

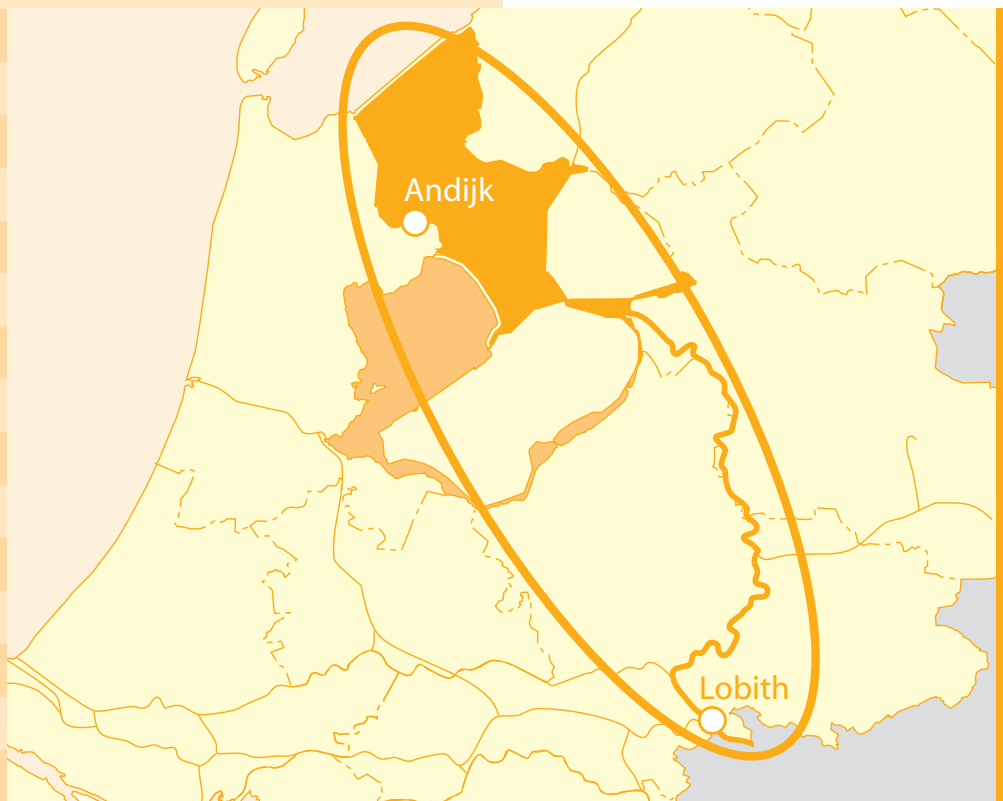
**Historische en toekomstige
ontwikkelingen chloridebelasting
in het traject Lobith tot Andijk**

RIWA
Rijnwaterbedrijven



drs. Paul K. Baggelaar
ir. Eit C.J. van der Meulen

Historische en toekomstige ontwikkelingen chloridebelasting in het traject Lobith tot Andijk



drs. Paul K. Baggelaar
ir. Eit C.J. van der Meulen



INHOUD

Samenvatting	5
Zusammenfassung	9
1 Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Leeswijzer	13
2 Historie chloridebelasting Lobith - Andijk	15
2.1 Ontwikkeling chloridebelasting Rijn bij Lobith	16
2.1.1 Lange-termijn ontwikkeling jaargemiddelde chloridebelasting	16
2.1.2 Ontwikkeling chloridebelasting vanaf 1975	19
2.2 Ontwikkeling chloridebelasting IJssel bij Kampen	24
2.3 Ontwikkeling chlorideconcentratie Ketelmeer bij Ketelmeer-West	28
2.4 Ontwikkeling chlorideconcentratie IJsselmeer bij Vrouwezand	31
2.5 Ontwikkeling chlorideconcentratie IJsselmeer bij Andijk	32
2.6 Vergelijking chloridebelasting meetlocaties	33
2.6.1 Vergelijking chlorideconcentraties meetlocaties	33
2.6.2 Vergelijking temporele trends chloridebelasting meetlocaties	37
2.7 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk	38
3 Chloridebronnen in traject Lobith – Kampen	41
3.1 Chloridebronnen ten oosten van de IJssel	41
3.2 Chloridebronnen ten westen van de IJssel	44
3.3 Synthese	45
3.4 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk	45
4 Chloridehuishouding IJsselmeer	47
4.1 Compartimentering IJsselmeergebied	47
4.2 Enkele kenmerken van het IJsselmeer	47
4.3 Aanvoer- en afvoerpunten IJsselmeer	49
4.3.1 Riviermondingen	50
4.3.2 Sluizen	50
4.3.3 Gemalen	52
4.3.4 Inlaten	56
4.3.5 Neerslag en verdamping	58
4.4 Chloridevrachtbalans IJsselmeer	58
4.5 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk	61

5	Verwachtingen chloridebelasting	63
5.1	Verwachtingen chloridebelasting Rijn tot Lobith	63
5.2	Mogelijke invloeden door klimaatverandering	64
5.2.1	Eerdere studies invloed klimaatverandering op chloride Rijn en IJsselmeer	64
5.2.2	Invloed van klimaatverandering op afvoerregime Rijn	65
5.2.3	Doorvertaling klimaatsinvloed naar chlorideconcentratie bij Lobith	68
5.2.4	Doorvertaling klimaatsinvloed naar chlorideconcentratie bij Andijk	73
5.2.5	Andere klimaatseffecten op chlorideconcentratie IJsselmeer	77
5.3	Beleidsplannen met betrekking tot het IJsselmeergebied	78
5.3.1	Rapport deltacommissie	78
5.3.2	Ontwerp nationaal waterplan en ontwerp beleidsnota IJsselmeergebied	79
5.3.3	Project wetlands IJsselmeergebied	80
5.4	Plannen met betrekking tot de Afsluitdijk	81
5.4.1	Plannen voor vernieuwd gebruik Afsluitdijk	81
5.4.2	Plannen voor uitbreiding spuicapaciteit Afsluitdijk	83
5.5	Plan voor nieuwe bemalingsstrategie Flevopolders	85
5.6	Synthese – netto-verwachtingen chloridebelasting Lobith en Andijk	87
5.6.1	Netto-verwachting chloridebelasting Rijn bij Lobith	87
5.6.2	Netto-verwachting chloridebelasting IJsselmeer bij Andijk	89
5.7	Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk	92
	Geraadpleegde literatuur	94
	Bijlage 1: Toelichting op het programma Trendanalist	97
	Bijlage 2: Water- en chloridevrachtbalans IJsselmeer, 1998 t/m 2004	101
	Bijlage 3: Substitutie maandgemiddelde door meetwaarde	106

Samenvatting

Dit rapport beschrijft een studie naar de historische en toekomstige ontwikkelingen van de chloridebelasting in het traject van Lobith tot Andijk, over Rijn, IJssel en IJsselmeer. Het is een vervolg op een soortgelijke studie naar deze ontwikkelingen in het buitenlandse stroomgebied van de Rijn tot Lobith.

Historische ontwikkelingen

Zowel de chlorideconcentratie als de chloridevracht van de Rijn bij Lobith zijn vanaf het eind van de 19^e eeuw gefaseerd toegenomen tot maximale waarden tussen 1975 en 1985, om daarna weer sterk af te nemen. De afvoer van de Rijn bij Lobith is echter niet veranderd.

Van 1875 t/m 1884 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 19 mg/l. Maar vanaf circa 1885 begint deze gefaseerd toe te nemen. Tot het eind van de 2^e wereldoorlog is er nog slechts een geleidelijke toename tot circa 85 mg/l, samenhangend met de transitie van een hoofdzakelijk agrarische naar een meer geïndustrialiseerde samenleving. Van 1945 tot 1975 à 1985 treden de grootste toenames op, tot circa 180 mg/l, vooral veroorzaakt door de zoutlozingen van de Franse kalimijnen in de Elzas en van de Duitse mijnen en zware industrie in het Ruhrgebied. Vanaf 1985 zet er een daling in, vooral doordat de zoutlozingen door de Franse kalimijnen zijn teruggebracht, in het kader van het Rijn-Zoutverdrag. Over de periode 2000 t/m 2004 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 96 mg/l. In 2007 en 2008 lag de chlorideconcentratie rond de 76 mg/l en de vracht rond de 5,1 miljoen ton/jaar, wat betekent dat we inmiddels zijn teruggekeerd naar het niveau van circa 1950.

Op elk van de beschouwde meetlocaties Lobith, Kampen, Ketelmeer-West, Vrouwezand en Andijk is over de periode 1976 t/m 2008 een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie opgetreden. De grootste daling is opgetreden in de Rijn bij Lobith (-3,2 mg/l per jaar) en de kleinste in het IJsselmeer bij Vrouwezand (-2,6 mg/l). Dit komt doordat het IJsselmeer behalve de Rijn (via de IJssel) ook andere aanvoerbronnen van chloride heeft, zodat een verandering in de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith enigszins gedempt zal doorwerken.

Veranderingen chlorideconcentratie stroomafwaarts

Gaande van Lobith naar Kampen neemt de chlorideconcentratie statistisch significant af. De concentratie van de IJssel bij Kampen was in de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 11 mg/l lager dan die van de Rijn bij Lobith, namelijk 82 mg/l versus 93 mg/l. Dit wordt veroorzaakt door de relatief lage chlorideconcentraties van de waterlopen die uitmonden in de IJssel en de lage chlorideconcentratie van de kwel in het IJsseldal. De rwzi-lozingen op de IJssel met relatief hoge chlorideconcentraties zijn blijkbaar te gering om dat effect teniet te doen.

Overigens is bij enkele van de waterlopen die vanuit het oosten uitmonden in de IJssel een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie opgetreden. Vermoedelijk hangt dit samen met de sedert 1984 genomen maatregelen tegen vermesting. Mogelijk speelt ook een rol dat wegzout steeds efficiënter wordt ingezet.

Gaande van Kampen naar Andijk (en Vrouwezand) neemt de chlorideconcentratie statistisch significant toe. De concentraties van het IJsselmeer bij Andijk en Vrouwezand waren in de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 23 mg/l hoger dan de IJssel bij Kampen, namelijk beide 105 mg/l, versus 82 mg/l bij Kampen. Dit is veroorzaakt door (in volgorde van relevantie): de uitslag van het gemaal Colijn (Flevoland), de aanvoer van water uit het Markermeer, de zoute kwel onder de Afsluitdijk, de uitslagen van de gemalen Buma en Vissering (Noordoostpolder), de uitslag van het gemaal Hoogland (Friesland) en de uitslagen van de gemalen Vier Noorderkoggen, Grootslag (beide West-Friesland) en Lely (Wieringermeer).

Effect afleiding uitslag Wieringermeer naar Waddenzee

Sinds de afleiding van de uitslag van het (door zoute kwel) brakke Wieringermeerwater naar de Waddenzee (eind 1997) loost het gemaal Lely jaarlijks gemiddeld circa 61.000 ton chloride minder naar het IJsselmeer. Met tijdreeksanalyse is geschat dat dit de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk met circa 12 mg/l heeft verlaagd.

Ontwikkelingen en verwachtingen chloridebelasting buitenlandse deel stroomgebied

Voor wat betreft de chloridebelasting in het buitenlandse deel van het stroomgebied van de Rijn zijn er de volgende ontwikkelingen en verwachtingen:

- De toevoer van chloride uit de kalimijnen in de Elzas is sinds 2003 alleen nog indirect, via de stortbergen. Vanaf 2010, als de stortbergen zijn gesaneerd, zal de chloridevracht zich stabiliseren, vermoedelijk op het niveau van 5 à 10 kg/s (0,16 à 0,32 miljoen ton/jaar).
- De geplande afschaffing van de mijnbouw in het Moezel- en Saargebied in 2012, zal de zoutbelasting van het afvalwater van de mijnbouw – deze bedraagt circa 0,2 miljoen ton/jaar - reduceren.
- Aangezien er in 2018 een eind komt aan de subsidie op de winning van steenkool, zullen de mijnbouwactiviteiten in de stroomgebieden van de Emscher en de Lippe onrendabel worden. De totale chloridevracht van deze twee rivieren – circa 0,55 miljoen ton/jaar – zal daardoor afnemen.
- De chloridevracht van de sodaverwerkende industrie in het stroomgebied van de Moezel bij Nancy blijft vermoedelijk doorgaan op het niveau van 1,5 miljoen ton/jaar.
- Van 2011 tot 2021 zal bij Ensisheim (Elzas) door Gaz de France jaarlijks 20 kg/s chloride worden geloosd om vier zoutcavernes voor de opslag van gas te maken.
- In Duitsland zijn tot nu toe slechts ideeën geuit om in Noordrijn-Westfalen zoutcavernes te maken voor de opslag van gas. Er zijn nog geen uitgewerkte plannen op dat gebied.

Verwachte effect klimaatverandering op chlorideconcentratie

Uit modelsimulaties blijkt dat alleen de twee klimaatscenario's die uitgaan van een wijziging in de luchtstromingspatronen (G+ en W+) zullen leiden tot hogere chlorideconcentraties van de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Andijk. De andere twee klimaatscenario's (G en W) zullen daarentegen leiden tot enigszins lagere concentraties. De verwachte ontwikkeling van de chloridebelasting door de Duitse en de Franse puntbronnen is hierbij echter nog niet verdisconteerd. Zie daarvoor verder.

Mogelijke effecten beleidsplannen op chlorideconcentratie

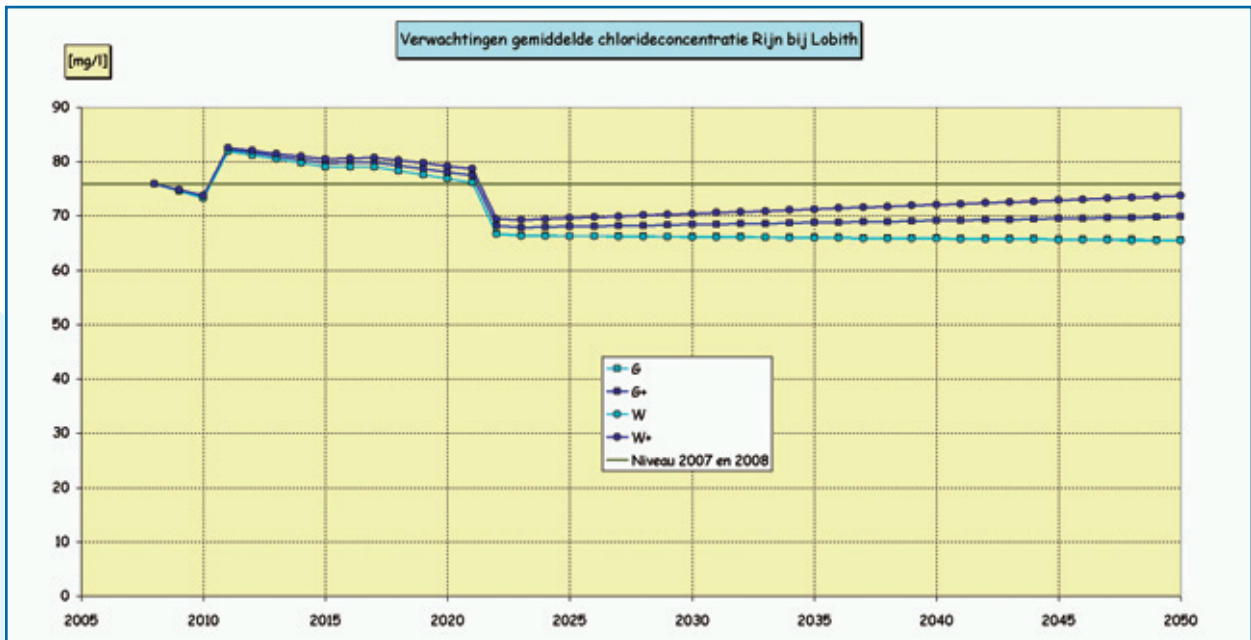
De gevolgen van de in het ontwerp Nationaal Waterplan genoemde maatregelen met betrekking tot het IJsselmeer voor de waterinname bij Andijk zijn nog niet bekend. Het plan ligt vanaf 11 mei 2009 formeel ter inzage voor inspraak. Gezien het grote belang van de waterinname bij Andijk - daarmee worden ruim 1,1 miljoen personen in Noord-Holland voorzien van drinkwater - adviseren wij dat de drinkwatersector tijdig nagaat of het op basis van dit plan nodig is om de belangen op dit punt te behartigen.

De gevolgen van de vier nog in de running zijnde plannen voor een vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk voor de waterinname bij Andijk zijn nog niet doorberekend. Dit terwijl de brakwaterzone, de andere stromingspatronen en de nieuwe spuistrategie relevante consequenties kunnen hebben voor de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk. Er is daarom alle reden voor de drinkwatersector om deze plannen kritisch te blijven volgen en daarbij aan te dringen op betere onderbouwing van de stelling dat de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer niet wordt geschaad.

Volgens berekeningen hebben de plannen voor uitbreiding van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk geen nadelige gevolgen voor de waterinname bij Andijk. Er is daarbij echter nog geen rekening gehouden met de veranderingen in het noordelijk deel van het IJsselmeer die zullen plaatsvinden als één van de plannen voor vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk wordt gerealiseerd.

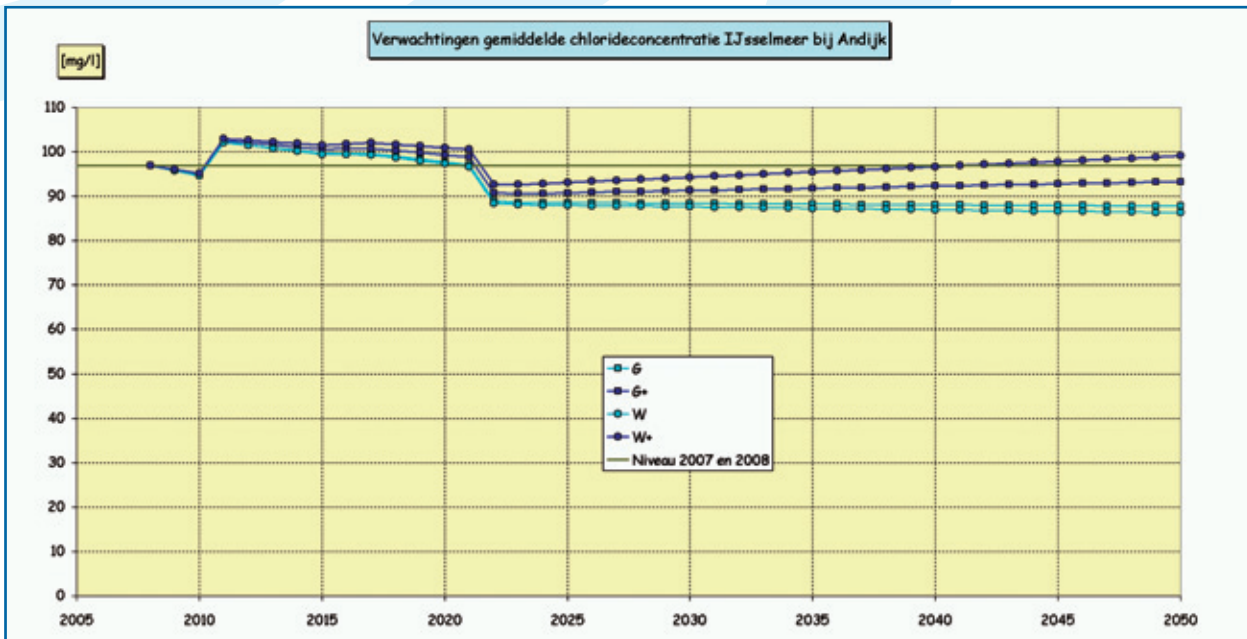
Verwachtingen ontwikkeling chlorideconcentratie tot 2050

Uitgaande van een aantal aannames over de ontwikkeling van de chloridebelasting door de Duitse en de Franse puntbronnen en de resultaten van onze klimaatsimulaties, is in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith te verwachten door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Het betreft echter een beperkte verhoging van maximaal 6 mg/l. Als de zoutcavernes zijn voltooid, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaat-scenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 65 à 70 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de Ausgangssituatie (76 mg/l). Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 70 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze circa 65 mg/l zijn.



Uitgaande van dezelfde aannames, is er voor de Rijn bij Lobith alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) rond 2050 een kans, zij het zeer miniem, op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwater-norm (150 mg/l) toenemen van circa 1% in de Ausgangssituatie naar circa 4% rond 2050. Bij de klimaatscenario's G en W zal de afname van de gemiddelde chlorideconcentratie ook gepaard gaan met een afname van de overschrijdingskans van de drinkwaternorm.

Uitgaande van een aantal aannames is er ook voor de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van hooguit 6 mg/l te verwachten door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Na het voltooiën van de zoutcavernes, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaatscenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 90 à 95 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de uitgangssituatie (97 mg/l). Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 93 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze 85 à 90 mg/l zijn.



Als we van dezelfde aannames uitgaan, is voor het IJsselmeer bij Andijk alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) rond 2050 een niet-verwaarloosbare kans (circa 1%) op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwaternorm (150 mg/l) toenemen van circa 4% in de uitgangssituatie naar circa 9% rond 2050. Bij de klimaatscenario's G en W zal de afname van de gemiddelde chlorideconcentratie ook gepaard gaan met een afname van de overschrijdingskans van de drinkwaternorm.

Resumerend geldt voor beide meetlocaties bij de gehanteerde aannames, dat voor wat betreft het gemiddelde concentratieniveau zelfs het extreemste klimaatseffect wegvalt tegen de effecten van het reduceren van de grote puntbronnen van chloride in het Duitse en Franse deel van het stroomgebied van de Rijn. En voor wat betreft de kansen op normoverschrijding is er alleen bij het extreemste klimaatscenario nog enige, zij het beperkte, verslechtering te verwachten.

Mocht het waterschap Zuiderzeeland haar plannen voor de nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders ten uitvoer brengen, dan zal dit een aanvullende daling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer geven van vermoedelijk 7 à 8 mg/l.

Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt eine Studie bezüglich der historischen und zukünftigen Entwicklungen der Belastung mit Chlorid auf der Strecke von Lobith bis Andijk über den Rhein, die IJssel und das IJsselmeer. Sie stellt die Fortsetzung einer ähnlichen Studie bezüglich dieser Entwicklungen im ausländischen Teil des Rheineinzugsgebiets bis Lobith dar.

Historische Entwicklungen

Sowohl die Chloridkonzentration als auch die Chloridfracht des Rheins bei Lobith haben seit Ende des 19. Jahrhunderts schrittweise zugenommen und erreichten zwischen 1975 und 1985 maximale Werte; danach wurde wieder eine starke Abnahme verzeichnet. Der Abfluss des Rheins bei Lobith hat sich allerdings nicht verändert. Von 1875 bis 1884 beträgt die durchschnittliche Chloridkonzentration 19 mg/l. Aber ab circa 1885 kommt es zu einer schrittweisen Zunahme. Bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs lässt sich eine allmähliche Zunahme bis circa 85 mg/l feststellen, die mit der Umwandlung von einer hauptsächlich agrarischen in eine Industriegesellschaft zusammenhängt. Von 1945 bis 1975 und 1985 treten die größten Zunahmen bis circa 180 mg/l auf, die insbesondere durch die Salzeinleitungen der französischen Kaliminen im Elsass sowie der deutschen Minen und der Schwerindustrie im Ruhrgebiet verursacht werden. Ab 1985 kommt es zu einer Verminderung, die insbesondere auf die Reduzierung der Salzeinleitungen der französischen Kaliminen im Rahmen des Rhein-Salzvertrags zurückzuführen ist. Im Zeitraum 2000 bis 2004 beträgt die durchschnittliche Chloridkonzentration 96 mg/l. Und in den Jahren 2007 und 2008 beläuft sich die Chloridkonzentration auf circa 76 mg/l und die Chloridfracht auf circa 5,1 Millionen Tonnen pro Jahr. Dies bedeutet, dass wir inzwischen wieder ungefähr auf das Niveau des Jahres 1950 zurückgekehrt sind.

An allen betrachteten Messstellen, d.h. Lobith, Kampen, Ketelmeer-West, Vrouwezand und Andijk, ist im Zeitraum 1976 bis 2008 ein statistisch signifikanter Rückgang der Chloridkonzentration aufgetreten. Der größte Rückgang ist im Rhein bei Lobith (-3,2 mg/l pro Jahr) und der kleinste im IJsselmeer bei Vrouwezand (-2,6 mg/l) aufgetreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das IJsselmeer außer dem Rhein (über die IJssel) auch andere Chloridzufuhrquellen hat, sodass eine Veränderung der Chloridkonzentration des Rheins bei Lobith in geringerem Maße fortwirkt.

Veränderungen der Chloridkonzentration stromabwärts

Von Lobith bis Kampen lässt sich eine statistisch signifikante Abnahme der Chloridkonzentration feststellen. Die Konzentration der IJssel bei Kampen war im Zeitraum 1999 bis 2008 durchschnittlich 11 mg/l niedriger als die des Rheins bei Lobith, d.h. 82 mg/l gegenüber 93 mg/l. Dies ist auf die relativ niedrigen Chloridkonzentrationen der in die IJssel mündenden Wasserläufe sowie die niedrige Chloridkonzentration des Sickerwassers im IJsseltal zurückzuführen. Die Einleitungen von Kläranlagen in die IJssel, die relativ hohe Chloridkonzentrationen aufweisen, sind scheinbar zu gering, um diese Wirkung zunichtezumachen.

Übrigens ist bei einigen Wasserläufen, die vom Osten in die IJssel münden, ein statistisch signifikanter Rückgang der Chloridkonzentration aufgetreten. Vermutlich hängt dies mit den im Jahr 1984 getroffenen Maßnahmen gegen Überdüngung zusammen. Möglicherweise spielt auch der stets effizientere Einsatz von Streusalz eine Rolle.

Von Kampen bis Andijk (und Vrouwezand) nimmt die Chloridkonzentration statistisch signifikant zu. Die Konzentrationen des IJsselmeers bei Andijk und Vrouwezand waren im Zeitraum 1999 bis 2008 durchschnittlich 23 mg/l höher als die der IJssel bei Kampen, d.h. ihr Wert lag bei 105 mg/l gegenüber 82 mg/l bei Kampen. Gründe hierfür sind (in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit): das Ausschlagwasser der Pumpstation Colijn

(Flevoland), die Wasserzufuhr aus dem Markermeer, das Salzwasser unter dem Afsluitdijk, das Ausschlagwasser der Pumpstationen Buma und Vissering (Nordostpolder), das Ausschlagwasser der Pumpstation Hoogland (Friesland) und das Ausschlagwasser der Pumpstationen Vier Noorderkoggen, Grootslag (beide West-Friesland) und Lely (Wieringermeer).

Wirkung der Ableitung des Ausschlagwassers des Wieringermeers in die Waddensee

Seit der Ableitung des Ausschlagwassers des (infolge von Salzwassers) brackigen Wieringermeerwassers in die Waddensee (Ende 1997), leitet die Pumpstation Lely jährlich durchschnittlich circa 61.000 Tonnen Chlorid weniger in das IJsselmeer ein. Mithilfe einer Zeitreihenanalyse wurde geschätzt, dass dies zu einer Senkung der Chloridkonzentration des IJsselmeers bei Andijk um circa 12 mg/l geführt hat.

Entwicklungen und Erwartungen bezüglich der Chloridbelastung im ausländischen Teil des Einzugsgebiets

Was die Chloridbelastung im ausländischen Teil des Rheineinzugsgebiets betrifft, gibt es folgende Entwicklungen und Erwartungen:

- Die Chloridzufuhr aus den Kaliminen des Elsass erfolgt seit 2003 nur noch indirekt über die Halden. Ab 2010, nach einer Sanierung der Halden, wird sich die Chloridfracht vermutlich auf einem Niveau von 5 bis 10 kg/s (0,16 bis 0,32 Millionen Tonnen pro Jahr) stabilisieren.
- Die geplante Einstellung des Bergbaus im Mosel- und Saargebiet im Jahr 2012 wird zu einer Reduzierung der Salzbelastung des aus dem Bergbau stammenden Abwassers führen; die Salzbelastung beträgt circa 0,2 Millionen Tonnen pro Jahr.
- Das geplante Ende des subventionierten Steinkohleabbaus im Jahr 2018 sorgt dafür, dass die Förderung in den Einzugsgebieten von Emscher und Lippe unrentabel wird. Die Gesamtchloridfracht dieser beiden Flüsse - circa 0,55 Millionen Tonnen pro Jahr - wird hierdurch abnehmen.
- Die Chloridfracht der Sodaindustrie im Einzugsgebiet der Mosel bei Nancy bleibt vermutlich weiterhin auf dem Niveau von 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr.
- Von 2011 bis 2021 wird Gaz de France bei Ensisheim (Elsass) jährlich 20 kg/s Chlorid einleiten; dies hängt mit der Errichtung von vier Salzkavernen für die Speicherung von Gas zusammen.
- In Deutschland wurden bis jetzt nur Ideen geäußert, um in Nordrhein-Westfalen Salzkavernen für die Speicherung von Gas zu errichten. Noch liegen keine ausgearbeiteten Pläne in diesem Bereich vor.

Erwarteter Effekt des Klimawandels auf die Chloridkonzentration

Aus Modellsimulationen geht hervor, dass nur die beiden Klimaszenarien, die von einer Änderung der Luftströmungsformationen (G+ und W+) ausgehen, zu höheren Chloridkonzentrationen des Rheins bei Lobith und des IJsselmeers bei Andijk führen. Die anderen beiden Klimaszenarien (G und W) führen dahingegen zu etwas niedrigeren Konzentrationen. Die erwartete Entwicklung der Chloridbelastung durch deutsche und französische Punktquellen wurde hierbei noch nicht berücksichtigt. Hierzu finden Sie nachfolgend mehr Informationen.

Mögliche Effekte politischer Maßnahmen auf die Chloridkonzentration

Die Folgen der in dem Entwurf eines nationalen Wasserplans aufgeführten Maßnahmen bezüglich des IJsselmeers für die Wasserentnahme bei Andijk sind noch nicht bekannt. Der Plan liegt seit spätestens 11. Mai 2009 formell zur Einsicht aus, sodass Einspruch dagegen eingelegt werden kann. Angesichts der großen Bedeutung der Wasserentnahme bei Andijk - sie ermöglicht die Trinkwasserversorgung von rund 1,1 Millionen Menschen in Nordholland - empfiehlt es sich, dass der Trinkwassersektor frühzeitig prüft, ob es auf der Grundlage dieses Plans erforderlich ist, sich aktiv mit diesem Punkt zu beschäftigen.

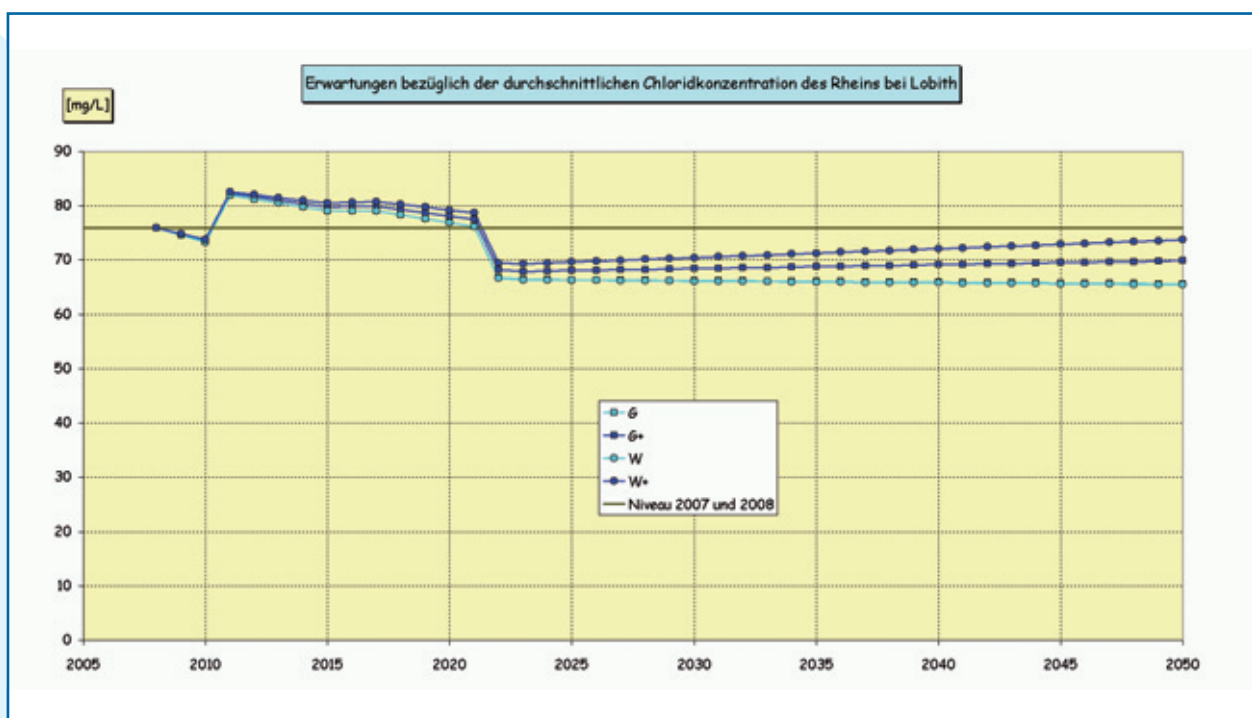
Die Folgen, die die vier möglichen Pläne bezüglich einer neuen Nutzung des Afsluitdijk auf die Wasserentnahme bei Andijk haben, wurden noch nicht berechnet, obgleich die Brackwasserzone, die anderen Strömungsbilder und die neue Entwässerungsstrategie wichtige Konsequenzen für die Chloridbelastung des IJsselmeers bei Andijk haben können. Der Trinkwassersektor hat deshalb auch allen Grund, diese Pläne weiterhin kritisch zu

verfolgen und dabei auf eine bessere Untermauerung der These zu drängen, wonach die Süßwasserfunktion des IJsselmeers nicht beeinträchtigt wird.

Berechnungen zufolge haben die Pläne bezüglich der Erweiterung der Entwässerungskapazität des Afsluitdijk keine nachteiligen Folgen für die Wasserentnahme bei Andijk. Hierbei wurden allerdings noch nicht die Veränderungen im nördlichen Teil des IJsselmeers berücksichtigt, die die Verwirklichung eines der Pläne bezüglich der neuen Nutzung des Afsluitdijk mit sich bringt.

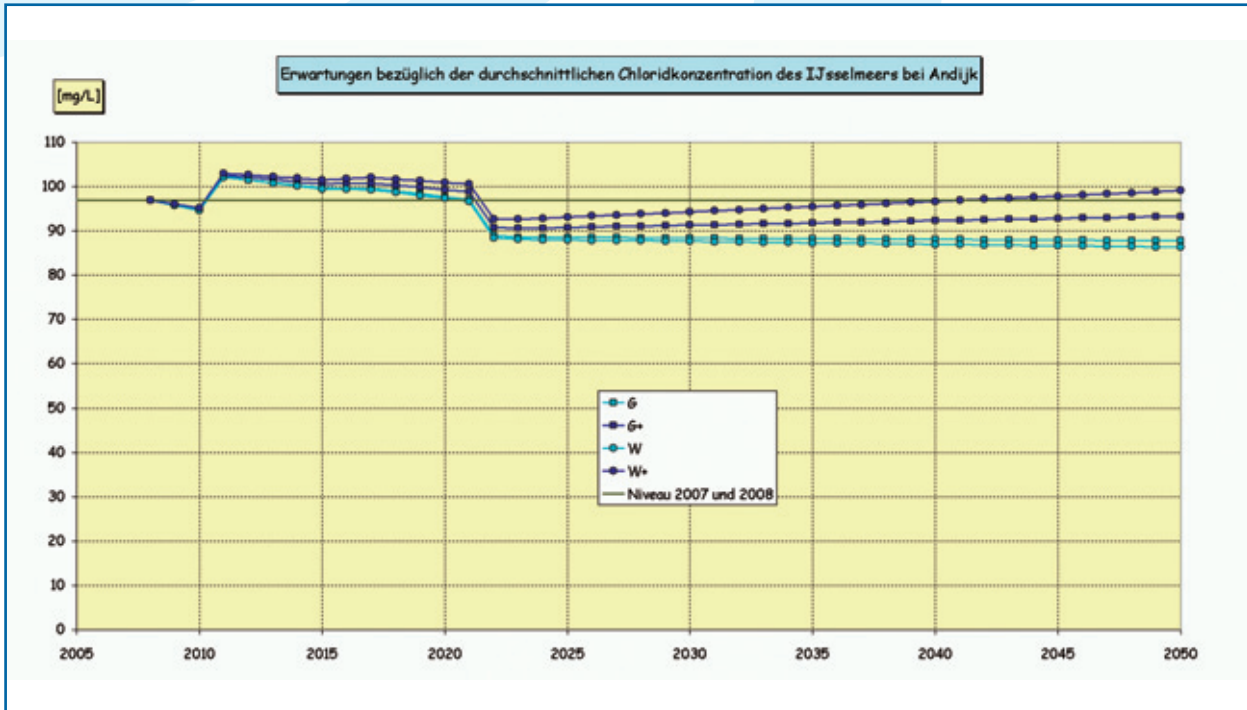
Erwartungen bezüglich der Entwicklung der Chloridkonzentration bis 2050

Ausgehend von einer Anzahl Annahmen bezüglich der Entwicklung der Chloridbelastung aufgrund deutscher und französischer Punktquellen und den Ergebnissen unserer Klimasimulationen, ist für den Zeitraum 2011 – 2021 ein vorübergehender Anstieg der Chloridkonzentration des Rheins bei Lobith infolge der Errichtung der Salzkavernen im Elsass zu erwarten. Es betrifft hierbei aber einen begrenzten Anstieg von maximal 6 mg/l. Nach Fertigstellung der Salzkavernen wird die Konzentration, abhängig von dem jeweiligen Klimaszenarium, um 5 bis 10 mg/l auf 65 bis 70 mg/l sinken. Nur bei dem Klimaszenarium W+ erreicht die Konzentration ungefähr im Jahr 2050 wieder das Niveau der Ausgangssituation (76 mg/l). Bei dem Szenarium G+ wird die Konzentration dann etwas niedriger ausfallen, d.h. circa 70 mg/l, und bei den Szenarien G und W wird sie circa 65 mg/l betragen.



Ausgehend von denselben Annahmen besteht für den Rhein bei Lobith nur bei dem extremsten Klimaszenarium (W+) rund 2050 die - sehr geringe - Wahrscheinlichkeit, dass die AMvB-Norm bezüglich der Wasserentnahme (200 mg/l) überschritten wird. Ferner steigt bei dem extremen Szenarium die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Trinkwassernorm (150 mg/l) von circa 1% in der Ausgangssituation auf circa 4% rund 2050 an. Bei den Klimaszenarien G und W geht die Abnahme der durchschnittlichen Chloridkonzentration auch mit einer Abnahme der Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Trinkwassernorm einher.

Ausgehend von einer Anzahl Annahmen ist auch für die Chloridkonzentration des IJsselmeers bei Andijk im Zeitraum 2011 – 2021 aufgrund der Errichtung der Salzkavernen im Elsass ein vorübergehender Anstieg von maximal 6 mg/l zu erwarten. Nach Fertigstellung der Salzkavernen wird die Konzentration, abhängig von dem jeweiligen Klimaszenarium, um 5 bis 10 mg/l auf 90 bis 95 mg/l sinken. Nur bei dem Klimaszenarium W+ erreicht die Konzentration ungefähr im Jahr 2050 wieder das Niveau der Ausgangssituation (97 mg/l). Bei dem Szenarium G+ wird die Konzentration dann etwas niedriger ausfallen, d.h. circa 93 mg/l, und bei den Szenarien G und W beträgt sie 85 bis 90 mg/l.



Ausgehend von denselben Annahmen besteht für das IJsselmeer bei Andijk nur bei dem extremsten Klimaszenarium (W+) rund 2050 die nicht unerhebliche Wahrscheinlichkeit (circa 1%) einer Überschreitung der AMvB-Norm bezüglich der Wasserentnahme (200 mg/l). Ferner steigt bei dem extremen Szenarium die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Trinkwassernorm (150 mg/l) von circa 4% in der Ausgangssituation auf circa 9% rund 2050 an. Bei den Klimaszenarien G und W geht die Abnahme der durchschnittlichen Chloridkonzentration mit einer Abnahme der Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Trinkwassernorm einher.

Zusammenfassend gilt für beide Messstellen auf der Grundlage der verwendeten Annahmen, dass in Bezug auf das durchschnittliche Konzentrationsniveau sogar der extremste Klimaeffekt im Vergleich zu den Folgen einer Reduzierung der größten Punktquellen von Chlorid im deutschen und französischen Rheineinzugsgebiet unerheblich ist. Und was die Wahrscheinlichkeit von Normüberschreitungen betrifft, ist nur bei dem extremsten Klimaszenarium eine gewisse, wenn auch begrenzte, Verschlechterung zu erwarten.

Sollte die Wasserbehörde Zuiderzeeland ihre Pläne für die neue Entwässerungsstrategie der Flevopolder verwirklichen, führt dies zu einem zusätzlichen Rückgang der Chloridkonzentration des IJsselmeers von vermutlich 7 bis 8 mg/l.

Dit rapport beschrijft aanpak en bevindingen van een studie naar de historische en toekomstige ontwikkelingen van de chloridebelasting in het traject van Lobith tot Andijk, over Rijn, IJssel en IJsselmeer. De studie is uitgevoerd in opdracht van RIWA-Rijn.

1.1 Probleemstelling

De Rijn is 1.324 km lang en het stroomgebied van 198.735 km² herbergt circa 50 miljoen inwoners, waarvan ongeveer 20 miljoen aangewezen zijn op het Rijnwater voor hun drinkwatervoorziening [RIWA/TZW (Technologie Zentrum Wasser; Karlsruhe), 2008]. De laatste honderd jaar is de chloridebelasting van de Rijn sterk toegenomen, met nadelige gevolgen voor bepaalde gebruikers van Rijnwater, zoals drinkwaterbedrijven en tuinders. Onlangs is in opdracht van RIWA-Rijn en mede op verzoek van PWN een onderzoek uitgevoerd naar de historische en toekomstige ontwikkelingen van de chloridebelasting in het buitenlandse deel van het stroomgebied van de Rijn [RIWA/TZW, 2008]. In het verlengde hiervan wil RIWA-Rijn de ontwikkeling van de chloridebelasting in het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Rijn onderzoeken.

Voor het Nederlandse deel van het Rijn-stroomgebied is niet dezelfde onderzoeks aanpak mogelijk die TZW hanteerde voor het buitenlandse deel, aangezien de Rijn in Nederland grotendeels divergeert, terwijl deze daarvóór grotendeels convergeert. De chloridevracht van de Rijn wordt in Nederland verdeeld over de Waal (die overgaat in de Merwede), de Nederrijn (die overgaat in de Lek) en de IJssel (die uitmondt in het IJsselmeer). Op verzoek van RIWA-Rijn zijn wij gestart met een studie naar de ontwikkeling van de chloridebelasting in het traject van Lobith tot Andijk, mede gezien de grote betekenis van het innamepunt bij Andijk voor de drinkwatervoorziening van het westelijke deel van Nederland. Er zijn namelijk ruim 1,1 miljoen Nederlanders die voorzien worden van drinkwater dat is bereid uit IJsselmeerwater. Dit rapport beschrijft aanpak en bevindingen van die studie.

De hoofdrichtingen van deze studie zijn aangegeven door Peter Stoks (RIWA-Rijn) en Jos Dekker (PWN). Verder zijn adviezen verleend en is geassisteerd bij het verzamelen van de (vele) meetgegevens door Gerrit van de Haar en Aart Smits (beiden RIWA-Rijn).

1.2 Leeswijzer

Na deze inleiding beschrijft hoofdstuk 2 de historische ontwikkeling van de chloridebelasting in het traject Lobith – Andijk. In hoofdstuk 3 inventariseren we relevante chloridebronnen in het traject Lobith – Kampen. Hoofdstuk 4 beschouwt de chloridehuishouding van het IJsselmeer. Tenslotte schetst hoofdstuk 5 mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de chloridebelasting bij Lobith en bij Andijk. Het hoofddeel van dit rapport sluit af met een alfabetisch gerangschikte lijst van de geraadpleegde literatuur.

Dit rapport bevat 3 bijlagen. Bijlage 1 geeft een toelichting op het voor de trendanalyses gebruikte programma *Trendanalist*. Bijlage 2 vermeldt de jaarlijkse waterbalans en chloridevrachtbalans van het IJsselmeer, voor de periode 1998 t/m 2004. Bijlage 3 licht toe hoe bij het simuleren van de klimaatsinvloed op de chlorideconcentratie een gesimuleerd maandgemiddelde is vervangen door een gesimuleerde meetwaarde (deze simulaties zijn beschreven in § 5.2).



Historie chloridebelasting Lobith - Andijk

Dit hoofdstuk beschouwt de historische ontwikkeling van de chloridebelasting in het traject Lobith – Andijk. Eerst bespreken we de ontwikkelingen voor de meetlocaties weergegeven in figuur 2.1, namelijk van de Rijn bij Lobith (§ 2.1), de IJssel bij Kampen (§ 2.2), het Ketelmeer bij Ketelmeer-West (§ 2.3), het IJsselmeer bij Vrouwezand (§ 2.4) en het IJsselmeer bij Andijk (§ 2.5). Vervolgens vergelijken we de chloridebelastingen van de meetlocaties om na te gaan hoe de chloridebelasting zich stroomafwaarts ontwikkelt (§ 2.6). Dit hoofdstuk sluit af met samenvattende conclusies (§ 2.7).



Figuur 2.1: Ligging van de vijf in dit hoofdstuk beschouwde meetlocaties.

2.1 Ontwikkeling chloridebelasting Rijn bij Lobith

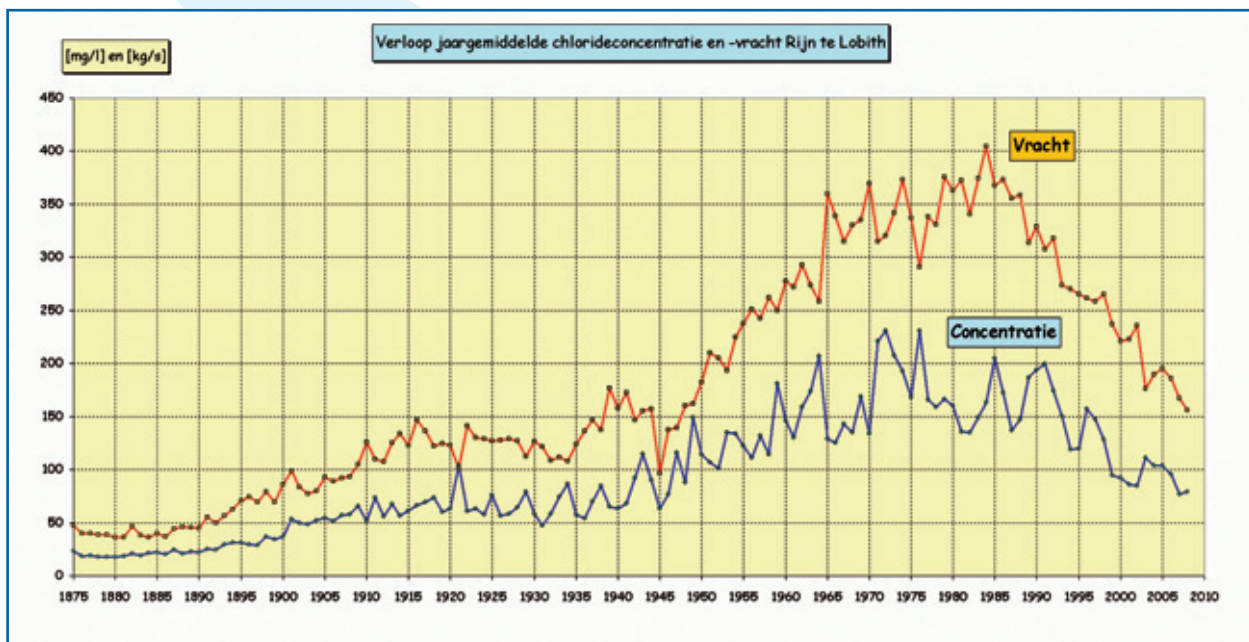
2.1.1 Lange-termijn ontwikkeling jaargemiddelde chloridebelasting

Vaak wordt beweerd dat de Rijn de Duits-Nederlandse grens bij Lobith passeert, maar dit gebeurt bij Spijk, een klein dorp met circa 800 inwoners, dat 3 km ten zuidoosten van Lobith ligt. Aan oude beddingen is te zien dat de Rijn vroeger wél bij Lobith ons land binnenkwam. Zo werd er in 1306 bijvoorbeeld nog een tolstation gevestigd [Alberts, 1986]. De Rijn liep toen in de bedding van wat nu de Oude Rijn wordt genoemd, maar aan het einde van de 18^e eeuw werd deze scherpe meander afgestoken door het graven van het Bijlandsch kanaal. In feite ligt Lobith daardoor nu niet meer aan de Rijn, maar wordt daarvan gescheiden door het net ten zuidwesten daarvan gelegen dorp Tolkamer, dat net als Lobith en Spijk deel uitmaakt van de gemeente Rijnwaarden. Deze gemeente wordt door de inwoners ook wel aangeduid als ‘Gelders eiland’, wat al aangeeft dat het een waterrijk gebied is.

Chlorideconcentratie en -vracht

Bij Lobith / Tolkamer bevindt zich een ponton waar de afvoer en de kwaliteit van de Rijn wordt gemonitord door Rijkswaterstaat. De RIWA beschikt over de jaargemiddelden van de chlorideconcentratie en –vracht van de Rijn bij Lobith over de periode 1875 t/m 2008 (zie figuur 2.2).

Deze reeksen, die behoren tot de kleine groep van zeer lange Nederlandse milieureeksen, bevatten een schat aan informatie over de invloeden die hebben gespeeld op de chloridebelasting van de Rijn.



Figuur 2.2: Verloop jaargemiddelden chlorideconcentratie en –vracht van de Rijn bij Lobith over de periode 1875 t/m 2008. Afkomstig van RIWA (verzameld uit verschillende bronnen).

We zien in figuur 2.2 dat zowel de chlorideconcentratie als de chloridevracht vanaf 1875 gefaseerd zijn toegenomen tot maximale waarden tussen 1975 en 1985, om daarna weer sterk af te nemen (zie ook tabel 2.1). De afvoer van de Rijn bij Lobith is echter niet veranderd (zie verder).

Over de eerste periode, die loopt van 1875 t/m 1884, bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 19 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 40 kg/s (1,26 miljoen ton/jaar). We mogen veronderstellen dat deze waarden nog slechts beperkt verhoogd zijn door antropogene invloeden en daarom min of meer de natuurlijke gemiddelden zullen benaderen. Maar vanaf circa 1885 beginnen de chlorideconcentratie en de chloridevracht geleidelijk toe te nemen. Dit gebeurt in twee fasen:

1. De eerste fase, die loopt tot het eind van de 2^e wereldoorlog kent over het algemeen nog slechts geleidelijke toenames van beide grootheden. Volgens [De Bruijn en Van Mazijk, 2003] hangt dit samen met de transitie van een hoofdzakelijk agrarische naar een meer geïndustrialiseerde samenleving. Daarbij is de achtergrondbelasting toegenomen door industrieën, afvalwaterlozingen, scheepvaartlozingen en bemesting. Vanaf circa 1910 wordt ook gestart met zoutlozingen van de Franse kalimijnen in de zuidelijke Elzas, bij Mulhouse.¹ Tijdens de 1e en de 2e wereldoorlog en de daartussen liggende recessie trad nog wel een stabilisatie of zelfs geringe afname van de chloridebelasting op. Over de periode 1940 t/m 1944 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 86 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 158 kg/s (4,98 miljoen ton/jaar).
2. In de tweede fase, die loopt van 1945 tot 1975 à 1985 treden de grootste toenames op. Deze zullen vooral veroorzaakt zijn door de zoutlozingen van de Franse kalimijnen in de Elzas en van de Duitse mijnen en zware industrie in het Ruhrgebied. Over de periode 1975 t/m 1979 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 178 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 335 kg/s (10,55 miljoen ton/jaar).

Na 1985 beginnen de concentratie en de vracht echter weer duidelijk af te nemen. Over de periode 2000 t/m 2004 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 96 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 209 kg/s (6,59 miljoen ton/jaar). In 2007 en 2008 lag de chlorideconcentratie rond de 76 mg/l en de vracht rond de 5,1 miljoen ton/jaar, wat betekent dat we inmiddels zijn teruggekeerd naar het niveau van circa 1950.

