



Matthijs Bonte, KWR Watercycle Research Institute
Gertjan Zwolsman, KWR Watercycle Research Institute

Klimaatverandering en verzoeting van de Rijn

In de afgelopen twaalf jaar is de zoutvracht van de Rijn sterk afgenomen. Dit blijkt uit een analyse van de relatie tussen afvoer en chlorideconcentraties in de Rijn in de periode 1997-2008. Deze 'verzoeting' van de Rijn is vermoedelijk het gevolg van de sanering van de afvalbergen van de kalimijnen nabij Mulhouse. Deze positieve ontwikkeling kan echter worden gekeerd door klimaatverandering. De zogeheten 'plus' klimaatscenario's van het KNMI suggereren dat in de toekomst droge zomers vaker zullen voorkomen. Als we de afvoer-concentratie relatie van de laatste jaren hierop toepassen blijkt dat de huidige zoutvracht van de Rijn in droge jaren een concentratie geeft die rond de drinkwaternorm ligt. Naast klimaatverandering is het hierbij van belang hoe de zoutlozingen op de Rijn zich ontwikkelen.

In de jaren '70 en '80 was chloride de probleemstof voor de drinkwaterbedrijven in het stroomgebied van de Rijn. Door het Rijnzoutverdrag is de situatie sterk verbeterd en het huidige chloridegehalte (gemiddeld rond 100 mg/l) vormt doorgaans geen belemmering meer voor de productie van drinkwater. In het droge jaar 2003 is echter duidelijk geworden dat tijdens extreem lage afvoer (laagste afvoer 788 kubieke meter per seconde op 28 september) van de Rijn de chlorideconcentratie nog steeds kan toenemen tot boven de drinkwaternorm van 150 mg/l (zie afbeelding 1). Onder de zogenaamde 'plus' klimaatscenario's van het

KNMI wordt verwacht dat extreem droge zomers, zoals die van 2003, vaker zullen voorkomen¹⁾. Gezien het in 2003 gevonden verband tussen droogte en het zoutgehalte is het dan ook de vraag of in de toekomst het Rijnwater altijd gebruikt kan worden voor drinkwatervoorziening²⁾. KWR Watercycle Research Institute heeft in het kader van het programma Wetlands IJsselmeergebied van Delft Cluster een studie uitgevoerd naar de verzilting en/of verzoeting van de Rijn en het IJsselmeergebied³⁾.

Verzilting in historisch perspectief

Afbeelding 2 toont het verloop in de chlorideconcentratie van de Rijn tussen 1876 en

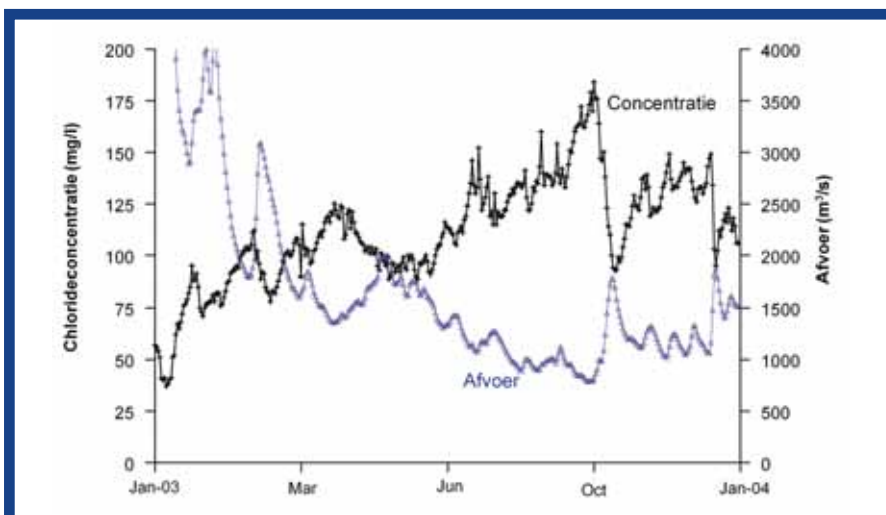
2008. Aan het eind van de 19e eeuw was de chlorideconcentratie in vergelijking met de huidige situatie laag: tussen de 20 en 30 mg/l. Dit is echter nog steeds een factor twee boven de natuurlijke achtergrondconcentratie van circa 12 mg/l⁴⁾.

