



Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Flevoland

Verspreiding van verontreinigingen
naar het grondwater voor slibdepots
in het Ketelmeergebied

Variant berekeningen voor de voorkeurlokatie Epb

Januari 1994

Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied

Variant berekeningen voor de voorkeurlocatie Epb

N.M. de Rooij, K. Maiwald en H.J. Gerrits



Inhoud

	Vooraf	iii
	Samenvatting	iv
1	Werkwijze	1 – 1
	1.1 Inleiding	1 – 1
	1.2 Beschouwde varianten	1 – 2
	1.3 Aanpak	1 – 4
	1.4 Vertaling varianten naar modelinvoer	1 – 4
2	Driedimensionale berekeningen grondwaterkwaliteit	2 – 1
	2.1 Inleiding	2 – 1
	2.2 Schematisatie en modelparameters	2 – 1
	2.3 Grondwaterstroming rond depot	2 – 3
	2.4 Herziening berekeningen, uitgewerkt voor variant 3	2 – 4
	2.5 Conclusies	2 – 8
3	Kwaliteitsberekeningen	3 – 1
	3.1 Inleiding	3 – 1
	3.2 Invoerparameters	3 – 2
	3.3 Toelichting berekeningsmethodiek	3 – 3
	3.4 Consolidatie van een doorsnede depot	3 – 6
	3.5 Ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging	3 – 11
	3.6 Berekeningsresultaten	3 – 13

3.7	Kwantificering fluxen volumina voor B(a)P, Flua, PCB-28 en gamma-HCH	3 — 17
3.7.1	Inleiding	3 — 17
3.7.2	Fluxen	3 — 19
3.7.3	Normoverschreidende volumina	3 — 20
3.8	Conclusies	3 — 23
4	Literatuur	4 — 1
Bijlage A	Hydrologische schematisaties	A — 1
Bijlage B	Resultaten chemische berekeningen	B — 1
Bijlage C	Aanwijzingen bij het animatieprogramma	C — 1
Bijlage D	Discussie resultaten DCB, B(a)P, flua, PCB-28 en gamma-HCH mbt de fluxen naar het grondwater zoals berekend voor het depot met peilbeheersing en het depot met peilbeheersing en isolatie	D — 1

Figuren

Vooraf

Dit rapport bevat de resultaten van de berekeningen die door het WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM zijn uitgevoerd in kader van de tweede fase van de MER-studie voor het slibdepot in het Ketelmeergebied. De berekeningen zijn uitgevoerd in opdracht van RWS, directie Flevoland, in samenwerking met de ingenieursbureaucombinatie DHV en WITTEVEEN+BOS. Dit definitieve rapport is samengesteld uit de concept rapporten 'Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied; variantberekeningen voor de voorkeurslokatie EPB', 'Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied; aanvullende berekeningen voor de voorkeurslokatie Epb' en de notitie 'Aanvulling op verspreidingsberekeningen Ketelmeer'.

De hydrologische berekeningen zijn uitgevoerd door Ir. K. Maiwald. De chemische verspreidingsberekeningen en de berekeningen met het hydrologische model SFYNX zijn uitgevoerd door Drs. N.M. de Rooij (tevens projectleider) en Ir. H.J. Gerrits. De rapportage is uitgevoerd door Ir. H.J. Gerrits. Technische en inhoudelijke screening is uitgevoerd door Ir. P.S. Grashoff.

Het rapport is opgesteld als een technisch rapport omdat het doel van de berekeningen is om getalswaarden voor een MER-procedure te leveren. Voorin het rapport is een samenvatting opgenomen. De conclusies staan achter de betreffende hoofdstukken vermeld.

Samenvatting

In het kader van de tweede fase van de MER-studie voor het slibdepot in het Ketelmeergebied zijn voor de voorkeurslokatie Epb dertien inrichtingsvarianten doorgerekend, waarbij voor de varianten 3 en 13 drie verschillende sub-varianten zijn beschouwd. De berekeningen zijn voor een groot deel gebaseerd op eerder uitgevoerde studies. Uit de berekeningsresultaten zijn de voor de MER-studie benodigde gegevens afgeleid.

De berekeningen zijn uitgevoerd met een nieuwe werkwijze die bestaat uit een combinatie van tweedimensionale en driedimensionale berekeningen. Hierdoor is het mogelijk het diffusief transport optimaal te modelleren. De berekeningen dekken de volgende variatie: enkelvoudig/dubbel depot, ondiep/diep, ongeïsoleerd/geïsoleerd, folie/bitumen/klei-isolatie, vulscenario A/vulscenario B, positie binnen de voorkeurslokatie. Voor de ligging van de lokaties wordt naar Figuur 1-4 verwezen.

De met het hydrologische model MODFLOW uitgevoerde driedimensionale kwantiteitsberekeningen zijn gebaseerd op het reeds bestaande hydrologische model. Bij dit model zijn de modelranden voor stroming geopend, en is het rekengrid verfijnd. De weerstand van de doorgerekende varianten is gebaseerd op de door DHV met het consolidatiemodel FSCONBAG berekende weerstanden. Voor de taluds is een andere weerstand gebruikt dan voor het centrale deel van het depot.

Onder het depot treedt een westelijke stroming op. Ten westen van het depot splitst de stroming in noordwestelijke en zuidwestelijke richting. Uiteindelijk zal een deel van het water dat onder het depot is doorgestroomd ten noordwesten van het depot in de Noordoostpolder, en ten zuidwesten van het depot in de Flevopolder opkwellen.

Gebaseerd op de resultaten van de driedimensionale berekening zijn een aantal gedetailleerde tweedimensionale modellen opgesteld. Met behulp van deze modellen is de verontreinigingsflux uit de verschillende delen van het depot berekend. De berekende verontreinigingsfluxen zijn na een conversie overgebracht in het driedimensionale model. Vervolgens is de driedimensionale berekening uitgevoerd. In feite is met het tweedimensionale model dus de concentratie-randvoorwaarde voor het driedimensionale model gecreëerd.

Er zijn voor een periode van 1000 jaar consolidatieberekeningen uitgevoerd, bij verschillende consolidatiescenario's. Uit deze berekeningen blijkt dat de consolidatie niet verwaarloosd mag worden indien de berekeningen betrekking hebben op de korte termijn (500 jaar). Op de langere termijn speelt de consolidatie een ondergeschikte rol, en leidt de onzekerheid die bestaat rond de waarde van de diffusiecoëfficiënt tot grotere afwijkingen.

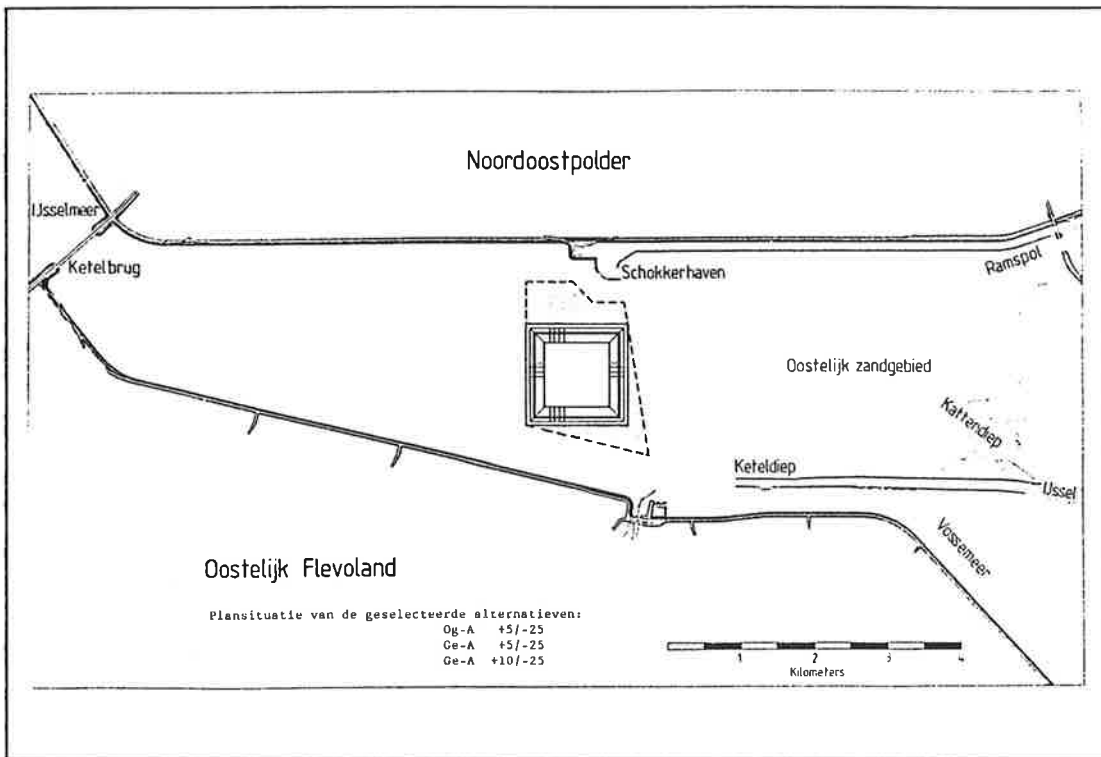
De volgende resultaten zijn na 250, 2500, 5000, 10000 en 25000 jaar berekend:

- de maximale dichloorbenzeen (DCB) concentratie in het kwelgebied;
- de gemiddelde dichloorbenzeen concentratie in het verontreinigde deel van de deklaag in het kwelgebied;
- het volume van het tot boven de streefwaarde voor grondwater verontreinigde deel van de deklaag in het kwelgebied;
- de maximale dichloorbenzeen concentratie in het watervoerend pakket;
- de gemiddelde dichloorbenzeen concentratie in het verontreinigde deel van het watervoerend pakket;
- het volume van het tot boven de streefwaarde voor grondwater verontreinigde deel van het watervoerend pakket;
- de dichloorbenzeen-flux uit het depot;
- de dichloorbenzeen-flux uit de verschillende delen van het depot.