Periode	Concentratie [mg/l]	Vracht	
		[kg/s]	[miljn ton/jaar]
1875 t/m 1884	19	40	1.26
1940 t/m 1944	86	158	4.98
1975 t/m 1979	178	335	10.55
2000 t/m 2004	96	209	6.59

Tabel 2.1: Gemiddelden van de chlorideconcentratie en de chloridevracht over bepaalde perioden.

Uit het eerder aangehaalde onderzoek naar de chloridebelasting in het Duitse deel van het stroomgebied van de Rijn bleek dat de afname van de laatste decennia vooral is terug te voeren op gebeurtenissen in het Duitse deel van de Bovenrijn [RIWA/TZW, 2008]. De bijdrage van dit Rijnsegment, dat loopt van Basel tot Mainz, is fors teruggelopen van circa 7 miljoen ton chloride per jaar in 1981 tot circa 1,1 miljoen ton/jaar in 2007. De forse afname komt vooral doordat de zoutlozingen door de Franse kalimijnen zijn teruggebracht, in het kader van het Rijn-Zoutverdrag (zie onderstaand tekstkader). In 2003 is de laatste kalimijn bij Mulhouse gesloten, zodat er sindsdien geen directe instroom meer is van natriumchloride. Er zijn echter nog wel stortbergen van waaruit chloride wordt gedistribueerd. In 2009 zullen de saneringswerkzaamheden aan deze stortbergen worden afgerond, zodat vanaf 2010 de chloridevracht van deze mijnen zich zal stabiliseren [RIWA/TZW, 2008]. Deze zal dan vermoedelijk nog maar 5 à 10 kg/s bedragen (0,16 à 0,32 miljoen ton/jaar).²

¹ In deze mijnen werd uit sylviniet kaliumchloride gewonnen, waarbij echter ook grote hoeveelheden natriumchloride vrijkomen, die op de Rijn werden geloosd.

² Mondelinge mededeling van Dipl.-Ing. Michael Fleig van TZW (30 april 2009).

Het internationale Rijn-Zoutverdrag

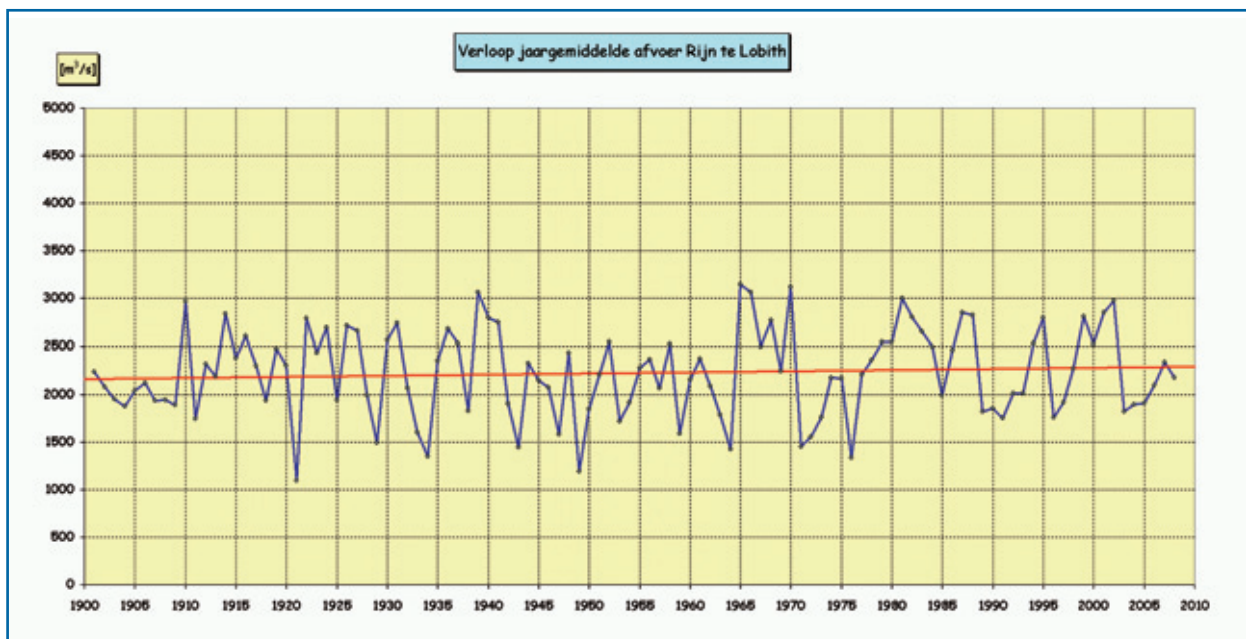
Om het relatief hoge zoutgehalte van de Rijn – en daarmee ook het IJsselmeer – te verlagen, is op 3 december 1976 het internationale Rijn-Zoutverdrag gesloten tussen Frankrijk, Duitsland, Zwitserland, Luxemburg en Nederland. Als onderdeel daarvan heeft Frankrijk zich verplicht de lozing van zout uit de Elzasser kalimijnen op de Rijn gefaseerd te verminderen, door zout in de bodem op te slaan. De in deze kalimijnen gewonnen mineralen komen in een gemiddelde verhouding van 25% kali, 70% zout en 5% dolomiet aan de oppervlakte. Via een proces van fabrieksmatige zuivering worden de bestanddelen zout en dolomiet geïsoleerd van de kalimestoffen en vervolgens grotendeels als afvalstoffen geloosd op de Rijn.

Door politieke en juridische manoeuvres van Frankrijk is de eerste fase van de zoutopslag echter pas vanaf 5 januari 1987 uitgevoerd. Daarbij werd de zoutlozing door opslag verminderd met 20 kg/s, wat neerkomt op circa 6% van de toenmalige Rijnzoutlast. Vooral door toedoen van de toenmalige Nederlandse minister van Verkeer en Waterstaat is de uitvoering van de tweede fase, waarin een verdere reductie van de Franse lozing met 40 kg/s was voorzien, echter voor onbepaalde tijd opgeschort.

Op 25 september 1991 ondertekenden de betrokken Rijnsoeverstaten het Aanvullend Protocol van het Rijn-Zoutverdrag, dat ondermeer Frankrijk verplicht zijn zoutlozingen te moduleren, zodra het chloridegehalte van de Rijn bij Lobith boven de 200 mg/l uitkomt en dit op basis van voorspelde afvoercijfers vermoedelijk gedurende vier dagen het geval zal blijven (het zogenaamde ‘pekscheren’). Het protocol is in het voorjaar van 1993 geratificeerd door Frankrijk, dat terzelfdertijd ook nieuwe mogelijkheden tot zoutopslag in gebruik nam. Het trad officieel in werking op 1 november 1994, maar al vanaf eind maart 1993 hield Frankrijk zich aan de daarin vervatte afspraken.

Afvoer van de Rijn bij Lobith

De RIWA beschikt tevens over de jaargemiddelden van de afvoer van de Rijn bij Lobith, over de periode 1901 t/m 2008 (zie figuur 2.3).

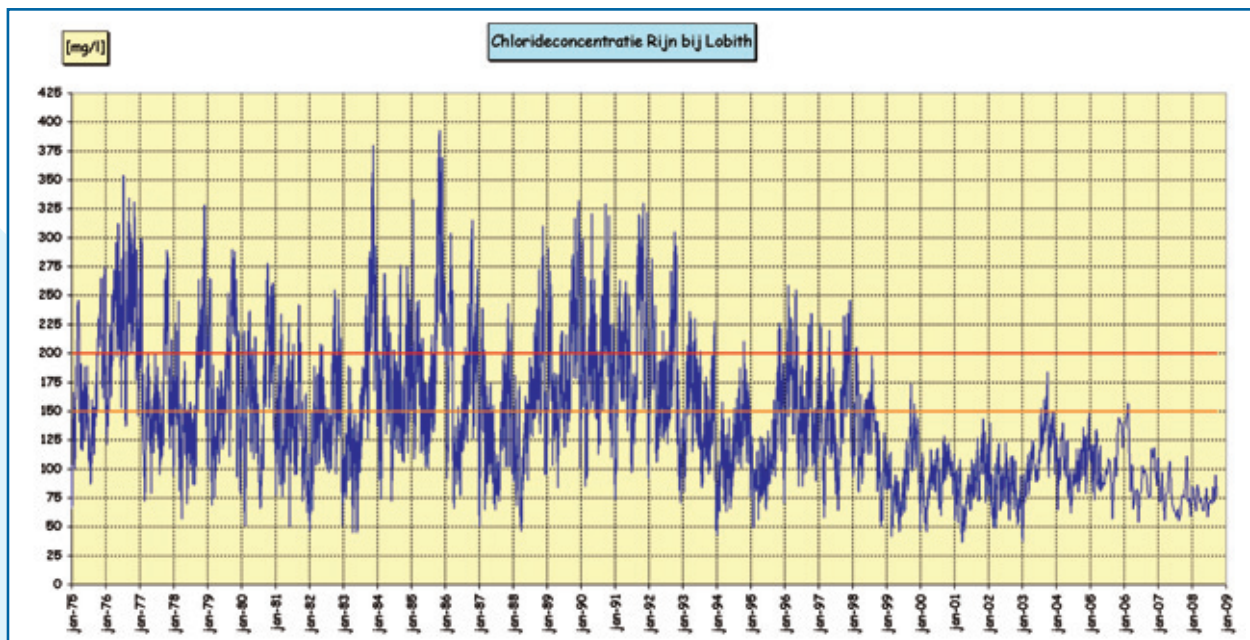


Figuur 2.3: Verloop jaargemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith over de periode 1901 t/m 2008. De rode lijn is het lineaire regressie-model dat de relatie van de afvoer en het jaar beschrijft. Deze relatie is niet statistisch significant. We kunnen daarom met 95% betrouwbaarheid concluderen dat de afvoer over deze periode geen trend vertoont.

Met lineaire regressieanalyse schatten we de verandering van de jaargemiddelde afvoer op $+1,17 \text{ m}^3/\text{s}$ per jaar. Aangezien de residuën van dit lineaire regressiemodel voldoen aan een normale kansverdeling³ en ook geen autocorrelatie vertonen⁴, kunnen we toetsen op statistische significantie van de geschatte verandering van de afvoer. Deze bleek daarbij echter niet statistisch significant (p -waarde⁵ = 0,41), zodat we concluderen dat de Rijnafvoer bij Lobith over de periode 1901 t/m 2008 geen trend vertoont.

2.1.2 Ontwikkeling chloridebelasting vanaf 1975

RIWA beschikt ook over een hoogfrequentere meetreeks van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith, zij het slechts over de laatste drie decennia. Figuur 2.4 toont de meetreeks van januari 1975 t/m september 2008. Tot begin mei 2005 werd doorgaans eens per dag gemeten, maar daarna is de meetfrequentie teruggebracht tot eens per 14 dagen.



Figuur 2.4: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith over de periode januari 1975 t/m september 2008. De bovenste horizontale lijn is de AMvB-norm voor drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater (200 mg/l) en de onderste horizontale lijn is de drinkwaternorm (150 mg/l).

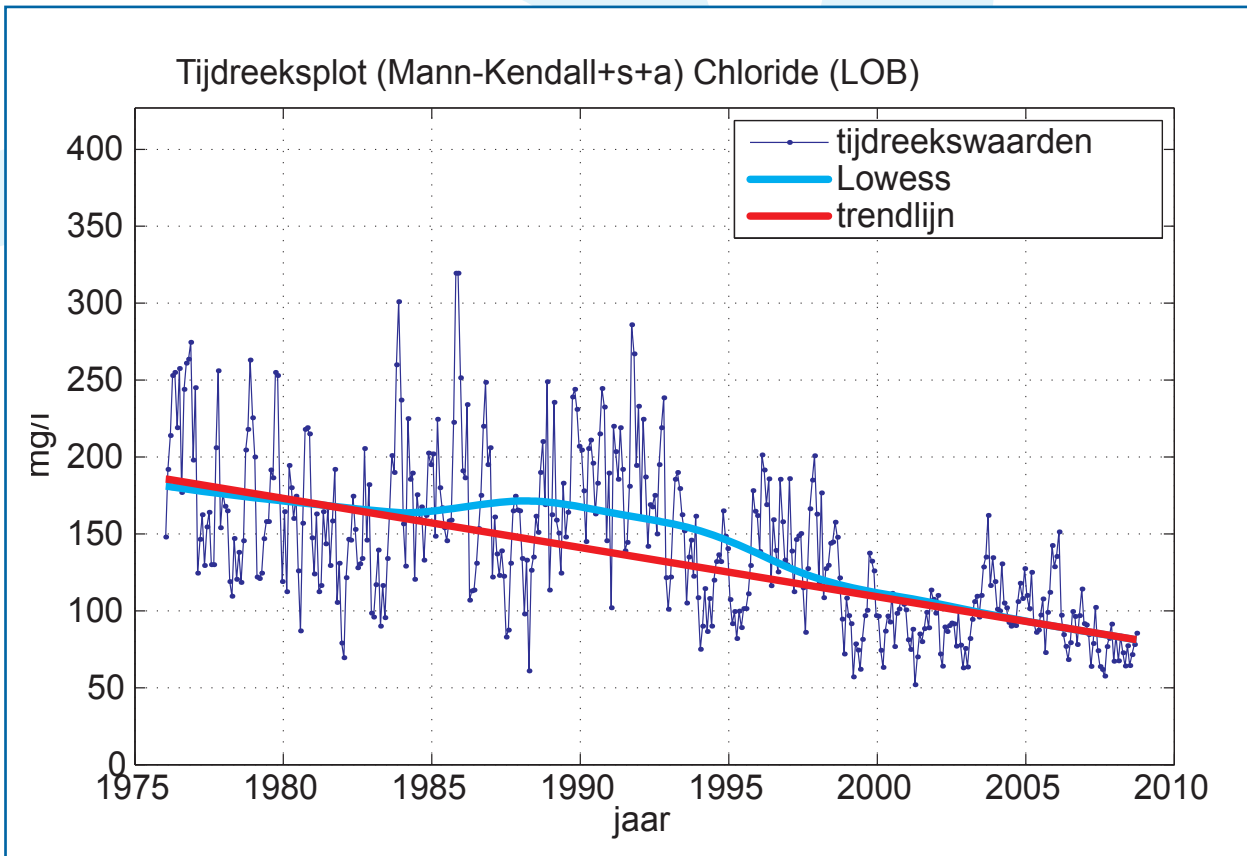
Uit bovenstaande figuur blijkt dat tot begin 1998 de AMvB-norm voor inname (200 mg/l) regelmatig werd overschreden, daarna is dat echter niet meer gebeurd. In het droge jaar 2003 bedroeg het maximum 184 mg/l. Vanaf begin 2006 is de drinkwaternorm (150 mg/l) niet meer overschreden. Vanaf 1999 is er sprake van enige stabilisering van de chlorideconcentratie.

³ Volgens de Kolmogorov-Smirnov-toets met Lilliefors-correctie.

⁴ Volgens de Portmanteau-toets.

⁵ De p -waarde is een maat voor de aannemelijkheid van de nulhypothese. In dit geval luidt de nulhypothese dat de werkelijke verandering van de jaargemiddelde afvoer $0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{jaar}$ bedraagt ("er is geen trend"). Als de p -waarde kleiner is dan 0,05 kunnen we de nulhypothese met 95% betrouwbaarheid verwerpen.

Figuur 2.5 toont de trendplot van de chlorideconcentratie vanaf 1976.⁶ Er blijkt sprake van een statistisch significante trend van $-3,2$ mg/l per jaar.



Figuur 2.5: Trendplot van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn. Het betreft uitvoer van het programma Trendanalist (zie de toelichting in bijlage 1).

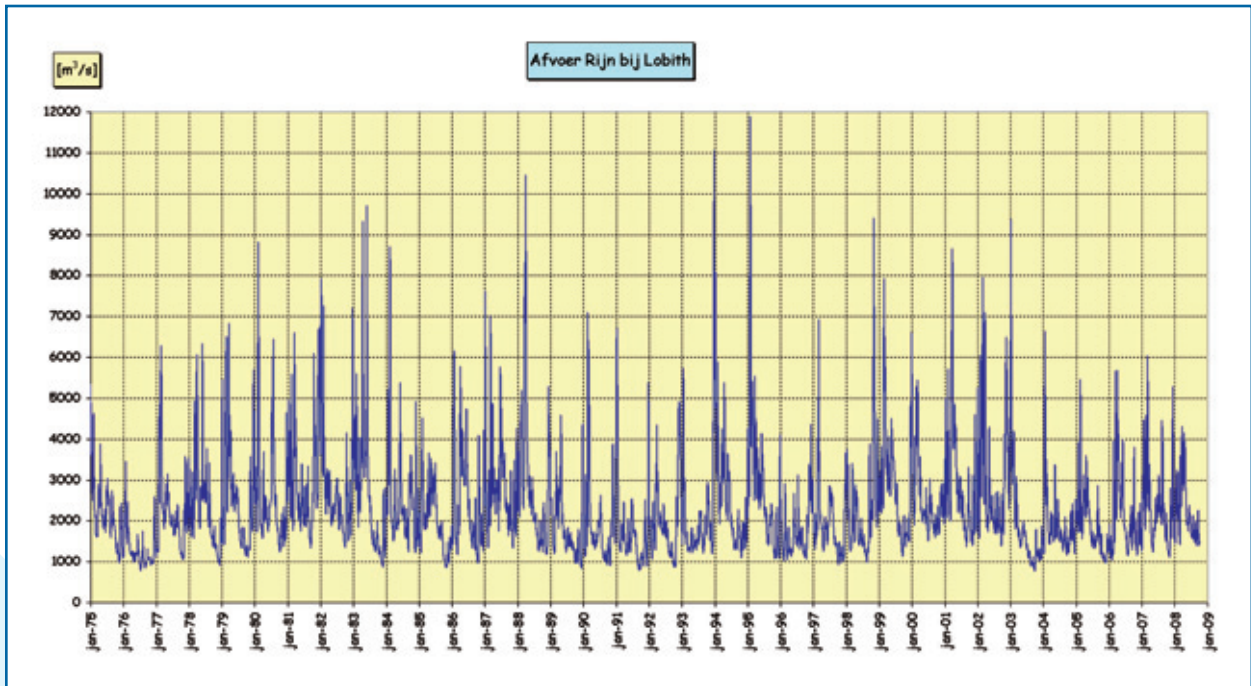
De trendlijn kan alleen een lineaire trend beschrijven, terwijl de LOWESS-lijn een flexibelere beschrijving kan geven van het verloop van het gemiddelde van de meetreeks (zie onderstaand tekstkader). In bovenstaande figuur geeft de trendlijn een algehele daling over de gehele periode aan, terwijl de LOWESS-lijn nader specificeert dat de grootste daling optrad van 1993 tot 1998, na enige stabilisering van 1985 tot 1990.

Toelichting op de LOWESS-lijn

De LOWESS-lijn beschrijft een lokaal gemiddelde van de meetwaarden, op basis van lokale gewogen regressie [Cleveland, 1979]. LOWESS staat voor LOcally WEighted Scatterplot Smoothing. Het is een zeer flexibele en bruikbare manier om de lange-termijn veranderingen van een tijdreeks te tonen. Op iteratieve wijze wordt voor elk tijdstip de bijbehorende waarde van de LOWESS-lijn geschat met gewogen regressie, waarbij de gewichten zowel een functie zijn van de afstand tot het betreffende tijdstip, als van het modelresidu van de vorige modeliteratie. De gladheidsfactor f bepaalt het venster dat aan weerskanten van elk tijdstip bij de modellering wordt betrokken en bepaalt daarmee mede de gladheid van de resulterende lijn. Deze factor hebben we standaard op 0,5 gezet, aangezien die waarde in de praktijk doorgaans de bruikbaarste LOWESS-lijnen oplevert [Helsel and Hirsch, 1991].

⁶ Om een vergelijking van de trends van de beschouwde meetlocaties over dezelfde periode mogelijk te maken, is als hypothetisch startpunt van de trend overal 1976 genomen. De chlorideconcentratierreeks van Andijk begint namelijk pas in 1976.

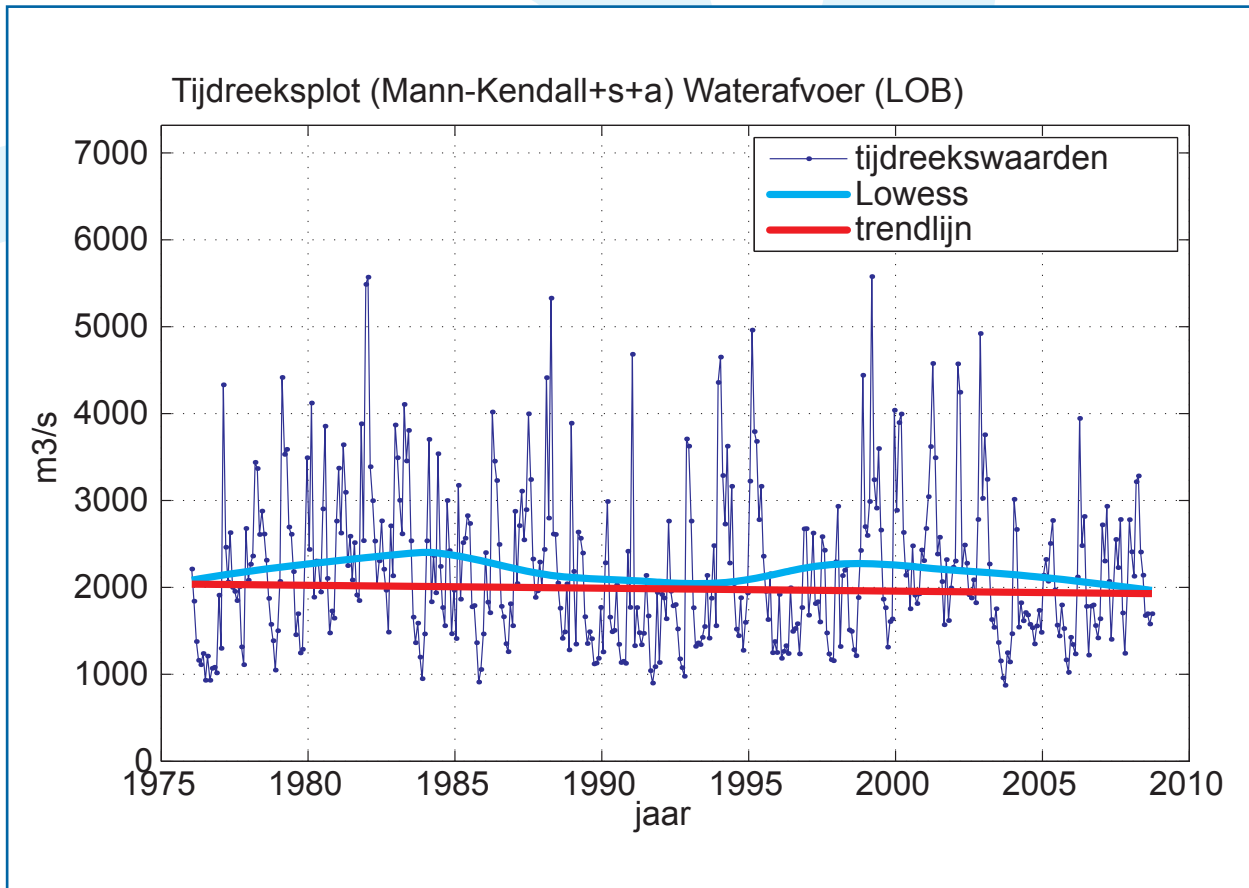
Figuur 2.6 toont de meetreeks van de afvoer van januari 1975 t/m september 2008. Over deze gehele periode is de afvoer doorgaans eens per dag gemeten.



Figuur 2.6: Verloop meetwaarden afvoer van de Rijn bij Lobith over de periode januari 1975 t/m september 2008.

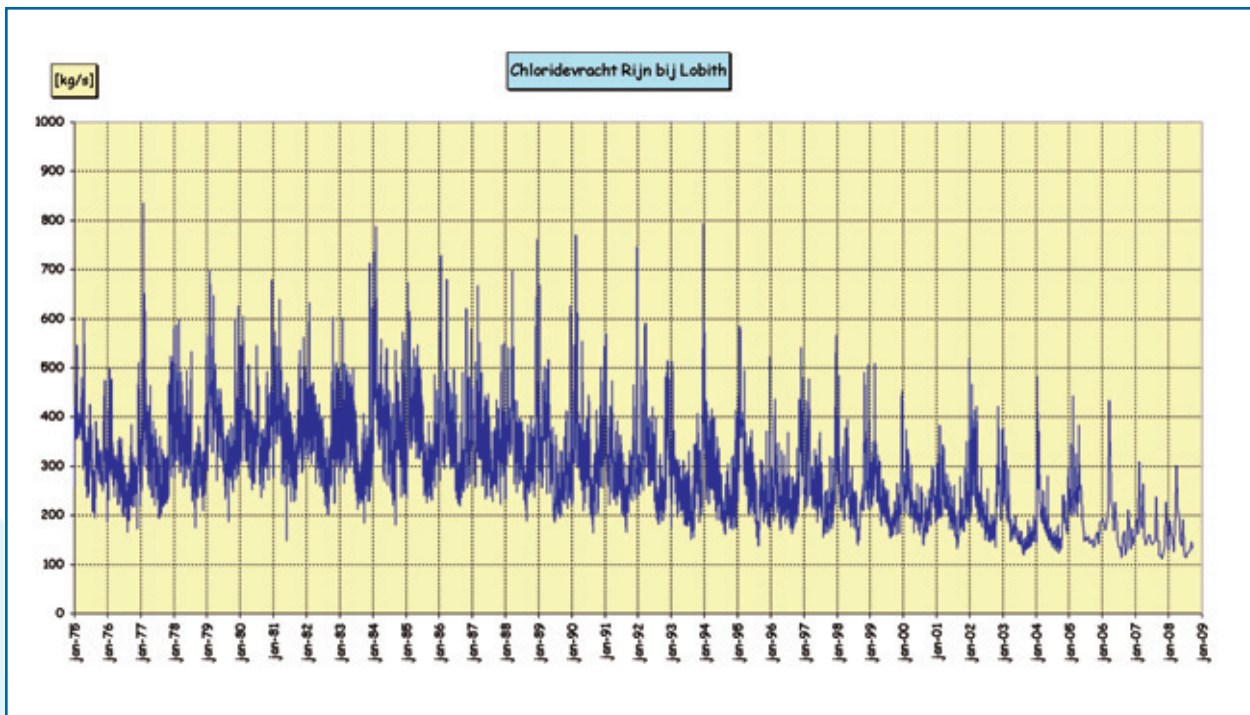
De gemiddelde afvoer van januari 1975 t/m september 2008 bedroeg $2.306 \text{ m}^3/\text{s}$, terwijl de mediane afvoer $1.988 \text{ m}^3/\text{s}$ bedroeg. Het grote verschil tussen gemiddelde en mediaan komt doordat de afvoer een zeer scheve kansverdeling vertoont, met soms extreem hoge waarden.

Figuur 2.7 toont de trendplot van de afvoer vanaf 1976. Er blijkt over deze periode geen sprake van een statistisch significante trend van de afvoer.



Figuur 2.7: Trendplot van de afvoer van de Rijn bij Lobith vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

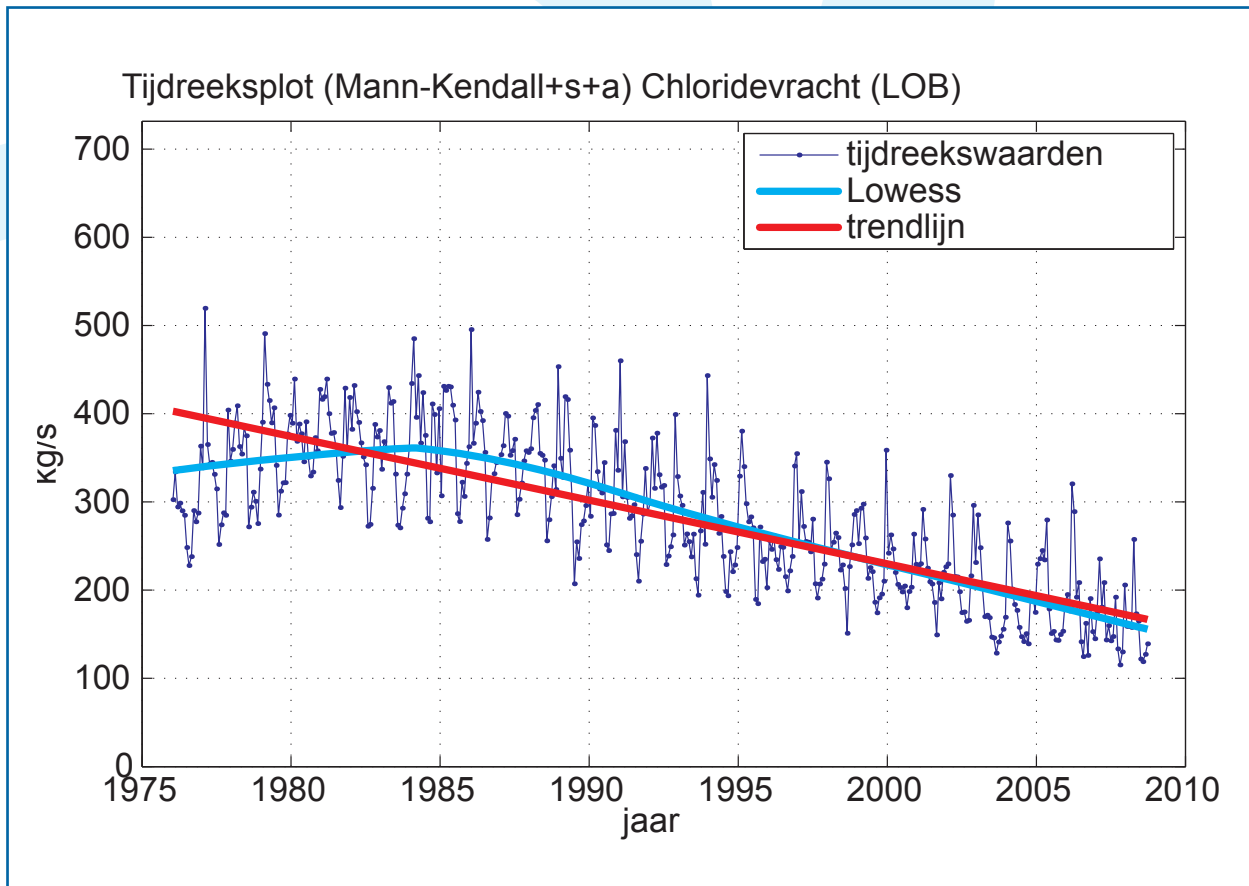
Figuur 2.8 toont de meetreeks van de chloridevracht van januari 1975 t/m september 2008. Tot begin mei 2005 is deze doorgaans per dag beschikbaar, maar daarna eens per 14 dagen. Dit komt door het terugbrengen van de meetfrequentie van de chlorideconcentratie.



Figuur 2.8: Verloop chloridevracht van de Rijn bij Lobith over de periode januari 1975 t/m september 2008.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chloridevracht rond 1985 maximaal was en sindsdien is afgenomen.

Figuur 2.9 toont de trendplot van de chloridevracht vanaf 1976. Er blijkt over deze periode sprake van een statistisch significante trend van $-7,2$ kg/s per jaar.



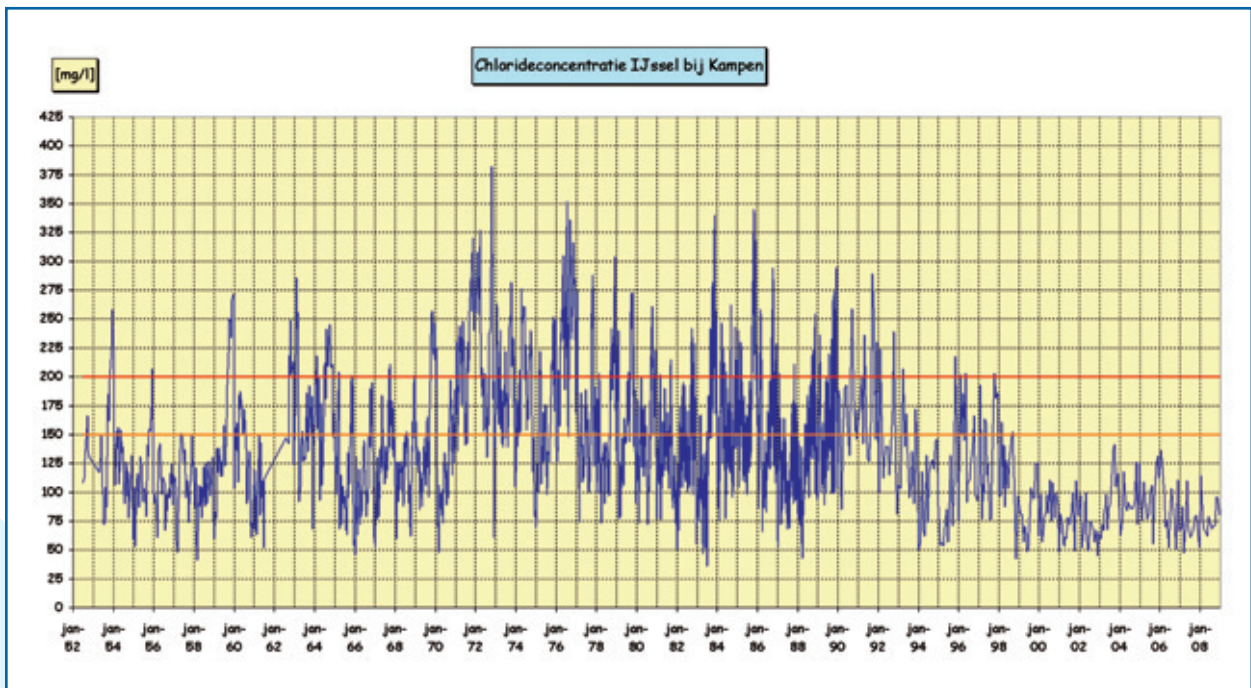
Figuur 2.9: Trendplot van de chloridevracht van de Rijn bij Lobith vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

2.2 Ontwikkeling chloridebelasting IJssel bij Kampen

Vijf kilometer stroomafwaarts van Lobith wordt het water van de Nederrijn bij Pannerden gesplitst over de Waal en het Pannerdens Kanaal, dat zich bij Westervoort nabij Arnhem verder splitst in de Nederrijn en IJssel. Van nature neemt de Waal de grootste afvoer voor haar rekening. De stuw bij Driel zorgt voor de verdeling van het water over Nederrijn en IJssel, zodat er bij lage afvoer voldoende water door de IJssel gaat.

De IJssel (of Gelderse IJssel, ter onderscheiding van de Hollandse IJssel) is een betrekkelijk jonge rivier, die een al veel langer bestaand dal tussen Veluwe en Salland volgt. Het is ook een smalle rivier, met soms brede uiterwaarden. De IJssel stroomt in noordoostelijke en later in noordelijke richting naar het Ketelmeer respectievelijk het IJsselmeer. Zijn lengte bedraagt ongeveer 125 km.

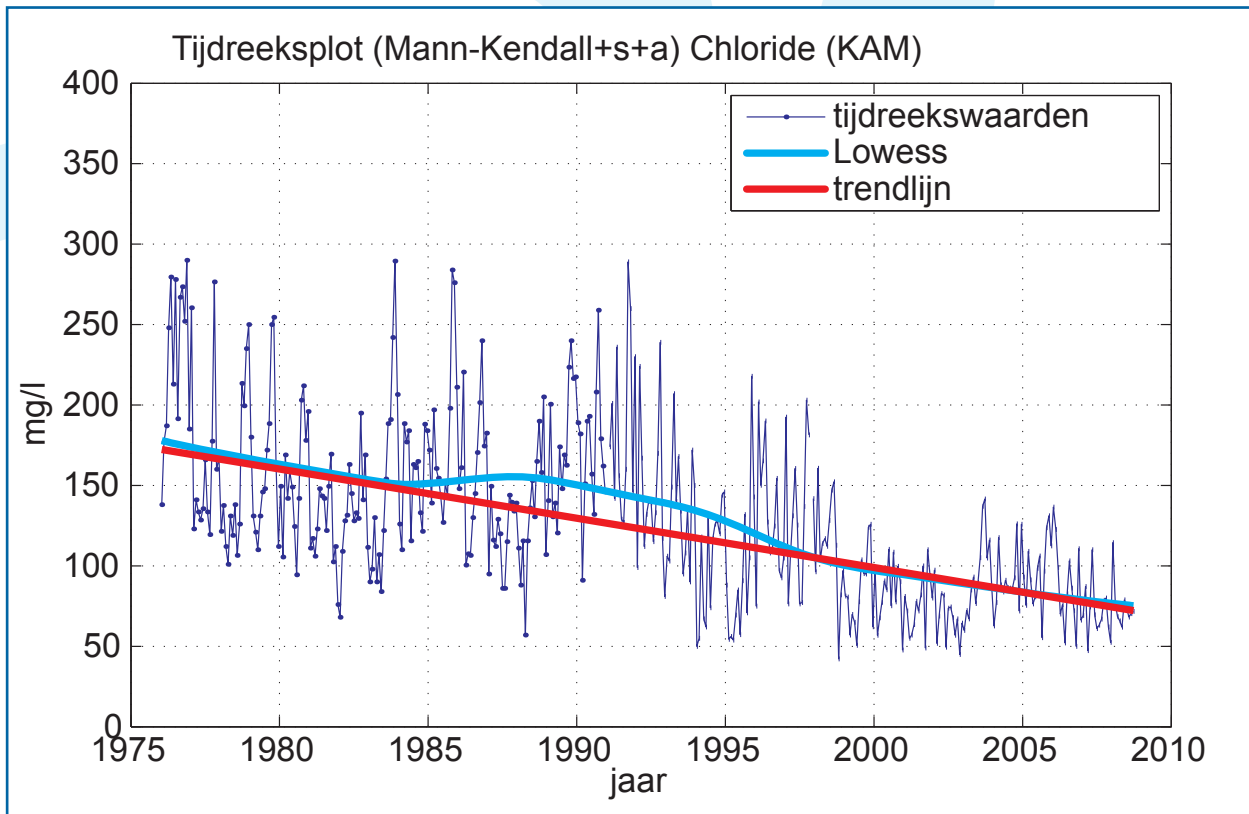
Figuur 2.10 toont de meetreeks van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen van juli 1952 t/m december 2008. Tot 1965 is de meetfrequentie doorgaans ongeveer eens per 14 dagen, daarna tot 1982 wisselend van eens per 3 dagen tot eens per 10 dagen, vervolgens tot 1990 eens per dag en tenslotte eens per 4 weken.



Figuur 2.10: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen, over de periode juli 1952 t/m december 2008.

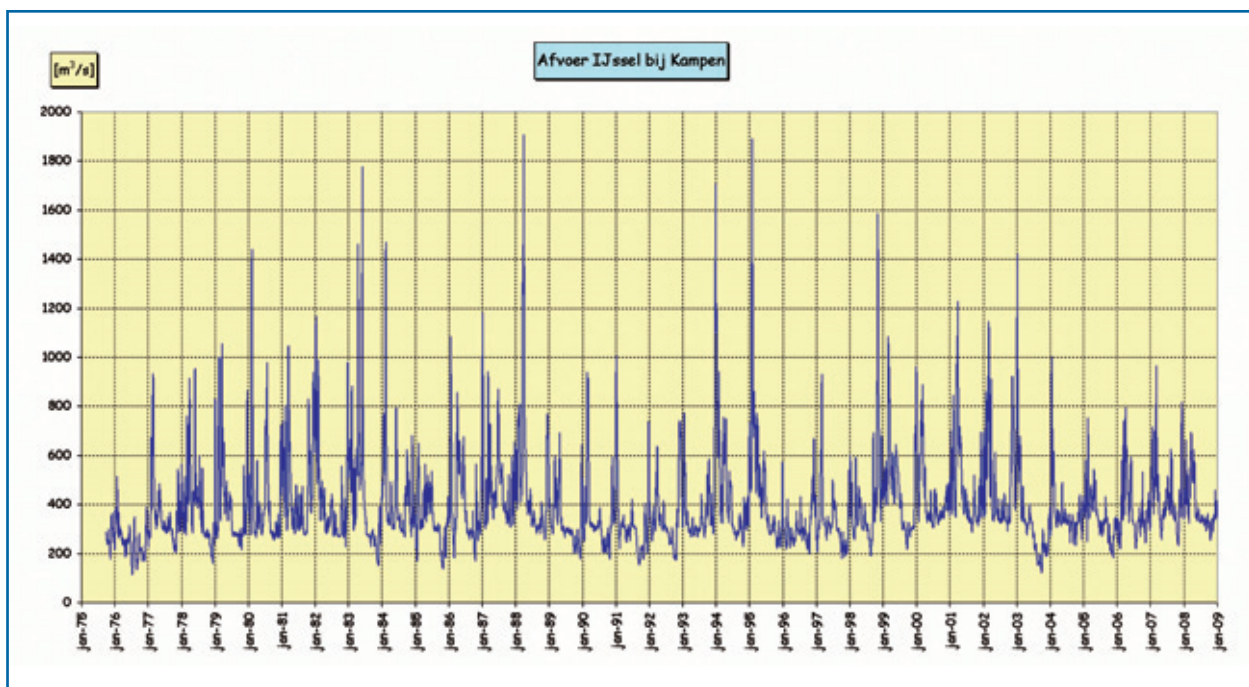
Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chlorideconcentratie van circa 1972 tot 1992 zijn hoogste waarden bereikt, met frequente overschrijdingen van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Vanaf 1998 wordt deze AMvB-norm niet meer overschreden en vanaf 1999 wordt de drinkwaternorm (150 mg/l) niet meer overschreden.

Figuur 2.11 toont de trendplot van de chlorideconcentratie vanaf 1976. Er blijkt over deze periode sprake van een statistisch significante trend van -3,1 mg/l per jaar.



Figuur 2.11: Trendplot van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

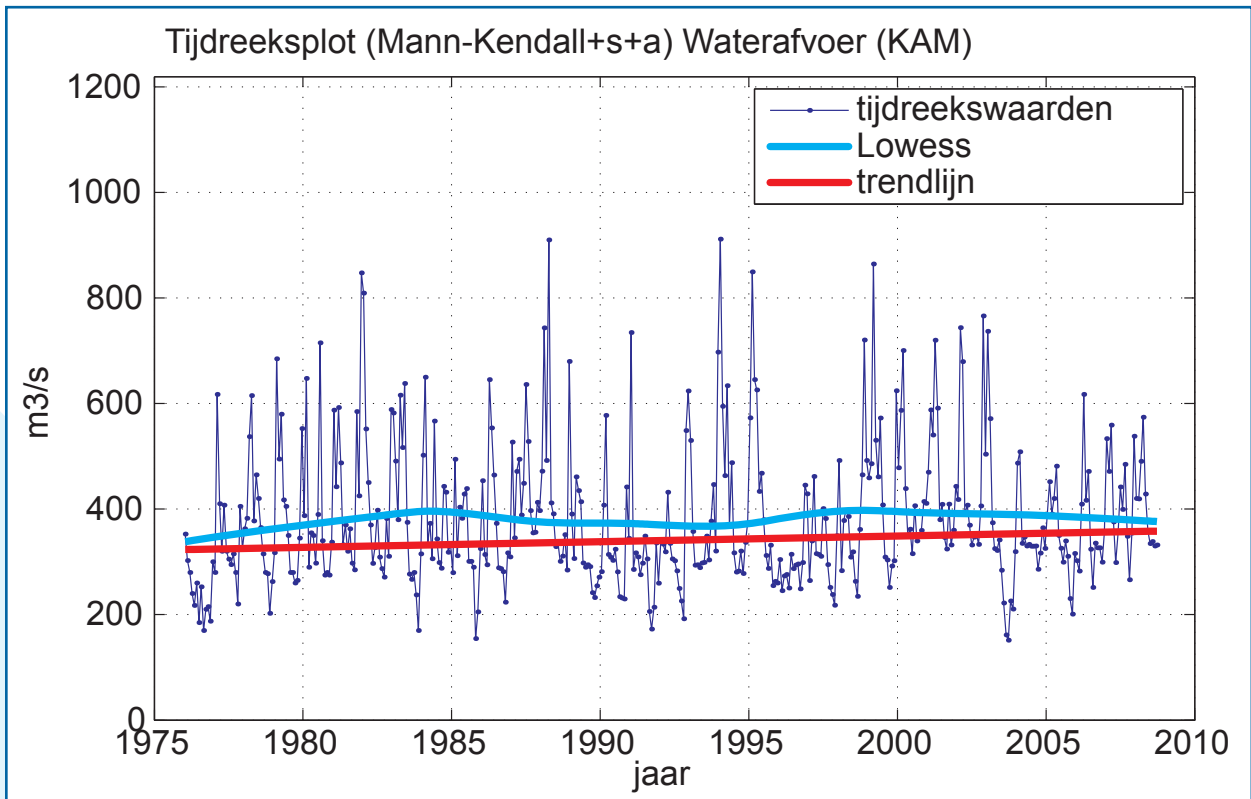
Figuur 2.12 toont de meetreeks van de afvoer van de IJssel bij Kampen van oktober 1975 t/m december 2008. Over deze gehele periode is dagelijks de afvoer gemeten.



Figuur 2.12: Verloop meetwaarden afvoer van de IJssel bij Kampen, over de periode oktober 1975 t/m december 2008.

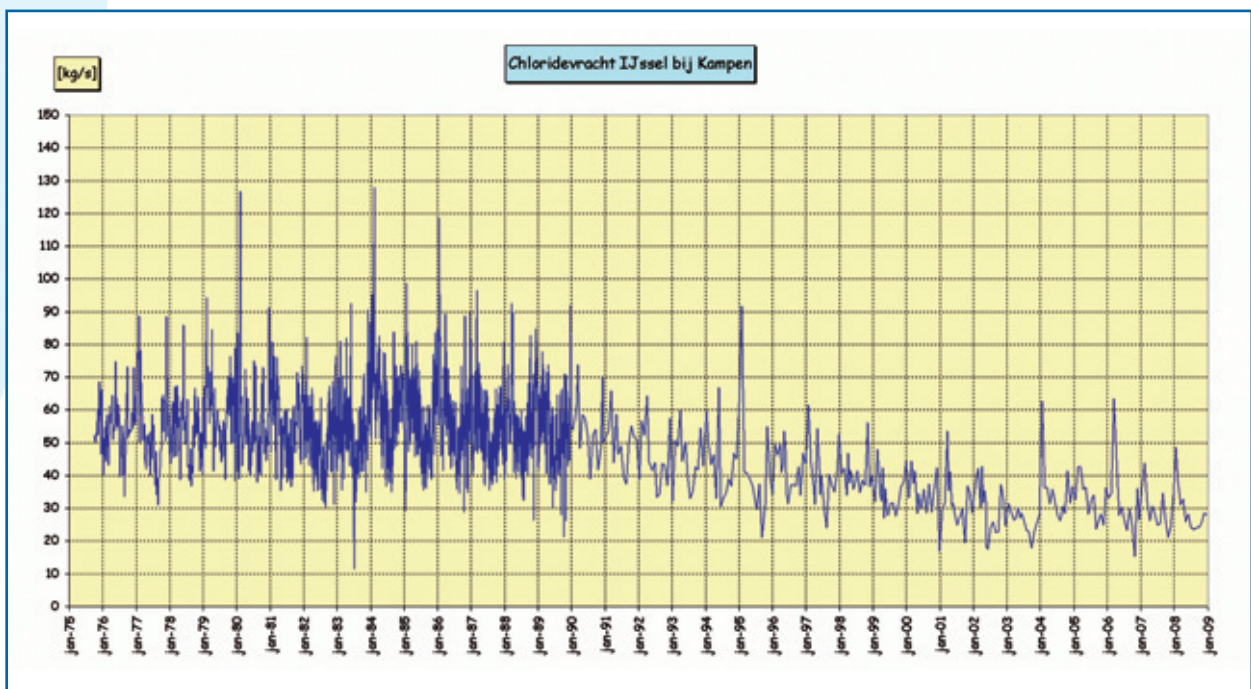
De gemiddelde afvoer over deze periode bedroeg 393 m³/s (circa 17% van de gemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith over deze periode), terwijl de mediane afvoer 340 m³/s bedroeg (circa 17% van de mediane afvoer van de Rijn bij Lobith over deze periode).

Figuur 2.13 toont de trendplot van de afvoer vanaf 1976. Er blijkt over deze periode geen sprake van een statistisch significante trend van de afvoer, net zoals we al zagen voor de afvoer van de Rijn bij Lobith.



Figuur 2.13: Trendplot van de afvoer van de IJssel bij Kampen vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

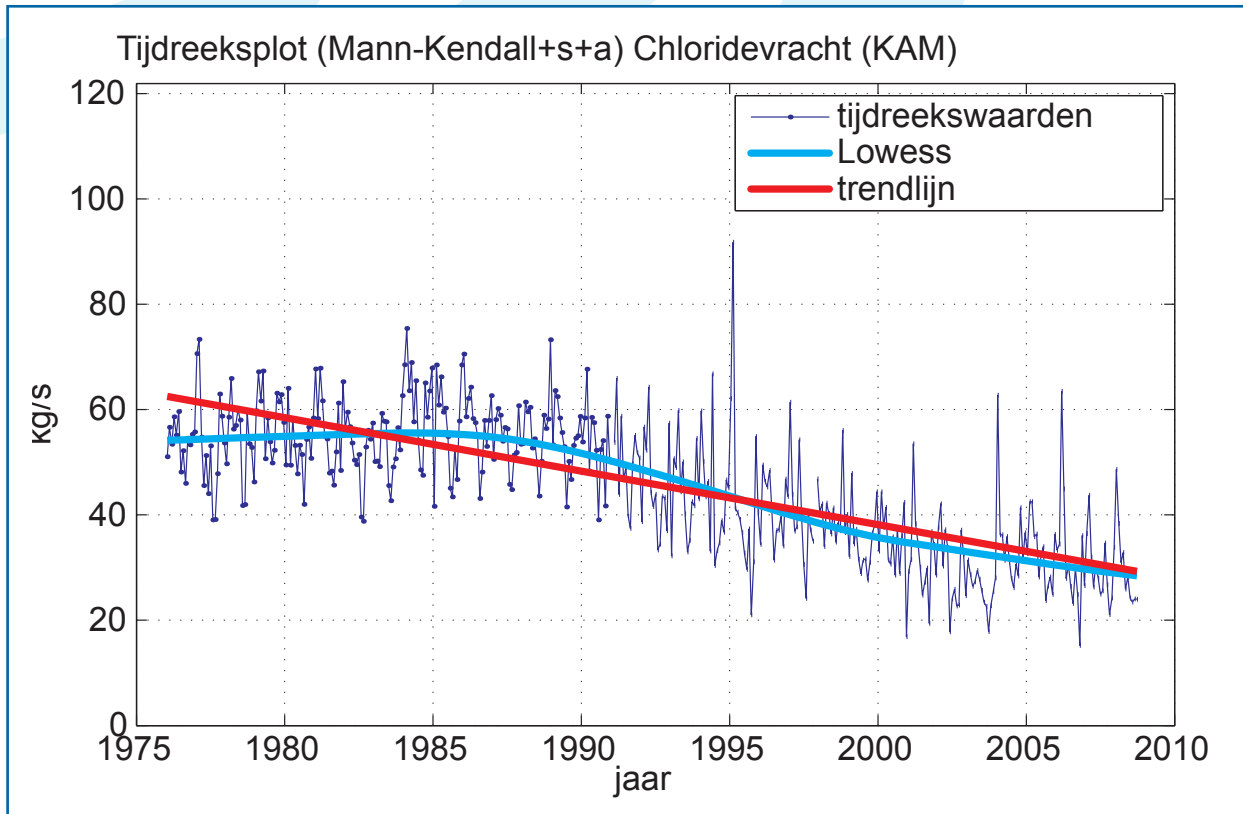
Figuur 2.14 toont de meetreeks van de chloridevracht van oktober 1975 t/m december 2008.



Figuur 2.14: Verloop chloridevracht van de IJssel bij Kampen, over de periode oktober 1975 t/m december 2008.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chloridevracht rond 1984 maximaal was en sindsdien is afgenomen, min of meer net zoals we al zagen voor de chloridevracht van de Rijn bij Lobith.