Tussen de industriële revolutie eind 19e eeuw en de Tweede Wereldoorlog is het chloridegehalte in de Rijn geleidelijk opgelopen tot een waarde tussen 50 en 90 mg/l. Deze toename wordt toegeschreven aan bemesting, lokale industrie en afvalwaterlozingen, kortom de overgang van een agrarische naar een industriële maatschappij⁵⁾.

Na de Tweede Wereldoorlog gaat het snel slechter met de Rijn: In Duitsland voltrekt zich het Wirtschaftswunder, waarbij bruinkoolmijnen worden ontwaterd en het zoute bemalingswater op de Rijn wordt geloosd. In Frankrijk worden de kalimijnen bij Mulhouse uitgebreid, waarbij het afvalzout op de Rijn wordt geloosd. Als gevolg hiervan ligt de gemiddelde chlorideconcentratie in de 70-er en 80-er jaren ruim boven de drinkwaternorm. De achteruitgang in waterkwaliteit van de Rijn leidt in 1976 tot het Rijnzoutverdrag, waarin afspraken worden gemaakt over de lozing van zout in de Rijn. Uit afbeelding 2 wordt duidelijk dat de afspraken na het sluiten van het verdrag niet werden nageleefd: de chlorideconcentratie blijft onverminderd hoog. In 1979 werd de Nederlandse ambassadeur zelfs teruggeroepen uit Parijs uit protest tegen de lakse Franse houding.

In de 90-er jaren begint het Rijnzoutverdrag eindelijk zijn vruchten af te werpen. Zodra

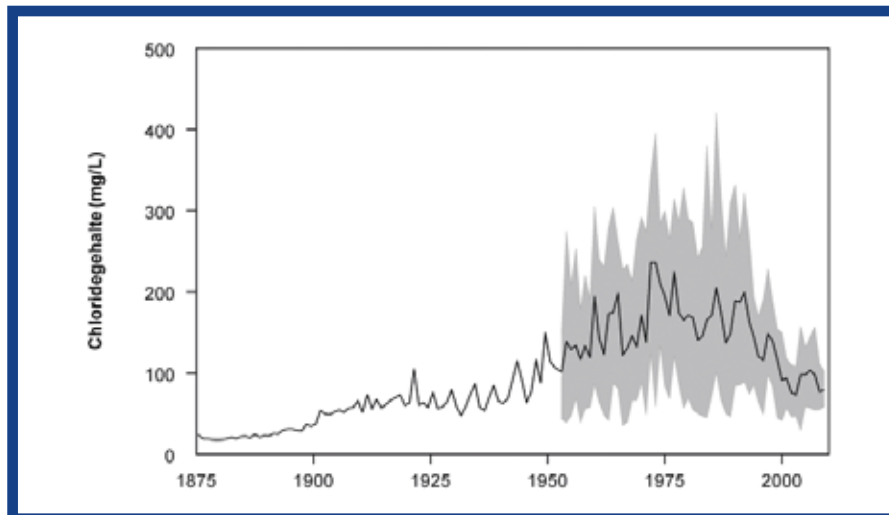
Afb. 1: Afvoer van en chlorideconcentratie in de Rijn bij Lobith in 2003 (bron chloridedata: RIWA Rijn, afvoerdata: www.waterbase.nl).



bij Lobith het chloridegehalte hoger wordt dan 200 mg/l, wordt een fax gestuurd naar Mulhouse om de lozingen van zout bij de kalimijnen te staken. Als tegenprestatie moest Nederland zelf ook actie ondernemen om verzilting tegen te gaan. In 1997 is een pijpleiding in bedrijf genomen die het zoute kwelwater en afvalwater uit de Wieringermeerpolder direct op de Waddenzee loost in plaats van op het IJsselmeer. Na 2000 lijkt het weer even minder te gaan met als uitschieter de eerder genoemde droge zomer van 2003. De laatste twee jaar daalt de chlorideconcentratie weer en ligt de gemiddelde concentratie rond de 100 mg/l.

