Het vereffenen van een water- en chloride-balans



J. P. G. VAN DE KAMER
Deltadienst Rijkswaterstaat
Middelburg



J. H. M. VAN DER MEULEN
Deltadienst Rijkswaterstaat
Middelburg

1. Inleiding

Het gehalte aan een bepaalde stof in een meer wordt enerzijds bepaald door de externe belastingen en onttrekkingen met die stof en anderzijds door de vele processen, die in het meer zelf plaatsvinden.
Stoffenbalansen over niet al te grote tijdsintervallen maken het mogelijk om, naast de grootte van de externe belastingen, ook het gezamenlijk effect van verschillende groepen processen vast te stellen. Zij vormen aldus een eerste stap op de (lange) weg naar de kwantificering van de afzonderlijke processen in het meer. Uiteindelijk vormen deze gekwantificeerde processen bijvoorbeeld de bouwstenen van een wiskundig simulatiemodel van het meer. Met zo'n model zijn de gevolgen van ingrepen op het meer te berekenen. Deze kennis is een onontbeerlijke basis voor beleids- en beheersbeslissingen ten aanzien van het meer. Bij de calibratie, verificatie en toepassing van het model zullen de genoemde externe belastingen weer gebruikt worden.
Maar ook op zichzelf geven stoffenbalansen al een snelle en eenvoudig verkrijgbare karakterisering van een meer.
Met name op het gebied van eutrofiëring kunnen stoffenbalansen zich in een grote populariteit verheugen. Op dit gebied kan met stoffenbalansen kennis over de nutriëntenbelasting en over processen verkregen worden die, tezamen met de ingewonnen informatie over de waterkwaliteit in hydrobiologisch opzicht, een inzicht kan verschaffen over de relatie tussen nutriëntenhuishouding en algengroei. Mogelijke effecten van voorgenomen saneringsmaatregelen kunnen hiermee bepaald worden.

De eenvoudigste denkbare stoffenbalansen zijn de water- en de chloridebalans. Immers, de externe aan- en afvoer van water bepalen de volumeverandering van het meer per balansperiode. En aangezien het chloride-ion zich als een conservatieve stof gedraagt, dat wil zeggen niet aan reacties in het meer onderhevig is, bepaalt de externe aan- en afvoer van chloride-ionen de verandering in chloride-ionconcentratie per balansperiode in het meer.
Op grond van meetgegevens van de externe aan- en afvoer van water- en chloride-ionen, moet het dus mogelijk zijn het meervolume en de chloride-ionconcentratie in het meer te berekenen. Afwijkingen tussen berekend en gemeten volume en tussen berekende en gemeten chlorideconcentratie duiden op onnauwkeurigheden in gemeten in- en uitgaande water- en chloridetransporten of op onnauwkeurigheden in het gemeten meervolume of chlorideconcentratie.

Gegeven het feit dat de meetgegevens in het algemeen behept zullen zijn met meetfouten, zal een water- en chloridebalans meestal niet sluitend zijn. In deze publikatie nu, wordt een methode gepresenteerd, die, rekening houdend met die meetfouten, op objectieve wijze een water- en chloridebalans sluitend maakt onder aanpassing van de meetgegevens. Dit levert dus, behalve een sluitende balans ook onder andere gecorrigeerde debietgegevens op. De correctie is gebaseerd op zoveel mogelijk informatie, ook die ten aanzien van chloride.
De debietgegevens bepalen tezamen met de concentraties van niet conservatieve stoffen de bruto en netto belasting, die van belang is voor de berekening van bijv. accumulatie of mobilisatie van deze stoffen in respectievelijk uit de onderwaterbodem. Alvorens over te gaan tot stofbalansstudies van niet conservatieve waterkwaliteitsvariabelen (bijv. nutriënten, zware metalen) verdient het dan ook aanbeveling eerst de gecorrigeerde debietgegevens te berekenen met behulp van de hier gepresenteerde methode. Het blijkt in de praktijk immers vaak uit de water- en chloridebalansen, dat de ruwe debietgegevens helaas zo onnauwkeurig zijn, dat het opstellen van stoffenbalansen voor niet conservatieve waterkwaliteitsvariabelen op basis daarvan een hachelijke onderneming zou zijn.

Uiteraard is een voorwaarde voor de opstelling van stoffenbalansen van niet conservatieve stoffen, dat naast een juiste set debietgegevens eveneens beschikt kan worden over goed gemeten concentraties van deze stoffen.
De gepresenteerde methode is in zekere zin analoog aan methoden die wel gebruikt worden in de chemische procestechnologie [Swenker, 1971]. In het algemeen spreekt men van vereffeningsrekening.

