

band 3:

**HET SCHATTEN VAN DE MATE VAN  
UITWISSELING TUSSEN KLEINE  
IJSELMEER EN MARKERMEER**

(zzwb-n-750022)

zzw;riza;rijp

bijlage VI.2.1.1  
van de nota waterstaat-  
kundige werken en  
waterkwaliteit  
ijsselmeergebied.

## Inhoud

	blz.
I. Omschrijving methode	1
II. Gebruikte gegevens	3
III. Berekening	6
IV. Interpretatie-1	10
V. Schatting van fouten	11
VI. Interpretatie-2 en slotopmerkingen	17

## Bijlagen

1. Waterbalans Markermeer per kwartaal en toevoer chloride
2. Maandelijks verloop gemiddelde chloridegehalten IJsselmeer (1969-1974)
3. Berekening chloridegehalte Markermeer zonder uitwisseling met water van Kleine IJsselmeer
4. Berekening chloridegehalte Markermeer met uitwisseling met water van Kleine IJsselmeer (3 bladen)

Het schatten van de mate van uitwisseling tussen Kleine IJsselmeer en Markermeer.

I. Omschrijving methode.

Door het sluiten van de dijk tussen Enkhuizen en Lelystad zijn twee meren ontstaan die via de sluizen te Enkhuizen en de Houtribsluizen te Lelystad nog met elkaar in verbinding staan. Via deze sluizen vindt het watertransport plaats, nodig voor het aanvullen van onttrekkingen of afvoeren van overschotten. Deze transporten zijn gelijk aan de netto transporten tussen beide meren zonder delingsdijk. Zonder dijk vindt daarnaast nog menging van beide delen plaats. Deze is te beschrijven als een transport van water van het ene deel naar het andere en een gelijk transport in omgekeerde richting. De grootte van deze transporten is niet uit de waterbalans te bepalen, maar hierdoor wordt wel het chloridegehalte in beide meren beïnvloed, althans indien deze gehalten niet aan elkaar gelijk zijn. Dit geeft de mogelijkheid de mate van uitwisseling te berekenen. Hiervoor is de volgende procedure gebruikt.

- bepaling water- en zoutbalans van een zekere periode van beide meren onder aanname dat naast het netto transport tussen beide meren geen uitwisseling plaatsvindt;
- berekening van de gemiddelde chloridegehalten in die periode. Deze chloridegehalten zullen in het algemeen afwijken van de gemeten gehalten;
- bepaling van het extra water- en zoutbezwaar dat het desbetreffende meer nodig heeft om het berekende chloridegehalte gelijk te doen zijn aan het gemeten chloridegehalte. Deze toevoer, afkomstig uit het andere meer, wordt gecompenseerd door een gelijke afvoer waarvan het chloridegehalte gelijk is aan het gemiddelde gehalte van het meer (er is volledige menging verondersteld).

Voor een interpretatie van de berekeningsresultaten is het wel nodig het effect van de veronderstelling van volledige menging in beide meren op de berekeningsresultaten te onderzoeken.

taten te schatten. Evenzo moet het effect van een eventuele foute schatting van water- en zoutbezwaar en een foute meting van het chloridegehalte worden bekeken.

In plaats van bovenstaande berekening uit te voeren voor een zekere periode van bijvoorbeeld enige jaren is er gekozen voor een berekening voor elk van de vier kwartalen van een jaar. Binnen deze kwartalen zijn de water- en zouttoevoeren en -onttrekkingen constant verondersteld. De grootte van deze posten is gelijk gesteld aan het gemiddelde van deze posten in de vier kwartalen van de jaren 1969-1974.

Naast vereenvoudiging van de berekening zijn hiervoor de volgende motieven te noemen:

- er wordt geen te grote nauwkeurigheid gesuggereerd;
- niet systematische fouten worden weggemiddeld;
- voor de waterkwaliteit is niet zo zeer van belang hoe groot de uitwisseling in een korte periode van bijvoorbeeld een maand is als wel hoe groot de uitwisseling in een langere periode is.

## II. Gebruikte gegevens.

Bijlage 1 geeft de gemiddelde waterbalans van het Markermeer voor de zomer- en winterhalfjaren van 1969-1974.

In de tweede kolom van deze bijlage is tevens de toevoer van chloride in  $10^6$  kg vermeld. Het chloridegehalte van het water dat het meer verlaat volgt uit de berekeningen.

Voor de peilregeling is  $70 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> opgevoerd.

Dit is beduidend minder dan overeenkomt met een waterschijf van 20 cm. In de periode 1969-1974 is echter het gemiddeld zomerpeil N.A.P. -0,18 m geweest, het gemiddeld winterpeil N.A.P. -0,27 m. Het verschil bedraagt voor het Markermeer (750 km<sup>2</sup>)  $70 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

Hoewel de peilen op 1 april en 1 oktober tussen gemiddeld zomer- en winterpeil hebben gelegen is in de berekening aangenomen dat de peilverandering steeds aan het begin van het tweede, respectievelijk het vierde kwartaal heeft plaatsgevonden. Het chloridegehalte dat hoort bij het water benodigd voor het opzetten van het meer naar zomerpeil is gesteld op het gemiddelde chloridegehalte van het zuidelijk deel van het Kleine IJsselmeer begin april (0,208 kg/m<sup>3</sup>). Als startwaarde van het chloridegehalte van het Markermeer is voor ieder kwartaal de gemiddelde gemeten waarde aan het begin van ieder kwartaal genomen (0,237; 0,234; 0,216 en 0,228 kg/m<sup>3</sup>). Een belangrijke post op de chloridebalans is nog het chloride afkomstig van het Kleine IJsselmeer.

