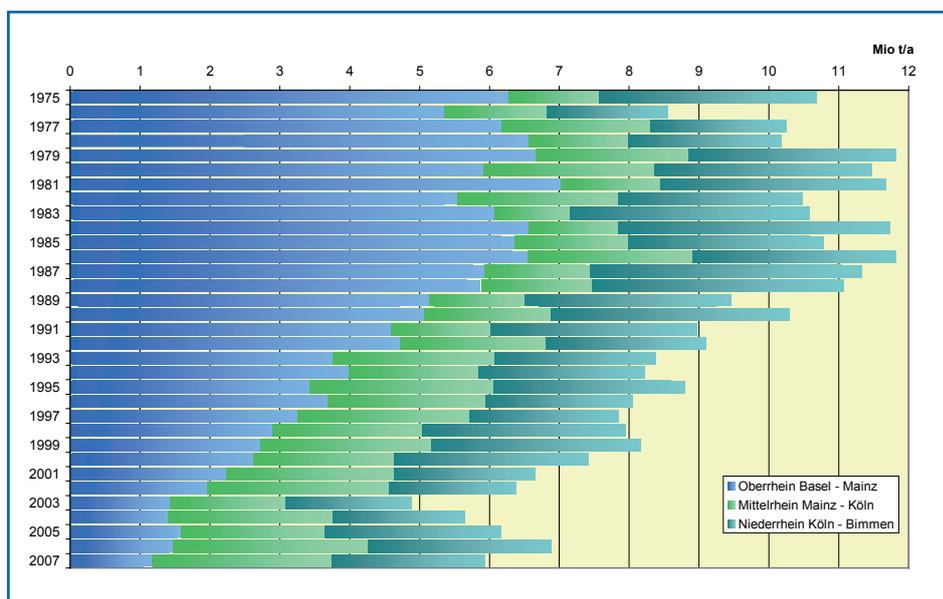


Abb. 1: Entwicklung der Chlorid-Frachten seit 1975 in den Teilbereichen Oberrhein, Mosel und Niederrhein

Die Nebenflüsse des Rheins tragen in unterschiedlichem Maß zur Belastung des Rheins bei (Abb. 2). Deutlich zu erkennen sind die Beiträge von Neckar, Main, Emscher und Lippe, die jeweils in der Größenordnung von 0,3 Mio. t/a liegen.

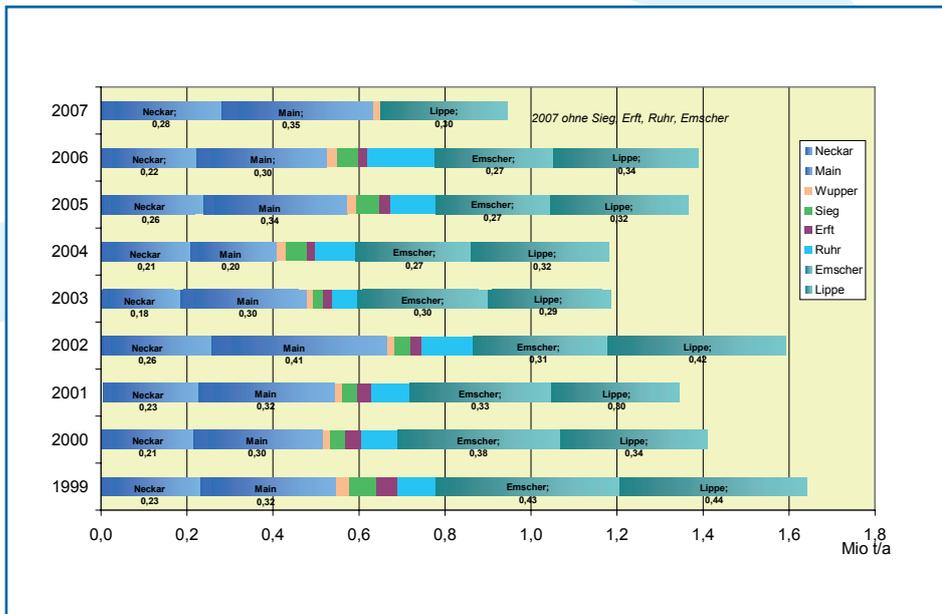


Abb. 2: Entwicklung der Chlorid-Frachten seit 1999 in ausgewählten Nebengewässern des Rheins (Mosel siehe in Abb. 1)

Nach den derzeit vorliegenden Erkenntnissen sind für die nahe Zukunft folgende Entwicklungen zu erwarten:

• **Einzugsgebiet des Oberrheins:**

Nach Stilllegung der letzten Grube bei Mulhouse 2003 gibt es keine direkten Einträge mehr aus dem Abbau der Kalisalze. In dieser Region sind jedoch Abraumhalden vorhanden, aus denen Chlorid ausgetragen wird. Im Jahr 2008 werden an zwei Abraumhalden und 2009 an der letzten Abraumhalde die Sanierungsarbeiten (Beregnung) abgeschlossen. Fünf Halden sind begrünt und abgedichtet. Die Chlorid-Einträge sollten nochmals zurückgehen und den Oberrhein ab 2010 weiter entlasten. Es ist mit einer Stabilisierung bei deutlich unter 1 Mio. t/a zu rechnen. Die Errichtung eines Gaslagers in dieser Region ist beantragt, jedoch noch nicht bewilligt. Inwieweit es hier zu Beeinträchtigungen durch Chlorid kommen kann, ist derzeit nicht absehbar. Aus dem Gebiet des Neckars, der früher zur Chlorid-Fracht aus dem Oberrheingebiet beigetragen hat, gibt es keine Hinweise auf eine wieder zunehmende Belastung mit Chlorid.

• **Einzugsgebiet der Mosel:**

In dieser Region ist die Sodaindustrie im Raum Nancy die Hauptquelle, durch die Chlorid-Mengen in der Größenordnung von rund 1,5 Mio. t/a über die Mosel in den Rhein eingetragen werden. Dies stellte somit das größte Reduzierungspotential im Rheineinzugsgebiet dar. Das Chlorid aus Abwässern des Bergbaus im Mosel-Saargebiet dürfte mit der vorzeitige Einstellung des Bergbaus im Saargebiet (bereits 2012 statt wie geplant 2014) zu einer Reduzierung der Chloridfrachten führen. Nach der Bergsenkung im Jahr 2008 wird das Flöz Grangeleisen mit reduzierter Fördermenge (1,5 statt 4 Mio. t/a) wieder in betrieb genommen. Auswirkungen auf die Gewässerbeschaffenheit sind unwahrscheinlich, da die Schächte im gleichen Umfang wasserfrei zu halten sind. Nach der Stilllegung ist mit bleibenden, wenn auch geringeren Chlorid-Einträgen aus dieser Region durch Sicherung z. B. des Grundwasserspiegels zu rechnen. Eine kurzzeitige Erhöhung der Chloridmenge 2005/2006 wurde nicht weiter bestätigt und hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Verhältnisse an der deutsch-niederländischen Grenze. Hinweise auf weitere zukünftige Chlorid-Quellen ergaben sich bisher nicht.

- **Einzugsgebiet des Niederrheins:**

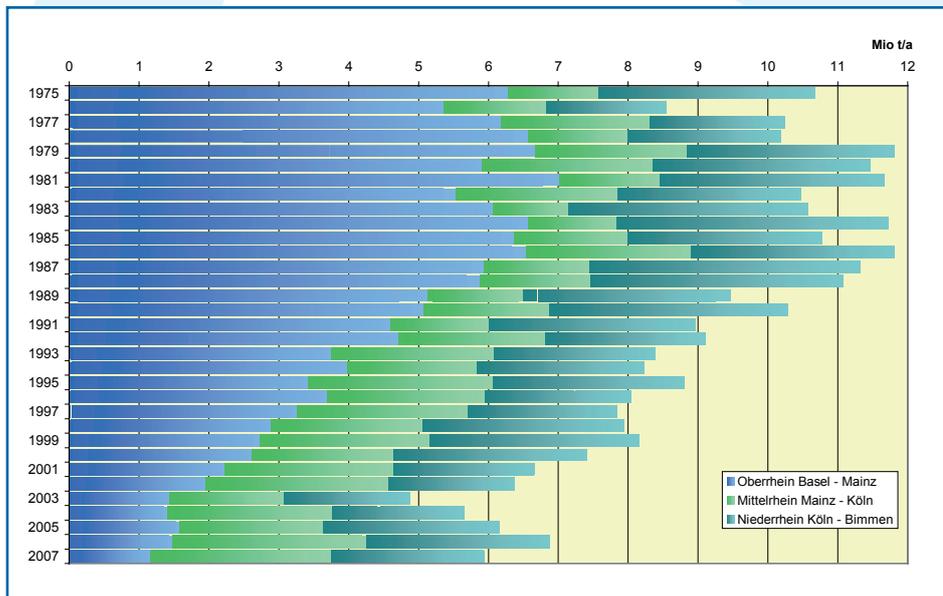
Für das Gebiet des Niederrheins ist langfristig mit einer Senkung der Chlorid-Fracht zu rechnen. Die Verlagerung des Bergbaus in nördlicher Richtung lässt keine zusätzlichen Salzfrachten für Emscher und Lippe erwarten. Ebenso ist die Überleitung weiterer Salzfrachten aus angrenzenden Einzugsgebieten unwahrscheinlich. Das vereinbarte Ende des subventionierten Steinkohleabbaus im Jahr 2018 macht die weitere Förderung weitestgehend unrentabel, weshalb eine Flutung der „Gebäude“ vorgesehen wird. Eine Größenordnung für den zu erwartenden Rückgang der Chloridfracht ist aber zahlenmäßig noch nicht abzuschätzen.

In naher Zukunft wird es nur schrittweise Veränderungen der Chlorid-Frachten des Rheins einschließlich seiner Nebengewässer geben. Bekannte Reduzierungsmaßnahmen erstrecken sich von 2009 bis über das Jahr 2018 hinaus. Das größte Verbesserungspotential stellen die Kalibetriebe bei Nancy dar, die bisher keinen nennenswerten Beitrag zur Verbesserung der Situation im Rheineinzugsgebiet beigetragen haben.

Es ist zu überlegen, ob eine Regelung der Konzentration bei Lobith (maximal 200 mg/L Chlorid) als alleiniges Steuerungskriterium ausreichend ist oder ob zusätzlich übermäßige Chlorid-Einleitungen bei höheren Wasserführungen zu limitieren sind.

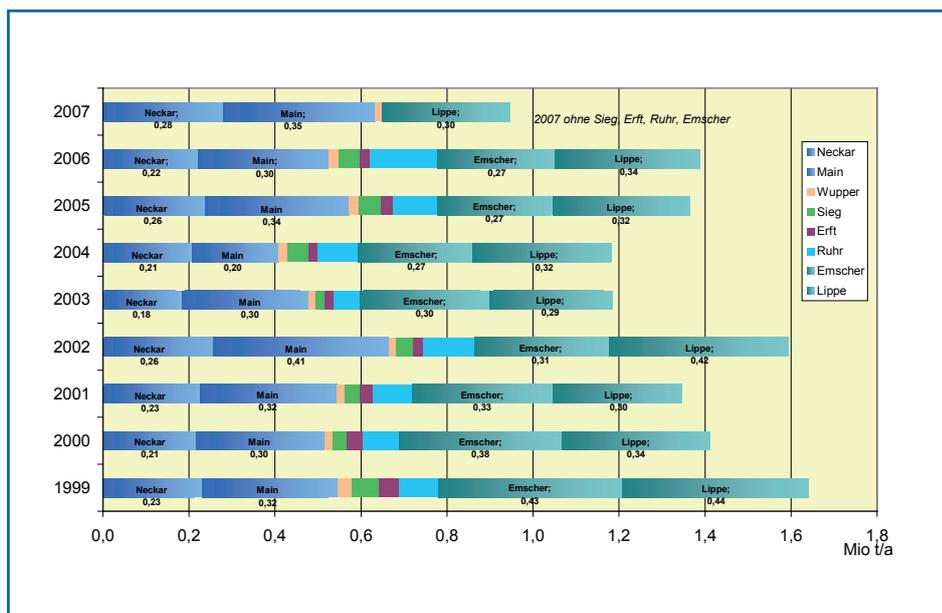
De grote veranderingen in de belasting van de Rijn en zijn zijrivieren met chloride is iets van de laatste honderd jaar.

De belasting van de Rijn en zijn zijrivieren met chloride is iets van de laatste honderd jaar. Over deze periode is een nagenoeg onafgebroken toename te zien van de concentratie en vracht van chloride, met een afname in de afgelopen decennia. Vooral in het gebied van de Bovenrijn kon een duidelijke vermindering worden vastgesteld (Afb. 1). Ook in de benedenloop van de Rijn is sprake van verbetering, zij het in mindere mate. De aanvoer daarvan vanuit Frankrijk via de Moezel is echter onverminderd doorgegaan.



Afb. 1: Chloride-ontwikkeling sinds 1975 in de stroomgebieden van de Bovenrijn, de Moezel en de benedenloop van de Rijn

In de mate waarin de diverse zijrivieren van de Rijn bijdragen aan deze belasting zijn duidelijke verschillen aan te wijzen (Afb. 2). Duidelijk te zien zijn de bijdragen van de Neckar, de Main, de Emscher en de Lippe, die elk in de orde van grootte liggen van 0,3 mln. t/a.



Afb. 2: Chloride-ontwikkeling sinds 1999 in geselecteerde zijrivieren van de Rijn (voor de Moezel zie in Afb. 1)

Uitgaande van hetgeen momenteel bekend is, zijn voor de nabije toekomst de volgende ontwikkelingen te verwachten:

- **Stroomgebied van de Bovenrijn:**

Na sluiting van de laatste mijn bij Mulhouse in 2003 is er geen directe instroom meer van de winning van kalizout. In deze regio bevinden zich echter stortbergen van waaruit chloride wordt gedistribueerd. In 2008 zijn de saneringswerkzaamheden (berekening) aan twee van deze stortbergen voltooid, en in 2009 moet dat ook met de laatste stortberg gebeurd zijn. Over vijf van de stortbergen is een laag aarde aangebracht. De aanvoer van chloride moet als het goed is teruglopen, zodat de Bovenrijn vanaf 2010 minder zwaar zal worden belast. Men gaat er vanuit dat de situatie zich zal stabiliseren op een niveau van ruim onder de 1 mln.t/a. Er loopt een aanvraag voor de aanleg van een veld voor gasopslag in deze regio, maar die is nog niet gehonoreerd. In hoeverre dit zal leiden tot aantasting door chloride valt vooralsnog niet te voorspellen. Uit het gebied van de Neckar, die in het verleden ook een aandeel had in de belasting door chloride vanuit het gebied van de bovenloop van de Rijn, komen geen aanwijzingen dat de hoeveelheid chloride weer toeneemt.

- **Stroomgebied van de Moezel:**

In deze regio is de soda-verwerkende industrie rond Nancy de voornaamste bron van de aanvoer van chloride dat via de Moezel in de Rijn terechtkomt, in een orde van grootte van 1,5 mln. t/a. Daarmee is dit voor het stroomgebied van de Rijn het grootste potentieel voor vermindering. Chloride uit afvoerwater van de mijnbouw in het gebied van de Moezel en de Saar zou door de vervroegde afschaffing van de mijnbouw in het Saargebied (al in 2012 in plaats van in 2014, zoals gepland) kunnen leiden tot een vermindering van de hoeveelheid chloride. Na de verzakking van de mijn in 2008 wordt de laag van Grangeleisen weer in gebruik genomen, al draait deze dan niet meer op volle toeren (1,5 in plaats van 4 mln. t/a). Dat dit effect zal hebben op de conditie van het oppervlaktewater is onwaarschijnlijk, aangezien de schachten in dezelfde mate vrij van water gehouden moeten worden als voorheen. Na de stillegging moet er van uit worden gegaan

dat de aanvoer van chloride vanuit deze regio vanwege de handhaving van bijvoorbeeld het grondwaterpeil door zal blijven gaan, al zullen de hoeveelheden geringer zijn. Na de kortstondige verhoging van chloride in 2005/2006, is daar verder niets meer van te constateren geweest, terwijl een en ander evenmin noemenswaardig van invloed is geweest op de omstandigheden langs de Nederlands-Duitse grens. Aanwijzingen dat zich in de toekomst nog andere bronnen van chloride zullen voordoen, zijn er tot dusver niet.

- **Stroomgebied van de benedenloop van de Rijn:**

Voor het gebied langs de benedenloop van de Rijn moet voor de langere termijn rekening worden gehouden met een vermindering van de hoeveelheid chloride. Doordat de mijnbouw is verplaatst in noordelijke richting, is er voor de Emscher en de Lippe geen bijkomende aanvoer van zout te verwachten. Evenmin is het waarschijnlijk dat er verder nog zout zal worden aangevoerd vanuit aangrenzende stroomgebieden. Doordat afgesproken is dat er een eind komt aan de gesubsidieerde winning van steenkool in 2018, is het hoogst onrendabel om door te gaan met deze activiteiten, zodat er plannen zijn om de “opstallen” onder water te zetten. Om welke orde van grootte het gaat bij de te verwachten vermindering van de belasting door chloride valt echter nog niet in cijfers aan te geven.

In de nabije toekomst zullen er alleen stapsgewijs veranderingen komen in de vervuiling met chloride van de Rijn en zijn zijrivieren. De reeds afgekondigde maatregelen om te komen tot vermindering strekken zich uit van 2009 tot voorbij 2018. Het grootste potentieel zal moeten komen van de kalibedrijven bij Nancy, die tot dusver geen noemenswaardige bijdrage aan de verbetering in de situatie in het stroomgebied van de Rijn hebben geleverd.

Bekeken moet worden of het in de hand houden van de concentratie bij Lobith conform het Chlorideverdrag (maximaal 200 mg/l chloride) als enig criterium voldoende is om de ontwikkelingen te kunnen dirigeren, of dat er daarnaast moet worden overgegaan tot het beperken van de aanvoer van onevenredig grote hoeveelheden chloride bij een hogere watertoevoer.

Die Belastung des Rheins und seiner Nebengewässer mit Chlorid ist eines der ältesten Qualitätsprobleme, das die verschiedenen Organisationen der Wasserversorger im Rheineinzugsgebiet behandelt haben. Nicht zuletzt dieser Parameter mit Auswirkungen auf die Korrosion in den Verteilungsnetzen insbesondere in stromabwärts gelegenen Versorgungsgebieten und somit insbesondere am Niederrhein hat zu teilweise massiven Protesten gegen die Verursacher geführt. Trotz internationaler Vereinbarungen hat sich die Verbesserung der Chloridsituation über Jahrzehnte hingezogen.

Die im Auftrag der RIWA verfasste Studie baut auf die von Wasserversorgern, Behörden und (inter-)nationalen Organisationen erhobenen Untersuchungsdaten auf und legt die Entwicklung der Chlorid-Belastung im Rheineinzugsgebiet in den letzten Jahrzehnten dar. Besonderes Augenmerk gilt dabei den Gewässerabschnitten mit bekannten Belastungsschwerpunkten sowie der aktuellen Entwicklung und deren Bedeutung für die stromabwärts gelegenen Wasserversorger vorrangig am Niederrhein.

Folgende Themen werden in diesem Bericht behandelt:

- Kurze historische Betrachtung zur Chlorid-Problematik aus Sicht der Wasserwerke
- Zusammenstellung der Daten aus verschiedenen Datenbeständen
- Auswertung der Chlorid-Daten vom Rhein und seinen Nebengewässern
- Abschätzung der Anteile einzelner Teilabschnitte an der Gesamtbelastung
- Prognosen zur aktuellen und zukünftigen Entwicklung



Die Chlorid-Belastung im Rheineinzugsgebiet

Das Rheineinzugsgebiet umfasst eine Gesamtfläche von 198.735 m² bei einer Flusslänge von 1324 km (gemessen ab dem Tomasee im Kanton Graubünden/Schweiz am Vorderrhein) und einer mittleren Wasserführung von 2.330 m³/s an der Mündung. Die gesamte Einwohnerzahl im Einzugsgebiet kann mit ca. 50 Mio. abgeschätzt werden, wovon rund 20 Mio. Menschen auf Trinkwasser aus dem Rhein angewiesen sind. In diesem Einzugsgebiet gibt es darüber hinaus eine vielfältige industrielle Nutzung, die nicht ohne Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit des Rheins bleibt. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht des Einzugsgebiets mit Angabe der im Bericht verwendeten Messstellen. Die für die Chlorid-Belastung des Rheins relevanten drei Eintragspfade sind nachfolgend kurz skizziert.

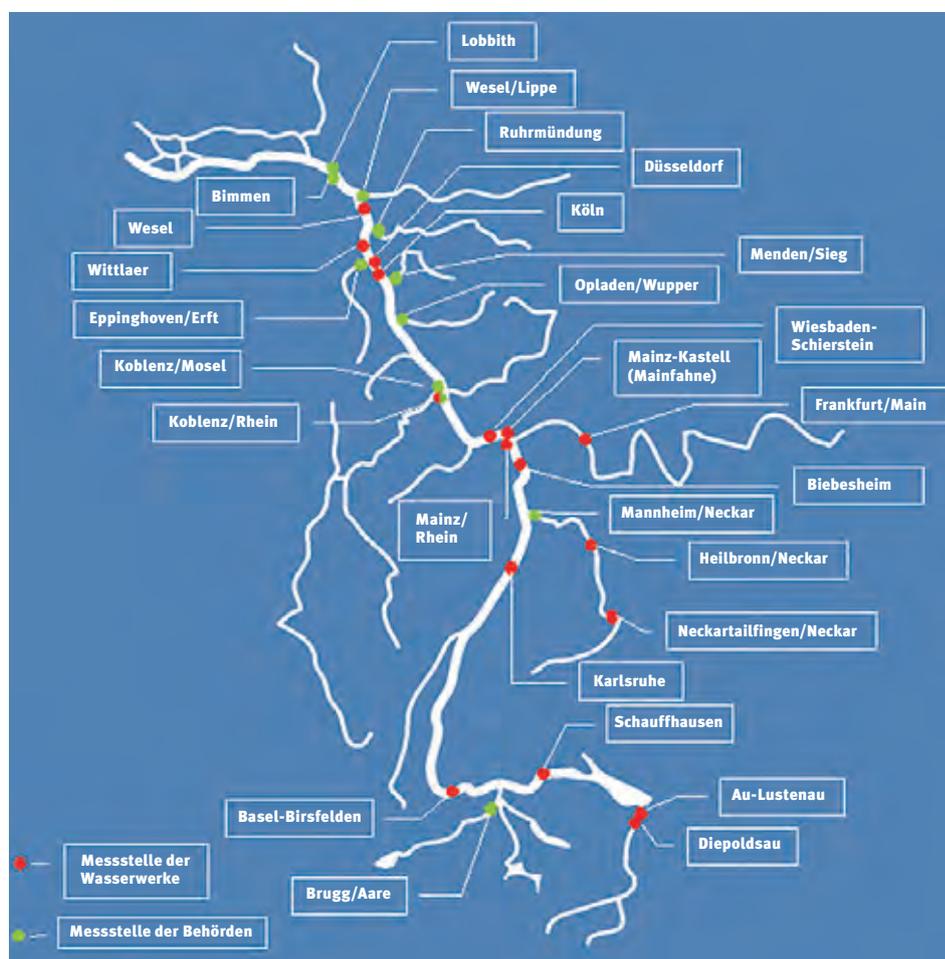


Abb. 1: Das Rheineinzugsgebiet

Die wohl bekannteste Einleitung sind die Kaliminen im südlichen Elsass (Oberrhein) nahe bei Mulhouse. Nach der Entdeckung von Salzlagerstätten zu Beginn des 20. Jahrhunderts begann bereits um 1910 der systematische bergmännische Abbau dieser Lagerstätten und damit die Problematik der stark salzhaltigen Abwässer. Dies spiegelt sich in den stetig zunehmenden Salzfrachten wider, die

nur zu Zeiten der wirtschaftlichen Rezession sowie während der Weltkriege zurückgehen. Das in dieser Region abgebaute Sylvinit besteht zu etwa 30 % aus dem weiterverarbeiteten Kaliumchlorid und zu ca. 60 % aus nicht weiter verwendbarem Natriumchlorid. Bei den restlichen 10 % des gefördert Materials handelt es sich um unlösliche Feststoffe [1]. Über lange Zeit hinweg lag die Förderung bei über 10 Mio. t/a und erreichte 1973 einen Spitzenwert von 134 Mio. t/a. Geringe Einflüsse auf die Salzbelastung aus der Region Oberrhein waren auch auf die Förderung durch die Salzbergwerke des Neckars zurückzuführen, spielen aber derzeit keine Rolle mehr.