Nadere analyse voor 1997-2008

Zoals bleek tijdens de zomer van 2003 is het chloridegehalte in de Rijn sterk afhankelijk van de afvoer. Om grip te krijgen op de oorzaken van de zoutbelasting van de Rijn moeten we dus de invloed van landgebruik en lozingen enerzijds en afvoer anderzijds op de chlorideconcentratie in de Rijn onderscheiden. Hierbij is het van belang te noemen dat chloride een conservatieve stof is. Dat wil zeggen dat het gehalte alleen afhankelijk is van de belasting, de achtergrondconcentratie en de mate van verdunning. Hoe lager het debiet van de Rijn, des te hoger de gehalten. Een veel gebruikte benadering om het concentratieverloop in



Afb. 2: Verloop van de gemiddelde jaarlijkse chlorideconcentratie in de Rijn bij Lobith. De grijze band geeft de minimale en maximale jaarlijkse chloridewaarde weer (voor 1952 zijn alleen jaargemiddelden beschikbaar).

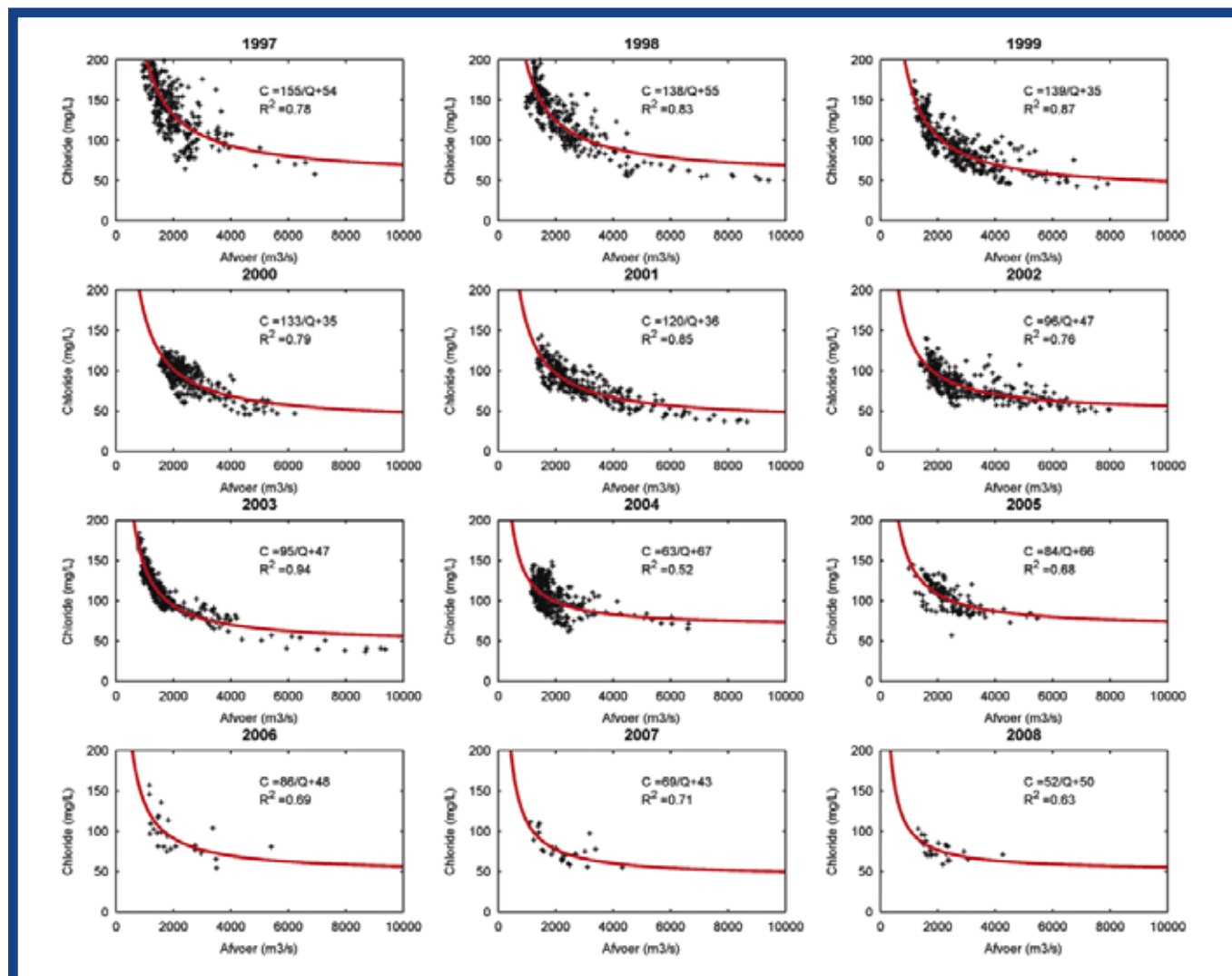
de Rijn te beschrijven is om deze te splitsen in een deel dat onafhankelijk is van de afvoer (de basisconcentratie) en een deel dat wordt bepaald door een constante vracht. De concentratie in de Rijn is dan te beschrijven met de volgende formule, of Q-C relatie⁶⁾:

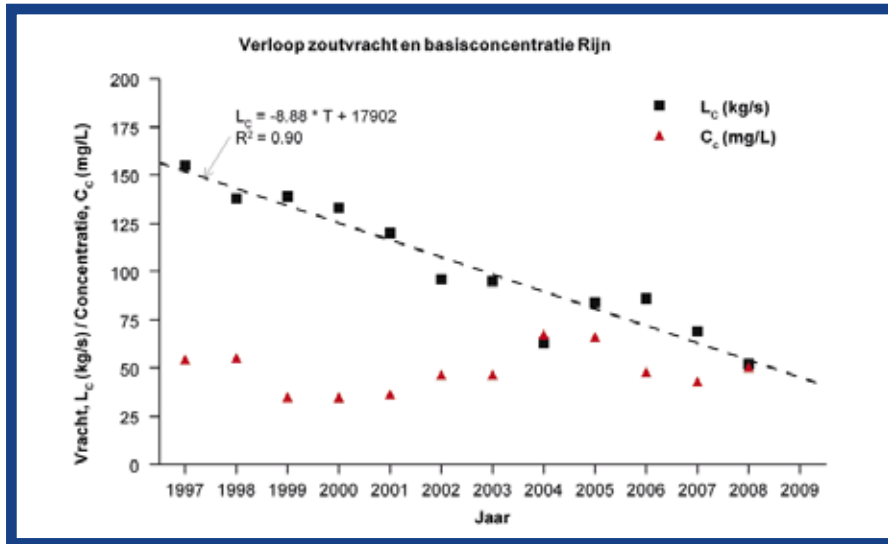
$$C(t) = C_c + 1000 \times L_c / Q(t)$$

waarin C(t) de chlorideconcentratie is van de

Rijn (mg/l), C_c de basisconcentratie (mg/l), L_c de constante chloridevracht (kg/s) en Q(t) de afvoer bij Lobith (m^3/s). Om de ontwikkelingen in chlorideconcentraties in de Rijn te beoordelen is de Q/C-relatie volgens bovenstaande vergelijking afgeleid voor elk jaar in de periode 1997-2008. Hiervoor zijn voor elk jaar de chloride- en afvoerdata tegen elkaar geplott en is voor iedere puntenwolk een

Afb. 3: Concentratie-afvoerrelaties voor chloride in de Rijn (Lobith) voor de jaren 1997 t/m 2008. Voor ieder jaar is een regressielijn afgeleid met de vorm $C(t) = C_c + 1000 \times L_c / Q(t)$. De parameters C_c en L_c geven respectievelijk de basisconcentratie (mg/l) en vracht (kg/s) weer.





Afb. 4: Parameters uit de Q/C-relatie voor de Rijn bij Lobith voor de jaren 1997 t/m 2008.

regressielijn volgens bovenstaande vergelijking bepaald. De afzonderlijke Q/C-relaties met bijbehorende correlatiefactoren (R^2) voor de jaren 1997-2008 zijn weergegeven in afbeelding 3. Opgemerkt wordt dat tot mei 2005 de chlorideconcentratie dagelijks werd gemeten; hierna is de meetfrequentie verlaagd tot tweewekelijks.