Bij aanwezigheid van de dijk tussen Enkhuizen en Lelystad is dit chloride dat in het water uit het Kleine IJsselmeer wordt uitgelaten; bij afwezigheid van deze dijk is dit tevens chloride in het water dat door vrije uitwisseling van uit het Kleine IJsselmeer op het Markermeer komt. Tegenover deze extra toevoer van water en chloride staat dan een extra afvoer van een evengrote hoeveelheid water, maar met een ander chloridegehalte, dat gemiddeld ongeveer gelijk zal zijn aan het gemiddelde chloridegehalte van het Markermeer. Bij volledige menging zal dit hieraan gelijk zijn. Dat is in de berekening aangenomen.

Voor het Kleine IJsselmeer zal de aanname van volledige menging echter systematisch tot te grote uitwisselingsdebiëten leiden. De uitwisseling zal namelijk vooral plaatsvinden met water uit het zuidelijk deel van het Kleine IJsselmeer en dit heeft een chloridegehalte dat in de regel lager is dan het gemiddelde gehalte van het Kleine IJsselmeer, zodat de uitwisseling een groter effect op het gehalte van het Markermeer heeft dan berekend zou worden uitgaande van volledige menging.

Aan de hand van de "zoutkaartjes" (kaartjes die de maandelijks gemeten chloridegehalten presenteren) is een schatting gemaakt van de afwijking van het chloridegehalte van het zuidelijk deel van het Kleine IJsselmeer ten opzichte van het gemiddelde gehalte van het Kleine IJsselmeer. Dit is gedaan voor de maanden januari, april, juli en oktober van de jaren 1969 tot en met 1974.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gevonden verschillen (gemiddeld-zuidelijk deel).

januari	: 14 mg/l
april	: -3 mg/l
juli	: 15 mg/l
oktober	: 13 mg/l

De chloridegehalten zijn echter mede door de uitwisseling met Markermeerwater tot stand gekomen. Zonder deze uitwisseling zou het gehalte iets lager geweest zijn. Dit doet hier echter niet terzake omdat de uitwisseling plaats heeft gevonden met de werkelijk voorgekomen gehalten.

De situatie zonder uitwisseling behoeft niet te worden gesimuleerd. Alleen kunnen bovenstaande gehalten niet worden gebruikt om daarmee het chloridegehalte van het Markermeer bij gesloten dijk tussen Enkhuizen en Lelystad berekenen.

Het bepalen van het verschil tussen de chloridegehalten van het Kleine IJsselmeer als geheel en dat van het zuidelijk deel kan voor iedere maand gebeuren. Daar echter het werkelijk gehalte van het uitwisselingsdebiet slechts benaderd kan worden lijkt de extra nauwkeurigheid die daarmee bereikt kan worden erg gering zodat met bovenstaande is volstaan. Het gemiddelde verschil van januari

en april is gelijk gesteld aan het verschil van het eerste kwartaal, enz.

Dit leidt tot de volgende chloridegehalten van het zuidelijk deel:

Tabel 2: chloridegehalten Kleine IJsselmeer

Kwartaal	1e	2e	3e	4e
Kleine IJsselmeer (gem)	216	212	225	234
Kleine IJsselmeer (Zuid)	207	203	211	220

Het chloridegehalte van het water uit het Kleine IJsselmeer dat gebruikt wordt voor het opzetten van het Markermeer naar zomerpeil is in de berekening gesteld opdat van begin april (namelijk  $204 + 3 = 207$  mg/l). De correctie van 3 mg/l is om het gehalte van het zuidelijk deel te krijgen (zie tabel 1).

Bijlage 2 geeft het verloop van de diverse chloridegehalten door het (gemiddelde) jaar.

III. Berekening.

De berekening is per kwartaal uitgevoerd met twee tijdstappen. Uitgaande van het chloridegehalte aan het begin van iedere periode van twee maanden ( $C_o$ ) is het chloridegehalte aan het eind van die periode ( $C_t$ ) berekend met behulp van de water- en zoutbalans:

$$\text{waterbalans: } Q_u = V_o - V_1 + Q_i \quad (1)$$

$$\text{zoutbalans: } C_o V_o + \sum C_i Q_i - Q_u \cdot C_s = C_t V_1 \quad (2)$$

Hierin is:

$C_o$  - Chloridegehalte Markermeer aan begin tijdstap

$C_t$  - Chloridegehalte Markermeer aan einde tijdstap

$V_o$  - Volume Markermeer aan begin tijdstap

$V_1$  - Volume Markermeer aan einde tijdstap

$Q_i$  - In tijdstap inkomende hoeveelheid water

$Q_u$  - In tijdstap uitgaande hoeveelheid water

$C_i$  - Gemiddelde chloridegehalte van het inkomende water

$C_s$  - Gemiddelde chloridegehalte van het uitgaande water

$\sum C_i Q_i$  is dus de som van alle chloridetoevoeren.