2. Theorie

2.1. *De formulering van het probleem*

Voor het opstellen van de water- en chloridebalans voor een meer staan twee informatiebronnen ter beschikking. Ten eerste mag men uitgaan van het volgende model:

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = a_1 \qquad \text{(waterbalans)}$$

$$\sum_{i=1}^{n} q_i c_i = a_2 \qquad \text{(chloridebalans)}$$

De waterbalans zegt dat de som van alle (n) debieten op het meer resulteert in een accumulatie a_1. Een debiet q_i is namelijk positief in geval van een lozing en negatief als het om een onttrekking gaat. De chloridebalans is een dergelijke gelijkheid.
Het produkt van een chloridegehalte c_i en een debiet q_i is een chloridevracht, die geïmporteerd of geëxporteerd wordt. Ten tweede heeft men meetwaarden voor de vectoren q, c en a ter beschikking. Deze worden respectievelijk $\tilde{u}$, $\tilde{v}$ en $\tilde{w}$ genoemd en zijn behept met meetfouten. In het algemeen zal dus gelden:

$$\sum_{i=1}^{n} \tilde{u}_i \neq \tilde{w}_1$$

$$\sum_{i=1}^{n} \tilde{u}_i \tilde{v}_i \neq \tilde{w}_2$$

Gebruikmakend van beide informatiebronnen dienen we de meetwaarden zodanig te corrigeren, dat de onbalans verdwijnt. Derhalve introduceren we voor de debieten, de chloridegehalten en de accumulaties respectievelijk de correcties x, y en z.
Dit levert het volgende op:

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} (\tilde{u}_i + x_i) &= \tilde{w}_1 + z_1 \\ \sum_{i=1}^{n} (\tilde{u}_i + x_i)(\tilde{v}_i + y_i) &= \tilde{w}_2 + z_2 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Zonder extra criterium zijn de correcties niet uit (1) te berekenen. Het stelsel is onderbepaald. Daarom voeren we de doelfunctie f in:

$$f = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{x_i}{\sigma_{xi}}\right)^2 + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{y_i}{\sigma_{yi}}\right)^2 + \sum_{i=1}^{2} \left(\frac{z_i}{\sigma_{zi}}\right)^2$$

De symbolen σ_x, σ_y en σ_z representeren respectievelijk standaarddeviaties van de meetfouten in $\tilde{u}$, $\tilde{v}$ en $\tilde{w}$.
Minimalisatie van f onder de voorwaarden (1) levert nu wel waarden voor de correcties. Aannemende dat de meetfouten van $\tilde{u}$, $\tilde{v}$ en $\tilde{w}$ onafhankelijk zijn en normaal verdeeld, zijn het de meest waarschijnlijke waarden.
Toepassingen in de praktijk duidden op de wenselijkheid de beide voorwaarden (1) aan te kunnen vullen met extra lineaire

constraints voor de debieten en de chloridegehalten. In het algemeen luidt het volledige optimalisatieprobleem in matrixvorm dus als volgt:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Min: } f = x^T P^{-1} x + y^T Q^{-1} y + z^T R^{-1} z & \\ \text{o.v.:} \quad 1^T(\tilde{u}+x) = \tilde{w}_1 + z_1 & \\ \quad (\tilde{v}+y)^T(\tilde{u}+x) = \tilde{w}_2 + z_2 & \\ \quad D\ (\tilde{u}+x) = d & \\ \quad B\ (\tilde{v}+y) = b & \end{array}\right\} \quad (2)$$

P, Q en R zijn diagonaalmatrices. Op de hoofddiagonaal staan de varianties van de meetfouten van respectievelijk $\tilde{u}$, $\tilde{v}$ en $\tilde{w}$. 1 is een vector louter bestaande uit enen en van de juiste dimensie.

Toepassing van vereffeningsrekening voor een balansperiode komt derhalve neer op het opstellen van het optimalisatieprobleem (2) en het oplossen daarvan. Het resultaat is de set correcties voor de meetgegevens.
De oplossing van probleem (2) is voor de daarin geïnteresseerde lezer tussen lijnen in dit artikel opgenomen. De gehanteerde methode is iteratief en maakt gebruik van de stelling van Lagrange.

De oplossing van het optimalisatieprobleem (2).

Linearisatie van de voorwaarden
De voorwaarden van (2) zijn niet alle lineair. Om de oplossingsmethode simpel te houden lineariseren we deze voorwaarden.
De uiteindelijke schatting voor q, c en a zullen we dan ook met behulp van een iteratieve procedure bereiken.
In deze procedure wordt de laatst beschikbare schatting voor q, c en a aangeduid met u, v en w. Dat wil zeggen dat $u = \tilde{u}$, $v = \tilde{v}$ en $w = \tilde{w}$ bij de aanvang van de iteratieprocedure.
Voor elke iteratie luiden de voorwaarden:

$$\begin{aligned} &1^T(u+\Delta u) = w_1 + \Delta w_1 \\ &\Delta v^T u + v^T \Delta u + v^T u = w_2 + \Delta w_2 \\ &D\ (u+\Delta u) = d \\ &B\ (v+\Delta v) = b \end{aligned}$$