De hoge verklaarde variantie (gemiddelde R^2 over twaalf jaar is 0,74) geeft aan dat de Q/C-relatie goed gebruikt kan worden om de chlorideconcentratie mee te beschrijven. In afbeelding 3 valt op dat de verklaarde variantie vooral gedurende de eerste jaren van de analyse hoog is: tussen 1997 en 2003 ligt de R^2 tussen 0,76 en 0,94. In de laatste vijf jaar is R^2 lager: tussen 0,52 en 0,71. Deze afname is ten eerste toe te schrijven aan de hydrologisch 'gemiddelde' jaren tussen 2004 en 2008. Zonder extreem lage of hoge afvoeren is er minder variatie in chlorideconcentratie en wordt de verklaarde variantie ook kleiner. Een tweede oorzaak van de afnemende variantie is dat de constante vracht term (L_c) kleiner is geworden door de jaren heen. Hierdoor wordt de chlorideconcentratie minder afhankelijk van de afvoer en de verklaarde variantie van de Q/C-relatie wordt ook kleiner.

Het tweede aspect is verder uitgediept in afbeelding 4, waarin de parameters uit de Q/C-relaties voor de jaren 1997-2008 zijn geplott. In de figuur is te zien dat de basisconcentratie fluctueert tussen de 35 en 70 mg/l. De gemiddelde basisconcentratie bedraagt 50 mg/l en ligt dus een stuk hoger dan de (natuurlijke) achtergrondconcentratie van 12 mg/l. Dit is ook de reden dat we in de Q/C-relatie niet de term 'achtergrondconcentratie' gebruiken: dit suggereert een natuurlijke concentratie, terwijl de huidige basisconcentratie een factor 4 boven de natuurlijke achtergrondconcentratie ligt. De vrachtterm, L_c , vertoont zoals gezegd een sterk dalende trend van 155 kg/s in 1997 tot 52 kg/s in 2008. De daling is vermoedelijk het gevolg van de sluiting en sanering van de zoutindustrie bij Mulhouse. De sanering van de zoutstortbergen wordt naar verwachting dit jaar afgerond⁷⁾.

De toekomst

De relatie tussen chloride en de afvoer kan worden gebruikt om een inschatting te maken van de chlorideconcentratie in de Rijn bij (extreem) lage afvoeren. Hierbij gaan we uit van de gemiddelde vrachtterm gedurende 2007 en 2008 ($L_c = 60$ kg/s) en basisconcentratie ($C_c = 47$ mg/l), zoals afgeleid uit afbeelding 4. De laagst gemeten afvoer in de Rijn, gemeten in november 1947, bedroeg 620 kubieke meter per seconde⁸⁾. Bij de huidige zoutbelasting zou dit resulteren in een chlorideconcentratie van 144 mg/l. Maar er is ook een extremer scenario denkbaar, namelijk 'de Rijn als regenrivier'. In dit scenario is de bijdrage van de Alpen (afsmelten van sneeuw en ijs) aan het debiet van de Rijn in de (na)zomer geheel weggefallen. Simulaties met het zogeheten Rhineflowmodel geven aan dat onder het W+-scenario de afvoer eind september 37 procent lager is dan in de huidige situatie⁹⁾. In dat geval zou de afvoer van de Rijn in een zomer zoals die van 2003 kunnen dalen tot ongeveer 500 kubieke meter per seconde, wat in combinatie met een basisconcentratie van 47 mg/l een vracht van 60 kg/s (2007-2008) zou resulteren in een chlorideconcentratie van 167 mg/l. Als we uitgaan van de laagst afgeleide vrachtterm van 52 kg/s in 2008, dan vinden we bij een afvoer van 500 kubieke meter per seconde en een basisconcentratie van 47 mg/l een concentratie van 151 mg/l. Deze resultaten geven aan dat onder het W+-scenario in een droog jaar de drinkwaternorm van 150 mg/l net wordt overschreden bij de huidige chloridebelasting.