Bij afwezigheid van gradiënten in het chloridegehalte in het meer (zodat het chloridegehalte van het afgevoerde water gelijk is aan het gemiddelde chloridegehalte) en als de tijdstap zo klein wordt gekozen dat aangenomen mag worden dat de water- en zouttoevoeren binnen de tijdstap gelijkmatig zijn verdeeld, geldt bij benadering:

$$C_s = \frac{C_o + C_t}{2} \quad (3)$$

Bij substitutie van (1) en (3) in (2) volgt:

$$C_o V_o + \sum C_i Q_i + C_o \left(-\frac{1}{2} V_o + \frac{1}{2} V_1 - \frac{1}{2} Q_i\right) +$$

$$+ C_t \left(-\frac{1}{2} V_o + \frac{1}{2} V_1 - \frac{1}{2} Q_i\right) = C_t V_1$$

$$\text{of: } C_t = \frac{C_o (V_o + V_1 - Q_i) + 2 \sum C_i Q_i}{V_o + V_1 + Q_i} \quad (4)$$

Hierin is  $Q_i$  de totale watertoevoer en  $\sum C_i Q_i$  de totale



chloridetoevoer, ook die uit het Kleine IJsselmeer.

De toevoer uit het Kleine IJsselmeer kan echter beter afzonderlijk worden geformuleerd omdat deze post in de berekening moet worden gevarieerd.

Het uitwisselingsdebiet moet namelijk met behulp van (4) schattenderwijs worden bepaald door de zouttoevoer vanuit het Kleine IJsselmeer net zo lang te laten toenemen dat het berekende gemiddelde chloridegehalte gelijk is aan het gemeten gemiddelde chloridegehalte van het Markermeer.

Formule (4) wordt nu als volgt geschreven:

$$C_t = \frac{C_o(v_o + v_1 - Q_i - Q_{k.y}) + 2 \sum C_i Q_i + 2C_{k.y} Q_{k.y}}{v_o + v_1 + Q_i + Q_{k.y}} \quad (5)$$

waarin  $C_{k.y} Q_{k.y}$  en  $Q_{k.y}$  de toevoer van chloride en water uit het Kleine IJsselmeer zijn. Uit bijlage 1 volgt de grootte van  $Q_i$  en  $\sum C_i Q_i$  en de grootte van  $C_{k.y}$  en  $Q_{k.y}$  bij gesloten dijk tussen Enkhuizen en Lelystad. Voor  $C_{k.y}$  is de waarde voor het zuidelijk deel van het Kleine IJsselmeer gebruikt. Bijlage 3 geeft per kwartaal een overzicht van de diverse grootheden van (5) en de berekende waarden van  $C_t$ . In alle kwartalen is de gemiddelde berekende waarde ( $C_{ber}$ ) groter dan de gemiddelde gemeten waarde ( $C_{gem}$ ) behalve in het vierde kwartaal, waarin beide gelijk zijn. Hieruit zou volgen dat in de eerste drie kwartalen wel uitwisseling heeft plaats gevonden, in het vierde kwartaal niet (zie echter ook paragraaf 4 (interpretatie)). (In bovenstaande is dus  $C_t$  gelijk aan het chloridegehalte aan het einde van een berekeningsstap, terwijl  $C_{ber}$  het berekende gemiddelde van een heel kwartaal is). Bijlage 4 geeft vervolgens de berekening van  $C_t$  en  $C_{ber}$  bij enige grotere waarden van  $Q_{k.y}$ . Met behulp hiervan kan de grootte van de uitwisseling worden geschat. Vanwege de relatieve grootte van  $Q_{k.y}$  in deze berekeningen zijn in bijlage 3 de kwartalen in vier tijdstappen verdeeld.

Onderstaande tabel 3 geeft een overzicht van de berekeningsresultaten en van de geschatte waarde van  $Q_{k.y}$ .

Hiervan moet nog de ook bij gesloten dijk uit het Kleine IJsselmeer afkomstige hoeveelheid worden afgetrokken om het uitwisselingsdebiet te krijgen.

Tabel 3. Schatting van het uitwisselingsdebiet.

kwartaal	$Q_{k.y}$	$C_{ber}$	$C_{gem}$	schatting $Q_{k.y}$	uitwiss. debiet $V_u$
	0	0,248			
1	800	0,243	0,239	1.500	1.500
	2.000	0,237			
	385	0,246			
2	2.000	0,237	0,226	5.000	4.600
	4.000	0,229			
	5.000	0,227			
	130	0,234			
3	2.000	0,228	0,223	4.000	4.000
	4.000	0,224			
4	0	0,246	0,247	0	0
jaar-totaal					10.100

Een aanname bij bovenstaande berekeningen is dat de uitwisseling gelijkmatig over de kwartalen is verdeeld. Dit behoeft echter niet zo te zijn. De drijvende kracht achter de uitwisseling is namelijk de wind zodat de uitwisseling vooral plaats zal vinden tijdens en vlak na stormen. Bij deze in korte tijd geconcentreerde uitwisseling zal de menging in het Markermeer veel minder zijn, In het extreme geval vindt er geen menging plaats, maar wordt een hoeveelheid water uit het Markermeer vervangen door een zelfde hoeveelheid uit het Kleine IJsselmeer. Dit proces is te beschrijven met de volgende vergelijking:

$$(V_{gem} - V_u)C_{ber} + V_u C_{k.y} = V_{gem} C_{gem}$$

$$\text{of } V_u = V_{gem} \frac{C_{ber} - C_{gem}}{C_{ber} - C_{k.y}} \quad (6)$$

waarin  $V_u$  de uitgewisselde hoeveelheid water en  $V_{gem}$  het gemiddelde volume van het Markermeer in het desbetreffende kwartaal is.

Tabel 4 (onder) geeft in tabelvorm de rekenresultaten van (6)

In werkelijkheid zullen beide mechanismen voorkomen. De formules (5) en (6) beschrijven de extremen (volledige menging en geen menging) zodat het werkelijke uitwisselingsdebiet zich ergens tussen beide in zal bevinden. In onderstaande tabel 4 zijn de op beide manieren berekende waarden van  $V_u$  gepresenteerd. De laatste kolom geeft het gemiddelde van de twee voorgaande kolommen (afgerond).