Für das Teileinzugsgebiet der Mosel liegen mehrere Chlorid-Quellen vor, die in unterschiedlichem Maß zur Gesamtbelastung beitragen. Es handelt sich hierbei um die Chlorid-Belastungen aus der Soda-Industrie aus dem Gebiet um Nancy/Frankreich, Einträge aus dem Steinkohlebergbau im Saarland und weitere Chlorid-Einträge aus dem größten französischen Kernkraftwerk Cattenom. Seit vielen Jahren bemüht sich die Internationale Kommission zum Schutze der Mosel und der Saar (IKSMS) um eine Reduzierung der Chlorid-Einträge und konnte inzwischen erreichen, dass an der Mündung der Mosel in den Rhein seit 2000 zumindest der Zielwert von 200 mg/L (bestimmt als 90-Perzentil) nicht mehr überschritten wird.

Ganz anders ist die Situation am Niederrhein. Hier stammen erhebliche Salzfrachten aus dem deutschen Steinkohlebergbau und werden rechtsrheinisch über Ruhr, Emscher und Lippe eingetragen. Die Frachten der einzelnen Nebengewässer variierten im Laufe der Zeit und gingen in den letzten Jahren leicht zurück. Erfordernisse des Bergbaus lassen jedoch nur wenig Spielraum, solange die Förderung aufrecht erhalten wird.

Eine Übersicht über die Verhältnisse im Rheineinzugsgebiet gibt der Box- und Whiskers-Plot in Abbildung 2 für die Jahre 2000 bis 2007.

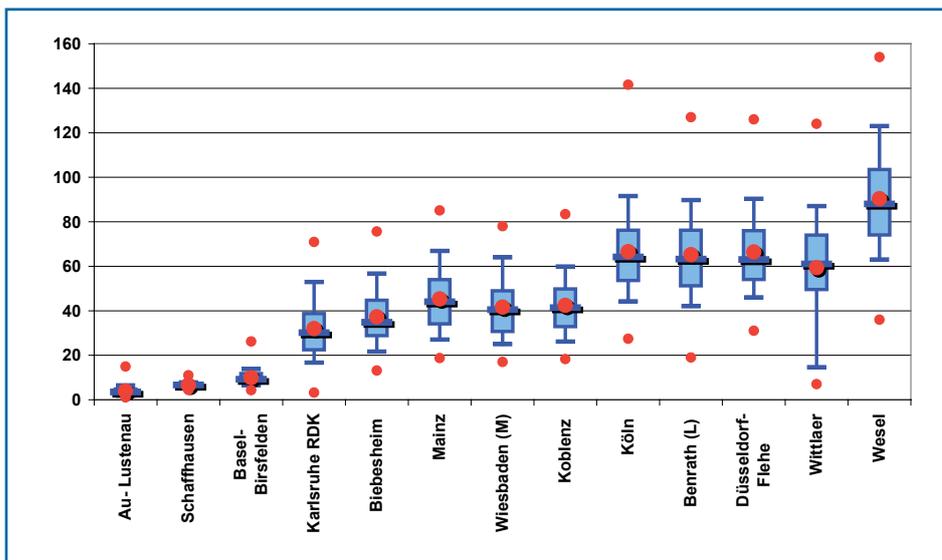


Abb. 2: Chlorid-Gehalte des Rheins im Längsprofil, Daten der Wasserwerke (2000-2007)

Deutlich zu erkennen ist die Zunahme der Belastung des Rheins an Chlorid mit der Fließstrecke. Die sprunghafte Zunahme zwischen den Messstellen Basel und Karlsruhe, Koblenz/Rhein und Köln sowie Düsseldorf und Wesel zeigen den Einfluss der drei genannten Belastungszonen Oberrhein, Mosel und Niederrhein an.

Der erste wichtige Schritt für eine Reduzierung der Salzfrachten im Rheineinzugsgebiet wurde am 3. Dezember 1976 mit dem Salzvertrag gemacht, der jedoch erst 1985 von allen Staaten ratifiziert wurde und damit in Kraft trat. Darin wurden folgende Ziele vereinbart:

- An der deutsch-holländischen Grenze sollte ein Maximalwert von 200 mg/L Chlorid eingehalten werden.
- Bis zum 1. Januar 1980 sollte die Salzfracht um 60 kg/s reduziert werden.
- Es sollten Maßnahmen getroffen werden, die Salzeinleitungen aus weiteren Quellen möglichst verhindern sollten.

Außerdem wurden folgende national zulässigen Transporte für Chloridquellen > 1 kg/s festgelegt:

- Schweiz 10 kg/s (= 0,32 Mio. t/a)
- Frankreich 168 kg/s (= 5,30 Mio. t/a)
- Deutschland 134,9 kg/s (= 4,25 Mio. t/a)

Der somit vereinbarte zulässige Gesamttransport an Chlorid betrug 312,9 kg/s (= 9,87 Mio. t/a). Nicht nur aus dem Rheinbericht 1977 der IAWR [1] wird deutlich, dass sich die Bemühungen um eine Verbesserung des Salzproblems fast ausschließlich auf die Kaliminen am Oberrhein konzentrierten. Die anderen Eintragungspfade wurden demgegenüber eher vernachlässigt bzw. waren – wie dies am Beispiel der ebenfalls hoch belasteten Mosel deutlich wird – nicht Bestandteil des definierten, zu erfassenden Rheingebiets gemäß dem Salzvertrag.

Der Salzvertrag war nur einer von drei gleichzeitig unterzeichneten Verträgen [21]. Zu diesem Paket gehörten außerdem der Beitritt der EWG (heute EU) zur Berner Vereinbarung vom 29.04.1963 und damit zur IKSR (damals noch mit IKR abgekürzt) sowie das Übereinkommen über den Rhein zum Schutz gegen chemische Verunreinigung (76/464/EWG). Einzig der Salzvertrag wurde nicht vom Vertreter der EWG unterzeichnet, obwohl damals noch ausreichend Handlungsspielraum vorhanden war, um derartige Maßnahmen unabhängig vom Verursacherprinzip zu fördern. Die nachträgliche Analyse der Situation aus dem Jahr 1976 endete für die erste europäische Umweltinitiative mit dem Fazit: „Der Salzvertrag ist ein Fehlstart für die europäische Umweltpolitik“ und die Zurückhaltung der EWG machte es erst möglich, dass der Salzvertrag zum Spielball nationaler Interessen wurde, ohne dass es zu einer wesentlichen Verbesserung der Situation kam, die aus anderen Gründen zu vergleichbaren Ergebnissen geführt hätte. U. a. führte dies auch zu dem - unter vielen anderen vorangegangenen und abgelehnten Lösungsvorschlägen - in einem Regierungsbericht vom 31.12.1987 gemachten Vorschlag der „vorläufigen Lagerung der Abfallsalze, die später beseitigt werden müssen, ... um zu Beginn des 21. Jahrhunderts aufgelöst und in den Rhein geleitet zu werden“. Die Annahme dieses Vorschlags führte nicht zu einer aus heutiger Sicht akzeptablen Lösung des Problems, sondern stellt de facto nur eine zeitliche Verlängerung desselben Problems auf niedrigerem Konzentrationsniveau dar.

Im Mai 1988 hat die IAWR mit der Broschüre „Salz im Rhein – Rost im Rohr“ ein Themenheft zur Chlorid-Problematik vorgestellt [2]. Hieraus ist zu entnehmen, dass um 1890 die Jahresfracht des

Rheins an Chlorid bei 1,58 Mio. t/a (50 kg/s) lag und bis 1980 auf 12,61 Mio. t/a (400 kg/s) angestiegen ist.

Vorrangig wird in der Broschüre auf die Beeinträchtigung der Wasserversorgung durch Chlorid hingewiesen. Es handelte sich im Einzelnen um folgende Argumente:

- Beeinträchtigung der Qualität des Rohwassers
- Zunahme des Eisengehalts und der Trübung im Rohrnetz und damit verbunden erhöhter Aufwand für Netzspülungen
- Auftreten von Korrosionsprodukten mit der Möglichkeit durch verstärkte Besiedelung der rauen Oberflächen mit Mikroorganismen und damit steigender Gefahr für Geschmacksbeeinträchtigungen
- Höheres Schadenspotential durch verstärkte Korrosion im Leitungsnetz und damit erhöhten Investitionskosten

Hinzu kamen mögliche Defekte im Bereich der Hausinstallation und an Haushaltgeräten, für die die Bürger aufkommen mussten. Bei höheren Chlorid-Konzentrationen ab 200 mg/L ist darüber hinaus mit einer Beeinträchtigung der Biozönose und bei Werten ab 250 mg/L Chlorid mit salzartigem Geschmack des Trinkwassers zu rechnen.

Insbesondere die Wasserversorger in den Niederlanden versuchten auf verschiedenen Wegen, juristisch gegen die Salzeinleitungen vorrangig am Oberrhein vorzugehen. Auslöser für die intensiven Bemühungen um eine Lösung der Salzproblematik war u. a. der rasche Anstieg der Chlorid-Konzentrationen, der sich in einer Verdopplung innerhalb von ca. 25 Jahren seit 1950 auswirkte. Neben dem politischen Weg über die Rheinminister und den ausgehandelten „Rheinsalzvertrag“ wurden 1974 von den niederländischen Gartenbaubetrieben Zivilprozesse um Schadensersatz angestrengt, die erst 1988 mit einem Vergleich endeten. Die niederländischen Wasserwerke führten mehrere Prozesse: einen Verwaltungsgerichtsprozess gegen die behördlichen Genehmigungen zur Salzeinleitung, einen Strafprozess gegen die Direktoren der Kaliminen wegen Nichteinhaltung der Einleitungsvorschriften und einen Zivilprozess um Schadensersatz. Erst nach 20 Jahren wurde im April 2000 ein Zusammenhang zwischen den Salzeinleitungen aus dem Elsass und den Korrosionsschäden in den Niederlanden anerkannt und den Wasserwerken Entschädigungszahlungen zugestanden [3, 17].



Die Verhältnisse bei der die Chlorid-Problematik zeigt sich auch in einer Karikatur, die immer wieder in diesem Zusammenhang verwendet wurde und recht gut die internationale Auseinandersetzung zwischen Verursachern und Unterliegern wiedergibt.

Für die Beurteilung der Chlorid-Situation im Rheineinzugsgebiet gibt es mehrere Anforderungen an die Beschaffenheit des Fließgewässers. Der Zielwert der Wasserwerke ist im IAWR-Memorandum von 2003 [15] mit 100 mg/L als Maximalwert festgelegt und mit dem gleichem Wert als Normalanforderung im DVGW-Arbeitsblatt W 251 [18]. Behördlicherseits definiert die LAWA ebenfalls 100 mg/L Chlorid als Zielvorgabe, jedoch als 90-Perzentil. Über lange Zeiträume hinweg wurden diese Vorgaben in weiten Bereichen des Einzugsgebietes überschritten.



Betrachtung von Teileinzugsgebieten

Hinlänglich bekannt ist, dass die hohen Chlorid-Frachten des Rheins auf drei hauptsächliche Eintragspfade zurückgeführt werden können. Diese sind:

- Einleitung von Abraumsalzen (vorwiegend Natriumchlorid)
- Einträge von Chlorid im Einzugsgebiet
- Sumpfungswässer aus dem deutschen Bergbau in Nordrhein-Westfalen

Nachfolgend werden mit den drei Teileinzugsgebieten Oberrhein, Mosel und Niederrhein die am meisten belasteten Gewässerabschnitte detailliert behandelt. Hierbei werden Darstellungen zu Konzentrationen, Transporten und Jahresfrachten vorgestellt und eine Bilanzierung über das Gesamtsystem vorgenommen. Im Mittelpunkt stehen dabei Aussagen zu längerfristigen Entwicklungen.

Grundlage der Einteilung und Zuordnung der Nebengewässer bildet die geographische Betrachtung der Rheinteilgebiete (nicht die gemäß WRRL), wie dies in nachfolgender Darstellung wiedergegeben ist.



Abb. 3: Einteilung des Rheinstromgebietes nach geographischen Gegebenheiten
(Quelle: www.wikipedia.de under the terms of the GNU Free Documentation license)

Auf die Betrachtung kleiner Nebengewässer mit für die Gesamtbilanz vernachlässigbaren Chloridfrachten wurde verzichtet, sofern für diese nur unzureichende Datensätze für eine längerfristige Bewertung der Beschaffenheitsentwicklung zur Verfügung stehen.

4.1 Salzbelastung auf dem Rheinabschnitt bis Basel

Einige Gewässer zeigen den Chloridgehalt bei „normaler“ anthropogener Nutzung an Chlorid an, der z. T. mit gewerblichen Anteilen (Tabelle 1). Hiervon ist der Anteil durch menschlichen Konsum bei 20 Mio. Einwohnern im Rheineinzugsgebiet und einer mittleren Tagesdosis von 10 g (erforderlich sind 6 g Salz/d, bei entsprechender Betätigung bis zu 20 g/d) mit einer Chloridfracht von 0,027 Mio. t/a abzuschätzen und damit vernachlässigbar.

Tab. 1: „Hintergrundwerte“ von Chlorid in Gewässern des Rheineinzugsgebietes

Gewässer	mittlere Konzentration (mg/L)	Zeitraum
Alpenrhein (Diepoldsau)	2,8	1984 - 2006
Hochrhein (Rekingen)	8	1974 - 2006
Aare (Brugg)	9,1	1974 - 2006
Wiese (Lörrach)	8	2004
Kinzig (Kehl)	14	2004
Murg (Steinmauern)	16	2004
Neckar (Mannheim)	46	1999 - 2003
Main (Bischofsheim)	47	2001 - 2005
Sieg (Menden)	25	1980 - 2006
Wupper (Opladen)	51	1980 - 2006

Deutlich wird in Tabelle 1, dass die Chlorid-Konzentration bei wenig beeinflussten Gewässern im Bereich von maximal 20 mg/L liegen. Gewässer mit höheren Anteilen anthropogener Beeinflussung (wenn andere industrielle oder gewerbliche Chlorid-Quellen hinzukommen, wie dies bei Neckar, Main, Wupper, Ruhr und Erft der Fall ist) können Werte bis 50 mg/L aufweisen, wobei lokal stets auch geogene Faktoren sowie der Einfluss der Wasserführung zu beachten sind.

Für das Einzugsgebiet des Alpenrheins (Abbildung 4) zeigt sich in den letzten Jahren eine geringfügig ansteigende Tendenz, die jedoch auf so geringem Niveau (Mittel < 5 mg/L) stattfindet, dass sie für die Gesamtfracht des Rheins irrelevant ist.

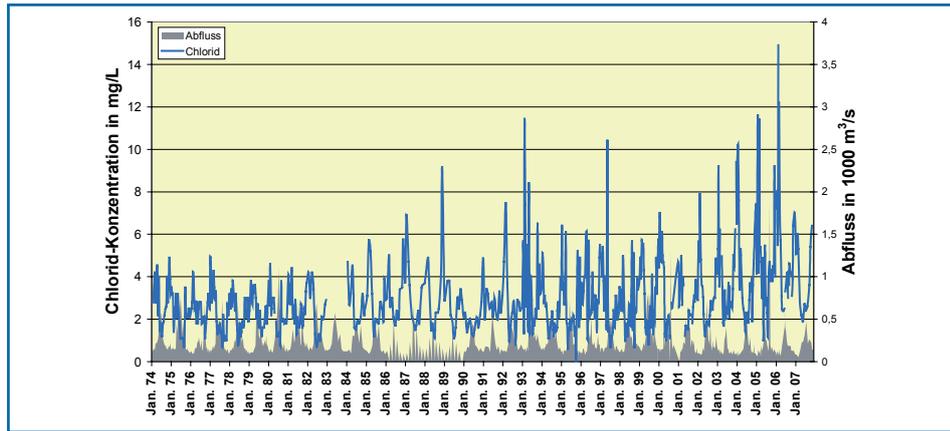


Abb. 4: Chloridkonzentrationen im Alpenrhein an der Messstelle Au-Lustenau (ab März 2007 Messstelle Diepoldsau, NADUF)

Die Daten der AWBR-Messstelle Schaffhausen zeigen, dass sich durch den Einfluss des Bodenseeraums das Niveau der Chloridkonzentrationen leicht erhöht hat. Auch der geringfügig Anstieg aus dem Alpenrhein ist hier noch deutlich zu erkennen. Die Konzentrationen liegen meist jedoch unter 10 mg/L und sind daher als nicht relevant einzustufen.

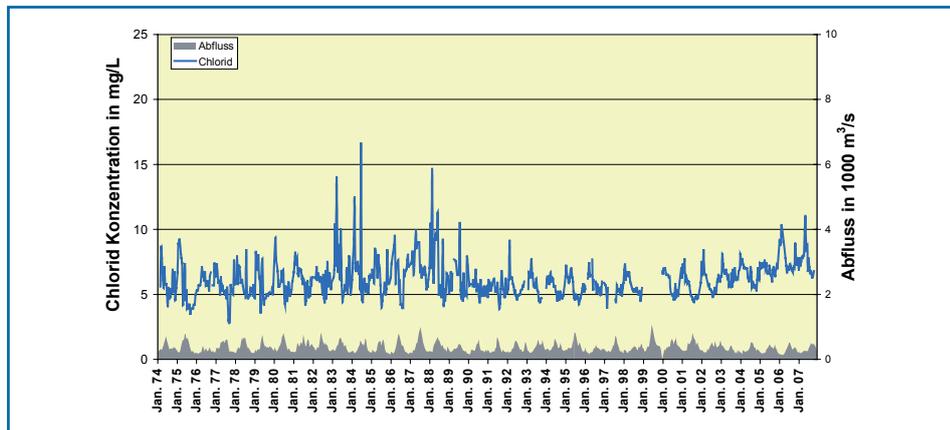


Abb. 5: Chloridkonzentrationen im Hochrhein an der Messstelle Schaffhausen

Die Aare weist periodisch schwankende Chloridgehalte um 10 mg/L auf, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Ein Trend ist jedoch nicht zu erkennen.

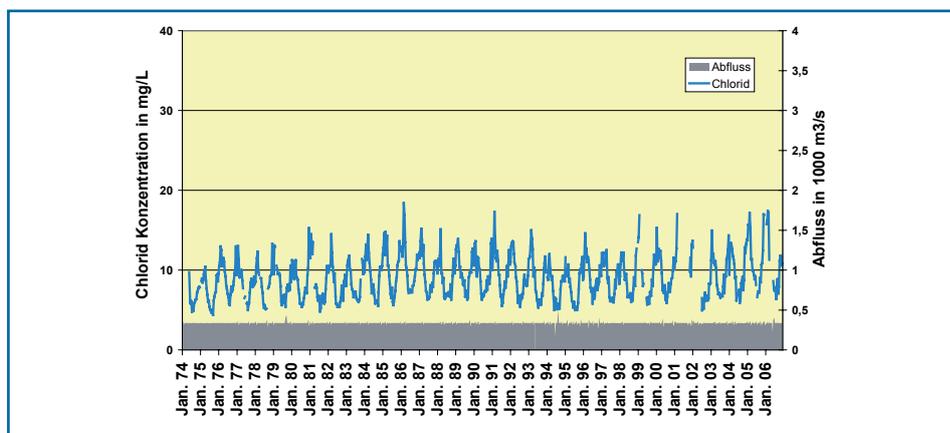


Abb. 6: Chloridkonzentrationen an der Aare bei Brugg (NADUF)

4.2 Oberrhein und Nebengewässer

Auf das Gebiet des Oberrheins war seit langem die Aufmerksamkeit bezüglich der Salzproblematik gerichtet. Dies zeigte sich nicht zuletzt in den Bemühungen um den Salzvertrag und die Diskussionen innerhalb der Verbände der Wasserwerke. Diese Fokussierung ist historisch bedingt, da aus dieser Region ursprünglich die höchsten Belastungen stammten.

Verursacher der extrem hohen Salzeinleitungen am Oberrhein im Raum Mulhouse sind die dort ansässigen Mines Domainiales de Potasse d'Alsace (MDPA), die bis 1924 in privater Hand waren und dann vom französischen Staat aufgekauft wurden [4]. Mittlerweile sind alle Förderanlagen in dieser Region stillgelegt und das in den Rhein eingeleitete Salz stammt aus den noch vorhandenen Abraumhalden. Daneben findet eine nicht unerhebliche Infiltration des Grundwassers mit Natriumchlorid statt, die mittlerweile eine Ausdehnung der stark salzhaltigen Grundwasserfahne bis über den Raum Colmar zur Folge hat.

Inzwischen haben die Bemühungen vor dem Hintergrund der mühsam errungenen Ratifizierung des Salzvertrages sowie aufgrund wirtschaftlicher Gründe für eine deutliche Entspannung gesorgt, wie nachfolgend belegt wird.

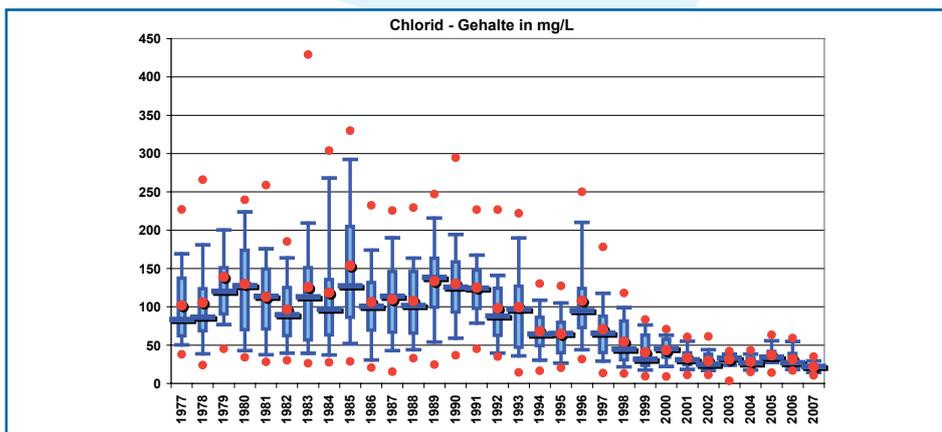


Abb. 7: Box- and Whiskers-Plots für die Chlorid-Konzentrationen in Karlsruhe (1977 – 2007)

Anhand der Box- und Whiskers-Plots wird die langjährige Entwicklung der Chlorid-Konzentration an der Messstelle Karlsruhe deutlich. Es zeigt sich eine erhebliche Absenkung der Konzentrationsniveaus für alle ermittelten Kenngrößen. Die ursprüngliche Spannweite nimmt erheblich ab, weil der Wochen- und Jahresgang (bestimmt von den Arbeitszeiten in den mittlerweile geschlossenen Minen) an Bedeutung verloren hat.

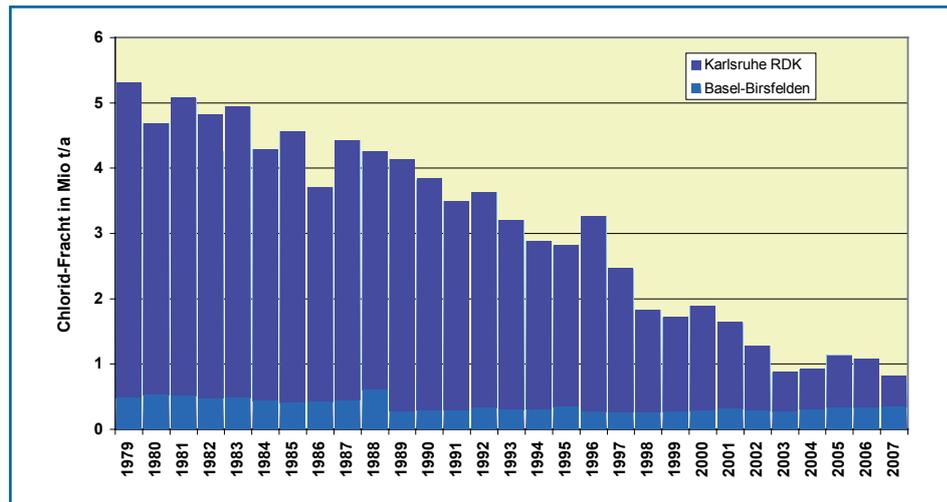


Abb. 8: Chlorid-Frachten in Basel und Karlsruhe (1979 – 2007) (Werte für Basel 1986 und 1999 interpoliert)

Die Chlorid-Frachten in Basel schwankten seit 1989 im Bereich von 0,3 Mio. t/a (zuvor um 0,4 Mio. t/a) und sind bei der Bewertung der Einträge im Oberrhein von den Zahlenwerten bei Karlsruhe in Abzug zu bringen. Bei Karlsruhe sank das Niveau der Chlorid-Frachten von ursprünglich 4 – 5 Mio. t/a mittlerweile auf Werte zwischen 1,5 - 2 Mio. t/a ab und liegt nach dem Brand im Herbst 2003 und damit nach der Stilllegung der Kaliminen aktuell bei rund 1 Mio. t/a. Effektiv ist damit durch Einleitungen am Oberrhein mit einer Zunahme um ca. 0,7 Mio. t/a zu rechnen.