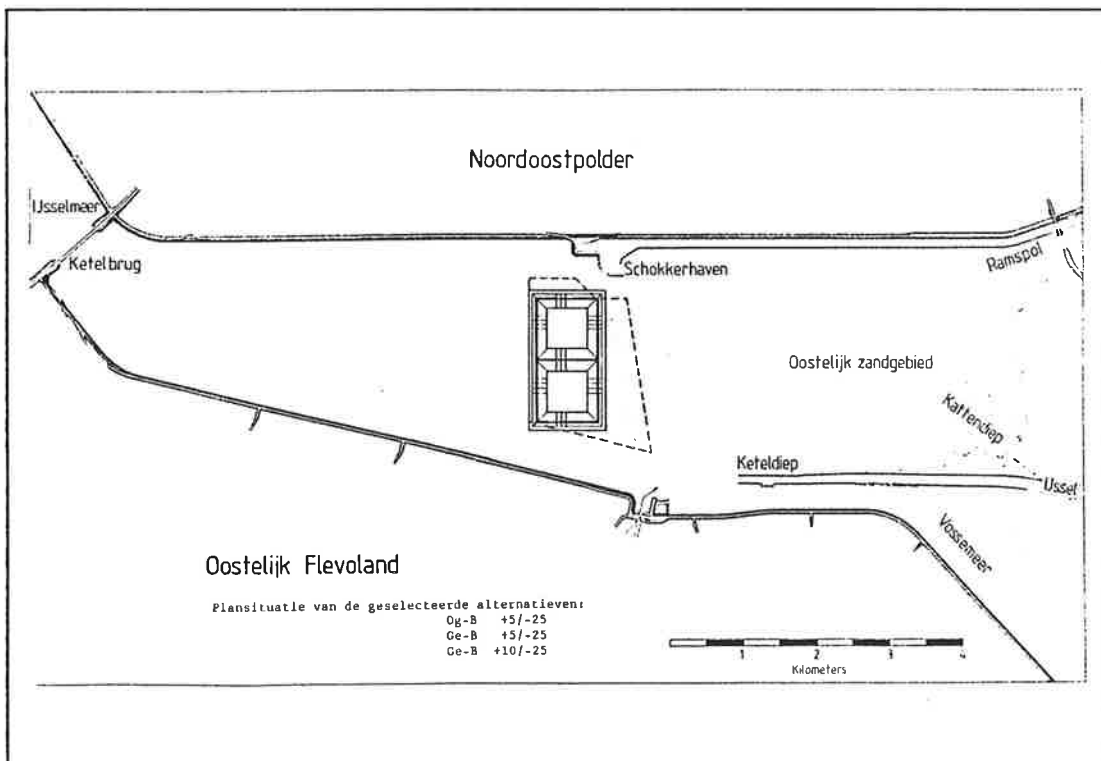
De verontreiniging zal zich uit het depot voornamelijk via het tweede watervoerende pakket in noordwestelijke en zuidwestelijke richting verspreiden. Na verloop van tijd ontstaat in de Noordoostpolder en in de Flevopolder een verontreinigd kwelgebied. Ter illustratie is bij het rapport een computeranimatie van de verspreiding gevoegd.

De voornaamste conclusies die uit de verspreidingsberekeningen getrokken kunnen worden zijn:

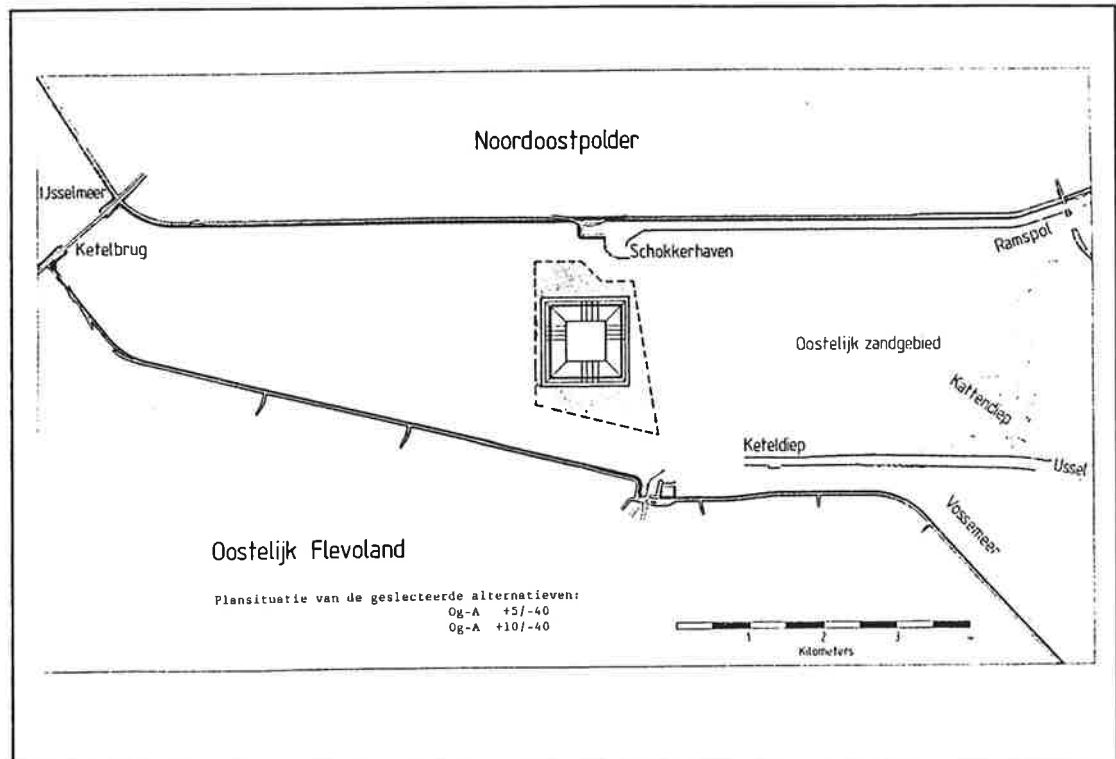
- Bij een hogere verontreinigingsflux uit het depot zal een groter volume van het watervoerende pakket en de deklaag verontreinigd worden, waarbij hogere concentraties optreden.
- De flux uit een ondiepe, dunne variant zal hoger zijn dan die uit een diepe, dikke variant indien het potentiaalverschil over de varianten hetzelfde is.
- De flux uit een dubbele variant is groter dan die uit een enkelvoudige variant van gelijke dikte, omdat de dubbele variant een relatief groter talud heeft.
- De flux uit de taluds is initieel hoger dan die uit het centrale deel van het depot, maar de taluds zijn sneller uitgeloofd dan de rest van het depot.
- Als het depot dicht bij de dijk van de Noordoostpolder gesitueerd wordt, zal de verontreiniging sneller het kwelgebied bereiken, waarbij hogere concentraties optreden. Het verontreinigde volume van het watervoerende pakket is evenwel lager.
- Bij peilbeheersing daalt de flux uit het depot behoorlijk.
- Bij peilbeheersing in combinatie met isolerende maatregelen daalt de flux uit het depot sterk. Een diffusieremmende isolatielaag is hierbij effectiever dan een klei-isolatie.
- Bij de beperking van de flux uit het depot is isolatie met een kleilaag een effectievere maatregel dan peilbeheersing.



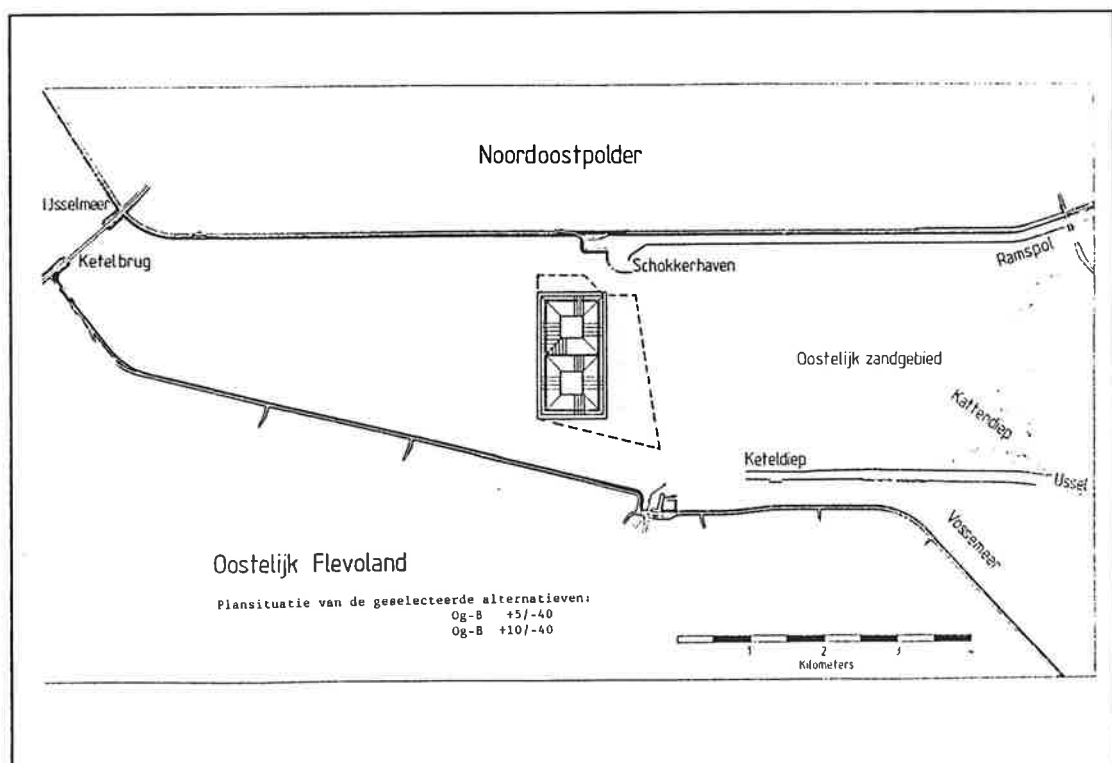
Figuur 1 Ligging van de ondiepe, enkelvoudige varianten (uit: Ingenieursbureaucombinatie, 1992)



Figuur 2 Ligging van de ondiepe, dubbele varianten (uit: Ingenieursbureaucombinatie, 1992)



Figuur 3 Ligging van de diepe, enkelvoudige varianten (uit: Ingenieursbureaucombinatie, 1992)



Figuur 4 Ligging van de diepe, dubbele varianten (uit: Ingenieursbureaucombinatie, 1992)

1 Werkwijze

1.1 Inleiding

De waterbodem van het Ketelmeer is verontreinigd met zware metalen en organische verontreinigingen. Omdat deze verontreinigingen een mogelijke bedreiging vormen voor de oppervlaktewater- en grondwaterkwaliteit, wordt bestudeerd of het mogelijk en zinvol is de verontreinigde bodem uit het Ketelmeer te verwijderen. De hierbij vrijkomende specie zal in een slibdepot geborgen worden.