Figuur 2.15 toont de trendplot van de chloridevracht vanaf 1976. Er blijkt over deze periode sprake van een statistisch significante trend van -1,0 kg/s per jaar.

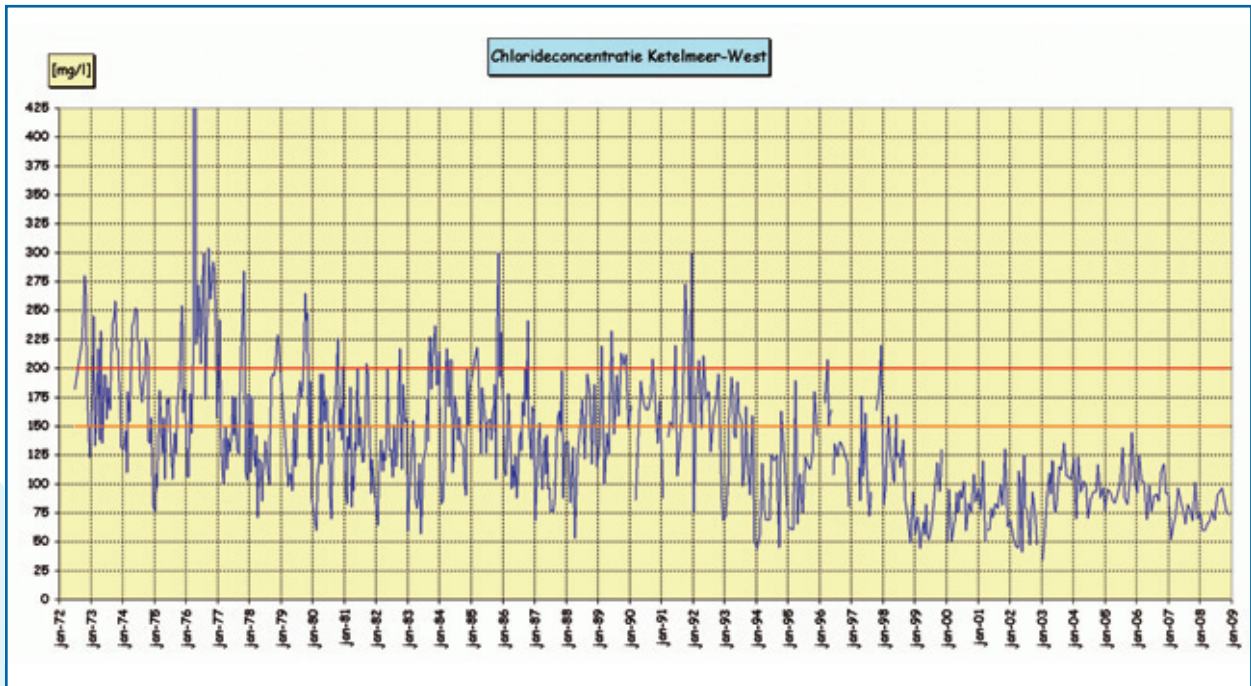


Figuur 2.15: Trendplot van de chloridevracht van de IJssel bij Kampen vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

2.3 Ontwikkeling chlorideconcentratie Ketelmeer bij Ketelmeer-West

Het Ketelmeer is circa 3500 hectare groot en vormt samen met het Zwarte Meer en het Vossemeer de Randmeren Noord van het IJsselmeer. De gemiddelde diepte bedraagt ongeveer 2,4 meter. Het Ketelmeer ontstond in 1956 toen in die tijd Oostelijk Flevoland werd drooggemaakt. Het ligt voor het grootste deel in de provincie Flevoland en voor een kleiner deel in de provincie Overijssel, bij de monding van de IJssel, die wordt gevormd door het Kampereiland. Naar het westen toe staat het in open verbinding met het IJsselmeer (de grens wordt gevormd door de Ketelbrug), naar het oosten toe met het Zwarte Meer (hier wordt de grens gevormd door de balgstuw bij Ramspol) en naar het zuiden toe met het Vossemeer.

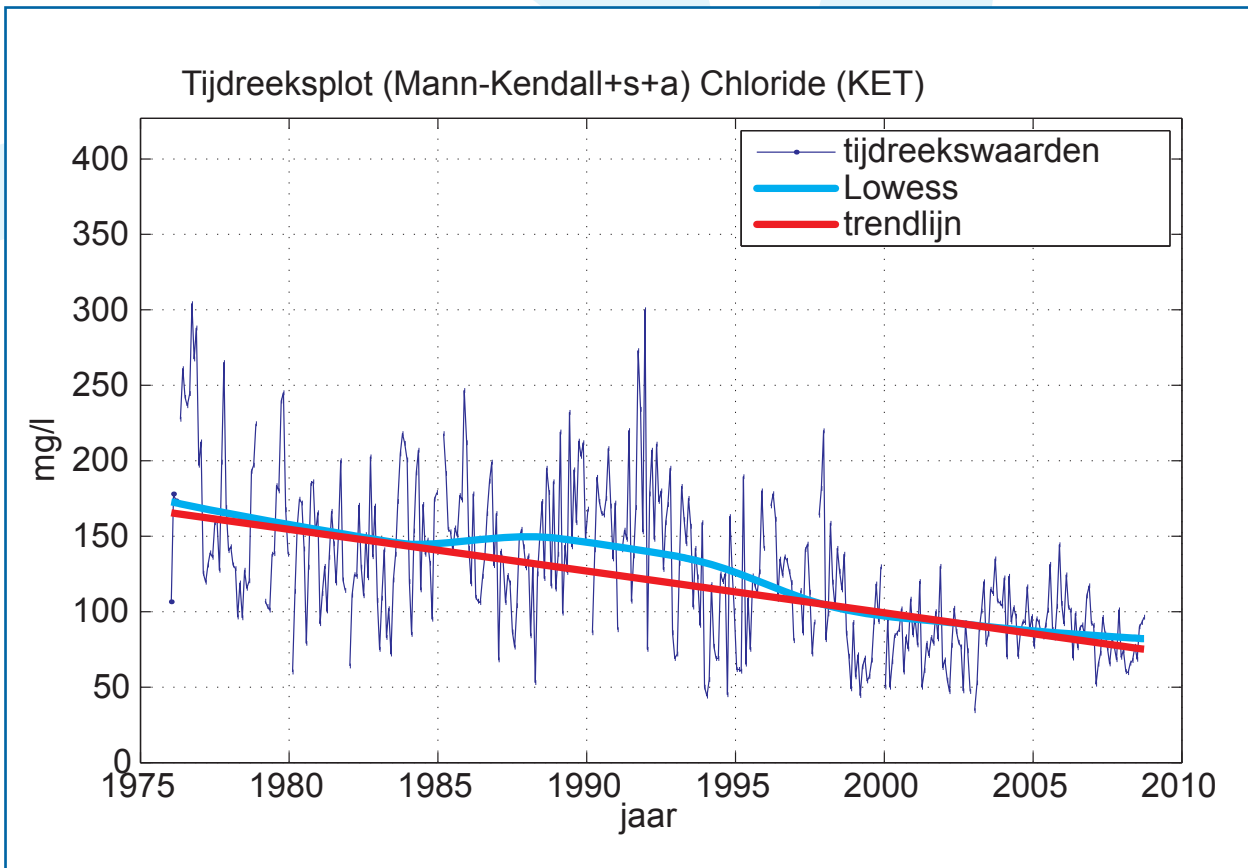
Figuur 2.16 toont de meetreeks van de chlorideconcentratie van het Ketelmeer bij de meetlocatie Ketelmeer-West van juni 1972 t/m december 2008. Tot 1988 bedroeg de meetfrequentie doorgaans eens per 14 dagen en daarna meestal eens per 28 dagen, waarbij van 1996 t/m 2004 in de maanden april, mei en juni eens per 14 dagen is gemeten.



Figuur 2.16: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van het Ketelmeer bij Ketelmeer-West, over de periode juni 1972 t/m december 2008.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chlorideconcentratie tot 1998 nog redelijk frequent de AMvB-norm voor inname (200 mg/l) overschrijdt. Maar vanaf 1999 wordt zelfs de drinkwaternorm (150 mg/l) niet meer overschreden.

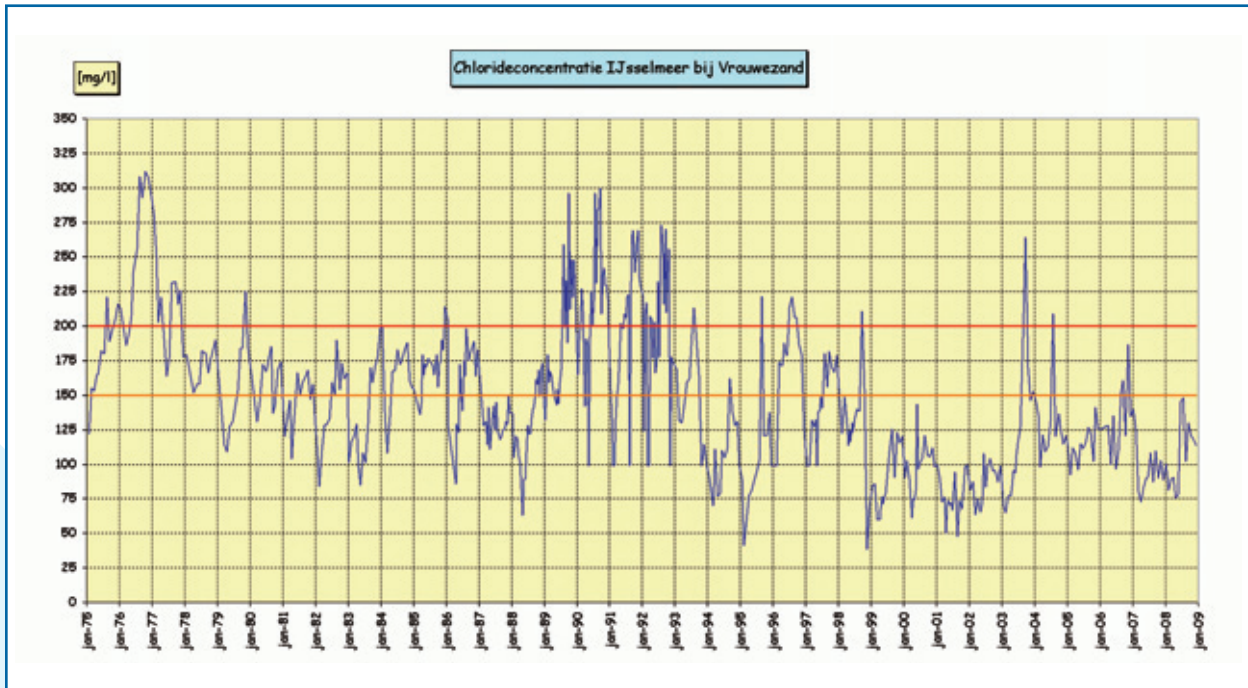
Figuur 2.17 toont de trendplot van de chlorideconcentratie vanaf 1976. Er blijkt over deze periode sprake van een statistisch significante trend van $-2,8$ mg/l per jaar.



Figuur 2.17: Trendplot van de chlorideconcentratie van het Ketelmeer vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

2.4 Ontwikkeling chlorideconcentratie IJsselmeer bij Vrouwezand

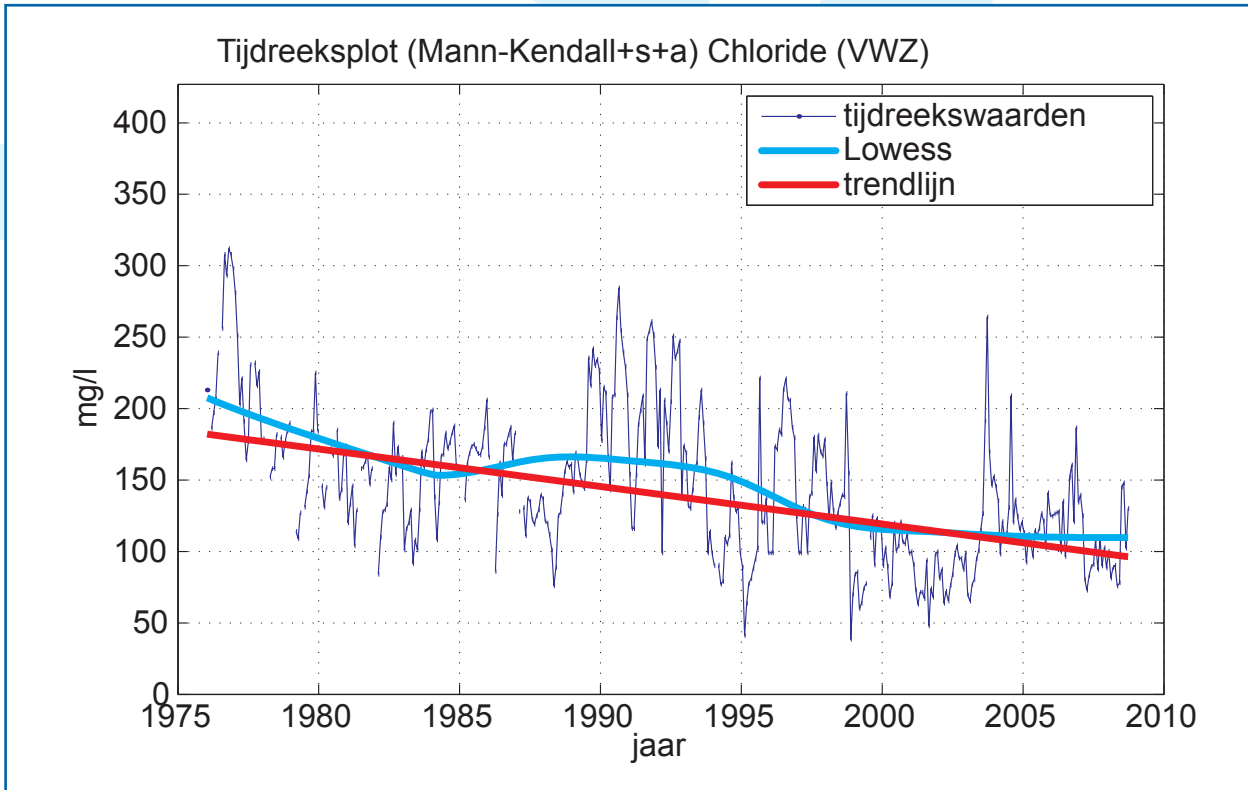
De meetlocatie Vrouwezand bevindt zich in het IJsselmeer, voor de Friese kust van Gaasterland, enkele kilometers ten zuiden van bij Stavoren. Figuur 2.18 toont de meetreeks van de chlorideconcentratie van januari 1975 t/m december 2008. De meetfrequentie bedroeg doorgaans eens per 14 of 28 dagen, met soms onderbrekingen van 8 – 12 weken.



Figuur 2.18: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Vrouwezand, over de periode januari 1976 t/m september 2008.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chlorideconcentratie over het algemeen is afgenomen, maar ook sterk wordt beïnvloed door droge warme jaren, zoals 1976 en 2003. In tegenstelling tot wat we bij de voorgaande meetlocaties zagen, komen bij Vrouwezand ook na 1998 nog overschrijdingen voor van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). De drinkwaternorm (150 mg/l) wordt in 2006 nog overschreden.

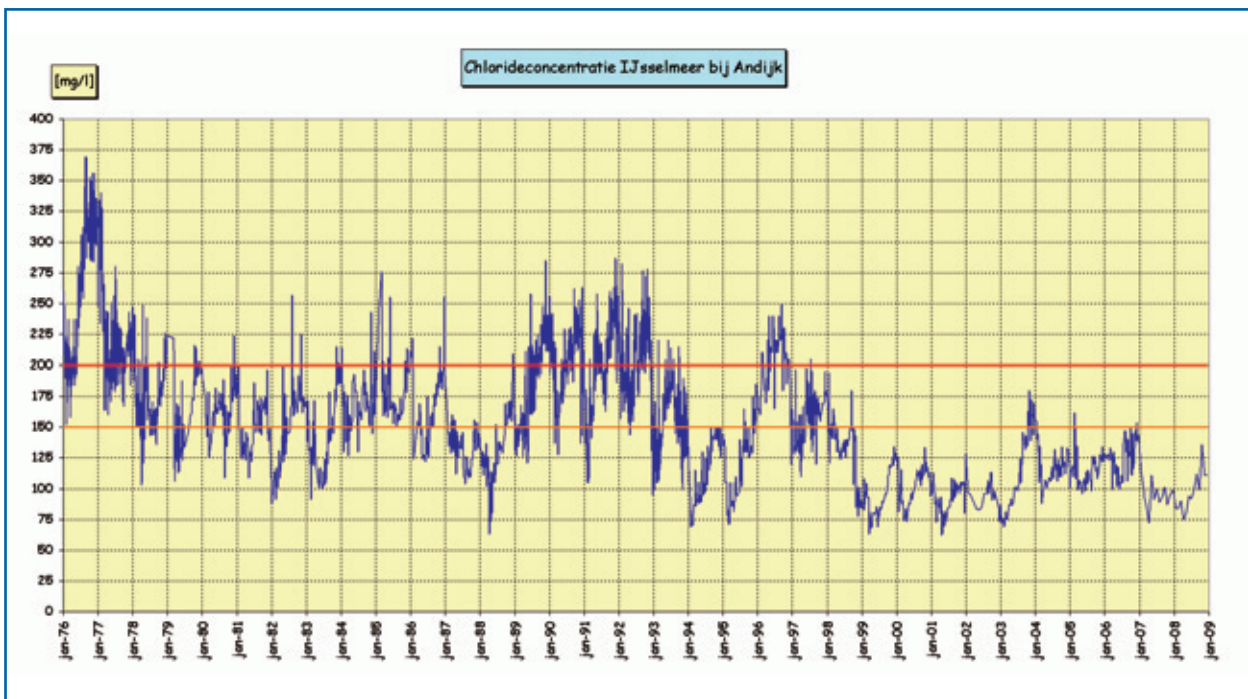
Figuur 2.19 toont de trendplot van de chlorideconcentratie vanaf 1976. Over deze periode blijkt sprake van een statistisch significante trend van -2,6 mg/l per jaar.



Figuur 2.19: Trendplot van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Vrouwezand vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

2.5 Ontwikkeling chlorideconcentratie IJsselmeer bij Andijk

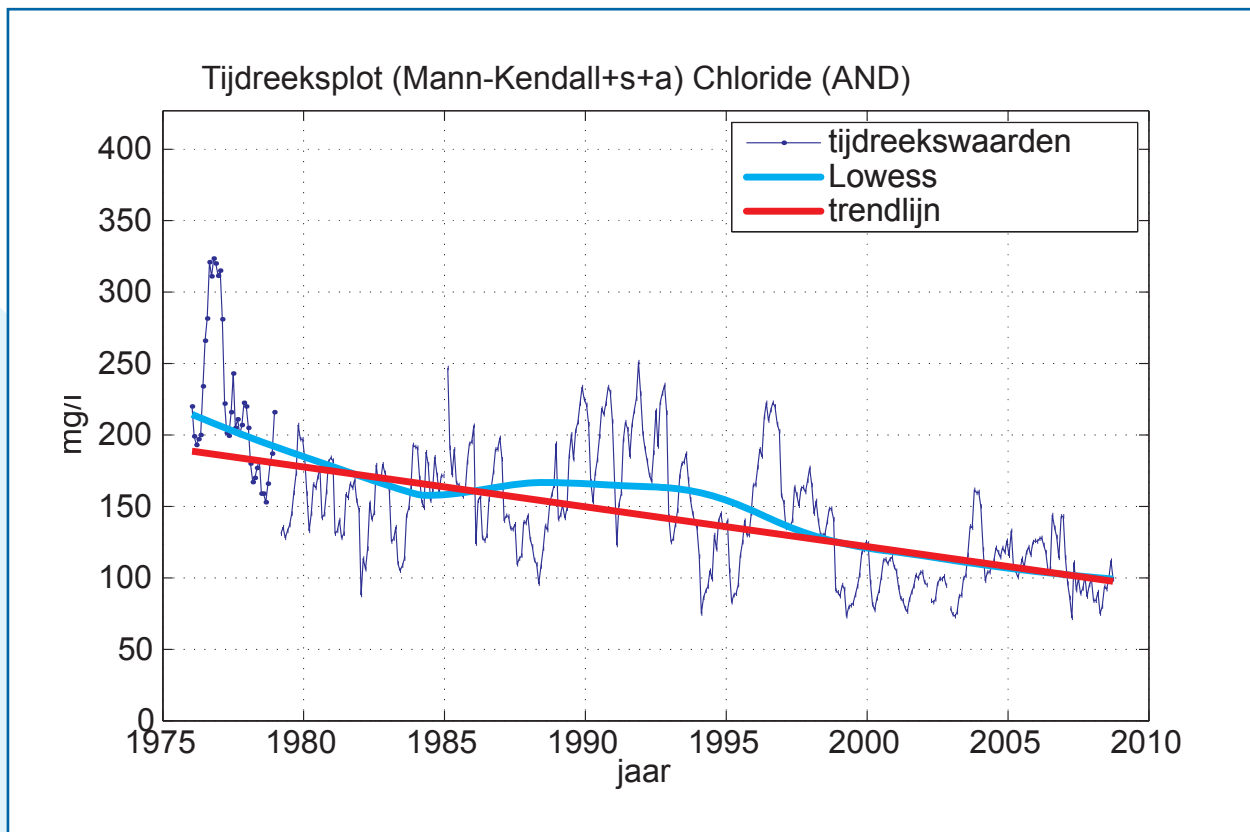
Figuur 2.20 toont de meetreeks van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk van januari 1976 t/m december 2008. De meetfrequentie lag doorgaans tussen eens per dag of 7 dagen, maar vanaf 2007 wordt slechts eens per 28 dagen gemeten.



Figuur 2.20: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk, over de periode januari 1976 t/m september 2008.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat de chlorideconcentratie over het algemeen is afgenomen. Vanaf 1998 zijn er geen overschrijdingen meer van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l), maar nog wel van de drinkwaternorm (150 mg/l). De eind 2003 optredende overschrijdingen van de drinkwaternorm veroorzaakten bij PWN overigens een hernieuwde focus op chloride, aangezien dergelijke overschrijdingen sinds 1998 niet meer waren opgetreden. Inmiddels is echter gebleken dat het van eind 2003 tot eind 2006 slechts een tijdelijke verhoging betrof, die grotendeels is te verklaren uit een relatief lagere afvoer van de Rijn over die periode.

Figuur 2.21 toont de trendplot van de chlorideconcentratie vanaf 1976. Over deze periode blijkt sprake van een statistisch significante trend van -2,8 mg/l per jaar.



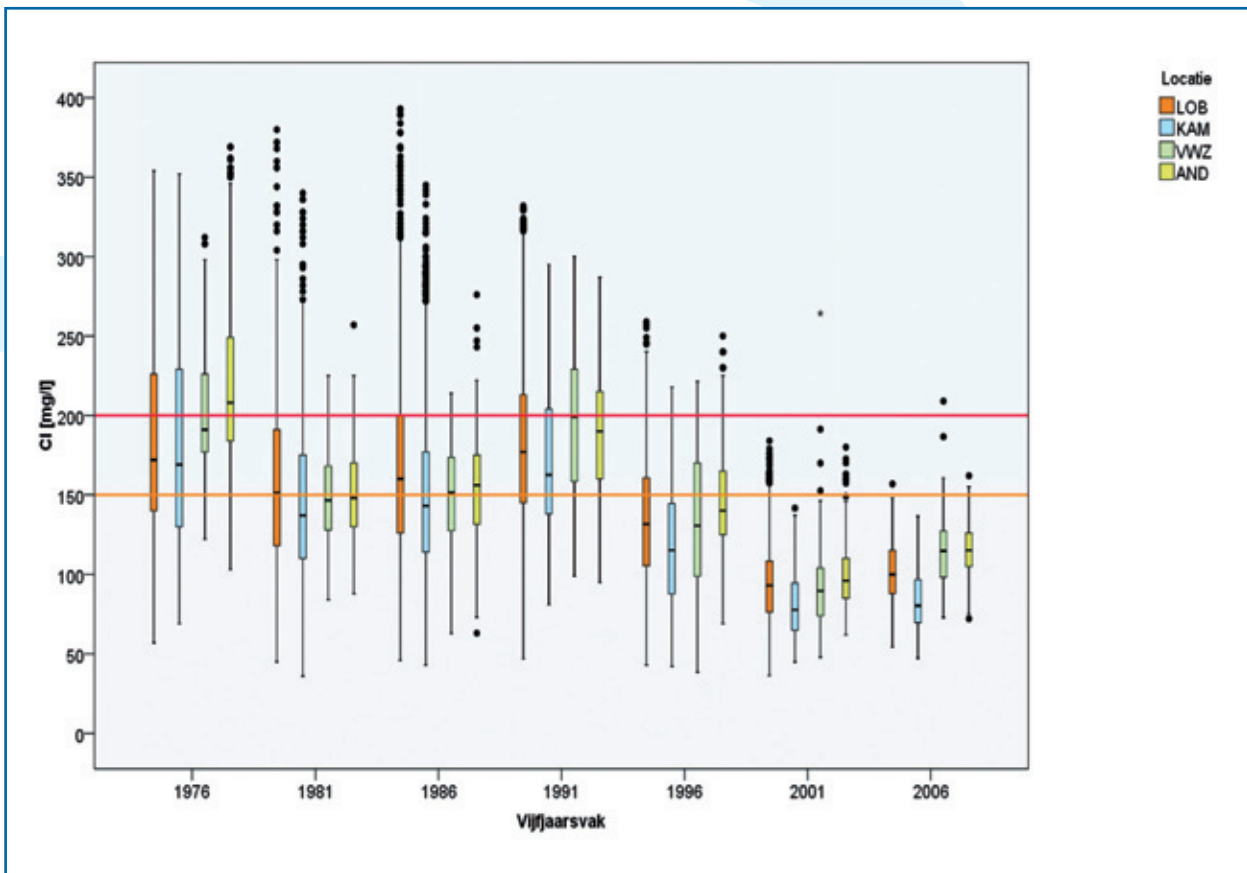
Figuur 2.21: Trendplot van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk vanaf 1976, met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

2.6 Vergelijking chloridebelasting meetlocaties

Na in het voorgaande de ontwikkelingen van de chloridebelasting per meetlocatie te hebben beschreven, vergelijken we in deze paragraaf de chloridebelastingen van de meetlocaties.

2.6.1 Vergelijking chlorideconcentraties meetlocaties

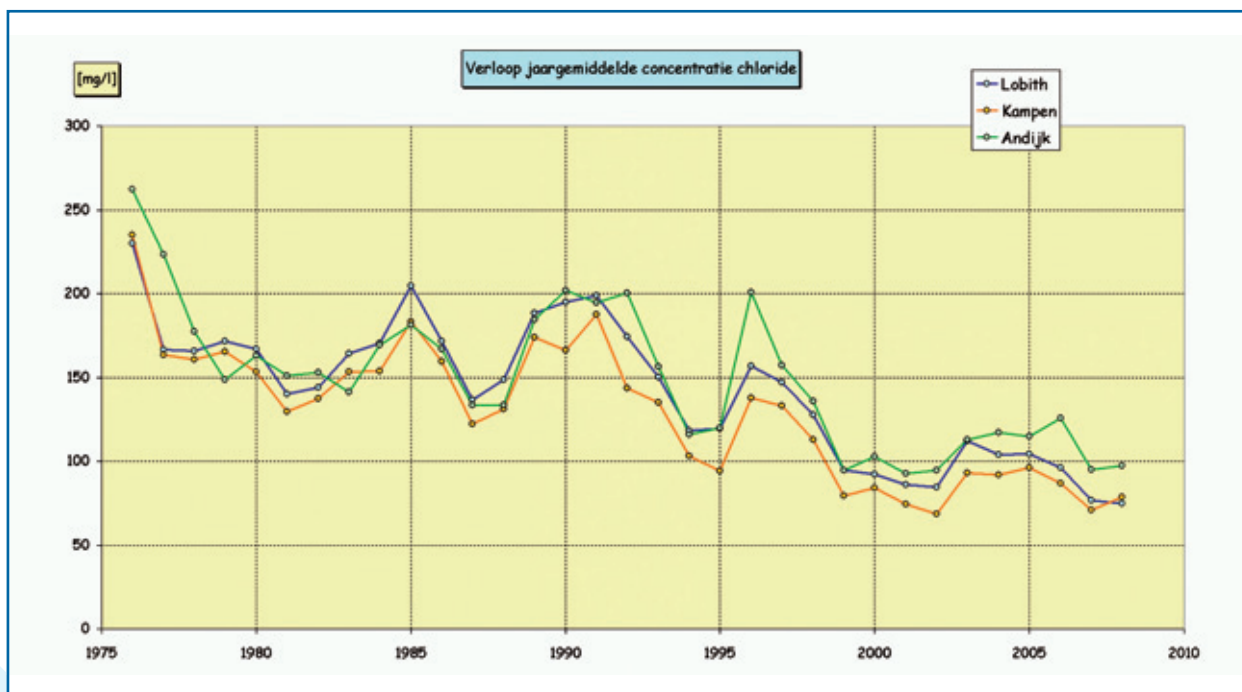
Om de meetreeksen van de chlorideconcentraties van de meetlocaties Lobith, Kampen, Vrouwezand en Andijk zo goed mogelijk visueel te kunnen vergelijken, zijn deze in figuur 2.22 per vijfjaarsperiode samengevat als boxplots. In figuur 2.23 zijn de reeksen jaargemiddelden van de meetlocaties Lobith, Kampen en Andijk weergegeven. Verder zijn in tabel 2.2 enkele kengetallen vermeld van de jaargemiddelde chlorideconcentraties van de meetlocaties Lobith, Kampen, Ketelmeer-West, Vrouwezand en Andijk over de periode 1976 t/m 2008 en over de periode 1999 t/m 2008.



Figuur 2.22: Boxplots van de chlorideconcentratie per vijfjaarsperiode, voor de meetlocaties Lobith, Kampen, Vrouwezand en Andijk. Het jaartal geeft het centrum van de vijfjaarsperiode weer.

Toelichting op de boxplot

De boxplot, ook wel box-whisker-plot genoemd, is een handzame manier om de kenmerken van een onderzochte populatie zo compact mogelijk grafisch samen te vatten. Het toont de posities van de belangrijkste percentielen van de populatie (kansverdeling) meetwaarden van de stof. Het middendeel, de 'box' (doos), loopt van het 25-percentiel naar het 75-percentiel, terwijl het 50-percentiel, oftewel de mediaan, is aangegeven als een dikke streep in de box. De 'whiskers' (snorharen) lopen van de box naar de uiteinden van de steekproef. Extreme meetwaarden in de steekproef zijn apart weergegeven boven de bovenste whisker of onder de onderste whisker (die meetwaarde ligt dan verder dan 1,5 maal de boxlengte vanaf de box).



Figuur 2.23: Verloop van de jaargemiddelde chlorideconcentratie voor de meetlocaties Lobith, Kampen en Andijk.

Jaargemiddelde chlorideconcentraties periode 1976 t/m 2008					
Kengetal [mg/l]	LOB	KAM	KET	VWZ	AND
min	75	68	73	77	93
gemidd	142	129	129	145	149
max	230	235	266	256	262
Jaargemiddelde chlorideconcentraties periode 1999 t/m 2008					
Kengetal [mg/l]	LOB	KAM	KET	VWZ	AND
min	75	68	73	77	93
gemidd	93	82	85	105	105
max	112	96	99	131	126

Tabel 2.2: Kengetallen van de jaargemiddelde chlorideconcentraties over de periode 1976 t/m 2008 (boven) en over de periode 1999 t/m 2008 (onder). Meetlocaties Lobith, Kampen, Ketelmeer-West, Vrouwezand en Andijk.

Uit de figuren 2.22 en 2.23 en tabel 2.2 kan worden opgemaakt dat de chlorideconcentratie van Lobith naar Kampen afneemt en vervolgens naar Vrouwezand en Andijk weer toeneemt tot een niveau dat doorgaans hoger ligt dan dat van Lobith. Over de periode 1999 t/m 2008 lag de gemiddelde concentratie bij Kampen 11 mg/l lager dan bij Lobith, terwijl deze bij Andijk 23 mg/l hoger lag dan bij Kampen en 12 mg/l hoger dan bij Lobith. Het is verder opvallend dat de chlorideconcentratie van het Ketelmeer bij Ketelmeer-West nauwelijks afwijkt van die van de IJssel bij Kampen, maar wel duidelijk lager is dan die van het IJsselmeer bij Vrouwezand en Andijk. Dit wijst er op dat het water van het Ketelmeer niet goed is gemengd met water van het IJsselmeer.

Statistische toets op verschillen in chlorideconcentraties

Om objectief te kunnen toetsen of er ook sprake is van statistisch significante verschillen in de chlorideconcentraties van deze meetlocaties, hebben we variantie-analyse van de jaargemiddelde chlorideconcentraties uitgevoerd over de periode 1976 t/m 2008, met als factoren de meetlocatie en het jaar. Bij deze toets zijn beschouwd de meetlocaties Lobith, Kampen, Vrouwezand en Andijk, waarbij per jaar de jaargemiddelden van deze locaties zijn vergeleken.

Uit de variantie-analyse bleek zowel de meetlocatie als het jaar een statistisch significant effect te hebben op de jaargemiddelde chlorideconcentratie, met voor beide factoren een p-waarde van minder dan 0,0001.

Vervolgens zijn we met meervoudig vergelijkend toetsen nagegaan welke meetlocaties statistisch significant van elkaar verschillen voor wat betreft de jaargemiddelde chlorideconcentratie.⁷ De resultaten zijn samengevat in tabel 2.3.

Multiple Comparisons CL_avg Bonferroni						
(I) Locatie	(J) Locatie	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
AND	KAM	20,0142*	2,64951	,000	12,8764	27,1521
	LOB	7,1909*	2,64951	,047	,0530	14,3288
	VWZ	4,0064	2,64951	,803	-3,1315	11,1442
KAM	AND	-20,0142*	2,64951	,000	-27,1521	-12,8764
	LOB	-12,8233*	2,64951	,000	-19,9612	-5,6855
	VWZ	-16,0079*	2,64951	,000	-23,1457	-8,8700
LOB	AND	-7,1909*	2,64951	,047	-14,3288	-,0530
	KAM	12,8233*	2,64951	,000	5,6855	19,9612
	VWZ	-3,1845	2,64951	1,000	-10,3224	3,9533
VWZ	AND	-4,0064	2,64951	,803	-11,1442	3,1315
	KAM	16,0079*	2,64951	,000	8,8700	23,1457
	LOB	3,1845	2,64951	1,000	-3,9533	10,3224

Based on observed means. The error term is Mean Square (Error) = 115.829.

* The mean difference is significant at the 0.05 level

Tabel 2.3: Resultaten van het meervoudig vergelijkend toetsen op verschillen in de jaargemiddelde chlorideconcentratie van de meetlocaties Lobith, Kampen, Vrouwezand en Andijk, over de periode 1976 t/m 2008. Het toetsen is uitgevoerd met SPSS Statistics, versie 17.0. De Bonferroni-correctie voor meervoudig toetsen is toegepast.

Uit tabel 2.3 blijkt dat de chlorideconcentratie van Lobith naar Kampen statistisch significant afneemt en vervolgens van Kampen naar Vrouwezand en Andijk weer statistisch significant toeneemt. De chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk is daarbij uiteindelijk statistisch significant hoger dan die van de Rijn bij Lobith.

We kunnen concluderen dat er de nodige dynamiek is voor wat betreft de stroomafwaartse ontwikkeling van de chlorideconcentratie gaande van Lobith naar Andijk, met eerst een duidelijke afname tot Kampen en dan weer een duidelijke toename tot Andijk. We zullen in de volgende twee hoofdstukken nagaan wat die stroomafwaartse veranderingen veroorzaakt, met in hoofdstuk 3 aandacht voor het traject Lobith – Kampen en in hoofdstuk 4 aandacht voor de chloridehuishouding van het IJsselmeer.

⁷ Bij de meervoudige vergelijking is de Bonferroni-correctie toegepast om het gecombineerde risico op het onterecht detecteren van een statistisch significant verschil niet op te laten lopen.

2.6.2 Vergelijking temporele trends chloridebelasting meetlocaties

De resultaten van de trendanalyse van de chlorideconcentraties van de vijf in dit hoofdstuk beschouwde meetlocaties – reeds afzonderlijk besproken in § 2.1 t/m § 2.5 - zijn samengevat in tabel 2.4.

Chlorideconc. Meetpunt	Start	Eind	Mediaan [mg/l]	Stafw [mg/l]	Trend [mg/l/j]	Trend / mediaan	Signific?	Oordeel
Lobith	01-01-1976	24-09-2008	133,5	52,3	-3,2	-2,39%	Ja	Kleine trend
Kampen	02-01-1976	23-09-2008	122,3	53,2	-3,1	-2,50%	Ja	Kleine trend
Ketelmeer-West	13-01-1976	11-09-2008	120,0	50,1	-2,8	-2,31%	Ja	Kleine trend
Vrouwezand	15-01-1976	16-09-2008	137,4	51,2	-2,6	-1,91%	Ja	Kleine trend
Andijk	02-01-1976	22-09-2008	143,0	47,6	-2,8	-1,95%	Ja	Kleine trend

Tabel 2.4: Resultaten van de trendanalyse van de chlorideconcentraties van de vijf meetlocaties.

Stafw: Standaardafwijking

Uit bovenstaande tabel blijkt dat op alle beschouwde meetlocaties over de periode 1976 t/m 2008 een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie is opgetreden. De grootste daling is opgetreden in de Rijn bij Lobith (-3,2 mg/l per jaar) en de kleinste in het IJsselmeer bij Vrouwezand (-2,6 mg/l). De trends in het Ketelmeer bij Ketelmeer-West en in het IJsselmeer bij Vrouwezand en Andijk zijn geringer dan die in de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen. Dit komt doordat de betreffende meren ook andere aanvoerpunten van chloride hebben, zodat de veranderingen die plaatsvinden in de Rijn en de IJssel enigszins gedempt doorwerken.

De resultaten van de trendanalyse van de afvoer van de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen – reeds afzonderlijk besproken in § 2.1 en § 2.2 - zijn samengevat in tabel 2.5.

Afvoer Meetpunt	Start	Eind	Mediaan [m³/s]	Stafw [m³/s]	Trend [m³/s/j]	Trend / mediaan	Signific?	Oordeel
Lobith	01-01-1976	30-09-2008	1983,8	900,7	-3,3	-0,17%	Nee	Geen trend
Kampen	01-01-1976	30-09-2008	340,8	133,0	1,1	0,31%	Nee	Geen trend

Tabel 2.5: Resultaten van de trendanalyse van de afvoer van de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat er bij geen van beide meetlocaties een statistisch significante verandering van de afvoer is opgetreden vanaf 1976.

De resultaten van de trendanalyse van de chloridevracht van de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen – reeds afzonderlijk besproken in § 2.1 en § 2.2 - zijn samengevat in tabel 2.6.

Chloridevracht Meetpunt	Start	Eind	Mediaan [kg/s]	Stafw [kg/s]	Trend [kg/s/j]	Trend / mediaan	Signific?	Oordeel
Lobith	01-01-1976	24-09-2008	284,9	85,4	-7,2	-2,53%	Ja	Kleine trend
Kampen	02-01-1976	23-09-2008	45,9	13,0	-1,0	-2,21%	Ja	Kleine trend

Tabel 2.6: Resultaten van de trendanalyse van de chloridevracht van de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen.

Uit deze tabel blijkt dat er bij beide meetlocaties over de periode 1976 t/m 2008 een statistisch significante daling van de chloridevracht is opgetreden. De daling was het grootst voor de Rijn bij Lobith (-7,2 kg/s per jaar), maar de relatieve trends verschilden niet veel.

2.7 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk

1. De chlorideconcentratie en de chloridevracht van de Rijn bij Lobith zijn vanaf 1875 gefaseerd toegenomen tot maximale waarden tussen 1975 en 1985, om daarna weer sterk af te nemen.
2. Van 1875 t/m 1884 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 19 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 40 kg/s (1,26 miljoen ton/jaar). We mogen veronderstellen dat deze waarden min of meer de natuurlijke gemiddelden zullen benaderen.
3. Van 1885 tot het eind van de 2^e wereldoorlog zijn er over het algemeen nog slechts geleidelijke toenames van de chlorideconcentratie en de chloridevracht van de Rijn bij Lobith. Dit zal samenhangen met de transitie van een hoofdzakelijk agrarische naar een meer geïndustrialiseerde samenleving.
4. Van 1945 tot 1975 à 1985 treden de grootste toenames op, vooral door de zoutlozingen van de Franse kalimijnen in de Elzas en de Duitse mijnen en zware industrie in het Ruhrgebied. Over de periode 1975 t/m 1979 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 178 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 335 kg/s (10,55 miljoen ton/jaar).
5. Na 1985 beginnen de concentratie en de vracht echter weer duidelijk af te nemen. Over de periode 2000 t/m 2004 bedraagt de gemiddelde chlorideconcentratie 96 mg/l en de gemiddelde chloridevracht 209 kg/s (6,59 miljoen ton/jaar) In 2007 en 2008 lag de chlorideconcentratie rond de 76 mg/l en de vracht rond de 5,1 miljoen ton/jaar, wat betekent dat we inmiddels zijn teruggekeerd naar het niveau van circa 1950. De afname komt vooral doordat de zoutlozingen, in het kader van het Rijn-Zoutverdrag door de Franse kalimijnen zijn teruggebracht.
6. De jaargemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith vertoont over de periode 1900 – 2008 geen statistisch significante trend.
7. Op alle beschouwde meetlocaties (Lobith, Kampen, Ketelmeer-West, Vrouwezand en Andijk) is over de periode 1976 t/m 2008 een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie opgetreden. De grootste daling is opgetreden in de Rijn bij Lobith (-3,2 mg/l per jaar) en de kleinste in het IJsselmeer bij Vrouwezand (-2,6 mg/l). De trends in het Ketelmeer bij Ketelmeer-West en in het IJsselmeer bij Vrouwezand en Andijk zijn geringer dan die in de Rijn bij Lobith en de IJssel bij Kampen. Dit komt doordat de betreffende meren ook andere aanvoerpunten van chloride hebben, zodat de veranderingen die plaatsvinden in de Rijn en de IJssel enigszins gedempt doorwerken.
8. Voor wat betreft de afvoer van de Rijn bij Lobith en de afvoer van de IJssel bij Kampen zijn er over de periode 1976 – 2008 geen statistisch significante trends opgetreden.
9. Bij deze meetlocaties zijn er over deze periode daarentegen wel statistisch significante dalingen van de chloridevracht opgetreden. De daling was het grootst voor de Rijn bij Lobith (-7,2 kg/s per jaar), maar de relatieve trends van de twee locaties verschilden niet veel (-2,5% bij Lobith en -2,2% bij Kampen).
10. De AMvB-norm voor inname (200 mg chloride/l) is bij vier van de vijf beschouwde meetlocaties al meer dan 10 jaar niet meer overschreden. Alleen in het IJsselmeer bij Vrouwezand is die grens in 2004 nog overschreden.
11. De drinkwaternorm (150 mg chloride/l) is in de IJssel bij Kampen en het Ketelmeer bij Ketelmeer-West al meer dan 10 jaar niet overschreden. In de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Vrouwezand en bij Andijk is die norm in 2006 nog overschreden.

12. De chlorideconcentratie neemt van Lobith naar Kampen statistisch significant af en vervolgens neemt deze van Kampen naar Vrouwezand en Andijk weer statistisch significant toe.
13. Over de periode 1999 t/m 2008 lag de gemiddelde concentratie bij Kampen 11 mg/l lager dan bij Lobith, terwijl deze bij Andijk 23 mg/l hoger lag dan bij Kampen en 12 mg/l hoger dan bij Lobith.
14. De chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk is statistisch significant hoger dan die van de Rijn bij Lobith.
15. Het water van het Ketelmeer is niet goed gemengd met dat van het IJsselmeer. De chlorideconcentratie bij Ketelmeer-West is over de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 20 mg/l lager dan die bij Vrouwezand en Andijk.



Chloridebronnen

Chloridebronnen in traject Lobith – Kampen

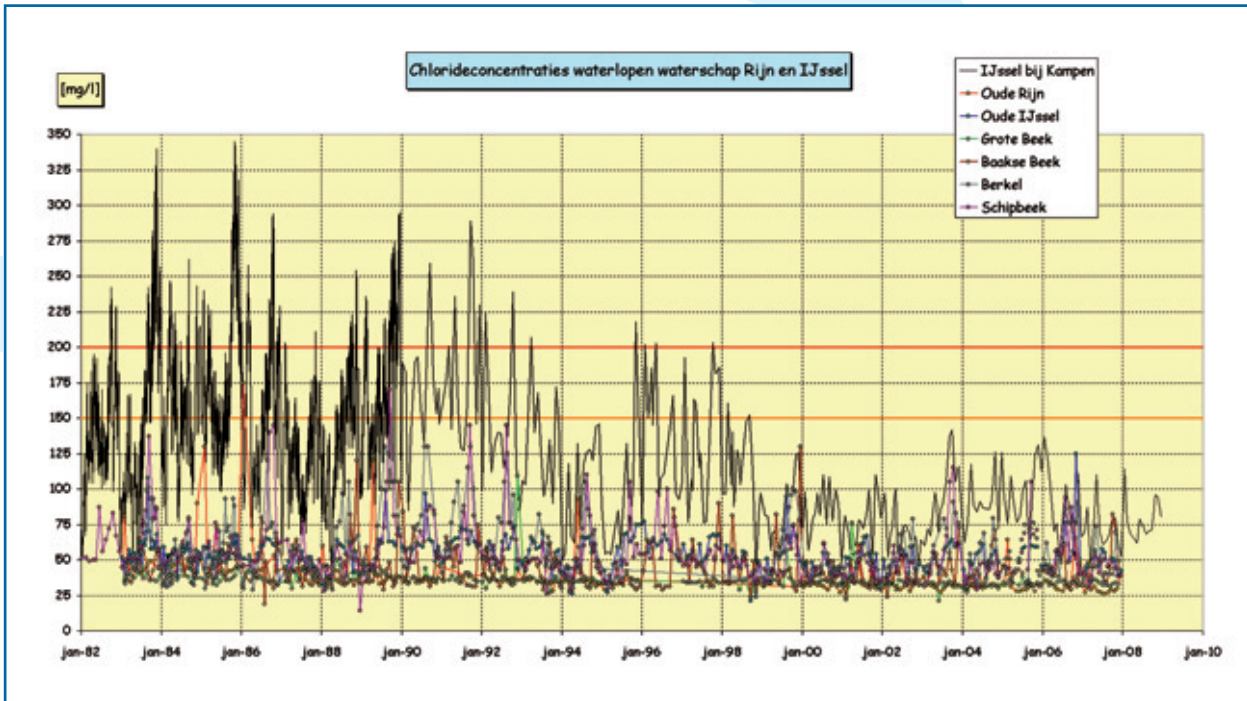
Dit hoofdstuk beschouwt de chloridebronnen van Lobith tot Kampen, waarbij we nagaan hoe het komt dat de chlorideconcentratie in dit traject statistisch significant afneemt. Zo lag de concentratie van de IJssel bij Kampen in de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 11 mg/l lager dan die van de Rijn bij Lobith, namelijk 82 mg/l versus 93 mg/l (zie § 2.6.1).

De IJssel is een betrekkelijk jonge rivier van 125 km lengte, die een breed dal tussen Veluwe en Salland volgt. De rivier draineert de omliggende gronden en ontvangt ook kwelwater van de Veluwe en de Sallandse heuvelrug. Vanuit het oosten en het westen stromen er meerdere waterlopen af naar het IJsseldal. Voor onze studie hebben we gegevens over deze waterlopen opgevraagd bij de drie waterschappen in het betreffende traject, namelijk het waterschap Rijn en IJssel in het zuidoostelijke deel (tot Deventer), het waterschap Groot Salland in het noordoostelijke deel en het waterschap Veluwe in het westelijke deel.⁸ Er bleken van een aantal waterlopen meetreeksen van de chlorideconcentratie beschikbaar. Afvoergegevens waren daarentegen slechts sporadisch beschikbaar. Gevoegd bij het feit dat we ook geen gegevens over de omvang van de kwel naar het IJsseldal hebben, kunnen we hier geen chloridebalans van het traject opstellen. Wel kunnen we op basis van het beschikbare materiaal ons inzicht vergroten.

3.1 Chloridebronnen ten oosten van de IJssel

De waterlopen in het beheersgebied van het waterschap Rijn en IJssel lopen van het zuidoosten (doorgaans komende uit Duitsland) naar het noordwesten, waar ze uitmonden in de IJssel. Van zuid naar noord zijn de relevantste waterlopen Oude Rijn, Oude IJssel, Grote Beek, Baakse Beek, Berkel en Schipbeek. De chlorideconcentratieverlopen van deze waterlopen zijn weergegeven in figuur 3.1, over de periode januari 1982 t/m december 2007. Ter vergelijking toont deze figuur tevens de meetreeks van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen.

⁸ Het waterschap Groot Salland kon helaas niet tijdig gegevens beschikbaar maken voor deze studie.



Figuur 3.1: Meetreeksen van de chlorideconcentraties van de relevante waterlopen van het waterschap Rijn en IJssel, over de periode januari 1982 t/m december 2007. Ter vergelijking is tevens de meetreeks van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen weergegeven. De individuele concentratieverlopen van de waterlopen zijn hier weliswaar moeilijk te onderscheiden, maar het is duidelijk dat hun niveaus lager zijn dan het chlorideniveau van de IJssel.

We zien in figuur 3.1 dat de chlorideconcentraties van de zes beschouwde waterlopen duidelijk lager zijn dan de chlorideconcentraties van de IJssel. Het verschil wordt echter geleidelijk minder, door de dalende chlorideconcentratie van de IJssel.

Tabel 3.1 vermeldt enkele kengetallen van de chlorideconcentraties van de zes waterlopen, evenals de resultaten van trendanalyse, uitgevoerd bij een recente studie voor het waterschap [Baggelaar en Van der Meulen, 2008].

Chlorideconc. Waterloop	Start	Eind	Mediaan [mg/l]	Gemidd [mg/l]	Stafw [mg/l]	Trend [mg/l/j]	Trend / mediaan	Signific?	Oordeel	Debiet [m ³ /s]
Oude Rijn	14-01-1983	10-12-2007	35	39	15,9	-0,50	-1,4%	Ja	Kleine trend	
Oude IJssel	13-01-1983	18-12-2007	53	53	11,8	-0,24	-0,5%	Nee	Geen trend	11,0
Grote Beek	04-02-1983	26-11-2007	35	36	6,3	-0,25	-0,7%	Ja	Zeer kleine trend	
Baakse Beek	08-02-1983	26-11-2007	41	44	14,3	-0,15	-0,4%	Ja	Zeer kleine trend	1,1
Berkel	22-01-1983	27-11-2007	53	59	21,2	-0,29	-0,5%	Nee	Geen trend	2,2
Schipbeek	24-01-1973	18-12-2007	51	56	20,6	-0,43	-0,8%	Ja	Zeer kleine trend	2,8

Tabel 3.1: Kengetallen en resultaten van de trendanalyse van de chlorideconcentraties van de zes beschouwde waterlopen van het waterschap Rijn en IJssel. De laatste kolom vermeldt voor vier waterlopen het gemiddelde debiet over de periode 2003 t/m 2008.