Zukünftig ist nur noch mit geringen Änderungen der Chlorid-Situation am Oberrhein zu rechnen. Bis ins Jahr 2009 soll die Sanierung der Halden durch Beregnung und damit Auswaschung beendet sein. Die Natriumchlorid-Einträge müssten nach diesem Zeitraum rückläufig sein, wobei eine betragsmäßige Abschätzung derzeit nicht möglich ist. Nach diesem Zeitpunkt verbleiben einige Halden, die begrünt wurden und bei denen ggf. mit einem weiteren, wenn auch sehr stark gedämpften Chlorid-Austrag zu rechnen ist. Nicht erfasst wird jedoch die damit verbundene Grundwasserproblematik im Oberrheingebiet.

4.2.1 Neckar

Der Neckar als rechtsrheinischer Nebenfluss führt dem Rhein im Mittel 140 m³/s und damit ca. 6 % seiner Wasserführung zu. Aufgrund der hohen Dichte an Gewerbe- und Industriebetrieben sowie der hohen Bevölkerungszahl hat der Neckar einen verhältnismäßig hohen Abwasseranteil. In den Jahren bis 1993 fiel der Neckar auch durch die verhältnismäßig hohen Chlorid-Konzentrationen von über 100 mg/L auf. Diese waren durch die Salzförderung der südwestdeutschen Salzwerke AG, Bad Friedrichshall, und die dort ansässige Sodafabrik (ehemals: Kali-Chemie AG) bedingt. Der plötzliche Rückgang ist auf die Stilllegung der Förderanlage im Schacht „König Wilhelm II“ mit Einstellung der Sodaproduktion (Kali-Chemie AG) zurückzuführen [19]. Seitdem steigt die Chlorid-Konzentration auf dieser Teilstrecke des Neckars nicht mehr an. Ein in den Jahren 2003/2004 niedergebrachter und in Betrieb genommener neuer Schacht lässt bisher keinen erneuten Anstieg der Chlorid-Belastung des Neckars erkennen.

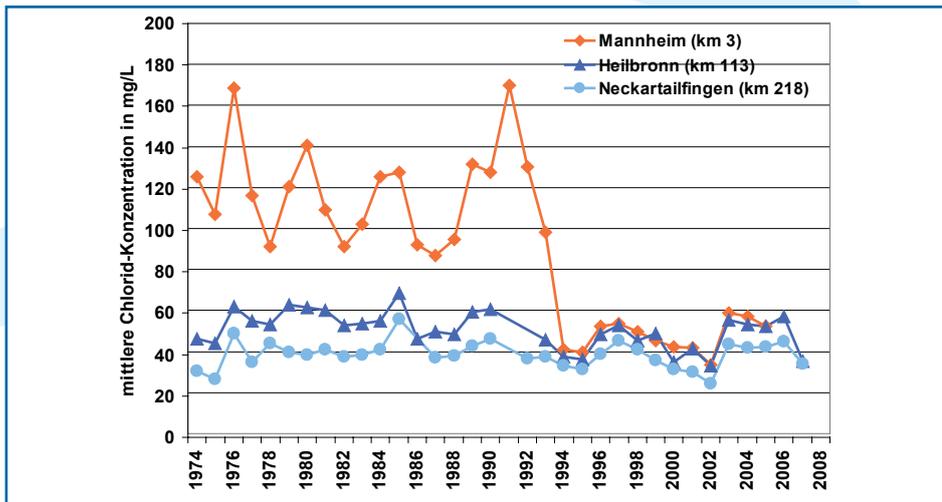


Abb.9: Chloridkonzentrationen am Neckar (AWBR-Untersuchungen)

4.2.2 Main

Der Main ist mit 527 km Länge der größte rechtsrheinische Zufluss des Rheins und bringt an der Mündung ca. 1/7 der Wasserführung bei einem langjährigen Jahresmittelwert von 225 m³/s hinzu. Insbesondere am Untermain und im Einzugsgebiet der Regnitz sind 37 relevante industrielle Kläranlagen bekannt. Die gesamte Abwassermenge kann mit ca. 900 Mio. m³/a abgeschätzt werden. Für Chlorid ist die Jahresmenge mit etwa 0,2 – 0,3 Mio. t/a als für die Gesamtbilanz des Rheins relativ gering anzusehen.

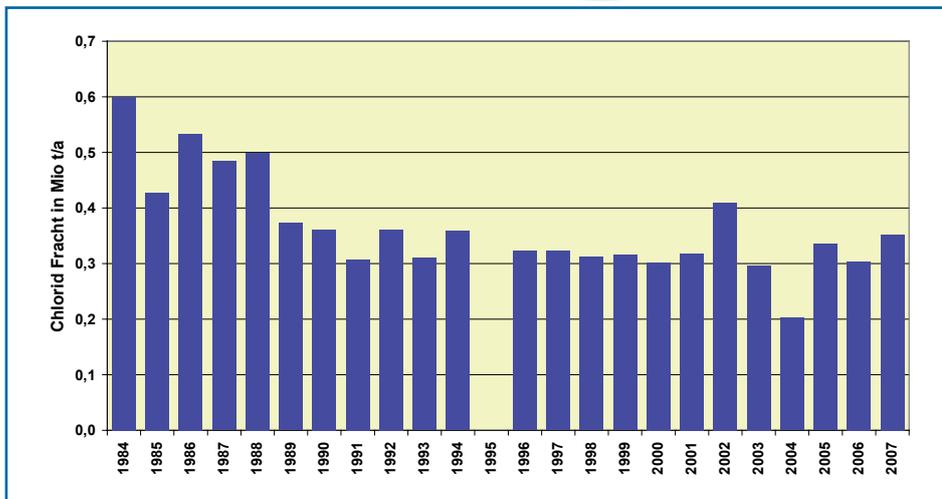


Abb. 10: Chlorid-Frachten in Mio t/a am Main, Messstelle Mainz-Kastel

4.3 Mittelrhein mit Mosel

Auf der Teilstrecke des Mittelrheins stammt die zusätzliche Salzfracht überwiegend aus dem Zufluss der Mosel. Vom Rhein selber und der Lahn rheinseitig sind außer den Einträgen über kommunale Kläranlagen keine weiteren Einleiter bekannt, die das Kriterium aus dem Salzvertrag von Transporten größer 1 kg/s erfüllen.

4.3.1 Mosel

Im Gegensatz zu anderen Nebengewässern im Rheineinzugsgebiet weist die Mosel geologisch bedingt etwas höhere Hintergrundwerte an Chlorid auf, die jedoch bei den vorliegenden Belastungen für eine weitere Betrachtung nicht von Interesse sind. Chlorid stellt an der Mosel den höchsten Anteil der transportierten Stoffe, wobei der Hauptanteil aus Frankreich stammt. Nachfolgend werden die drei bekannten Chlorid-Quellen im Mosel-Einzugsgebiet vorgestellt.

Die Chlorid-Frachten der Mosel stammen überwiegend aus den Sodafabriken (Herstellung von Natriumcarbonat) im Raum Nancy und bewirken maßgeblich, dass in großen Teilabschnitten der Mosel Konzentrationen von 200 mg/l überschritten werden [12]. Dies gilt insbesondere für die Fließstrecke oberhalb der Mündung der Sauer, auf der die Chlorid-Gehalte in etwa doppelt so hoch liegen wie auf der restlichen Strecke. Der Verdünnungseffekt durch Sauer und Saar reicht jedoch nicht aus, um die Einhaltung der Zielvorgabe in Koblenz in Höhe der Rheinmündung zu erreichen [9]. Die höchsten Chloridkonzentrationen werden in der Mosel bis zur Messstelle Palzem festgestellt. Dort lagen die Werte Anfang der 70er Jahre über 1000 mg/L (90-Perzentil, 1971). Die Einrichtung von Auffangbecken bei der Sodaindustrie ermöglichte eine Dämpfung der höchsten Konzentrationen, so dass mittlerweile die 90-Perzentile im Bereich von 400 mg/L und deutlich darunter schwanken. Der Chlorid-Eintrag alleine aus der französischen Sodaindustrie beläuft sich auf ca. 1,5 Mio. t/a und stellte damit die größte Einzelquelle für Chlorid im Rheineinzugsgebiet dar. Deutlich zu erkennen ist auch der Einfluss der hydrologischen Randbedingungen, da insbesondere Trockenperioden sich in den Ganglinien deutlich abzeichnen. Dieser Effekt wird durch die Wasserentnahme gerade des großen Kernkraftwerks Cattenom (s. u.) noch verstärkt.

Eine zweite Chlorid-Quelle stellen die bergmännischen Tätigkeiten im saarländisch-lothringischen Kohlebecken dar. Dieses bedeckt eine Fläche von ca. 500 km² und liegt je hälftig auf deutschem und französischem Gebiet. Die Grubenabwässer der deutschen Bergwerke tragen mit ca. 0,2 Mio. t/a zur Fracht der Mosel bei. Nach derzeitigem Stand der Planungen und dem durch Bergsetzung verursachten starken Beben vom 23. Februar 2008 soll nun die Abbautätigkeit bis 2012 (statt wie geplant 2014) eingestellt werden. Allerdings ist damit der Eintrag von Chlorid über Sumpfabwässer nicht beendet, wie die Verhältnisse in Lothringen zeigen. Dort wurde der Bergbau 2004 endgültig eingestellt. Zur Sicherung des Geländes werden aber weiterhin bis zu 1170 L/s an Grubenwasser mit einem Transport von ca. 1 kg Chlorid je Sekunde gefördert, was einer Jahresfracht von 0,03 Mio. t/a entspricht. Weiterhin gibt es an der Saar vier Kohlekraftwerke, die zusammen ca. 0,091 Mio. t/a Chlorid über Kühl- und Betriebswässer eintragen.

Die dritte Quelle – wenn auch mit Abstand die geringste der drei genannten – ist das größte europäische Kernkraftwerk Cattenom der Electricité de France (EdF). Diese hat 2003 bei der Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (DGSNR) eine Genehmigung zur Entnahme von Wasser aus der Mosel und Wiedereinleitung in die Mosel gestellt, da die bisherigen Genehmigungen 2004 ausgelaufen sind. In seiner Stellungnahme lehnt das Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz eine Erhöhung der Chlorid-Frachten aus der Herstellung entmineralisierten Wassers und der Behandlung der Kühltürme mit Salzsäure um 78 % von 24,5 t/d auf 43,2 t/d ab [10]. Die derzeit zulässigen Chlorid-Einleitungen durch die KKW tragen mit 0,009 Mio. t/a zu weniger als 1 % der Chlorid-Frachten der Mosel bei.

Nachfolgend sind in den Abbildungen 11 bis 13 die Konzentrationen, Transporte und Frachten der Mosel für die Messstelle Koblenz/Mosel dargestellt.

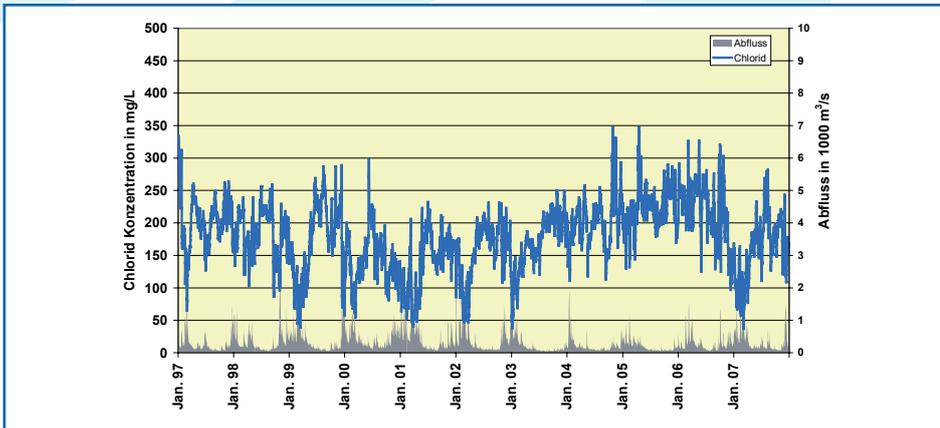


Abb. 11: Chlorid-Konzentration an der Mosel bei Koblenz

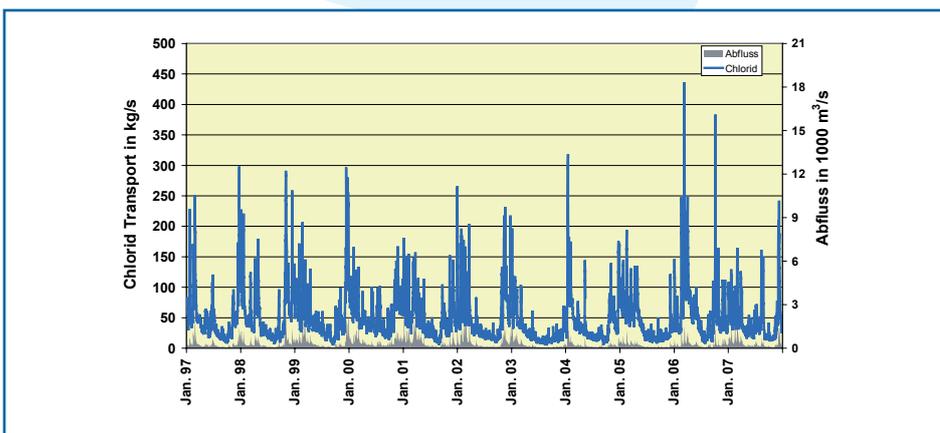


Abb. 12: Chlorid-Transport an der Mosel bei Koblenz

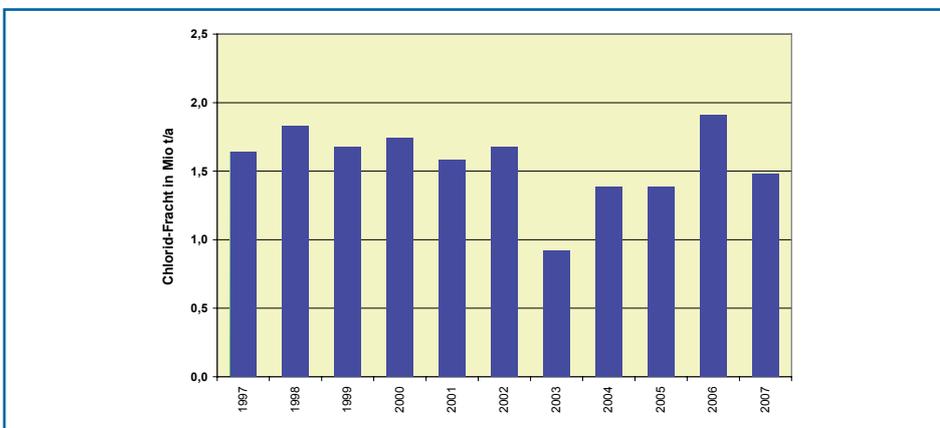


Abb. 13: Chlorid-Frachten an der Mosel bei Koblenz (1997 – 2007)

Die Darstellung der Chloridfrachten (Abb. 13) zeigt deutlich, dass an der Mosel bei Koblenz nahezu konstant um 1,5 Mio. t/a nachgewiesen werden können. Die Chloridfracht setzt sich überwiegend aus den Anteilen der oberen Mosel und der Saar zusammen, wie dies bereits dargelegt wurde. Auffällig sind jedoch zwei Jahre. Im Jahr 2003 liegen die Frachten erheblich niedriger, was auf die im gesamten Rheineinzugsgebiet lang anhaltende Niedrigwasserführung zurückzuführen ist und aufgrund der Beschränkung der maximalen Chlorid-Konzentration auf einen Wert von 200 mg/L nur deutlich geringere Transporte zuließ. Im Zeitraum 2005/2006 zeigt Abb. 11 leicht zunehmende Konzentrationen, die sich jedoch nur bedingt in den Transporten (Abb. 12) widerspiegeln. Nur die Fracht für 2006 liegt über den bisher beobachteten Werten; für 2007 hat sich die Situation jedoch wieder normalisiert und zeigt zu Jahresbeginn (Abb. 11) den für die Konzentration typischen Einbruch durch Verdünnung bei Hochwassersituationen. Es kann hier nur vermutet werden, dass es während geeigneter Wasserführungen zusätzliche Chlorideinträge gab, bei denen der Spielraum bis zur zulässigen Maximalkonzentration von 200 mg/L ausgenutzt wurde.

Den Hauptanteil an der Chlorid-Belastung der Mosel und ihrer Nebengewässer trägt die französische Soda-Industrie mit ca. 82 % der bilanzierten 1,83 Mio. t/a bei. Die französische Regierung plant derzeit eine Studie zum Chlorid-Problem an der Mosel. Diese soll, sofern sie genehmigt wird, vom BRGM in Nancy bearbeitet werden [11]. Nicht bekannt ist jedoch die Intention der Studie und insbesondere, ob hiermit Grundlagen für evtl. Reduzierungsmaßnahmen geschaffen werden sollen. Bei den Grubenabwässern des saarländischen Bergbaus (ca. 11 % der Chloridfracht) könnte eine teilweise Reduzierung mit deren Einstellung im Jahre 2012 zu erwarten sein.

4.4 Niederrhein und Nebengewässer

Das Niederrheingebiet auf deutscher Seite beginnt nach der geographischen Einteilung nahe bei Bonn und durchfließt Nordrhein-Westfalen. Insgesamt sechs größere Nebengewässer münden auf dieser Teilstrecke in den Rhein und werden nachfolgend bzgl. ihres Anteils an der Chlorid-Fracht beschrieben. Die Chlorid-Belastungen des Niederrheins setzen sich – neben natürlichen Anteilen und den Einträgen über Haushalte, Gewerbe etc. – aus den im Oberrheingebiet und dem Moseleinzugsgebiet stammenden Chlorid-Frachten zusammen und werden durch rechtsseitige Zuströme überwiegend aus den Sumpfungswässern des deutschen Bergbaus ergänzt. Im Vordergrund stehen hierbei die Nebengewässer Emscher und Lippe mit erhöhten Salzfrachten, während Ruhr, Sieg, Erft und Wupper diesbezüglich eher von untergeordneter Bedeutung sind.

Insbesondere der Steinkohle-Bergbau und dessen Verlagerung nach Norden spielt hier neben industriellen Quellen (z. B. Sodaindustrie) eine besondere Rolle. Ab ca. 1840 findet man Bergbau im Gebiet der Ruhr, ab ca. 1860 im Einzugsgebiet der Emscher und ab ca. 1900 im Gebiet der Lippe. Aufgrund geologischer Gegebenheiten nimmt die Salzkonzentration der Grubenwässer mit der Tiefe und der Verlagerung des Bergbaus nach Norden hin zu. Im Ruhrgebiet handelt es sich wegen der geringen Tiefe der Anlagen und des fehlenden Deckgebirges noch um durch Niederschläge beeinflusste Hydrogen-Karbonat-Wässer. Die Region bis ca. 500 m Tiefe (in Richtung Emschergebiet) ist dagegen eher durch hohe Sulfatgehalte bis hin zu mehreren g/L gekennzeichnet. Die tiefsten Schichten im Einzugsgebiet der Lippe hingegen weisen die höchsten Salzgehalte auf. Diese stammen aus nördlich gelegenen Salzlagerstätten, von wo aus salzhaltige Sole über Klüfte und tektonische

Störungen südwärts zirkuliert. Hinzu kommen Anteile von „connate waters“, dem in Sedimenten gebundenen „fossilen Meerwasser“.

Mit der Ausbeutung der Bodenschätze verlagerte sich die bergmännische Tätigkeit in tiefere Zonen und weiter in nördliche Richtung. Trotz dieses Umstands nimmt die Förderung von Grubenwasser in den südlichen Abschnitten nicht ab, da auch diese höher gelegenen Flöze aufgrund der Verbindung (Gruben, Schächte, tektonische Störungen) zwischen den verschiedenen Stollen weiterhin trocken gehalten werden müssen. Erst mit Einstellung der Förderung der Steinkohle im Jahr 2018 (gemäß Kohlerunde von 07.02.2007 [21]) kann ein Wiederanstieg des Grubenwassers zugelassen werden, bedarf aber der sorgfältigen Planung, um Folgeschäden zu vermeiden. Damit könnte jedoch eine Entlastung der Chlorid-Einträge aus den rechtsrheinischen Nebenflüssen am Niederrhein einhergehen. Unklar ist heute jedoch noch, inwieweit diese Maßnahmen sicher durchführbar sind und welche Verminderung der Chlorid-Einträge damit verbunden sind.

Rein mengenmäßig haben die Grubenabwässer seit 1994 von 125,8 Mio. m³/a (Rhein: 14,1 Mio. m³/a; Ruhr: 44,1 Mio. m³/a; Emscher: 40,9 Mio. m³/a; Lippe: 26,3 Mio. m³/a), deutlich abgenommen und liegen nunmehr bei 80,9 Mio. m³/a (2006; Rhein: 9,0 Mio. m³/a; Ruhr: 33,1 Mio. m³/a; Emscher: 20,8 Mio. m³/a; Lippe: 17,9 Mio. m³/a) [21].

Für das Jahr 2005 wurde die Salzbelastung für diese Region auf 0,81 Mio. t/a bestimmt, wobei die Ruhr mit 0,03 Mio. t/a nur wenig beiträgt. Die restliche Belastung verteilt sich auf Emscher (0,25 Mio. t/a), Lippe (0,31 Mio. t/a) und Direkteinträge in den Rhein (0,22 Mio. t/a) [23].

4.4.1 Ruhr

Die Förderung von Steinkohle im Einzugsgebiet der Ruhr ist schon seit langem eingestellt. Aufgrund der Geologie sind die derzeit noch gefördert Grubenwässer wenig salzhaltig und stammen aus relativ wenig abgeteufte Bereich, die noch dem Einfluss von Niederschlagswasser unterliegen. Für die Salzproblematik ist die Ruhr daher wenig relevant, was sich auch in Abbildung 14 zeigt, die seit vielen Jahren einigermäßen stabile Frachten in der Größenordnung von 0,1 Mio. t/a aufweist.

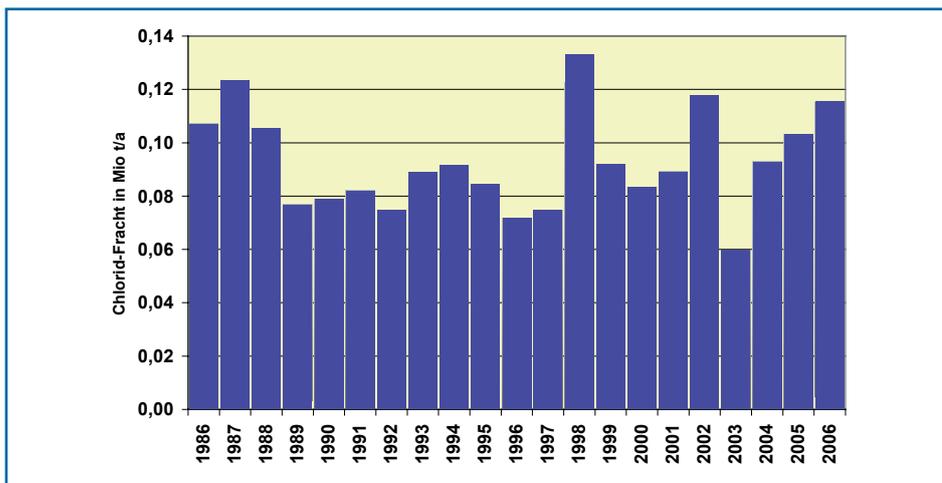


Abb. 14: Chlorid – Frachten an der Ruhrmündung (1986 – 2006)

4.4.2 Emscher

Die Emscher ist ein stark verbautes Gewässer (überwiegend kanalisiert und mit einer Betonsohle versehen), das vor der Mündung in den Rhein durch eine Flusskläranlage mit einer Leistung von bis zu 30 m³/s geleitet wird. Durch bergmännische Tätigkeiten ergaben sich Senkungen um bis zu 20 m in die Tiefe, so dass zur Trockenhaltung dieser Region zusätzliche Pumpmaßnahmen zur Förderung des Grundwassers erforderlich sind.