Voorliggend rapport geeft de resultaten van een studie die met behulp van de modellen MODFLOW, SFYNXZ en STYXZ is uitgevoerd naar het effect van de berging van specie in een aantal varianten op één lokatie (Epb). Deze studie is de tweede fase van de MER-studie die wordt uitgevoerd in het kader van de aanleg van een speciedepot in het Ketelmeergebied. In de eerste fase van deze studie zijn een groot aantal varianten en lokaties doorgerekend. Het doel van deze fase was de selectie van de meest belovende depotlokatie. Voor de inmiddels gekozen lokatie (Epb) worden in de tweede fase een groot aantal inrichtingsvarianten doorgerekend. Voor de achterliggende keuzen en ideeën wordt verwezen naar het rapport van de COMBINATIE 'Studie ten behoeve van de MER/projectnota voor de baggerspeciebergingslokatie Ketelmeergebied'.

Er zijn inmiddels een aantal studies voor het grondwater in het Ketelmeergebied uitgevoerd. Veel data, werkwijzen en modelbeschrijvingen zijn inmiddels in de rapportages van deze studies opgenomen, zodat in voorliggende rapportage slechts een beknopt overzicht hiervan is opgenomen. Voor uitvoeriger informatie wordt naar de volgende rapportages verwezen:

- **Modellering grondwaterkwaliteit Ketelmeer (T600)**
In deze studie wordt beschreven hoe de huidige waterbodem de grondwaterkwaliteit beïnvloed, en wat het effect is van een gedeeltelijke sanering van deze waterbodem. Doel van de studie was de kwantificering van de 'nulsituatie', en van het effect van de saneringen.
- **Modellering grondwaterkwaliteit Ketelmeer; aanvullende berekeningen (T927)**
In deze studie zijn de nulsituatie en een aantal saneringsvarianten voor dichloorbenzeen (DCB) gekwantificeerd.
- **Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied (T841)**
In deze studie wordt de invloed op de grondwaterkwaliteit van een aantal verschillende varianten (ondiepe/diep) op een aantal lokaties (land, voorland, diverse eilanden) beschreven. Deze studie vormt de basis voor de fase 1 van de MER, met als doel het geven van een voorkeursvolgorde voor de verschillende varianten en lokaties.
- **Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied; aanvullende berekeningen (T1121)**
In deze studie worden enkele nieuwe lokaties doorgerekend, in het kader van de eerste fase van de MER-studie.

Vergelijkbare berekeningen zijn voor een depot in het Hollandsch Diep en in de provincie Limburg uitgevoerd.

Het rapport is uit een hydrologisch (kwantiteit) en een chemisch (kwaliteit) deel opgebouwd. In het hydrologische gedeelte wordt beschreven hoe de waterstroming in- en rond het depot is gemodelleerd (hoofdstuk 2). In het chemische gedeelte worden de concentraties in het systeem en de uitloging van de verschillende varianten berekend (hoofdstuk 3). Een deel van de algemene aannamen en uitgangspunten is in hoofdstuk 1 opgenomen.

1.2 Beschouwde varianten

Bij de doorgerekende varianten is de volgende variatie aanwezig, met tussen haakjes de codering van de variant:

- enkel of dubbel depot (1/2);
- ondiep (NAP -25m) en klein of diep (NAP -40m) en groter;
- al- of niet geïsoleerd (GE/Og);
- geïsoleerd met folie, bitumen of klei (f/b/k);
- met of zonder peilbeheersing (p);
- vulscenario A of vulscenario B (A/B);
- positie binnen de voorkeurslokatie.

De verschillende varianten zijn in Tabel 1.1. gegeven.

In principe is voor elke variant de stationaire situatie beschouwd, waarbij de specie dus geheel geconsolideerd is. Deze situatie zal echter pas na ongeveer 100-200 jaar intreden. De periode waarin de consolidatie optreedt, wordt zodoende dus verwaarloosd. Om toch een indruk te krijgen van de stoffluxen die gedurende de consolidatieperiode optreden zijn een aantal 'consolidatiescenario's' doorgerekend.

Tabel 1.1 Overzicht van de opbouw van de beschouwde varianten

Variant	codering	isola- tie	peil-be- heersing	vul- scenario	depot- vorm	diepte (NAP)
variant 1	Og-A(1; +5/-25)	geen	geen	A	enkel- voudig	+5 : -25
variant 2	Og-A(1; +5/-40)	geen	geen	A	enkel- voudig	+5 : -40
variant 3	Og-A(1; +10/-40)	geen	geen	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 3 B	Og-A(1; +10/-40)	geen	geen	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 3 C	Og-A(1; +10/-40)	geen	wel	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 3 D	Og-A(1; +10/-40)	RC= 3	wel	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 4	Og-B(2; +5/-25)	geen	geen	B	dubbel	+5 : -25
variant 5	Og-B(2; +5/-40)	geen	geen	B	dubbel	+5 : -40
variant 6	Og-B(2; +5/-40)	geen	geen	B	dubbel	+5 : -40
variant 7	Ge-B(2; +5/-25)p	geen	wel	B	dubbel	+5 : -25
variant 8	Ge-B(2; +5/-25)fp	folie	wel	B	dubbel	+5 : -25
variant 9	Ge-B(2; +5/- 25)kp	klei- laag	wel	B	dubbel	+5 : -25
variant 10	Ge-B(2; +5/- 25)bp	'bitu- men'	wel	B	dubbel	+5 : -25
variant 11	Ge-A(2; +5/- 25)bp	'bitu- men'	wel	A	dubbel	+5 : -25
variant 12	Og-B(2; +5/-40)	geen	geen	B	dubbel	+5 : -40
variant 13 B	Og-A(1; +10/- 40)vl	geen	geen	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 13 C	Og-A(1; +10/- 40)vl	geen	wel	A	enkel- voudig	+10 : -40
variant 13 D	Og-A(1; +10/- 40)vl	RC= 3	wel	A	enkel- voudig	+10 : -40

1.3 Aanpak

Bij de berekeningen is een vernieuwde werkwijze gehanteerd, waarvoor het gebruikelijke modelinstrument (MODFLOW-STYXZ) is uitgebreid met het tweedimensionale grondwaterkwantiteitsmodel SFYNXZ. Met dit model kan de stroming door het depot gedetailleerd worden berekend. Met deze berekening kan vervolgens met STYXZ een gedetailleerde kwaliteitsberekening worden uitgevoerd, waarbij de diffusie veel beter wordt gemodelleerd dan bij het driedimensionale model.

De nieuwe werkwijze verloopt als volgt:

1. Met MODFLOW wordt een driedimensionaal (regionaal) model opgezet, waarbij op de juiste lokatie een depot in het model wordt aangebracht. Vervolgens wordt de grondwaterstroming in het model berekend.
2. Uit de resultaten van de berekening met MODFLOW wordt voor een oost-west raai, die midden over het depot loopt, de stijghoogte en de hydraulische weerstand afgelezen.
3. De weerstanden en stijghoogten worden vervolgens in het tweedimensionale (lokale) hydrologische model SFYNXZ gebruikt. Voorts wordt het depot en de ondergrond zeer gedetailleerd geschematiseerd, met laagdikten tot een orde grootte van decimeters. Met dit model wordt een nieuwe tweedimensionale grondwaterstroming berekend.
4. Met de lokale grondwaterstroming wordt vervolgens met STYXZ een gedetailleerde verspreidingsberekening uitgevoerd, waarbij ook het diffusief transport correct wordt gemodelleerd. Uit de resultaten van deze berekening wordt het verloop van de flux in de tijd uit de verschillende onderdelen van het depot (taluds, bodem) naar het onderliggende watervoerende pakket berekend.
5. Nu wordt een berekening met STYXZ uitgevoerd met het regionale driedimensionale model. Hierbij wordt ter plekke van het depot de met het tweedimensionale model berekende flux tijdsafhankelijk ingevoerd.
6. Vervolgens wordt een analyse uitgevoerd van het resultaat van de driedimensionale berekening, waarbij de data voor de MER-studie worden geproduceerd.

Voor een uitvoeriger beschrijving van de bij deze aanpak gebruikte conversiefactoren wordt naar de paragraaf 3.3 verwezen.

1.4 Vertaling varianten naar modelinvoer

De verschillende varianten zijn op de volgende wijze vertaald in modelinvoer:

Diepte

Het verschil in diepte (25 of 40 meter) is bij de schematisatie van het depot ten bate van de kwantiteitsberekeningen verdisconteerd. Het depot bevindt zich altijd in de lagen 1-3, maar het onderliggende watervoerende pakket (laag 4-6) is bij de 40 meter diepe variant 15 m minder dik genomen dan bij de 25 meter diepe variant.

Peilbeheersing

Peilbeheersing is in de hydrologische berekeningen verwerkt door de stijghoogte aan de bovenzijde van het depot gelijk te maken aan die aan de onderzijde van het depot. Hierdoor zal er (vrijwel) geen stroming door het depot optreden.

Isolatie

Omdat isolatie altijd in combinatie met peilbeheersing wordt toegepast, is bij de hydrologische berekening geen rekening gehouden met isolatie. De stroming, die vrijwel nul is, zal hierdoor niet beïnvloed worden.