Tabel 4: berekende waarden van  $V_u$ .

kwartaal	$V_u$ volledige menging	$V_u$ geen menging	$\bar{V}_u$
1	1.500	530	1.000
2	4.600	1.150	3.000
3	4.000	1.200	2.500
4	0	0	0
jaar-totaal	10.100	2.880	6.500

#### IV. Interpretatie 1.

Onder 3 is op twee manieren een schatting gemaakt van het uitwisselingsdebiet  $V_u$  namelijk onder aanname van rechtstreekse vervanging van Markermeerwater door water uit het Kleine IJsselmeer en vervolgens onder aanname van volledige menging. In het eerste geval zou  $V_u$  volgens berekening circa  $3000 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> per jaar bedragen, in het tweede geval circa  $10.000 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Gesteld kan worden dat dit twee uitersten zijn waarbinnen de werkelijkheid zich ergens moet ophouden.

Vervanging van water treedt op bij circulatiestromingen, menging treedt op door turbulente diffusie.

Bij storm treden beide verschijnselen op.

De uitkomst dat de uitwisseling 's zomers groter zou zijn dan 's winters lijkt bijzonder onwaarschijnlijk. Het rekenresultaat kan daarom alleen een indicatie zijn voor de grootte die  $V_u$  kan aannemen.  $V_u$  hoeft ook niet altijd constant te zijn maar kan van seizoen op seizoen verschillen.

Een oorzaak voor dit berekende verschil in uitwisseling 's zomers en 's winters kan liggen in de onnauwkeurigheid van de metingen van zoutinhoud, waterbezwaar en het chloridegehalte daarvan.

Daarom zal onderstaand een schatting gemaakt worden van de grootte van de mogelijke fouten die daarvoor gemaakt worden.

V. Schatting van fouten.

Fouten kunnen worden gemaakt bij:

- a) het bepalen van  $C_{ber}$  (het berekende gemiddelde chloridegehalte van het Markermeer bij afwezigheid van vrije uitwisseling) en
- b) bij het bepalen van  $V_u$ , nodig om  $C_{ber}$  gelijk aan  $C_{gem}$  (het gemeten chloridegehalte van het Markermeer) te doen zijn.

Bij de berekeningen ad a) kunnen de volgende grootheden verkeerd bepaald zijn:

Tabel 6: overzicht geschatte fouten.

Grootheid	Redelijk te verwachten afwijking
$C_o$	+ 5%
$V_o$	0 à -2%
$V_1$	0 à -2%
$Q_i$	+ 10%
$C_i$	+ 5%
$C_{ky}$	+ 5%
$Q_{ky}$	+ 10%

$V_o$  en  $V_1$  kunnen te hoog geschat zijn. Door de heersende westelijke winden kan het peil van het Markermeer iets lager geweest zijn dan dat van het gehele IJsselmeer. Dit is een systematische fout, waaroverheen nog een toevallige fout mogelijk is. Vandaar dat voor  $V_o$  en  $V_1$  de afwijkingen niet symmetrisch ten opzichte van 0% zijn gesteld.

Het is niet erg aannemelijk dat de fouten in  $V_o$  en  $V_1$  onderling veel verschillen. In het volgende zijn ze aan elkaar gelijk gesteld.

$Q_i$  en  $Q_{ky}$  kunnen wel onafhankelijk van elkaar afwijkingen vertonen daar  $Q_{ky}$  ook (als sluitpost) afhankelijk is van de niet in de formule voorkomende  $Q_u$ . Het meeste effect hebben echter gelijk gerichte fouten.

Een vrij grote onzekerheid vormt het chloridegehalte van het door het Noordzeekanaal geloosde en ingelaten water. Volgens het "onderzoek naar het chloridegehalte van het oppervlaktewater in de provincie Noord-Holland"

(Provinciale Waterstaat van Noord-Holland 1973), heeft het Binnen IJ in de jaren 69-73 's zomers een gemiddeld chloridegehalte gehad van circa 1.000 mg/l en in de winters van '68/'69 - '73/'74 een gemiddeld gehalte van circa 1.450 mg/l.

Deze gehalten zouden dus aan de lozingen kunnen worden toegekend. Het aan het Noordzeekanaal te Schellingwoude ingelaten water heeft, door de lozingen van zout water, echter een hoog chloridegehalte vergeleken met het gemiddeld chloridegehalte van het Markermeer. Een deel van het geloosde zoute water wordt dus weer door het Noordzeekanaal ingenomen. Volgens het bovengenoemde "onderzoek" zijn de chloridegehalten van het Buiten IJ - water in dezelfde zomers en winters gemiddeld circa 400 respectievelijk circa 900 mg/l geweest. Deze gehalten kunnen echter niet worden toegekend aan het door het Noordzeekanaal ingelaten water daar deze gehalten zeer grote schommelingen vertoonden. Tijdens perioden waarin hoofdzakelijk ingelaten werd, was het gehalte vrijwel gelijk aan het gehalte van het IJmeer, tijdens perioden waarin lozingen en inlatingen elkaar vrij snel afwisselden, was het gehalte hoger. Het ingelaten water zal 's winters een hoger chloridegehalte hebben gehad dan 's zomers daar 's winters meer door het Noordzeekanaal geloosd is dan 's zomers (ongeveer 3 x zoveel). In het zomerhalfjaar zal het gemiddelde chloridegehalte niet zoveel hoger hebben gelegen dan het gemiddelde gehalte van het Markermeer. Wordt aan het door het Noordzeekanaal ingenomen water een chloridegehalte toegekend gelijk aan het gemiddelde van het Markermeer, dan moet vooral 's winters een reductie toegepast worden op het door het Noordzeekanaal geloosde water. In bovenstaande berekeningen is aan het geloosde water, 's zomers zowel als 's winters, een chloridegehalte van 1.000 mg/l toegekend, terwijl het ingenomen water in de berekeningen een gehalte heeft gekregen gelijk aan dat van het Markermeer. Een betere schatting zou waarschijnlijk mogelijk zijn. Dit vergt echter een minutieus onderzoek van de op het Buiten IJ gemeten chloridegehalten, met bovendien ook weer aannames daar de meting van het