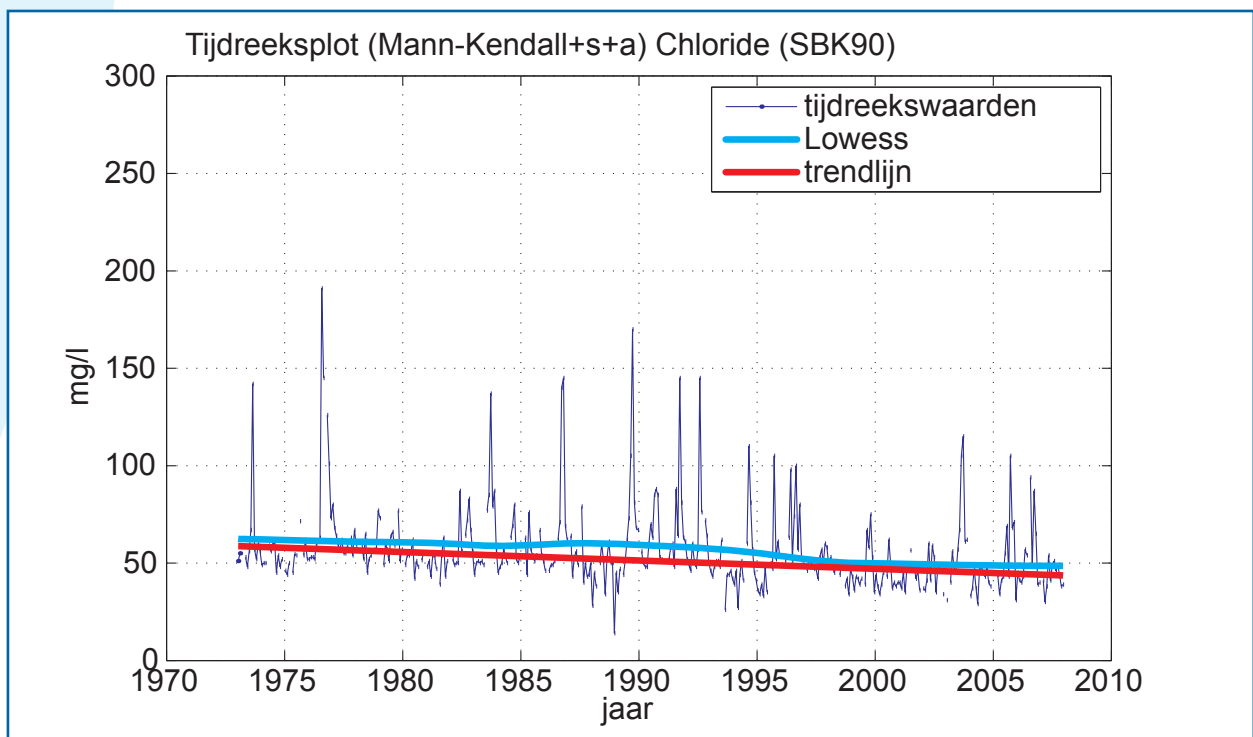
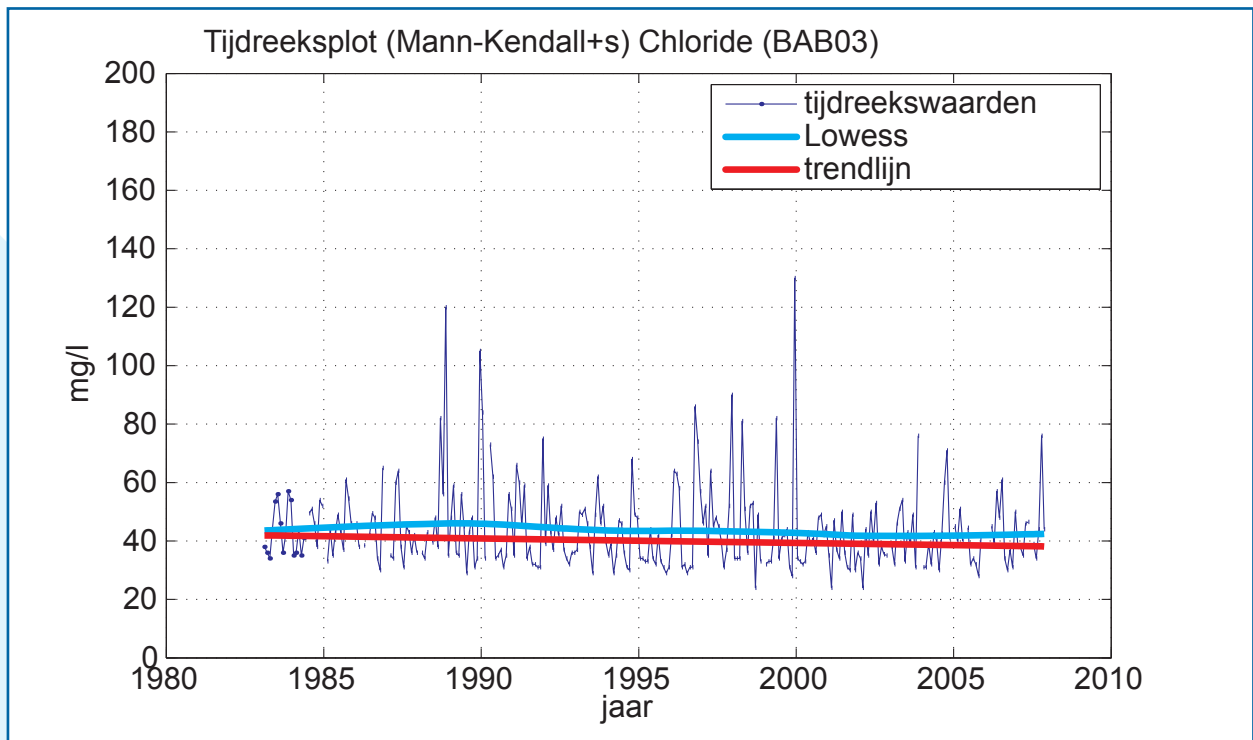
Uit tabel 3.1 blijkt dat de gemiddelde chlorideconcentraties van deze waterlopen tussen de 36 en 59 mg/l bedragen. Verder blijkt dat bij vier van de zes waterlopen een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie is opgetreden (zie ook de twee voorbeelden van figuur 3.2). Vermoedelijk hangt dit samen met de sedert 1984 genomen maatregelen tegen vermisting (chloride is immers een onderdeel van mest). Mogelijk speelt ook een rol dat wegeenzout steeds efficiënter wordt ingezet.

Verder ontvingen we van het waterschap Rijn en IJssel gegevens over de lozingen van rwzi's op de IJssel. Deze zijn samengevat in tabel 3.2.

rwzi	chloride [mg/l]	debiet [m ³ /s]
Nieuwgraaf	168	0,65
Olburgen	158	0,25
Zutphen	130	0,23

Tabel 3.2: Gemiddelde chlorideconcentratie en debiet van het effluent van rwzi's van waterschap Rijn en IJssel die lozen op de IJssel.

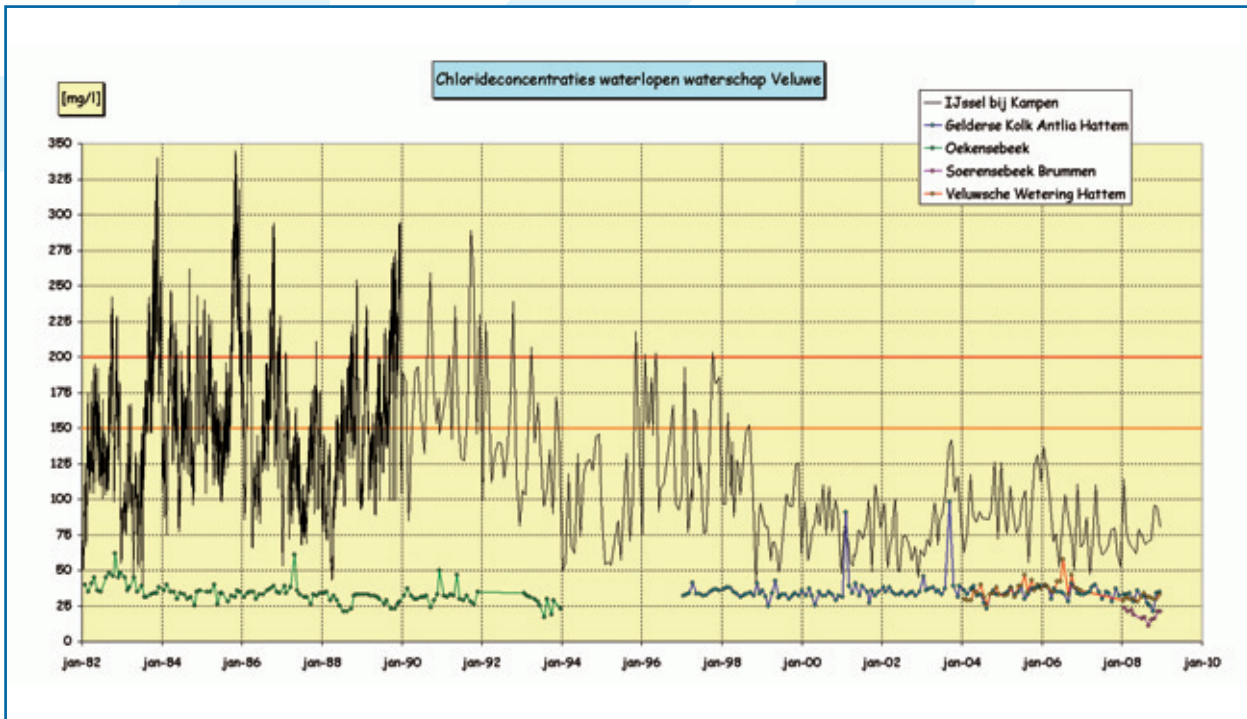
Uit tabel 3.2 blijkt dat de effluenten van deze rwzi's relatief hoge chlorideconcentraties hebben. Maar hun gemiddelde debieten zijn zeer gering (rwzi Nieuwgraaf) tot vrijwel verwaarloosbaar (de overige twee rwzi's) ten opzichte van het gemiddelde debiet van de IJssel bij Kampen, dat circa 390 m³/s bedraagt.



Figuur 3.2: Trendplot van de chlorideconcentratie van de Baakse Beek (boven) en de Schipbeek (onder), met daarin weergegeven de meetreeks, de geschatte trendlijn en de LOWESS-lijn.

3.2 Chloridebronnen ten westen van de IJssel

Voor wat betreft het gebied ten westen van de IJssel kon het waterschap Veluwe ons meetreeksen leveren van de chlorideconcentratie van een viertal waterlopen die uitmonden in de IJssel. Deze zijn weergegeven in figuur 3.3, evenals de meetreeks van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen.



Figuur 3.3: Meetreeksen van de chlorideconcentraties van relevante waterlopen van het waterschap Veluwe, over de periode januari 1982 t/m december 2008. Ter vergelijking is tevens de meetreeks van de chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen weergegeven. De individuele concentratieverlopen van de waterlopen zijn hier weliswaar moeilijk te onderscheiden, maar het is duidelijk dat hun niveaus lager zijn dan het chlorideniveau van de IJssel.

Uit figuur 3.3 blijkt dat deze waterlopen een nóg lager concentratieniveau hebben dan de waterlopen die vanuit het oosten uitmonden in de IJssel. De Gelderse Kolk, de Oekensebeek en de Veluwsche Wetering hebben elk het gemiddelde rond de 35 mg/l. De Soerensebeek heeft een nog lager gemiddelde, van 19 mg/l. De beken vertonen ook weinig fluctuatie in de chlorideconcentratie. De lage concentraties en het doorgaans vlakke verloop wijzen er op dat ze grotendeels worden gevoed door kwel vanaf de Veluwe.

Verder ontvingen we van het waterschap Veluwe gegevens over de lozingen van rwzi's op de IJssel. Deze zijn samengevat in tabel 3.3.

rwzi	chloride [mg/l]	debiet [m ³ /s]
Apeldoorn	125	0,81
Brummen	67	0,07
Hattem	121	0,13
Heerde	60	0,05
Terwolde	175	0,09

Tabel 3.3: Gemiddelde chlorideconcentratie en debiet van het effluent van rwzi's van waterschap Veluwe die lozen op de IJssel.

Uit tabel 3.3 blijkt dat de effluenten van enkele van deze rwzi's relatief hoge chlorideconcentraties hebben. Maar hun gemiddelde debieten zijn zeer gering (rwzi Apeldoorn) tot vrijwel verwaarloosbaar (de overige vijf rwzi's) ten opzichte van het gemiddelde debiet van de IJssel bij Kampen, dat circa 390 m³/s bedraagt.

3.3 Synthese

Het ligt voor de hand dat de verdunning van de chlorideconcentratie in het traject Lobith – Kampen wordt veroorzaakt door de relatief lage chlorideconcentraties van de waterlopen die uitmonden in de IJssel en de lage chlorideconcentratie van de kwel in het IJsseldal. De rwzi-lozingen op de IJssel met relatief hoge chlorideconcentraties zijn blijkbaar te gering om dat effect teniet te doen.

3.4 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk

1. De IJssel draineert de omliggende gronden en ontvangt ook kwelwater van de Veluwe en de Sallandse heuvelrug.
2. Vanuit het oosten en het westen stromen meerdere waterlopen af naar het IJsseldal.
3. De chlorideconcentraties van de waterlopen die uitmonden in de IJssel hebben duidelijk lagere chlorideconcentraties dan de IJssel. Het verschil wordt echter geleidelijk minder, door de dalende chlorideconcentratie van de IJssel.
4. De gemiddelde chlorideconcentraties van de waterlopen die vanuit het oosten uitmonden in de IJssel bedragen tussen de 36 en 59 mg/l.
5. Bij enkele van de waterlopen die vanuit het oosten uitmonden in de IJssel is een statistisch significante daling van de chlorideconcentratie opgetreden. Vermoedelijk hangt dit samen met de sedert 1984 genomen maatregelen tegen vermesting. Mogelijk speelt ook een rol dat wegeenzout steeds efficiënter wordt ingezet.
6. De waterlopen die vanuit het westen uitmonden in de IJssel hebben een nóg lager concentratieniveau dan de waterlopen die vanuit het oosten uitmonden in de IJssel. Ze hebben het gemiddelde rond de 35 mg/l (één beek heeft zelfs een gemiddelde van 19 mg/l) en vertonen ook weinig fluctuatie. De lage concentraties en het doorgaans vlakke verloop wijzen er op dat ze grotendeels worden gevoed door kwel vanaf de Veluwe.
7. De effluenten van de rwzi's die lozen op de IJssel hebben relatief hoge chlorideconcentraties. Maar hun gemiddelde debieten zijn zeer gering tot vrijwel verwaarloosbaar ten opzichte van het gemiddelde debiet van de IJssel bij Kampen.
8. Het ligt voor de hand dat de verdunning van de chlorideconcentratie in het traject Lobith – Kampen wordt veroorzaakt door de relatief lage chlorideconcentraties van de waterlopen die uitmonden in de IJssel en de lage chlorideconcentratie van de kwel in het IJsseldal.



Chloridehuishouding IJsselmeer

Dit hoofdstuk richt zich op de chloridehuishouding van het IJsselmeer, met aandacht voor de belangrijkste aanvoer- en afvoerpunten, hun debieten en chloridevrachten. We gaan ook na hoe het komt dat de chlorideconcentratie van het IJsselmeer (bij Vrouwezand en Andijk) statistisch significant hoger is dan die van de IJssel bij Kampen. Zo waren de concentraties bij Andijk en Vrouwezand in de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 23 mg/l hoger dan bij Kampen, namelijk beide 105 mg/l, versus 82 mg/l bij Kampen (zie § 2.6.1).

4.1 Compartimentering IJsselmeergebied

Het watersysteem IJsselmeergebied heeft een totale oppervlakte van circa 1.900 km² en bestaat uit drie hydrologische compartimenten [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2006]:

- I. IJsselmeer, Ketelmeer, Zwarte Meer en Vossemeer (oppervlakte circa 1.100 km²). Dit compartiment staat in verbinding met de Waddenzee via de Stevinsluizen bij Den Oever en de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand. Om het noordwesten van Overijssel te beschermen tegen het soms opstuwende water is er sinds 2002 een balgstuw (een opblaasbare dam) bij Ramspol, tussen het Ketelmeer en het Zwarte Meer. Door een combinatie van hoge IJsselafvoer, hoog meerpeil en noordwesterstorm kan het IJsselmeerwater namelijk flink opstuwen in het Zwarte Meer.
- II. Markermeer, IJmeer, Gouwee, Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw (oppervlakte circa 740 km²). De grens van dit compartiment met compartiment I wordt gevormd door de dijk Enkhuizen – Lelystad (de Houtribdijk), met daarin de Krabbersgatsluizen (nabij Enkhuizen) en de Houtribsluizen (nabij Lelystad).
- III. Dit compartiment bestaat uit de Veluwerandmeren: Wolderwijd, Nulderneau, Veluwemeer en Drontermeer (oppervlakte circa 46 km²). Vóór medio 2002 betrof dit nog twee gescheiden compartimenten, maar sinds de vervanging van de Hardersluis en de Knardam door een brug en een aquaduct op 14 juni 2002 vormen Wolderwijd/Nulderneau en Veluwemeer/Drontermeer één compartiment. Het compartiment III staat in verbinding met compartiment I via de Roggebotsluis en sinds 1996 ook via twee spuikokers voor de waterafvoer van het Drontermeer naar het Vossemeer. De grens tussen de compartimenten II en III wordt gevormd door de Nijkerkersluis. Het water van dit compartiment is grotendeels afkomstig van directe neerslag en overtollig water uit Flevoland dat via gemaal Lovink in het Veluwemeer wordt gepompt.

In het nu volgende beschouwen we de chloridehuishouding van het compartiment I. Doorgaans zullen we dit in brede zin aanduiden als ‘het IJsselmeer’, maar daaronder wordt dan ook begrepen het Ketelmeer, het Zwarte Meer en het Vossemeer.

4.2 Enkele kenmerken van het IJsselmeer

Het IJsselmeer is het grootste meer van Nederland. Tot de afsluiting van de dijk tussen Enkhuizen en Lelystad (1976) vormde het één geheel met het Markermeer. De gemiddelde diepte is 4,6 meter. Het diepste punt, de val van Urk, bevindt zich bij Urk (5,5 meter beneden NAP).

De verblijftijd van het IJsselmeerwater varieert over het jaar van 50 – 150 dagen.

De belangrijkste aanvoerbronnen van water naar het IJsselmeer zijn de IJssel (via het Ketelmeer) en de Overijsselse Vecht (via het Zwarte Water, het Zwarte Meer en het Ketelmeer).

De afvoer van water is hoofdzakelijk naar de Waddenzee. Dit gebeurt via twee spuicomplexen, namelijk de Stevinsluizen bij Den Oever (Noord-Holland) en de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand (Friesland). Het spuien gebeurt bij eb, als de Waddenzee lager staat dan het IJsselmeer.

In periode van droogte worden (doorgaans beperkte) hoeveelheden IJsselmeerwater ingelaten om delen van Noord-Holland, Friesland, Noordwest-Overijssel en de Noordoostpolder van zoet water te voorzien. Tenslotte wordt nog water door PWN en WRK ingenomen bij Andijk voor de drinkwatervoorziening.

Peilbeheer

In het winterseizoen (oktober tot en met maart) is vaak sprake van een wateroverschot, door de combinatie van een hogere IJsselafvoer en westenwind. Om dit te kunnen ondervangen is het streefpeil in de winter 20 cm lager dan in de zomer (40 cm –NAP versus 20 cm -NAP). Het spuiregime is vooral gericht op handhaving van het streefpeil en ook op het minimum peil voor de scheepvaart.

Het spuien via de Stevinsluizen bij Den Oever heeft de voorkeur, aangezien dat de waterkwaliteit voor de waterinname bij Andijk (voor drinkwaterbereiding) bevordert. Het spuien veroorzaakt namelijk een zoetwaterstroming die het zoutwater terugdringt, dat door het schutten van schepen bij de sluisen het IJsselmeer instroomt. Uit afvoercijfers vermeld in de bijlagen van de meerjarige beheersverslagen IJsselmeergebied [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006] hebben we kunnen berekenen dat er in de periode 1998 t/m 2004 via de Stevinsluizen jaarlijks ongeveer 1,3 tot 1,4 maal meer water is geloosd dan via de Lorentzsluisen (zie ook bijlage 2).

De peilen in het IJsselmeergebied worden volledig automatisch op 24 locaties gemonitord en daaruit worden gemiddelde meerpeilen per compartiment berekend. Rijkswaterstaat combineert deze informatie dagelijks met meteorologische gegevens, kwantiteitsgegevens van de belangrijkste aanvoer- en afvoerposten en kwaliteitsgegevens (chloride). Zo ontstaat inzicht in het wateroverschot of -tekort in het beheersgebied. Hierna vindt watertoedeling naar de verschillende compartimenten plaats en stelt Rijkswaterstaat spuiadviezen op voor de inzet van de spuisluizen.

Jaarlijks komt het Regionaal Droogteoverleg IJsselmeergebied bijeen om de waterverdeling te bespreken. Via Rijkswaterstaat IJsselmeergebied vindt zondig afstemming plaats met de Landelijke Commissie Waterverdeling.

Begin 2002 steeg het IJsselmeerpeil tot 43 cm +NAP. Hoewel de IJsselafvoer hoog was, was het ontstane hoge IJsselmeerpeil met name het gevolg van de slechte spuiomstandigheden bij de Afsluitdijk. Door stormachtige westenwind ontstonden namelijk hoge waterstanden aan de andere kant van de Afsluitdijk (Waddenzee), die het spuien bemoeilijkten.

4.3 Aanvoer- en afvoerpunten IJsselmeer

De belangrijkste aanvoer- en afvoerpunten van het IJsselmeer zijn weergegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1: Belangrijkste aanvoer- en afvoerpunten van het IJsselmeer. Bronnen: [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006].

De aanvoer- en afvoerpunten worden in het nu volgende kort besproken, met onderscheid naar riviermondingen (§ 4.3.1), sluisen (§ 4.3.2), gemalen (§ 4.3.3), inlaten (§ 4.3.4) en neerslag en verdamping (§ 4.3.5). De algemene beschrijvingen van deze punten zijn ontleend aan de website van Rijkswaterstaat, de websites van de betreffende waterschappen en de website van de Nederlandse Gemalen Stichting. De gegevens over debieten en chloridevrachten zijn berekend uit cijfers vermeld in de bijlagen van de meerjarige beheersverslagen van het IJsselmeergebied, die de periode 1998 t/m 2004 omvatten [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006]. Deze gegevens hebben we vermeld in bijlage 2.

4.3.1 Riviermondingen

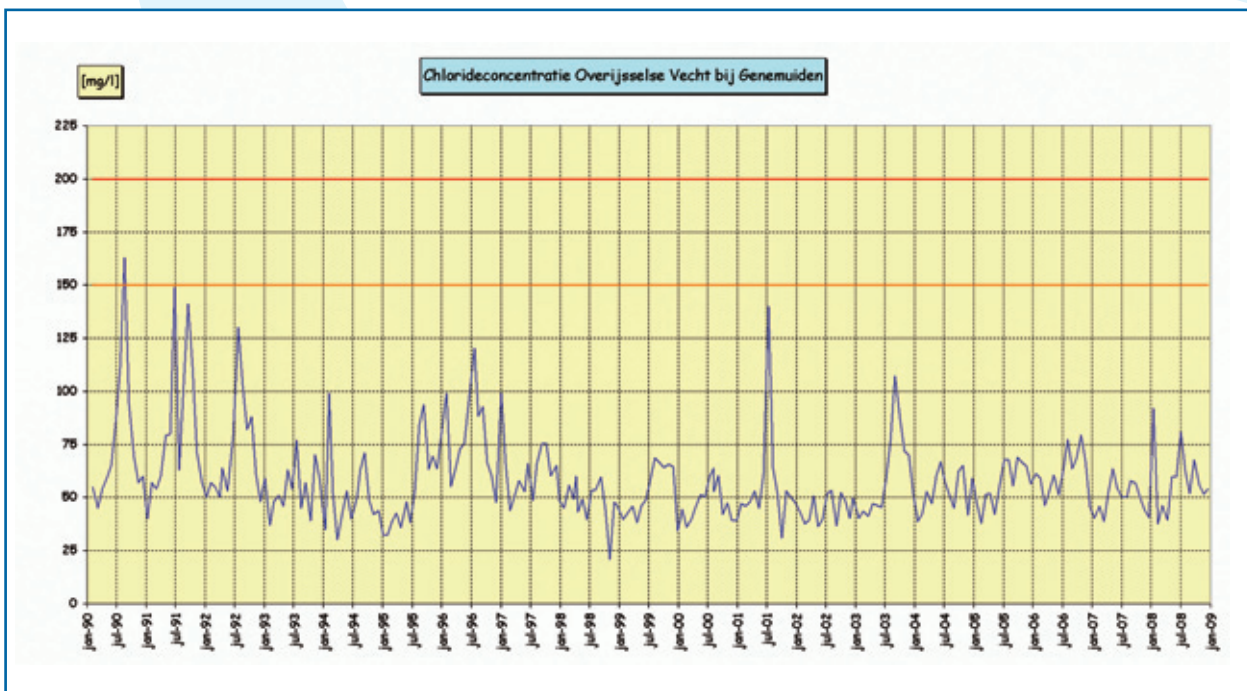
IJssel – De IJssel mondt even ten noorden van Kampen uit in het Ketelmeer.

In de periode 1998 t/m 2004 voerde de IJssel jaarlijks gemiddeld 13.303 miljoen m³ water af. Dit is gemiddeld circa 70% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Het verloop van de meetwaarden van chlorideconcentratie van de IJssel bij Kampen is weergegeven in figuur 2.10.

Zwarte Water – Het Zwarte Water is een 19 kilometer lange rivier die in Zwolle ontstaat uit de Soestwetering en de Nieuwe Wetering. De rivier stroomt langs Hasselt, Zwartsluis en Genemuiden en mondt uit in het Zwarte Meer. De Overijsselse Vecht mondt uit in het Zwarte Water, evenals het kanaal de Dedemsvaart. Verder is het Zwarte Water verbonden met de IJssel via het Zwolle-IJsselkanaal. In de periode 1998 t/m 2004 voerde het Zwarte Water jaarlijks gemiddeld 2.211 miljoen m³ water af. Dit is gemiddeld circa 12% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Het verloop van de meetwaarden van de chlorideconcentratie van de Overijsselse Vecht bij Genemuiden is weergegeven in figuur 4.2. Over de periode 1999 t/m 2008 was de gemiddelde chlorideconcentratie 54 mg/l. Dit is 28 mg/l minder dan de IJssel bij Kampen over dezelfde periode (82 mg/l).



Figuur 4.2: Verloop meetwaarden chlorideconcentratie van de Overijsselse Vecht bij Genemuiden, over de periode februari 1999 t/m december 2008.

4.3.2. Sluizen

Sluizen Afsluitdijk

Stevinsluizen (Den Oever) – De Stevinsluizen bestaan uit drie complexen met in totaal 15 spuisluizen en verder is er een schutsluis geschikt voor schepen tot 2.500 ton. Het spuien geschiedt onder vrij verval. Om te voorkomen dat er bij het schutten van schepen teveel zout water in het IJsselmeer komt, is er in 1994 een luchtbellenscherm in de schutsluis in gebruik genomen.

In de periode 1998 t/m 2004 werd via de Stevinsluizen jaarlijks gemiddeld 10.235 miljoen m³ water afgevoerd naar de Waddenzee. Per jaar werd gemiddeld circa 54% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer afgevoerd.

Lorentzsluizen (Kornwerderzand) – De Lorentzsluizen bestaan uit twee complexen met in totaal 10 spuisluizen en verder schutsluizen van 600 en 2.000 ton. Het spuien geschiedt onder vrij verval. In beide schutsluizen is er sinds 1975 een luchtbellenscherm in gebruik.

In de periode 1998 t/m 2004 werd via de Lorentzsluizen jaarlijks gemiddeld 7.395 miljoen m³ water afgevoerd naar de Waddenzee. Per jaar werd gemiddeld circa 39% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer afgevoerd.

De aanvoer van water naar het IJsselmeer door lekkage van de spuisluizen wordt door Rijkswaterstaat geschat op 9 à 10 miljoen m³ per jaar.

Sluizen Houtribdijk

De Houtribdijk, met daarop de N302, verbindt Enkhuizen en Lelystad en vormt de scheiding van het Markermeer en het IJsselmeer.

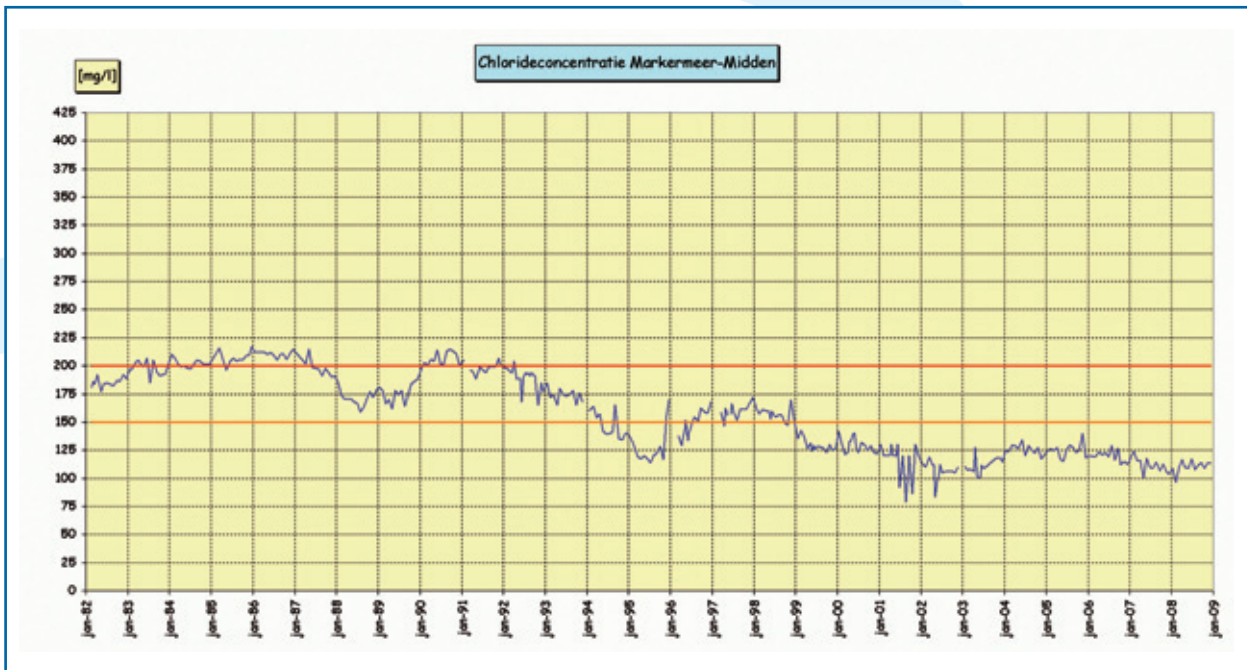
Krabbersgatsluizen (Enkhuizen) - Het complex omvat twee spuisluizen, een schutsluis en een naviduct (met twee schutsluizen). De twee spuisluizen zijn elk 18 meter breed. Er kan in beide richtingen worden gespuid. Aangezien dit onder vrij verval moet gebeuren, is het afhankelijk van de waterstanden in het Markermeer en het IJsselmeer.

De schutsluis was de drukste recreatiesluis van Nederland (destijds ook wel aangeduid als ‘Kalverstraat van het IJsselmeer’). Om de lange wachttijden voor het autoverkeer en het scheepvaartverkeer bij de Krabbersgatsluis op te lossen, is er sinds 2003 ook een naviduct, dat bestaat uit twee sluizen met daaronder een tunnel voor het wegverkeer.

In de periode 1998 t/m 2004 werd via de Krabbersgatsluizen gemiddeld 170 miljoen m³ water aangevoerd van het Markermeer naar het IJsselmeer, voornamelijk ‘s winters. Over dezelfde periode werd gemiddeld 254 miljoen m³ afgevoerd van het IJsselmeer naar het Markermeer, voornamelijk ‘s zomers. Van 1998 t/m 2001 en in 2003 werd er jaarlijks meer afgevoerd dan aangevoerd, terwijl er in 2002 en 2004 minder werd afgevoerd dan aangevoerd.

Houtribsluizen (Lelystad) – Het complex bestaat uit zes spuisluizen en twee schutsluizen. De zes spuisluizen zijn elk 18 meter breed. Er kan in beide richtingen worden gespuid, zij het onder vrij verval. In de periode 1998 t/m 2004 werd via de Houtribsluizen gemiddeld 743 miljoen m³ water aangevoerd van het Markermeer naar het IJsselmeer, voornamelijk ‘s winters. Over dezelfde periode werd gemiddeld 299 miljoen m³ afgevoerd van het IJsselmeer naar het Markermeer, voornamelijk ‘s zomers. Jaarlijks werd meer aangevoerd dan afgevoerd.

Over de periode 1999 t/m 2008 was de gemiddelde chlorideconcentratie van het Markermeer bij de meetlocatie Markermeer-Midden 118 mg/l. Dit is 13 mg/l meer dan het IJsselmeer bij Andijk en Vrouwezand over die periode (beide gemiddeld 105 mg/l). De chlorideconcentratie van het Markermeer vertoont overigens nauwelijks tot geen seizoensfluctuatie, dit in tegenstelling tot de chlorideconcentratie van het IJsselmeer (zie figuur 4.3).



Figuur 4.3: Verloop van de chlorideconcentratie van het Markermeer bij de meetlocatie Markermeer-Midden, over de periode 1982 t/m 2008.

Sluis Randmeren

Roggebotssluis (Dronten) – Deze sluis verbindt het Drontermeer en het Vossemeer (dat via het Ketelmeer in open verbinding staat met het IJsselmeer). Naast de sluis bevinden zich twee spuikokers van elk 1,8 meter diameter, waarmee water uit het Drontermeer naar het Vossemeer kan worden gespuid, onder vrij verval.

In de periode 1998 t/m 2004 werd via de sluis en de spuikokers van de Roggebotssluis jaarlijks gemiddeld 105 miljoen m³ water aangevoerd van het Drontermeer naar het Vossemeer. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

4.3.3. Gemalen

West-Friesland en Wieringermeer

Gemaal Grootslag (Andijk) – Het gemaal ligt aan de Dijkweg in Andijk en dient voor de bemaling van de polder Het Grootslag, die ligt in de driehoek Hoorn, Enkhuizen en Medemblik.

Over de periode 1998 t/m 2004 bedroeg de chlorideconcentratie van het afgevoerde water gemiddeld 245 mg/l. In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Grootslag jaarlijks gemiddeld 51 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Gemaal Vier Noorderkoggen (Onderdijk) - Het gemaal is gelegen aan de Kleine Vliet, iets ten zuiden van Medemblik en bemaalde de boezem van de Vier Noorder Koggen en de polders onder Medemblik. Over de periode 1998 t/m 2004 bedroeg de chlorideconcentratie van het afgevoerde water gemiddeld 249 mg/l.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Vier Noorderkoggen jaarlijks gemiddeld 97 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld (en afgerond) circa 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Gemaal Lely (Wieringerwerf) - Het gemaal is gelegen op de plaats van samenkomst van drie hoofdwatgangen: de Westfriese Vaart, de Medemblikkervaart en de Hoekvaart. Het bemaaft samen met het bij Den Oever gelegen gemaal Leemans (dat loost op de Waddenzee) de Wieringermeerpolder. Lozing vindt plaats naar een van

noodschuiven voorzien uitstroomhoofd in het IJsselmeer, via persleidingen onder de weg Medemblik-Den Oever en de Wieringermeerdijk. Over de periode 1998 t/m 2004 bedroeg de chlorideconcentratie van het afgevoerde water gemiddeld 462 mg/l.

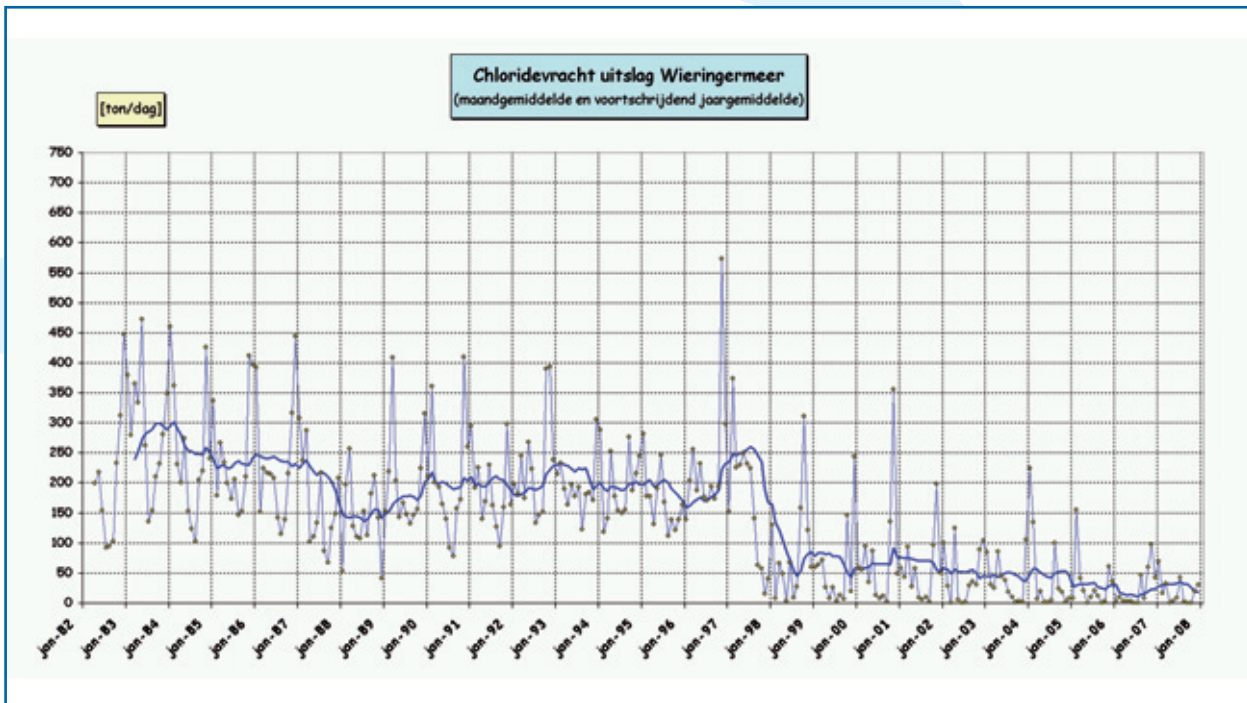
In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Lely jaarlijks gemiddeld 45 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

De Wieringermeer is een van de diepste droogmakerijen van Nederland, gemiddeld 4,0 meter –NAP en maximaal zelfs 6,60 meter –NAP. Door deze diepe ligging is er veel zoute kwel, die tot eind 1997 via de polderbemaling in het IJsselmeer terecht kwam. Dat gaf echter problemen voor de natuur en voor de waterinnames van PWN en WRK bij Andijk. Vandaar wordt sinds het najaar van 1997 het uitslagwater van de Wieringermeer via een ondergrondse afvoerleiding rechtsstreeks op de Waddenzee geloosd. De afvoerleiding is 1.100 meter lang, met een hoogte van 3 meter en een breedte van 4,25 meter. Ook het gezuiverde afvalwater van de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Wieringen wordt hiermee afgevoerd naar de Waddenzee. De Wieringermeerpolder wordt nu nog vrijwel alleen bemalen door gemaal Leemans, dat afvoert op de Waddenzee. Gemaal Lely springt soms echter nog bij. Door dit project, dat bekend staat als de AUWW (Afleiding Uitslagwater Wieringermeer naar de Waddenzee) en onderdeel uitmaakt van het Rijn-Zoutverdrag, is de zoutbelasting van het IJsselmeer sterk verminderd.

Reductie uitslag Wieringermeer naar IJsselmeer door AUWW

Het in werking treden van de afleiding van het uitslagwater van de Wieringermeer naar de Waddenzee heeft tot een structurele verlaging geleid van de door gemaal Lely naar het IJsselmeer uitgeslagen hoeveelheid water. Tot medio 1997 bedroeg de uitgeslagen hoeveelheid water gemiddeld 116 miljoen m³/jaar, terwijl deze van 1999 t/m 2007 gemiddeld nog maar 35 miljoen m³/jaar bedroeg. De verlaging van de uitslag van water door de afleiding was daarmee gemiddeld 81 miljoen m³/jaar.

Uit figuur 4.4 blijkt dat het in werking treden van de afleiding van het uitslagwater van de Wieringermeer naar de Waddenzee ook tot een structurele verlaging heeft geleid van de door gemaal Lely naar het IJsselmeer uitgeslagen chloridevracht. De uitslag daalt in augustus 1997 abrupt naar een veel lager niveau, met doorgaans echter nog wel uitschieters in herfst en/of winter. Dit komt doordat het gemaal Leemans niet altijd in staat is al het water uit de Wieringermeer af te voeren naar de Waddenzee en dan moet het gemaal Lely bijspringen, waardoor er dus weer even uitslag naar het IJsselmeer is. Tot medio 1997 bedroeg de uitgeslagen chloridevracht gemiddeld 210 ton chloride/dag (circa 77.000 ton/jaar), terwijl deze van 1999 t/m 2007 gemiddeld nog maar 43 ton chloride/dag (circa 16.000 ton/jaar) bedroeg. De verlaging van de gemiddelde chloridevracht door de afleiding was daarmee circa 61.000 ton/jaar.



Figuur 4.4: Verloop van het maandgemiddelde en het voortschrijdend jaargemiddelde van de chloridevracht van het uitslagwater van de Wieringermeer door het gemaal Lely naar het IJsselmeer, van april 1982 t/m december 2007. Het verloop is berekend uit door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier verstrekte gegevens over het debiet van gemaal Lely en het chloridegehalte van het aanvoerkanal.

Om de invloed van deze afleiding op het chloridegehalte van het IJsselmeer bij Andijk empirisch te ramen, is een statistisch tijdreeksmodel ontwikkeld dat het chloridegehalte bij Andijk over de periode april 1982 t/m december 2006 beschrijft als functie van: (1) de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith, (2) de afvoer van de Rijn bij Lobith, gecorrigeerd voor de chlorideconcentratie bij Lobith⁹ en (3) de chloridevracht van het uitslagwater van het Wieringermeer naar het IJsselmeer. Daaruit bleek dat de afleiding van uitslagwater van het Wieringermeer naar de Waddenzee gepaard ging met een statistisch significante gemiddelde verlaging van het chloridegehalte van het IJsselmeer bij Andijk van 12,3 mg/l, waarbij het 95%-betrouwbaarheidsinterval loopt van 3,5 mg/l tot 21,1 mg/l [Baggelaar, 2007]. We kunnen de verlaging ook theoretisch ramen, als we uitgaan van volledige menging van de aangevoerde chloridevracht over het IJsselmeer. In de periode 1998 t/m 2004 is gemiddeld per jaar 18,3 miljard m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer, na correctie voor de gemiddelde jaarlijkse verdamping (zie bijlage 2). Een verlaging van de gemiddelde chloridevracht van 61.000 ton/jaar zal dan uiteindelijk de chlorideconcentratie van het IJsselmeer met 3,3 mg/l verlagen. Deze raming is lager dan de raming volgens tijdreeksanalyse, ook als we rekening houden met het 95%-betrouwbaarheidsinterval van die laatste. Dit kan er op wijzen dat er geen volledige menging was en dat de uitslag van Wieringermeerwater zich meer deed gelden nabij Andijk dan in de rest van het IJsselmeer.

Uit een analytisch stromingsmodel is ook al gebleken dat het door de gemalen Grootslag, Vier Noorderkoggen en Lely uitgeslagen water bij ongunstige windcondities een sterke invloed kan hebben op de chlorideconcentratie bij het innamepunt van PWN en WRK bij Andijk [Bloemendal, 2007].

⁹ Deze correctie is uitgevoerd omdat het chloridegehalte en de afvoer van de Rijn bij Lobith zeer sterk (negatief) gecorreleerd zijn en dat geeft problemen bij de ontwikkeling van een tijdreeksmodel waar beide als invoerreeks dienen. Door de correctie is er geen onderlinge correlatie meer.

Friesland

Gemaal Hoogland (Stavoren) - Het gemaal Hoogland loost het water vanuit de Friese boezem op het IJsselmeer. Het nam in 1966 grotendeels de taak over van het andere Friese gemaal dat loost op het IJsselmeer, het Woudagemaal te Lemmer. De afvoercapaciteit van het Hooglandgemaal is met 6.000 m³ per minuut anderhalf maal groter dan die van het Woudagemaal. In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Hoogland jaarlijks gemiddeld 312 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld circa 2% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Gemaal Wouda (Lemmer) - Het gemaal Wouda is gelegen even ten westen van Lemmer aan het Stroomkanaal dat in verbinding staat met de Grote Brekken en het Koevordermeer en bemaalt de 15.000 hectare grote Friese boezem. Tot in 1966 het Hoogland gemaal bij Stavoren in gebruik kwam, vormde het Woudagemaal de enige boezembemaling van Friesland. Nu wordt het met enige regelmaat ingezet voor het wegwerken van hoogwaterpieken op de Friese boezem.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Wouda jaarlijks gemiddeld 63 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Noordoostpolder

Gemaal Buma (Lemmer) - Het gemaal Buma is gelegen aan de zuidzijde van Lemmer en bemaalt samen met het gemaal Vissering de Lage afdeling (5,70 meter –NAP) van de Noordoostpolder met een totale oppervlakte van 39.000 hectare. In sommige delen van het gebied treedt zoute kwel op, waardoor het afgevoerde water hogere chlorideconcentraties heeft. Over de periode 1998 t/m 2004 bedroeg deze concentratie gemiddeld 294 mg/l.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Buma jaarlijks gemiddeld 238 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld circa 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Gemaal Vissering (Urk) - Het gemaal Vissering bemaalt, samen met het gemaal Buma, de Lage Afdeling van de Noordoostpolder en loost op het IJsselmeer. Vanwege de zoute kwel in delen van het gebied bedroeg over de periode 1998 t/m 2004 de chlorideconcentratie van het afgevoerde water gemiddeld 285 mg/l.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Vissering jaarlijks gemiddeld 178 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld circa 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Gemaal Smeenge (Kraggenburg) - Gemaal Smeenge is het meest zuidelijk gelegen gemaal van de Noordoostpolder. Het bemaalt de Hoge afdeling (4,50 meter –NAP), met een oppervlakte van 9.000 hectare. Over de periode 1998 t/m 2004 bedroeg de chlorideconcentratie van het afgevoerde water gemiddeld 145 mg/l, dus ongeveer de helft van die van het water van de Lage afdeling.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Smeenge jaarlijks gemiddeld 19 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Overijssel

Gemaal Stroink (Vollenhove) - Het gemaal Stroink is het belangrijkste gemaal voor Noordwest-Overijssel en een deel van de provincie Drenthe. Het regelt het peil op de boezem van Noordwest-Overijssel (dit zijn onder andere de kanalen en de grote meren in Noordwest-Overijssel) en indirect van de polders in Noordwest-Overijssel, de polder Nijeveen-Kolderveen en het stroomgebied van de Vledder- en Wapserveense Aa. De totale oppervlakte van dit gebied is ruim 50.000 hectare. Het gemaal is gelegen aan het Ettenlandsch kanaal en loost via het Vollenhovermeer, het Vollenhoverkanaal, het Zwarte Meer en het Ketelmeer op het IJsselmeer.

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Stroink jaarlijks gemiddeld 144 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer. Per jaar werd gemiddeld circa 1% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

Flevopolder

Gemaal Colijn (Ketelhaven) - Het gemaal Colijn voert met twee pompen water af van de Lage afdeling van de Flevopolder (6,20 meter –NAP) en met één pomp water van de Hoge afdeling (5,20 meter –NAP). Het water van de Lage afdeling heeft door zoute kwel een hoge chlorideconcentratie (gemiddeld 473 mg/l over de periode 1998 t/m 2004). Het water van de Hoge afdeling heeft een minder hoge chlorideconcentratie (gemiddeld 110 mg/l over de periode 1998 t/m 2004).

In de periode 1998 t/m 2004 werd door het gemaal Colijn jaarlijks gemiddeld 352 miljoen m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer, waarvan 300 miljoen m³ afkomstig van de Lage afdeling en 52 miljoen m³ afkomstig van de Hoge afdeling. Per jaar werd gemiddeld circa 2% bijgedragen aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer.

4.3.4. Inlaten

Stonteler keersluis (Den Oever) – Via deze keersluis wordt in droge perioden water uit het IJsselmeer ingelaten in de kop van Noord-Holland. In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 12 miljoen m³ water ingelaten. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

Inlaat PWN/WRK (Andijk) – De inlaat bij Andijk dient voor de drinkwaterbereiding uit IJsselmeerwater. Daarmee worden ruim 1,1 miljoen personen in Noord-Holland voorzien van drinkwater (zie figuur 4.5). In tegenstelling tot de andere hier genoemde inlaten vindt de inlaat bij Andijk het gehele jaar plaats en dus niet alleen in droge perioden. In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 60 miljoen m³ water ingelaten. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

Inlaat Tacozijl (Lemmer) – Via deze inlaat wordt in droge perioden water uit het IJsselmeer ingelaten in Friesland. In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 30 miljoen m³ water ingelaten. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

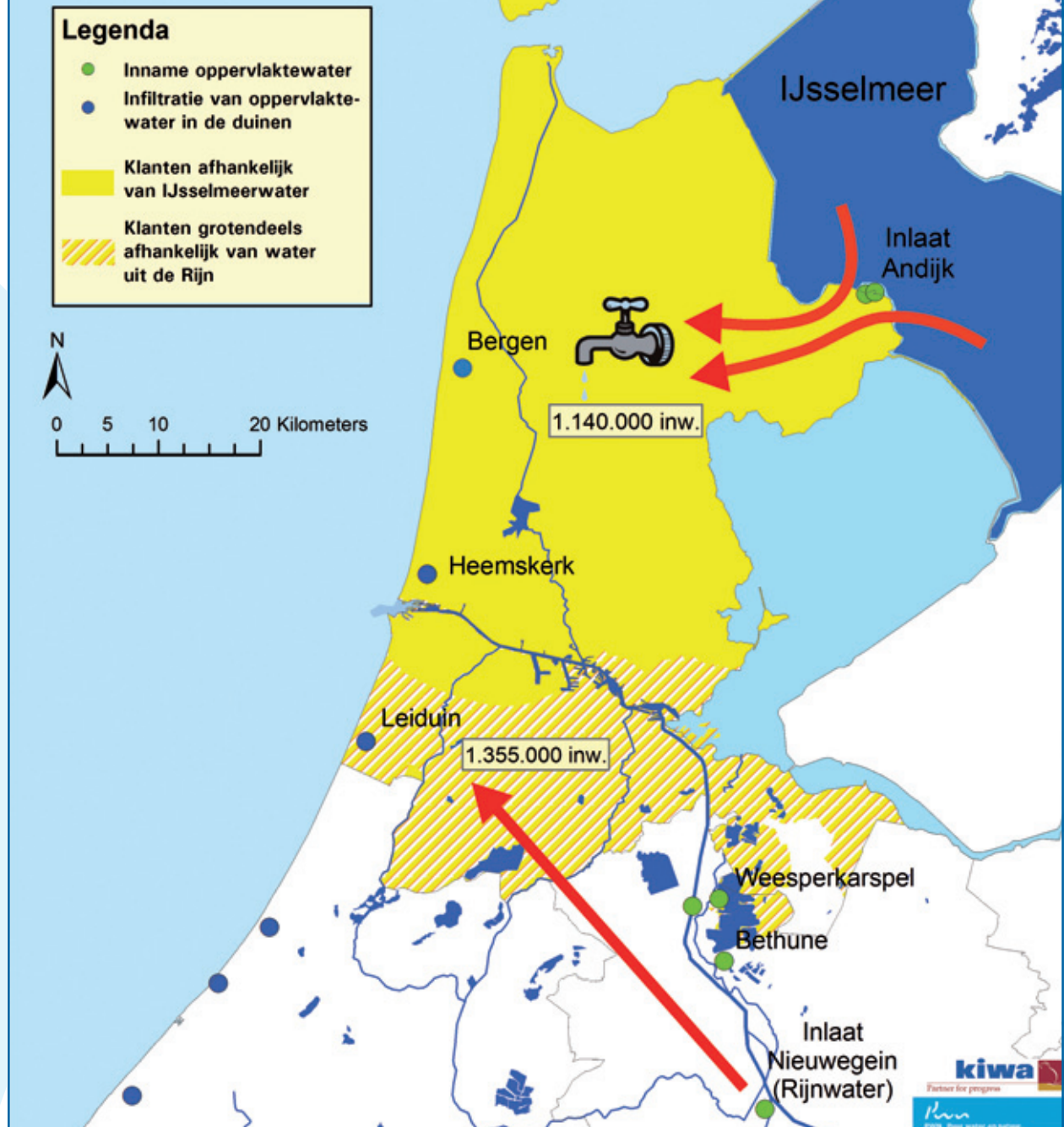
Inlaat Teroelsterkolk (Lemmer) - Deze inlaat bevindt zich op slechts enkele kilometers van de inlaat Tacozijl en dient evenzo om in droge perioden water uit het IJsselmeer in te laten in Friesland. In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 118 miljoen m³ water ingelaten. In het droge jaar 2003 was dit bijna het dubbele (216 miljoen m³). Per jaar werd gemiddeld (en afgerond) circa 1% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

Inlaten Noordoostpolder (meerdere locaties) - In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 34 miljoen m³ water ingelaten. Dit gebeurde doorgaans in droge perioden. Per jaar werd gemiddeld ruim minder dan 1% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

Inlaat Zwarte Water

In de periode 1998 t/m 2004 werd jaarlijks gemiddeld 607 miljoen m³ water ingelaten in de omgeving van het Zwarte Water. Dit gebeurde doorgaans in droge perioden. Per jaar werd gemiddeld circa 3% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer ingelaten.