Er moet gelden:

$$\begin{aligned} &\tilde{u} + x = u + \Delta u \quad \rightarrow \Delta u = x + (\tilde{u}-u) \\ &\tilde{v} + y = v + \Delta v \quad \rightarrow \Delta v = y + (\tilde{v}-v) \\ &\tilde{w} + z = w + \Delta w \quad \rightarrow \Delta w = z + (\tilde{w}-w) \end{aligned}$$

Substitutie in de gelineariseerde voorwaarden levert het stelsel, dat samen met de doelfunctie f het probleem vormt dat bij elke iteratie opgelost moet worden. Telkens is het resultaat van zo'n iteratie een nieuwe schatting voor x, y en z en dus een nieuwe schatting voor q, c en a volgens

$$\begin{aligned} u &= \tilde{u} + x \\ v &= \tilde{v} + y \\ w &= \tilde{w} + z \end{aligned}$$

Het itereren wordt beëindigd als de onbalans voldoende is weggewerkt.

De oplossingsmethode per iteratie
Het probleem dat bij elke iteratie opgelost moet worden luidt als volgt:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Min.: } f & \\ \text{o.v. : } 1^T(u+x) = w_1 + z_1 + r_1 & \\ \quad y^T u + v^T x + v^T u = w_2 + z_2 + r_2 & \\ D(u+x) = s & \\ B(v+y) = t & \end{array}\right\} \quad (3)$$

Hierin moeten r, s en t worden berekend volgens:

$$\begin{aligned} r_1 &= (\tilde{w}_1 - w_1) - 1^T(\tilde{u}-u) \\ r_2 &= (\tilde{w}_2 - w_2) - (\tilde{v}-v)^T u - v^T(\tilde{u}-u) \\ s &= d - D(\tilde{u}-u) \\ t &= b - B(\tilde{v}-v) \end{aligned}$$

Zoals gezegd zijn u, v en w de schattingen voor p, c en a die resulteren uit de vorige iteratie.
Het optimaliseringsprobleem (3) is door toepassing van de stelling van Lagrange te herleiden tot een stelsel, bestaande uit een aantal lineaire vergelijkingen en eenzelfde aantal onbekenden. Hieronder is het genoemde stelsel afgedrukt. De onbekenden zijn x, y, z en k. Deze laatste vector bevat de zogenaamde multiplicatoren van Lagrange. In dit kader lijkt het ons niet nodig nader uiteen te zetten hoe x, y, z en k worden bepaald. Daarvoor wordt verwezen naar v. d. Kamer [1983]. Evenals voor een listing van het computerprogramma voor de vereffeningsrekening.

$$\left.\begin{array}{l} P^{-1}x + (1, v, D^T, 0)k = 0 \\ Q^{-1}y + (0, u, 0, B^T)k = 0 \\ R^{-1}z + (-e_1, -e_2, 0, 0)k = 0 \\ 1^T x + 1^T u = w_1 + z_1 + r_1 \\ v^T x + y^T u + v^T u = w_2 + z_2 + r_2 \\ D\ (x+u) = s \\ B\ (v+y) = t \end{array}\right\}$$

(e_i is de i-de eenheidsvector).

2.2. *Voorbeeld*

Teneinde de kracht van de methode, namelijk het simultaan wegwerken van de onbalans voor chloride en water met inachtname van minimale correcties, te tonen en tegelijkertijd de eenvoud en deugdelijkheid van het principe duidelijk te maken, volgt hieronder een voorbeeld. Er zal met één iteratiestap genoegen worden genomen.
We beschouwen een vat, waarin over een bepaalde periode q_1 m³ zoet water is gestroomd. Het uitlaatdebiet is gelijk aan q_2 m³ met een chloridegehalte c_2. De accumulaties zijn respectievelijk a_1 en a_2 (zie afb. 1). Het volgende is gemeten:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_1 &= 100 \pm 25 \\ \tilde{u}_2 &= -90 \pm 5 \\ \tilde{v}_1 &= c_1 = 0 \\ \tilde{v}_2 &= 0{,}2 \pm 0{,}05 \\ \tilde{w}_1 &= a_1 = 0 \\ \tilde{w}_2 &= a_2 = -15 \end{aligned}$$

Volgens de oplosmethode komt het optimalisatieprobleem (2) in dit geval neer op probleem (3) (zie tekst tussen lijnen).