In de chemische berekeningen zijn de isolatiematerialen als volgt meegenomen:

- Folie:** Gezien de verwachte korte levensduur van de folie (50 jaar) is in de verspreidingsberekeningen aangenomen dat de folie geen invloed op de verspreiding heeft, en is deze dus niet meegenomen in de berekeningen.
- Bitumen:** Voor de bitumenlaag wordt een veel langere levensduur verwacht zodat deze wel in de chemische berekeningen is meegenomen. De diffusieremming die voor de bitumenlaag verwacht wordt is in het model opgenomen door de diffusielengte tussen depot en watervoerend pakket met 10 meter te vergroten (dit is hetzelfde als het invoeren van een RC-waarde van 3.0). Hierdoor wordt de concentratiegradiënt tussen depot en watervoerend pakket kleiner, en zal het diffusieve stoftransport dus sterk dalen.
In feite berust de gebruikte aanname over het diffusieremmende effect van de bitumenlaag op een onzekere aanname. In de rest van het rapport zal de bitumenlaag dan ook als 'diffusieremmende isolatie' worden aangeduid.
- Kleilaag:** De isolerende kleilaag is geschematiseerd als een 1 meter dikke laag, met dezelfde eigenschappen als schone specie (10% organisch materiaal).

Vulscenario

Het vulscenario bepaalt de hoeveelheid specie, en hiermee de dikte van de uiteindelijke sliblaag. Bij vulscenario A is uitgegaan van een hoeveelheid van 20.87 miljoen m³ slib, bij vulscenario B een hoeveelheid van 22.75 miljoen m³.

2 Driedimensionale berekeningen grondwaterkwaliteit

2.1 Inleiding

De grondwaterkwantiteitsberekeningen zijn uitgevoerd met het driedimensionale model MODFLOW en het tweedimensionale model SFYNXZ. MODFLOW is in alle voorgaande studies gebruikt. SFYNXZ is speciaal ontwikkeld om op eenvoudige wijze een tweedimensionale stromingsberekening uit te voeren. De voordelen van SFYNXZ boven MODFLOW zijn dat SFYNXZ eenvoudig van opzet is, zeer snel rekt, geen rekenkundige problemen kent en in één berekening een sluitende waterbalans oplevert. In paragraaf 3.3 wordt de tweedimensionale rekenmethode toegelicht. In dit hoofdstuk zullen uitsluitend de met MODFLOW uitgevoerde berekeningen worden behandeld.

Als basis voor de MODFLOW berekeningen is het reeds bestaande geohydrologische model van het Ketelmeergebied gebruikt. Het grid en de randvoorwaarden zijn voor de huidige studie aangepast. Vervolgens zijn de verschillende varianten geschematiseerd. Hierbij zijn de weerstanden gebruikt die door DHV zijn aangeleverd. Deze weerstanden zijn met het consolidatiemodel FSCONBAG berekend.

2.2 Schematisatie en modelparameters

Het driedimensionale hydrologische model bestaat uit vier lagen: de deklaag (3-5 meter dik, laag 1), het eerste watervoerende pakket (dikte 2-12 meter, laag 2), de scheidende laag (slechts lokaal aanwezig, laag 3) en het tweede watervoerende pakket (dikte 200-330 meter, laag 4). De scheidende laag komt in het hele model voor, maar heeft meestal dezelfde eigenschappen als het eerste watervoerende pakket. Ten behoeve van de kwaliteitsberekeningen is het tweede watervoerende pakket uiteindelijk in drieën gedeeld (laag 4, laag 5 en laag 6).

Aan het bestaande hydrologische model zijn twee belangrijke aanpassingen uitgevoerd:

Gridverfijning

Het bestaande rekengrid van 43 rijen en 46 kolommen is ter plekke van de depotlokatie opgedeeld in cellen van 50 bij 50 meter, zodat het nieuwe model in het totaal 78 rijen en 75 kolommen bevat (bij variant 12 zijn nog enkele gridcellen toegevoegd, omdat deze lokatie net op de rand van de depotlokatie ligt). Hierdoor was het mogelijk alle varianten en de dijken rond het depot voldoende gedetailleerd te schematiseren.

Voor variant 13 is een aangepast rekengrid gebruikt, omdat het depot bij deze variant buiten de gridverfijning ligt die voor de varianten 1 t/m 12 is gehanteerd. De opbouw van het grid voor variant 13 is als volgt:

Van oost naar west:

3 cellen van 1000 m
 12 cellen van 500 m
 7 cellen van 250 m
 25 cellen van 50 m
 6 cellen van 250 m
 1 cel van 500 m
 1 cel van 100 m
 1 cel van 400 m
 2 cellen van 500 m
 2 cellen van 250 m
 14 cellen van 500 m
 3 cellen van 1000 m

van zuid naar noord:

3 cellen van 1000 m
 10 cellen van 500 m
 11 cellen van 250 m
 25 cellen van 50 m
 10 cellen van 250 m
 7 cellen van 500 m
 2 cellen van 1000 m

Opening randen model

Uit nadere bestudering van het oude model bleek dat in dit model de randen van de schematisatie gesloten waren. Dit betekent dat het gemodelleerde gebied een hydrologische eenheid zou moeten zijn. Al het water dat in het model door de Ketelmeerbodem infiltreert, zal in de polders weer opkwellen. De achtergrond van het sluiten van de modelranden is niet bekend.

Het is echter niet reëel om het gemodelleerde gebied als een hydrologische eenheid te beschouwen. Vanaf het 'vaste land' vindt via het tweede watervoerende pakket een vrij forse toevoer van water plaats over de oostrand van het model. Over de noord- en zuidrand van het model zal een stroming naar de laagste delen van de Noordoostpolder en de Flevopolder plaatsvinden. Zodoende is besloten de modelranden te openen.

Het resultaat van de opening van de modelranden is dat de beschreven stromingen inderdaad optreden. De stijghoogten in het gebied veranderen hierdoor echter vrijwel niet, zodat het calibratieresultaat nog steeds correct is.

In het model zijn de verschillende varianten geschematiseerd. Hierbij is ervoor gezorgd dat het gemodelleerde bodemoppervlak van het depot zo goed mogelijk aansloot bij het werkelijke bodemoppervlak. Het depot ligt in de modellen 1, 2 en 3. Bij de 25 meter diepe varianten ligt de bodem van het depot op het tweede watervoerende pakket. Bij de 40 meter diepe varianten ligt de bodem van het depot 15 meter in het tweede watervoerende pakket. Dit wordt bereikt door de dikte van het tweede watervoerende pakket ter plekke van het depot met 15 meter te verminderen. De weerstanden van de verschillende gedeelten van het depot (talud en centrale deel) zijn door het bureau DHV berekend met behulp van het model FSCONBAG. De exacte waarden staan vermeld in de Bijlage A. Ook de dijk rond het depot is in de schematisatie opgenomen. Hierbij is een lage horizontale en een hoge verticale weerstand aangehouden. De lage horizontale weerstand wordt veroorzaakt doordat de dijk uit zand is opgebouwd, de hoge verticale weerstand wordt veroorzaakt doordat er zich onder de dijk nog een gedeelte van de holocene deklaag bevindt, waarvan de weerstand door aanleg van de dijk fors stijgt.

Met de isolatiemaatregelen is in de hydrologische berekeningen geen rekening gehouden. De reden hiervan is dat de isolatiemaatregelen altijd in combinatie met peilbeheersing worden toegepast. Hierdoor zal de verticale stroming door het depot toch al erg laag zijn. Toevoeging van een extra weerstand zal deze stroming wellicht nog lager maken, maar dit heeft een verwaarloosbaar effect op het uiteindelijke resultaat. Bovendien zal alleen de diffusieremmende isolatielaag mogelijk een sterk weerstandsverhogend effect hebben. Van de folielaag wordt aangenomen dat deze binnen relatief korte tijd zijn werking verloren zal hebben. De kleilaag bestaat uit hetzelfde materiaal als de specie. Toevoeging van een kleilaag van 1 meter levert op de totale depotdikte van 20-30 meter dus slechts een geringe extra weerstand.

Bij de berekeningen is uitgegaan van de depotdikte die na de consolidatieperiode wordt bereikt. Dit betekent dat de consolidatiefase dus niet in de berekeningen is meegenomen. Op de consequenties van de verwaarlozing van de consolidatieperiode wordt in paragraaf 3.4 nader ingegaan.

Het waterpeil in het depot wordt bij de varianten zonder peilbeheersing gelijk aan het Ketelmeerpeil (NAP -0.20 meter). Bij de varianten met peilbeheersing is het peil in het depot gelijk aan het peil in het tweede watervoerende pakket, direct onder het depot. Dit komt neer op een peil van NAP -4.65 meter.

In Bijlage A wordt een overzicht gegeven van de vertaling van de depotdimensionering naar modelinvoer. De dimensionering is gebaseerd op door DHV geleverde informatie. De weerstanden zijn door DHV met het model FSCONBAG berekend. De genoemde cellen verwijzen naar het aangepaste grid.

2.3 Grondwaterstroming rond depot

Uit de berekeningen blijkt dat de aanleg van een depot de huidige hydrologische situatie vrijwel niet beïnvloed. Het hier beschreven stromingspatroon is dan ook voor alle varianten geldig.

De regionale grondwaterstroming in het Ketelmeergebied is betrekkelijk eenvoudig. Er wordt door het eerste en tweede watervoerende pakket water aangevoerd vanaf het oude vaste land, ten oosten van het modelgebied (Veluwe). Daarnaast worden de watervoerende pakketten gevoed door infiltratie van water uit het Ketelmeer. Omdat de Polders (Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland) behoorlijk diep zijn, zullen deze een sterk zuigende werking hebben op het water in de watervoerende pakketten. Vermoedelijk zal een groot deel van het aangevoerde en geïnfiltreerde water in de polders weer opkwellen.

De grondwaterstroming is dus in het oostelijk deel van het Ketelmeergebied vrijwel zuiver westelijk van richting. Onder het Ketelmeer buigt de stroming in zuidelijke en in westelijke richting af naar de polders. Deze afbuiging wordt naar het westen van het Ketelmeer steeds sterker. De waterscheiding ligt ongeveer onder de oost-west as van het Ketelmeer.

De depotlokatie ligt in het midden van het Ketelmeer, op de lijn waar de oost-west stroming splitst in een noordwestelijke en een zuidwestelijke tak. Dit betekent dat de waterstroming onder het depot vrijwel uitsluitend westelijk van richting is. Net ten westen van het depot splitst de waterstroom in noordwestelijke en zuidwestelijke richting en stroomt richting polders (kwelgebieden).