Drinkwater uit oppervlaktewater: bronnen en klanten in Noord-Holland



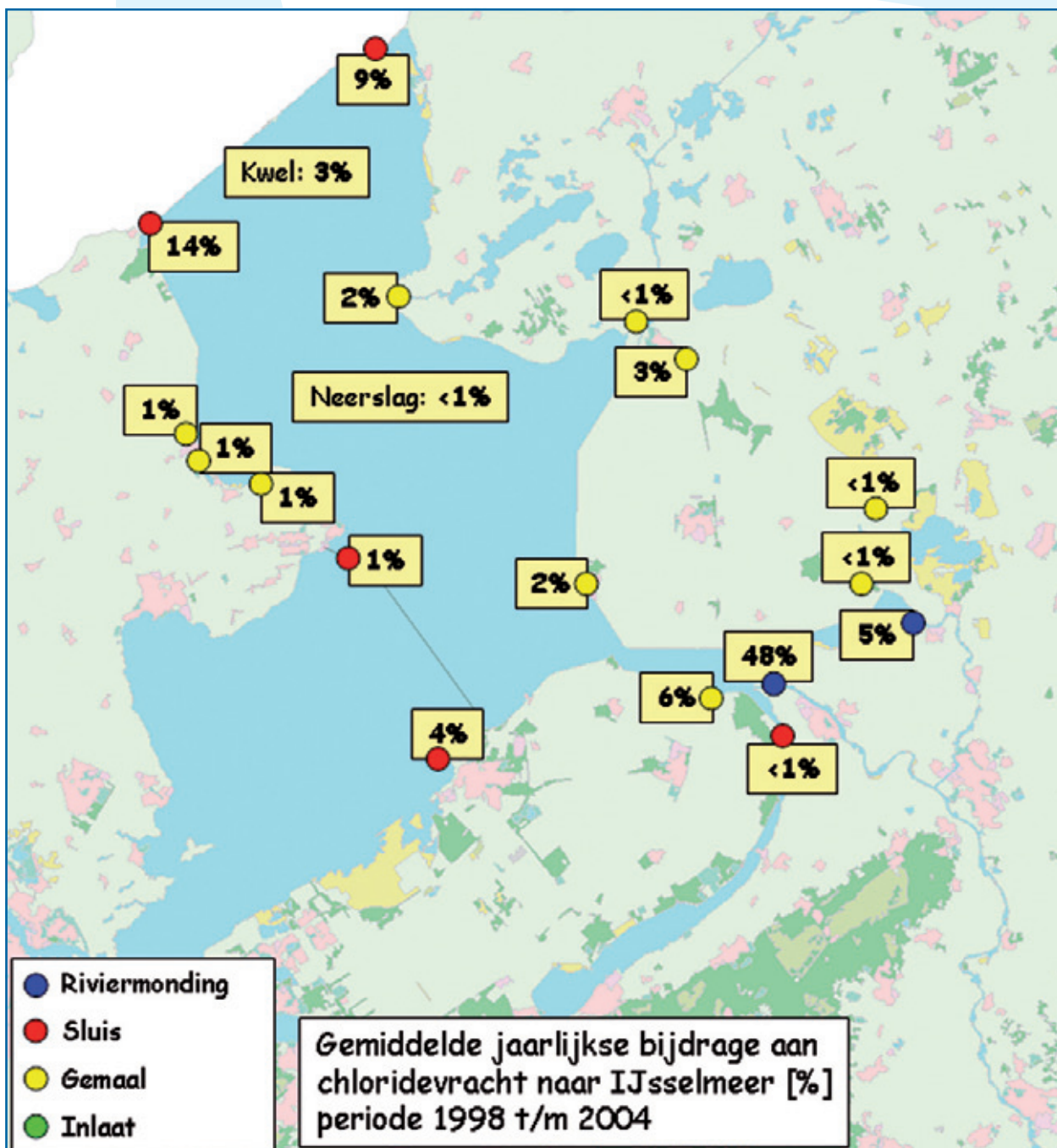
Figuur 4.5: Het IJsselmeer dient als drinkwaterbron voor ruim 1,1 miljoen personen in Noord-Holland.

4.3.5. Neerslag en verdamping

In de periode 1998 t/m 2004 werd met de neerslag jaarlijks gemiddeld 1.037 miljoen m³ water aangevoerd. In het natte jaar 1998 was dit 1.273 miljoen m³ en in het droge jaar 2003 712 miljoen m³. Per jaar droeg de neerslag gemiddeld 5% bij aan de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer. Door de geringe chlorideconcentratie van de neerslag (7 mg/l) was de bijdrage aan de jaarlijkse chloridevracht echter zeer klein (ruim minder dan 1%). In de periode 1998 t/m 2004 werd door de verdamping jaarlijks gemiddeld 791 miljoen m³ water afgevoerd. Per jaar verdampte gemiddeld 4% van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer. Netto bedroeg de meteorologische aanvoer (neerslag – verdamping) over de periode 1998 t/m 2004 gemiddeld 246 miljoen m³/jaar. In het natte jaar 1998 was dit 550 miljoen m³ en in het droge jaar 2003 -188 miljoen m³. In dat laatste jaar was de verdamping groter dan de neerslag.

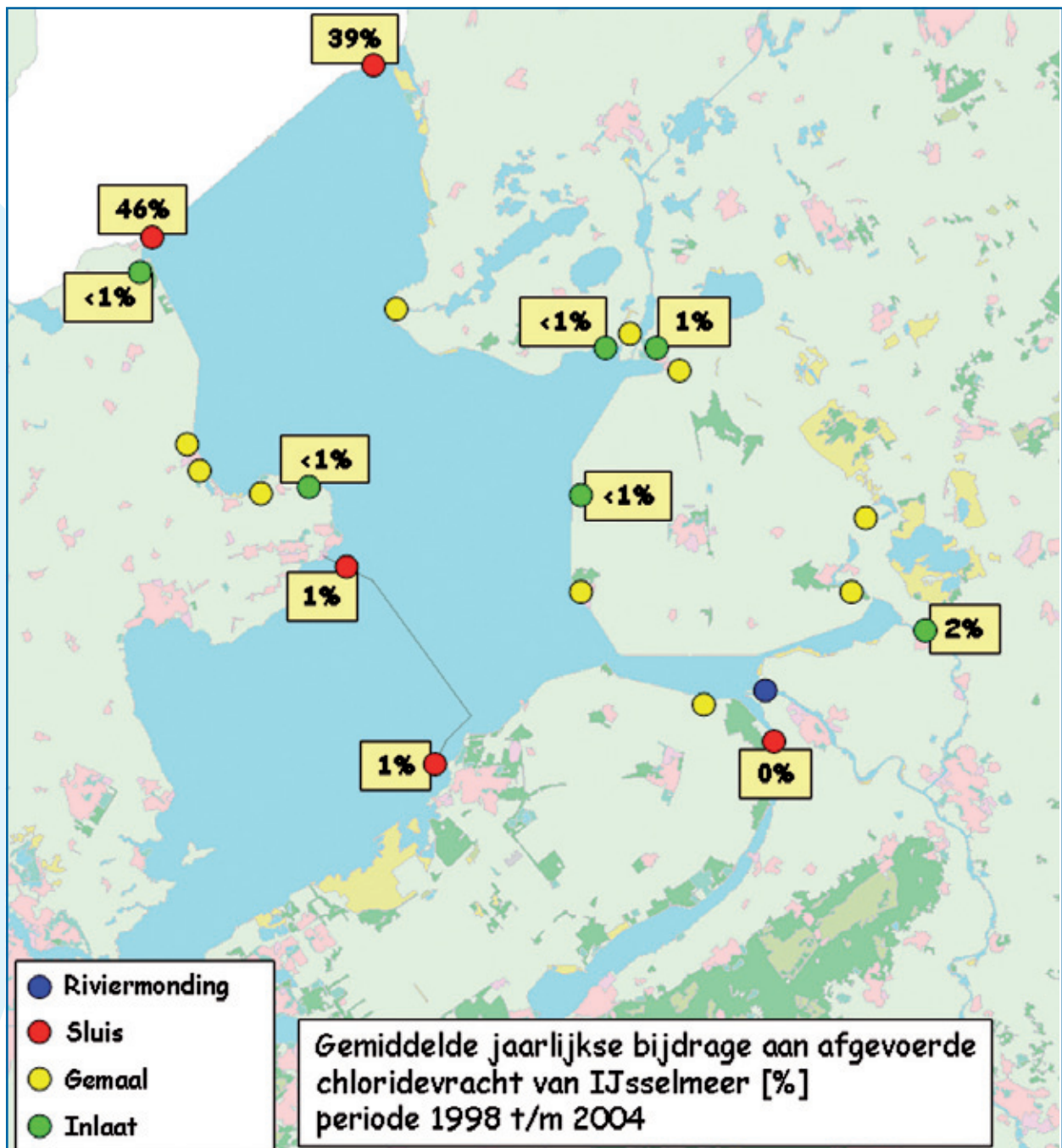
4.4 Chloridevrachtbalans IJsselmeer

Figuur 4.6 toont de belangrijkste aanvoerposten van de chloridevrachtbalans van het IJsselmeer. De vermelde procentuele bijdragen zijn berekend uit de cijfermatige bijlagen van de meer-jarige beheersverslagen van het IJsselmeergebied over de periode 1998 t/m 2004 [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006].



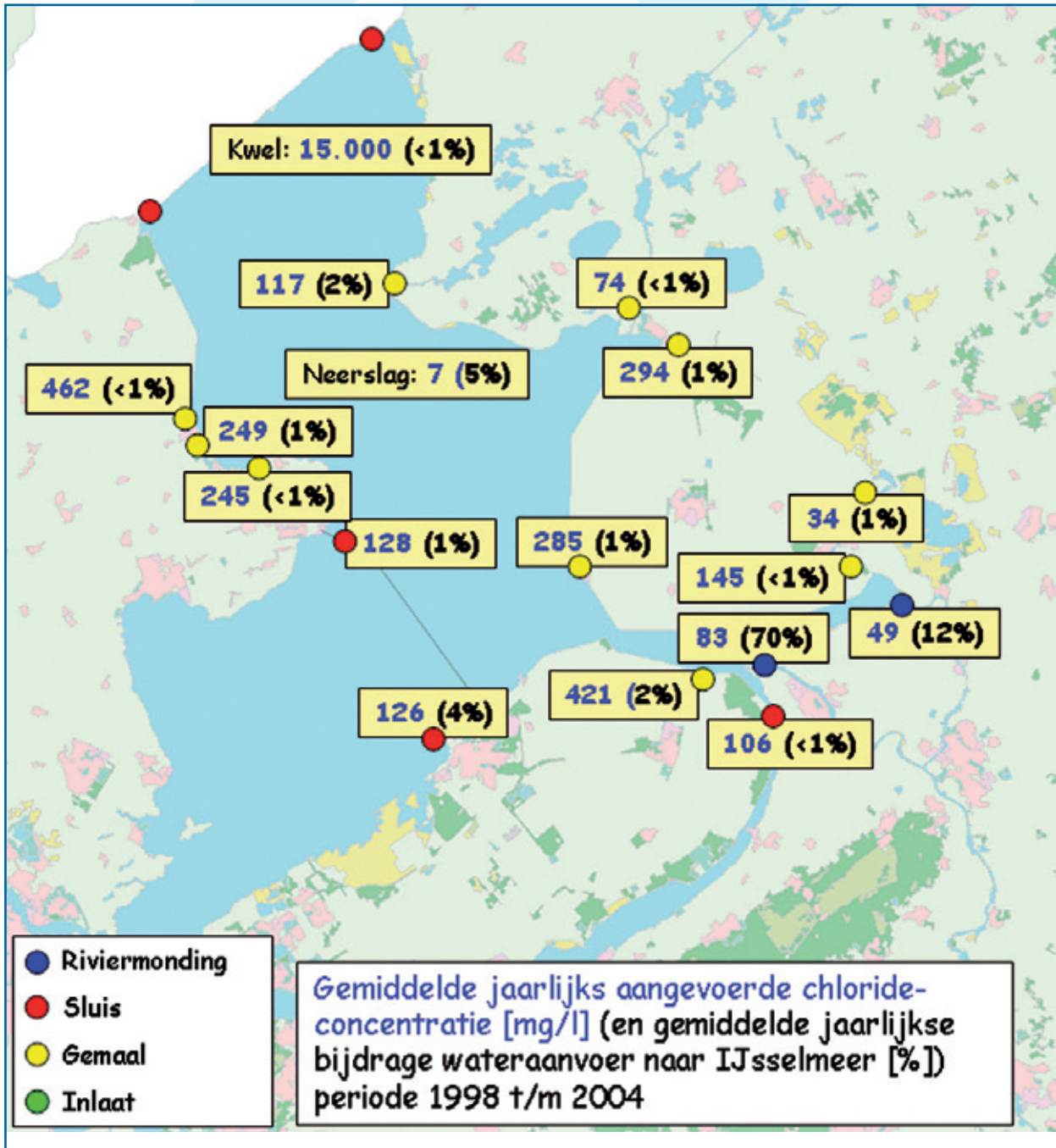
Figuur 4.6: De gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de chloridevracht naar het IJsselmeer over de periode 1998 t/m 2004.

De belangrijkste bijdragen aan de chloridevracht van het IJsselmeer komen van de IJssel (48%) en de schutsluizen van de Afsluitdijk (23%), zij het dat deze laatste bijdrage bij het gebruikelijke spuiregiem ook weer snel wordt afgevoerd. Verder zijn er relevante bijdragen van het Flevolandse gemaal Colijn (6%), het Zwarte Water (5%), het Markermeer (5%), kwel (3%), de Noordoostpolder-gemalen Buma (3%) en Vissering (2%), het Friese gemaal Hoogland (2%), de West-Friese gemalen Grootslag (1%) en Vier Noorderkoggen (1%) en het Wieringermeer-gemaal Lely (1%). Figuur 4.7 toont de belangrijkste afvoerposten van de chloridevrachtbalans van het IJsselmeer, zoals wij deze hebben berekend uit de cijfermatige bijlagen van de meerjarige beheersverslagen van het IJsselmeergebied over de periode 1998 t/m 2004 [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006]. De percentages zijn berekend ten opzichte van de totale aangevoerde chloridevracht. De som van deze percentages bedraagt circa 90%, aangezien de balans niet sluitend is. Dit zal komen door onnauwkeurigheden in de cijfers, die immers soms moesten worden geraamd, aangezien niet overal uitvoerig is gemeten.



Figuur 4.7: De gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de afgevoerde chloridevracht van het IJsselmeer over de periode 1998 t/m 2004.

De afvoer van chloride vindt voornamelijk plaats via de spuilsuizen in de Afsluitdijk (85% van de jaarlijks aangevoerde chloridevracht). Verder is er relevante afvoer naar het Markermeer (2%) en is er relevante inlaat in de omgeving van het Zwarte Water (2%) en in de Friese boezem via de inlaat Teroelsterkolk bij Lemmer (1%). Figuur 4.8 toont voor de belangrijkste aanvoerpunten van het IJsselmeer de gemiddelde jaarlijks aangevoerde chlorideconcentratie en (tussen haakjes daarachter) de gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de totale wateraanvoer. De vermelde gegevens zijn berekend uit de cijfermatige bijlagen van de meerjarige beheersverslagen van het IJsselmeergebied over de periode 1998 t/m 2004 [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006]. Voor de Stevin- en Lorentzsluiscomplexen in de Afsluitdijk zijn geen aangevoerde concentraties vermeld, aangezien de aanvoer daar doorgaans na korte tijd weer wordt afgevoerd via het spuien bij eb en er daarom geen uitgebreide menging over het IJsselmeer zal plaatsvinden.



Figuur 4.8: De gemiddelde jaarlijks aangevoerde chlorideconcentratie en (tussen haakjes) de gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de wateraanvoer naar het IJsselmeer over de periode 1998 t/m 2004.

Als alle aanvoerstromen volledig mengen in het IJsselmeer, dan is de concentratie van het IJsselmeer het gewogen gemiddelde van alle aangevoerde concentraties, waarbij de in figuur 4.8 tussen haakjes vermelde bijdrage aan de wateraanvoer de weegfactor voorstelt waarmee de betreffende concentratie meeweegt. Aan het uitgangspunt van volledige menging zal niet altijd en overal worden voldaan, bijvoorbeeld doordat er preferente stromen zullen zijn onder invloed van het spuiregime en/of de overheersende windrichting. Wij schatten echter in dat er bij Vrouwezand en Andijk doorgaans redelijk aan wordt voldaan, gezien de centrale ligging van deze meetlocaties. Aan de hand van figuur 4.8 kunnen we dan nagaan welke aanvoerstromen veroorzaken dat de chlorideconcentratie van het IJsselmeer – althans, zoals gemeten bij Vrouwezand en Andijk – doorgaans hoger is dan die van de IJssel bij Kampen. Dat zijn namelijk de aanvoerstromen met gemiddeld een hogere chlorideconcentratie dan de IJssel. En de relevantie van een dergelijke aanvoerstroombaan voor het verhogen van de chlorideconcentratie wordt bepaald door het product van: (1) zijn gemiddelde chlorideconcentratie en (2) zijn gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de wateraanvoer naar het IJsselmeer. Dit product is de gemiddelde jaarlijkse bijdrage aan de chloridevracht van het IJsselmeer. De volgende aanvoerstromen zijn dan relevant voor het verhogen van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer ten opzichte van die van de IJssel (in volgorde van relevantie):

1. de uitslag van het gemaal Colijn (Flevoland)
2. de aanvoer van water uit het Markermeer
3. de zoute kwel onder de Afsluitdijk
4. de uitslag van het gemaal Buma (Noordoostpolder)
5. de uitslag van het gemaal Vissering (Noordoostpolder)
6. de uitslag van het gemaal Hoogland (Friesland)
7. de uitslag van het gemaal Vier Noorderkoggen (West-Friesland)
8. de uitslag van het gemaal Lely (Wieringermeer)
9. de uitslag van het gemaal Grootslag (West-Friesland)

In langdurige perioden dat het spuien op de Waddenzee niet mogelijk is (bijvoorbeeld door ongunstige windcondities) zal de chlorideconcentratie in het noordelijk deel van het IJsselmeer extra verhoogd worden door het zoute water dat via de schutsluizen binnenkomt (door het schutten en door lekkage). Het is ons echter niet bekend in hoeverre dit effect nog waarneembaar is bij Vrouwezand en Andijk.

Eerder constateerden we dat de chlorideconcentratie van het Ketelmeer bij Ketelmeer-West duidelijk minder is dan die van het IJsselmeer bij Vrouwezand en Andijk (zie § 2.6.1). In de periode 1999 t/m 2008 bedroeg het gemiddelde verschil namelijk 20 mg/l (85 mg/l versus 105 mg/l bij Vrouwezand en Andijk). Blijkbaar is het water van het Ketelmeer doorgaans weinig gemengd met dat van het centrale deel van het IJsselmeer. Verder is het opvallend dat de chlorideconcentratie bij Ketelmeer-West nauwelijks afwijkt van die van de IJssel bij Kampen (in de periode 1999 t/m 2008 85 mg/l versus 82 mg/l), dit ondanks het feit dat het Flevolandse gemaal Colijn brak water uitslaat op het Ketelmeer, met een gemiddelde chlorideconcentratie van ruim 420 mg/l. Dit kan echter worden verklaard door de verdunning die zal optreden doordat zowel de afvoer van het Zwarte Water als de uitslag van het gemaal Stroink relatief weinig chloride bevat (49 mg/l, respectievelijk 34 mg/l).

4.5 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk

1. De belangrijkste aanvoerbronnen van water naar het IJsselmeer zijn de IJssel, die gemiddeld circa 70% van de totale jaarlijkse wateraanvoer levert en de Overijsselse Vecht / het Zwarte Water, die gemiddeld circa 12% van de totale jaarlijkse wateraanvoer levert.
2. Het overgrote deel (circa 93%) van de totale jaarlijkse wateraanvoer naar het IJsselmeer wordt afgevoerd naar de Waddenzee. De Stevin sluizen bij Den Oever voeren circa 54% af en Lorentzsluizen bij Kornwerderzand circa 39%. Het spuien gebeurt bij eb, als het water in de Waddenzee lager staat dan in het IJsselmeer.
3. Het spuien via de Stevin sluizen bij Den Oever heeft de voorkeur, aangezien dat de waterkwaliteit voor de waterinname bij Andijk bevordert. Het spuien veroorzaakt namelijk een zoetwaterstroming die het zoutwater terugdringt, dat door het schutten van schepen bij de sluizen het IJsselmeer instroomt.

4. In periode van droogte worden (doorgaans beperkte) hoeveelheden IJsselmeerwater ingelaten om delen van Noord-Holland, Friesland, Noordwest-Overijssel en de Noordoostpolder van zoet water te voorzien. Verder wordt nog water door PWN en WRK ingenomen bij Andijk voor de drinkwatervoorziening.
5. Via twee spuicomplexen in de Houtribdijk tussen Enhuizen en Lelystad is er 's zomers doorgaans afvoer van het IJsselmeer naar het Markermeer, terwijl er 's winters doorgaans aanvoer is van het Markermeer naar het IJsselmeer. Bij het spuicomplex Krabbersgat (bij Enkhuzen) is er meestal jaarlijks meer afvoer dan aanvoer, terwijl er bij het spuicomplex Houtrib (bij Lelystad) jaarlijks meer aanvoer is dan afvoer.
6. Sinds de afleiding van de uitslag van het (door zoute kwel) brakke Wieringermeerwater naar de Waddenzee (eind 1997) loost het gemaal Lely jaarlijks gemiddeld circa 61.000 ton chloride minder naar het IJsselmeer. Met tijdreeksanalyse is geschat dat dit de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk met circa 12 mg/l heeft verlaagd.
7. Aangezien de chlorideconcentraties van het door de gemalen Grootslag, Vier Noorderkoggen en Lely uitgeslagen water vrij hoog zijn, kunnen deze bij ongunstige windcondities leiden tot een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie bij het innamepunt van PWN en WRK bij Andijk.
8. De belangrijkste bijdragen aan de chloridevracht van het IJsselmeer komen van de IJssel (48%) en de sluisen van de Afsluitdijk (23%) zij het dat deze laatste bijdrage bij het gebruikelijke spuiregime ook weer snel wordt afgevoerd. Verder zijn er relevante bijdragen van het Flevolandse gemaal Colijn (6%), het Zwarte Water (5%), het Markermeer (5%), kwel (3%), de Noordoostpolder-gemalen Buma (3%) en Vissering (2%), het Friese gemaal Hoogland (2%), de West-Friese gemalen Grootslag (1%) en Vier Noorderkoggen (1%) en het Wieringermeer-gemaal Lely (1%).
9. De afvoer van chloride vindt voornamelijk plaats via de spuisluizen in de Afsluitdijk (85% van de jaarlijks aanvoerde chloridevracht). Verder is er relevante afvoer naar het Markermeer (2%) en is er relevante inlaat in de omgeving van het Zwarte Water (2%) en in de Friese boezem via de inlaat Teroelsterkolk bij Lemmer (1%).
10. De volgende aanvoerstromen zullen er voor gezorgd hebben dat de chlorideconcentraties van het IJsselmeer bij Andijk en Vrouwezand in de periode 1999 t/m 2008 gemiddeld 23 mg/l hoger waren dan die van de IJssel bij Kampen (in volgorde van relevantie): de uitslag van het gemaal Colijn (Flevoland), de aanvoer van water uit het Markermeer, de zoute kwel onder de Afsluitdijk, de uitslagen van de gemalen Buma en Vissering (Noordoostpolder), de uitslag van het gemaal Hoogland (Friesland) en de uitslagen van de gemalen Vier Noorderkoggen, Grootslag (beide West-Friesland) en Lely (Wieringermeer).
11. De chlorideconcentratie van het Ketelmeer bij Ketelmeer-West is duidelijk minder dan die van het IJsselmeer bij Vrouwezand en Andijk. In de periode 1999 t/m 2008 bedroeg het gemiddelde verschil namelijk 20 mg/l (85 mg/l versus 105 mg/l bij Vrouwezand en Andijk). Blijkbaar is het water van het Ketelmeer doorgaans weinig gemengd met dat van het centrale deel van het IJsselmeer.
12. De chlorideconcentratie bij Ketelmeer-West wijkt nauwelijks af van die van de IJssel bij Kampen (in de periode 1999 t/m 2008 85 mg/l versus 82 mg/l), dit ondanks het feit dat het Flevolandse gemaal Colijn brak water uitslaat op het Ketelmeer, met een gemiddelde chlorideconcentratie van ruim 420 mg/l. Dit kan echter worden verklaard door de verdunning die zal optreden doordat zowel de afvoer van het Zwarte Water als de uitslag van het gemaal Stroink relatief weinig chloride bevat (49 mg/l, respectievelijk 34 mg/l).

Verwachtingen chloridebelasting

In dit hoofdstuk schetsen we verwachtingen over de toekomstige ontwikkelingen van de chloridebelasting van de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Andijk tot het jaar 2050. Indien beschikbaar, maken we hierbij gebruik van studies naar de gevolgen van deze ontwikkelingen voor de waterkwaliteit van het IJsselmeer. Anders – en indien verantwoord geacht – schatten we deze gevolgen zelf in op basis van modellering en/of gezond verstand.

We starten met de verwachtingen van de chloridebelasting van de Rijn tot Lobith (§ 5.1). Vervolgens werken we uit welke invloed de klimaatverandering kan hebben op de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith en van het IJsselmeer bij Andijk (§ 5.2). § 5.3 bespreekt dan de mogelijke consequenties van recente beleidsplannen met betrekking tot het IJsselmeergebied voor de chloridebelasting van het meer. § 5.4 evalueert de mogelijke consequenties van recente plannen met betrekking tot de Afsluitdijk. En in § 5.5 houden we de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders tegen het licht. Op basis van al deze verwachtingen over de toekomstige chloridebelasting komen we in § 5.6 tot een synthese. Dit hoofdstuk sluit af met een samenvatting van de belangrijkste conclusies (§ 5.7).

5.1 Verwachtingen chloridebelasting Rijn tot Lobith

Voor wat betreft de te verwachten ontwikkelingen van de chloridebelasting in het buitenlandse deel van het stroomgebied van de Rijn, concludeerde het recente, in opdracht van de RIWA uitgevoerde Duitse onderzoek, dat er in de nabije toekomst nog enkele stapsgewijze verminderingen zijn te verwachten van de chloridebelasting van de Rijn en zijn zijrivieren [RIWA/TZW, 2008]. De argumenten hiervoor zijn:

- De laatste kalimijn in de Elzas is in 2003 gesloten, zodat er sindsdien geen directe instroom meer is van kalizout, maar alleen indirect, via de stortbergen. Het is de verwachting dat vanaf 2010, als de stortbergen zijn gesaneerd, de chloridevracht van deze mijnen zich zal stabiliseren, vermoedelijk op het niveau van 5 à 10 kg/s (0,16 à 0,32 miljoen ton/jaar).
- De geplande afschaffing van de mijnbouw in het Moezel- en Saargebied in 2012, zal de zoutbelasting reduceren, aangezien het afvalwater van de mijnbouw chloride bevat, met een chloridevracht van circa 0,2 miljoen ton per jaar.
- Ook de benedenloop van de Rijn zal op termijn vermoedelijk minder chloride gaan afvoeren. De mijnbouw is namelijk verplaatst in noordelijke richting, zodat er voor de Emscher, de Lippe en de aangrenzende stroomgebieden geen aanvullende aanvoer van zout meer is te verwachten. Verder is afgesproken dat er in 2018 een eind komt aan de subsidie op de winning van steenkool, zodat die mijnbouwactiviteiten dan onrendabel zullen worden. De chloridevracht van de Emscher bedraagt momenteel circa 0,25 miljoen ton/jaar en die van de Lippe circa 0,3 miljoen ton/jaar.

Het grootste afnamepotentieel ligt overigens bij de sodaverwerkende industrie in het stroomgebied van de Moezel bij Nancy, die jaarlijks circa 1,5 miljoen ton chloride loost. Maar tot nu toe heeft deze industrie geen noemenswaardige bijdrage geleverd aan de verbetering van de situatie in het stroomgebied van de Rijn. De Franse overheid heeft inmiddels wel opdracht gegeven voor een studie naar de chlorideproblematiek van de Moezel, maar het is niet bekend of die studie ter onderbouwing van eventuele reduceringsmaatregelen moet dienen [RIWA/TZW, 2008].

Zeer recent is nieuwe informatie bekend geworden, waaruit blijkt dat er vermoedelijk over twee jaar een relevante puntbron van chloride blijkt.¹⁰ Gaz de France (GDF) heeft namelijk vergevorderde plannen om bij Ensisheim (in de Elzas, zo'n 10 km ten noorden van Mulhouse) vier cavernes van elk 500.000 m³ te maken in de ondergrondse zoutlagen. Deze zijn bedoeld voor opslag van gas, om de winterpieken in het gasgebruik beter te kunnen opvangen. Het maken van een caverne gebeurt door het zout met heet water op te lossen.

¹⁰ Mondelinge mededeling van Dipl.-Ing. Michael Fleig van TZW (30 april 2009).

De resulterende brijn wordt vervolgens geloosd op het oppervlaktewater en komt uiteindelijk in de Rijn terecht. Er lijken hiertegen vooralsnog geen belemmeringen aanwezig. Naar het zich laat aanzien kan het project daarom in 2011 starten en – wellicht met kleine onderbrekingen – doorgaan tot 2021. Gedurende deze periode zal er gemiddeld ongeveer 20 kg/s (0,6 miljoen ton/jaar) chloride worden geloosd, als wordt vastgehouden aan de huidige intentie om de cavernes min of meer na elkaar te maken en niet alle tegelijk. In Duitsland zijn er tot nu toe slechts ideeën geuit om in Noordrijn-Westfalen zoutcavernes te maken voor de opslag van gas. Er zijn nog geen uitgewerkte plannen op dat gebied.

In § 5.6 beschrijven we welk netto-effect de bovenstaande en de hierna te behandelen ontwikkelingen kunnen hebben op de chloridebelasting van de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Andijk.

5.2 Mogelijke invloeden door klimaatverandering

Volgens modelmatige uitwerkingen van de nieuwste klimaatscenario's zal de afvoer van de Rijn toenemen in de winter en afnemen in de zomer [Van Deursen, 2006; De Wit et al., 2007]. Het ligt voor de hand dat dit ook effect zal hebben op de waterkwaliteit van de Rijn en het IJsselmeer. In deze paragraaf werken wij uit welke invloed de klimaatverandering zal hebben op: (1) de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith (§ 5.2.3) en (2) de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk (§ 5.2.4). Daarbij maken wij gebruik van de dynamische relaties tussen deze concentraties en de afvoer van de Rijn bij Lobith en de voor verschillende klimaatscenario's gesimuleerde toekomstige afvoerreeksen van de Rijn bij Lobith.

5.2.1 Eerdere studies invloed klimaatverandering op chloride Rijn en IJsselmeer

In 2003 is in RIWA-verband een studie uitgevoerd naar de invloed van klimaatverandering op de kwaliteit van het Rijnwater en het IJsselmeerwater [De Bruijn en Van Mazijk, 2003]. Daarbij is eerst een regressiemodel afgeleid dat de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith beschrijft uit de inverse van de afvoer, uitgaande van recente meetreeksen van concentratie en afvoer op dagbasis. Op basis van dit model is geconcludeerd dat bij een afvoer lager dan 783 m³/s de innamegrens van 200 mg/l wordt overschreden. Vervolgens is voor drie in 2000 door het KNMI opgestelde klimaatscenario's (de WB21-scenario's) vastgesteld, hoe vaak en hoe lang de voor dat scenario gesimuleerde afvoerreeks onder de grenswaarde van 783 m³/s valt. Voor elk van deze scenario's waren namelijk Rijnafvoerreeksen op decadebasis beschikbaar, die zijn gesimuleerd met een waterbalansmodel van het stroomgebied van de Rijn.¹¹ De auteurs concludeerden dat in 2050 de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith maximaal 20 dagen per jaar te hoog zal zijn voor inname voor drinkwaterbereiding, waarbij de kans dat dit een aaneengesloten periode van 20 dagen betreft 3,3% bedraagt (eens in de 30 jaar). Tenslotte zijn de resultaten voor de chlorideconcentratie bij Lobith met een sterk vereenvoudigd analytisch model van de chloridebalans van het IJsselmeer doorvertaald naar de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk. De conclusie was dat de klimaatsinvloed er niet toe zal leiden dat de chlorideconcentratie van het IJsselmeer boven de 200 mg/l zal komen.

In 2005 is onderzoek uitgevoerd naar de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas bij (extreem) lage afvoeren [Zwolsman en Doomen, 2005]. Doel was om een beter beeld te krijgen van de invloed van droogte op de waterkwaliteit van deze rivieren en daarmee van mogelijke toekomstscenario's. De studie is gebaseerd op een vergelijking van de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas in een extreem droog jaar (2003) met die in twee voorgaande, relatief natte jaren (2001 en 2002). De innamegrens voor chloride (200 mg/l) werd in 2003 zowel bij Lobith (184 mg/l) als bij Andijk (180 mg/l) benaderd. De drinkwaternorm (150 mg/l) werd in 2003 bij Lobith door 6% van de metingen overschreden en bij Andijk zelfs door 18% van de metingen. In 2001 en 2002 is de drinkwaternorm op deze locaties niet overschreden. In het rapport wordt gesteld dat als de klimaatverandering er toe leidt dat er 's zomers geen bijdrage meer is van sneeuw- en ijssmelt, de Rijn een regenrivier wordt. De afvoer zal dan tijdens warme zomers kunnen dalen tot circa 400 m³/s. Bij de huidige chloridebelasting kan dat leiden tot een extreem hoge chlorideconcentratie bij Lobith van circa 300 mg/l, wat langdurige innamestops kan geven.

In vervolgstudies zijn voor verschillende kwaliteitsparameters van de Rijn de droge jaren 1976 en 2003 verge-

¹¹ Dit is het RhineFlow-model, ontwikkeld door de Universiteit Utrecht.

leken met hun omliggende jaren [Van Bokhoven, 2006; Van Bokhoven en Zwolsman, 2007]. Door de extreem lage afvoer (784 m³/s) nam de chlorideconcentratie bij Lobith in 2003 toe tot 184 mg/l. De auteurs stelden dat dergelijke situaties vaker voor kunnen komen door klimaatverandering, aangezien het droge jaar 2003 bij het extreemste klimaatscenario in 2050 een gemiddeld jaar kan zijn.

In 2008 is een nieuwe studie uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit van de Rijn (meetlocatie Lobith) en de Maas (meetlocaties Eijsden en Keizersveer) [Van Vliet et al, 2008]. De gehanteerde aanpak is min of meer dezelfde als die van de eerder aangehaalde studie van [De Bruijn en Van Mazijk, 2003]. Zo zijn ook hier met regressiemodellen grenswaarden voor de afvoer afgeleid waaronder normen voor bepaalde opgeloste stoffen (zoals chloride en sulfaat) worden overschreden. Vervolgens is per stof voor enkele klimaatscenario's vastgesteld welk percentage van de tijd de voor dat scenario gesimuleerde afvoerreeks onder de grenswaarde valt. Deze studie ging uit van de vier KNMI'06-scenario's (zie § 5.2.2), terwijl [De Bruijn en Van Mazijk, 2003] nog uitgingen van de drie WB21-scenario's.

Op basis van de meetwaarden op dagbasis van chloride en afvoer bij Lobith over de periode 2000 – 2005, is een regressiemodel afgeleid. Op basis van dit model is geconcludeerd dat bij een afvoer lager dan 780 m³/s de innamegrens van 200 mg/l wordt overschreden. Dit is vrijwel gelijk aan de grenswaarde die [De Bruijn en Van Mazijk, 2003] eerder afleiden (783 m³/s). Voor de afvoerreeks van 1950 – 2005 is deze grenswaarde 0,35% van de tijd overschreden. De grenswaarde wordt voor twee klimaatgesimuleerde afvoerreeksen enigszins minder overschreden (onderschrijdingspercentages respectievelijk 0,1% en 0,2%), maar voor de andere twee klimaatgesimuleerde afvoerreeksen vaker (onderschrijdingspercentages respectievelijk 2,3% en 6,4%). Voor het extreemste klimaatscenario (aangeduid als W+, zie ook § 5.2.2) is daarom te verwachten dat de chlorideconcentratie bij Lobith 6,4% van de tijd meer is dan 200 mg/l.

De auteurs plaatsen terecht de kanttekeningen dat de resultaten gelden voor een antropogene belasting van het stroomgebied die gelijk is aan die van de periode 2000 – 2005 en ook dat de gevoeligheid van de aanpak enigszins minder is doordat er slechts op decadebasis gesimuleerde afvoerreeksen beschikbaar waren.

Evaluatie

Voor wat betreft de invloed van de klimaatverandering op de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith, verschaffen de boven aangehaalde studies ons al enig inzicht. Maar de gehanteerde aanpak op basis van een grenswaarde voor de afvoer, die is afgeleid op basis van een regressiemodel, is nog enigszins grof (al betreft het een creatieve benadering). Deze aanpak houdt namelijk geen rekening met de modelfout, die bovendien autocorrelatie en seizoenseffecten zal vertonen. Verder zijn de voorspelde invloeden nog slechts op rudimentaire wijze doorvertaald naar invloeden op de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk.

Gezien deze kanttekeningen en ook gezien het feit dat inmiddels weer aanvullende gegevens over chlorideconcentraties en afvoeren beschikbaar zijn, hebben wij besloten om voor beide meetlocaties nieuwe studies te verrichten naar de klimaatsinvloed op de chlorideconcentratie.

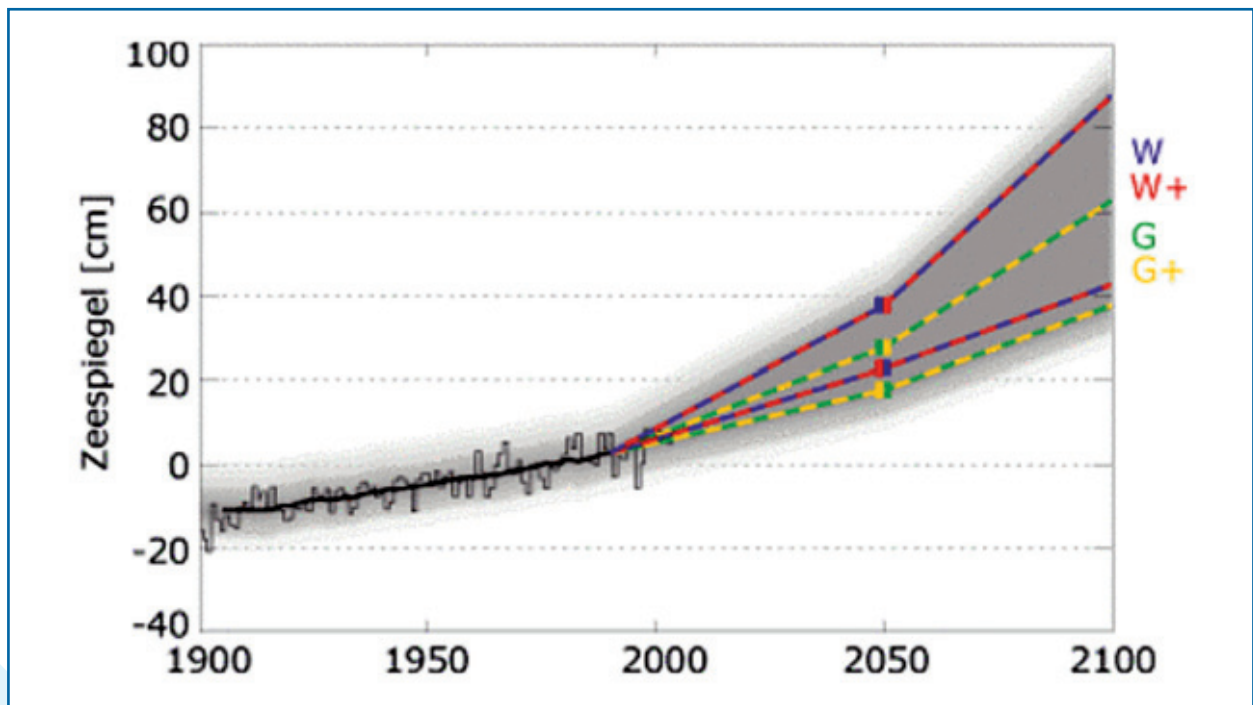
5.2.2 Invloed van klimaatverandering op afvoerregime Rijn

In 2006 zijn er vier nieuwe klimaatscenario's voor de lange termijn uitgewerkt door het KNMI, aangeduid als de KNMI'06-scenario's [KNMI, 2006], namelijk: (1) Gematigd, (2) Gematigd+, (3) Warm en (4) Warm+. Ze worden in het nu volgende afgekort tot G, G+, W en W+. De twee gematigde scenario's gaan er van uit dat de gemiddelde wereldtemperatuur met 1° Celsius stijgt in de periode 1990 – 2050, terwijl de twee warme scenario's er van uitgaan dat deze met 2° Celsius stijgt. Verder gaan de twee scenario's met de toevoeging '+' er van uit dat er ook nog een zodanige wijziging optreedt in de luchtstromingspatronen boven West-Europa dat er 's winters meer westenwind optreedt, resulterend in warmere en nattere condities en 's zomers meer oostenwind, resulterend in warmere en drogere condities. Het KNMI stelt dat de vier scenario's samen een groot deel van de mogelijke toekomst omvatten. Ze kunnen even waarschijnlijk worden geacht en zijn ook voldoende waarschijnlijk om als basis te kunnen dienen voor 'impact'-studies, die de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in beeld willen brengen.

De berekeningsresultaten van de vier scenario's resulteren ondermeer in de volgende kenmerken van klimaatverandering:

- De reeds in de 20e eeuw optredende opwarming zet door, waardoor zachte winters en warme zomers vaker voorkomen. De vier scenario's tonen in 2050 een opwarming ten opzichte van het basisjaar 1990 (berekend als gemiddelde van de 30-jaar periode 1976 – 2005) die varieert van 0,9°C tot 2,3°C in de winter en van 0,9°C tot 2,8°C in de zomer.
- De winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe. Verder neemt de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder. In de scenario's zonder wijziging van de luchtstromingspatronen (G en W) neemt de neerslag zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In de scenario's mét wijziging van de luchtstromingspatronen (G+ en W+) neemt de neerslag nog meer toe in de winter (circa +7% per graad), maar juist af in de zomer (circa -10% per graad). De afname in de zomer komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. Er is dus nog veel onzekerheid of de neerslag in de zomer zal toenemen (G en W), of zal afnemen (G+ en W+).
- In alle vier de scenario's neemt de potentiële verdamping¹² toe in de zomermaanden (juni, juli en augustus). In 2050 zal deze toename liggen tussen 3% (G-scenario) en 15% (W+-scenario), ten opzichte van de situatie rond 1990.
- Het neerslagtekort, gedefinieerd als de potentiële verdamping minus de neerslag, neemt in elk van de scenario's toe. De toenames lopen van 7 mm (+5%) in het G-scenario tot 76 mm (+53%) in het W+-scenario. In de G+-en W+-scenario's is er een grotere kans op een tekort aan water in de zomer
- De zeespiegel blijft stijgen. Volgens de KNMI'o6-scenario's zal rond 2050 de absolute zeespiegel-rijzing aan de Nederlandse kust tussen de 15 cm (scenario's G en G+) en 35 cm (scenario's W en W+) bedragen ten opzichte van 1990. Doordat oceanen traag reageren op opwarming van de lucht, zal de zeespiegelrijzing na 2050 sterker toenemen dan daarvoor. Tegen 2100 zal de stijging ergens tussen de 35 en 85 cm bedragen. Er is nog veel onzekerheid over de gevoeligheid van de zeespiegelrijzing voor een verhoging van de luchttemperatuur, wat tot uiting komt in grote bandbreedtes (zie figuur 5.1). Het al of niet optreden van wijzigingen in de luchtstromingspatronen blijkt daarentegen geen invloed te hebben op de berekende zeespiegelrijzing. Door de zeespiegelrijzing zal via de diepe droogmakerijen in het westen meer zout grondwater opwellen, maar dat effect is slechts gering vergeleken bij het grote naijl-effect van de verschillende inpolderingen en de voortgaande bodemdaling in deze droogmakerijen [Stuurman et al., 2007].

¹² De potentiële verdamping is de verdamping bij optimale vochtvoorziening. Deze wordt ook wel aangeduid als de Makkink-verdamping.



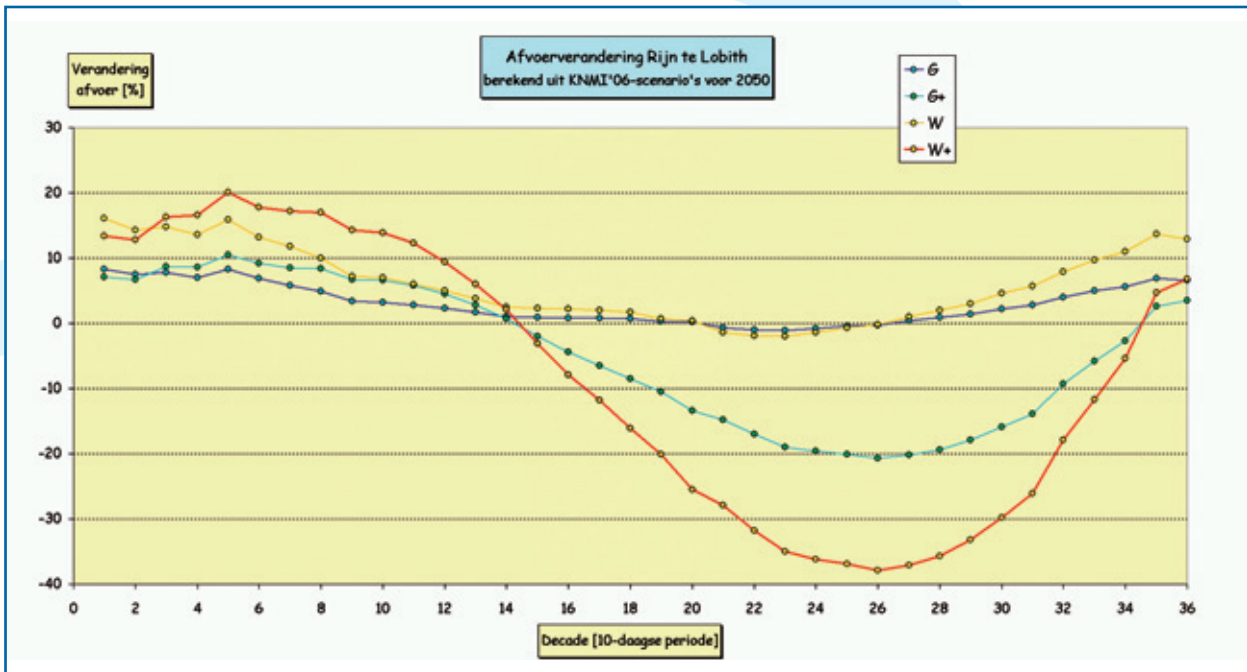
Figuur 5.1: Gemiddelde jaarlijkse zeespiegelstand [cm NAP] langs de Nederlandse kust, van 1900 - 2004 en volgens de vier klimaat-scenario's van 1990 - 2100. De dikke zwarte lijn is het voortschrijdend 30-jaarsgemiddelde van de waarnemingen en de grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. De bandbreedte voor het W-scenario is dezelfde als die voor het W+-scenario en de bandbreedte voor het G-scenario is dezelfde als die voor het G+-scenario. Overgenomen van KNMI-website (Uitgebreide gegevens KNMI'06, Zeespiegel, versie 12 januari 2009).

Hogere piekafvoeren Rijn, lagere afvoeren in droge perioden

Door de toename van de winterneerslag in het stroomgebied van de Rijn zullen de piekafvoeren toenemen, het meest in het W+ scenario. De Rijnafvoer zal in de winter ook toenemen doordat er door de hogere temperaturen in de Alpen meer neerslag zal vallen als regen in plaats van als sneeuw. Bovendien zullen de hogere temperaturen er toe leiden dat de sneeuw in de Alpen eerder in het jaar smelt, waardoor de afvoer van de Rijn in de winter en het vroege voorjaar zal toenemen en in de zomer en het vroege najaar zal afnemen. In de huidige situatie is in droge zomerperioden de bijdrage van sneeuwsmelt in de Alpen aan de afvoer van de Rijn bij Lobith nog groot. Bij lage zomerafvoer bestaat deze afvoer zelfs voor meer dan 80% uit water dat uit Zwitserland afkomstig is. Vooral in het W+-scenario zal de afvoer van de Rijn in de zomer sterk afnemen, doordat de gemiddelde zomerneerslag dan ook nog sterk afneemt, terwijl de verdamping toeneemt, althans zolang er voldoende vocht aanwezig is.

Gesimuleerde afvoerreksen Rijn

Inmiddels is ook voor de vier KNMI'06-scenario's berekend welke consequenties die zullen hebben voor de afvoer van de Rijn [Van Deursen, 2006]. Daarbij is weer gebruik gemaakt van het eerder genoemde RhineFlow-model. Dit bestaat uit een netwerk met cellen van 3 bij 3 km² dat het gehele stroomgebied van de Rijn omvat. Voor elke cel zijn neerslag, verdamping, berging, instroom en uitstroom verdisconteerd, afhankelijk van de topografie, het landgebruik, de uitkomsten van klimaat-modellen en de uitkomsten van de aangrenzende cellen. Het model is voor elk scenario op decadebasis gevoed met neerslag-, verdampings- en temperatuurreksen die representatief mogen worden geacht voor dat scenario rond 2050. De resultaten van deze studie zijn ons welwillend ter beschikking gesteld door Willem van Deursen. Figuur 5.2 toont voor elk van de vier scenario's per decade de gesimuleerde gemiddelde afvoerverandering ten opzichte van het gemiddelde van die decade voor het klimaat rond 1990.



Figuur 5.2: Per scenario en per decade de gemiddelde afvoerverandering van de Rijn bij Lobith ten opzichte van het gemiddelde van die decade voor het klimaat rond 1990. Gegevens afkomstig van [Van Deursen, 2006].

Uit figuur 5.2 blijkt dat in 2050 de grootste afvoerverandering ten opzichte van het klimaat rond 1990 zal optreden bij het scenario W+. Dit scenario geeft zomers de grootste afname van de afvoer en 's winters de grootste toename. Ook bij het scenario G+ is er 's zomers een grote afname van de afvoer, zij het minder groot als bij het scenario W+. Bij de scenario's G en W daarentegen is er 's zomers slechts een minieme afname van de afvoer ten opzichte van het klimaat rond 1990. Net als bij het scenario W+ geven ook de andere drie scenario's 's winters een toename van de Rijnafvoer te zien. Deze toenames zijn echter minder dan bij het scenario W+. De toename bij het scenario W komt daar nog het dichtst bij in de buurt.

De scenario's G en W geven een toename van de gemiddelde afvoer in 2050 ten opzichte van die rond 1990 van 3,3% respectievelijk 6,7%, terwijl de scenario's G+ en W+ een afname van de gemiddelde afvoer geven van 2,4% respectievelijk 4,1%.