Überschreitungen der Anforderung an den Chlorid-Gehalt kommen durch Gruben- und Sumpfangsabwässer, aber auch durch industrielle Abwässer sowie weitere bergbaulichen Einflüsse (Auslaugung von Bergehalde) zustande. Oberhalb der Kläranlage Emschermündung schwankten im Zeitraum 1990 - 1999 die Chlorid-Konzentrationen im Bereich von 500 mg/L bis hin zu 1500 mg/L. In Trockenperioden kann der Anteil des Grubenwassers bis zu 80% betragen [25]. Im Emschergebiet gibt es derzeit keine Steinkohle-Förderung mehr, d. h. die eingeleiteten Grubenwässer stammen ausschließlich aus der Trockenhaltung der unterirdischen Anlagen zur Sicherung der nördlich gelegenen Abbaugelände.

Folgende Belastungen wurden in verschiedenen Jahren festgestellt:

- 1989 43,4 Mio. m³ Grubenabwässer 0,756 Mio. t/a Chlorid
- 1996 31,8 Mio. m³ Grubenabwässer 0,540 Mio. t/a Chlorid
- 2001 25,5 Mio. m³ Grubenabwässer 0,294 Mio. t/a Chlorid

Die Chlorid-Fracht der Emscher hat seit 1991 (ca. 0,70 Mio. t/a) deutlich abgenommen und beträgt derzeit noch ca. 0,27 Mio. t/a [21].

Aus den im Rahmen dieses Berichtes zur Verfügung gestellten Daten konnte die in Abbildung 15 wiedergegebene Frachtentwicklung von Chlorid an der Emschermündung berechnet werden. Diese zeigen seit 1997 eine rückläufige Entwicklung, die sich seit einigen Jahren im Bereich von 0,25 Mio. t/a stabilisiert hat.

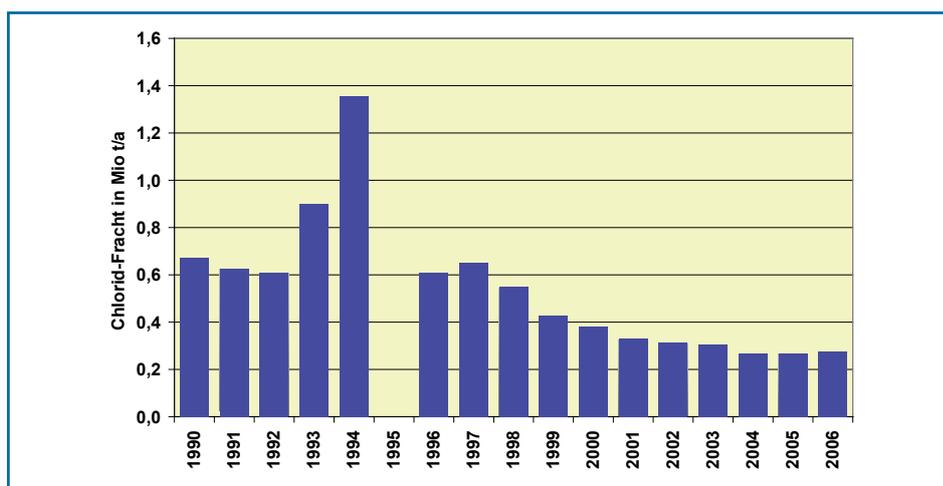


Abb. 15: Chlorid-Frachten an der Emschermündung

4.4.3 Lippe

Die Salzbelastung der Lippe stammt überwiegend aus dem Bergbau in der Region der unteren Lippe. Durch einen Nebenfluss (Heder) im oberen Lippegebiet kommen auch geogene Anteile hinzu (salzhaltige Quellen). Daneben gibt es eine teilweise Überleitung von Grubenwässern aus dem Einzugsgebiet der Ems (Zeche Westfalen) [25]. Die Lippe wird jedoch als ungeeignet für weitere Einleitungen eingeschätzt. Ein Begleitumstand des Eintrags der Grubenwässer in die Lippe sind die hohen Wärmelasten, die aus den erhöhten Temperaturen unter Tage resultieren und die Grubenwässer auf 20 – 60 °C erhitzen. Insbesondere Niedrigwassersituationen lassen die Chlorid-Konzentrationen hier massiv ansteigen.

Mündungsnah schwanken die Chlorid-Konzentrationen zwischen 100 mg/L und 1000 mg/L, in einzelnen Fällen bis zu 1400 mg/L. Die Chlorid-Frachten wurden in verschiedenen Jahren wie folgt bestimmt:

- 1989 26 Mio. m³ Grubenabwässer 0,528 Mio. t/a Chlorid
- 1990 - nicht bekannt - 0,525 Mio. t/a Chlorid
- 1996 20,1 Mio. m³ Grubenabwässer 0,508 Mio. t/a Chlorid
- 2002 18,2 Mio. m³ Grubenabwässer 0,360 Mio. t/a Chlorid

Die Chlorid-Fracht der Lippe hat somit seit 1991 (ca. 0,53 Mio. t/a) deutlich abgenommen und beträgt aktuell ca. 0,24 Mio. t/a [21]. Abbildung 16 zeigt diesen Rückgang deutlich, lässt aber auch eine Stagnation in den letzten Jahren erkennen.

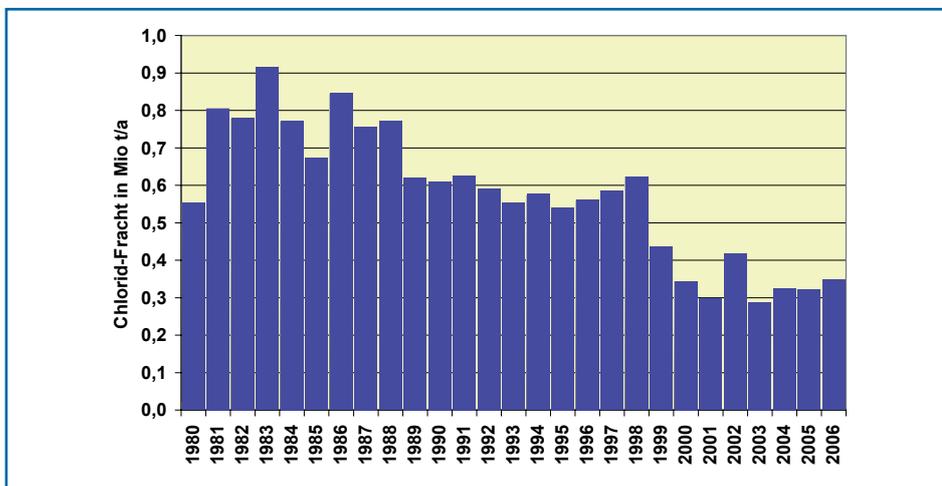


Abb. 16: Chlorid-Frachten an der Mündung der Lippe bei Wesel

4.4.4. Weitere Nebengewässer

In den Einzugsgebieten von Sieg, Wupper und Erft liegen keine relevanten Chlorid-Belastungen vor [20]. Die Erft ist ein anthropogen stark verändertes Gewässer, in dem schon seit Jahrhunderten Eingriffe durch Stauanlagen, Wehre, Mühlanlagen und Energiegewinnung stattfinden. Bekannt ist diese Region insbesondere durch den Braunkohle-Tagebau. Hiervon stammen auch die Sumpfungabwässer in diesem Einzugsgebiet, die aber überwiegend durch ihre Temperaturlast und höheren Eisengehalte

bestimmt sind. Aus einem der Nebengewässer werden noch immer Abwässer einer historischen Erzbergbauanlage eingeleitet, die aufgrund hoher Gehalte an Schwermetallen (Kobalt, Nickel, Zink und Cadmium) als toxisch einzustufen sind. Chlorid spielt in dieser Region keine Rolle und die Qualitätsziele gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie werden eingehalten. Die Auswertung der vorliegenden Daten zeigt, dass die Chlorid-Frachten im Wesentlichen im Bereich von ca. 0,02 Mio. t/a liegen und damit nur einen unbedeutenden Anteil an der Gesamtfracht des Rheins ausmachen.

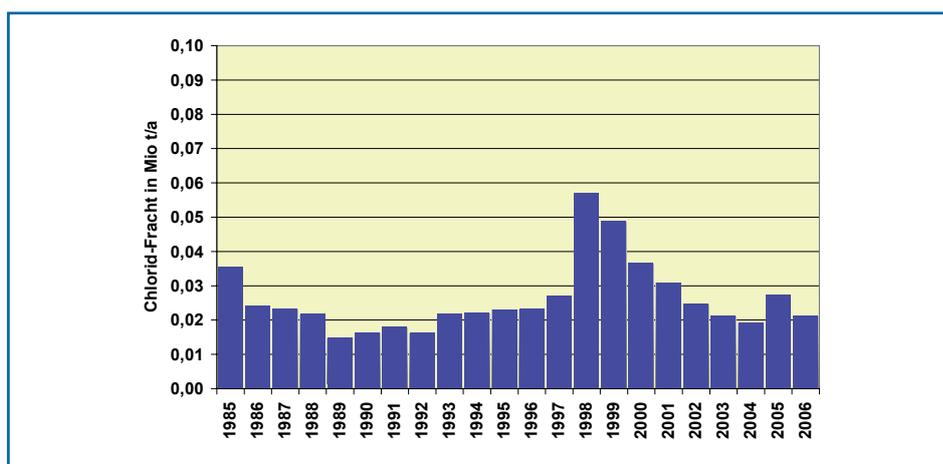


Abb. 17: Chlorid-Frachten an der Mündung der Erft bei Eppinghoven (1985 – 2006)

Im Gebiet der Wupper gibt es traditionell viele Galvanikbetriebe und chemische Industrie. Diese sowie eine dichte Besiedelung konzentrierten sich an der unteren Wupper im Bereich der Städte Wuppertal, Remscheid und Solingen. Der Abwasseranteil liegt mit 118 Mio. m³ bei einem Gesamtabfluss von 522 Mio. m³ bei rund 23 % und ist relativ hoch. Die Chlorid-Frachten liegen im Bereich von ca. 0,02 Mio. t/a.

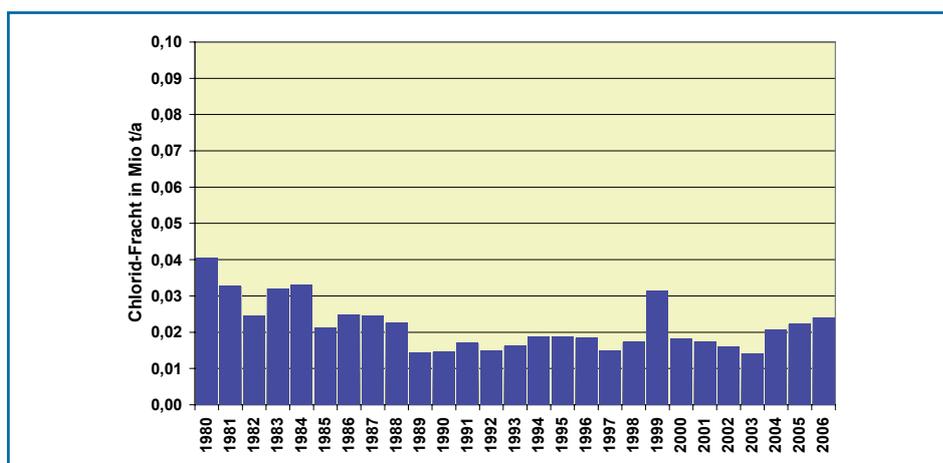


Abb. 18: Chlorid-Frachten an der Mündung der Wupper bei Opladen (1980 – 2006)

Die Sieg ist maßgeblich durch mehrere Stauhaltungen geprägt, die überwiegend der Trinkwasserversorgung dienen. Früher gab es hier einmal Erzbergbau, jedoch liegen keine Beiträge aus entsprechenden Abwässern am Gesamtabfluss der Sieg vor. Chlorid spielt an der Sieg keine Rolle; die Jahresfrachten liegen trotz eines leichten Anstiegs im Bereich von derzeit 0,05 Mio. t/a.

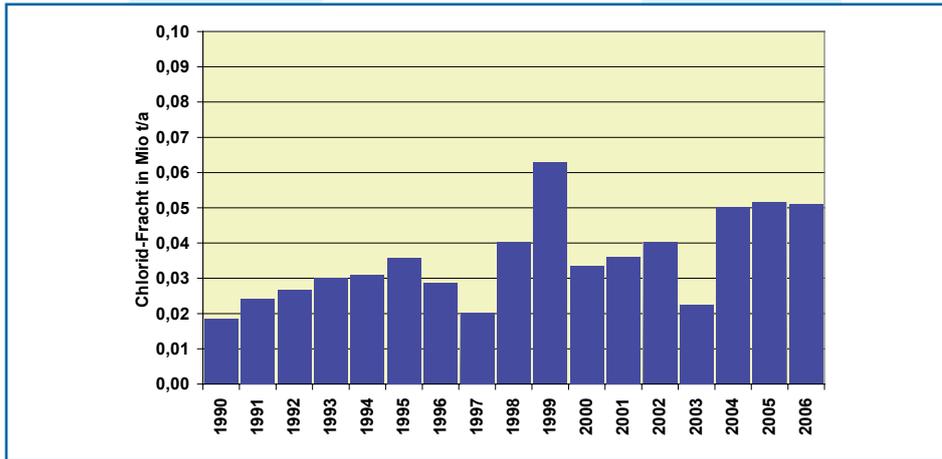


Abb. 19: Chlorid-Frachten an der Mündung der Sieg bei Menden (1990 – 2006)

Hinzu kommt der Direkteintrag in den Niederrhein über mehrere verschiedene Standorte z.B. der Ruhrkohle AG. Der bergmännische Anteil der RAG hat seit 1991 (ca. 0,27 Mio. t/a) um knapp die Hälfte abgenommen und beträgt für 2006 ca. 0,19 Mio. t/a bzw. für 2007 0,11 Mio. t/a [21].

4.4.5 Gesamtbilanz für den Niederrhein

In Abbildung 20 sind die Frachten bei Wesel seit 1979 dargestellt, die sich aus den Beiträgen des Oberrheins, der Mosel und dem Niederrheingebiet sowie einiger naheliegender rechtsrheinischer Einträge zusammensetzen. Der zu beobachtende Rückgang ist überwiegend auf die Verbesserungen am Oberrhein zurückzuführen und bestimmt maßgeblich den dargestellten Verlauf.

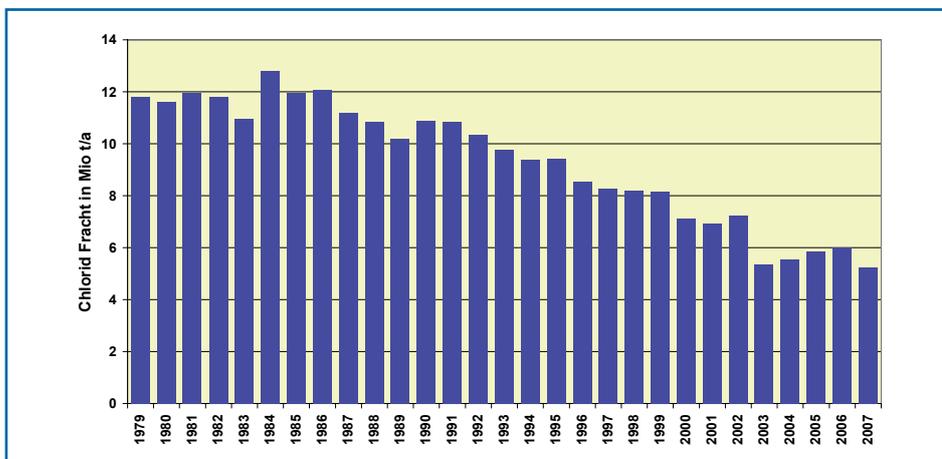


Abb. 20: Chlorid-Frachten am Rhein bei Wesel

Nachdem ursprünglich aus den drei Teilgebieten bis 1986 eine Gesamtfracht an Chlorid von bis zu 12 Mio. t/a resultierte, liegen diese seit 2003 im Bereich von unter 6 Mio. t/a. Der leichte Anstieg der Frachten für 2005 und insbesondere 2006 dürfte auf die zeitlich begrenzten erhöhten Einträge aus der Mosel zurückzuführen sein. Hintergrund sind vermutlich zusätzlich Chlorideinleitungen (z. B. aus der Rückhaltung chloridhaltiger Abwässer) mit denen der Spielraum bis zur zulässigen Maximalkonzentration von 200 mg/L bei geeigneten Wasserführungen ausgenutzt wurde. Die Ganglinien der Chloridkonzentrationen zeigen in Bimmen und Lobith jedoch keine Auffälligkeiten, die derzeit einen Wiederanstieg der Chloridwerte besorgen lassen (Quelle: www.aqualarm.nl).

Für den unmittelbar anschließenden niederländischen Raum ist eine zuverlässige Frachtbilanzierung nicht mehr möglich, da das Gewässersystem durch die starke Vernetzung keine korrekte Zuordnung der Abflüsse an deutlich stromabwärts gelegenen Messstellen mehr zulässt. Auf die Darstellung niederländischer Anteile an der in die Nordsee eingeleiteten Chloridfracht musste daher verzichtet werden.



Aktuelle und zukünftige Entwicklungen

Die wesentlichen Entwicklungen zur Belastung des Rheins und seiner Nebengewässer mit Chlorid fanden in den letzten einhundert Jahren statt. In diesen Zeitraum fällt die stetige Zunahme der Chlorid-Konzentrationen und -transporte ebenso wie die Reduzierung in den letzten Jahrzehnten. In zwei der drei Regionen mit stark erhöhten Chlorid-Einträgen wurden bereits z. T. deutliche Erfolge erzielt. Dies gilt insbesondere für den Bereich des Oberrheins, an dem derzeit nur noch ein verhältnismäßig geringer Anteil der ursprünglichen Chlorid-Menge eingetragen werden (Abbildung 21). Auch auf der Strecke des Niederrheins konnten einige Verbesserungen erzielt werden, auch wenn diese vor dem Hintergrund der Entwicklung am Oberrhein nicht so deutlich hervortreten. Nach wie vor unverändert sind die Einträge über die Mosel aus Frankreich.

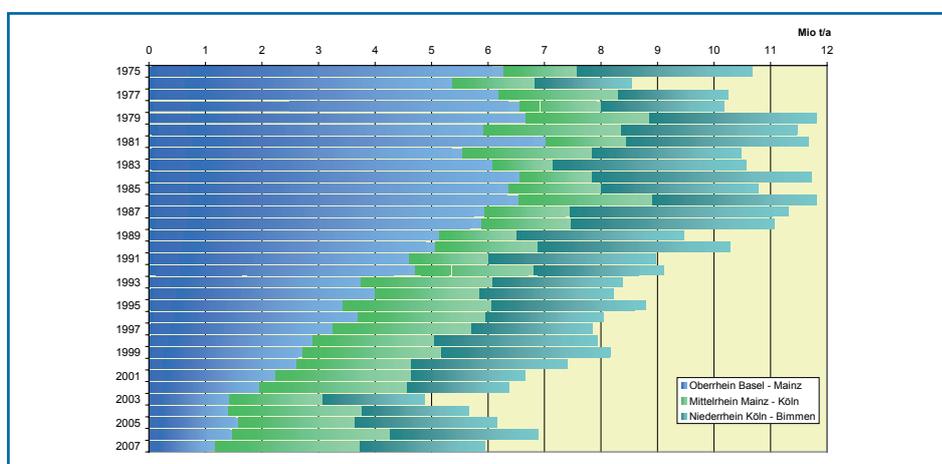


Abb. 21: Entwicklung der Chlorid-Frachten seit 1975 in den Teilbereichen Oberrhein, Mosel und Niederrhein

In Abbildung 22 sind Nebenflüsse des Rheins aufgeführt, die in unterschiedlichem Maß zur Belastung des Rheins beitragen. Deutlich zu erkennen sind die Beiträge von Neckar, Main, Emscher und Lippe, die zusammen mit den eher geringfügigen Beiträgen von Wupper, Sieg, Erft und Ruhr derzeit rund ein Viertel der Gesamtfracht des Rheins von 6 Mio. t/a beitragen.

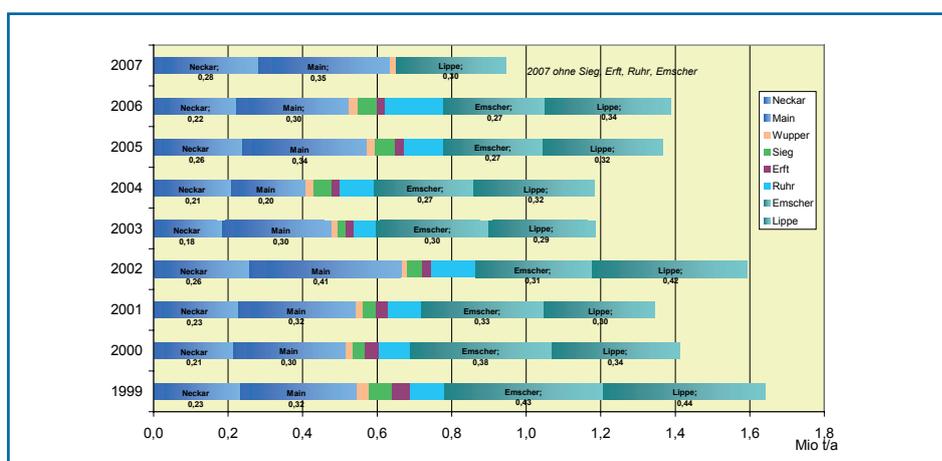


Abb. 22: Entwicklung der Chlorid-Frachten seit 1999 in ausgewählten Nebengewässern des Rheins (Mosel siehe in Abb. 13)

Nach den derzeit vorliegenden Erkenntnissen sind für die nahe Zukunft folgende Entwicklungen zu erwarten:

- **Einzugsgebiet des Oberrheins:**

Mit der Stilllegung der letzten Grube im Fördergebiet um Mulhouse ergeben sich keine direkten Einträge aus dem bergmännischem Abbau der Kalisalze. Weiterhin sind in dieser Region jedoch Abraumhalden vorhanden, aus denen Chlorid ausgetragen werden kann. Im Jahr 2008 werden an zwei Abraumhalden und 2009 an der letzten Abraumhalde die Sanierungsarbeiten abgeschlossen. Es verbleiben fünf begrünte und abgedichtete Halden. Demnach sollten hier die Chlorid-Einträge nochmals rückläufig sein und den Oberrhein weiter entlasten. Ab 2010 ist daher mit einer Stabilisierung der Situation auf einem Niveau um ca. 1 Mio. t/a zu rechnen. Die Belastung des Grundwassers im Oberrheingraben sowohl auf deutscher als auch elsässischer Seite ist hiervon unabhängig. Zur Zeit ist die Errichtung eines Gaslagers in dieser Region beantragt, jedoch noch nicht bewilligt. Inwieweit es hier zu Beeinträchtigungen durch Chlorid kommen kann, ist derzeit noch nicht absehbar [14].

Im weiteren Verlauf hat nur noch der Neckar in früheren Jahren zur Chlorid-Fracht aus dem Oberrheingebiet maßgeblich beigetragen. Derzeit liegen – trotz der Inbetriebnahme eines neuen Schachtes – keine Hinweise auf eine zunehmende Belastung mit Chlorid vor.

- **Einzugsgebiet der Mosel:**

In dieser Region zeichnen sich derzeit keine Verbesserungen ab. Als Hauptquelle erscheint die Sodaindustrie im Raum Nancy, durch die Chlorid-Mengen in der Größenordnung von rund 1,5 Mio. t/a über die Mosel in den Rhein eingetragen werden. Dies stellte somit das größte Reduzierungspotential im Rheineinzugsgebiet dar. Das Chlorid aus Abwässern des Bergbaus im Mosel-Saargebiet dürfte mit der vorzeitige Einstellung des Bergbaus im Saargebiet (bereits 2012 statt wie geplant 2014) zu einer Reduzierung der Chloridfrachten führen. Nach der Bergsenkung mit begleitendem Erdbeben im Jahr 2008 wird derzeit die Wiederaufnahme in Flöz Grangeleisen mit reduzierter Fördermenge (1,5 statt 4 Mio. t/a) angestrebt. Ob hiervon Auswirkungen auf die Gewässerbeschaffenheit erkennbar werden, ist unklar, da die Schächte im Allgemeinen weiterhin im gleichen Umfang wasserfrei zu halten sind. Nach der Stilllegung ist mit bleibenden, wenn auch geringeren Chlorid-Einträgen aus dieser Region durch Sicherung z. B. des Grundwasserspiegels zu rechnen. Eine kurzzeitige Erhöhung der Chloridmenge 2005/2006 wurde nicht weiter bestätigt und hatte keinen nennenswerten Einfluss auf die Verhältnisse an der deutsch-niederländischen Grenze. Hinweise auf weitere zukünftige Chlorid-Quellen ergaben sich bisher nicht.