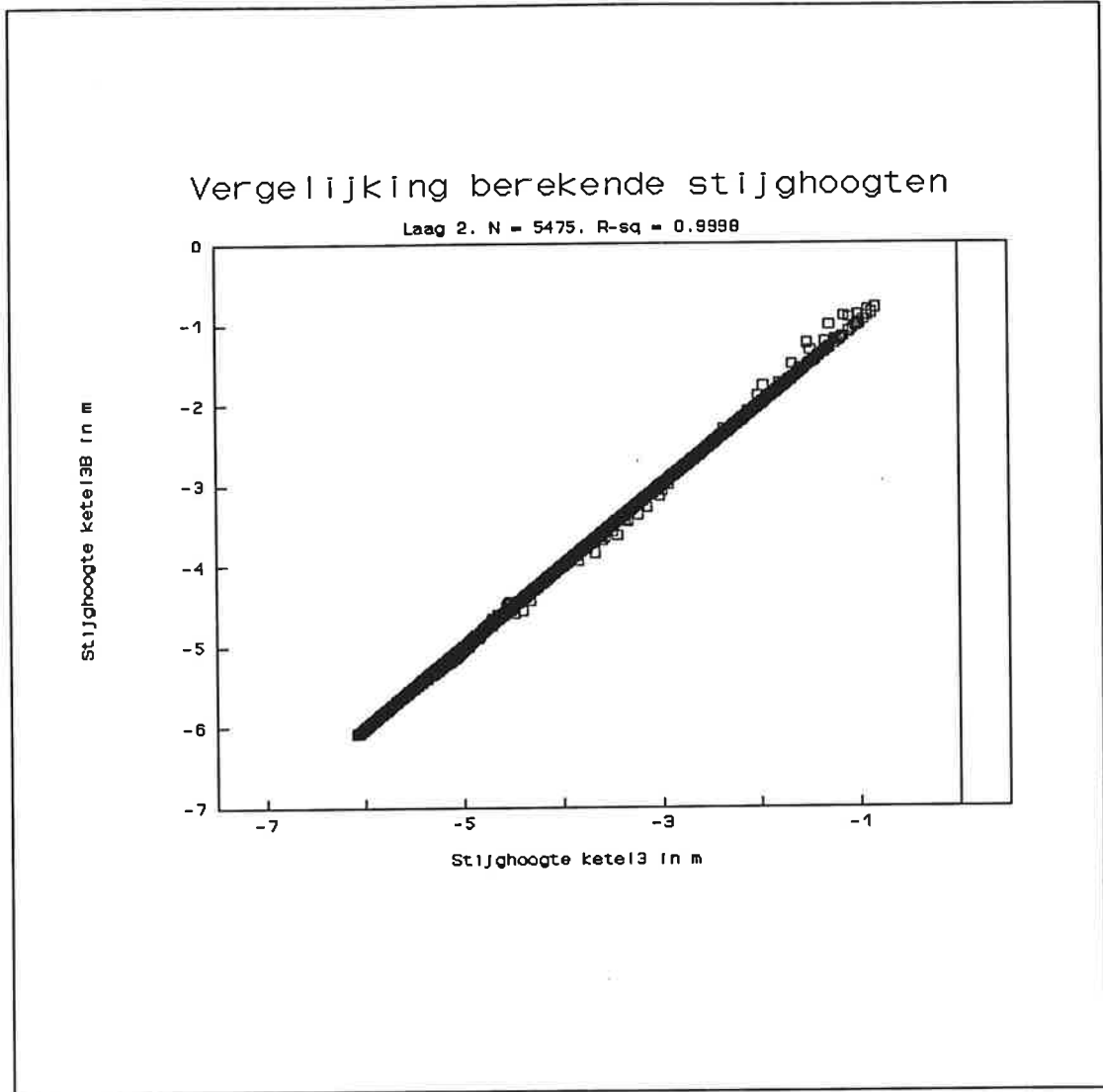
2.4 Herziening berekeningen, uitgewerkt voor variant 3

In het project T1063 is gebruik gemaakt van modelgegevens van eerder onderzoek (T841, verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeergebied, september 1991). Pas na het uitbrengen van het rapport T1063 in maart 1993 is gebleken dat bij de eerdere berekeningen twee lagen waren verwisseld. Dit betrof het eerste watervoerende pakket, dikte 2-12 m, en de slechts lokaal aanwezige slecht doorlatende laag.

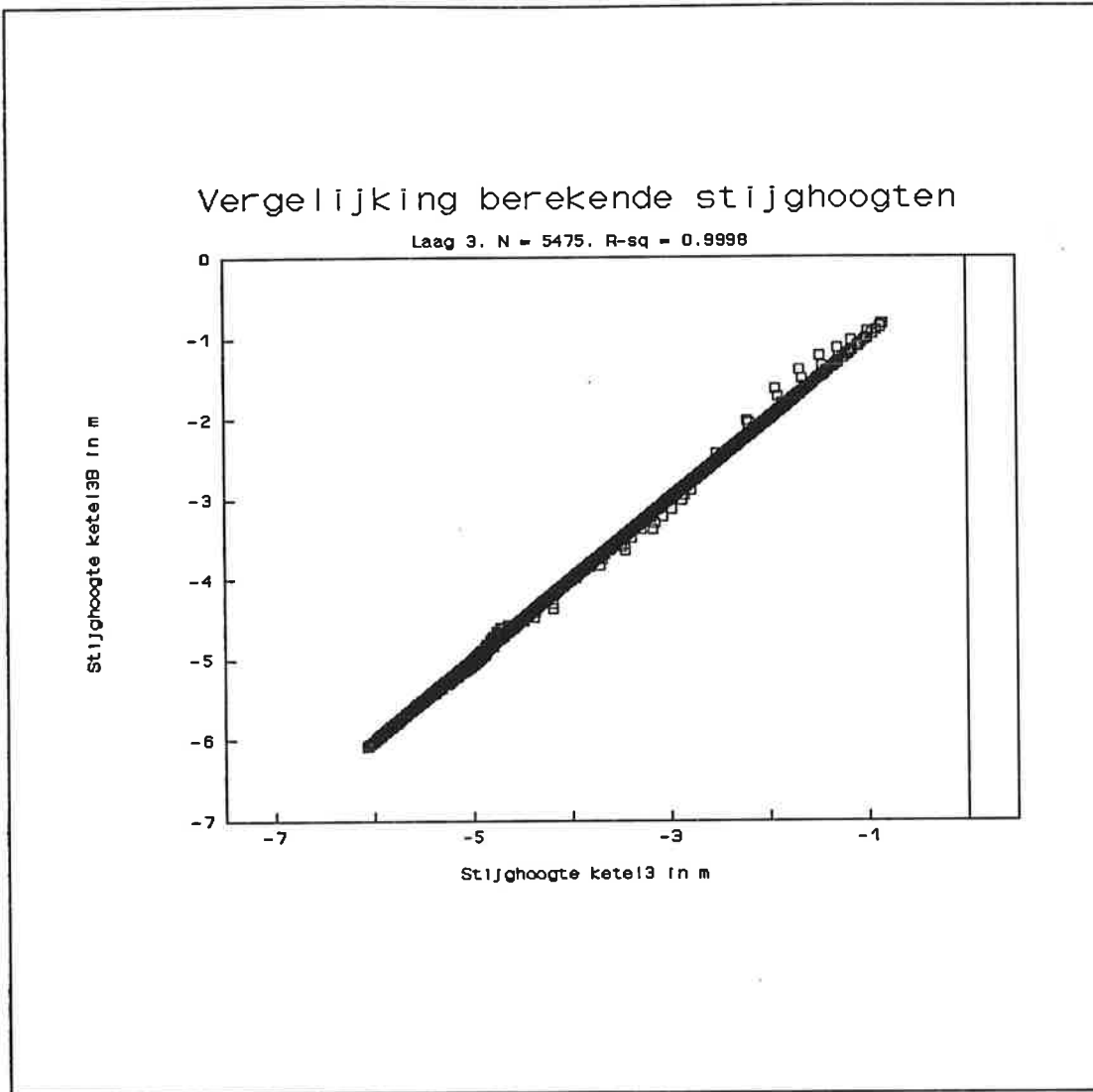
Omdat de slecht doorlatende laag alleen in het westelijke deel van het modelgebied aanwezig is (rond de Ketelbrug), is niet te verwachten dat de verwisseling van de lagen een grote invloed zal hebben op de potentialen in het oostelijke deel van het modelgebied. Juist in dit deel zijn de tot nu toe bestudeerde varianten gelegen. Voor de modellering van de verspreiding van verontreinigingen uit de zandwinputten in het westelijke deel van het Ketelmeergebied (aanvullende berekeningen deel B) kan de verwisseling van de weerstanden echter wel gevolgen hebben.

Om te verifiëren of de verwisseling van de weerstanden voor de oostelijke variant inderdaad een verwaarloosbare invloed heeft is de variant 3 opnieuw berekend (variant 3B). Bij de nieuwe variant zijn de weerstanden wel in de correcte lagen aangebracht. Ook de variant 13 is met de correcte weerstanden doorgerekend.