Het gaat hier weliswaar om een prognose, maar de richting van het effect is duidelijk. De kans op een chlorideconcentratie in de Rijn bij Lobith boven 150 mg/l is nog steeds aanwezig bij toekomstige laagwatersituaties, wanneer de zoutlozingen op de Rijn zich stabiliseren op het niveau van 2008 (52 kg/s). Dit wordt bevestigd door een statistische analyse uitgevoerd door RIWA Rijn: zij berekenen voor 2050 een kans van vier procent dat de chlorideconcentratie in de Rijn bij Lobith de drinkwaternorm overschrijdt¹⁰⁾. Kritisch hierbij is dus hoe de zoutlozingen op de Rijn zich ontwikkelen.

Het valt te verwachten dat in de toekomst een aantal belangrijke bronnen van zout zullen wegvallen: de kali-industrie bij Mulhouse is reeds gesloten en de mijnen in de stroomgebieden van de Moezel, de Saar, de Lippe en de Emscher zullen op termijn naar verwachting sluiten¹⁰⁾. Tegelijkertijd wordt in Frankrijk gewerkt aan een plan om zoutcavernes te maken voor gasopslag. In Duitsland leeft een vergelijkbaar idee. Als het gewonnen zout wordt geloosd op de Rijn zal de zoutvracht, weliswaar tijdelijk voor de duur van de aanleg, weer flink hoger worden. Het gecombineerde effect van deze twee ontwikkelingen is op voorhand niet te beoordelen.

Conclusie

De belangrijkste conclusie uit deze analyse is dat het Rijnzoutverdrag duidelijk zijn nut heeft gehad. In de afgelopen twaalf jaar is een sterke neerwaartse trend zichtbaar in de zoutvracht in de Rijn die vermoedelijk het gevolg is van de sanering van de zoutstortbergen bij Mulhouse. Klimaatverandering kan echter roet in het eten gooien. Als de 'plus' klimaatscenario's van het KNMI waarheid worden, is de verwachting dat (extreem) lage afvoeren in de Rijn vaker zullen voorkomen. Bij de huidige zoutvracht op de Rijn is de kans op overschrijdingen van de drinkwaternorm voor chloride bij Lobith klein maar niet afwezig. Om te zorgen dat bij dergelijk lage afvoeren het Rijnwater bruikbaar blijft voor drinkwaterbereiding is dus blijvende waakzaamheid nodig.

LITERATUUR

- 1) Van Den Hurk B., A. Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G. van, Oldenborgh, C. van Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger en S. Drijfhout (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01.
- 2) Van Bokhoven A. en G. Zwolsman (2007). Klimaatverandering en de waterkwaliteit van de Rijn. H₂O nr. 9, pag. 34-37.
- 3) Bonte M. (2009). Wetlands IJsselmeergebied, drinkwaterfunctie Markermeer en verzilting. Delft Cluster project Wetlands in het IJsselmeer. KWR Watercycle Research Institute.
- 4) Molt E. (1961). Pollution of Rhine Water. De Rijn, pag. 46-71. Moormans Periodieke Pers.
- 5) De Bruijn F. en A. Mazijk (2003). Klimaatinvloeden op de kwaliteit van het Rijnwater. Startdocument Klimaatproject RIWA.
- 6) Van der Weijden C. en J. Middelburg (1989). Hydrogeochemistry of the River Rhine: Long term and seasonal variability, elemental budgets, base levels and pollution. Water Research nr. 10, pag. 1247-1266.
- 7) Fleig M., S. Mertineit en H. Brauch (2008). Aktuelle und zukünftige Entwicklung der Belastung mit Chlorid in Rheineinzugsgebiet. In opdracht van RIWA.
- 8) De Wit M., H. Buiteveld en W. Van Deursen (2007). Klimaatverandering en de afvoer van de Rijn en Maas. RIZA.
- 9) Van Deursen W. (2006). Rapportage Rhineflow/Meuseflow. Nieuwe KNMI-scenario's 2050, pag. 7. Carthago Consultancy.
- 10) Baggelaar P. en E. van der Meulen (2009). Historische en toekomstige ontwikkelingen chloridebelasting in het traject Lobith tot Andijk. RIWA Rijn.