Invullen in (3) levert:

$$\text{Min.} = \left(\frac{x_1}{25}\right)^2 + \left(\frac{x_2}{5}\right)^2 + \left(\frac{y_2}{0{,}05}\right)^2$$

$$\begin{aligned} &\text{o.v. } 10 + x_1 + x_2 = 0 \\ &\quad -3 - 90y_2 + 0{,}2x_2 = 0 \end{aligned}$$

De voorwaarden bieden de mogelijkheid x_1 en x_2 in y_2 uit te drukken:

$$\left.\begin{array}{l} x_1 = -25 - 450\, y_2 \\ x_2 = 450\, y_2 + 15 \end{array}\right\} \quad (4)$$

Substitutie in f levert:

$$f = (-1 - 18y_2)^2 + (90\, y_2 + 3)^2 + (20\, y_2)^2.$$

Door de afgeleide van f naar y_2 nul te stellen, verkrijgen we de waarde van y_2 en via (4) de waarden van x_1 en x_2, die f minimaal doen zijn onder de gegeven voorwaarden:

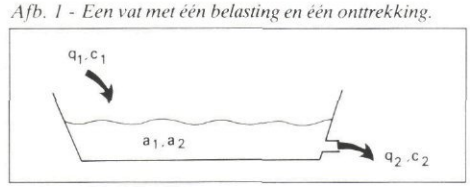
$$\begin{aligned} y_2 &= -0{,}033 \\ x_1 &= -10{,}31 \\ x_2 &= 0{,}31 \end{aligned}$$

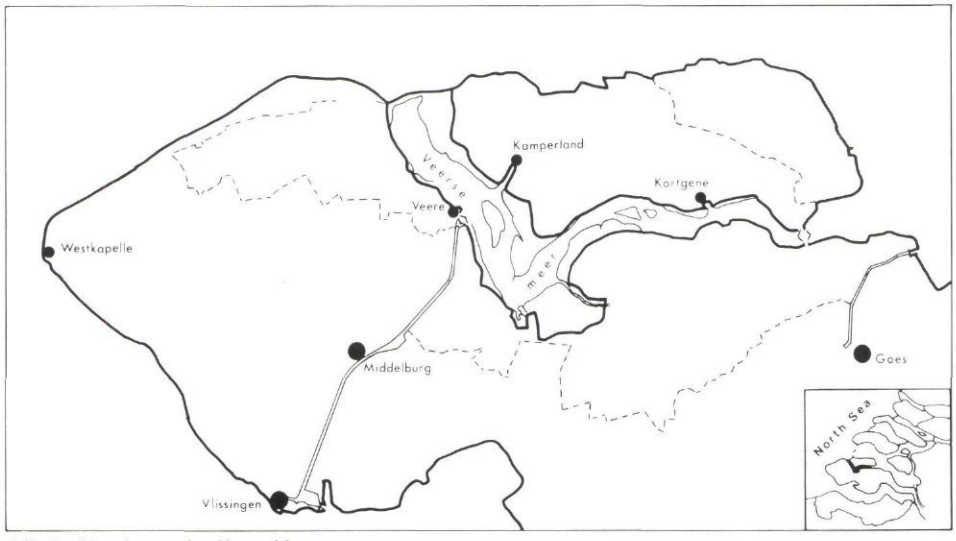
Hetgeen resulteert in:

$$\begin{aligned} u_1 &= 89{,}69 \\ u_2 &= -89{,}69 \\ v_2 &= 0{,}167 \end{aligned}$$

Zoals men kan nagaan is de onbalans nagenoeg verdwenen.
Zoals wellicht is opgevallen, hebben we bij dit eenvoudige voorbeeld geen gebruik gemaakt van de stelling van Lagrange. (Hoewel dat wel mogelijk ware geweest en dezelfde uitkomst zou opleveren). In de praktijk is de dimensie van het probleem vaak veel groter en is de hulp van Lagrange evenals die van een computer welkom, mede omdat lang niet altijd met één iteratie kan worden volstaan.

Afb. 1 - Een vat met één belasting en één onttrekking.





Afb. 2 - Situering van het Veerse Meer.

3. **Toepassing**

De hier gepresenteerde vereffeningsrekening is toegepast voor water- en chloridebalansen van onder andere het Veerse Meer.
Het Veerse Meer is gelegen in het Deltagebied van Zuid-West Nederland tussen Noord-Beveland enerzijds en Zuid-Beveland en Walcheren anderzijds. Het is ontstaan na afsluiting van de Zandkreek in 1960 en het Veerse Gat in 1961 (zie afb. 2).
Het hydraulische regime van het Veerse Meer is erop gericht om gedurende de zomermaanden (april-oktober) een peil na te streven van NAP en gedurende de wintermaanden (oktober-april) van NAP – 0,70 m. Enige karakteristieke grootheden van het Veerse Meer zijn in tabel I vermeld.