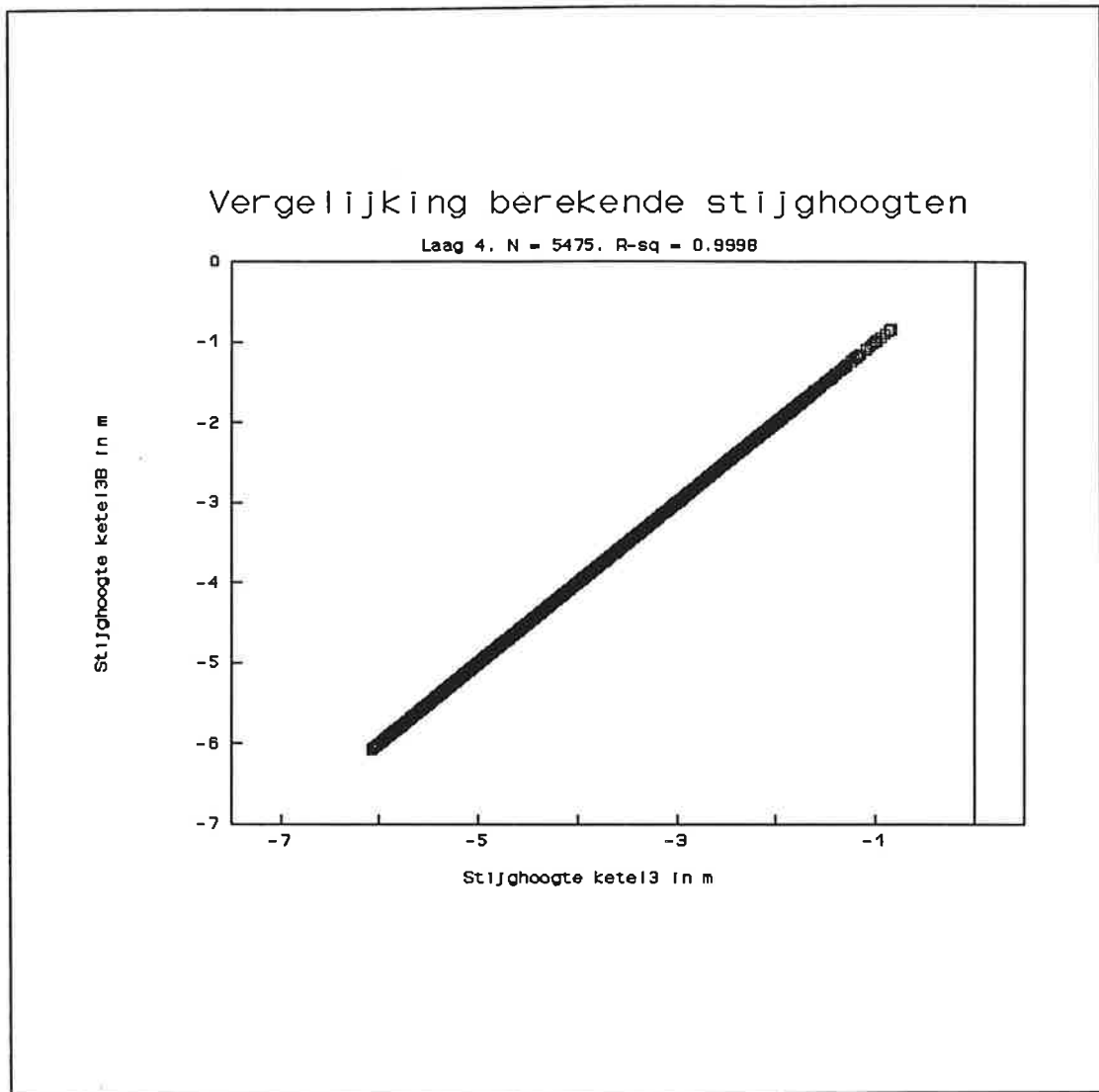
In figuur 2.1 tot en met 2.3 zijn de berekende stijghoogten van variant 3 en 3B tegen elkaar uitgezet. In de figuren staat laag 2 voor het eerste watervoerende pakket, laag 3 voor de slecht doorlatende laag en laag 4 voor het (onderste) tweede watervoerende pakket.



Figuur 2.1 Vergelijking van berekende stijghoogten in het 1e WVP



Figuur 2.2 Vergelijking van berekende stijghoogten in de scheidende laag



Figuur 2.3 Vergelijking van berekende stijghoogten in het 2e WVP

In tabel 2.1 wordt een statistisch overzicht gegeven van de verschillen in stijghoogte in m tussen variant 3 en 3B.

Tabel 2.1 Overzicht verschillen in stijghoogte variant 3 en 3B

	Laag 2 1e WVP	Laag 3 SDL	Laag 4 2e WVP
Aantal	5475	5475	5475
Gemiddelde	0.00	0.00	0.00
Maximum	0.18	0.20	0.01
Minimum	-0.28	-0.30	-0.01
Standaardafwijking	0.01	0.01	0.001

Zowel uit de figuren als uit het statistisch overzicht blijkt dat de berekeningsresultaten goed met elkaar overeenstemmen. De geconstateerde maximale afwijkingen liggen in de orde van grootte van 30 cm en komen dáár voor waar de slecht doorlatende laag aanwezig is, dat wil zeggen in een beperkt deel van het onderzoeksgebied. In de buurt van de voorkeurslokatie Epb zijn de verschillen in stijghoogte slechts in de orde van grootte van enkele centimeters. Dat blijkt onder meer uit de zeer kleine standaardafwijking. De resultaten van variant 3 en 3B zijn in de buurt van het slibdepot nagenoeg aan elkaar gelijk. Dit betekent dus dat de resultaten voor de eerder uitgevoerde verspreidingsberekeningen niet zullen veranderen door de aanpassing van het model.

2.5 Conclusies

Uit de grondwaterkwantiteitsberekeningen komen de volgende conclusies naar voren:

- Opening van de modelranden voor stroming verandert behalve bij de randen weinig aan de berekende potentialen in het gebied. Wel treedt nu een aanzienlijk transport op van water over de modelranden.
- De verwisseling van de modellen 2 en 3 die in de eerste berekeningen is opgetreden heeft (vrijwel) geen gevolg voor de berekeningsresultaten.
- Met een verfijnd grid (50*50 meter) zijn alle varianten goed te schematiseren, waarbij ook de dijk rond het depot goed in het model te brengen is.
- Onder het depot is de grondwaterstroming voornamelijk westelijk van richting. Ten westen van het depot splitst de stroming in noordwestelijke en zuidwestelijke richting.

3 Kwaliteitsberekeningen

3.1 Inleiding

De grondwaterkwaliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het model STYXZ met een recent ontwikkelde werkwijze: een combinatie van een tweedimensionale en een driedimensionale schematisatie. Deze werkwijze maakt het mogelijk om het diffusief transport uit het depot zo correct mogelijk mee te nemen. Alle voorgaande berekeningen zijn met een uitsluitend driedimensionaal model uitgevoerd, waardoor de rol van de diffusie vaak is onderschat. In paragraaf 3.3 wordt de gebruikte werkwijze uitvoerig beschreven.

De gebruikte data zijn afkomstig uit voorgaande studies of zijn aangeleverd door DHV. Voor een uitvoerige beschrijving van de data wordt naar de voorgaande studies verwezen (zie hoofdstuk 1).

De isolerende maatregelen bij de varianten hebben gevolgen voor de concentraties in het systeem en voor de uitloging van de variant omdat deze verontreiniging adsorberen of het diffusief transport belemmeren. Bij de analyse van de resultaten wordt de isolerende laag tot het depot gerekend. De verschillende isolatiematerialen zijn als volgt in de berekeningen meegenomen:

HDPE-folie

Voor deze folielaag wordt aangenomen dat deze al na korte tijd (ca 50 jaar) zo zwaar is aangetast dat de laag geen invloed meer heeft op de verspreiding van verontreinigingen. Omdat de middellange en lange termijn wordt beschouwd, is in de berekeningen dus geen rekening gehouden met de folie.

Diffusieremmende isolatielaag

In de berekeningen is aan deze laag een diffusieremming met een RC-factor van 3.0 toegekend, wat betekent dat de diffusie over de dikte van de laag (1 cm) met een factor 1000 wordt geremd.

Kleilaag

Van de klei-isolatie is aangenomen dat deze 1 meter dik is en uit schone specie bestaat. Dit betekent dat deze laag een organische stofgehalte van 10 % heeft. De laag zal dus behalve diffusieremmend ook adsorberend zijn. In feite zou de laag dus betiteld moeten worden als een 'adsorberende diffusieremmende laag'.

De consolidatie blijkt bij de verspreiding van verontreinigingen vooral de eerste 100-200 jaar van belang te zijn. De consolidatie is echter niet in de berekeningen meegenomen, omdat deze op de middellange en lange termijn vrijwel geen invloed heeft. Om een indruk te kunnen krijgen van de stoffluxen die gedurende de consolidatieperiode optreden, zijn voor een gemiddeld depot, een met klei geïsoleerd depot en een depot met een verhoogde diffusiecoëfficiënt acht consolidatiescenario's doorgerekend (paragraaf 3.4). Het is niet te verwachten dat de verwaarlozing van de consolidatie het onderscheidend vermogen van de driedimensionale berekeningen beïnvloed.

Van de 13 voorgestelde varianten zijn er 12 doorgerekend. Variant 8, Ge-Bfp is niet doorgerekend omdat de resultaten hiervoor vrijwel hetzelfde zijn als voor variant 7, Ge-Bp. De folielaag bij variant 8 zal immers slechts gedurende de vulfase van belang zijn, zodat deze variant op den duur nagenoeg hetzelfde is als variant 7.

Omdat de varianten op dezelfde lokatie liggen, zal de ruimtelijke verspreiding van verontreinigingen uit het depot voor alle varianten ongeveer hetzelfde verlopen. Zodoende wordt in dit hoofdstuk voor slechts één representatieve variant de verspreiding beschreven. De verspreiding kan voor alle doorgerekende varianten bestudeerd worden met behulp van de bijgeleverde zeer eenvoudig te bedienen computeranimatie. In Bijlage C is hiervan een korte gebruiksaanwijzing opgenomen.

De volgende berekeningsresultaten worden na 250, 2500, 5000, 10000 en 25000 gepresenteerd:

- De maximale DCB-concentratie in het poriënwater van het kwelgebied in mg/m³;
- De DCB-flux uit het depot in kg DCB per jaar;
- Het volume aan verontreinigd grondwater in miljoen m³.

Voor de MER zijn de waarden na 250, 2500 en 25000 jaar noodzakelijk. Bij veel varianten wordt echter pas na 5000 of 10000 een maximale verspreiding of concentratie bereikt. Deze waarden zijn zodoende aan de vereiste waarden toegevoegd. Het volume verontreinigd grondwater vertegenwoordigt het totale verontreinigde volume in het eerste en tweede watervoerende pakket en de scheidende laag. Het totale volume is hierbij het totale bodemvolume wat de vaste en de vloeibare fase bevat. Indien de getallen naar hoeveelheden grondwater moeten worden omgerekend, dan moeten de gepresenteerde waarden met een waarde van 0.3 (porositeit van de watervoerende pakketten) worden vermenigvuldigd.