- **Einzugsgebiet des Niederrheins:**

Für das Gebiet des Niederrheins ist langfristig mit einer Senkung der Chlorid-Fracht zu rechnen. Die Verlagerung des Bergbaus in nördlicher Richtung lässt keine zusätzlichen Salzfrachten für Emscher und Lippe erwarten. Ebenso ist die Überleitung weiterer Salzfrachten aus angrenzenden Einzugsgebieten unwahrscheinlich. Das vereinbarte Ende des subventionierten Steinkohleabbaus im Jahr 2018 macht die weitere Förderung weitestgehend unrentabel, weshalb eine Flutung der

„Gebäude“ vorgesehen wird. Die Modellierung dieser sehr umsichtig anzugehenden Maßnahmen ist derzeit in Arbeit, so dass die Höhe der zu erwartenden Reduzierung der Grubenabwässer und damit des Rückgangs der Chloridfracht zahlenmäßig noch nicht abzuschätzen ist.

Allgemein ist damit zu rechnen, dass es in naher Zukunft nur schrittweise Veränderungen der Chlorid-Frachten des Rheins einschließlich seiner Nebengewässer geben wird, die zahlenmäßig nur schwer abzuschätzen sind. Der einer Reduzierung zugrundeliegende Zeitraum erstreckt sich von 2009 bis über das Jahr 2018 hinaus und erfolgt stufenweise. Das größte Verbesserungspotential stellen die Kalibetriebe bei Nancy dar, die bisher keinen nennenswerten Beitrag zur Verbesserung der Situation im Rheineinzugsgebiet beigetragen haben.

Darüber hinaus ist zu diskutieren, ob ein Konzentrationsniveau von maximal 200 mg/L Chlorid bei Lobith vor dem Hintergrund der mittlerweile geringeren Chloridfrachten als alleiniges Steuerungskriterium sinnvoll ist. Unserer Auffassung nach ist hier – auch aus Sicht des vorsorgenden Gewässerschutzes und des Verschlechterungsverbotes – eine zusätzliche Regelung zu etablieren, die übermäßige Chlorid-Einleitungen bei höheren Wasserführungen limitiert.

Kritische Situationen insbesondere in Zusammenhang mit dem Klimawandel sind nur bedingt abschätzbar. Es ist jedoch zu beachten, dass mit dem Rückgang der Einleitungsmengen auch die Möglichkeiten zur Steuerung der Chlorid-Konzentrationen durch Rückhalt geringer werden und daher Extremsituationen sich deutlicher auf das Konzentrationsverhalten von Chlorid auswirken. Insbesondere bei extremen Wasserspiegellagen dürfte sich dies in den Befunden widerspiegeln. Dem stehen derzeit nur die geregelten Einleitungen an der Mosel gegenüber, die rund ein Viertel der Chloridmenge ausmachen.



6.1 Grundlagen der Auswertung

Bei den in diesem Bericht verwendeten Auswertungen und Darstellungen handelt es sich ausschließlich um Standardverfahren, wie diese seit Jahren z.B. im Rahmen der Erstellung von Jahresberichten über die Qualität von Oberflächengewässern angewendet werden. Nachfolgend sind die Berechnungsvorschriften, wie diese für den Bereich der IAWR gelten, wiedergegeben:

Anzahl der Werte: Anzahl aller Werte einer Messserien einschließlich aller Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Minimum: Der kleinste Wert einer definierten Datenreihe. Liegen Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze vor, so wird der Wert der geringsten im Untersuchungszeitraum vermittelten Bestimmungsgrenze mit vorangestelltem ‚<‘ als Minimum angegeben.

Mittelwert: Der Mittelwert wird aus allen Werten eine Messreihe berechnet. Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden mit der Hälfte von deren Wert berücksichtigt.

Maximum: Der größte Wert einer definierten Datenreihe. Da der Arbeitsbereich i.d.R. nach oben nicht überschritten wird, sind keine zusätzlichen Regelungen erforderlich.

Die Berechnung der Perzentile erfolgt nach der Methode von HAZEN (1930), wie diese im 52. ARW-Jahresbericht von 1995 dokumentiert ist und auch für die Auswertungen innerhalb der IAWR vereinbart wurden. Diese wurde ursprünglich von der französischen Delegation in der IKSR als Alternativ zum sehr aufwendigen VDI-Verfahren vorgestellt.

Berechnungsvorschrift: Die Rangnummer des gesuchten Perzentils wird bestimmt über die Gleichung

$$I = n * p + 0,5$$

Hieraus ergibt sich die Rangnummer i der kleineren Zahl als ganzzahliger Anteil von I . Das Perzentil berechnet sich mittels linearer Interpolation mit der Gleichung:

$$x_p = x_i + (I-i) * (x_{i+1} - x_i)$$

Beispiel: Gegeben ist eine aufsteigend geordnete Zahlenreihe mit $N=16$ Werten; gesucht wird das 90-Perzentil ($p=0,9$). Somit berechnet sich der Rangfolgewert zu:

$$I = n * p + 0,5 = 16 * 0,9 + 0,5 = 14,9$$

Und der ganzzahlige Anteil zu

$$I = \text{Ganzzahl}(14,9) = 14$$

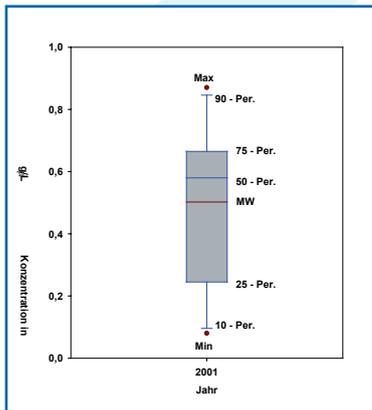
Das gesuchte Perzentil wird demnach aus den an 14. und 15. Position der Werteliste stehenden Werten mit nachfolgender Vorschrift errechnet:

$$P_{0,9} = X_{14} + 0,9 * (X_{15} - X_{14})$$

Die Methode nach Hazen bietet im Vergleich zu allen anderen Methoden den Vorteil einer einheitlichen Bestimmungsvorschrift für alle gewünschten Quantile. Die Berechnungsmethode ähnelt in ihrer Grundgleichung der Gewichtung anderer Methoden und ist leicht nachzuvollziehen. An den Anwender wird jedoch die Anforderung gestellt zu überprüfen, ob eine ausreichende Anzahl von Messwerten der Auswertung zugrunde liegt. Die Methode nach HAZEN ist seit 1995 die von den Wasserwerken angewandte Berechnungsmethode.

6.2 Spezielle Arten der Darstellung

Von den im Bericht angewandten Darstellungsarten ist der sogenannte Box-and-Whiskers-Plot hier kurz zu erläutern. Alle Grafiken wurden mit der Software SigmaPlot erstellt. Die aus den Rohdaten vom Programm ermittelten Kenngrößen sind in nachfolgender Schemazeichnung wiedergegeben.



Neben den bekannten Größen Minimum, arithmetischer Mittelwert und Maximum finden sich in der Darstellung noch die verschiedenen verteilungsunabhängigen Quantilswerte (Perzentile). Besonderheit in der mit SigmaPlot erstellten Grafik ist, dass alle Einzelwerte oberhalb des 90-Perzentiles bzw. alle Werte unterhalb des 10-Perzentiles als Punkte dargestellt werden.

Alle Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden mit der Hälfte ihres Wertes berücksichtigt. Der arithmetische Mittelwert wird somit gemäß den innerhalb der IAWR gel-

tenden Vorgaben berechnet. Außerdem können Texteingaben, wie dies die Eingabe von z.B. <0,05 darstellt, bei der Grafikerstellung nicht berücksichtigt werden. Alle von SigmaPlot berechneten Kennwerte würden demnach ohne diese Werte zu hoch ausfallen. In den Grafiken ist der Bereich der Bestimmungsgrenze hinterlegt; Kenngrößen unterhalb dieser Grenze sind somit erkennbar.

6.3 Auswertungen zu Konzentration, Transport und Fracht

A 1: Konzentrationen, Transporte und Frachten von Chlorid im Rhein (Alpenrhein) bei Au-Lustenau (km -82,6) 1974 - 2007

Messstelle Au-Lustenau

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	1,2	2,9	4,9	0,26	0,62	1,06	0,019
1975	0,7	2,1	3,5	0,20	0,52	1,19	0,016
1976	1,1	2,5	4,2	0,23	0,44	0,80	0,014
1977	0,7	2,3	4,9	0,12	0,52	1,23	0,016
1978	0,8	2,2	3,8	0,24	0,46	0,92	0,015
1979	1,2	2,4	3,8	0,21	0,52	1,51	0,016
1980	0,8	2,2	4,6	0,22	0,50	1,35	0,016
1981	1,3	2,5	4,4	0,39	0,65	1,06	0,020
1982	0,7	2,4	4,2	0,30	0,50	0,72	0,016
1984	1,5	2,7	4,7	0,31	0,59	1,38	0,019
1985	1,2	2,9	5,7	0,26	0,51	0,88	0,016
1986	1,7	3,1	5,8	0,29	0,54	1,02	0,017
1987	1,5	3,1	6,9	0,37	0,75	1,32	0,024
1988	1,1	3,5	9,2	0,58	0,87	1,44	0,028
1989	1,1	2,7	3,8	0,34	0,50	0,72	0,016
1990	1,2	1,9	2,8	0,19	0,36	0,68	0,011
1991	2	2,8	4,9	0,28	0,57	1,62	0,018
1992	0,8	3,0	7,5	0,18	0,56	0,83	0,018
1993	1,3	3,7	11,3	0,20	0,84	2,91	0,027
1994	1,1	2,4	5,1	0,28	0,52	0,85	0,016
1995	0,6	2,9	6,4	0,18	0,50	1,00	0,016
1996	1	3,1	6,1	0,19	0,58	1,91	0,018
1997	0,7	3,0	10,4	0,23	0,64	4,37	0,020
1998	0,7	2,7	5,7	0,16	0,57	1,30	0,018
1999	0,8	3,1	5,7	0,41	0,79	1,28	0,025
2000	1	3,4	7,0	0,37	0,84	2,00	0,026
2001	1,2	2,7	5,0	0,28	0,57	0,99	0,017
2002	1,2	3,4	7,9	0,29	0,55	0,89	0,017
2003	1,7	3,8	9,2	0,23	0,49	1,36	0,015
2004	1,4	4,2	10,2	0,36	0,59	0,86	0,018
2005	1	4,8	11,6	0,36	0,76	2,24	0,024
2006	2,4	5,1	14,9	0,43	0,77	1,49	0,023
2007	5,1	5,9	7,0	0,31	0,47	0,66	0,015

A 2: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Schaffhausen (km 43,8)

Messstelle Schaffhausen

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	4,1	5,8	8,6	1,5	2,2	3,9	0,069
1975	3,5	5,6	9,2	1,0	2,2	4,4	0,069
1976	5,3	6,1	7,4	1,0	1,5	2,8	0,049
1977	2,8	5,4	7,6	1,2	2,0	3,3	0,063
1978	4,7	5,8	8,4	1,0	2,1	5,4	0,067
1979	3,6	5,6	8,2	1,0	2,1	3,8	0,065
1980	4,2	5,9	9,3	1,3	2,4	4,7	0,076
1981	4,2	6,2	8,2	1,6	2,6	4,4	0,082
1982	4,4	6,0	7,5	1,3	2,6	4,5	0,081
1983	4,4	6,9	14,0	1,1	2,7	6,5	0,084
1984	4,4	6,9	16,6	1,3	2,5	9,4	0,078
1985	4,0	6,4	8,5	1,1	2,2	3,9	0,069
1986	3,9	6,6	9,4	1,0	2,3	5,1	0,072
1987	5,4	7,3	9,9	1,3	3,3	7,5	0,105
1988	4,2	7,3	14,6	1,4	3,0	7,7	0,094
1989	4,5	6,1	10,5	1,0	1,9	4,8	0,059
1990	4,4	5,5	6,9	0,9	1,7	3,5	0,054
1991	3,9	5,4	6,8	1,1	1,7	3,7	0,053
1992	4,6	5,6	9,2	1,2	1,9	3,1	0,061
1993	4,4	5,7	7,7	1,2	2,0	3,3	0,064
1994	4,5	5,5	6,7	1,3	2,1	3,5	0,066
1995	4,2	5,6	7,2	1,2	2,4	4,5	0,075
1996	5,0	5,9	7,7	1,1	1,7	2,5	0,053
1997	4,0	5,2	5,9	0,9	1,7	3,8	0,052
1998	4,5	5,8	7,3	1,2	1,8	2,6	0,058
2000	4,6	5,8	7,0	1,7	2,5	3,8	0,080
2001	4,4	5,6	7,7	1,3	2,5	4,2	0,080
2002	4,8	6,0	8,4	1,4	2,2	3,6	0,071
2003	5,6	6,5	8,1	1,2	1,9	2,8	0,059
2004	5,3	6,6	8,1	1,1	2,0	3,4	0,064
2005	6,0	6,9	7,6	1,1	2,1	3,2	0,065
2006	6,7	7,6	10,3	1,2	2,3	3,8	0,072
2007	6,3	7,6	11,0	1,3	2,5	3,9	0,079

A 3: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Basel-Birsfelden (km 163,9)

Messstelle Basel-Birsfelden							
Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1975	8,6	15,5	23,2	9,3	16,3	25,1	0,513
1976	8,1	14,1	17,3	4,4	10,7	19,2	0,336
1977	8	13,0	19,0	9,5	14,3	21,8	0,451
1978	7,5	13,8	21,0	8,8	14,3	28,9	0,450
1979	11	14,2	19,0	9,8	15,4	26,7	0,485
1980	9	15,0	21,0	10,6	16,5	22,7	0,522
1981	10	13,1	20,0	12,6	15,9	20,2	0,502
1982	9	12,6	18,0	11,2	15,2	21,5	0,478
1983	9	12,6	18,0	11,2	15,2	21,5	0,478
1984	8	13,9	22,0	7,9	13,6	21,7	0,428
1985	9	15,0	30,5	7	12,8	19,8	0,405
1987	4	12,6	24,0	8,7	14,0	33,2	0,441
1988	6,4	16,8	54,0	8,3	19,2	67,7	0,607
1989	6,8	11,5	15,8	7,1	9,1	10,8	0,288
1990	6,5	11,2	18,2	5,4	9,3	12,1	0,293
1991	7,1	11,6	19,8	6,7	9,3	17,4	0,292
1992	6,8	10,3	15,2	6,1	10,3	16,1	0,324
1993	5,2	9,7	16,6	7	9,2	11,8	0,291
1994	6	9,2	13,0	6,9	9,8	13,3	0,309
1995	6	8,6	14,0	5,5	10,9	24,6	0,344
1996	6	9,9	19,5	6,0	8,2	12,7	0,259
1997	5,8	9,4	16,0	5,2	8,2	12,5	0,259
1998	6,2	9,3	13,6	4,9	8,2	11,7	0,258
1999	5,2	9,1	17,3	7,2	11,6	22,5	0,367
2000	4,5	8,0	14,6	4,6	9,1	15,2	0,285
2001	5,5	8,1	13,4	6,2	9,9	16,6	0,313
2002	4,6	8,0	11,8	6,3	9,0	13,1	0,285
2003	7,1	10,0	14,1	5,3	8,3	14	0,262
2004	6,4	10,3	15,2	6,3	9,7	22,1	0,306
2005	4,3	12,3	19,7	6,1	10,7	18,2	0,336
2006	7,3	12,0	26,2	6,6	10,5	20,6	0,332
2007	6,7	10,6	18,0	7,3	11,5	22,2	0,349

A 4: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Karlsruhe (km 359,3)

Messstelle Karlsruhe

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1977	38	102	227	5,1	123	234	3,88
1978	24	105	266	16,8	131	223	4,12
1979	45	139	541	55,4	168	395	5,31
1980	34	130	240	43,5	149	252	4,68
1981	28	113	259	44,6	161	265	5,07
1982	30,2	96,5	185	41,4	135	237	4,26
1983	26,4	125	429	37,8	156	725	4,93
1984	27,6	118	304	24,8	136	269	4,29
1985	28,7	154	330	33,3	145	267	4,57
1986	20,7	106	233	26,7	118	203	3,71
1987	15,2	110	226	35,9	140	270	4,42
1988	33	108	229	43,7	141	244	4,26
1989	24,5	133	247	25,5	131	216	4,13
1990	36,9	130	295	34,7	121	197	3,82
1991	45	125	227	61,7	111	146	3,49
1992	35,1	98	227	31,3	115	203	3,63
1993	14,4	99	222	25,6	101	168	3,20
1994	16,5	68	130	32,5	91,5	188	2,89
1995	20,4	65	127	37,5	89,4	157	2,82
1996	31,6	108	250	33,7	103	187	3,26
1997	13,5	71,0	178	23,0	78,1	155	2,46
1998	12,9	54,3	118	15,3	58,0	131	1,83
1999	9,2	40,6	83,3	17,7	54,4	88	1,72
2000	8,9	43,4	70,9	16,7	59,8	106	1,89
2001	11,1	33,3	60,6	16,8	51,9	95	1,64
2002	11	29,2	61,2	23,3	44,7	100	1,41
2003	3,2	31,3	42,1	5,4	27,7	43,4	0,87
2004	14,8	28,0	43,3	15,7	29,5	74,3	0,93
2005	13,9	36,8	63,2	14,9	36,1	63,7	1,14
2006	16,7	31,6	59,2	23,7	34,2	65,0	1,08
2007	10,6	21,4	35,0	17,1	26,0	35,9	0,82

A 5: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Biebesheim (km 463,6)

Messstelle Biebesheim

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1990	47,4	133	250	61,4	143	216	4,51
1991	38	136	223	76	127	185	4,01
1992	44	102	199	54,7	134	241	4,24
1993	24	88,3	183	41,5	103	186	3,26
1994	27	60,4	135	35,8	91,6	163	2,89
1995	27,8	57,4	154	40,8	89,2	206	2,81
1996	25,7	81,2	164	29,0	97,5	155	3,07
1997	21,8	76,7	184	30,8	88	204	2,78
1998	18	57,2	101	23,3	72	130	2,27
1999	18	42,3	81	32,9	69	131	2,18
2000	16	43,4	64,7	29,1	68,8	149	2,17
2001	16,7	34,9	65,2	24,1	57,3	95,2	1,81
2002	13,1	31,6	63,9	32,6	53,9	99,1	1,70
2003	21,1	41,4	61,0	19,3	43,5	77,3	1,37
2004	22,7	37,1	60,1	26,4	42	90,1	1,32
2005	20	45,0	70,2	24	49,4	79,4	1,56
2006	20,2	36,5	75,6	27,9	44,2	78,9	1,39
2007	15,1	27,2	49,1	26,1	37,7	60,0	1,19

A 6: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Mainz (km 500,6)

Messstelle Mainz

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	60	153	217	125	230	331	7,27
1975	57	132	242	138	215	345	6,78
1976	64	170	245	78,7	180	291	5,69
1977	43	128	266	71,4	210	282	6,62
1978	46	137	233	126	222	314	7,01
1979	53	129	217	83,7	227	349	7,15
1980	43	137	266	104	204	292	6,43
1981	46	121	238	79,1	238	484	7,51
1982	43	110	197	106	191	324	6,01
1983	43	131	249	101	208	408	6,54
1984	48	143	273	76,3	221	390	6,98
1985	48	175	318	76,8	215	372	6,77
1986	30	140	260	78,9	208	359	6,55
1987	35	117	215	96,3	202	372	6,37
1988	42	111	218	71,7	206	339	6,48
1989	52	145	261	57,7	172	259	5,42
1990	46	137	259	55,2	170	279	5,36
1991	45	141	223	74,5	155	245	4,88
1992	34	109	211	72,9	160	306	5,04
1993	31	94,2	203	58,5	128	275	4,04
1994	32	80,0	187	53,3	136	312	4,29
1995	32	64,5	171	56,7	119	290	3,77
1996	34	99,8	182	44,2	125	201	3,95
1997	25	84,4	198	40,6	111	230	3,51
1998	25	72,0	109	31,0	100	195	3,15
1999	21	46,9	104	44,1	86,3	199	2,72
2000	20	52,4	79	37,8	91,9	208	2,90
2001	25	44,1	76	40,3	80,4	149	2,53
2002	22	41,8	74	48,4	71,2	136	2,24
2003	34	51	68	32,4	53,6	81,5	1,69
2004	28	43,6	78	29,4	54,2	125	1,71
2005	26,9	53,4	85,1	32,2	60,8	119	1,92
2006	21,3	43	80,2	28,1	57,0	93,9	1,80
2007	18,7	33,3	50,6	27,4	47,9	75,6	1,51

A 7: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Wiesbaden-Schierstein (km 507)

Messstelle Wiesbaden-Schierstein

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	57	146	203	119	219	291	6,92
1975	53	127	239	135	207	316	6,53
1976	63	168	288	77,5	178	275	5,63
1977	34	124	271	56,4	201	279	6,34
1978	42	139	230	111	233	568	7,36
1979	86	133	216	117	230	319	7,26
1980	33	131	252	78,7	193	276	6,10
1981	40	115	198	68,8	230	449	7,24
1982	39	107	200	90,7	181	274	5,72
1983	56	134	281	112	205	315	6,45
1984	57	140	235	99,3	221	334	6,96
1985	49	166	324	78,4	202	329	6,38
1986	45	133	240	77,9	202	326	6,36
1987	36,9	111	207	94,8	194	346	6,10
1988	37,9	108	198	69,0	197	318	6,21
1989	51,1	135	245	56,7	159	224	5,02
1990	46,1	122	240	55,3	157	260	4,95
1991	42,9	138	222	63,9	151	243	4,78
1992	34	112	224	67,7	166	329	5,24
1993	31	94,4	187	53,2	126	257	3,96
1994	35	75,7	174	46,4	128	245	4,02
1995	28	58,8	156	57,4	123	262	3,86
1996	32	92,4	178	41,6	117	192	3,70
1997	21	84,1	178	29,3	83,0	175	2,62
1998	18	66,5	109	22,7	73,0	171	2,30
1999	20	46,2	99,0	34,2	67,0	136	2,11
2000	17	48,3	71,0	27,9	69,3	153	2,19
2001	21	42,5	71,0	32,5	65,6	105	2,07
2002	19	36,5	60,0	40,4	64,3	153	2,09
2003	25	44,8	66,0	22,3	47,4	91,1	1,36
2004	28	40,5	64,0	28,4	48,5	109	1,51
2005	23,8	49,6	77,0	28,5	54,8	87,8	1,74
2006	19,6	40,6	78,0	33,8	47,7	82,4	1,51
2007	17,9	29,9	46,6	29,0	42,5	63,1	1,34

A 8: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Koblenz (km 588,3)

Messstelle Koblenz/Rhein

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1993	26	91,9	171	54,5	138	288	4,35
1994	32	74	136	63,5	133	222	4,18
1995	28	61,4	126	55,5	119	209	3,75
1996	36,3	97,2	191	55,9	122	189	3,86
1997	32,1	97,9	161	43,3	138	312	4,35
1998	30,2	70	122	27,9	108	186	3,39
1999	19	46,1	85,7	33,8	88,3	186	2,79
2000	18,3	46,5	76,0	35,6	85,6	188	2,74
2001	22,8	39,4	56,4	39	79,7	137	2,47
2002	22,8	37,8	60,6	50,9	83,2	147	2,63
2003	24,3	45,5	60,9	23,0	59,1	109	1,86
2004	26,6	42,8	67,8	34,2	61,9	188	1,95
2005	27,5	49,6	82,9	38	68,2	109	2,15
2006	26	44,9	83,4	39,3	65,1	144	2,05
2007	20,1	32,8	66,7	35,1	58,8	100	1,85

A 9: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Köln (km 685,8)