Voor onder andere de water- en chloridehuishouding van het Veerse Meer zijn de volgende belastingbronnen en onttrekkingen van belang:

Belastingbronnen
– Polders; tien poldergemalen met een totaal bemalingsgebied van ca. 16.000 ha lozen hun overtollig water op het Veerse Meer.
– Neerslag.
– Afstroming van water van buitendijkse gebieden.
– Schutwaterbelasting via de sluis te Veere.
– Lekwater van de sluis te Veere; door onvolkomenheden van de sluis treedt er een lek van water uit het Kanaal door Walcheren op. Dit lekverlies is geschat uit metingen in de sluiskolk [v. Maldegem e.a., 1980].
– Inlaten van water via de Zandkreeksluis ten behoeve van het peilbeheer.
– Schutwaterbelasting via de Zandkreeksluis (bij hoogwater op de Oosterschelde).
– Uitwisseling van Oosterscheldewater tegen Veerse Meerwater tijdens het schutten als gevolg van dichtheidsverschillen tussen Oosterschelde- en Veerse Meerwater.
– Kwel van Noordzee- en Oosterscheldewater via resp. de Veerse Gat- en de Zandkreekdam.

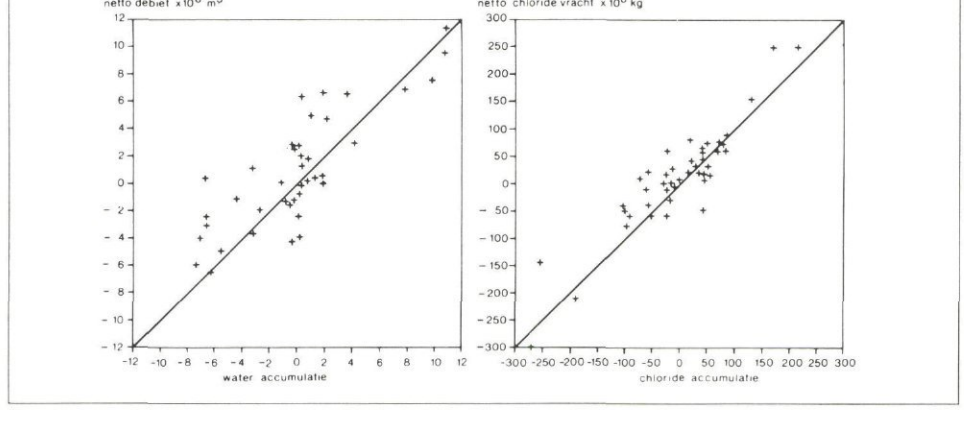
Onttrekkingen
– Verdamping.
– Schutwaterverlies via de Zandkreeksluis (bij laagwater op de Oosterschelde).
– Spuien van water via de Zandkreeksluis ten behoeve van het peilbeheer.
– Uitwisseling van Veerse Meerwater tegen Oosterscheldewater tijdens het schutten als gevolg van dichtheidsverschillen tussen Oosterschelde- en Veerse Meerwater.
– Wegzijging van Veerse Meerwater naar omliggende lager gelegen gebieden.

De berekening van de debieten en chloridevrachten per balansperiode voor bovenstaande belastingbronnen en onttrekkingen is beschreven door v. Maldegem e.a. [1980]. Als balansperiode is een maand gekozen.
De berekening van de maandelijkse debieten en chloridevrachten is gebaseerd op metingen. Aannemende dat deze foutloos zijn, dan zou per balansperiode moeten gelden dat het netto waterdebiet, dat is het verschil in de debieten van belastingbronnen en onttrekkingen, gelijk is aan de gemeten toe- of afname van het volume van het Veerse Meer.
Evenzo zou de netto chloridevracht per balansperiode gelijk dienen te zijn aan de gemeten chlorideaccumulatie over die balansperiode.
In werkelijkheid treden er aanzienlijke verschillen op tussen gemeten netto debiet of chloridevracht en resp. gemeten water- en chloride-accumulatie. In afb. 3 zijn deze verschillen als afwijkingen van de ideale relatie tussen netto debiet en water-accumulatie en die tussen vracht en chloride-accumulatie weergegeven.
Deze afwijkingen zijn te wijten aan toevallige of eventuele systematische fouten in de metingen van de afzonderlijke balanstermen. Verondersteld werd dat de meetfouten in de diverse debieten en chlorideconcentraties onafhankelijk zijn. Voor toepassing van de vereffeningsrekening op het Veerse Meer werden de standaardafwijkingen van deze meetfouten geschat [v. d. Meulen e.a., 1981]. De geschatte standaardafwijkingen zijn in tabel II vermeld als relatieve standaardafwijkingen, dat wil zeggen als percentage van de meetwaarde.
De standaardafwijking behorende bij de water- en chloride-accumulatie wordt geschat op resp. 500 * 10^3 m^3/maand en 20.000 * 10^3 kg/maand. Onder gebruik-

TABEL I – *Karakteristieke grootheden van het Veerse Meer.*

Wateroppervlakte	zomerpeil	2.057 ha
	winterpeil	1.775 ha
Inhoud	zomerpeil	102,1 x 10^6 m^3
	winterpeil	88,6 x 10^6 m^3
Opp. buitendijkse gebieden	zomerpeil	1.893 ha
	winterpeil	2.175 ha
Gemiddelde diepte		5 m
Maximale diepte		25 m
Lengte (langs geul)		23 km
Breedte		0,5–2 km

Afb. 3 - Afwijkingen van ideale relatie tussen resp. netto debiet en water-accumulatie en netto vracht en chloride-accumulatie.