Als extra informatie wordt voor elke variant het verloop van de uitloging en de concentraties en verontreinigde volumina in de tijd gegeven. Bovendien wordt voor de stoffen Benzo(a)Pyreen, fluorantheen, PCB-28 en gamma-HCH in paragraaf 3.7 het verontreinigde volume en de flux gegeven.

3.2 Invoerparameters

Het Ketelmeergebied is in de diepte opgedeeld in 4 lagen: de deklaag, het eerste watervoerende pakket, de scheidende laag en het tweede watervoerende pakket. De 25 meter diepe varianten liggen tot op het tweede watervoerende pakket (de bovenzijde hiervan ligt op ongeveer 25 meter) en de 40 meter diepe varianten steken tot 15 meter in het tweede watervoerende pakket. De relevante fysische en chemische eigenschappen staan in Tabel 3.1 vermeld.

Tabel 3.1 Eigenschappen van het systeem en het depot

	dichtheid vaste fase (kg/m ³)	porositeit (-)	organisch koolstof gehalte (% C)
deklaag	2650	0.4	5 %
1e wvp	2650	0.3	0.25 %
scheidende laag	2650	0.3	0.25 %
2e wvp	2650	0.3	0.25 %
depot	2650	0.64	5 %

Afhankelijk van de diepte zijn twee verschillende vulscenario's gebruikt:

Scenario A:

het depot wordt gevuld met 20.875 miljoen m³ specie met een situ-dichtheid van 1430 kg/m³. Dit levert een hoeveelheid van 14.97 miljoen m³ droge stof. De DCB-concentratie is 0.8 mg/kg droge stof, zodat de totale hoeveelheid DCB gelijk is aan 12 ton.

Scenario B:

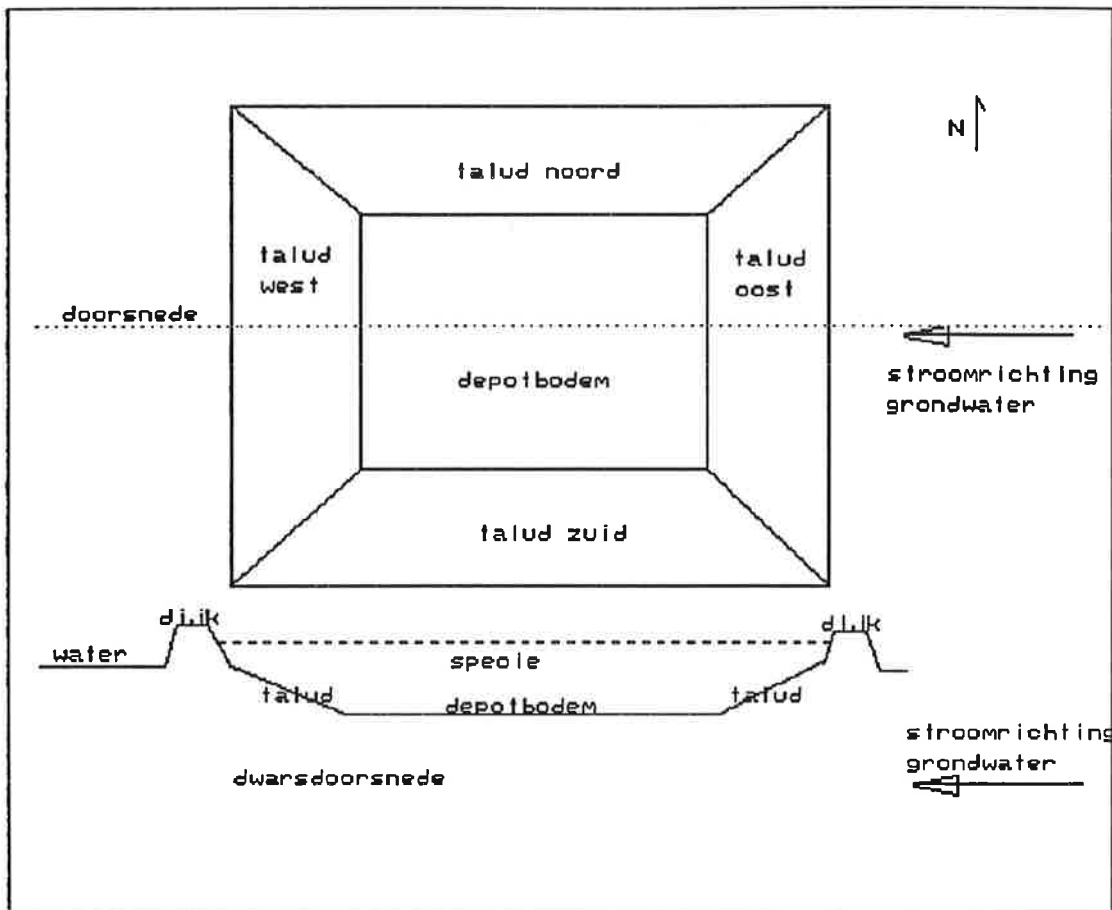
het depot wordt gevuld met 22.75 miljoen m³ specie met een situ-dichtheid van 1430 kg/m³. De DCB-concentratie is 0.8 mg/kg droge stof, zodat de totale DCB-hoeveelheid gelijk is aan 13 ton.

3.3 Toelichting berekeningsmethodiek

In hoofdstuk 1 is de gevolgde werkwijze reeds toegelicht. In de nu volgende paragraaf wordt de schematisatie van de tweedimensionale grondwaterkwantiteits- en kwaliteitsberekening toegelicht, en wordt aangegeven hoe de met het tweedimensionale model berekende fluxen zijn verwerkt in het driedimensionale model.

Voor de tweedimensionale berekeningen is een oost-west doorsnede door het centrale deel van het depot gemaakt (zie Figuur 3.1). Van deze doorsnede zijn de potentialen afgelezen uit de driedimensionale kwantiteitsberekeningen. Verder zijn dezelfde weerstanden en laagdikten gebruikt als in de driedimensionale berekening.

Voor de schematisatie (zie ook Figuur 3.1) is het vlakke deel van het depot in 7 horizontale segmenten verdeeld, die dan afhankelijk van de variant een afmeting van 50 m tot ca. 100 m krijgen. De taluds zijn aan weerszijde van het depot in de horizontaal in 12 segmenten verdeeld die daarmee afmetingen krijgen van ongeveer 7 m tot 12 m, afhankelijk van de variant. In de verticaal zijn voor het depot laagdikten in de orde van 1-2 meter gebruikt, en voor het watervoerende pakket in de orde van 5-10 meter. Voor de overgang van depot naar watervoerend pakket zijn laagdikten van enkele decimeters gebruikt, teneinde de diffusie optimaal te modelleren.



Figuur 3.1 Schematisch overzicht van de depotlokatie

Met het tweedimensionale model is een kwantiteitsberekening uitgevoerd. Met behulp van de berekende waterbeweging is vervolgens in een tweedimensionaal STYXZ-model de flux van verontreinigingen uit de verschillende delen van het depot berekend. De parameters die hierbij gebruikt zijn staan in paragraaf 3.2 vermeld. De resultaten van de tweedimensionale berekening moeten in de driedimensionale berekening worden gebruikt. Hiertoe is de flux voor de verschillende onderdelen van het depot (bodem, bovenste deel talud, onderste deel talud) berekend. Omdat de werkelijke oppervlakken van deze onderdelen bekend zijn uit het depotontwerp, moet de berekende flux vermenigvuldigd worden met een bepaalde factor (werkelijk oppervlak/ oppervlak in 2D). Deze factoren staan in Tabel 3.2 vermeld.

Omdat de bodem van het depot bij de tweedimensionale berekeningen in 7 segmenten is verdeeld, zijn er 7 fluxen beschikbaar voor het bodemgedeelte in het driedimensionale model. Hoewel differentiatie wel mogelijk is, is toch slechts één van de zeven fluxen uit de tweedimensionale berekening gekozen als representatieve flux voor de bodem. De reden hiervan is dat de flux uit de verschillende delen van de bodem niet erg verschilt (zie Figuur 3.2). De gekozen flux is de flux uit het middelste segment.

Voor de taluds zijn wel verschillende fluxen gebruikt. Voor het oost-talud is een flux voor het bovenste gedeelte en een flux voor het onderste gedeelte onderscheiden. De flux uit het westelijke talud verschilt een weinig van die uit het oostelijke talud (de waterstroom langs het westelijke talud bevat reeds een behoorlijke concentratie aan verontreinigingen, zodat het diffusief transport uit dit talud belemmerd wordt). Ook voor het westelijke talud is een flux

uit de bovenzijde en uit de onderzijde onderscheiden.

Voor de noordelijke en zuidelijke taluds zijn geen tweedimensionale berekeningen gedaan. Uit de analyse van de fluxen uit de tweedimensionale berekeningen voor de westelijke en oostelijke taluds volgt dat de flux vanuit het bovenste gedeelte van de taluds vooral wordt bepaald door infiltratie (de oostelijke en westelijk flux zijn praktisch identiek), en dat de flux uit het onderste deel van de taluds een duidelijke diffusiebijdrage heeft (met een iets grotere flux uit het oostelijk talud dan uit het westelijk talud). Anderzijds is het potentiaal verschil over het westelijk talud iets hoger dan dat over het oostelijk talud. Al deze factoren samen, mede gezien het geringe verschil tussen de fluxen van westelijk en oostelijk talud hebben geleid tot de conclusie dat voor het noordelijk en zuidelijk talud de fluxen van het westelijk talud gebruikt kunnen worden.