Messstelle Köln

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	82	154	224	127	293	483	9,23
1975	50	130	202	127	256	409	8,08
1976	111	179	270	124	227	500	7,16
1977	60	137	235	152	278	483	8,75
1978	64	131	189	151	268	446	8,44
1979	100	139	213	157	296	579	9,33
1980	57,4	135	228	173	282	521	8,88
1981	59,8	108	154	129	284	478	8,95
1982	50	114	174	141	264	345	8,32
1983	53,5	119	247	117	242	411	7,63
1984	75,1	134	187	87	262	772	8,27
1985	85	151	261	117	266	517	8,39
1986	67	131	216	119	282	510	8,91
1987	43,2	103	174	147	250	541	7,88
1988	44,7	107	178	123	256	446	8,07
1989	64,3	139	212	91	215	341	6,79
1990	68,7	142	217	88	227	320	7,17
1991	55,5	136	201	85	200	474	6,31
1992	21,5	119	169	27	226	486	7,14
1993	55,5	108	160	96	202	574	6,37
1994	40,7	87,6	149	107	195	365	6,15
1995	35,2	81	127	68	203	405	6,41
1996	66,2	119	169	93	197	348	6,20
1997	38,1	108	208	72	189	498	5,97
1998	51,7	92,9	144	48	168	352	5,31
1999	27,4	68,2	119	85	164	308	5,16
2000	33,1	66,9	108	74	156	320	4,92
2001	27,4	59,7	91,4	60	146	255	4,59
2002	31,8	54,7	80,2	74	154	336	4,85
2003	41,6	65,9	101	45	106	250	3,34
2004	40,8	71,5	109	59	129	414	4,06
2005	36	76,2	109	56	126	242	3,97
2006	43,6	78	142	71	146	324	4,59
2007	28,2	59	85,1	65	130	326	4,08

A 10: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Düsseldorf-Flehe (km 732,1)

Messstelle Düsseldorf-Flehe

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	76	151	220	169	289	467	9,13
1975	50	134	199	127	262	416	8,27
1976	105	182	270	139	220	387	6,95
1977	60	132	220	144	269	432	8,47
1978	60	138	202	190	292	533	9,22
1979	114	146	195	193	336	677	10,61
1980	81	140	172	232	332	504	10,48
1981	71	112	156	212	297	410	9,35
1982	67	114	149	193	290	380	9,15
1983	75	135	286	184	285	475	8,98
1984	112	138	185	195	308	477	9,72
1985	118	159	237	188	272	369	8,57
1994	40	81,9	150	100	187	375	5,89
1995	36	78,1	112	66,6	198	388	6,24
1996	66	114	169	84,4	190	371	5,99
1997	41	108	177	80,8	194	562	6,11
1998	59	88,9	140	54,1	144	297	4,54
1999	32	63,3	111	95,2	156	312	5,09
2000	40	65,1	88	88,4	159	289	5,01
2001	36	56,8	87	71,8	155	371	4,86
2002	36	51,6	75	76,5	150	413	4,97
2003	48	63,5	83	52,3	106	275	3,33
2004	40	68,3	95	63,8	132	347	4,15
2005	34	74,3	119	65,5	132	427	4,17
2006	54	73	126	78,8	134	314	4,17
2007	31	52,4	76	59,0	125	275	3,93

A 11: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Düsseldorf-Benrath (km 721,9)

Messstelle Düsseldorf-Benrath							
Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	78	151	215	143	306	458	9,65
1975	50	121	193	127	249	364	7,85
1976	94	183	267	130	228	457	7,19
1977	58	139	232	180	283	486	8,93
1978	53	137	206	183	270	506	8,53
1979	71	133	214	154	295	548	9,31
1980	49,6	136	202	175	282	547	8,51
1981	56,8	116	163	149	290	508	9,14
1982	63	119	174	141	268	389	8,46
1983	51	122	209	119	235	403	7,41
1984	74	136	188	132	300	696	9,47
1985	78	154	255	109	267	498	8,42
1986	74	134	216	131	283	436	8,94
1987	57	114	185	151	262	473	8,26
1988	46	111	180	138	262	407	8,26
1989	71	142	210	111	221	341	6,98
1990	75	140	200	104	228	316	7,19
1991	5	116	180	5,9	184	458	5,82
1992	58	119	176	117	227	448	7,14
1993	62	110	155	101	193	475	6,10
1994	41	86,2	172	105	191	343	6,03
1995	38	82,3	124	109	211	417	6,64
1996	68	118	185	94,5	194	371	6,11
1997	44	110	185	76,8	193	478	6,08
1998	53,4	92,4	146	54,7	172	367	5,42
1999	29,9	70,1	125	101	177	450	5,59
2000	35,6	64,8	90,7	78,7	152	297	4,80
2001	30,7	58,9	92,2	67,2	145	246	4,57
2002	34,6	52,3	85,5	54,8	150	292	4,72
2003	39,3	66,1	98,7	53,7	100	224	3,17
2004	40,2	72,0	115	60	128	410	4,02
2005	44,6	78,3	112	69,1	130	243	4,10
2006	48	76,7	127	77,7	145	319	4,57
2007	19	51,9	75	27,2	117	285	3,69

A 12: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Wittlaer (km 757,9)

Messstelle Wittlaer

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1974	75	152	220	194	291	519	9,18
1975	51	129	201	129	256	416	8,06
1976	107	180	265	134	227	489	7,16
1977	57	130	227	149	264	489	8,32
1978	63	135	207	181	274	480	8,64
1979	80	137	209	167	295	558	9,31
1980	61	132	215	182	270	520	8,52
1981	60	114	193	157	283	432	8,92
1982	55	116	210	146	265	375	8,35
1983	60	125	246	124	259	447	8,18
1984	74	137	198	135	314	638	9,91
1985	85	158	285	122	282	707	8,89
1986	68	125	214	131	276	436	8,70
1987	45	108	178	163	279	486	8,80
1988	45	109	166	139	259	404	8,18
1989	75	141	229	105	228	343	7,19
1990	72	141	219	105	235	313	7,42
1991	66	139	198	108	209	376	6,60
1992	56	126	196	137	241	438	7,60
1993	52	111	146	114	205	437	6,47
1994	40	85,7	158	113	198	395	6,26
1995	42	83,2	126	68	212	437	6,69
1996	62	118	174	78	193	366	6,08
1997	45	105	155	85	187	448	5,90
1998	50	91,3	146	63	174	422	5,50
1999	37	69,7	122	85	162	325	5,10
2000	38	67,3	85	85	153	209	4,83
2001	31	60,8	93	70	151	255	4,78
2002	38	57	86	90	163	389	5,15
2003	7	11,5	16	7	21	85	0,68
2004	44	71,6	98	65	128	424	3,97
2005	43	76,5	120	67	126	230	4,07
2006	50	74,5	124	72	130	234	4,10
2007	31	55,3	83	66	121	270	3,82

A 13: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Wesel (km 814)

Messstelle Wesel

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1979	108	174	271	235	374	601	11,8
1980	74	169	246	271	369	603	11,6
1981	72	140	219	188	379	534	12,0
1982	62	156	240	262	375	452	11,8
1983	72	162	268	221	348	498	11,0
1984	91	172	250	237	405	695	12,8
1985	110	206	412	241	379	581	12,0
1986	87	169	279	240	382	578	12,1
1987	61	135	235	239	354	507	11,2
1988	64	143	242	170	344	461	10,8
1989	95	197	325	194	323	469	10,2
1990	88	208	395	235	345	575	10,9
1991	83	222	360	219	343	514	10,8
1992	72	176	289	232	328	505	10,4
1993	61	167	375	183	310	604	9,78
1994	59	127	215	213	297	440	9,37
1995	53	121	209	138	298	443	9,41
1996	106	165	241	161	271	444	8,53
1997	39	148	223	176	263	431	8,29
1998	65	133	190	162	260	525	8,20
1999	54	100	166	120	258	434	8,15
2000	61	90	123	149	226	270	7,12
2001	36	84	135	147	220	321	6,95
2002	47	79	116	147	229	454	7,23
2003	51	102	154	109	169	320	5,33
2004	51	93	128	117	179	418	5,56
2005	68	101	149	130	183	296	5,85
2006	61	98	142	105	193	341	6,02
2007	41	73	113	118	167	309	5,25

A 14: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Frankfurt (km 37,6)

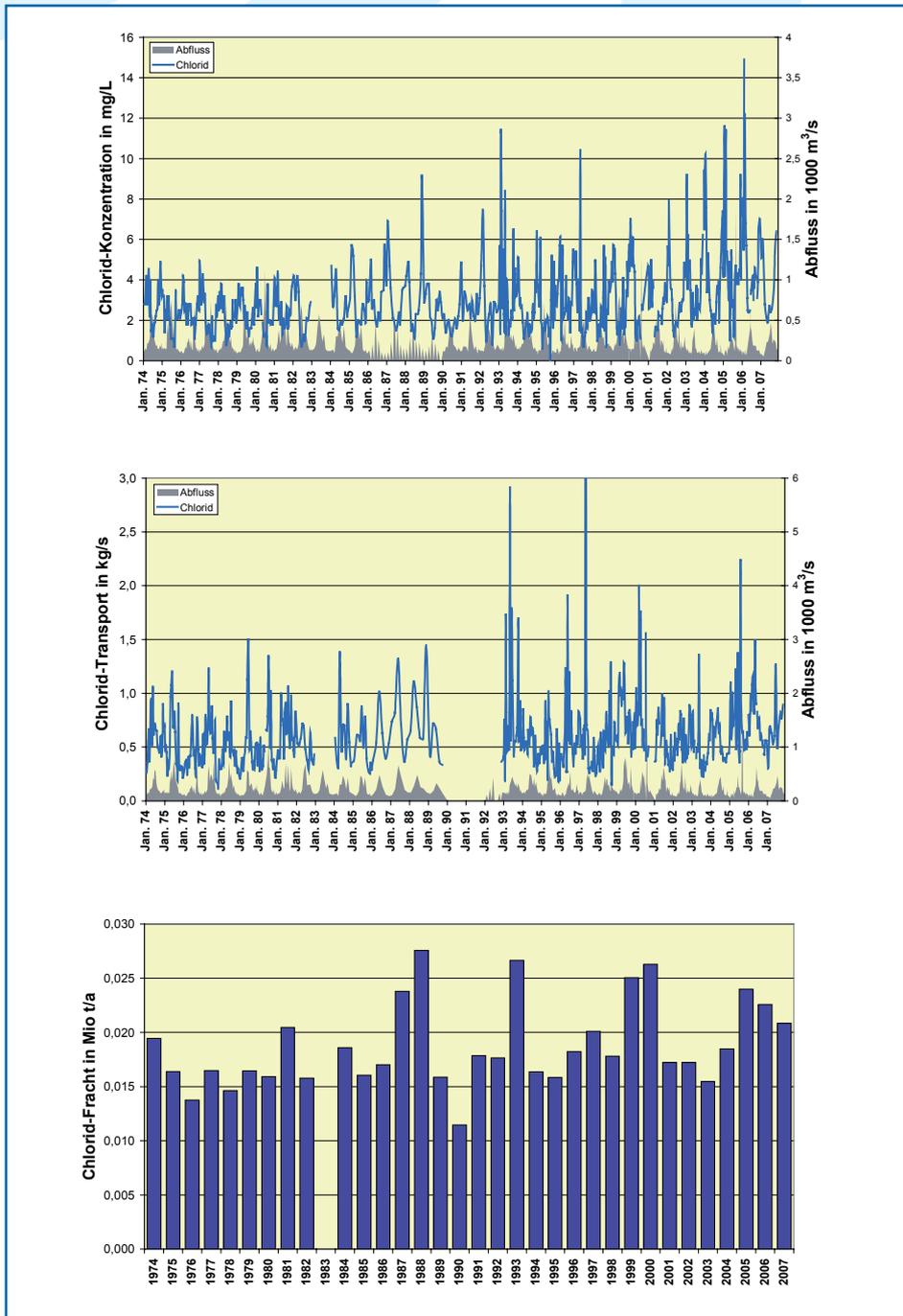
Messstelle Frankfurt

Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1979	21	48,4	66	4,4	8,1	16,3	0,25
1980	27	47,6	67	5,3	9,1	31,6	0,29
1981	28	43,5	64	4,5	10,6	23,9	0,33
1982	24,1	43,9	59	3,8	8,3	19,6	0,26
1983	25	44,8	62	4,0	9,2	22,3	0,29
1984	22	40,9	51	4,8	8,9	34,4	0,28
1985	35,8	50	65	4,0	6,5	14,0	0,21
1986	29,8	44,1	57,9	4,3	8,2	25,5	0,26
1987	25,4	40,4	67	5,2	10,4	29,8	0,33
1988	22,9	43,6	57,7	4,5	9,6	26,3	0,30
1989	23,1	45,5	63,4	3,9	6,6	13,0	0,21
1990	25,7	46,7	63,5	2,7	5,8	10,5	0,18
1993	25,7	49,4	63	2,8	6,5	17,3	0,20
1994	18,4	41,3	54,5	3,6	7,4	18,5	0,23
1995	23,5	37,1	46,2	4,1	8,8	25,4	0,28
1996	34,3	43,7	54,7	2,7	6,5	15,5	0,20
1997	21,3	45,3	59,4	3,7	6,6	15,3	0,21
1998	20,4	41,3	54,9	3,4	7,4	19,5	0,23
1999	29,1	41,6	51,4	5,3	7,9	20,7	0,25
2000	26,9	40,0	48,6	3,8	6,6	16,5	0,21
2001	18,3	38,3	54,1	3,3	7,2	20,8	0,23
2002	18,2	34,6	57	4,6	9,9	23,7	0,31
2003	19,5	43,0	57,8	2,2	7,9	19,7	0,25
2004	30,5	45,0	53,3	2,9	6,0	25,7	0,18
2005	33,3	46,4	61,8	3,2	6,7	22,0	0,22
2006	28,7	47,6	87,1	2,8	6,6	19,4	0,21
2007	22,7	36,2	47,1	3,5	8,7	17,3	0,27

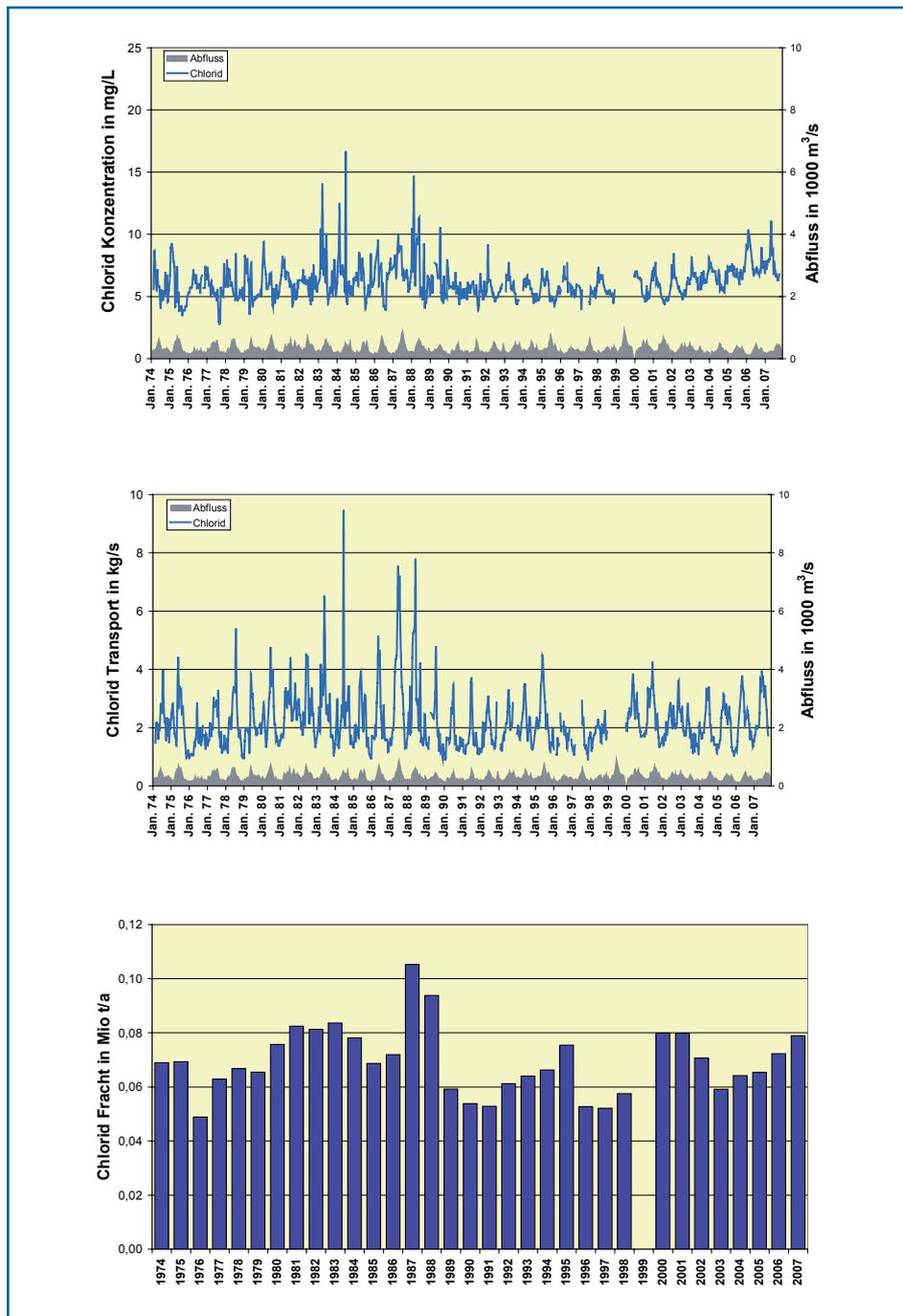
A 15: Konzentrationen, Transporte und Frachten bei Mainz-Kastell (Mainfahne) (km 500,8)

Messstelle Mainz-Kastell (Mainfahne)							
Jahr	Konzentration [mg/L]			Transport [kg/s]			Fracht [Mio t/a]
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	
1984	29	67,6	170	8	18,9	95,9	0,60
1985	58	98,8	214	5,2	13,6	27,1	0,43
1986	37	72,3	143	8	16,9	91,7	0,53
1987	32	59	106	9,6	15,3	37,9	0,48
1988	31	68,4	137	6,7	15,8	38,1	0,50
1989	32	76,5	166	6,4	11,8	19,8	0,37
1990	43	82,5	181	3,6	11,5	19,7	0,36
1991	32	89,3	171	3,8	9,8	20,8	0,31
1992	38	71,6	102	5,4	11,5	21,5	0,36
1993	33	66,9	126	3,4	9,8	22,1	0,31
1994	28	57,8	112	4,7	11,4	29,3	0,36
1996	45	63,3	95	4,2	10,2	20,4	0,32
1997	31	66,7	120	5,4	10,2	23,0	0,32
1998	26	58	98	3,2	9,9	19,9	0,31
1999	34	49,4	75	5,1	10	25,1	0,32
2000	34	49,5	64	4,4	9,6	22,2	0,30
2001	25	46,2	67	3,5	10,1	32,6	0,32
2002	25	43	71	4,9	13	32,7	0,41
2003	25	54,3	75	3	9,4	25,8	0,30
2004	33	49,6	65,0	1,8	6,4	30,5	0,20
2005	42,3	56	99,8	3,2	10,6	54,4	0,34
2006	30,7	52,3	99,7	2,6	9,6	22,2	0,30
2007	24,9	42,5	65	5,6	11,2	22,1	0,35

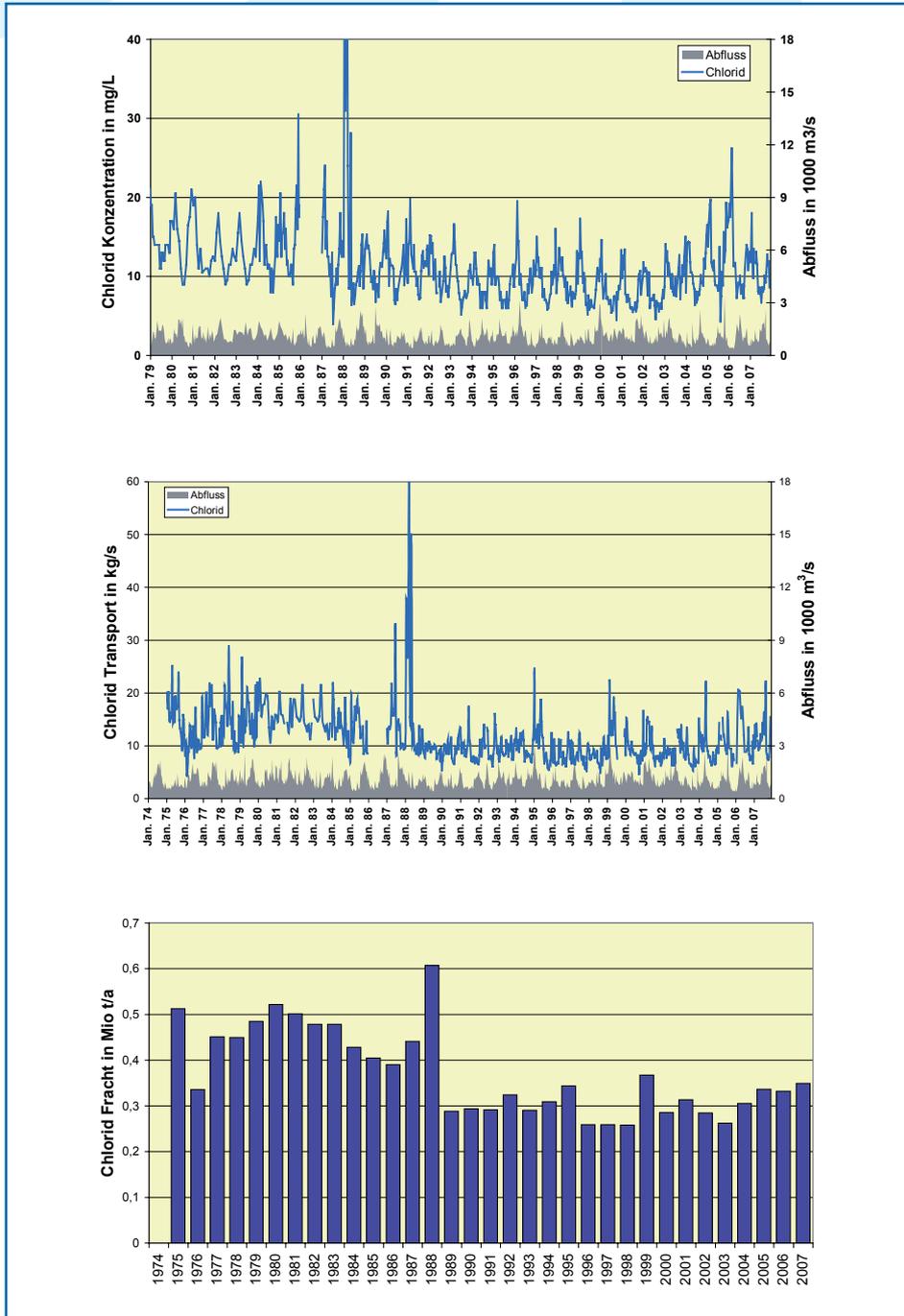
6.4 Darstellung von Konzentration, Transport und Fracht an den Messstellen der Wasserwerke