gehalte op circa 4 km van het inlaatpunt is gedaan, bij de overgang naar het open gedeelte van het IJmeer (Hoek van 't IJ). Zou dit "netto" chloridegehalte zomers bijvoorbeeld echter niet 1.000, maar bijvoorbeeld 500 mg/l zijn dan betekent dat een fout van circa 7% in de groote van  $C_i Q_i$ , alleen al hierdoor. In dat geval zou de totale fout in  $C_i Q_i$  wellicht groter zijn dan 10%. Ook in de winter is zo wellicht een vrij grote bijdrage aan de totale fout mogelijk. Zijn voor zomer en winter de bijdragen aan de fout tegengesteld van teken (zomers een te hoge schatting, 's winters een te lage schatting) dan kan dat een van de oorzaken zijn dat 's zomers een hogere uitwisseling wordt berekend dan 's winters.

Gezien de aard van de gebruikte formule (5) in paragraaf 3 en de grootte van de diverse termen overheerst een fout van 5% in  $C_o$  de andere fouten. Bovendien werken fouten in de andere grootheden elkaar tegen, zodat het redelijk lijkt alleen van een variatie in  $C_o$  uit te gaan. Dit betekent dat in  $C_o$ ,  $C_t$  en daarmee in  $C_{ber}$  een fout van circa 5% verwacht mag worden.

De doorwerking van fouten in de berekening van  $V_u$  is het eenvoudigst na te gaan aan de hand van formule (6). Deze formule is in tweede instantie gebruikt voor het schatten van  $V_u$ . Aangezien de berekende waarden van  $V_u$  met en zonder volledige menging (zie tabel 4) min of meer in een constante factor ten opzichte van elkaar staan wordt eenvoudigheidshalve aangenomen dat deze factor ook geldt bij enige wijzigingen in  $C_{ber}$  enzovoorts. Foute schattingen van  $V_u$  met behulp van (6) kunnen veroorzaakt zijn door foute waarden van  $C_{ber}$ ,  $C_{gem}$  en  $C_{ky}$ . Een fout in  $C_{ber}$  blijkt hoofdzakelijk veroorzaakt te zijn door een fout in  $C_o$  zodat de fouten in de drie genoemde grootheden alle een gevolg zijn van fouten in het meten van het chloridegehalte van het water. Het is daarom zeer onwaarschijnlijk dat deze afwijkingen een verschillend teken hebben.

Weliswaar behoeven deze fouten niet even groot te zijn, maar gelijk gerichte fouten in deze C's werken elkaar tegen. In onderstaande tabel is aangegeven wat  $V_u$  volgens

(6) zou worden als een fout in  $C_{ber}$  2% groter zou zijn dan in  $C_{gem}$  en  $C_{ky}$ . Deze laatsten, die gemiddelde kwartaalcijfers zijn en dus minder gemakkelijk afwijkingen vertonen dan  $C_o$  zijn in dit rekenvoorbeeld van evengrote fouten voorzien. Eenvoudigheidshalve is daarom een 2% grotere fout in  $C_{ber}$  behandeld als een fout van 2% in  $C_{ber}$  en een fout van 0% in  $C_{gem}$  en  $C_{ky}$ .

Tabel 7: Berekende waarden van  $V_u$  bij afwijkingen in  $C_{ber}$

Kwartaal	Afwijking in $C_{ber}$		
	+2%	-2%	0%
1	700	330	530
2	1.300	980	1.150
3	1.420	830	1.200
4	310	-	-
jaartotaal $V_u$	3.730	2.140	2.880

Een fout van 2% in  $C_{ber}$  blijkt een fout van 15 à 35% in de berekende waarden van  $V_u$  voor de verschillende kwartalen te veroorzaken.

Voor het jaar gemiddelde is dat circa 30%, dus circa 15% per procent afwijking in  $C_{ber}$  en daarmee in  $C_o$ , of beter gesteld per iedere procent die  $C_{ber}$  (en  $C_o$ ) fouter is geschat dan  $C_{gem}$  en  $C_{ky}$ .

Er is nog een foutenbron die niet is onderzocht. Aangenomen is dat  $V_u$  gelijkmatig over de kwartalen verdeeld is. Daar de uitwisseling door wind en storm veroorzaakt wordt is dat niet het geval. Dit kan een foute schatting geven van het chloridegehalte van het uit het Kleine IJsselmeer afkomstige water. De gevolgen van een fout in  $C_{ky}$  is op dezelfde wijze als hierboven te onderzoeken. Voor een afwijking van  $\pm 5\%$  in  $C_{ky}$  is  $V_u$  voor ieder kwartaal weer berekend.