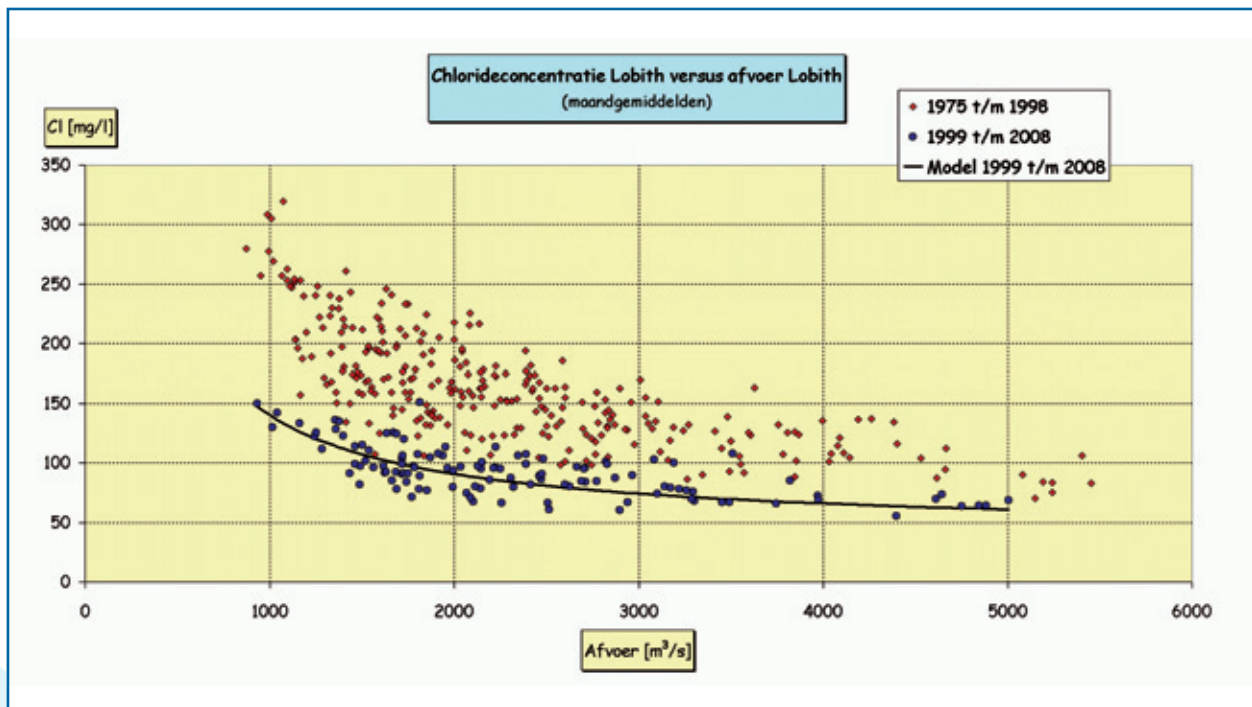
5.2.3 Doorvertaling klimaatsinvloed naar chlorideconcentratie bij Lobith

Om de boven beschreven invloed van de klimaatverandering op de Rijnafvoer te kunnen vertalen naar de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith, hebben we een tijdreeksmodel ontwikkeld dat de chlorideconcentratie relateert aan de afvoer.¹³ Door vervolgens als modelinvoer de gesimuleerde afvoerreeksen te hanteren, is per scenario een reeks van de chlorideconcentratie gesimuleerd. Tenslotte zijn de statistische karakteristieken van die reeksen vergeleken met die van de reeks die representatief is voor het huidige klimaat.

De relatie tussen de afvoer en de concentratie bij Lobith zal mede worden bepaald door het gemiddelde niveau van de chloridevracht. Dat niveau is echter sinds ongeveer 1985 aan het dalen, waarbij de grootste daling tot rond 1995 is opgetreden (zie figuur 2.2), vooral dankzij de verminderde zoutlozingen van de Franse kalimijnen. De daling is daarna verminderd.

Onze toekomstprojecties worden gebaseerd op de relatie tussen de afvoer en de concentratie van de laatste 10 jaar. Zoals te zien in figuur 5.3, geldt er over deze periode een duidelijk andere relatie tussen de afvoer en de concentratie dan in de voorgaande perioden, toen het gemiddelde niveau van de chloridevracht hoger lag.

¹³ De tijdreeksmodellering is uitgevoerd volgens de Box-Jenkins-methode [Box and Jenkins, 1976]. Hiervoor is het programma Tijdreeksanalist [Van der Meulen, 2007] gebruikt.



Figuur 5.3: Spreidingsdiagram van de maandgemiddelde chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith versus de maandgemiddelde afvoer, over de periode 1975 t/m 2008. De waarden over de laatste 10 jaar zijn apart weergegeven. De lijn vertegenwoordigt het niet-stochastische deel van het tijdreeksmodel dat de relatie tussen de afvoer en de chlorideconcentratie over de laatste 10 jaar beschrijft.

Verder hebben we ervoor gekozen de tijdreeksmodellering uit te voeren op maandbasis. Modellering op dagbasis viel namelijk af, doordat de gesimuleerde afvoerreeksen slechts op decadebasis beschikbaar zijn en doordat over de laatste 3,5 jaar de chloridecijfers slechts op 14-daagse basis beschikbaar zijn. Dit laatste was ook de reden dat modelleren op decadebasis afviel.

Het ontwikkelde tijdreeksmodel luidt:

$$Cl_{Lob,t} = 41,3 + \frac{99072,0}{Q_{Lob,t}} + \frac{(1-0,19B)}{(1-0,66B) \cdot (1-0,49B^{12})} \cdot a_t \quad [5.1]$$

met $Cl_{Lob,t}$ de maandgemiddelde chlorideconcentratie [mg/l], $Q_{Lob,t}$ de maandgemiddelde afvoer [m^3/s], a_t het modelresidu [mg/l], alle voor maand t en B de zogenaamde tijdverschuivings-operator ($BX_t = X_{t-1}$ en $B^{12}X_t = X_{t-12}$). De laatste term van het rechterlid van formule [5.1] vertegenwoordigt het stochastische deel van het model. Dit verdisconteert dat het niet door de afvoer beschreven deel van de chlorideconcentratie nog structuur vertoont in de vorm van autocorrelatie en seizoenseffecten. Het modelresidu a_t vertoont geen structuur meer en voldoet aan een normale kansverdeling¹⁴, zodat wordt voldaan aan de belangrijkste vooronderstellingen die aan het tijdreeksmodel ten grondslag liggen.

Het tijdreeksmodel verklaart 81,7% van de variantie van de maandgemiddelde chlorideconcentratie. Het niet-stochastische deel van dit tijdreeksmodel – dit zijn de eerste twee termen in het rechterlid van formule [5.1] – is ook weergegeven in figuur 5.3. Dit niet-stochastische deel beschrijft de inverse relatie van de concentratie met de afvoer, die karakteristiek is voor verdunnende stoffen zoals chloride. Het is op te vatten als een regressiemodel voor de relatie tussen afvoer en concentratie.¹⁵

¹⁴ Volgens de Kolmogorov-Smirnov-toets met Lilliefors-correctie.

¹⁵ Het regressiemodel is de eenvoudigste vorm van een tijdreeksmodel, aangezien het veronderstelt dat het niet door de verklarende variabele (hier is dat de afvoer) beschreven deel van de afhankelijke variabele (hier is dat de concentratie) geen enkele structuur vertoont.

Voor elk klimaatscenario zijn vervolgens 25 reeksen van de chlorideconcentratie gesimuleerd, elk van circa 35 jaar lengte, door model [5.1] te voeden met: (1) de voor dat scenario gesimuleerde reeks afvoeren ($Q_{Lob,t}$) en (2) aselechte trekkingen uit de kansverdeling van het modelresidu (a_t).

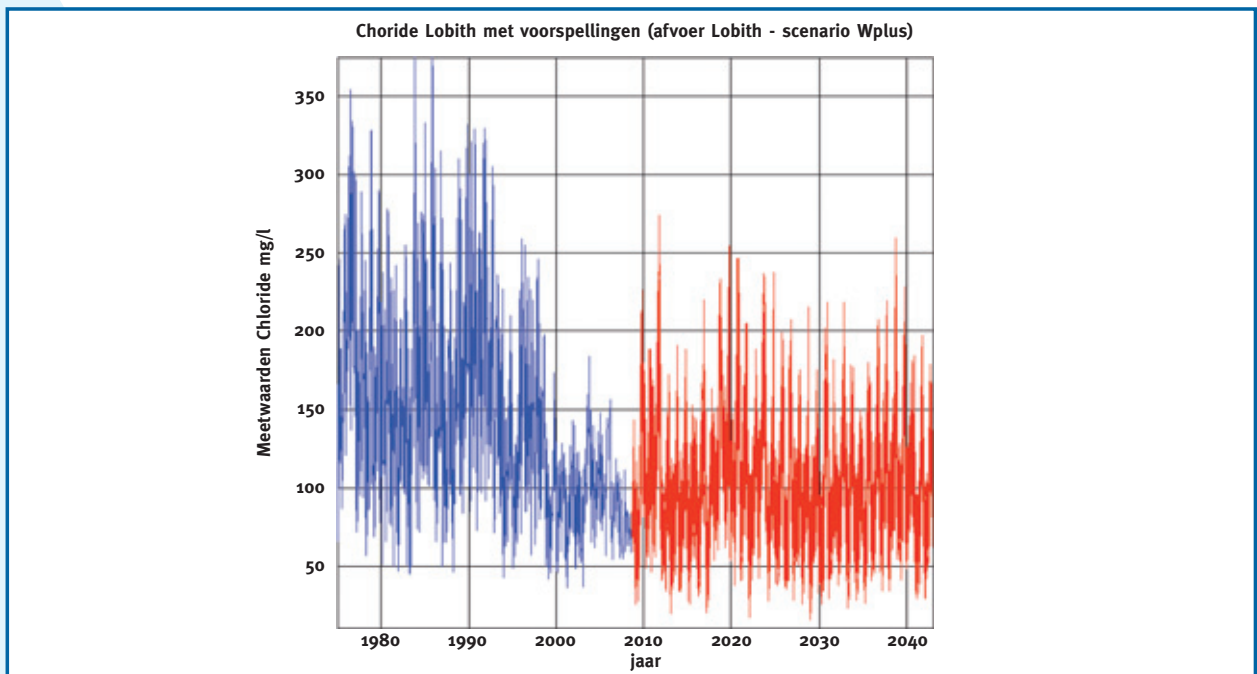
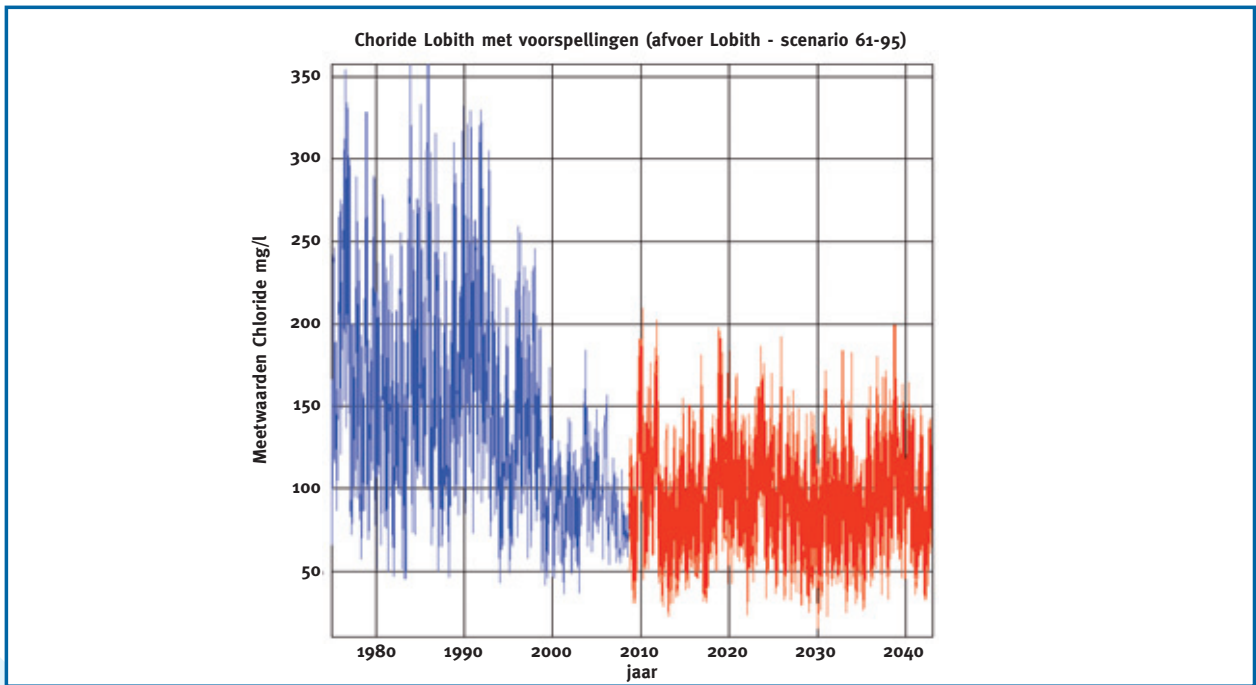
AD (1) de voor de modelcalibratie gebruikte afvoerreeks van januari 1999 t/m september 2008 hebben we verlengd met gesimuleerde afvoerreeksen die representatief kunnen worden geacht voor de klimaatscenario's. Daartoe is eerst de meetreeks van de afvoer van 1961 t/m 1995 op decadebasis omgerekend met de uit simulatie met het Rhineflow-model volgende gemiddelde afvoerverandering ten opzichte van het gemiddelde van die decade voor het klimaat rond 1990 (en zoals weergegeven in figuur 5.2). Vervolgens is voor elke maand de gemiddelde afvoer berekend uit de drie omgerekende decadegemiddelden. De afvoerreeks van januari 1999 t/m september 2008 is tenslotte verlengd met de aldus gesimuleerde afvoerreeks van oktober 1961 t/m december 1995 (34,25 jaar).

AD (2) voor het simuleren zijn alle nieuwe modelresiduën (a_t 's) aselekt getrokken uit een normale kansverdeling met gemiddelde nul en een standaardafwijking die is geschat met de verzameling modelresiduën van de modelcalibratieperiode.

Voor elk klimaatscenario hebben we 25 simulaties uitgevoerd, waarbij per simulatie een 34,25-jaar lange reeks van de chlorideconcentratie op maandbasis resulteerde. De gesimuleerde chlorideconcentraties betreffen nog maandgemiddelden. Het is uiteraard interessanter om een indruk te kunnen krijgen van de invloed van de klimaatverandering op individuele realisaties (meetwaarden) van de chlorideconcentratie. Daarom hebben wij elke gesimuleerde maandwaarde vervangen door een aselechte trekking uit de kansverdeling van meetwaarden voor die maand. De details van deze substitutie zijn vermeld in bijlage 3.

Om een betere beoordeling van de doorwerking van de klimaatverandering op de chlorideconcentratie mogelijk te maken, zijn met formule [5.1] ook 25 reeksen van 34,25 jaar gesimuleerd, uitgaande van de oorspronkelijke meetreeks van de afvoer van oktober 1961 t/m december 1995. Zo zijn namelijk voor elk van de te vergelijken situaties – de situatie van de laatste 10 jaar en de situaties volgens de vier klimaatscenario's – 25 reeksen van 34,25 jaar beschikbaar. De situatie van de laatste 10 jaar duiden we hierna aan als de uitgangssituatie. Figuur 5.4 toont twee voorbeelden van het resultaat van deze simulatie-exercitie. De blauwe lijn geeft de gemeten chlorideconcentratie weer, over de periode januari 1975 t/m september 2008. Van oktober 2008 t/m december 2042 zijn met rode lijnen 25 simulaties van de chlorideconcentratie van 34,25 jaar lengte weergegeven, die zijn gebaseerd op de afvoerreeks die geldt voor het betreffende scenario en op de relatie tussen chlorideconcentratie en afvoer die is afgeleid voor de periode januari 1999 t/m september 2008.

Om mogelijke overgangseffecten van het verlengen van de afvoerreeksen te vermijden, zijn de statistische karakteristieken van de gesimuleerde reeksen van de chlorideconcentratie niet vastgesteld over de gehele 34,25 jaar, maar over de laatste 33 jaar. Dit betekent dat deze karakteristieken zijn vastgesteld aan de hand van $25 \times 33 \times 12 = 9.900$ gesimuleerde waarden van de chlorideconcentratie, wat voldoende moet worden geacht om de statistische karakteristieken van hun kansverdeling in beeld te brengen. Deze karakteristieken zijn voor elk van de vijf situaties vermeld in tabel 5.1.



Figuur 5.4: Twee voorbeelden van de gesimuleerde chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith. Boven: uitgangssituatie. Onder: klimaat-scenario W+ van 2050. De blauwe lijn geeft de historische meetwaarden weer en de rode lijnen geven de 25 simulaties weer.

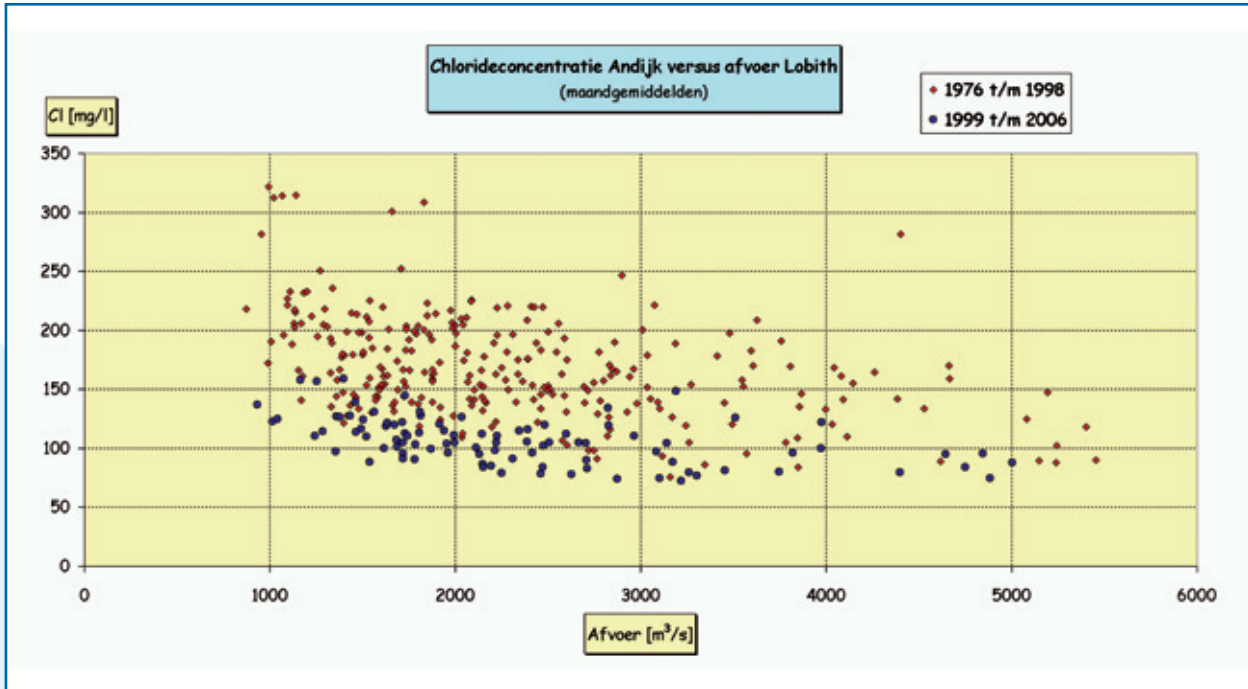
Cl Lobith Kenmerk	Uitgangs- situatie	Klimaatscenario 2050			
		G	G+	W	W+
Minimum [mg/l]	16,7	20,2	11,1	19,7	11,8
P _{0,001} [mg/l]	26,7	25,4	24,0	27,4	23,7
P _{0,01} [mg/l]	39,4	38,0	39,0	37,9	38,6
P _{0,05} [mg/l]	52,9	50,3	52,6	50,7	52,0
P _{0,25} [mg/l]	73,0	71,3	74,3	71,4	74,5
P _{0,50} [mg/l]	89,3	87,4	92,5	87,3	95,2
Gemiddeld [mg/l]	91,8	90,0	96,1	89,8	101,6
P _{0,75} [mg/l]	108,0	106,3	114,6	106,1	122,2
P _{0,95} [mg/l]	139,5	137,5	153,3	137,1	173,7
P _{0,99} [mg/l]	163,5	161,6	177,6	158,9	208,0
P _{0,999} [mg/l]	188,8	186,4	204,5	179,3	248,4
Maximum [mg/l]	203,8	217,7	225,5	192,3	277,1
Stafw [mg/l]	26,4	26,4	30,3	26,1	37,1
VC	28,8%	29,4%	31,5%	29,1%	36,5%
% > 100 mg/l	34,4%	32,4%	40,4%	32,0%	44,9%
% > 150 mg/l	2,6%	2,2%	5,9%	2,0%	11,0%
% > 200 mg/l	0,03%	0,02%	0,14%	0,00%	1,54%
% > 250 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%
% > 300 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabel 5.1: De uit de simulaties volgende statistische karakteristieken van de kansverdeling van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith. Vermeld zijn minimum, maximum, gemiddelde, standaardafwijking, variatiecoëfficiënt (ratio van standaardafwijking en gemiddelde), een aantal percentielen en de overschrijdingskansen van enkele concentraties.

Uit tabel 5.1 blijkt dat vooral de simulaties voor de klimaatscenario's G+ en W+ tot een duidelijk andere kansverdeling van de chlorideconcentratie leiden. Bij deze scenario's zijn de hogere percentielen in toenemende mate hoger dan de percentielen van de uitgangssituatie. De grootste toenames treden op bij het scenario W+. Bij de klimaatscenario's G+ en W+ nemen ook de overschrijdingskansen van de chloridenormen toe. In de uitgangssituatie wordt de drinkwaternorm (150 mg/l) met een kans van 2,6% overschreden, terwijl deze overschrijdingskans bij het scenario G+ 5,9% bedraagt en bij het scenario W+ zelfs 11,0%. Dit betekent een verdubbeling of een verviervoudiging van de overschrijdingskans. De AMvB-norm voor inname (200 mg/l) wordt in de uitgangssituatie met een kans van slechts 0,03% overschreden. Bij het scenario G+ bedraagt de overschrijdingskans 0,14% en bij het scenario W+ 1,5%. De simulaties voor de klimaatscenario's G en W geven aan dat deze scenario's slechts tot een geringe verandering van de kansverdeling van de chlorideconcentratie zullen leiden, waarbij de hogere percentielen en de normoverschrijdingskansen iets lager zijn dan in de uitgangssituatie. Deze uitkomsten duiden op een minder groot effect van de klimaatverandering dan de eerdere studies (zie § 5.2.1). Daar komt nog bij dat de geschatte effecten moeten worden gezien als overschattingen, aangezien ze zijn afgeleid voor de gemiddelde chloridebelasting van de periode 1999 t/m 2008, zijnde 6,3 miljoen ton/jaar. De belasting is echter nog dalende – in 2007 en 2008 bedroeg deze rond de 5,1 miljoen ton/jaar – en zal gezien de in § 5.1 beschreven verwachtingen vermoedelijk nog enigszins verder dalen. In § 5.6 ramen wij het gecombineerde effect van de klimaatverandering en de andere invloedsfactoren op de ontwikkeling van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith tot 2050, waarbij als uitgangspunt de gemiddelde situatie van 2007 en 2008 wordt gehanteerd.

5.2.4 Doorvertaling klimaatsinvloed naar chlorideconcentratie bij Andijk

Ook voor Andijk is een tijdreeksmodel ontwikkeld dat de chlorideconcentratie relateert aan de afvoer van de Rijn bij Lobith, uitgaande van de gegevens van een recente periode. Door een praktische beperking loopt de modelperiode voor Andijk van januari 1999 t/m december 2006 (dus niet tot eind 2008). Vanaf 2007 is de meetfrequentie van de chlorideconcentratie bij Andijk namelijk sterk verlaagd van eens per twee dagen of eens per week naar slechts eens per maand. Met die laatste frequentie is er geen sprake meer van maandgemiddelden. Zoals te zien in figuur 5.5, geldt er over deze periode een duidelijk andere relatie tussen de afvoer en de concentratie dan in de voorgaande perioden, toen de chloridevracht bij Lobith hoger lag.



Figuur 5.5: Spreidingsdiagram van de maandgemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk versus de maandgemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith, over de periode 1976 t/m 2006. De waarden van 1999 t/m 2006 zijn apart weergegeven.

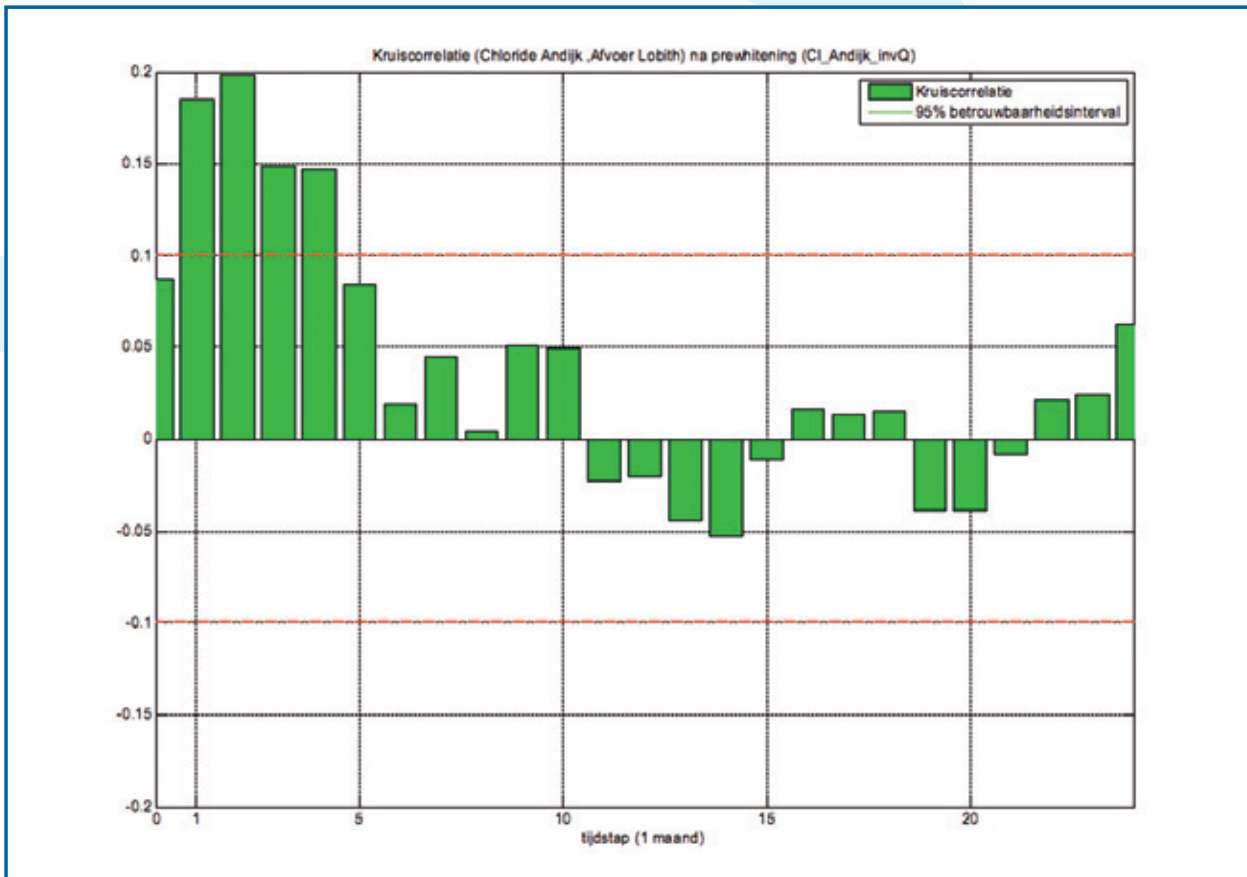
Net als voor de chlorideconcentratie bij Lobith hebben we ervoor gekozen de tijdreeksmodellering uit te voeren op maandbasis. Het ontwikkelde tijdreeksmodel luidt:

$$Cl_{And,t} = 33,5 + \frac{10736,9 + 38177,1B}{(1-0,67B) \cdot Q_{Lob,t}} + \frac{a_t}{(1-0,70B)} \quad [5.2]$$

met $Cl_{And,t}$ de maandgemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk [mg/l], $Q_{Lob,t}$ de maandgemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith [m^3/s] en a_t het modelresidu [mg/l], alle voor maand t . Het modelresidu a_t vertoont geen structuur meer en voldoet aan een normale kansverdeling¹⁶, zodat wordt voldaan aan de belangrijkste vooronderstellingen die aan het tijdreeksmodel ten grondslag liggen. Het tijdreeksmodel verklaart 89,2% van de variantie van de maandgemiddelde chlorideconcentratie bij Andijk.

De tweede term in het rechterlid van formule [5.2] geeft aan dat de maandgemiddelde chlorideconcentratie bij Andijk niet alleen afhangt van de maandgemiddelde afvoer bij Lobith in dezelfde maand, maar ook van die van voorgaande maanden. Een dergelijke, over de tijd uitgesmeerde dynamische relatie, is hier overigens ook te verwachten, doordat het IJsselmeer de instroom van IJsselwater enigszins zal bufferen. De dynamische relatie komt duidelijk naar voren in het in figuur 5.6 weergegeven gewitte kruiscorrelatiegram van de maandgemiddelde chlorideconcentratie bij Andijk en de maandgemiddelde afvoer bij Lobith.

¹⁶ Volgens de Kolmogorov-Smirnov-toets met Lilliefors-correctie.

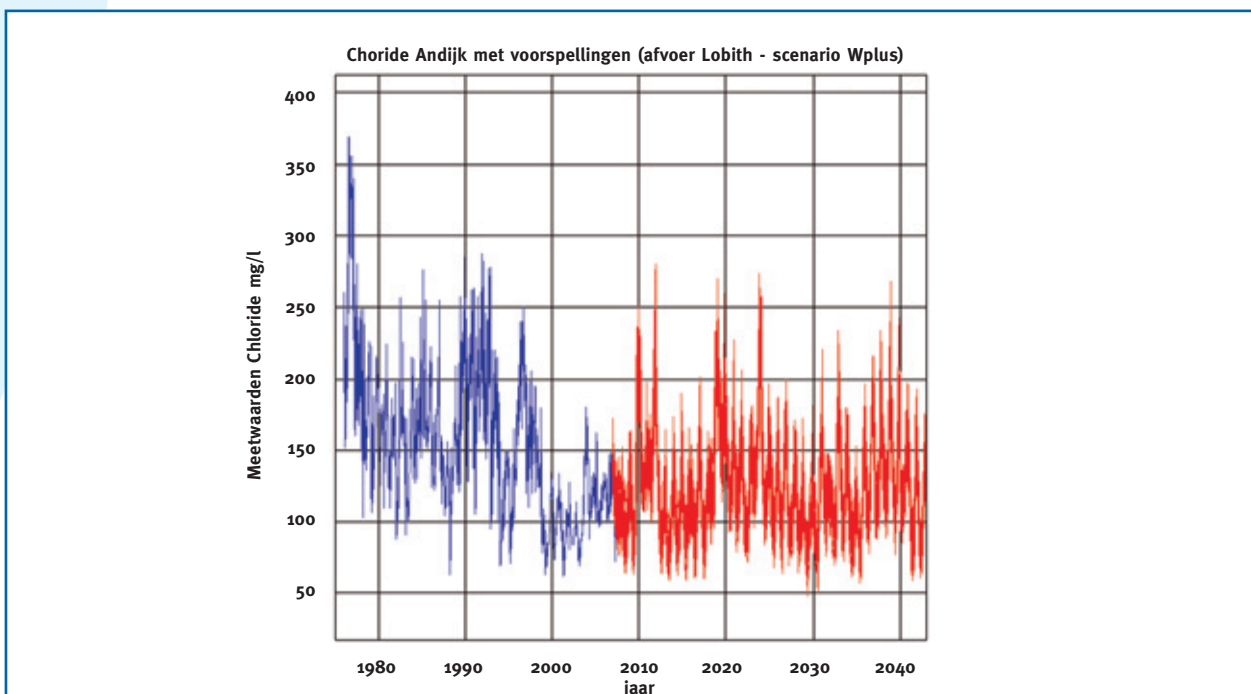
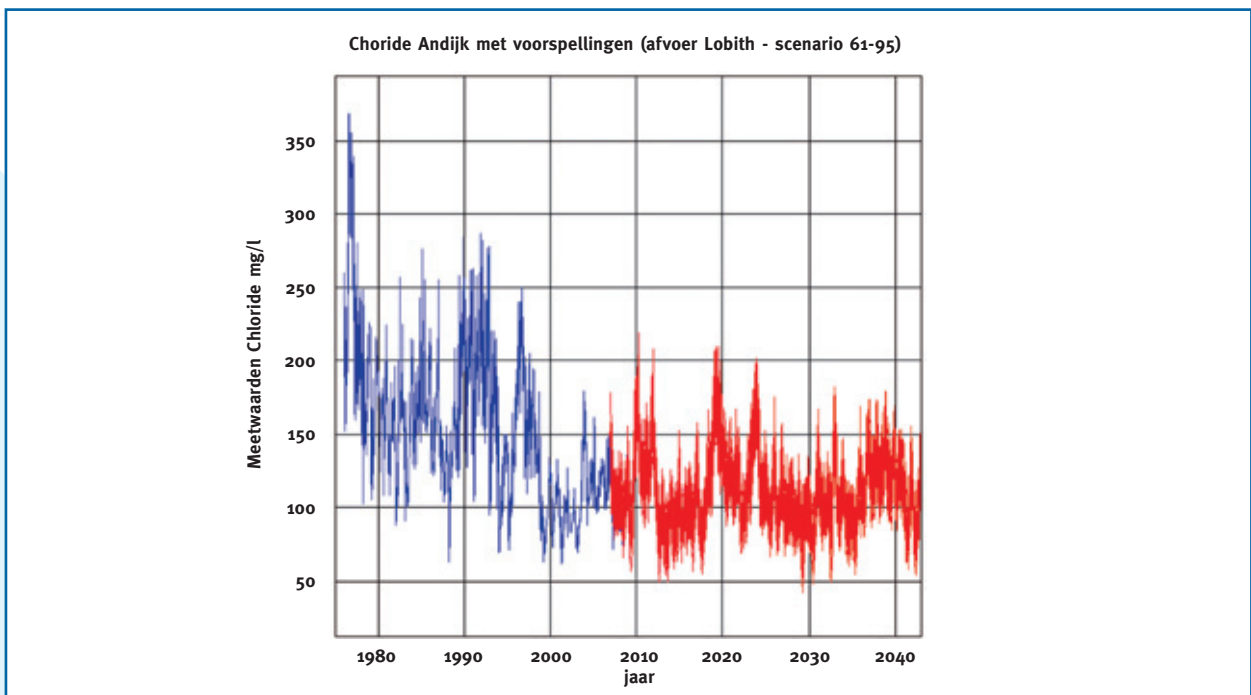


Figuur 5.6: Gewitte kruiscorrelatiegram van de maandgemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk en de maandgemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith.

Het gewitte kruiscorrelagram van figuur 5.6 toont voor oplopende tijdsverschuivingen (horizontale as) de kruiscorrelatiecoëfficiënt van de chlorideconcentratie en de afvoer (verticale as), waarbij beide reeksen eerst zijn gecorrigeerd voor hun interne structuur ('gewit'), aangezien die de kruiscorrelatie kan vertroebelen. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat de reactie van de chlorideconcentratie bij Andijk op een pulsmatige verandering van de afvoer bij Lobith langzaam opbouwt en na 1 à 2 maanden maximaal is, waarna de concentratie weer langzaam terugkeert naar de evenwichtssituatie. Het weergegeven reactiepatroon moeten we overigens opvatten als een gemiddelde, doordat het zal variëren, afhankelijk van andere factoren, zoals de windrichting, de windduur, de windkracht en het peil van het IJsselmeer.

We zijn nagegaan of het tijdreeksmodel voor de chlorideconcentratie bij Andijk nog kon worden verbeterd, door behalve de afvoer ook de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith mee te nemen bij de modellering. De relatie met die laatste bleek daarbij echter niet statistisch significant. Daarbij zal meespelen dat de afvoer en chlorideconcentratie bij Lobith onderling sterk zijn gecorreleerd. We hebben daarom ook een modellering uitgevoerd met als invoerreeksen de afvoer en de voor de afvoer gecorrigeerde chlorideconcentratie bij Lobith. Deze laatste is de component van de chlorideconcentratie bij Lobith die wordt beschreven met het stochastische deel van formule [5.1] (de derde term van het rechterlid). Maar deze bleek ook geen statistisch significante relatie te vertonen met de chlorideconcentratie bij Andijk. Blijkbaar bevat de afvoer van de Rijn bij Lobith over de modelperiode voldoende informatie over de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith en voegt die laatste onvoldoende toe bij het beschrijven van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk.

Figuur 5.7 toont twee voorbeelden van het resultaat van de simulatie-exercitie. De uit de simulaties volgende statistische karakteristieken van de kansverdeling van de chlorideconcentratie zijn vermeld in tabel 5.2.



Figuur 5.7: Twee voorbeelden van de gesimuleerde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk. Boven: uitgangssituatie. Onder: klimaatscenario W+ van 2050. De blauwe lijn geeft de historische meetwaarden weer en de rode lijnen geven de 25 simulaties weer.

Cl Andijk Kenmerk	Uitgangs- situatie	Klimaatscenario 2050			
		G	G+	W	W+
Minimum [mg/l]	40,3	48,1	48,8	48,2	47,1
P _{0,001} [mg/l]	55,7	54,1	56,9	53,8	58,2
P _{0,01} [mg/l]	64,9	65,0	65,4	63,8	68,0
P _{0,05} [mg/l]	75,1	73,9	76,9	72,7	78,8
P _{0,25} [mg/l]	91,8	90,2	95,3	88,8	99,1
P _{0,50} [mg/l]	107,3	105,2	113,1	103,3	120,0
Gemidd [mg/l]	110,4	108,6	116,5	106,5	124,7
P _{0,75} [mg/l]	125,4	123,3	133,0	120,7	144,0
P _{0,95} [mg/l]	157,9	155,7	171,5	152,3	190,4
P _{0,99} [mg/l]	181,2	179,3	197,8	175,7	221,4
P _{0,999} [mg/l]	205,9	199,1	221,6	191,6	257,6
Maximum [mg/l]	213,4	222,7	238,8	206,2	267,8
Stafw [mg/l]	25,3	24,9	28,6	24,2	34,2
VC	22,9%	22,9%	24,6%	22,8%	27,4%
% > 100 mg/l	61,5%	59,1%	68,4%	55,7%	73,8%
% > 150 mg/l	7,5%	6,6%	12,3%	5,7%	20,8%
% > 200 mg/l	0,18%	0,09%	0,88%	0,05%	3,26%
% > 250 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,19%
% > 300 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabel 5.2: De uit de simulaties volgende statistische karakteristieken van de kansverdeling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk. Vermeld zijn minimum, maximum, gemiddelde, standaardafwijking, variatiecoëfficiënt, een aantal percentielen en de overschrijdingskansen van enkele concentraties.

Ook voor de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk blijkt dat vooral de simulaties voor de klimaat-scenario's G+ en W+ tot een duidelijk andere kansverdeling leiden. Bij deze scenario's zijn de percentielen in toenemende mate hoger dan in de uitgangssituatie, met de grootste toenames bij het scenario W+. Bij de klimaatscenario's G+ en W+ nemen ook de overschrijdingskansen van de chloridenormen toe. In de uitgangssituatie wordt de drinkwaternorm (150 mg/l) met een kans van 7,5% overschreden, terwijl deze overschrijdingskans bij het scenario G+ 12,3% bedraagt en bij het scenario W+ zelfs 20,8%. Dit betekent bijna een verdubbeling of een verdrievoudiging van die overschrijdingskans. De AMvB-norm voor inname (200 mg/l) wordt in de uitgangssituatie met een kans van slechts 0,18% overschreden. Bij het scenario G+ bedraagt de overschrijdingskans 0,9% en bij het scenario W+ 3,3%. De simulaties voor de klimaatscenario's G en W geven aan dat deze scenario's slechts tot een geringe verandering van de kansverdeling van de chlorideconcentratie zullen leiden, waarbij de hogere percentielen en de normoverschrijdingskansen iets lager zijn dan in de uitgangssituatie.

Net zoals we al opmerkten voor de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith (zie § 5.2.3), moeten ook de hier geschatte effecten van de klimaatverandering op de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk worden gezien als overschattingen, aangezien ze zijn afgeleid voor de gemiddelde chloridebelasting van de Rijn bij Lobith over de periode 1999 t/m 2008, terwijl deze belasting nog dalende is en gezien de in § 5.1 beschreven verwachtingen vermoedelijk nog enigszins verder dalen. In § 5.6 ramen wij het gecombineerde effect van de klimaatverandering en de andere invloedsfactoren op de ontwikkeling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Lobith tot 2050, waarbij als uitgangspunt de gemiddelde situatie van 2007 en 2008 wordt gehanteerd.

Het is overigens denkbaar dat er ook nog een aanvullende overschatting meespeelt. De uit de simulaties volgende veranderingen van de gemiddelde concentratie door klimaatverandering zijn voor het IJsselmeer bij Andijk namelijk enigszins groter dan voor de Rijn bij Lobith (zie de tabellen 5.1 en 5.2). In principe zouden we echter verwachten dat een verandering van de chlorideconcentratie van de Rijn gedempt doorwerkt naar de chlorideconcentratie van het IJsselmeer, aangezien er ook andere aanvoer van chloride naar het IJsselmeer is. Het is daarom mogelijk dat de in het tijdreeksmodel vervatte relatie tussen de afvoer van de Rijn bij Lobith en de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk ten dele ook relaties beschrijft tussen die concentratie en bepaalde andere aanvoerbronnen van chloride. Daarvoor komen bijvoorbeeld in aanmerking aanvoerbronnen met een seizoensmatig verloop dat lijkt op dat van de afvoer van de Rijn. Als inderdaad ook andere verbanden zijn meegesimuleerd met de relatie tussen afvoer en concentratie, dan zal het klimaatseffect nog meer zijn overschat.

5.2.5 Andere klimaatseffecten op chlorideconcentratie IJsselmeer

De klimaatverandering zal behalve door de verandering in de afvoer van de Rijn ook op andere manieren invloed uitoefenen op de chlorideconcentratie van het IJsselmeer.

1. Door de klimaatverandering zal er 's zomers een groter neerslagtekort zijn, wat door indikking tot een hogere chlorideconcentratie zal leiden. Het neerslagtekort is een maat voor de droogte, gedefinieerd als de potentiële verdamping minus de neerslag, gesommeerd vanaf 1 april t/m 30 september. Het gemiddelde van het maximale neerslagtekort bedraagt in de huidige situatie 144 mm. In de twee scenario's met ongewijzigde luchtstromingspatronen neemt dit gemiddelde relatief weinig toe (G: +7 mm en W: +14 mm). Maar in de twee scenario's met gewijzigde luchtstromingspatronen is de toename redelijk (G+: +35 mm) en groot (W+: +76 mm). De zomerdroogte neemt dus vooral toe in die laatste twee scenario's. Gegeven de gemiddelde diepte van het IJsselmeer van 4,6 meter, leidt dit slechts tot geringe verhogingen van de chlorideconcentratie. In het G+-scenario komt dit neer op 's zomers een gemiddelde concentratietoename van 0,08% en in het W+-scenario van 0,17%.
2. Door de zeespiegelstijging zal de zoute kwel in de kustgebieden toenemen. Ook zal het zoutgehalte van het oppervlaktewater van de diepe droogmakerijen in het westen van het land toenemen. Dit geeft een grotere chloridevracht van het op het IJsselmeer uitgeslagen polderwater en daarmee een hogere chlorideconcentratie. De klimaatcomponent is hierbij echter gering, vergeleken bij het grote naijl-effect van de verschillende inpolderingen en de voortgaande bodemdaling in deze droogmakerijen. De autonome verzilting van de ondergrond is immers een omvangrijk, langzaam en nauwelijks omkeerbaar proces dat al eeuwen aan de gang is. Het wordt versterkt door peilverlaging en bodemdaling. Natuurlijke ontwikkelingen en antropogene activiteiten liggen hieraan ten grondslag. Vooral de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen vanaf het begin van de Gouden (17e) Eeuw heeft gedurende de afgelopen eeuwen een sterke toestroming van zout grondwater veroorzaakt. Deze ontwikkelingen in het verleden hebben nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Zelfs bij een constant peilverschil zal het autonome verziltingproces nog een aantal eeuwen duren [Stuurman et al, 2007].
3. Door de zeespiegelstijging zal de zoute kwel onder de Afsluitdijk toenemen. Maar vermoedelijk zal dit slechts een beperkte invloed hebben op de chlorideconcentratie van het IJsselmeer. Dit aangezien de zoute kwel momenteel slechts 3% bijdraagt aan de totale chloridevracht van het IJsselmeer (zie § 4.4). Bovendien is te verwachten dat de zoute kwel alleen tot circa 2035 zal toenemen, aangezien men daarna het peil van het IJsselmeer wil laten meebewegen met de zeespiegelstijging, als uitvloeisel van de ontwerp Beleidsnota IJsselmeergebied (zie § 5.3.2).

4. Door de klimaatverandering valt er 's winters meer neerslag. Dit effect zal het sterkst zijn in de twee klimaatscenario's mét wijziging van de luchtstromingspatronen (G+ en W+). De verhoogde winterneerslag zal de chlorideconcentratie van het IJsselmeer enigszins verlagen. Maar door de toename van de neerslag zal ook de kwel in de lage delen rond het IJsselmeer toenemen. Er zal meer water moeten worden weggepompt, waardoor meer brak en zout grondwater uit de diepere ondergrond zal omhoogkomen. Maar, zoals ook al aangehaald bij bovenstaand punt 2, zal dit effect slechts gering zijn ten opzichte van het naijl-effect van de verschillende inpolderingen. Het netto-effect van de verhoogde winterneerslag is vermoedelijk slechts gering.

We kunnen concluderen dat de klimaatverandering op verschillende wijzen de chlorideconcentratie van het IJsselmeer zal beïnvloeden. We schatten echter in dat de hierboven vermelde klimaatsinvloeden secundair zijn ten opzichte van de beïnvloeding via de verandering van de Rijnafvoer.

5.3 Beleidsplannen met betrekking tot het IJsselmeergebied

Een aantal recente beleidsdocumenten over de inrichting op lange termijn van Nederland is ook van belang voor de toekomst van het IJsselmeergebied. We bespreken in het onderstaande de adviezen van de Deltacommissie (§ 5.3.1), het ontwerp Nationaal Waterplan (§ 5.3.2) en het project Wetlands IJsselmeergebied (§ 5.3.3).

5.3.1 Rapport Deltacommissie

In september 2008 heeft de nieuwe Deltacommissie haar advies afgegeven over hoe Nederland te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering [Deltacommissie, 2008]. Het rapport - ook wel bekend als het 'rapport Veerman - adviseert hoe de Nederlandse kust en het achterland op de lange termijn te beschermen tegen de zeespiegelstijging en de grotere variatie in rivierafvoeren door de klimaatverandering en ook hoe de zoetwatervoorziening veilig te stellen. Deze laatste komt namelijk onder druk door een stijgende zeespiegel, afnemende rivierafvoeren in de zomer, langere perioden van droogte en het binnendringen van zout water via de rivieren en het grondwater. Dit bedreigt de drinkwatervoorziening, landbouw, scheepvaart en (koel)water gerelateerde economische sectoren.

De Deltacommissie geeft een twaalfstal aanbevelingen voor de toekomst. Voor wat betreft het IJsselmeer wordt aanbevolen het peil vanaf circa 2050 geleidelijk te verhogen met 1,5 meter. Het meer behoudt zo zijn strategische functie als zoetwaterreservoir voor Noord-Nederland, Noord-Holland en kan – met het oog op de dieper indringende zouttong in de Nieuwe Waterweg – die rol ook voor West-Nederland vervullen. Bovendien kan door de peilverhoging het overtollige water nog lange tijd onder vrij verval (dus zonder pompen) worden gespuid naar de Waddenzee. Er worden momenteel namelijk al plannen uitgewerkt om de spuicapaciteit van de Afsluitdijk zodanig uit te breiden, dat tot circa 2050 onder vrij verval kan worden gespuid naar de Waddenzee (zie § 5.4.2). Voor de periode daarna adviseert de Commissie om het peil te verhogen ('meebewegen met de zeespiegelstijging') en dus niet om te pompen (met gemalen). Doordat bij een peilstijging van meer dan 1,5 m op de benedenloop van de IJssel over grote afstand (tot aan Zwolle) ingrijpende en kostbare dijkversterkingen nodig is, ziet de Commissie 1,5 meter als maximum voor de peilstijging. Aangezien het IJsselmeer rond 2050 moet zijn ingericht op een peilstijging van 1,5 meter, zullen de maatregelen die daartoe nodig zijn tijdig in gang moeten worden gezet.

De commissie adviseert om het peil van het Markermeer onveranderd te laten. Dit heeft als voordeel dat, na het inhalen van de achterstand in de veiligheid van de waterkeringen, niet opnieuw de (landschappelijk waardevolle) waterkeringen langs de kust van Noord-Holland versterkt moeten worden. Tevens wordt zo de kwelproblematiek van Noord-Holland onder controle gehouden. Tenslotte geeft de duidelijkheid over het peil van het Markermeer helderheid voor de stedelijke ontwikkeling van Amsterdam en Almere.

5.3.2 Ontwerp Nationaal Waterplan en ontwerp Beleidsnota IJsselmeergebied

Het ontwerp Nationaal Waterplan (van 22 december 2008), beschrijft de hoofdlijnen van het nationale waterbeleid voor de planperiode 2009 – 2015. Als het plan is vastgesteld (uiterlijk 22 december 2009) volgt het de Vierde Nota Waterhuishouding uit 1998 op en vervangt het alle voorgaande Nota's Waterhuishouding.

Belangrijke onderdelen van het plan zijn het nieuwe beleid op het gebied van waterveiligheid, het beleid voor het IJsselmeergebied, het Noordzeebeleid en de Stroomgebiedbeheerplannen op grond van de KRW. Tevens bevat het een eerste beleidsmatige uitwerking van de adviezen van de Deltacommissie door het kabinet. Aanvullend zal het kabinet in 2009 met het ontwerp van een Deltawet komen, zodat ook de continuïteit en samenhang van de aanpak op de langere termijn kan worden geborgd.

Als bijlage bij het ontwerp Nationaal Waterplan zijn beleidsnota's toegevoegd over waterveiligheid, het IJsselmeergebied en de Noordzee. Deze beleidsnota's vormen een nadere uitwerking en onderbouwing van de keuzes die in de hoofdtekst staan van het Nationaal Waterplan en dienen in samenhang ermee te worden gelezen.

De ontwerp Beleidsnota IJsselmeergebied zet een concrete koers uit voor de verdere ontwikkeling van het IJsselmeergebied, zodat het bestendig kan worden gemaakt tegen de gevolgen van klimaatverandering. Daarnaast zijn nieuwe beleidslijnen uitgezet om de belangrijkste gebruiksfuncties van het IJsselmeergebied in de toekomst te kunnen borgen. De kernpunten van deze beleidsnota zijn:

- Om de huidige manier van waterafvoer naar de Waddenzee, onder vrij verval via spuisluisen, zo lang mogelijk in stand te kunnen houden, zal voor de middellange termijn (tot ongeveer 2035) de spuicapaciteit op de Afsluitdijk worden uitgebreid. Daarmee kan de meest extreme zeespiegelstijging van 20-25 cm worden opgevangen. Het kabinet zal hierover in 2010 het definitieve besluit nemen. Deze extra spuicapaciteit is uiterlijk in 2016 operationeel. Zie § 5.4.2 voor de mogelijke effecten van deze uitbreiding op het chloridegehalte van het IJsselmeer.
- Om ook op lange termijn (na 2035) het water onder vrij verval te kunnen blijven afvoeren naar de Waddenzee, zal een uitvoeringsprogramma worden voorbereid om het peil in het IJsselmeer mee te kunnen laten stijgen. Tevens kan het IJsselmeer dan blijven dienen als zoetwaterreservoir voor West- en Noord-Nederland. Om het IJsselmeerpeil te kunnen laten meestijgen zullen de IJsselmeerdijken, waaronder ook de Houtribdijk terzijner tijd moeten worden verhoogd. Voorafgaand aan het opstellen van het uitvoeringsprogramma zal het kabinet diverse onderzoeken (laten) uitvoeren, waaronder een integrale maatschappelijke kosten-batenanalyse met een landelijke én regionale scope, een studie naar de gevolgen van grote peilstijging op de IJsselmonding en een variantenanalyse voor (mate en tempo van) de peilstijging. Hierbij zullen de ecologische, maatschappelijke, ruimtelijke en sociaal-economische consequenties in beeld worden gebracht. Wij adviseren dat er door de drinkwatersector op wordt toegezien dat bij dit onderzoek ook alle gevolgen voor de drinkwaterinname bij Andijk worden belicht.
- Het kabinet neemt in 2015 een besluit over de mate en de snelheid (fasering) van de peilverhoging in het IJsselmeer in de daarop volgende planperiodes. Als maximum hanteert het kabinet nu 1,5 meter peilstijging in 2100.
- Ook wordt in 2015 besloten hoe op lange termijn in IJsselmeer en Markermeer/IJmeer wordt omgegaan met flexibel peil of seizoensvolgend peil, een op de ecologie aangepaste vorm van flexibel peilbeheer. Daarvoor zal het kabinet eerst in beeld brengen hoe groot de behoefte aan zoet water in de toekomst wordt en wat de rol van het IJsselmeergebied daarin zal kunnen zijn. Vervolgens zal het kabinet samen met de regionale waterbeheerders bepalen, welke maatregelen in het IJsselmeer en in het regionale watersysteem nodig zijn om de zoetwatervoorziening op een kosteneffectieve wijze te regelen. Verwacht wordt dat onderzoek nodig is naar de maatregelen die in het regionale watersysteem nodig zijn om deze vraag te bedienen, evenals onderzoek naar de kosten die daarmee samenhangen.