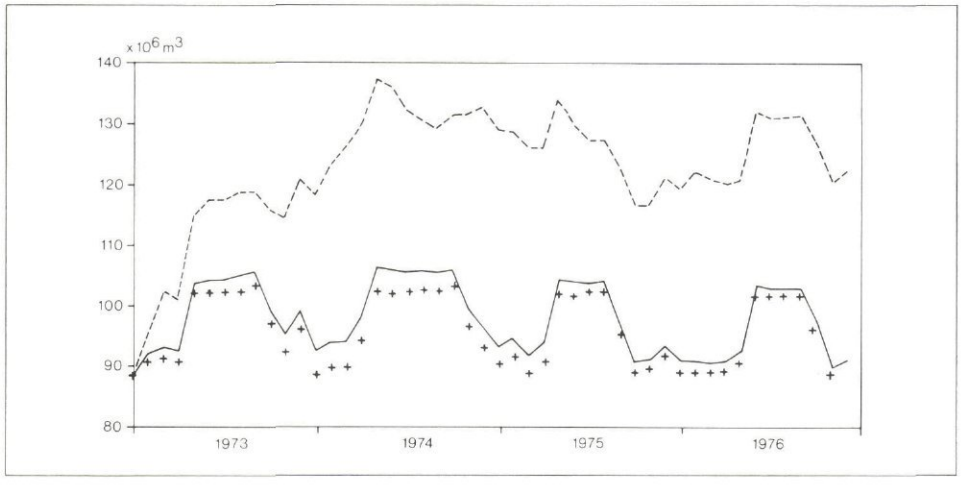
TABEL II – *De standaardafwijkingen van debieten en chloridegehalten.*

Balanspost	Relatieve standaard-afwijking van debieten	Relatieve standaard-afwijking van Cl^- gehalten
Belastingen:		
Polders	5	10
Neerslag	5	10
Afstroming	5	10
Schutten Sluis Veere	5	10
Lek Sluis Veere	20	10
Inlaten Zandkreeksluis	20	5
Schutten Zandkreeksluis	5	5
Uitwisseling Zandkreek-sluis	20	5
Kwel	5	5
Onttrekkingen:		
Verdamping	5	0
Schutten Zandkreeksluis	5	5
Spuien Zandkreeksluis	20	5
Uitwisseling Zandkreek-sluis	20	5
Wegzijging	5	5

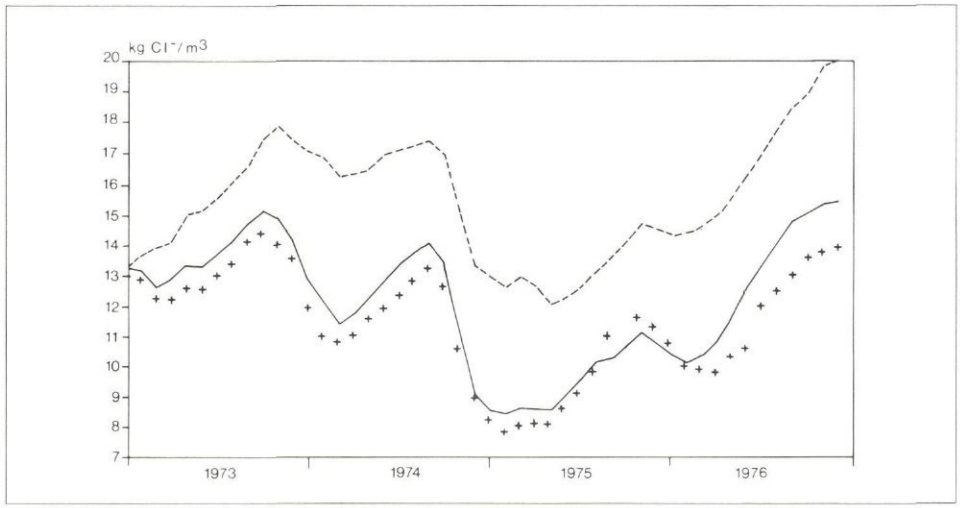
TABEL III – *Het resultaat van de vereffeningsrekening voor een bepaalde balansperiode. Zie tekst.*