Tabel 8: Berekende waarden van  $V_u$  bij afwijkingen in  $C_{ky}$

Kwartaal	Afwijking in $C_{ky}$		
	+5%	-5%	0%
1	700	470	530
2	1.500	940	1.150
3	2.100	830	1.200
4	0	0	0
Jaartotaal	5.300	2.240	2.880

De afwijkingen in  $V_u$  zijn nu in dezelfde orde van grootte als in het vorige geval behalve in kwartaal 3 (75%), wat veroorzaakt wordt door het dan zeer kleine verschil tussen  $C_{ber}$  en  $C_{ky}$ .

Concluderend kan worden gesteld dat zowel door fouten in de schatting van  $C_o$  als van  $C_{ky}$  in het uitwisselingsdebiet fouten van enige tientallen procenten (positief of negatief) kunnen voorkomen.

Hierbij is aangenomen dat het effect van fouten even groot is op de  $V_u$  berekend onder aanname van volledige menging als onder aanname van vervanging van watermassa's (zie paragraaf 3, tabel 4).

Een van de aanleidingen tot bovenstaande foutendiscussie was de uitkomst dat de uitwisseling 's zomers groter zou zijn dan 's winters. Ook bij de bovenbehandelde foutencombinaties blijkt dit nog steeds zo te zijn. Alleen bij een combinatie van beide typen fouten (in  $C_{ber}$  en in  $C_{ky}$ ) zou dit anders kunnen zijn, namelijk wanneer beide typen fouten van belang zijn, maar in zomer- en winterhalfjaar van teken verschillen. Dit zou kunnen als de uitwisseling vooral geconcentreerd is in een aantal perioden (maanden) waarin  $C_{ber}$  en  $C_{ky}$  zich anders tot elkaar verhouden dan in de berekening is aangehouden. De uitwisseling is het meest effectief als  $C_{ber}$  en  $C_{ky}$  de grootste verschillen vertonen. Voor  $C_{ber}$  zou daarom niet de kwartaalgemiddel-

den van  $C_t$  (het chloridegehalte aan het eind van iedere berekeningsstap) moeten worden gebruikt, maar het continue verloop over de tijd. Dit zou een opsplitsen van het jaar in veel kortere perioden (bijvoorbeeld een maand in plaats van kwartalen) inhouden.

## VI. Interpretatie-2 en slotopmerkingen.

Vanwege de discrepantie tussen het berekende en het gemeten chloridegehalte in het Markermeer moet worden aangenomen dat er uitwisseling van watermassa's tussen beide meren plaatsvindt.

Het blijkt echter zeer moeilijk een redelijke schatting te krijgen van de hoeveelheden waar het daarbij om gaat. Bovendien is de verkregen schatting een gemiddelde van de jaren 1969-1974 en kan op grond van de uitgevoerde berekeningen geen schatting worden gemaakt van de spreiding over de verschillende jaren.

Als uitwisseling zowel mogelijk is via "menging" als door "vervanging" zouden volgens de berekeningen uitwisselingsdebieten tussen circa  $2 \cdot 10^9$  en  $13 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> per jaar mogelijk zijn.

Leveren beide mechanismen een even grote bijdrage tot het niveleren van de verschillen in chloridegehalten van Markermeer en Kleine IJsselmeer, dan kan een uitwisseling van  $3 \text{ à } 9 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/jaar verwacht worden.

Om te bezien of deze debieten fysisch mogelijk zijn kan worden nagegaan welke gemiddelde snelheden daarvoor nodig zijn. Is, gesommeerd, gedurende de ene helft van het jaar het natte profiel tussen Enkhuizen en Lelystad beschikbaar voor het water dat het Markermeer binnenstroomt en eveneens gesommeerd een tweede halfjaar per jaar dat natte profiel beschikbaar voor het uitstromende water, dan zijn voor de genoemde uitwisselingsdebieten gemiddelde snelheden loodrecht op dat natte profiel benodigd van  $0,2 \text{ à } 0,6$  cm/s. De gemiddelde snelheid op het IJsselmeer is naar schatting  $5 \text{ à } 10$  cm/s. Deze stroomsnelheden op het natte profiel Lelystad-Enkhuizen zijn echter niet altijd loodrecht op dat profiel. Wordt aangenomen dat alle stroomrichtingen een gelijke kans van voorkomen hebben, dan zijn de gemiddelde stroomsnelheden loodrecht op het natte profiel circa 60% van de genoemde  $5 \text{ à } 10$  cm/s, dus  $3 \text{ à } 6$  cm per seconde. Is deze snelheid  $5$  cm/s, dan zou van iedere hoeveelheid water die, door op- en afwaaiingen of door driftstromingen, vanuit het Kleine IJsselmeer het Markermeer binnenkomt, alvorens deze watermassa terugvloeit in het Kleine IJsselmeer,  $4 \text{ à } 12\%$  in het Markermeer achterblijven en

vervangen worden door water dat al in het Markermeer aanwezig was.

Op grond van deze cijfers kan gesteld worden dat de genoemde uitwisselingsdebieten van 3 à 9  $\cdot 10^9$  m<sup>3</sup> per jaar zeker als fysisch mogelijk moeten worden beschouwd.

Bijlage 1.

Waterbalans Markermeer per kwartaal en toevoer chloride (tussen de haakjes).