Ons inziens dient het onderzoek naar de gevolgen van een hoger IJsselmeerpeil overigens ook aandacht te besteden aan mogelijke gevolgen voor het grondwatersysteem, zoals [Stuurman et al, 2007]:

- Meer kwel in een zone langs het IJsselmeer. Daardoor zullen plaatselijk hogere grondwaterstanden ontstaan en zal er een toename in waterafvoer zijn.
- Opbarsting van de deklaag in een zone langs het IJsselmeer. Dit zal een sterke toename van kwel geven en daarmee een grote kans op (meer) verzilting.

Eerst inspraak

Het ontwerp Nationaal Waterplan (en daarmee ook de ontwerp Beleidsnota IJsselmeergebied) zullen vanaf uiterlijk 11 mei 2009 formeel ter inzage liggen. Inspraak is mogelijk tot 22 juni 2009. Wij adviseren dat de drinkwatersector tijdig nagaat of het op basis van dit plan nodig is om de belangen rond de drinkwaterinname bij Andijk te behartigen. De definitieve vaststelling van het Nationaal Waterplan is uiterlijk 22 december 2009 (precies een jaar na het uitbrengen van het ontwerp). De Vierde Nota Waterhuishouding blijft tot de vaststelling van het Nationaal Waterplan van kracht.

5.3.3 Project Wetlands IJsselmeergebied

Het project Wetlands IJsselmeergebied beoogt een herinrichting van het IJsselmeergebied, met een focus op het Markermeer, om de achteruitgang van natuurwaarden en de bedreiging van de leefbaarheid door de druk van menselijke activiteiten tegen te kunnen gaan.

De afgelopen jaren is het debat over het IJsselmeergebied sterk aangejaagd door de Stichting Wetlands in het IJsselmeergebied¹⁷, met als doel te komen tot een lange-termijnvisie voor de herinrichting van het IJsselmeergebied. De reden is dat er zich nu trends en behoeften aandienen die bij de conceptie van de Zuiderzeewerken (100 jaar geleden) nog niet bekend waren en waar dus ook geen rekening mee is gehouden. De functie die dit 'Blauwe Hart' te vervullen heeft bij de verdere inrichting van ons land, onder andere met het oog op de mogelijke effecten van de klimaatverandering, maakt een nieuwe planningshorizon van 100 jaar nodig. Het centrale motto daarbij is 'groen en blauw vóór rood en grijs', waarbij de ontwikkelopgave wordt aangeduid als de 'IJsselmeerwerken' [Stichting Wetlands in het IJsselmeer, 2009]. Voor implementatie wordt onderscheid gemaakt tussen het IJsselmeer en het Markermeer-IJmeer. Het is immers fysiek mogelijk geworden om verschillende ontwikkelregimes voor de twee meersystemen aan te houden, aangezien het advies van de Deltacommissie om het peilregime van IJsselmeer en Markermeer te ontkoppelen is overgenomen in het ontwerp Nationaal Waterplan (zie § 5.3.2).

De agenda voor het IJsselmeer zal grotendeels worden bepaald door de wijze waarop de aanbevelingen van de Deltacommissie worden uitgewerkt. De overheid heeft inmiddels het algemene kader voor de ontwikkelopgave van het IJsselmeergebied neergelegd in de ontwerp Beleidsnota IJsselmeergebied (zie § 5.3.2).

Volgens de Stichting Wetlands is de ontwikkelopgave voor het Markermeer-IJmeer het meest urgent, gezien de achteruitgang van natuurwaarden in het gebied en toenemende menselijke druk, ondermeer in de vorm van bouwwerken langs de randen. Inmiddels worden door meerdere partijen de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De openheid en stilte van Markermeer-IJmeer moeten worden behouden.
- Er is natuurversterking nodig, door middel van grootschalige aanleg van 'wetlands' (geleidelijke land-waterovergangen) en luwtezones, in diverse vormen en op diverse plekken.
- De woningbouwopgave van Almere is een gegeven, daarbij hoort een nieuwe verbinding vanuit Almere, naar west of zuid (door het water van IJmeer of Markermeer)

Het achterliggende idee is dat door het aanleggen van wetlands (zoals eilanden, vooroevers en drijvende structuren) een verbetering mogelijk is van natuur, landschap en waterhuishouding, die ook meer mogelijkheden gaan bieden voor bewoning en recreatie.

¹⁷ Deze Stichting is een samenwerkingsverband van ECORYS, Deltares en IMSA Amsterdam, gesubsidieerd door Leven met Water, Delft Cluster, Ministeries van V&W, VROM en LNV en de Provincie Flevoland (en gesponsord door private partijen zoals bouworganisaties en projectontwikkelaars). De Stichting is per april 2009 opgeheven, daar de belangrijkste doelen inmiddels zijn behaald.

In het kader van het project Wetlands zal ondermeer aandacht worden besteed aan het optimaliseren van de drinkwaterwinning en het op peil houden of vergroten van de zoetwatervoorraad van het IJsselmeer en het Markermeer. Het Markermeer wordt door het Rijk namelijk gezien als een mogelijke bron voor drinkwater, net zoals het IJsselmeer dat al is. Er zijn recentelijk al studies geweest naar de mogelijkheden die het Markermeer biedt als bron voor drinkwater, bijvoorbeeld als alternatief voor de huidige winning van Waternet in het Lekkanaal of de huidige winning van PWN in het IJsselmeer bij Andijk [Bernhardi en Van den Berg, 2006; Van Daal et al., 2007]. Het Markermeer bleek daarbij een goede optie. Als bedreigingen van de waterkwaliteit kwamen naar voren de sluipende verzilting door de uitslag van brak polderwater en de hoge concentraties zwevend stof, die het doorzicht beperken en de ecologie schaden (achteruitgang van driehoeksmosselen en de daarvan afhankelijke vogels). In het kader van het project Wetlands zullen maatregelen worden onderzocht om deze problemen het hoofd te bieden, zoals meer spuien vanuit het IJsselmeer in de zomer en het aanleggen van luwe zones, zoals diepe putten, geulen of vooroevers. Alle mogelijke consequenties van het graven van diepe putten en geulen moeten nog wel in kaart worden gebracht. De ondergrond van het Markermeer bevat namelijk brak grondwater tot circa 100 meter –NAP. Ook het vaste land rondom het meer bevat brak grondwater. Het graven van putten of geulen kan de huishouding van het brakke grondwater wijzigen en de chlorideconcentratie van het meer doen toenemen.

5.4 Plannen met betrekking tot de Afsluitdijk

De belangrijkste plannen met betrekking tot de Afsluitdijk zijn die voor een vernieuwd gebruik van de dijk (§ 5.4.1) en de plannen voor uitbreiding van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (§ 5.4.2).

5.4.1 Plannen voor vernieuwd gebruik Afsluitdijk

Het ontwerp Nationaal Waterplan stelt dat het kabinet kiest voor een versterking van de Afsluitdijk gecombineerd met een multifunctionele inrichting die past bij de bestaande kernkwaliteiten van het IJsselmeergebied en rekening houdt met de strategische zoetwatervoorraad van het IJsselmeer op langere termijn. Op verzoek van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat zijn in juli 2008 plannen ingediend voor een vernieuwd gebruik van de dijk, met de intentie er een ‘icoon van duurzaamheid en innovatie’ van te maken. De belangrijkste randvoorwaarden zijn: (1) veiligheid, (2) rekening houden met de Wadden (werelderfgoed in wording) en (3) het IJsselmeer als zoetwatervoorraad. In september 2008 zijn de beste vier van de acht inzendingen gekozen en op verzoek van het Ministerie verder uitgewerkt. De eindrapporten zijn 1 december 2008 gepresenteerd. Medio 2009 zal het kabinet een keuze bepalen.

De belangrijkste kenmerken van deze vier visies zijn hieronder samengevat.

WaddenWerken (DHV, Wageningen Imares en Alle Hosper)

- Er komt geen dijkverhoging, maar een verbreding met 400 tot 600 meter brede kwelders in de Waddenzee, totaal circa 1500 hectare. Dit geeft een robuuste, onderhoudsarme kering van golfbrekers, die meegroeit met de zee.
- Het benodigde zand wordt uit het IJsselmeer gehaald, wat een gevarieerd onderwaterlandschap geeft.
- Door plaatselijke ondiepten te verhogen worden de nieuwe kwelders meer in de luwte gelegd en worden ook hoogwatervluchtplaatsen toegevoegd.
- Er komt een zoet-zoutovergang in het breedste deel van de kwelders en in de luwte van de westelijke luwtedam.
- De kwelders sluiten via een iets hoger gelegen kweldernok aan op de Afsluitdijk.
- Tussen kweldernok en Afsluitdijk komt een vallei, waardoor de Afsluitdijk herkenbaar blijft en er een visuele scheiding is tussen verleden en heden.
- Door een slimme inzet van de spuisluisen in combinatie met de luwtebanken wordt het effect van de huidige zoetwaterschokken afgezwakt, waardoor de ondiepe habitat nabij de spuimiddelen verbetert.
- Er komen twee grote ‘wadbruggen’ over de sluisen, als toegangspoorten voor Friesland en Noord-Holland.
- Nabij Makkum wordt een beperkte brakwaterzone in het IJsselmeer gecreëerd (het ‘Makkumerbrak’), waar via membranen energie kan worden opgewekt uit de verschillen tussen zoet en zout water (Blue Energycentrale).

Afsluitdijk 21e eeuw (Arcadis, Dredging International, Nuon, HNS en Alkyon)

- De Afsluitdijk wordt overslagbestendig gemaakt, een overslagdijk. Aan de IJsselmeerkant komt een zanddam parallel aan de Afsluitdijk, zodat er een tussenmeer ontstaat om het overslaand zout water in op te vangen.
- Dit geeft een brak estuarium met specifieke natuur en vismigratie. Er zijn drie varianten mogelijk waarbij van 5.000 tot 20.000 hectare van het IJsselmeer wordt gebruikt.
- Aan de zuidzijde van het tussenmeer komt zoetwater-natuur tot ontwikkeling.
- Via een Blue Energycentrale wordt energie opgewekt uit de verschillen tussen zout en zoet water.
- Bij Kornwerderzand wordt het spuicomplex omgebouwd tot een combinatie van gemaal en getijdencentrale (de 'watermachine'). Tijdens het spuien kan energie worden opgewekt met turbines. In tijden van nood kan met dezelfde turbines water worden weggepompt.
- Langs een fietspad aan de zuidzijde van de dijk wordt met zonnepanelen of zonnefolie zonneenergie opgewekt.

Monument in Balans (NoordPeil, GD Architecten, CE Delft en Oranjewoud)

- Ter vergroting van de veiligheid komt er een betonnen, boogvormig stormschild op de dijk.
- Voor een betere doorstroming van weg- en waterverkeer komen er twee naviducten, één bij het Wieringerrandmeer en één in de knik van de dijk. Deze laatste wordt gekoppeld aan het binnenkort nieuw te plaatsen extra spuicomplex.
- De huidige schutsluis bij Kornwerderzand wordt een vispassage. Bij hoog peil wordt deze gebruikt om een lokstroom te creëren, die de vis weer naar het IJsselmeer lokt.
- In het IJsselmeer, ten zuiden van de dijk, tussen Makkum en Kornwerderzand, wordt een brakwatergebied gecreëerd om de natuurwaarden een impuls te geven. Strekdammen in de vorm van drempels van Kornwerderzand tot Makkum moeten voorkomen dat het brakke water de zoetwatervoorraad van het IJsselmeer aantast.
- Het brakwatergebied zal doorlopen in de Waddenzee tot Harlingen. Door het vastleggen van een gecontroleerd spuiregime wordt het zoutgehalte van het brakwatergebied gereguleerd.
- Breezanddijk wordt een het Eiland van Innovatie, met proefopstellingen voor een Blue Energycentrale en andere vormen van duurzame energie. Als blijkt dat deze technieken bruikbaar zijn, zullen ze verder uitgerold worden op de dijk of in de dijkhaltes.
- Zo mogelijk komt er een volwaardige Blue energycentrale bij de nieuw te plaatsen spuisluis in de knik van de dijk bij Kornwerderzand. Het brakke restwater kan dan direct geloosd worden op de Waddenzee en als voeding dienen voor het brakwatergebied voor de kust van Harlingen.
- In 2050 kan worden voorzien in duurzame electriciteit voor de regio via windenergie op de koppen van de dijk, getijdenturbines, zonne-energie en de Blue Energycentrale.

Natuurlijk Afsluitdijk (Wubbo Ockels B.V., Royal Haskoning, Van Oord, Lievense, Bam, Rabobank en Eneco)

- Er komt een 'Natuurlijk', min of meer parallel aan de Afsluitdijk, in het IJsselmeer. Deze buigt noordwaarts af naar de knik in de Afsluitdijk. Het centraal-oostelijke deel van deze dijk begrenst een brakwaterzone die via een afsluitbare getijdeopening in verbinding staat met de Waddenzee. Deze opening komt net ten westen van de reeds geplande nieuwe spuisluis in de knik van de Afsluitdijk. De nieuwe spuisluis blijft echter in verbinding met het zoete water van het IJsselmeer.
- Er komt een cirkelvormig 'valmeer' in de aan te leggen brakwaterzone van het IJsselmeer, zuidwaarts van de knik in de Afsluitdijk, om energie op te slaan. Bij stroomoverschot (bijvoorbeeld door windenergie op dagen met harde wind) kan het valmeer leeggepompt. Bij stroomtekort laat men het valmeer weer volstromen en wordt met het vallende water energie opgewekt.
- Met het sediment dat vrijkomt bij het graven van het valmeer worden de Afsluitdijk en de bijbehorende kunstwerken veilig gemaakt en wordt de Natuurlijk aangelegd. Ook wordt de dijk verbreed, wat ruimte creëert voor de te verleggen snelweg en voor hoogwaardig openbaar vervoer (zoals de superbus van Wubbo Ockels).
- Bij Den Oever en Kornwerderzand komen naviducten, die de bestaande schut- en spuisluizen vervangen.
- Er wordt eerst proefgedraaid met een Blue Energycentrale bij Kornwerderzand. Bij slagen wordt een apart eiland voor deze centrale aangelegd, iets verder van de Afsluitdijk, aan de IJsselmeerkant.

- Langs de gehele lengte van de Afsluitdijk worden zonnepanelen geïnstalleerd.
- De spuistrategie zal er mede op gericht zijn het binnendringen van zout via de sluisen bij Den Oever tegen te gaan, in verband met de inlaat van zoet water. De strategie zal zich ook richten op het reguleren van het zoutgehalte van het brakwatergebied van Harlingen tot Makkum.
- Verder kan er altijd via het valmeer en de brakwaterzone worden gespuid, zodat een groot deel van de zoetwaterlozing op de Waddenzee kan worden vervangen door brakwaterlozing (via de afsluitbare getijdeopening). Er zijn dan minder zoetwaterschokken in de Waddenzee, wat uit ecologisch oogpunt gewenst is.

Onze evaluatie van de plannen met het oog op de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk

Elk van de vier plannen voorziet in een andere configuratie van het noordelijk deel van het IJsselmeer, waar ook een meer of minder afgesloten brakwaterzone deel van uitmaakt, gericht op het vergroten van de ecologische potenties. Verder zal de uitvoering van elk plan gepaard gaan met een op de nieuwe situatie aangepaste spuistrategie. Elk van deze drie aspecten, de nieuwe configuratie (die leidt tot andere stromingspatronen), de brakwaterzone en de nieuwe spuistrategie, kan relevante consequenties hebben voor de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk. Weliswaar wordt van elk plan door de ontwerpers beweerd dat het de zoetwatervoorraad van het IJsselmeer niet in gevaar brengt, maar daarbij is niet gespecificeerd of dit ook voor alle beoogde gebruiksfuncties van het zoete water geldt. Voor waterinlaat voor drinkwaterbereiding gelden namelijk strengere eisen aan de chlorideconcentratie dan voor waterinlaat tijdens droge zomers. Bovendien zijn bij geen van de vier plannen de mogelijke consequenties voor de kwaliteit van het IJsselmeerwater gedetailleerd doorberekend, zodat ze ook nog niet goed kunnen zijn afgezet tegen de criteria voor waterinlaat. Er is daarom alle reden voor de drinkwatersector om deze plannen kritisch te blijven volgen en daarbij aan te dringen op een betere onderbouwing van de stelling dat de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer niet wordt geschaad. PWN heeft inmiddels al aan Rijkswaterstaat laten weten dat naar haar mening geen van de vier visies voldoende rekening houdt met de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer. PWN spreekt daarom de voorkeur uit voor de als basisreferentie door Rijkswaterstaat gepresenteerde variant Robuust-2100, die voorziet in een robuuste waterkering en een robuuste scheiding van zoet en zout water.¹⁸

5.4.2 Plannen voor uitbreiding spuicapaciteit Afsluitdijk

Het spuien van het IJsselmeerwater via de spuicomplexen in de Afsluitdijk gebeurt onder vrij verval. Dit is alleen mogelijk als de waterstand van de Waddenzee minstens tien centimeter lager is dan die van het IJsselmeer. Meestal kan er bij eb gespuid worden, maar soms wordt door harde wind het water van de Waddenzee zo hoog tegen de dijk opgestuwd dat spuien niet mogelijk is.

Door de voortgaande relatieve zeespiegelrijzing neemt het niveauverschil tussen het IJsselmeer en de Waddenzee langzaam af, zodat de periode waarin gespuid kan worden steeds korter wordt. Nu is het al moeilijk om het winterstreefpeil van 0,40 meter –NAP te handhaven. Dat zal door de klimaatverandering nóg moeilijker worden, aangezien de rivierafvoeren in de winter dan zullen toenemen (zie § 5.2) en tevens de zeespiegel enigszins sneller kan stijgen.

Het gemiddelde verschil in de waterstand tussen het IJsselmeer en de Waddenzee bij eb is nu 50 cm. Dit zal door de zeespiegelstijging afnemen tot circa 25 cm in 2050. De afvoercapaciteit van de bestaande spuisluisen wordt daardoor flink verminderd.

Rijkswaterstaat wil een zodanige vergroting van de spuicapaciteit in de dijk, dat zowel het huidige gemiddelde winterpeil als het huidige gemiddelde zomerpeil van het IJsselmeer nog tot ongeveer 2050 aangehouden kunnen worden. Er moet onder vrij verval gespuid kunnen worden (dus zonder gemaal). De nieuw te plaatsen spuisluis moet ook worden voorzien van een vispassage. Dit is in lijn met een bepaling in het verdrag inzake de bescherming van de Rijn, aangaande de verbetering van de trekmogelijkheden van vis.

Milieueffect-rapportage (MER)

In de MER voor de nieuw te plaatsen spuisluis is een Meest Milieuvriendelijk Alternatief (MMA) gekozen, als combinatie van de meest milieuvriendelijke locatie, inpassing in het landschap, vormgeving en beheer van het nieuwe spuiemiddel met vispassage. De voorkeurslocatie is de knik in de Afsluitdijk bij Kornwerderzand. Daar zijn

¹⁸ Brief van PWN aan het projectteam Afsluitdijk van Rijkswaterstaat Dienst IJsselmeergebied, van 10 maart 2009.

namelijk de grootste waterstandsverschillen tussen IJsselmeer en Waddenzee te verwachten, zodat er extra efficiënt gespuid kan worden. Verder is hier de minste invloed op de bodemfauna in de Waddenzee te verwachten en zijn er de beste kansen voor intrek van vis naar het IJsselmeer [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2005].

De oplossing moet voldoen aan een aantal randvoorwaarden met betrekking tot de beveiliging tegen overstrooming, de (inter)nationale regelgevingen en het afwegingskader voor de natuur, de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer en de veiligheid van de scheepvaart. Voor wat betreft de toets aan de randvoorwaarden met betrekking tot de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer concludeert de MER:

1. De lekkage van zout water door de nieuwe spui zal geen effect hebben op de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer. De lekkage door de sponningen van de huidige spuimiddelen wordt geschat op circa 65.000 ton chloride per jaar, enkele procenten van de totale chloridevracht van het IJsselmeer. Het nieuwe spuimiddel zal een kleiner oppervlak aan sponningen krijgen. De lekkage zal daar dan ook zeker niet groter zijn en is derhalve geschat op dezelfde hoeveelheid als voor de bestaande twee spuicomplexen samen. Het zoute lekwater verzamelt zich in het verdiepte instroombekken, waarvandaan het bij het eerstvolgende openen van de spui als eerste naar de Waddenzee terug zal stromen. Het heeft daarom bij geen van de inlaatpunten gevolgen voor het zoutgehalte.
2. De mogelijke instroom van een zouttong aan het begin of einde van de spuiperiode kan worden tegengegaan. Bij het openen en sluiten van de spui bestaat de kans dat onder het uitstromende, relatief lichte, zoete water door, een onderstroom van relatief zwaarder, zout water (een zouttong) naar binnen loopt. Dit kan voorkomen worden door in het ontwerp aan de Waddenzeekant een uitstroomconstructie op te nemen. In het voorontwerp bestaat deze uit een sprong naar beneden in de bodemdiepte van 6,5 m -NAP m naar 11 m -NAP. Hierdoor moet het terugstromende water een hoogte van 5,5 m overbruggen. Daarnaast kan de openings- en sluitingsprocedure zo worden ingericht dat de instroom van een zouttong wordt belemmerd.
3. De mogelijke inlaat van zout water door de vispassage zal geen effect hebben op de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer. Om de zoutbelasting via de vispassage te beperken zijn in het (voorlopig) ontwerp het in- en uitstroomprofiel geoptimaliseerd. De inlaatopening zal niet groter zijn dan 10 m² en er zullen beperkingen worden gesteld aan de tijd gedurende welke water van Waddenzee naar IJsselmeer stroomt (te weten: maximaal één uur na gelijk water in Waddenzee en IJsselmeer). Volgens visbiologen hoeft een beperking van de instroomtijd geen belemmering te vormen voor een goed functioneren van de passage. Een dergelijke openstelling leidt niet tot een significante verhoging van het zoutgehalte bij de innamepunten van zoet water. Het ingelaten water van de vispassage blijft namelijk rond het spuimiddel hangen in de diepe geul die daar aanwezig is en komt niet verder dan ongeveer 1 km van de passage. Alleen bij Makkum kan zich een geringe verhoging van de chlorideconcentratie aandienen van hooguit enkele mg/l, bij gebruikelijke niveaus van meer dan 100 mg/l. Bij de andere innamepunten wordt geen verhoging berekend.
4. De verhoging van het chloridegehalte dat bij onbedoeld openstaan van de spui (zoals bij een defect) optreedt, zal van tijdelijke aard zijn en zal de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer niet in gevaar brengen. Deze conclusie is gebaseerd op een modelmatige berekening van het effect van een 'worst-case'-scenario dat één van de vijf spuiopeningen onbedoeld openblijft gedurende één hoogwaterperiode, waarbij er tevens een krachtige wind is uit noordelijke richtingen, die het zoute Waddenzee water tegen de Afsluitdijk opstuwt, zodat het vrije toegang tot het IJsselmeer heeft. Voor vier innamepunten van zoet water (Stavoren, Wieringen, Andijk en Makkum) is zowel voor de huidige situatie als voor de situatie in 2050 (dus mét zeespiegelstijging) berekend wat het verloop van het zoutgehalte in dit geval zou zijn. De verhoging van de zoutgehalten blijkt echter alleen bij Makkum en Stavoren merkbaar en duurt enkele weken, waarbij het gehalte met elke spuigang terugloopt. Het is daarbij overigens niet waarschijnlijk dat door de verhoging van het zoutgehalte het water als landbouw- en doorspoelwater onbruikbaar wordt.

Effecten op zoute kwel

In het ontwerp van de spui zijn kwelschermen opgenomen die tijdens de bouw en in de gebruikssituatie daarna, de Afsluitdijk beveiligen tegen (zoute) kwelstromen. Er wordt ten opzichte van de bestaande situatie geen toename van de kwelstroom verwacht, maar per saldo zelfs een afname, door de installatie van de kwelschermen.

Spuibeheer

In de huidige situatie wordt in de zomer meestal slechts een klein deel van de spuumiddelen gebruikt. Doordat de extra spui meer spucapaciteit biedt, zal het in de eerste jaren ook in de winter vaker gebeuren dat niet de gehele spucapaciteit nodig is om het gewenste peil te bereiken. Dit geeft ruimte om met de volgorde van de inzet van de spuumiddelen te 'spelen'.

De huidige volgorde van inzet is als volgt:

- als 20% capaciteit nodig is, wordt 1 groep bij Den Oever geopend
- als 40% nodig is: 1 groep bij Den Oever en 1 groep bij Kornwerderzand
- als 60% nodig is: 2 groepen Den Oever, 1 groep bij Kornwerderzand
- als 80% nodig is: 2 groepen bij Den Oever, 2 groepen bij Kornwerderzand
- als de volle 100% spucapaciteit nodig is zijn 3 groepen bij Den Oever en 2 groepen bij Kornwerderzand in gebruik

De spuien bij Den Oever worden in de zomer relatief vaak gebruikt omdat door de stroming van de spui het baggerbezwaar bij de haven van Den Oever beperkt kan worden en daarmee wordt eveneens in het IJsselmeer een stroming richting Den Oever in stand gehouden. Dit laatste voorkomt dat relatief zout water, dat door de schutsluizen bij Den Oever het IJsselmeer binnendringt, het innamepunt voor zoetwater bij Andijk bereikt. Uiteraard is binnendringing van zout water via de schutsluizen van Kornwerderzand ook niet gewenst. Om zoutindringing te beperken wordt daarom ook bij Kornwerderzand geregeld gespuid.

Als voorkeursvariant voor het spui-beheer noemt de MER het zo continu mogelijk spuien bij Den Oever. Er wordt dan naar gestreefd telkens wanneer de beschikbare spucapaciteit niet volledig hoeft te worden benut, om bij Den Oever een zo continu, 'natuurlijk' mogelijk verloop van de afvoer te realiseren en de discontinuïteiten in de afvoer op te vangen bij de twee overige spuicomplexen. Dit komt er op neer dat in de zomer in Den Oever zoveel mogelijk met 1 groep spuiokers gespuid zal worden. Het restant van het te spuien water zal dan door de andere twee spuicomplexen bij Kornwerderzand afgevoerd moeten worden, waarbij er een voorkeur bestaat om eerst 1 deur van de nieuwe spui in te zetten om een zoetwater-lokstroom voor de vispassage te genereren, zodat de vispassage optimaal kan functioneren en om zoutindringing voor de Friese kant van het IJsselmeer te voorkomen. In de winter zal het, afhankelijk van het aanbod van water, windinvloeden en de stand van het laag water in de Waddenzee, regelmatig nodig zijn om een tweede groep bij Den Oever in te zetten, maar er zal zo lang mogelijk vermeden worden om ook de derde groep bij Den Oever te gebruiken om te sterke verzoeting van het gebied van de Breehorn en het Balgzand te vermijden. Er zal gemonitord worden dat de zoutindringing bij de deuren die niet geopend worden niet te hoog oploopt.

Door de ingebruikneming van de nieuwe spui zal het Waddengebied ten noorden en noordoosten van Kornwerderzand ten opzichte van de huidige situatie wat verzoeten (1 à 2 ‰) en het Waddengebied bij Den Oever zal wat zouter worden (2 à 3‰). Ter vergelijking: de huidige gemiddelde zoutgehalten lopen van rond de 10‰ bij de spuisluizen tot 35‰ op zee.

5.5 Plan voor nieuwe bemalingsstrategie Flevopolders

Het waterschap Zuiderzeeland wil haar bemalingsstrategie in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland wijzigen. Het polderwater wordt momenteel voornamelijk uitgeslagen op het Ketelmeer door het gemaal Colijn (Ketelhaven) en voor een kleiner deel op het Markermeer, door de gemalen De Blocq van Kuffeler (Almere) en Wortman (Lelystad) en op de Veluwerandmeren door het gemaal Lovink (Harderwijk). Op grond van een studie naar een optimalere bemalingsstrategie wil het waterschap het grootste deel van het water gaan uitslaan via het gemaal De Blocq van Kuffeler in plaats van het gemaal Colijn. Er zal dan circa 500 miljoen m³/jaar worden uitgeslagen op het Markermeer, in plaats van de circa 150 miljoen m³/jaar momenteel.

Tot 1992 was de bemalingsstrategie gelijk aan deze voorgestelde nieuwe strategie. De aanpassing in 1992 diende om de chloridebelasting van het Markermeer door de uitslag van het brakke Flevolandse polderwater te verminderen, aangezien dat problemen gaf voor de landbouw in Noord-Holland. Daar kwam bij dat in die periode de chloridebelasting van het IJsselmeer vanuit de IJssel terugliep, zodat het niet bezwaarlijk werd geacht de uitslag van Zuidelijk en Oostelijk Flevoland voortaan voornamelijk te laten plaatsvinden op het Ketelmeer (en daarmee ook het IJsselmeer), via gemaal Colijn.

De consequenties van de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie voor de belasting van het Markermeer zijn verkend in een recente studie van Oranjewoud, uitgevoerd voor Rijkswaterstaat IJsselmeergebied [Oranjewoud, 2007]. Daarbij stond de vraag centraal of de nieuwe bemalingsstrategie opgevat moest worden als afwenteling op het Markermeer. Onder afwenteling wordt verstaan het overdragen van een 'last' naar benedenstrooms gelegen waterbeheerders. 'Niet afwentelen' is een uitgangspunt van beleid, waarop waterbeheerders elkaar kunnen aanspreken. Door Oranjewoud is afzonderlijk voor fosfaat, stikstof, chloride en sulfaat de te verwachten concentratie van het Markermeer bij de nieuwe bemalingsstrategie gemodelleerd, op basis van een eenvoudige vracht-balans van het Markermeer. De berekeningen zijn gedaan voor acht scenario's, bestaande uit de acht mogelijke combinaties van drie invloedsfactor met elk twee mogelijke instellingen. Deze factoren waren: (1) de neerslaghoeveelheid (met instellingen een droog en een nat jaar), (2) de peilstijging (met instellingen 0 meter en 1 meter peilstijging) en (3) de omvang van het Markermeer (met instellingen de huidige omvang en een kleinere omvang). Elk scenario is 9 jaar doorgerekend, aangezien het zolang duurde voordat er een evenwichtssituatie ontstond.

Voor chloride gaven de modelleringsresultaten aan dat de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie het gemiddelde chloridegehalte van het Markermeer kan verhogen van 116 mg/l in de uitgangssituatie tot tussen de 120 en 150 mg/l, afhankelijk van het scenario. De 120 mg/l resulteerde voor het scenario van een droog jaar, met peilstijging van 1 meter en een groot meer, terwijl de 150 mg/l resulteerde voor de scenario's van een nat jaar en een klein meer, zowel met als zonder peilstijging.

Een controleberekening voor de jaren 2000 t/m 2004 leverde echter voor chloride onverklaarbare resultaten op, in de zin dat er geen relatie bleek tussen de gemeten chlorideconcentratie en de berekende belasting. Aangezien chloride een conservatieve stof is, concludeerden de auteurs dat voor alle vier de stoffen een concentratie-stijging als gevolg van het veranderd bemalingsregime met de uitgevoerde berekeningen, onder de gebruikte aannames en met de beschikbare data, onvoldoende aangetoond kon worden. Er kon daardoor met deze studie ook geen antwoord worden gegeven op de vraag of de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie neerkwam op afwenteling.

Het onderzoek van Oranjewoud is niet ingegaan op de vraag welke invloed de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders zal hebben op het IJsselmeer. Daarom zullen wij hier een globale inschatting van die invloed geven.

Het gemaal Colijn heeft in de periode 1998 t/m 2004 jaarlijks gemiddeld 350 miljoen m³ water uitgeslagen naar het Ketelmeer (300 miljoen m³/jaar met Colijn-Laag en 52 miljoen m³/jaar met Colijn-Laag), met een totale chloridevracht van gemiddeld 148.000 ton/jaar. Dit is gemiddeld circa 6,4% van de totale jaarlijkse chloridevracht van het IJsselmeer. Aangezien volgens de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie het gemaal De Blocq van Kuffeler jaarlijks 350 miljoen m³ water meer gaat uitslaan, is het blijkbaar de bedoeling dat vrijwel de gehele uitslag van het gemaal Colijn wordt overgeheveld naar het Markermeer. Hierdoor zal de chlorideconcentratie van het Markermeer uiteraard stijgen. Op jaarbasis is er via de sluiscomplexen in de Houtribdijk een netto instroom van water uit het Markermeer naar het IJsselmeer, ter grootte van ongeveer 360 miljoen m³.

De extra chloridevracht van het Markermeer naar het IJsselmeer bij de gewijzigde bemalingsstrategie zal afhangen van de toename van de chlorideconcentratie in het Markermeer. Er zijn vooralsnog geen andere ramingen van de toename van de chlorideconcentratie in het Markermeer dan die van [Oranjewoud, 2007], vandaar dat we die hier hanteren. De scenarioberekeningen van Oranjewoud gaven aan dat, afhankelijk van het scenario, de concentratietoename van het Markermeer tussen 5 mg/l en 35 mg/l kan liggen. Dit betekent dat de extra chloridevracht van het Markermeer naar het IJsselmeer door de gewijzigde bemalingsstrategie tussen de 1.800 en 12.600 ton/jaar kan bedragen. Deze hoeveelheden zijn dermate veel kleiner dan de daling van de chloridevracht van het IJsselmeer door het verminderen van de uitslag van het gemaal Colijn (gemiddeld 148.000 ton/jaar), dat het – ook gegeven alle onzekerheden rond de resultaten van de scenarioberekeningen - zeer aannemelijk mag worden geacht dat de voorgestelde nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders zal leiden tot een daling van de chloridevracht en daarmee -concentratie

19 Het kleinere Markermeer loopt tot aan de lijn Uitdam-Muiderhoek. Er is daarbij geen instroming meer vanuit de Zuidelijke Randmeren, aangezien die dan afwateren via de Oranjesluizen.

van het IJsselmeer. We kunnen de daling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer zelfs theoretisch benaderen, als we uitgaan van volledige menging van alle naar het IJsselmeer aangevoerde chloride. In de periode 1998 t/m 2004 is gemiddeld per jaar 18,3 miljard m³ water aangevoerd naar het IJsselmeer, na correctie voor de gemiddelde jaarlijkse verdamping (zie bijlage 2). Een vermindering van de jaarlijkse chloridevracht van tussen de 135.400 en 146.200 ton/jaar zal de chlorideconcentratie dan tussen de 7 en 8 mg/l verlagen.

5.6 Synthese – netto-verwachtingen chloridebelasting Lobith en Andijk

In dit hoofdstuk zijn verschillende toekomstige ontwikkelingen beschreven, die de chloridebelasting van de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Andijk kunnen beïnvloeden. Maar wat kunnen we verwachten van hun gecombineerde effect tot ongeveer 2050? In deze paragraaf ramen wij het gecombineerde effect van de klimaatverandering en de andere invloedsfactoren op de ontwikkeling van de chlorideconcentratie bij deze meetlocaties, waarbij als uitgangspunt de gemiddelde situatie van 2007 en 2008 wordt gehanteerd.

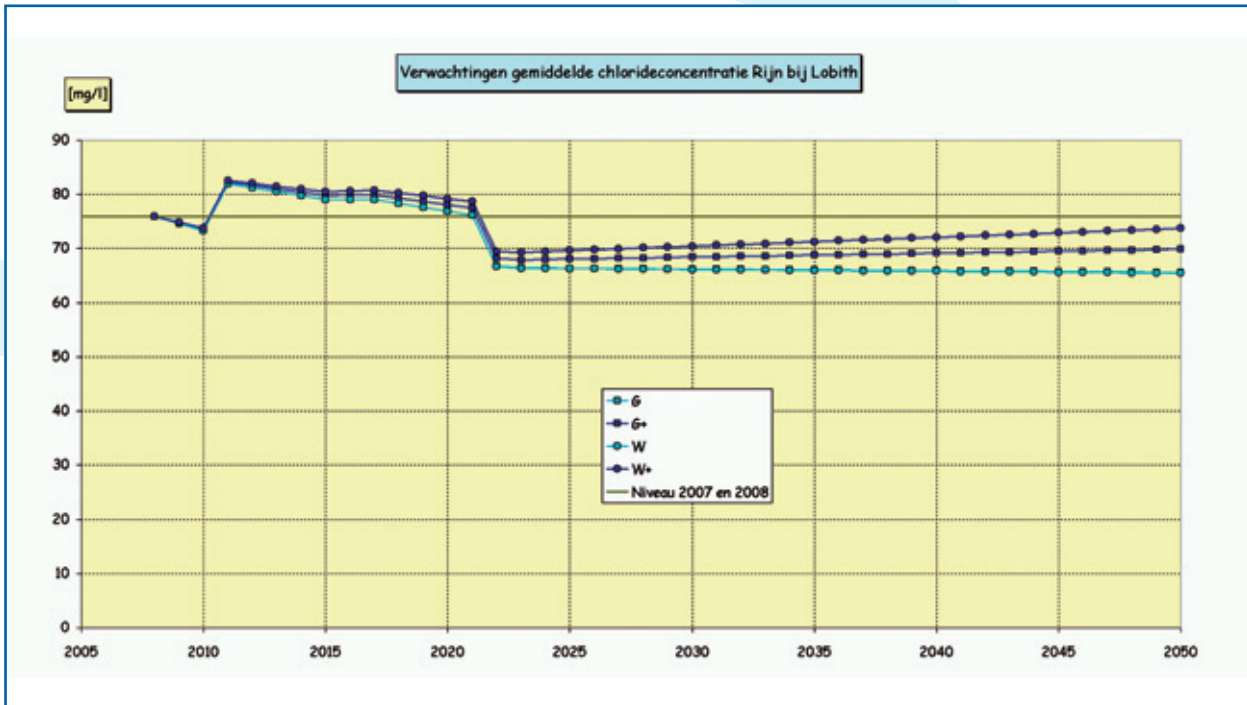
5.6.1 Netto-verwachting chloridebelasting Rijn bij Lobith

Om een netto-verwachting van de chloridebelasting van de Rijn bij Lobith te kunnen opstellen, moeten we een aantal aannemelijk te achten aannames doen. We kiezen daarbij voor de volgende aannames:

1. De toevoer van chloride uit de kalimijnen in de Elzas is sinds 2003 alleen nog indirect, via de stortbergen. Vanaf 2010, als de stortbergen zijn gesaneerd, zal de chloridevracht zich stabiliseren, vermoedelijk op het niveau van 5 à 10 kg/s (0,16 à 0,32 miljoen ton/jaar). Aangezien deze vracht de laatste jaren met circa 3 kg/s/j is afgenomen²⁰, gaan we er van uit dat de afname eerst nog met deze snelheid doorzet tot 2010 en daarna constant blijft op 10 kg/s.
2. De geplande afschaffing van de mijnbouw in het Moezel- en Saargebied in 2012, zal de zoutbelasting van het afvalwater van de mijnbouw reduceren. We gaan er van uit dat deze vracht – circa 0,2 miljoen ton/jaar - van 2012 tot 2015 wordt afgebouwd.
3. Aangezien er in 2018 een eind komt aan de subsidie op de winning van steenkool, zullen de mijnbouwactiviteiten in de stroomgebieden van de Emscher en de Lippe onrendabel worden. We gaan er daarom van uit dat de totale chloridevracht van deze twee rivieren – circa 0,55 miljoen ton/jaar - van 2018 tot 2023 geleidelijk wordt gehalveerd en daarna constant blijft.
4. De chloridevracht van de sodaverwerkende industrie in het stroomgebied van de Moezel bij Nancy blijft doorgaan op het niveau van 1,5 miljoen ton/jaar.
5. Van 2011 tot 2021 zal er bij Ensisheim (Elzas) door Gaz de France jaarlijks 20 kg/s chloride worden geloosd om vier zoutcavernes voor de opslag van gas te maken.
6. Door klimaatverandering zal de gemiddelde chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith veranderen, met over de periode 2005 – 2065 totaal -1,8 mg/l (scenario G), -2,0 mg/l (scenario W), +4,3 mg/l (scenario G+), of +9,8 mg/l (scenario W+). Zie ook tabel 5.1.
7. De uitgangssituatie van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith bedraagt 76 mg/l. Dit is namelijk het gemiddelde niveau van 2007 en 2008, terwijl de afvoer in die jaren rond het langjarig gemiddelde lag.

Als we de bovenvermelde vrachten omrekenen naar concentraties (we gaan daarbij uit van het langjarig gemiddelde Rijndebiet bij Lobith van 2.307 m³/s), kunnen we de aannames combineren. De resultaten zijn weergegeven in figuur 5.8.

20 Mondelinge mededeling van Dipl.-Ing. Michael Fleig van TZW (30 april 2009).



Figuur 5.8: Verwachte netto-verandering van de gemiddelde chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith van 2008 – 2050, uitgaande van een aantal verwachtingen over relevante puntbronnen en de geraamde effecten van de vier KNMI'o6-klimaatscenario's.

Figuur 5.8 geeft aan dat we, uitgaande van de hiervoor vermelde aannames, in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith kunnen verwachten, door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Het betreft echter een beperkte verhoging van maximaal 6 mg/l. Als de zoutcavernes zijn voltooid, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaatscenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 65 à 70 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de uitgangssituatie. Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 70 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze circa 65 mg/l zijn. Voor wat betreft het gemiddelde concentratieniveau geldt bij deze gehanteerde aannames dat zelfs het extreemste klimaatseffect wegvalt tegen de effecten van het reduceren van de grote puntbronnen van chloride in het Duitse en Franse deel van het stroomgebied van de Rijn.

De in figuur 5.8 weergegeven verlopen gaan overigens per scenario uit van de gemiddelde situatie. Bij een extreem droog of nat jaar zal de concentratie dienovereenkomstig hoger of lager zijn.

Een afname tot uiterlijk circa 65 mg/l is ook vanuit een ander gezichtspunt niet onlogisch. De chloride-vracht van de sodaverwerkende industrie van 1,5 miljoen ton/jaar zorgt namelijk voor een continue verhoging van de chlorideconcentratie van circa 20 mg/l. Dit zou betekenen dat de Rijn zonder grote puntbronnen van chloride 40 à 50 mg/l zou bevatten. Dit is niet onaannemelijk, aangezien we deze niveaus ook al zagen bij de zijrivieren van de IJssel, althans voor zover deze zonder grote puntbronnen, maar wel met moderne agrarische, urbane en industriële invloeden zijn (zie hoofdstuk 3). Doordat er inmiddels ook relevante diffuse bronnen zijn, zoals bemesting en het gebruik van wegeenzout, is het immers niet meer te verwachten dat de chlorideconcentratie van de Rijn zonder grote puntbronnen nog zal terugkeren tot 20 mg/l, de situatie van vóór de industrialisering van de West-Europese samenleving.

Hierboven is uitgewerkt wat de verwachte netto-verandering is van de jaargemiddelde chlorideconcentratie bij Lobith. Maar de klimaatverandering kan ook de jaarlijkse fluctuaties van de concentratie vergroten (zie § 5.2), zodat de ontwikkelingen van jaargemiddelden nog onvoldoende zeggen over de ontwikkelingen van normoverschrijdingen. Om tevens een beeld te kunnen schetsen van de netto-verandering van de kans op normo-

verschrijding, hebben wij de volgende benadering toegepast. Voor elk van de vier klimaatscenario-simulaties (beschreven in § 5.2) is de kansverdeling van de 9.900 gesimuleerde meetwaarden zodanig verschoven langs de horizontale as dat het nieuwe gemiddelde gelijk is aan het voor 2050 berekende gemiddelde op basis van de boven uitgewerkte netto-verandering. De verschuiving is bewerkstelligd door elke gesimuleerde meetwaarde te verminderen met het verschil tussen het oorspronkelijke gemiddelde en het gewenste nieuwe gemiddelde. En voor de in § 5.2 beschreven simulatie van de uitgangssituatie, respresentatief voor de periode 1999 t/m 2008, is de kansverdeling van de 9.900 gesimuleerde meetwaarden zodanig verschoven langs de horizontale as dat het nieuwe gemiddelde gelijk is aan het gemiddelde van 2007 en 2008 (76 mg/l). Tabel 5.3 vermeldt enkele statistische karakteristieken van de aldus verkregen kansverdelingen.

De in deze tabel vermelde overschrijdingskansen moeten overigens worden opgevat als overschattingen, aangezien de spreiding van de kansverdeling zal afnemen met het gemiddelde, terwijl door de hier toegepaste horizontale verschuiving van de kansverdeling het gemiddelde is afgenomen, maar de spreiding gelijk is gebleven.

Cl Lobith Kenmerk	07 en 08 Huidig	Klimaatscenario 2050			
		G	G+	W	W+
Gemidd [mg/l]	76,0	66,0	70,0	65,0	74,0
% > 100 mg/l	17,6%	10,7%	15,9%	10,1%	21,5%
% > 150 mg/l	0,8%	0,3%	1,1%	0,2%	4,2%
% > 200 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,33%
% > 250 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
% > 300 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabel 5.3: Ramingen van enkele statistische karakteristieken van de kansverdeling van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith in 2050. Vermeld zijn het gemiddelde en de overschrijdingskansen van enkele hogere concentraties.

We zien in tabel 5.3 dat, uitgaande van de hiervoor vermelde aannames, er alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) rond 2050 een kans is op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Deze kans moet echter zeer miniem worden geacht, aangezien die is geschat op slechts 0,3%, terwijl het al een overschatting betreft. Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwaternorm (150 mg/l) toenemen van circa 1% in de uitgangssituatie naar circa 4% rond 2050. Bij de overige klimaatscenario's zal de gemiddelde chlorideconcentratie enigszins afnemen, wat bij de scenario's G en W ook gepaard zal gaan met een afname van de overschrijdingskans van de drinkwaternorm.

5.6.2 Netto-verwachting chloridebelasting IJsselmeer bij Andijk

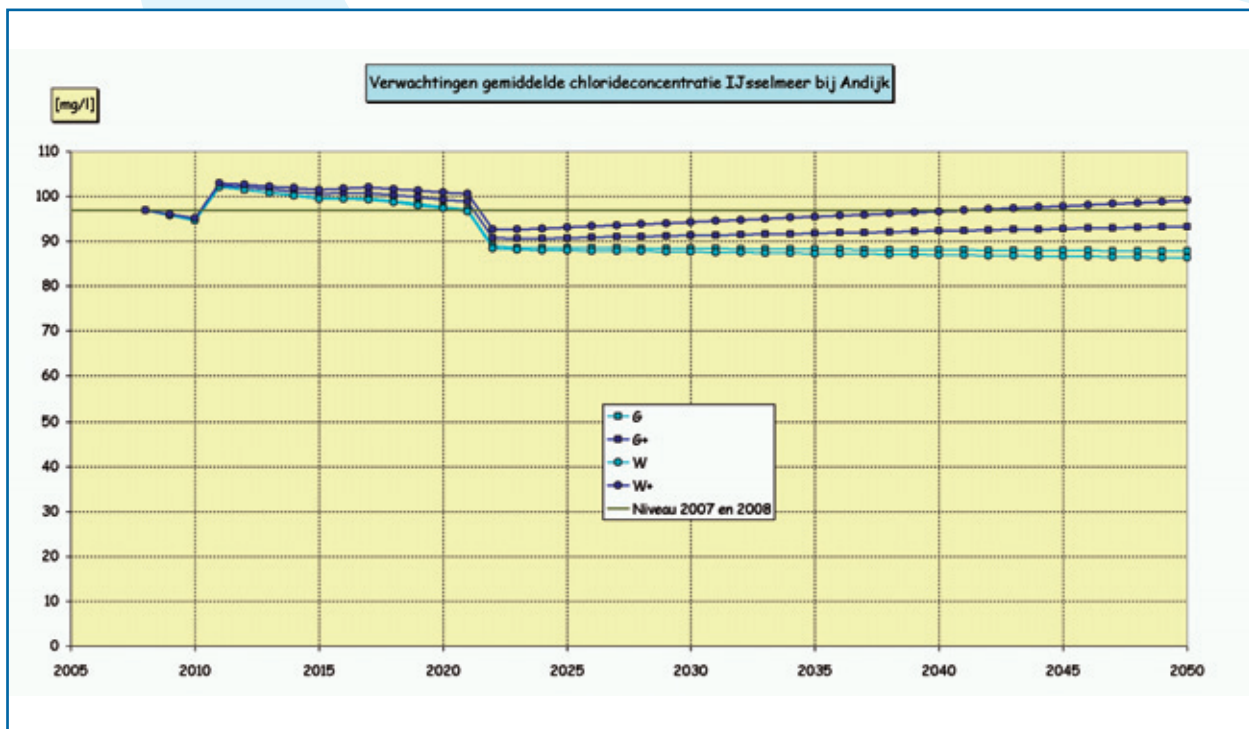
We kunnen ook een netto-verwachting van de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk opstellen door een aantal aannemelijk te achten aannames doen. We kiezen daarbij voor de volgende aannames:

1. Door de afname van de chloridebelasting van de Rijn bij Lobith zal er ook een afname zijn van de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk. Maar de concentratie van het IJsselmeer bij Andijk zal minder dalen dan die van de Rijn bij Lobith, doordat er ook vanuit andere bronnen chlorideaanvoer naar het IJsselmeer is. We gaan er van uit dat een verandering van de concentratie bij Lobith – uitgezonderd echter het effect van klimaatverandering (zie daarvoor onderstaand punt 2) – voor 87% doorwerkt naar een verandering van de concentratie van het IJsselmeer bij Andijk. Dit is namelijk de verhouding van de chloridetrends van deze twee meetlocaties over de periode 1976 t/m 2008 (zie tabel 2.4).
2. Door klimaatverandering zal de gemiddelde chlorideconcentratie bij Andijk veranderen, met over de periode 2005 – 2065 totaal -1,8 mg/l (scenario G), -3,9 mg/l (scenario W), +6,1 mg/l (scenario G+), of +14,3 mg/l (scenario W+). Zie ook tabel 5.2.
3. De uitgangssituatie van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk bedraagt 97 mg/l. Dit is namelijk het gemiddelde niveau van 2007 en 2008, terwijl het meteorologisch gezien geen extreme jaren betrof.

De volgende punten hebben we vooralsnog niet meegenomen, aangezien daar nog onvoldoende informatie over is.

- De uitvoering van de geplande nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders zal leiden tot een daling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer van vermoedelijk 7 à 8 mg/l. Het is echter niet zeker of deze nieuwe strategie ook daadwerkelijk zal worden toegepast en zo ja, vanaf wanneer.
- Het is verder nog onzeker wat de onderdelen van het ontwerp Nationaal Waterplan met betrekking tot de inrichting van het IJsselmeer zullen betekenen voor de chlorideconcentratie bij Andijk. De detailonderzoeken naar de gevolgen van deze plannen zijn immers nog niet gestart.
- Dit geldt ook voor de vier nog in de running zijnde plannen voor een vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk. De gevolgen van de plannen voor de uitbreiding van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk voor de waterinname bij Andijk zijn al wel gedetailleerd beoordeeld, waaruit bleek dat ze verwaarloosbaar zijn. Maar daarbij is nog geen rekening gehouden met de veranderingen die zullen optreden als één van de plannen voor vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk wordt gerealiseerd, zijnde veranderingen in de configuratie van het noordelijk deel van het IJsselmeer (met een meer of minder afgesloten brakwaterzone), in de stromingspatronen en in de spuistrategie.

De resultaten van het combineren van deze aannames zijn weergegeven in figuur 5.9.