Balanspost	Gemeten debiet ($10^3\ m^3 maand^{-1}$)	Vereffend ($10^3\ m^3 maand^{-1}$)	Gemeten Cl^- ($kg\ m^{-3}$)	Vereffend Cl^- ($kg\ m^{-3}$)
Belastingen:				
Polders	303	303	9,145	9,135
Neerslag	968	973	0,02	0,02
Afstroming	0	0	0,02	0,02
Schutten sluis Veere	1.686	1.697	16,15	15,88
Lek sluis Veere	2.821	3.303	16,15	15,88
Inlaten Zandkreeksluis	0	0	17,10	17,045
Schutten Zandkreeksluis	1.073	1.077	17,10	17,045
Uitwisseling Zandkreeksluis	4.504	4.432	17,10	17,045
Kwel	120	120	17,23	17,23
Onttrekkingen:				
Verdamping	2.616	2.597	0	0
Schutten Zandkreeksluis	1.062	1.057	12,65	12,70
Spuien Zandkreeksluis	6.938	3.776	12,65	12,70
Uitwisseling Zandkreeksluis	4.504	4.432	12,65	12,70
Wegzijging	280	280	11,27	11,27
	accumulatie water		accumulatie water	
	gemeten ($10^3 m^3\ maand^{-1}$)	vereffend ($10^3 m^3\ maand^{-1}$)	gemeten ($10^3 kg\ maand^{-1}$)	vereffend ($10^3 kg\ maand^{-1}$)
	207	−219	46.988	57.334

Afb. 4 - Volume simulatie met actuele meetgegevens (– – –) en met vereffende gegevens (——). +: berekend volume uit peilgegevens.



Afb. 5 - Chloride simulatie met actuele meetgegevens (– – –) en met vereffende gegevens (——). +: gemeten chloride concentraties.



making van de geschatte standaard-afwijkingen is het eerder genoemde vereffeningsprogramma per balansperiode toegepast voor de vereffening van de debieten, de chlorideconcentratie en de accumulaties.

Het resultaat van de vereffeningsrekening voor een balansperiode nl. de maand juni 1974 is weergegeven in tabel III. De metingen van belastingen en onttrekkingen resulteren in een netto waterdebiet van $-3.925 * 10^3 m^3\ maand^{-1}$ en een netto chloridevracht van $116,81 * 10^3\ kg\ Cl^-maand^{-1}$. Deze getallen verschillen veel van de gemeten accumulaties. Na vereffening zijn ze gelijk aan de vereffende accumulaties!

Uit het voorbeeld in tabel III blijkt dat het met behulp van de vereffeningsrekening mogelijk is om op zo objectief mogelijke wijze, de afzonderlijke balanstermen dusdanig aan te passen dat het netto debiet en de netto chloridevracht gelijk wordt aan respectievelijk de water- en chloride-accumulatie.

Voor het Veerse Meer is voor de periode 1973 t/m 1976 het vereffeningsprogramma per maandelijkse balansperiode toegepast. Met behulp van de vereffende debieten en chloridegehalten is vervolgens een simulatie voor het volume- en chloridegehalteverloop uitgevoerd. Het resultaat van deze simulaties is in de afb. 4 en 5 weergegeven. Ter vergelijking is in deze afbeeldingen tevens weergegeven de simulatie met de actuele meetgegevens, waarbij dan voor de berekening van het chloridegehalte gebruikgemaakt is van de vereffende meer volumina, omdat deze goed overeenkomen met de werkelijke volumina.

4. **Conclusies en discussie**

Het vereffeningsprogramma, waarvan de

Mijlpaal in bouw actief-kool-installatie Zwolle

principes hiervoor zijn beschreven, doet nu bij de Deltadienst veel beter en zéér veel sneller het werk dat daar vroeger met de hand gebeurde. Elders is het wegwerken van de onbalans nog vaak handwerk. Hieraan kleven, behalve het feit dat het zeer tijdrovend is, diverse bezwaren. Zo worden vaak slechts een zeer gering aantal meetgegevens aangepast en is deze aanpassing subjectief. Bij de vereffeningsrekening gelden deze bezwaren niet en wordt bovendien rekening gehouden met de relatieve nauwkeurigheid van de meetgegevens.
Vaak zal in de praktijk de in par. 2.1. veronderstelde onafhankelijkheid van de meetfouten niet realistisch zijn. Met name de meetfouten van de water- en chloride-accumulatie zijn in het algemeen niet onafhankelijk. De samenhang van meetfouten is echter tot uitdrukking te brengen door in de matrices P, Q en R ook de covarianties op te nemen. Stilzwijgend is dit voor de accumulaties bij de toepassing van par. 3 ook gedaan.
Wanneer voor een bepaald meer voldoende malen een vereffening is gepleegd kan uitgerekend worden of de correcties een systematische component vertonen. Dit zou wijzen op een systematische component van de meetfout. Deze kan vervolgens worden weggenomen door ofwel de oorzaak op te heffen (bijv. bij een ijkfout of slijtage van meetinstrumenten) ofwel door vóór de vereffening een eerste correctie toe te passen. Zo is het mogelijk gebleken na toepassing van vereffening op het Grevelingenmeer een betere schatting van de afvoercoëfficiënt van de Brouwerssluis te geven. Tussen de variantie van de meetfout en de variantie van de correctie bestaat overigens een verband. Zie hiervoor v. d. Grinten e.a. [1973].
Vereffeningsrekening is een statische methode: elke periode wordt afzonderlijk bekeken. In geval er sprake is van een groot aantal aansluitende perioden, zoals bij de toepassing van par. 3 zou men kunnen overwegen een meer dynamische vereffening te plegen en wel met behulp van Kalman-filters [zie bijv. v. d. Grinten e.a., 1973].