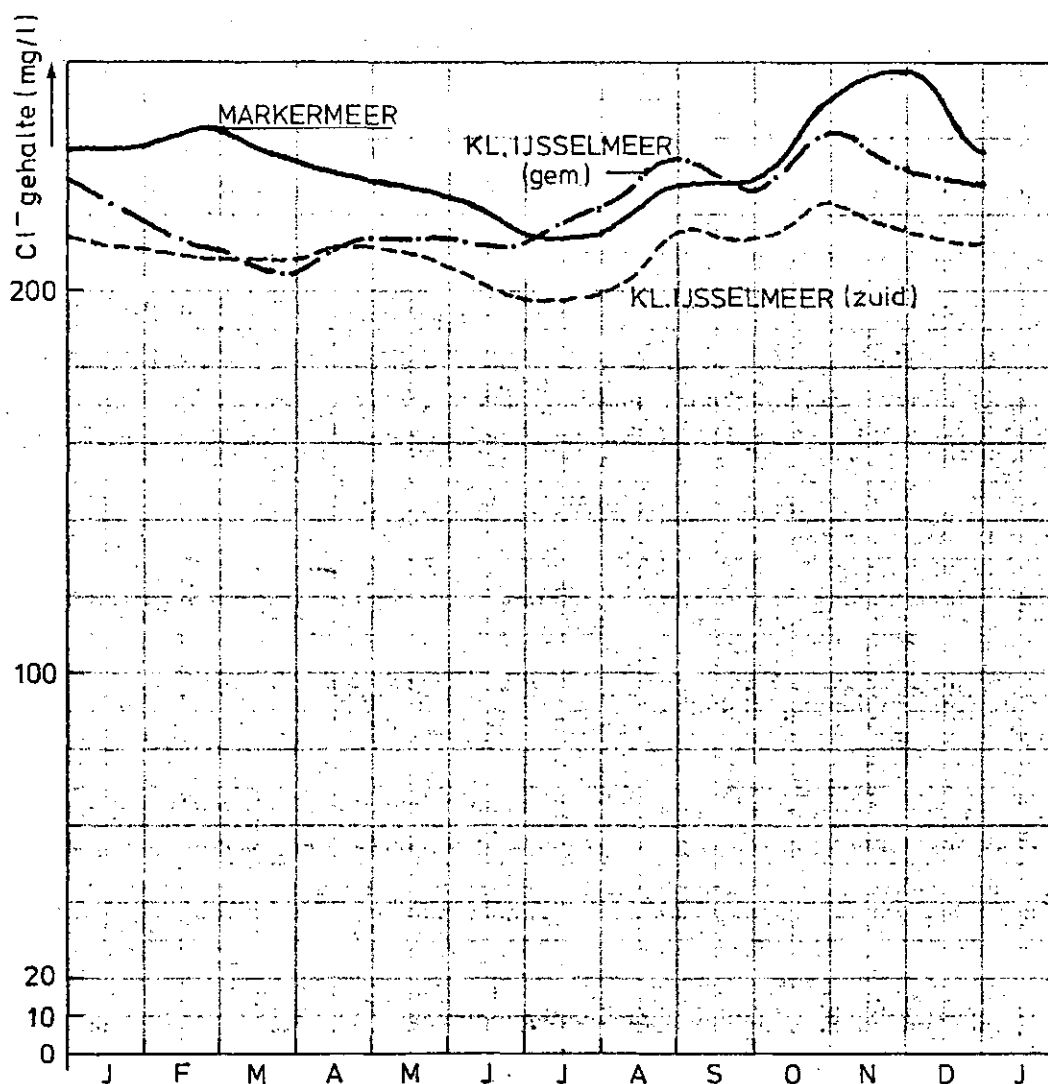
(gemiddelden van de jaren 1969 tot en met 1974)

eenheden:  $10^6$  m<sup>3</sup> en  $10^6$  kg.

Kwartaal	1	2	3	4
<u>toevoer:</u>				
Schermerboezem	+ 11 (3)	+ 4 (1)	+ 2 (1)	+ 15 (5)
Noordzeekanaal	+ 37 (37)	+ 12 (12)	+ 43 (43)	+122 (122)
Afvalwater Amsterdam	+ 9 (12)	+ 9 (12)	+ 9 (12)	+ 9 (12)
Flevoland	+130 (66)	+ 82 (51)	+ 83 (51)	+144 (51)
Overige lo- zingen	+155 (40)	+ 84 (20)	+ 84 (20)	+202 (45)
Neerslag	+105	+110	+170	+155
Verdamping	- 25	-210	-230	- 35
<u>onttrekking</u>				
Schermerboezem	- 52	-149	-160	- 58
Noordzeekanaal	-196	-251	-161	-121
Flevoland	- 5	- 5	- 5	- 5
<u>IJsselmeer:</u>				
toe- of afvoer (sluitpost)	-169	+314 (63)	+165 (34)	-428
peilregeling		+ 70 (14)		- 70
totaal toevoer	+422 (158)	+475 (173)	+326 (161)	+612 (235)
totaal afvoer	-422	-405	-326	-682

Opmerking: 1. overige lozingen : West-Friesland, Waterland, Vecht en  
Hollandse brug.

2. neerslag en verdamping: bepaald vanuit gemiddelden zomer-  
en winterhalfjaar 1969-1974 (ver-  
deelsleutelverdeling over kwartalen  
als gemiddelde 1932-1966.



KWARTAALGEMIDDELDEN:	1 <sup>e</sup> kw	2 <sup>e</sup> kw	3 <sup>e</sup> kw	4 <sup>e</sup> kw
KLEIN-IJSELMEER (gem.)	216	212	225	234
" " (zuid)	207	203	211	220
MARKERMEER	239	226	223	247

MAANDELIJKS VERLOOP GEMIDDELTE CHLORIDEGEHALTEN IJSELMEER  
1969-1974

GET.	GETALQ.	GEC.	GEZ.	FORMAAT A4	NOTA.ZZWB-N-750022 BIJLAGE 2
DATUM 29-12-'75	29-12-'75			AFD. B	REG.NR. ZZWB-T-750732
PARAAF.					