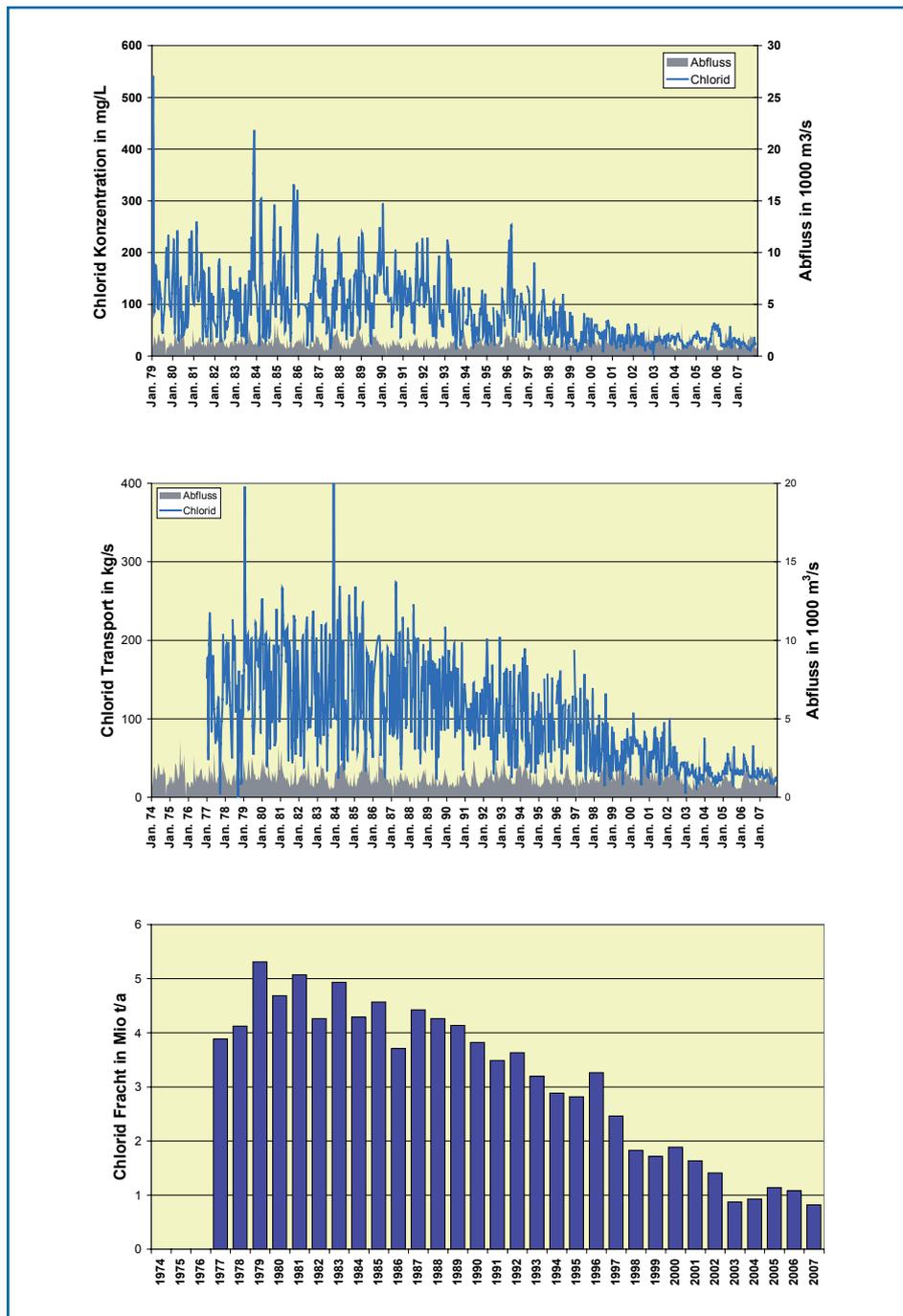
A 16: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Au-Lustenau (ab März 2007 neue Messstelle Diepoldsau)



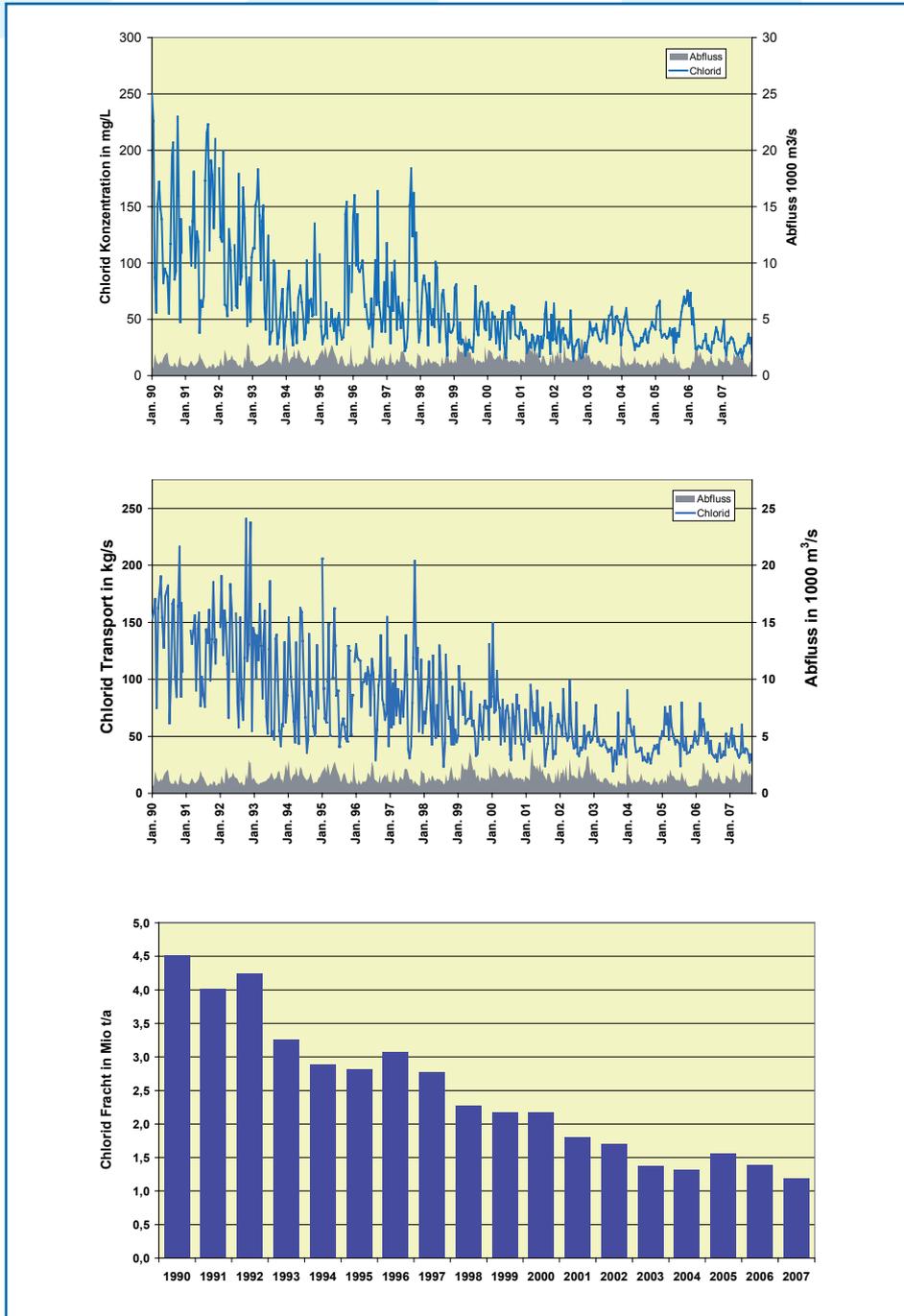
A 17: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Schaffhausen



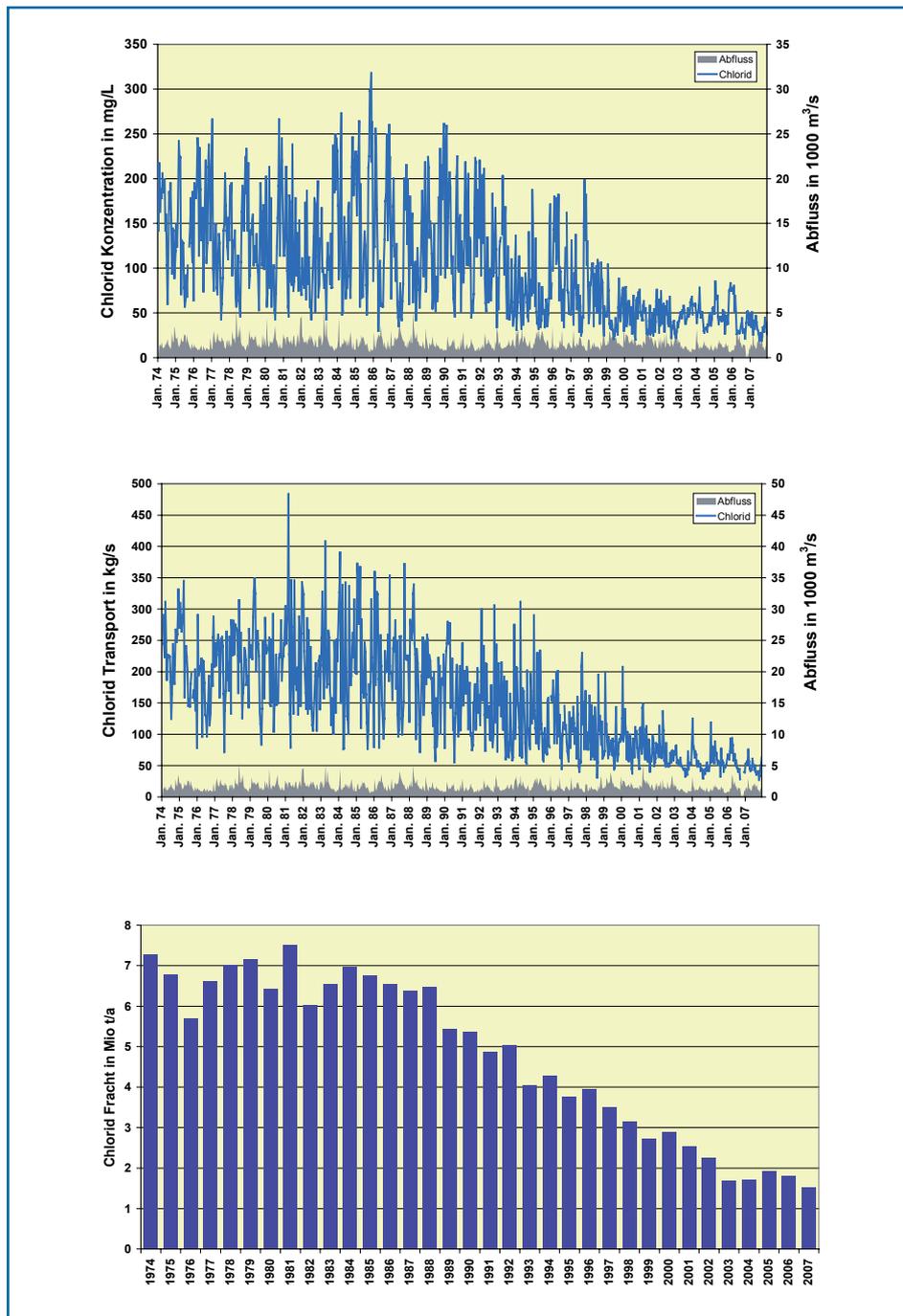
A 18: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Basel-Birsfelden



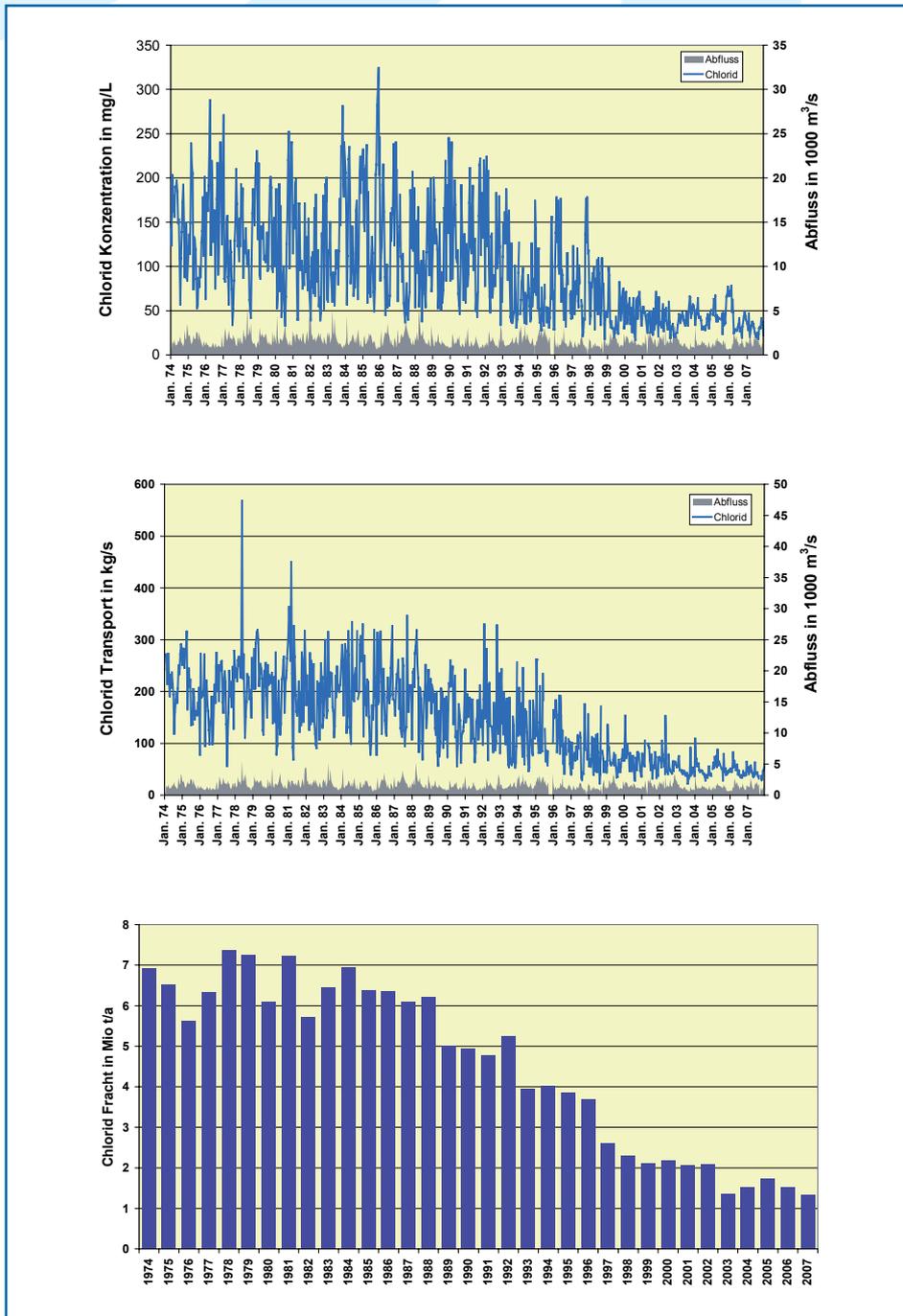
A 19: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Karlsruhe RDK



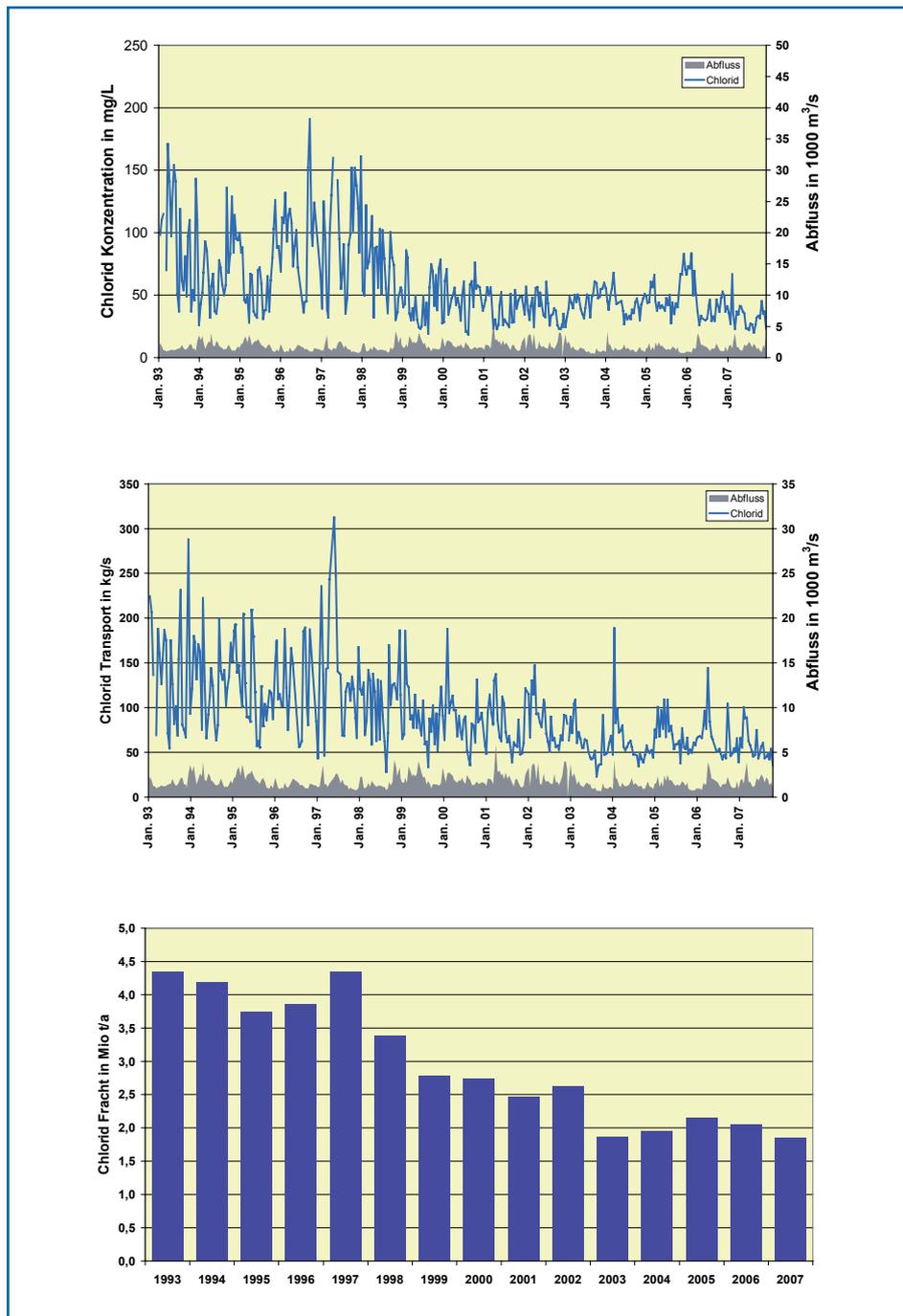
A 20: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Biebesheim



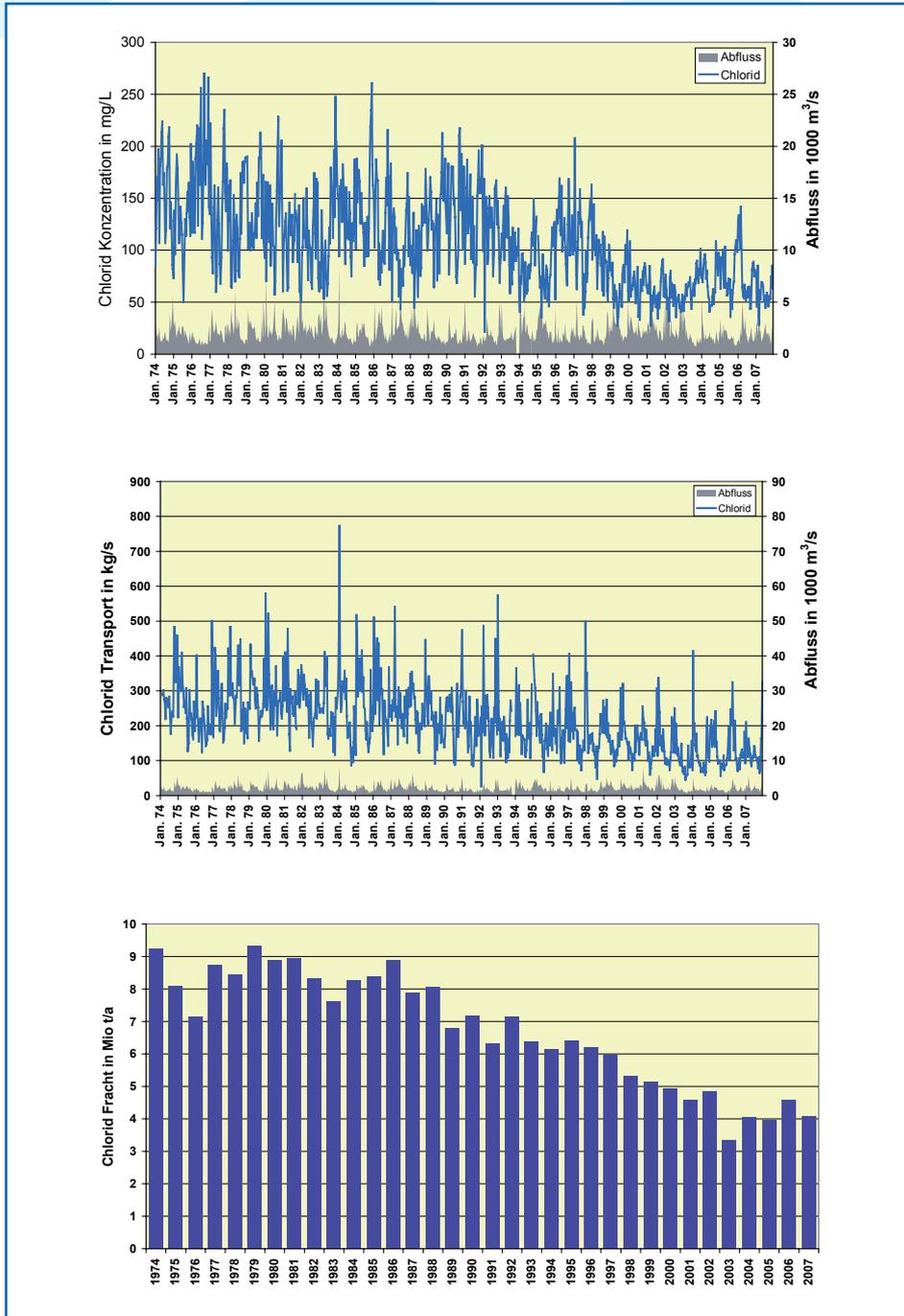
A 21: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Mainz



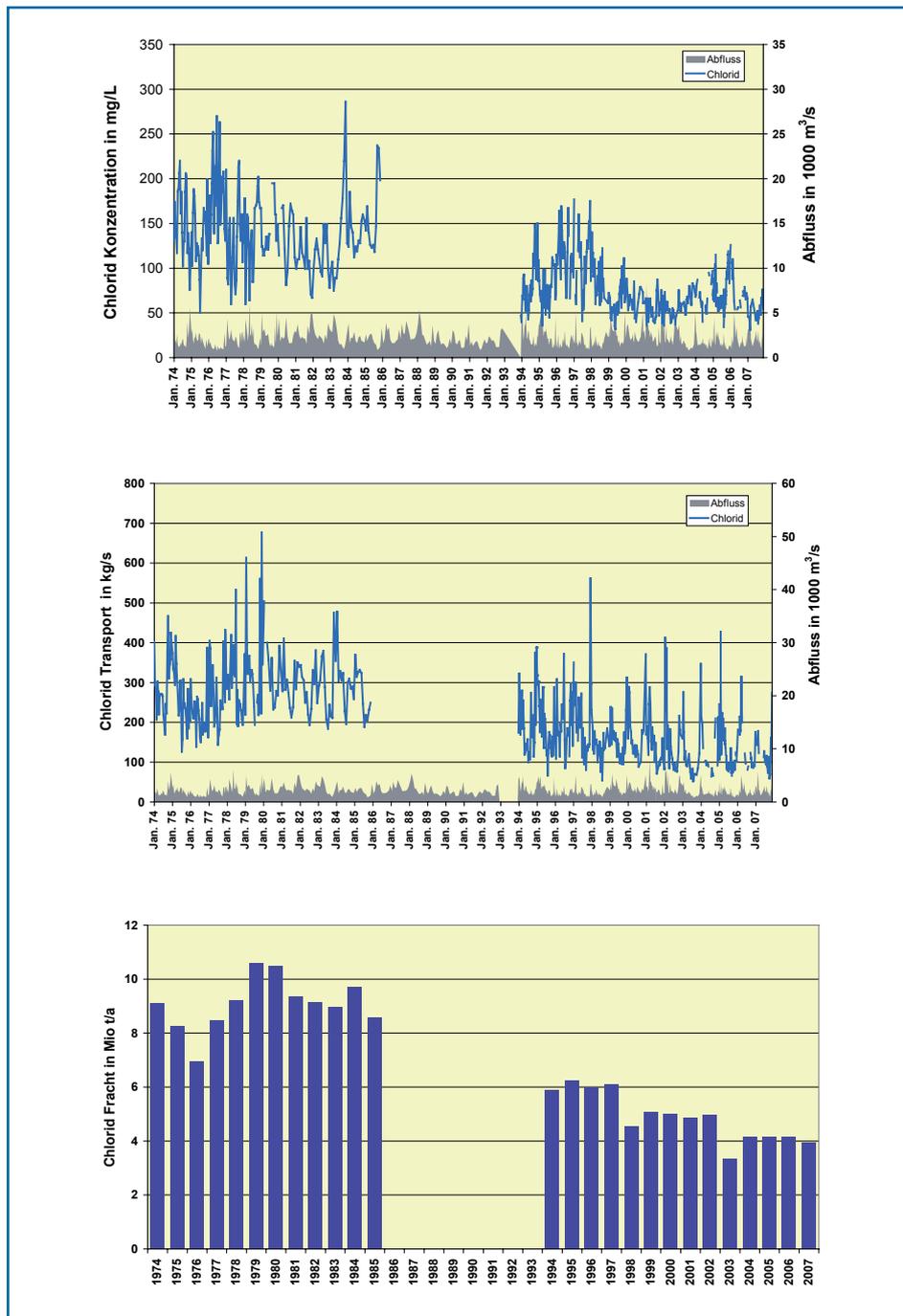
A 22: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Wiesbaden-Schierstein