Referenties

Grinten, P. M. E. M. v. d. en Lenoir, J. M. H. (1973). *Statistische procesbeheersing.* Het Spectrum bv Utrecht.
Kamer, J. P. G. v. d. (1983). *Vereffeningsrekening.* RWS Deltadienst, Hoofdafdeling Milieu en Inrichting, Middelburg. Nota DDMI.
Maldegem, D. C. V. v. en Wattel, G. (1980). *Belastingen en onttrekkingen van het Veerse Meer t.b.v. waterkwaliteitsrapportage 1972-1977.* RWS Deltadienst, Hoofdafdeling Milieu en Inrichting, Middelburg. Notitie DDMI-80.316.
Meulen, J. v. d. en Havermans, P. F. (1981). *Waterkwaliteitskenmerken en stofbalansen van het Veerse Meer over de periode 1972-1977.* RWS Deltadienst, Hoofdafdeling Milieu en Inrichting, Middelburg. Nota DDMI-81.24.
Mikhail, E. M. (1976). *Observations and Least Squares.* Harper & Row, New York.
Swenker, A. G. (1971). *Praktische vereffeningsmethoden voor industriële metingen.* De Ingenieur p.p. 65-70.

De Zwolse wethouder van EZ, mr E. Schafenaar, heeft op 27 september jl. in zijn functie van voorzitter van de Stichting Waterwinningsbedrijf Zwolle e.o. met het hijsen van een deel van de bekisting uit het bouwwerk een mijlpaal gemarkeerd in de bouw van de nieuwe actief-kool-installatie van het bedrijf te Zwolle.
De bouw van dit onderdeel is hiermee ongeveer halverwege.

Voor het afbouwen, het aanbrengen van de installaties en het in bedrijf stellen is naar verwachting nog ruim anderhalf jaar nodig. In de tweede helft van 1986 kunnen de smaakproblemen van het Zwolse drinkwater tot het verleden behoren.
Daarmee zal dan een eind komen aan de minder aangename bijsmaak van het water, die wordt veroorzaakt door kleine hoeveelheden stoffen die niet door de ondergrond uit het infiltrerende IJsselwater worden afgevangen. Een deel van het opgepompte water is namelijk enkele jaren eerder in de bedding van de IJssel in de bodem gezakt. Omdat het gekozen proces voor waterwinningsdoeleinden nog vrij nieuw was, moest nog heel wat onderzoek plaatsvinden voor het ontwerp kon worden uitgewerkt.

Ook de bestaande zuivering was aan vervanging (en uitbreiding) toe. Daarom is eerst begonnen met de vervanging van dit gedeelte van de installaties.
Met deze installatie is de bouw nog niet ten einde. Er zullen nog enkele andere onderdelen moeten worden gebouwd. Het totale complex zal dan ook niet vóór 1988 gereed zijn. De gehele 10-jarige operatie heeft dan ongeveer *f* 28 miljoen gekost. De capaciteit van het bedrijf is dan ongeveer 12 miljoen m^3 per jaar.
De Stichting Waterwinningsbedrijf Zwolle en Omgeving (WZO) is een samenwerkingsverband van de gemeente Zwolle en de Waterleiding Maatschappij 'Overijssel' NV (WMO).
Het bestuur wordt gevormd door 3 leden benoemd door de Gemeenteraad van Zwolle en 3 leden benoemd door de Raad van Commissarissen van de WMO. Het beheer van het pompstation wordt verzorgd door de WMO. De Stichting levert aan de beide eigenaren het drinkwater voor Zwolle en wijde omgeving. De gemeenten Dalfsen, Hasselt, Heino, Wijhe, IJsselmuiden en Zwolle worden geheel of gedeeltijk vanuit dit pompstation voorzien.

De werken zijn ontworpen door de afdeling Nieuwe Werken van de WMO, terwijl de uiterlijke vormgeving is verzorgd door het architectenbureau ir. W. J. Berkemeijer te Zwolle. Het bouwkundig adviesbureau C. Stoel BV te Zwolle heeft de betonberekeningen verzorgd.

De aannemers zijn: Bouwbedrijf Bosch BV te Olst voor het bouwkundig gedeelte en de fa. Rook en Zn te Vollenhove voor de mechanische installaties. De elektrische installaties zijn gemaakt door de afdeling Nieuwe Werken van de WMO en Technisch Bureau Kloekke te Zwolle (verlichting). Directievoering en toezicht geschiedt door de WMO in eigen beheer.

Wethouder Schafenaar hijst een deel van de bekisting uit het bouwwerk.