Bijlage 3.

Berekening chloridegehalte Markermeer zonder uitwisseling met water van Kleine-IJsselmeer.

Kwartaal	stap	$C_o$ kg/m <sup>3</sup>	$V_o$ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	$V_i$ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	$Q_i$ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	$\sum C_i Q_i$ 10 <sup>6</sup> kg	$Q_{ky}$ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	$C_{ky} \cdot Q_{ky}$ 10 <sup>6</sup> kg	$C_t$ kg/m <sup>3</sup>	$C_{ber}$ kg/m <sup>3</sup>	$C_{gem}$ kg/m <sup>3</sup>
1	1	0,237	2410	2410	211	79	-	-	0,248	0,248	0,239
	2	0,248	2410	2410	211	79	-	-	0,258		
2	1	0,234	2410	2485	45	48	227*	47	0,246	0,246	0,226
	2	0,246	2485	2485	45	48	157	32	0,258		
3	1	0,216	2485	2485	80	64	82	17	0,234	0,234	0,223
	2	0,234	2485	2485	80	64	82	17	0,251		
4	1	0,228	2485	2410	306	117	-	-	0,247	0,246	0,247
	2		2410	2410	306	117	-	-	0,263		

\* inclusief 70 voor opzetten van het peil ( met chloridegehalte 0,207 kg/m<sup>3</sup>, d.i. chloridegehalte begin april).

$C_t$  = berekende chloridegehalte Markermeer aan einde van tijdstap.

$C_{ber}$  = berekende kwartaalgemiddelde chloridegehalte Markermeer.

Bijlage 4.

Berekening chloridegehalte Markermeer met uitwisseling

met water van Kleine IJsselmeer.

(3 bladen, blad 1).

Kwartaal	Stap	$C_o$	$V_o$	$V_1$	$Q_i$	$\sum C_i Q_i$	$Q_{ky}$	$C_{ky}$	$Q_{ky}$	$C_t$	$C_{ber}$	$C_{gem}$
1	1	0,237	2410	2410	105	40	200	42	0,241	0,243	0,239	
	2	0,241	2410	2410	105	40	200	42	0,244			
	3	0,244	2410	2410	105	40	200	42	0,247			
	4	0,247	2410	2410	105	40	200	42	0,250			
2	1	0,234	2410	2485	22	24	500	102	0,235	0,236	0,226	
	2	0,235	2485	2485	22	24	500	102	0,236			
	3	0,236	2485	2485	22	24	500	102	0,237			
	4	0,237	2485	2485	22	24	500	102	0,238			
3	1	0,216	2485	2485	40	32	500	104	0,223	0,228	0,223	
	2	0,223	2485	2485	40	32	500	104	0,229			
	3	0,229	2485	2485	40	32	500	104	0,233			
	4	0,233	2485	2485	40	32	500	104	0,237			
4	1	0,228	2485	2410	153	59					0,247	
	2		2410	2410	153	59						
	3		2410	2410	153	59						
	4		2410	2410	153	59						



Bijlage 4. (blad 2).

Kwartaal	Stap	$C_o$	$V_o$	$V_1$	$Q_i$	$C_{i Q_i}$	$Q_{ky}$	$C_{ky Q_{ky}}$	$C_t$	$C_{ber}$	$C_{gem}$
1	1	0,237	2410	2410	105	40	500	103	0,237	0,237	0,239
	2	-	2410	2410	105	40	500	103	-		
	3	-	2410	2410	105	40	500	103	-		
	4	-	2410	2410	105	40	500	103	-		
2	1	0,234	2410	2485	22	24	1000	205	0,231	0,229	0,226
	2	0,231	2485	2485	22	24	1000	205	0,229		
	3	0,229	2485	2485	22	24	1000	205	0,227		
	4	0,227	2485	2485	22	24	1000	205	0,226		
3	1	0,216	2485	2485	40	32	1000	208	0,221	0,223	0,223
	2	0,221	2485	2485	40	32	1000	208	0,224		
	3	0,224	2485	2485	40	32	1000	208	0,226		
	4	0,226	2485	2485	40	32	1000	208	0,228		
4	1	0,228	2485	2410	153	59					
	2		2410	2410	153	59					
	3		2410	2410	153	59					
	4		2410	2410	153	59					

Bijlage 4. (blad 3).

Kwartaal	Stap	$C_0$	$V_0$	$V_1$	$Q_1$	$\sum C_i Q_i$	$Q_{ky}$	$C_{ky} Q_{ky}$	$C_t$	$C_{ber}$	$C_{gem}$
	1	0,237	2410	2410	105	40					
	2		2410	2410	105	40					
	3		2410	2410	105	40					
	4		2410	2410	105	40					
	1	0,234	2410	2485	22	24	1250	257	0,229		
	2	0,229	2485	2485	22	24	1250	257	0,226	0,227	0,226
	3	0,226	2485	2485	22	24	1250	257	0,224		
	4	0,224	2485	2485	22	24	1250	257	0,223		
	1	0,216	2485	2485	40	32					
	2		2485	2485	40	32					
	3		2485	2485	40	32					
	4		2485	2485	40	32					
	1	0,228	2485	2410	153	59					
	2		2410	2410	153	59					
	3		2410	2410	153	59					
	4		2410	2410	153	59					