Figuur 5.9: Verwachte netto-verandering van de gemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk van 2008 – 2050, uitgaande van de hiervoor beredeneerde verwachte veranderingen van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith en de geraamde effecten van de vier KNMI'o6-klimaatscenario's.

Figuur 5.9 toont dat, uitgaande van de hiervoor vermelde aannames, er in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk is te verwachten, door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Deze verhoging zal hooguit 6 mg/l bedragen. Na het voltooien van de zoutcavernes, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaatscenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 90 à 95 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de uitgangssituatie. Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 93 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze 85 à 90 mg/l zijn. Voor wat betreft het gemiddelde concentratieniveau geldt dus ook hier dat bij

de gehanteerde aannames zelfs het extreemste klimaatseffect wegvalt tegen de effecten van het reduceren van de grote puntbronnen van chloride in het Duitse en Franse deel van het stroomgebied van de Rijn. Mocht het waterschap Zuiderzeeland haar plannen voor de nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders ten uitvoer brengen, dan zal dit een aanvullende daling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer geven van vermoedelijk 7 à 8 mg/l.

Om ook een beeld te kunnen schetsen van de netto-verandering van de kans op normoverschrijding, hebben wij dezelfde benadering toegepast als beschreven in de voorgaande subparagraaf voor de Rijn bij Lobith. De resultaten zijn vermeld in tabel 5.4.

Cl Andijk Kenmerk	07 en 08 Huidig	Klimaatscenario 2050			
		G	G+	W	W+
Gemidd [mg/l]	97,0	88,0	93,0	86,0	99,0
% > 100 mg/l	40,7%	28,3%	35,6%	25,3%	43,3%
% > 150 mg/l	3,6%	2,0%	4,5%	1,5%	8,8%
% > 200 mg/l	0,00%	0,02%	0,08%	0,00%	0,88%
% > 250 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
% > 300 mg/l	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabel 5.4: Ramingen van enkele statistische karakteristieken van de kansverdeling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk in 2050. Vermeld zijn het gemiddelde en de overschrijdingskansen van enkele hogere concentraties.

We zien in tabel 5.4 dat in grote lijnen dezelfde conclusies kunnen worden getrokken als voor de Rijn bij Lobith (zie § 5.6.1). De belangrijkste daarvan is dat, uitgaande van de hiervoor vermelde aannames, er rond 2050 alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) een niet-verwaarloosbare kans is op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Deze kans is geraamd op 0,9%, met de kanttekening dat het een overschatting betreft. Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwaternorm (150 mg/l) toenemen van circa 4% in de uitgangssituatie naar circa 9% rond 2050. Bij de overige klimaatscenario's zal de gemiddelde chlorideconcentratie enigszins afnemen, wat bij de scenario's G en W ook gepaard zal gaan met een afname van de overschrijdingskansen van de drinkwaternorm.

5.7 Samenvattende conclusies van dit hoofdstuk

1. Voor wat betreft de chloridebelasting in het buitenlandse deel van het stroomgebied van de Rijn zijn er de volgende ontwikkelingen en verwachtingen:
 - De toevoer van chloride uit de kalimijnen in de Elzas is sinds 2003 alleen nog indirect, via de stortbergen. Vanaf 2010, als de stortbergen zijn gesaneerd, zal de chloridevracht zich stabiliseren, vermoedelijk op het niveau van 5 à 10 kg/s (0,16 à 0,32 miljoen ton/jaar).
 - De geplande afschaffing van de mijnbouw in het Moezel- en Saargebied in 2012, zal de zoutbelasting van het afvalwater van de mijnbouw – deze bedraagt circa 0,2 miljoen ton/jaar - reduceren.
 - Aangezien er in 2018 een eind komt aan de subsidie op de winning van steenkool, zullen de mijnbouwactiviteiten in de stroomgebieden van de Emscher en de Lippe onrendabel worden. De totale chloridevracht van deze twee rivieren – circa 0,55 miljoen ton/jaar – zal daardoor afnemen.
 - De chloridevracht van de sodaverwerkende industrie in het stroomgebied van de Moezel bij Nancy blijft vermoedelijk doorgaan op het niveau van 1,5 miljoen ton/jaar.
 - Van 2011 tot 2021 zal er bij Ensisheim (Elzas) door Gaz de France jaarlijks 20 kg/s chloride worden geloosd om vier zoutcavernes voor de opslag van gas te maken.
 - In Duitsland zijn er tot nu toe slechts ideeën geuit om in Noordrijn-Westfalen zoutcavernes te maken voor de opslag van gas. Er zijn nog geen uitgewerkte plannen op dat gebied.
2. Uit modelsimulaties blijkt dat alleen de twee klimaatscenario's die uitgaan van een wijziging in de luchtstromingspatronen (G+ en W+) zullen leiden tot hogere chlorideconcentraties van de Rijn bij Lobith en het IJsselmeer bij Andijk. De andere twee klimaatscenario's (G en W) zullen daarentegen leiden tot enigszins lagere concentraties.
3. De gevolgen van de in het ontwerp Nationaal Waterplan genoemde maatregelen met betrekking tot het IJsselmeer voor de waterinname bij Andijk zijn nog niet bekend. Het plan zal vanaf uiterlijk 11 mei 2009 formeel ter inzage liggen voor inspraak. Wij adviseren dat de drinkwatersector tijdig nagaat of het op basis van dit plan nodig is om de belangen rond de drinkwaterinname bij Andijk te behartigen.
4. De gevolgen van de vier nog in de running zijnde plannen voor een vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk voor de waterinname bij Andijk zijn nog niet doorberekend. Dit terwijl de brakwaterzone, de andere stromingspatronen en de nieuwe spuistrategie relevante consequenties kunnen hebben voor de chloridebelasting van het IJsselmeer bij Andijk. Er is daarom alle reden voor de drinkwatersector om deze plannen kritisch te blijven volgen en daarbij aan te dringen op betere onderbouwing van de stelling dat de zoetwaterfunctie van het IJsselmeer niet wordt geschaad.
5. Volgens berekeningen hebben de plannen voor uitbreiding van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk geen nadelige gevolgen voor de waterinname bij Andijk. Er is daarbij echter nog geen rekening gehouden met de veranderingen in het noordelijk deel van het IJsselmeer die zullen plaatsvinden als één van de plannen voor vernieuwd gebruik van de Afsluitdijk wordt gerealiseerd.
6. Uitgaande van een aantal aannames over de ontwikkeling van de chloridebelasting door de Duitse en de Franse puntbronnen en de resultaten van onze klimaatsimulaties, is er in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith te verwachten door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Het betreft echter een beperkte verhoging van maximaal 6 mg/l. Als de zoutcavernes zijn voltooid, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaatscenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 65 à 70 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de uitgangssituatie (76 mg/l). Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 70 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze circa 65 mg/l zijn.
7. Uitgaande van dezelfde aannames, is er voor de Rijn bij Lobith alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) rond 2050 een kans, zij het zeer miniem, op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwaternorm (150 mg/l) toenemen van circa 1% in de uitgangssituatie naar circa 4% rond 2050. Bij de klimaatscenario's G en W zal de afname van de gemiddelde chlorideconcentratie ook gepaard gaan met een afname van de overschrijdingskans van de drinkwaternorm.

8. Uitgaande van een aantal aannames is er ook voor de chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk in de periode 2011 – 2021 een tijdelijke verhoging van hooguit 6 mg/l te verwachten door het maken van de zoutcavernes in de Elzas. Na het voltooiën van de zoutcavernes, zal de concentratie, afhankelijk van het klimaatscenario, met 5 à 10 mg/l dalen tot 90 à 95 mg/l. Alleen bij het klimaatscenario W+ zal de concentratie rond 2050 weer ongeveer terug zijn op het niveau van de uitgangssituatie (97 mg/l). Bij het scenario G+ zal de concentratie dan iets lager zijn, namelijk circa 93 mg/l en bij de scenario's G en W zal deze 85 à 90 mg/l zijn.
9. Uitgaande van dezelfde aannames, is er voor het IJsselmeer bij Andijk alleen bij het extreemste klimaatscenario (W+) rond 2050 een niet-verwaarloosbare kans (circa 1%) op overschrijding van de AMvB-norm voor inname (200 mg/l). Verder zal bij dat extreme scenario de kans op overschrijding van de drinkwaternorm (150 mg/l) toenemen van circa 4% in de uitgangssituatie naar circa 9% rond 2050. Bij de klimaatscenario's G en W zal de afname van de gemiddelde chlorideconcentratie ook gepaard gaan met een afname van de overschrijdingskans van de drinkwaternorm.
10. Resumerend geldt voor beide meetlocaties, Lobith en Andijk, bij de gehanteerde aannames, dat voor wat betreft het gemiddelde concentratieniveau zelfs het extreemste klimaatseffect wegvalt tegen de effecten van het reduceren van de grote puntbronnen van chloride in het Duitse en Franse deel van het stroomgebied van de Rijn. En voor wat betreft de kansen op normoverschrijding is er alleen bij het extreemste klimaatscenario nog enige, zij het beperkte, verslechtering te verwachten.
11. Mocht het waterschap Zuiderzeeland haar plannen voor de nieuwe bemalingsstrategie van de Flevopolders ten uitvoer brengen, dan zal dit een aanvullende daling van de chlorideconcentratie van het IJsselmeer geven van vermoedelijk 7 à 8 mg/l.

Geraadpleegde literatuur

- Alberts, W.J. (1986): *Het Rijnverkeer bij Lobith anno 1306*. Zutphen, 1986.
- Baggelaar, P.K. (1988): *Tijdreeksanalyse bij verlagingsonderzoek: principe en voorbeeld*. H₂O (21), 1988, Nr. 16, blz. 443 – 450.
- Baggelaar, P.K. en Baggelaar, D.H. (1989): *Project Trendbepaling. Rapportage 1e fase*. Kiwa-rapport SWO 89.335, augustus 1989, Nieuwegein.
- Baggelaar, P.K. en Baggelaar, D.H. (1991): *Project Trendbepaling. Rapportage 2e fase*. Kiwa-rapport SWO 90.284, februari 1991, Nieuwegein.
- Baggelaar, P.K. (1994): *A protocol for trend analysis of the input of pollutants to the North Sea*. Kiwa-rapport SWO 93.337, mei 1994, Nieuwegein.
- Baggelaar, P.K. en Baggelaar, D.H. (1995): *Trends in de oppervlaktewaterkwaliteit van Rijn en Maas*. RIWA, Amsterdam en Kiwa, Nieuwegein, mei 1995.
- Baggelaar, P.K. (2007): *Verkenning ontwikkeling chloridegehalte IJsselmeer te Andijk – 3*. Notitie voor PWN en RIWA-Rijn, Icastat Statistisch Adviesbureau, 16 februari 2007.
- Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2007): *Trendanalist – Gebruikershandleiding*. Icastat Statistisch Adviesbureau en Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie, februari 2007.
- Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2008): *Statistische analyse waterkwaliteit in beheersgebied waterschap Rijn en IJssel*. Icastat Statistisch Adviesbureau en Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie, juni 2008, blz. 49.
- Bernhardi, L. en Van den Berg, G.A. (2006): *Inventarisatie kansen gebruik van alternatieve bronnen voor de drinkwatervoorziening van Waternet*. KWR-rapport o6.031, Nieuwegein, april 2006, blz. 146.
- Bloemendal, J.M. (2007): *Lake IJssel water quality close to the wind? – A hydro-meteorological study of the influence of (local) sources of pollution on the water quality of lake IJssel at the drinking water intake station of Andijk*. TU Delft, 15 mei 2007, blz. 66 (en bijlagen).
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Holden Day, San Francisco.
- Cleveland, W.S. (1979): *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*. Journal of American Statistical Association 74, blz. 829 – 836.
- De Bruijn, F.A. en Van Mazijk, A. (2003): *Klimaatinvloeden op de kwaliteit van het Rijnwater – Startdocument Klimaatproject RIWA*. RIWA, oktober 2003, 44 blz.
- Deltacommissie (2008). *Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008*. September 2008, blz. 134.
- De Wit, M., Buiteveld, H. en Van Deursen, W. (2007): *Klimaatverandering en de afvoer van Rijn en Maas*. RIZA-memo WRR/2007-006, Arnhem, juni 2007, blz. 18.

Harcum, J.B., Loftis, J.C. and Ward, R.C. (1992): *Selecting trend tests for water quality series with serial correlation and missing values*. Water Resources Bulletin, vol. 28, no. 3, blz. 469 – 478.

Helsel, D.R. and Hirsch, R.M. (1991): *Statistical Methods in Water Resources*. Studies in Environmental Science 49. Elsevier, Amsterdam, blz. 510.

Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A. (1982): *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*. Water Resources Research, vol. 18, no. 1, February 1982, blz. 107 – 121.

KNMI (2006): *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt, 22 mei 2006, blz. 82.

Ljung, G.M and Box, G.E.P (1978): *On a measure of lack of fit in time series models*. Biometrika, 65, blz. 297 – 303.

McLeod, G. (1983): *Box Jenkins in Practice*. Time Series Library, Gwilym Jenkins & Partners Ltd., Lancaster.

McLeod, A.I., Hipel, K.W. and Bodo, B.A. (1991): *Trend analysis methodology for water quality time series*. Environmetrics, 1991, 2(2), blz. 169 - 200.

Oranjewoud, 2007: *Effecten van een ander bemalingsregime vanemaal De Blocq van Kuffeler op het Markermeer. Is er sprake van afwenteling?* Oranjewoud projectnr. 177265, revisie 04, 17 december 2007, blz. 37.

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (2001): *Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 1998/1999. RDII-rapport 2001-19*, De Straat Milieu-adviseurs b.v., Delft, oktober 2001.

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (2002): *Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 2000/2001. RDII-rapport 2002-13*, De Straat Milieu-adviseurs b.v., Delft, december 2002.

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (2005): *MER Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk – Deel locatiekeuze en voorlopige inrichting*. Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, mei 2005, blz. 204.

Rijkswaterstaat IJsselmeergebied (2006): *Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 2002 – 2004. IJG-rapport 2006-4*, Syncera Water, Delft, 31 januari 2006.

RIWA/TZW (2008): *Aktuelle und zukünftige Entwicklung der Belastung mit Chlorid im Rheineinzugsgebiet – Studie im Auftrag der RIWA*. RIWA Rhine Water Works, The Netherlands, September 2008, 72 blz. Uitgevoerd door onderzoekers van TZW (Karlsruhe): Dipl.-Ing. Michael Fleig, Sabine Mertineit, Prof. Heinz-Jürgen Brauch.

Sanders, T.G., Ward, R.C., Loftis, J.C., Steele, T.D., Adrian, D.D. and Yevjevich, V. (1983): *Design of networks for monitoring water quality*. Water Resources Publications, Littleton, USA.

Stichting Wetlands in het IJsselmeer (2009): *Van Zuiderzeewerken naar IJsselmeerwerken - Eindrapport*. Amsterdam, april 2009, blz. 74.

Stuurman, R.J, Baggelaar, P.K., Van Oostrom, N., Van der Meulen, M. en Oude Essink, G.H.P. (2007): *Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050*. TNO Bouw en Ondergrond, januari 2007, 145 blz.

Van Daal, K., Zwolsman, J.J.G. en Doomen, A. (2007): *Markermeer als bron voor drinkwatervoorziening*. KWR-rapport 07.123, Nieuwegein, 18 december 2007, 44 blz.

- Van Bokhoven, A.J. (2006): *The impact of climate change on the water quality of the Rhine River*. Kiwa Water Research, rapport BTO 2006.056(s), Nieuwegein, 1 september 2006, blz. 147.
- Van Bokhoven, A.J. en Zwolsman, G. (2007): *Klimaatverandering en de kwaliteit van de Rijn*. H2O/9 – 2007, blz. 34 t/m 37.
- Van der Meulen, E.C.J. (2007): *Handleiding Tijdreeksanalist*. AMO Adviesbureau Modelling en Optimalisatie, Hengelo.
- Van Deursen, W. (2006): *Rapportage Rhineflow / Meuseflow – Nieuwe KNMI-scenario's 2050*. Carthago Consultancy, Rotterdam, mei 2006, blz. 7.
- Van Vliet, M, Zwolsman G. en Joziassse, J. (2008): *Effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit in de Rijn en Maas*. Rapport 2008-U-Ro629/A, Deltares/Kiwa Water Research, blz. 30.
- Ward, R.C. and Loftis, J.C. (1986): *Establishing statistical design criteria for water quality monitoring systems: review and synthesis*. Water Resources Bulletin, vol. 22, no. 5, October 1986, blz. 759 - 767.
- Zwolsman, G. en Doomen, A. (2005): *Waterkwaliteit van de Rijn en Maas bij (extreem) lage afvoeren*. KWR-rapport 05.061, december 2005, Nieuwegein, blz. 43.

Bijlage 1: Toelichting op het programma *Trendanalist*

Onder het begrip trend wordt in het nu volgende verstaan een permanente of semi-permanente verandering van het niveau van een variabele - zoals de concentratie van een bepaalde stof, de grondwaterwaterstand, of de neerslag - over een tijdshorizon van tenminste enkele jaren. Seizoensmatige veranderingen en kortstondige calamiteiten vallen daar dus niet onder.

Een trendanalyse kan uitkomst bieden als we bijvoorbeeld één van de onderstaande vragen op objectieve wijze willen beantwoorden:

- (1) Is de waterkwaliteit van die waterloop veranderd?
- (2) Is de gemiddelde grondwaterstand in die peilbuis gedaald?
- (3) Is de gemiddelde neerslag op die locatie veranderd?
- (4) Is de gemiddelde afvoer bij dat meetpunt veranderd?

Meestal beschikken we slechts over het verloop van het steekproefgemiddelde en zullen dus bij uitspraken over het verloop van het niveau - het werkelijke gemiddelde - rekening moeten houden met de onzekerheden die daarmee samenhangen.

Een trend kan meerdere vormen aannemen, maar we kunnen deze indelen in één van de volgende categorieën, of combinaties daarvan:

- (1) staptrend – er treedt binnen korte tijd een duidelijke verandering op in het gemiddelde van de variabele;
- (2) monotone trend – het gemiddelde van de variabele verandert geleidelijk, maar steeds min of meer in dezelfde richting (er is dus een geleidelijke toename of afname);
- (3) cyclische trend – het gemiddelde van de variabele verandert stapsgewijs of geleidelijk, maar keert na een aantal jaar weer terug op het oude niveau.

Trendanalyse heeft twee verschillende kanten, namelijk: (1) trenddetectie en (2) trendkwantificering. Trenddetectie, uit te voeren aan de hand van een statistische toets op trend, levert ons een objectief antwoord op de vraag of er een trend in het werkelijke gemiddelde bestaat. Trendkwantificering levert ons daarentegen een schatting van de grootte van een verandering, ongeacht of dit een werkelijke trend is, of slechts een toevallige fluctuatie van het steekproefgemiddelde.

Trendanalyse niet altijd mogelijk met tijdreeksanalyse

Trendanalyse kan worden uitgevoerd als er een meerjarige tijdreeks van de betreffende variabele beschikbaar is. Als de vraagstelling bijvoorbeeld is of er al of niet een trend van de variabele (zoals de concentratie, of de grondwaterstand) is veroorzaakt door een bepaalde factor die bekend is én kwantificeerbaar, dan verdient het aanbeveling dit na te gaan met tijdreeksanalyse (bijvoorbeeld volgens de Box-Jenkins-methode). Die mogelijke invloedsfactor dient dan als één van de invoerreeksen van het transfer-ruismodel van de betreffende variabele te fungeren. Deze aanpak omvat tegelijkertijd zowel de trenddetectie, als de trendkwantificering. Voorwaarde is echter wel dat het verloop van de mogelijke invloedsfactor over de beschouwde periode is te kwantificeren tot een tijdreeks. Als die factor regelmatig is bemeten, is dat uiteraard geen probleem (denk hierbij aan de afvoer, het neerslagoverschot, of een grondwaterwinning). Er zijn zelfs ook sommige niet te bemeten factoren te kwantificeren tot een tijdreeks, mits er een eenduidig beeld is van hun verloop over de beschouwde periode. Zo kunnen we soms het verloop van een wateraanvoerplan schematiseren tot een zogenaamde $[0,1]$ -tijdreeks, die de waarde 0 heeft tot het in werking treden van het plan en de waarde 1 daarna. Maar bepaalde factoren zijn nóch te meten, nóch te schematiseren tot een $[0,1]$ -tijdreeks. Voorbeelden zijn een ruilverkaveling (die gekenmerkt kan zijn door een diffuus complex waterhuishoudkundige ingrepen), een diffuse beleidsmaatregel, of het verschijnsel ‘achtergrondverdroging’. Dergelijke factoren kunnen dan dus ook niet bij de tijdreeksanalyse worden betrokken. In deze gevallen resteert slechts trendanalyse met één van de in het nu volgende beschreven

methoden. Afhankelijk van de vraagstelling kan het echter aan te bevelen zijn de te analyseren variabele eerst zoveel mogelijk te corrigeren voor de wél bekende invloedsfactoren, aan de hand van tijdreeksanalyse. Dus als bijvoorbeeld de vraagstelling is of een concentratie is verlaagd door een nieuwe zuivering, dan past trendanalyse door middel van tijdreeksanalyse. Maar als de vraagstelling is of de concentratie is verlaagd, of dat de voor de afvoer gecorrigeerde concentratie is verlaagd, dan past slechts trendanalyse met één van de in het nu volgende beschreven methoden. In het eerste geval is dat trendanalyse van de concentratie en in het tweede geval van de (met tijdreeksanalyse) voor de afvoer gecorrigeerde concentratie.

In het geval van een staptrend zal er vrijwel altijd kwantitatief inzicht zijn in het verloop van de mogelijke oorzaak en zal de trenddetectie en –kwantificering dus kunnen worden uitgevoerd met tijdreeksanalyse. Een waarschuwing is hier wel op zijn plaats: als de aanleiding tot de analyse afkomstig is van een visuele inspectie van de tijdreeks, waarbij een mogelijke trend en zijn startpunt visueel is geïdentificeerd, dan zal het resultaat veel minder zeggingskracht hebben dan wanneer de aanleiding is ingegeven door een vraag naar het effect van een bepaalde factor (het startpunt volgt dan uit informatie die los staat van de meetreeks). Voorbeelden van dit laatste zijn het onderzoek naar een staptrend in de grondwaterstand door een verbeterde oppervlaktewaterafvoer, of het onderzoek naar een staptrend in de afvoer door de ontbossing en/of verharding van een deel van het stroomgebied.

Doordat staprends doorgaans kunnen worden geanalyseerd met tijdreeksanalyse, richten we ons in het onderstaande alleen op de trendanalyse van monotone trends. We doen dit aan de hand van het door ons ontwikkelde programma *Trendanalist* [Baggelaar en Van der Meulen, 2007].

Het programma *Trendanalist*

Trendanalist is bedoeld om trendanalyse uit te voeren van meetreeksen, met onderscheid tussen trenddetectie en trendkwantificering.

De inspiratiebronnen van *Trendanalist*

De werking van *Trendanalist* is gebaseerd op een synthese van twee eerder ontwikkelde procedures voor trendanalyse. De eerste is een procedure ontwikkeld in opdracht van de RIWA en neergelegd in het programma Trendpak [Baggelaar en Baggelaar, 1989, 1991]. Dit betreft echter een MS-DOS-programma, dat een zeer omvangrijke en ook zeer specialistische pré- en postprocessing vergt. De tweede is een procedure voor trendanalyse van de lozing van verontreinigingen naar de Noordzee, ontwikkeld in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ [Baggelaar, 1994].

Wij hebben de kernprincipes van beide procedures geprogrammeerd in een Matlab-omgeving, zodanig dat de interactie eenvoudig wordt en het programma ook in staat is tot een volledig automatische trendanalyse van grote aantallen meetreeksen.

Trenddetectie met *Trendanalist*

Voor wat betreft de trenddetectie kan *Trendanalist* voor elke afzonderlijke meetreeks statistisch toetsen of deze een monotone trend bevat. Een monotone trend is een verandering die doorgaans dezelfde kant opgaat, dat wil zeggen opwaarts of neerwaarts, ongeacht of dit lineair, stapsgewijs of in een ander specifieke vorm geschiedt. Het hypothetisch startpunt van de trend kan vooraf door de gebruiker worden opgegeven. Als dat startpunt niet wordt opgegeven, zal standaard worden getoetst op trend vanaf het begin van de reeks. Er kan naar keuze eenzijdig of tweezijdig worden getoetst op trends. Eenzijdig toetsen is van toepassing als men specifiek wil toetsen op hetzij een dalende, hetzij een stijgende trend, terwijl tweezijdig toetsen van toepassing is als het teken van de trend er niet toe doet.

Toetsen op monotone trend

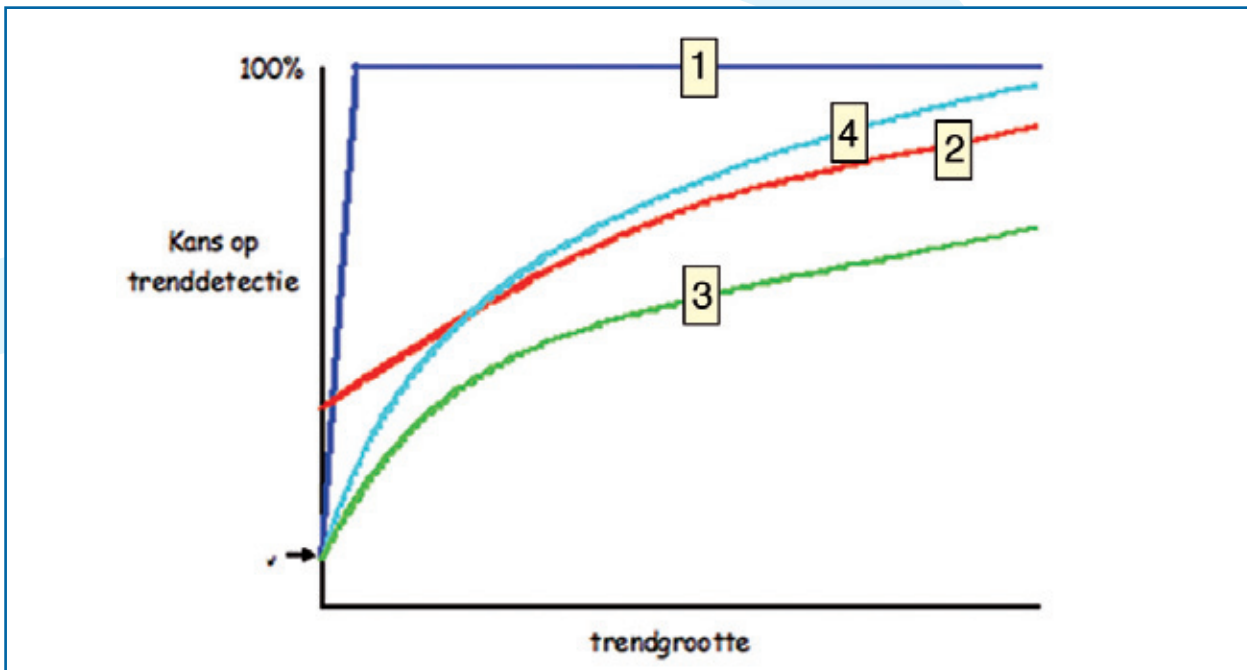
Er bestaan velerlei statistische toetsen op monotone trend in meetreeksen. De bekendste daarvan is de lineaire regressietoets. Deze klassieke toets gaat uit van onderling onafhankelijke waarden, afkomstig uit een normale kansverdeling. Maar chronologisch gerangschikte waarden van milieuparameters zijn zelden onderling onafhankelijk te noemen, vanwege seizoensinvloeden en autocorrelatie. Verder blijken dergelijke waarden ook vaak een niet-symmetrische frequentieverdeling te vertonen [Hirsch et al. 1982, McLeod et al., 1991], doorgaans met een langere rechterstaart (positieve scheefheid). Aanvankelijk werd wel aanbevolen een dergelijke reeks om te zetten in een reeks van jaargemiddelden, omdat het middelen doorgaans leidt tot onderling onafhankelijke waarden, afkomstig uit een normale kansverdeling, zodat dan toch op trend kan worden getoetst met lineaire regressie (zie bijvoorbeeld [Sanders et al., 1983]). De laatste decaden van de vorige eeuw zijn er echter verscheidene andere statistische toetsen op trend ontwikkeld, die wél rekening kunnen houden met de speciale karakteristieken van meetreeksen van milieuparameters. In verschillende simulatiestudies is al aangetoond dat het toepassen van deze toetsen op de oorspronkelijke reeks doorgaans meer onderscheidend vermogen²¹ oplevert dan het toepassen van de lineaire regressietoets op de reeks van jaargemiddelden [Baggelaar en Baggelaar, 1991; Harcum et al., 1992].

Gezien de huidige grote verscheidenheid aan statistische toetsen op trend, elk met specifieke mogelijkheden en onderliggende vooronderstellingen, is er veel expertise vereist om de meest geschikte toets te kunnen selecteren. Mede daarom wordt het gebruik van statistiek voor een evaluatie van veranderingen in het milieu wel net zo zeer een kunst als een wetenschap genoemd [Ward and Loftis, 1986].

Trendanalist hanteert een intern expertsysteem dat voor elke tijdreeks de best passende trendtoets selecteert. Daarbij wordt voldaan aan de volgende twee criteria (zie ook de onderstaande figuur):

- (1) het empirische significantieniveau van de toets is niet hoger dan het gehanteerde significantieniveau α (ook wel het nominale significantieniveau genoemd). Om een voorbeeld te geven: als we het nominale significantieniveau op 5% stellen (dit komt overeen met 95% betrouwbaarheid), dan mag er in niet meer dan 5% van de gevallen onterecht een trend worden gedetecteerd;
- (2) de toets heeft het hoogste onderscheidend vermogen ($1-\beta$) van alle toetsen die aan het eerste criterium voldoen.

²¹ Het onderscheidend vermogen is de kans om een werkelijk bestaande trend te detecteren.



De keuze van een trendtoets voor een bepaalde tijdreeks dient gebaseerd te zijn op de verwachte relatie tussen de kans op trenddetectie (op Y-as) en de trendgrootte (op X-as), gegeven de statistische kenmerken van die tijdreeks. In het ideale geval is dit relatie 1, maar uit simulatiestudies blijkt dat de relaties in de werkelijkheid geleidelijker verlopen. De trendtoets 2 is ongeschikt voor deze tijdreeks, doordat zijn empirische significantieniveau hoger is dan α . De trendtoetsen 3 en 4 zijn wel geschikt voor deze tijdreeks en van deze is 4 het meest geschikt.

Trendanalist bevat meerdere trendtoetsen, zodat het maatwerk kan leveren, met een toets die aansluit op de statistische karakteristieken van de meetreeks. Alleen op deze wijze kan optimaal rekening worden gehouden met het soort kansverdeling waar de waarden uit afkomstig zijn (normaal of niet-normaal) en met het al of niet optreden van seizoenseffecten en/of autocorrelatie. Immers, als bij trendanalyse van meerdere meetreeksen slechts één trendtoets wordt gehanteerd zal bij een deel van de reeksen verlies aan onderscheidend vermogen optreden en zal bij een ander deel onterecht een trend worden gedetecteerd.

De automaat van *Trendanalist* zal voor elke meetreeks de trendtoets hanteren die het best aansluit op de karakteristieken van die reeks. De daartoe ter beschikking staande trendtoetsen zijn in te delen in twee groepen, namelijk:

1. de lineaire regressietoets en zijn uitbreidingen;
2. de Mann-Kendall-toets en zijn uitbreidingen.

Een toets uit de eerste groep is van toepassing als de waarden van de meetreeks afkomstig zijn uit een normale kansverdeling. Als dat niet het geval is, is een toets uit de tweede groep van toepassing. Voor beide groepen zijn de uitbreidingen bedoeld om ook rekening te kunnen houden met seizoenseffecten en/of autocorrelatie.

Bijlage 2: Water- en chloridevrachtbalans IJsselmeer, 1998 t/m 2004

Gebaseerd op de bijlagen van [Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, 2001, 2002 en 2006].

Aanvoer water	Neerslag		Markermeer (winter)				West-Friesland					
			Spuisluis Krabbersgat		Spuisluis Houtrib		Gemaal Grootslag		Gemaal Vier Noorderkoggen		Gemaal Lely	
Jaar	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
1998	1273	6	200	1	1321	6	73	0	133	1	56	0
1999	1006	5	142	1	540	3	50	0	102	1	38	0
2000	1088	6	179	1	743	4	50	0	110	1	49	0
2001	1109	5	202	1	803	4	53	0	114	1	49	0
2002	1060	5	140	1	677	3	53	0	114	1	49	0
2003	712	5	100	1	541	4	33	0	46	0	29	0
2004	1008	6	226	1	574	3	47	0	61	0	43	0
Gemidd	1037	5	170	1	743	4	51	0	97	0	45	0

Aanvoer water	Waddenzee Schutsluis Den Oever		Kl. schutsluis Kornwerderz.		Gr. schutsluis Kornwerderz.		Lek spuisluizen Afsluitdijk		Kwel Afsluitdijk		NW-Overijss Gemaal Stroink	
	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
1998							9	0	4	0	318	2
1999							9	0	4	0	111	1
2000							10	0	4	0	203	1
2001							9	0	4	0	8	0
2002							9	0	4	0	131	1
2003							9	0	4	0	86	1
2004							10	0	4	0	151	1
Gemidd							9	0	4	0	144	1

Aanvoer water	Friesland				NO-polder					Zwarte Water		
	Gemaal Hoogland		Gemaal Wouda		Gemaal Buma		Gemaal Vissering		Gemaal Smeenge		[miljn m ³]	[%]
Jaar	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
1998	473	2	111	1	431	2	84	0	42	0	2709	13
1999	315	2	41	0	152	1	228	1	14	0	1804	9
2000	262	1	28	0	134	1	275	1	10	0	2351	12
2001	362	2	77	0	252	1	203	1	19	0	2518	12
2002	303	1	90	0	192	1	207	1	16	0	2107	10
2003	145	1	19	0	220	2	122	1	6	0	1595	11
2004	321	2	72	0	284	2	127	1	27	0	2392	14
Gemidd	312	2	63	0	238	1	178	1	19	0	2211	12

Aanvoer water	IJssel		Veluwerandmeren				O-Flevoland				Totale aanvoer
	[miljn m ³]	[%]	Spuikokers Roggebotsluis		Spui Roggebotsluis		Gemaal Colijn laag		Gemaal Colijn hoog		
Jaar	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]
1998	13114	63	46	0	110	1	322	2	69	0	20901
1999	14336	74	36	0	55	0	283	1	31	0	19298
2000	13617	70	59	0	65	0	260	1	51	0	19548
2001	14902	70	80	0	74	0	336	2	55	0	21230
2002	15360	73	39	0	34	0	328	2	58	0	20973
2003	10412	72	32	0	15	0	248	2	31	0	14407
2004	11399	66	50	0	36	0	323	2	67	0	17224
Gemidd	13306	70	49	0	56	0	300	2	52	0	19083

Afvoer water	Verdamping		Markermeer (zomer)				Andijk PWN en WRK III		West-Friesl. Inl. Stonteler keersluis	
	[miljn m ³]	[%]	Spuisluis Krabbersgat		Spuisluis Houtrib		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
Jaar	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
1998	723	3	410	2	211	1	50	0	7	0
1999	847	4	368	2	224	1	68	0	11	0
2000	616	3	254	1	219	1	61	0	15	0
2001	830	4	326	2	259	1	60	0	11	0
2002	803	4	108	1	367	2	59	0	11	0
2003	900	6	113	1	523	4	66	0	16	0
2004	815	5	200	1	292	2	56	0	14	0
Gemidd	791	4	254	1	299	2	60	0	12	0

Afvoer water	Waddenzee				Friesland				NO-polder Inlaten	
	Stevin spuisl. Den Oever		Lorentz spuisluizen Kornwerderz.		Inlaat Tacozijl		Inlaat Teroelsterkolk		[miljn m ³]	[%]
Jaar	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]		[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]	[miljn m ³]	[%]
1998	11818	57	8150	39	16	0	52	0	13	0
1999	10248	53	7326	38	59	0	163	1	13	0
2000	10562	54	7886	40	12	0	117	1	39	0
2001	11042	52	8043	38	20	0	97	0	40	0
2002	11680	56	8189	39	2	0	83	0	40	0
2003	7382	51	5152	36	42	0	216	1	45	0
2004	8915	52	7019	41	56	0	100	1	45	0
Gemidd	10235	54	7395	39	30	0	118	1	34	0

Afvoer water	Zwarte Water		Vel.randmeren Inlaat Roggebotsluis		Totale afvoer		Berging		Onverklaard (% tov totale aanvoer)	
	[miljn m³]	[%]	[miljn m³]		[miljn m³]	[%]	[miljn m³]	[%]	[miljn m³]	[%]
1998	980	5	0	0	22429	108	31	0	-1560	-7
1999	1488	8	0	0	20815	108	194	1	-1711	-9
2000	282	1	0	0	20063	101	-358	-2	-157	-1
2001	353	2	0	0	21081	100	346	2	-197	-1
2002	303	1	0	0	21644	104	-93	0	-578	-3
2003	523	4	0	0	14978	105	0	0	-571	-4
2004	320	2	0	0	17832	105	-149	-1	-460	-3
Gemidd	607	3	0	0	19835	104	-4	0	-748	-4

Aanvoer chloride	Neerslag		Markermeer (winter)				West-Friesland					
	[1.000 kg]	[%]	Spuisluis Krabbersgat		Spuisluis Houtrib		Gemaal Grootslag		Gemaal Vier Noorderkoggen		Gemaal Lely	
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	8913	0	31545	1	206183	7	18709	1	33945	1	30741	1
1999	7040	0	19403	1	71009	3	12967	1	26829	1	20894	1
2000	7615	0	22966	1	93924	4	12489	1	27602	1	19555	1
2001	7766	0	23525	1	95636	4	12600	1	28079	1	19629	1
2002	7422	0	16708	1	74770	3	12600	1	28079	1	22938	1
2003	4985	0	11299	1	60940	3	7759	0	11243	1	13983	1
2004	7055	0	28436	1	71076	3	11164	0	14560	1	16457	1
Gemidd	7257	0	21983	1	96220	4	12613	1	24334	1	20600	1

Aanvoer chloride	Schutsluis Den Oever		Kl. schutsluis Kornwerderz.		Waddenzee Gr. schutsluis Kornwerderz.		Lek spuisluizen Afsluitdijk		Kwel Afsluitdijk		NW-Overijss Gemaal Stroink	
	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	201408	7	31603	1	124176	4	94900	3	59130	2	10013	0
1999	230217	10	33276	1	133479	6	94900	4	59130	3	3844	0
2000	231526	10	35617	2	129360	6	95160	4	59292	3	6566	0
2001	221056	10	19243	1	150416	7	94900	4	59130	3	277	0
2002	341210	15	37177	2	86116	4	94900	4	59130	3	3900	0
2003	308836	16	34937	2	81380	4	94900	5	59130	3	3459	0
2004	384336	16	46787	2	106404	5	95160	4	59292	3	5317	0
Gemidd	274084	12	34091	2	115904	5	94974	4	59176	3	4768	0

Aanvoer chloride	Friesland				NO-polder						Zwarte Water	
	Gemaal Hoogland		Gemaal Wouda		Gemaal Buma		Gemaal Vissering		Gemaal Smeenge			
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	59184	2	6105	0	139594	5	18466	1	11130	0	116543	4
1999	35807	2	2520	0	41306	2	72424	3	1637	0	90128	4
2000	38477	2	1391	0	34328	2	78071	3	1129	0	105828	5
2001	37896	2	3399	0	69044	3	56442	2	2333	0	135939	6
2002	28849	1	4011	0	58436	3	59543	3	2183	0	94064	4
2003	15060	1	2225	0	73844	4	40553	2	843	0	90871	5
2004	42123	2	10683	0	83581	4	35232	2	3161	0	120417	5
Gemidd	36771	2	4333	0	71448	3	51533	2	3202	0	107684	5

Aanvoer chloride	Ijssel		Veluwerandmeren				O-Flevoland				Totale aanvoer	
			Spuikokers Roggebotsluis		Spui Roggebotsluis		Gemaal Colijn laag		Gemaal Colijn hoog			
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	
1998	1398143	50	3966	0	12865	0	155326	6	7996	0	2780584	
1999	1153374	51	4303	0	5389	0	142443	6	3302	0	2265621	
2000	1110160	49	6613	0	6861	0	122475	5	6356	0	2253359	
2001	1086250	47	8823	0	7885	0	152984	7	5510	0	2298762	
2002	1023360	46	3289	0	2895	0	150069	7	5991	0	2217639	
2003	885535	46	3852	0	1360	0	113090	6	3337	0	1923421	
2004	1021280	44	6137	0	4456	0	157543	7	7692	0	2338353	
Gemidd	1096872	48	5283	0	5959	0	141990	6	5741	0	2296820	

Afvoer chloride	Markermeer (zomer)				Andijk PWN en WRK III		West-Friest. Inl. Stonteler keersluis	
	Spuisluis Krabbersgat		Spuisluis Houtrib		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	52957	2	25062	1	7063	0		
1999	27167	1	16727	1	6582	0		
2000	23142	1	18425	1	6090	0	1426	0
2001	22409	1	18036	1	5632	0	865	0
2002	8142	0	26754	1	5524	0	949	0
2003	16283	1	50261	3	6202	0	2150	0
2004	22434	1	30881	1	5244	0	1693	0
Gemidd	24648	1	26592	1	6048	0	1417	0

Afvoer chloride	Waddenzee				Friesland				NO-polder Inlaten	
	Stevin spuisl. Den Oever		Lorentz spuisluizen Kornwerderz.		Inlaat Tacozijl		Inlaat Teroelsterkolk		[1.000 kg]	[%]
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	1530934	51	1184701	39	2362	0	7953	0	1057	0
1999	1028284	43	903642	38	4948	0	13623	1	895	0
2000	1068600	47	945047	42	1384	0	12385	1	2662	0
2001	943132	41	894825	39	1980	0	8465	0	2557	0
2002	1067902	48	881596	40	270	0	7503	0	2457	0
2003	783103	41	625515	33	5885	0	27042	1	3887	0
2004	1120683	48	997843	43	7216	0	12418	1	3410	0
Gemidd	1077520	46	919024	39	3435	0	12770	1	2418	0

Afvoer chloride	Zwarte Water		Vel.randmeren Inlaat Roggebotsluis		Totale afvoer		Berging		Onverklaard (% tov totale aanvoer)	
	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
Jaar	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]		[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]	[1.000 kg]	[%]
1998	53088	2	0	0	2865178	95	-351862	-12	487189	16
1999	92722	4	0	0	2094591	88	246124	10	49732	2
2000	15734	1	0	0	2094894	93	-27503	-1	185968	8
2001	19578	1	0	0	1917479	83	37269	2	344014	15
2002	16332	1	0	0	2017429	90	-135197	-6	335407	15
2003	35602	2	0	0	1555030	81	377370	20	-9879	-1
2004	17757	1	0	0	2219579	95	-129719	-6	248493	11
Gemidd	35830	2	0	0	2109169	89	2355	1	234418	9

Bijlage 3: Substitutie maandgemiddelde door meetwaarde

Om de invloed van de klimaatverandering op de Rijnafvoer te kunnen vertalen naar de chlorideconcentraties bij Lobith en bij Andijk, hebben we voor beide locaties afzonderlijk een tijdreeksmodel ontwikkeld dat de maandgemiddelde chlorideconcentratie relateert aan de maandgemiddelde afvoer bij Lobith (zie § 5.2). Door vervolgens als modelinvoer de gesimuleerde afvoerreeksen te hanteren, is per scenario een reeks van de chlorideconcentratie gesimuleerd.

De gesimuleerde chlorideconcentraties betreffen nog maandgemiddelden. Maar het is interessanter om een indruk te kunnen krijgen van de invloed van de klimaatverandering op individuele realisaties (meetwaarden) van de chlorideconcentratie. Daarom hebben wij elke gesimuleerde maandwaarde vervangen door een aselechte trekking uit de kansverdeling van meetwaarden voor die maand. De details van deze substitutie zijn hieronder beschreven.

Chlorideconcentratie Rijn bij Lobith

Elke gesimuleerde maandgemiddelde chlorideconcentratie van de Rijn bij Lobith is vervangen in de volgende stappen:

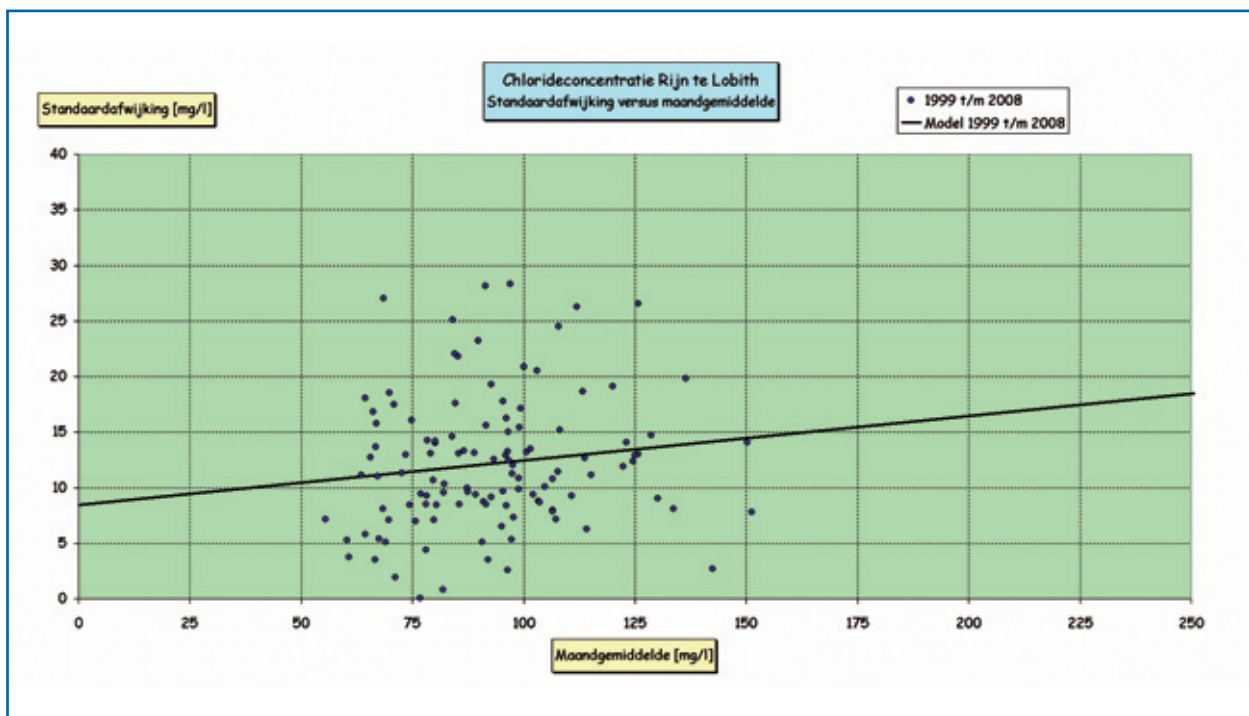
- Bereken het gemiddelde μ_t van de kansverdeling van de natuurlijke logaritme van de meetwaarde die hoort bij de betreffende maandwaarde als:

$$\mu_t = \text{Ln} \left[\frac{m_t^2}{\sqrt{(v_t + m_t^2)}} \right]$$

met m_t de betreffende maandwaarde en v_t de variantie van de kansverdeling van de meetwaarde bij de betreffende maandwaarde. Deze variantie volgt uit het lineaire regressiemodel voor de relatie tussen de standaardafwijking van de meetwaarde en de maandwaarde (het maandgemiddelde):

$$\hat{v}_t = (8,4295 + 0,0402 \cdot m_t)^2$$

Dit lineaire regressiemodel is afgeleid over de periode januari 1999 t/m september 2008 (dit is ook de periode waarover ook het tijdreeksmodel is afgeleid). Het lineaire regressiemodel is hieronder weergegeven.



- b. En bereken dan de standaardafwijking σ_t van de kansverdeling van de natuurlijke logaritme van de meetwaarde die hoort bij de betreffende maandwaarde als:

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\text{Ln} \left[\frac{v_t}{m_t^2} + 1 \right] \right)}$$

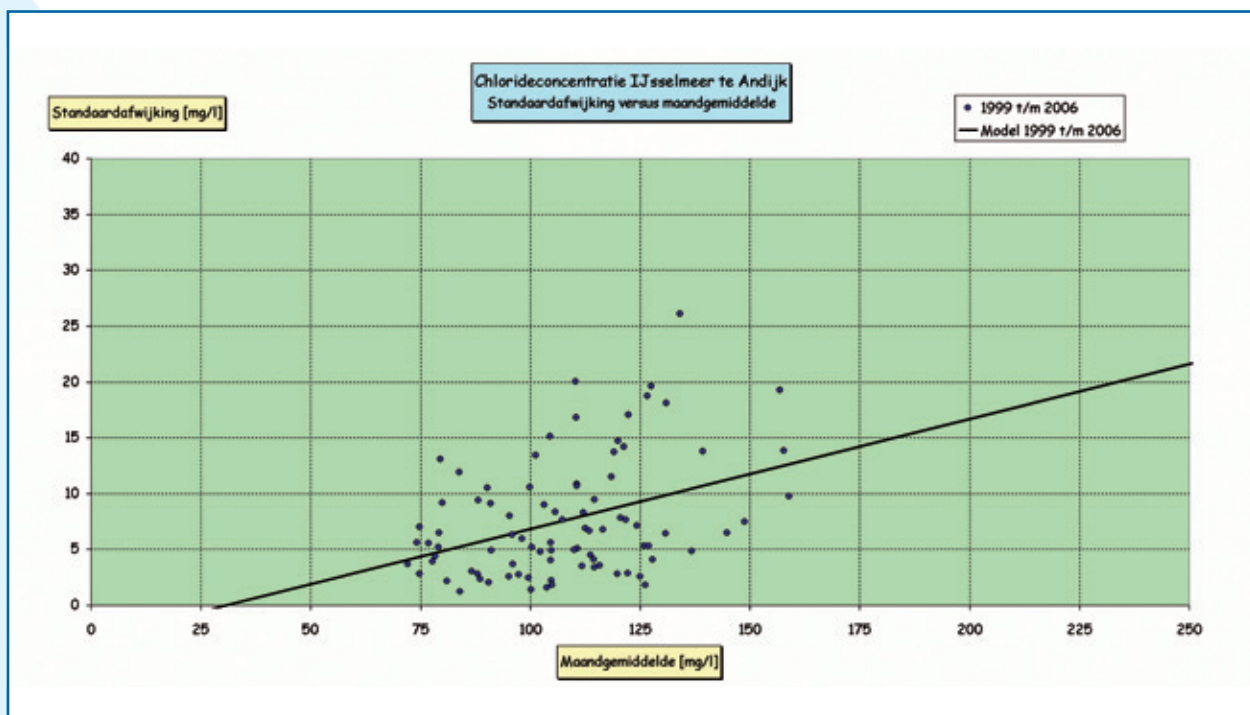
- c. Doe vervolgens een aselechte trekking (x_t) uit de normale kansverdeling met gemiddelde μ_t en standaardafwijking σ_t .
 d. Vervang tenslotte de maandgemiddelde waarde m_t door de teruggetransformeerde waarde van die aselechte trekking (e^{x_t}).

Chlorideconcentratie IJsselmeer bij Andijk

Elke gesimuleerde maandgemiddelde chlorideconcentratie van het IJsselmeer bij Andijk is vervangen in dezelfde stappen als hierboven beschreven, zij het dat uiteraard een ander lineair regressiemodel voor de relatie tussen de standaardafwijking van de meetwaarde en de maandwaarde (het maandgemiddelde) is gehanteerd, namelijk:

$$\hat{v}_t = (3,0432 + 0,0986 \cdot m_t)^2$$

Dit lineaire regressiemodel is afgeleid over de periode januari 1999 t/m december 2006 (dit is ook de periode waarover ook het tijdreeksmodel is afgeleid). Het lineaire regressiemodel is hieronder weergegeven.





Colofon

Tekst: drs. Paul K. Baggelaar
ir. Eit C.J. van der Meulen
beiden Icastat



Uitgever: RIWA-Rijn, Vereniging van Rijnwaterbedrijven

Vormgeving: Meyson Communicatie, Amsterdam

Druk: ATP Digitale Media

ISBN/EAN: 978-90-6683-134-6

Groenendael 6

3439 LV Nieuwegein

T +31 (0)30 600 90 30

F +31 (0)30 600 90 39

E riwa@riwa.org

W www.riwa.org