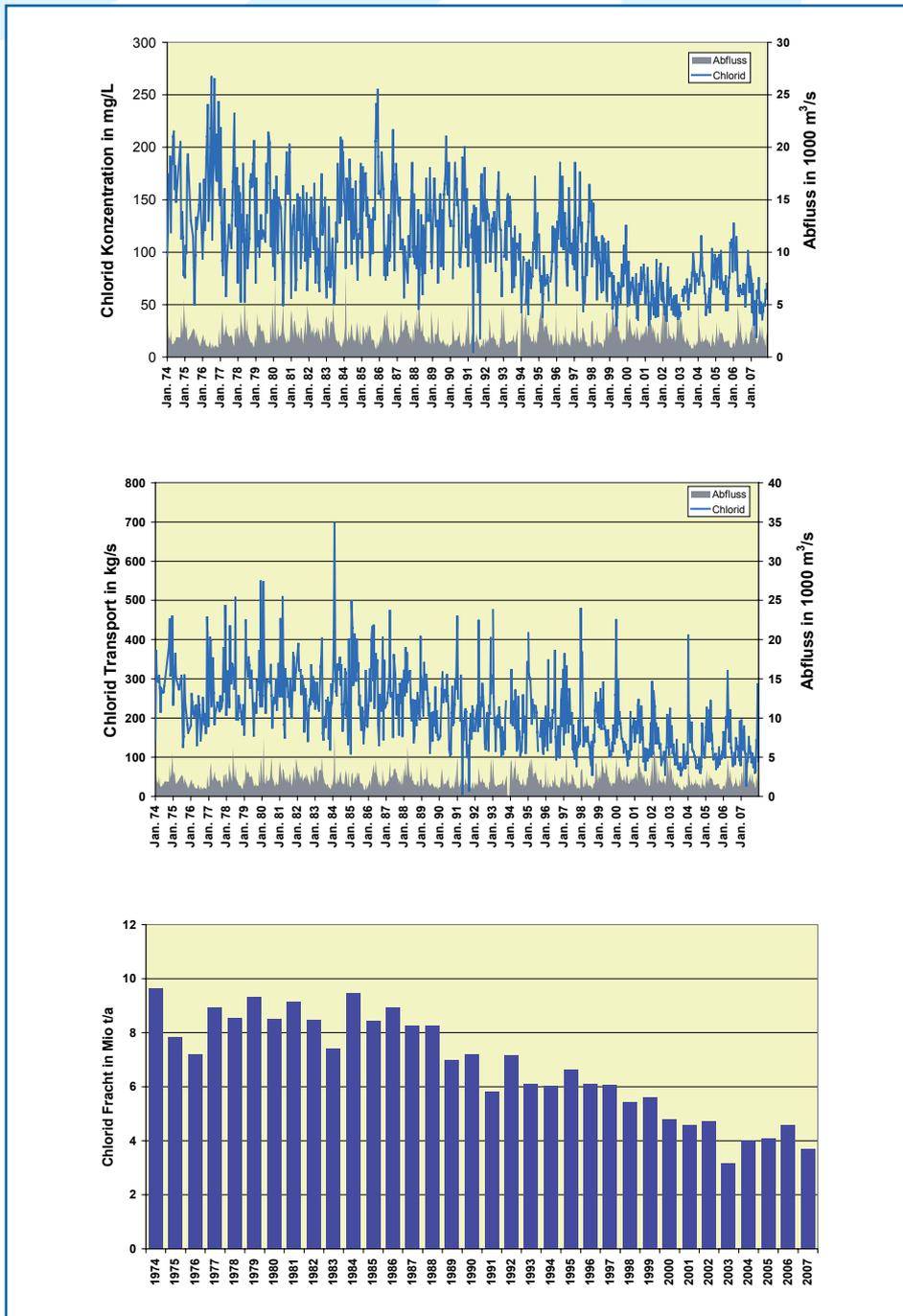
A 23: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Koblenz



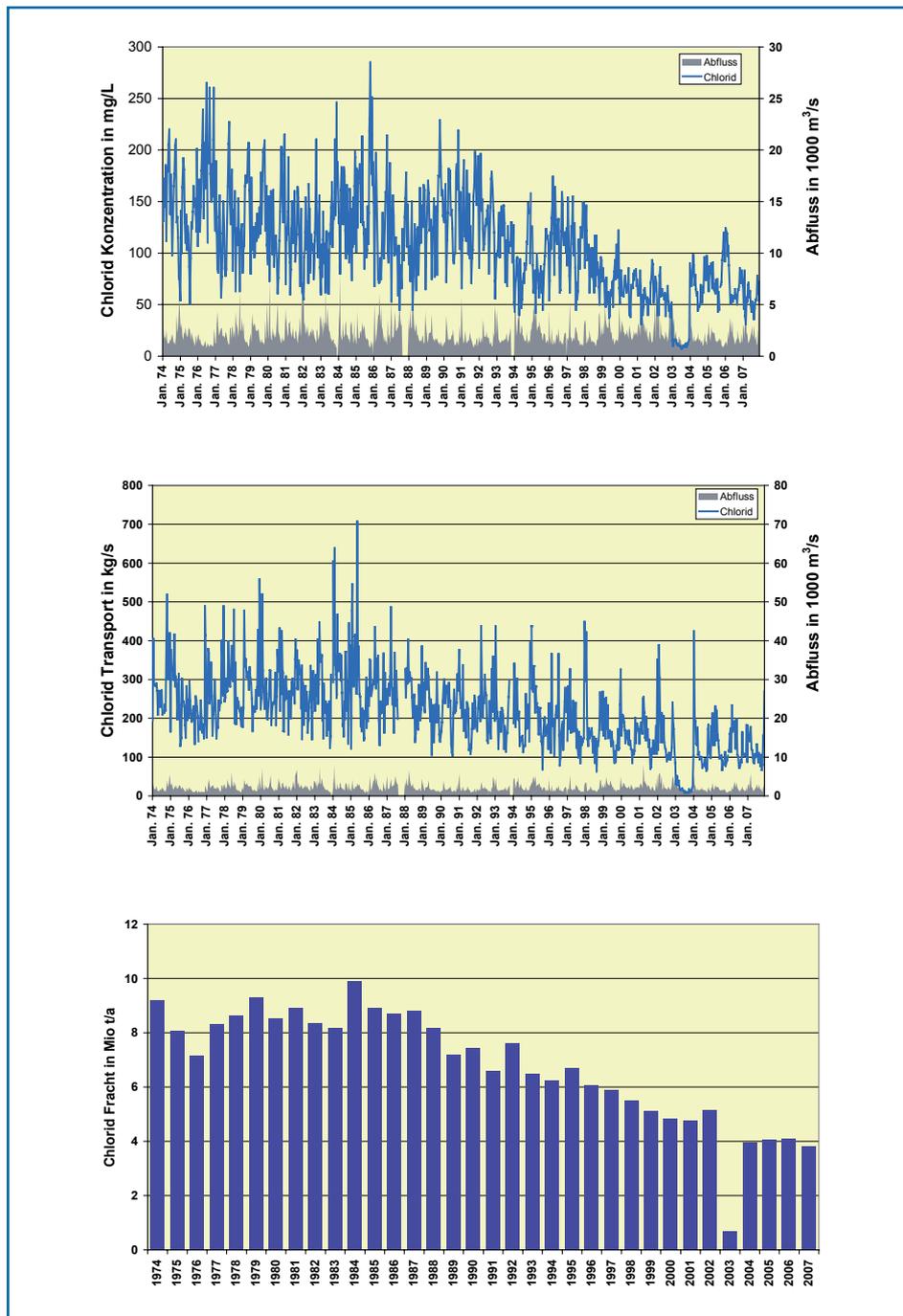
A 24: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Köln



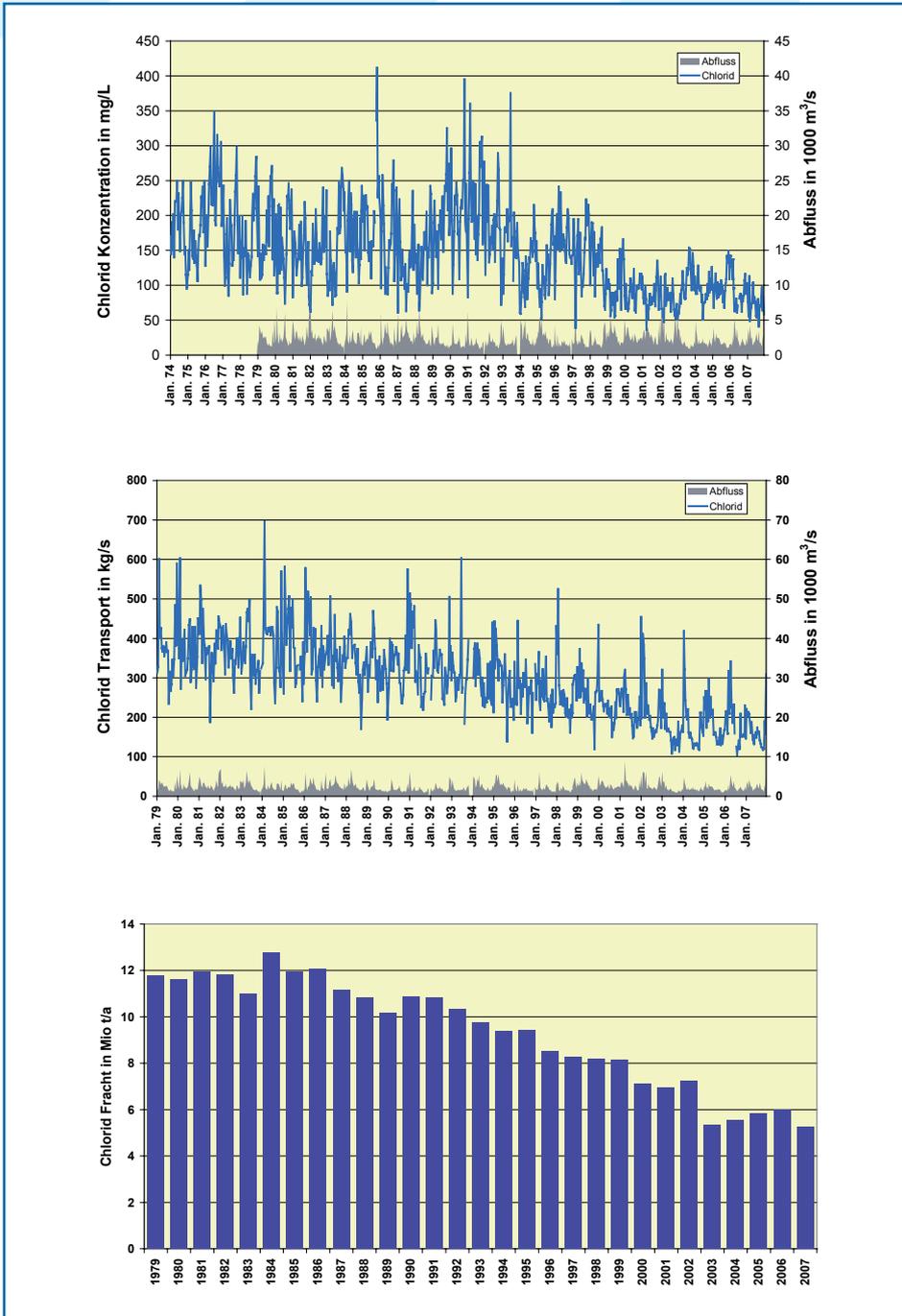
A 25: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Düsseldorf-Flehe



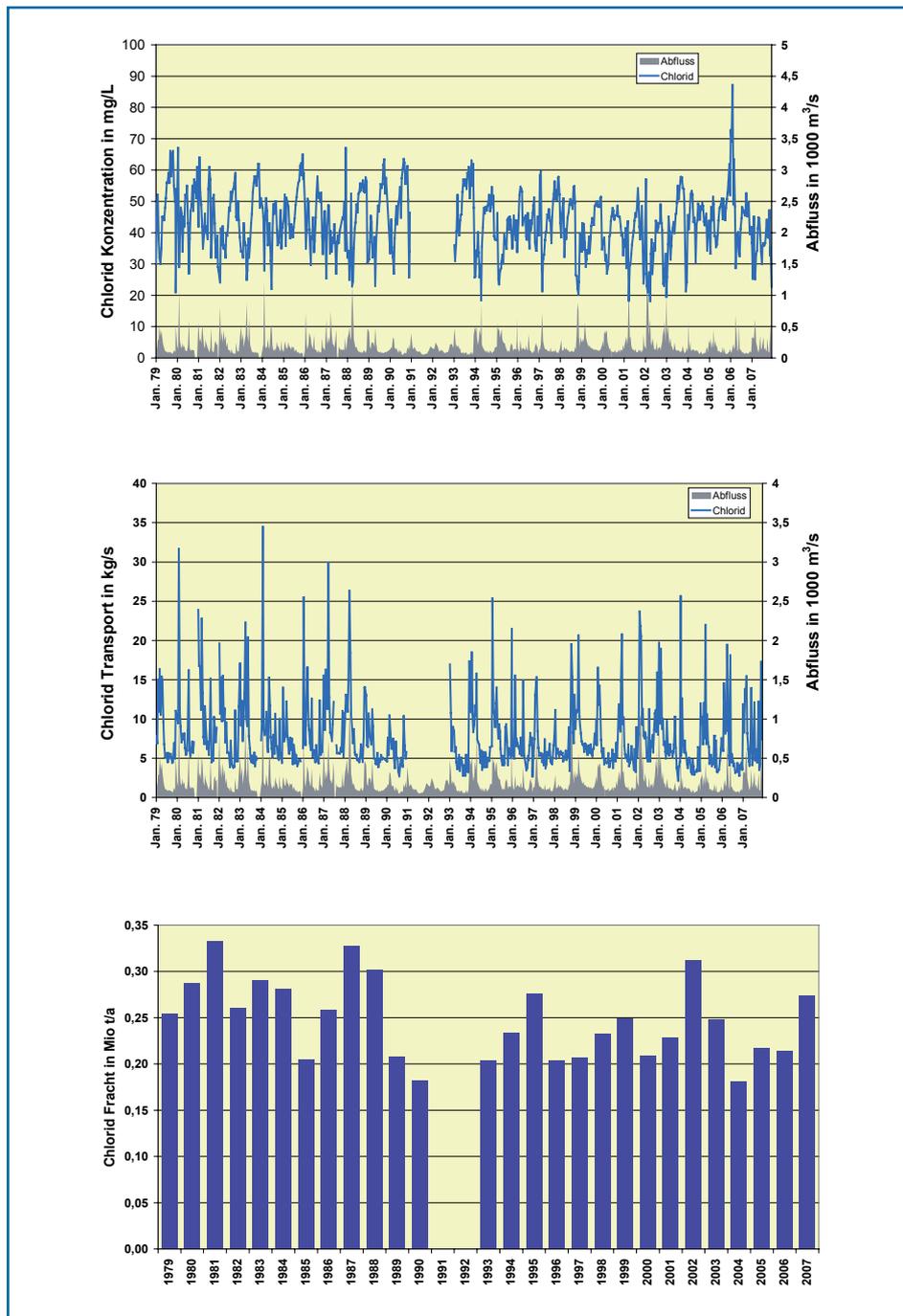
A 26: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Düsseldorf-Benrath



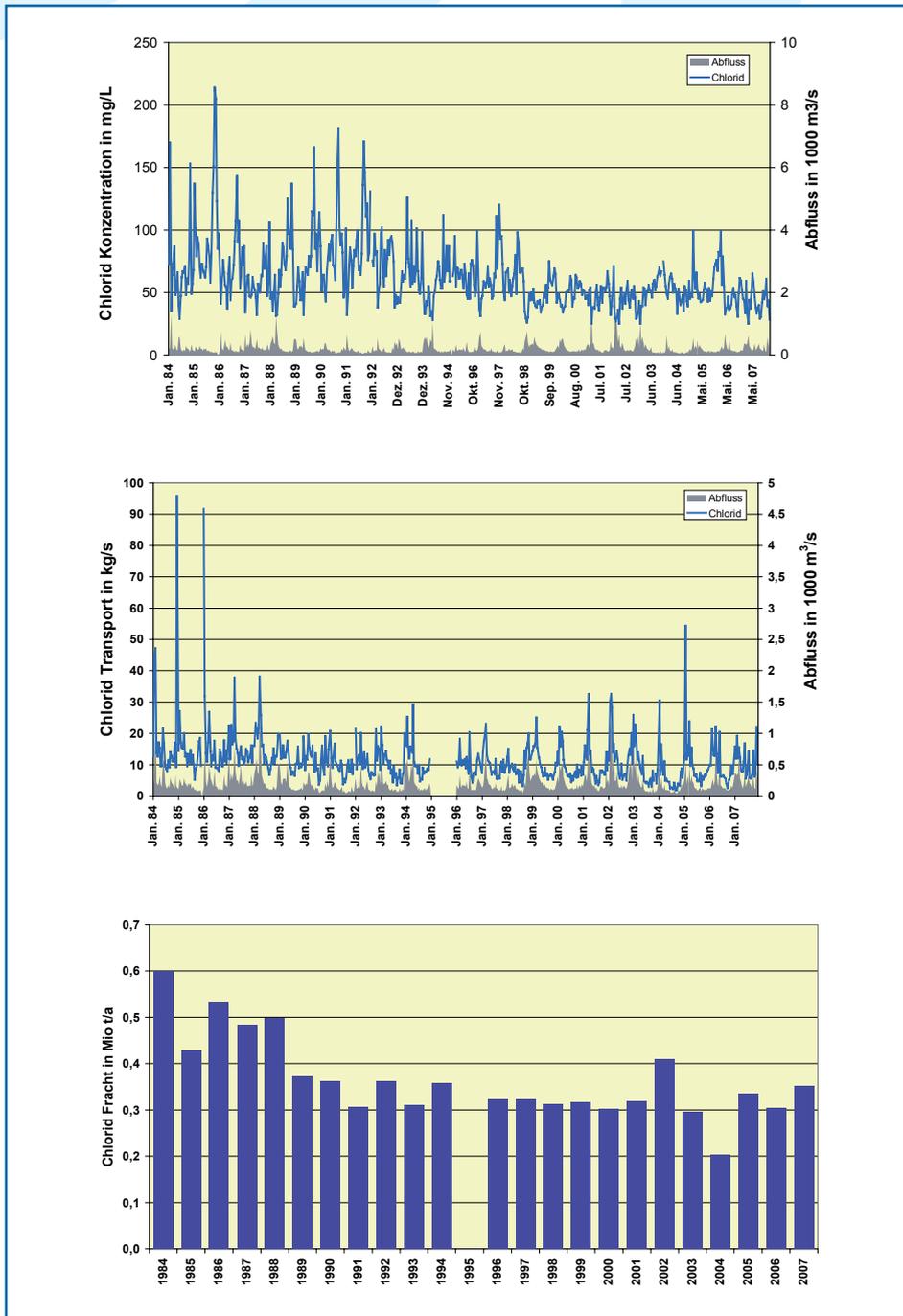
A 27: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Wittlaer



A 28: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Wesel



A 29: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Frankfurt am Main



A 30: Ganglinien der Konzentrationen und des Transports sowie die Fracht von Chlorid bei Mainz-Kastel (Mainfahne)

6.5 Literatur

1. Rheinbericht 1977, ab Seite 28 Das Salz-Problem
IAWR – internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke
2. Salz im Rhein – Rost im Rohr
IAWR – internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke
3. Juristisches um die Salzproblematik aus niederländischer Sicht Walter Jülich
32. AWBR-Jahresbericht 2000, S. 133-142
4. Die Versalzung des Grundwassers im südlichen Elsaß Philippe Elsaß
32. AWBR-Jahresbericht 2000, S. 123-132
5. Zur langjährigen Entwicklung der Neckarwasser-Beschaffenheit
Michael Fleig und Heinz-Jürgen Brauch
34. AWBR-Jahresbericht 2002, S. 87-110
6. Erfassung der Schächte des Kali- und Steinsalzbergbaus in Deutschland
Hartmann Zeibig
Kali und Steinsalz, Verband der Kali und Steinsalzindustrie e.V. (VKS),
Heft 1/2006, ISSN 1614-1210
7. Umweltdaten 2006
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) 2006
8. ... (LAWA Zielwert) ...
9. Aktionsprogramm Mosel-Saar, Bilanz 1990 -1999, Kurzbericht
Internationale Kommission zum Schutze der Mosel und der Saar
10. Stellungnahme des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz vom 14. Oktober 2003
zum Antrag der Electricité de France CNPE Cattenom auf Neuerteilung von Genehmigungen zur
Entnahme von Wasser aus der Mosel sowie zu Ableitungen vom 17. April 2003
11. persönliche Mitteilung von Michel Aguilhaume, BRGM
Directeur interregional Nord Est
Directeur du Service Géologique Régional Lorraine
12. Gewässergüte der Mosel in Rheinland-Pfalz 1964-2000
Landesamt für Wasserwirtschaft, Mainz
13. Richtlinie 2000/60/EG: Internationale Flussgebietseinheit Rhein, Internationales
Bearbeitungsgebiet „Mosel-Saar“, Bestandsaufnahme - Teil B
Hrsg.: Internationale Kommissionen zum Schutze der Mosel und der Saar, Trier
14. persönliche Mitteilung von Philippe Elsass
Directeur Service géologique régional Alsace
15. Rhein-Memorandum 2003 der IAWR
16. Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland
- Chemische Gewässergüteklassifikation. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998)
17. Salzeinleitungen im Elsass: Verhandlungen und Verfahren
RIWA Jahresbericht 1999-2000 Teil A Rhein
Nieuwegein, NL

18. Eignung von Fließgewässern für Trinkwasserversorgung
DVGW-Arbeitsblatt W251 (gültige Version von 08/96)
19. IKONE Integrierende Konzeption Neckar-Einzugsgebiet
Heft 5: Gütezustand der Fließgewässer im Neckar-Einzugsgebiet
Gewässerdirektion Neckar
20. Bestandsaufnahme Niederrhein
Umsetzung der WRRL in der FGE Rhein
Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen (MUNLV)
21. Ein Konzept zur Überwachung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs m Ruhrgebiet
Werner Grigo, Michael Heitfeld, Peter Rosner, Andreas Welz
22. Die EWG und die Versalzung des Rheins
Hans Ulrich Jessurun d'Oliveira
in Rechtsstaat und Menschenwürde, Festschrift für Werner Maihofer, Vittorio Klostermann,
Frankfurt am Main
23. Ergebnisbericht Emscher
Wasserrahmenrichtlinie in NRW - Bestandsaufnahme
24. Ergebnisbericht Lippe
Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme
25. Gewässergütebericht 2000 – 30 Jahre Biologische Gewässergüteüberwachung in Nordrhein-Westfalen
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
26. Gewässergütebericht 2001
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
27. Ergebnisbericht Wupper
Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme
28. Ergebnisbericht Sieg
Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme
29. Ergebnisbericht Emscher
Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme

Colofon

Text: DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW),
Karlsruher Straße 84, 76139 Karlsruhe
Dipl.-Ing. Michael Fleig
Sabine Mertineit
Prof. Heinz-Jürgen Brauch

Publizist: Vereniging van Rivierwaterbedrijven RIWA-Rijn

Gestaltung: Meyson Communicatie, Amsterdam

Druck: ATP Digitale Media

ISBN/EAN: 978-90-6683-130-8

RIWA-Rhein
Groenendael 6
NL - 3439 LV Nieuwegein
T +31 30 – 600 90 30
F +31 30 – 600 90 39
E riwa@riwa.org
W www.riwa.org