Tabel 3.2 Conversiefactoren voor de omzetting van tweedimensionaal berekende fluxen naar het driedimensionale model

var	O_{vlak}	O_{talud}	S_{3Dv}	$S_{3Dtalud}$	S_{3Dtot}	O_{2dv}	O_{2Dt}	C_v	C_t
1	510	351	196	128 2,3	324	102	53.5	25.5	51.3
2	255	360	100	96 2,2	196*	72.1	69.8	35.4	53.7
3(A,B,C,D)	187	362	100	96 2,2	196	61.9	77.0	30.3	48.9
4	580	485	220	200 2,3	420	80.6	47.8	32.7	50.7
5	272	491	180	184 1,2	364	56.0	62.1	27.0	42.9
5b	272	491	112	152 2,3	264*	56.0	62.1	43.4	51.9
6	210	500	112	152 2,3	264	48.3	68.0	38.8	48.4
7	679	453	264	216 1,2	480	87.6	42.4	29.3	49.5
11	576	379	225	136 2,3	361	108.4	54.6	23.6	51.0
12	272	491	144	168 1,2	312	56.0	62.1	33.7	47.0
13(B,C,D)	187	362	100	96 2,2	196	61.9	77.0	30.3	48.9

Verklaring Symbolen:

var: variant nummer:

O_{vlak} Oppervlakte vlakke stuk (bodem) depot (in 1000 m²)

O_{talud} Oppervlakte (verticaal geprojecteerd) talud stuk depot (in 1000 m²)

S_{3Dv} Aantal segmenten 3D wat voor flux vlakke stuk wordt gebruikt

$S_{3Dtalud}$ Aantal segmenten 3D wat voor flux talud wordt gebruikt plus laagnummers waar deze flux uit komt

S_{3Dtot} Totaal aantal segmenten 3D wat flux ontvangt. (* betekent dat dit afwijkt van de 3D schematisatie omdat de buitenste randcellen van de bovenste modellaag niet als depot worden aangemerkt)

O_{2dv} Oppervlakte per berekende flux voor vlakke deel in 2D schematisatie (is altijd 1/7 van de lengte in West-Oost richting van het vlakke stuk) (in m²)

O_{2Dt} Oppervlakte per berekende flux voor het talud deel in 2D schematisatie (is altijd 1/2 van de totale geprojecteerde taludlengte in West-Oost richting) (in m²)

C_v Conversie factor voor flux van 2D naar 3D voor vlakke deel.

C_t Conversie factor voor flux van 3D naar 3D voor talud.

3.4 Consolidatie van een doorsnede depot

Om de verspreiding van verontreinigingen gedurende de consolidatieperiode nauwkeurig te beschrijven is een zeer gedetailleerde berekening uitgevoerd waarbij acht verschillende consolidatiescenario's gedurende 1000 jaar zijn doorgerekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een 'gemiddeld' depot dat is gelegen op dezelfde lokatie als alle andere varianten. Dit gemiddelde depot is een enkel depot van 24 meter diep, met een lengte van het vlakke deel van de bodem van 560 meter en met geprojecteerde taludlengtes van 120 meter. Het wordt gevuld volgens scenario A. Het depot heeft dus een bodemoppervlak van 313600 m² en een bovenoppervlak van 640000 m². Bij storting van 20.87 miljoen m³ slib (begindichtheid 1425 kg/m³) zal er ongeveer 8.8 miljoen m³ consolidatiewater vrijkomen.

Dit betekent een hoeveelheid water van minimaal 13.75 meter (over 64 ha) en maximaal 28 (over 31.3 ha) meter waterkolom. Van deze hoeveelheid zal bij een ongeïsoleerde variant ongeveer de helft naar de ondergrond worden uitgerst, wat dus een hoeveelheid van 6.9 tot 14 meter water is. De doorgerekende scenario's zijn op deze hoeveelheden afgestemd, waarbij moet worden bedacht dat 14 meter water de absolute bovengrens is, en dat een reële waarde voor de maximale infiltratie naar de ondergrond door een ongeïsoleerde variant rond de 8-9 meter waterkolom zal liggen.

Er zijn verschillende infiltratiescenario's doorgerekend, zodat de resultaten naar alle andere varianten kunnen worden vertaald. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor een ongeïsoleerde variant, voor een variant die met een kleilaag is geïsoleerd, en voor een variant waar de diffusie een factor 2 hoger is dan normaal (0.02 m²/s vs 0.01 m²/s). Deze laatste berekening is uitgevoerd om te illustreren dat indien de consolidatieperiode in de berekeningen wordt meegenomen, het minstens zo belangrijk is ook de correcte waarde van de diffusiecoëfficiënt te kennen.

De infiltratie bij de verschillende scenario's is vanaf het begin van de vulfase als volgt opgebouwd:

- Representatief voor de varianten zonder isolatie: 180 mm/j van 0-20 jaar, 40 mm/j van 20-50 jaar, 20 mm/j voor 50-200 jaar. 0 of 8 mm/j voor 200-1000 jaar, afhankelijk van wel- of geen peilbeheersing (totaal 7800 of 14200 mm infiltratie).
- Bovenmarge voor de geïsoleerde varianten: 100 mm/j van 0-20 jaar, 20 mm/j van 20-50 jaar, 10 mm/j voor 50-200 jaar. 0 of 8 mm/j voor 200-1000 jaar, afhankelijk van wel- of geen peilbeheersing (totaal 4100 of 10500 mm infiltratie).
- Ondermarge voor de geïsoleerde varianten: 30 mm/j van 0-20 jaar, 10 mm/j van 20-50 jaar, 8 mm/j voor 50-200 jaar. 0 of 8 mm/j voor 200-1000 jaar, afhankelijk van wel- of geen peilbeheersing (totaal 2100 of 8500 mm infiltratie).
- Steady state zonder consolidatie: 0 of 8 mm/j vanaf het begin van de vulfase, afhankelijk van wel- of geen peilbeheersing (totaal 0 of 8000 mm infiltratie).

De resultaten van de berekeningen staan in de Tabellen 3.3, 3.4 en 3.5 vermeld en tevens in de Figuren 3.3, 3.4 en 3.5.

Tabel 3.3 Uitloging (in % van initiële hoeveelheid) van een ongeïsoleerde variant bij verschillende consolidatiescenario's

Inf 0-20	Inf 20-50	Inf 50-200	Inf 200-1000	uitloog 20	uitloog 50	uitloog 200	uitloog 500	uitloog 1000
180	40	20	8	0.74	1.01	1.78	2.61	3.88
180	40	20	0	0.74	1.01	1.78	2.26	3.00
100	20	10	8	0.44	0.63	1.18	2.02	3.26
100	20	10	0	0.44	0.63	1.18	1.68	2.41
30	10	8	8	0.20	0.35	0.88	1.71	2.94
30	10	8	0	0.20	0.35	0.88	1.39	2.11
8	8	8	8	0.13	0.27	0.80	1.64	2.87
0	0	0	0	0.10	0.21	0.58	1.09	1.80

Verklaring symbolen:

Inf 0-20 : Infiltratie van consolidatiewater gedurende periode 0 tot 20 jaar (mm/jaar)

Uitloog 20: Percentage massa verlies op tijdstip 20 jaar (procenten van de oorspronkelijke massa).

Tabel 3.4 Uitloging (in % van initiële hoeveelheid) van een ongeïsoleerde variant bij verschillende consolidatiescenario's bij verdubbeling van de diffusiecoëfficiënt ($0.02 \text{ m}^2/\text{s}$)

Inf 0-20	Inf 20-50	Inf 50-200	Inf 200-1000	uitloog 20	uitloog 50	uitloog 200	uitloog 500	uitloog 1000
180	40	20	8	0.76	1.07	1.93	2.92	4.39
180	40	20	0	0.76	1.07	1.93	2.58	3.58
100	20	10	8	0.48	0.70	1.36	2.37	3.82
100	20	10	0	0.48	0.70	1.36	2.05	3.03
30	10	8	8	0.25	0.44	1.09	2.09	3.53
30	10	8	0	0.25	0.44	1.39	1.63	2.59
8	8	8	8	0.19	0.38	1.02	2.02	3.46
0	0	0	0	0.16	0.32	0.81	1.52	2.48

Tabel 3.5 Uitloging (in % van initiële hoeveelheid) van een met een kleilaag geïsoleerde variant bij verschillende consolidatiescenario's

Inf 0-20	Inf 20-50	Inf 50-200	Inf 200-1000	uitloog 20	uitloog 50	uitloog 200	uitloog 500	uitloog 1000
180	40	20	8	0.03	0.06	0.24	0.58	1.29
180	40	20	0	0.03	0.06	0.24	0.44	0.80
100	20	10	8	0.01	0.02	0.10	0.34	0.95
100	20	10	0	0.01	0.02	0.10	0.24	0.52
30	10	8	8	0.00	0.00	0.04	0.24	0.79
30	10	8	0	0.00	0.00	0.03	0.11	0.33
8	8	8	8	0.00	0.00	0.04	0.22	0.75
0	0	0	0	0.00	0.00	0.01	0.08	0.28

In Figuur 3.3 is de verhouding uitgezet tussen de berekende uitloging indien een bepaald consolidatiescenario wordt aangenomen, en indien de consolidatie wordt verwaarloosd. Indien deze verhouding gelijk is aan 1.0, dan leidt verwaarlozing van de consolidatie niet tot een ander berekeningsresultaat. In de figuur is te zien dat het verschil bij alle consolidatiescenario's en verwaarlozing van de consolidatie groot is indien de korte termijn beschouwd wordt (tot 200 jaar). Het verschil is het sterkst bij de consolidatiescenario's met het grootste debiet (180 mm/j). Ook is het verschil groter indien de stationaire situatie 0 mm/j bedraagt in plaats van 8 mm/j. Na 1000 jaar is alleen bij de variant 180-0 nog sprake van een grote afwijking (ca 50%) als gevolg van verwaarlozing van de consolidatie. Bij alle overige varianten beperkt de afwijking zich tot minder dan 20 %.

De conclusie uit deze berekening is dus dat de consolidatie moet worden meegenomen indien men geïnteresseerd is in de korte termijn (< 500 jaar) en dat deze voor langere termijnberekeningen verwaarloosd mag worden. Omdat er op korte termijn slechts een gering stoftransport optreedt, over een relatief korte afstand, is modellering van de korte termijn alleen mogelijk met een (ruimtelijk) gedetailleerd model.

Indien er zich tussen het depot en het watervoerende pakket een klei-isolatie bevindt is de afwijking die veroorzaakt wordt door verwaarlozing van de consolidatie veel groter (Figuur 3.4). Indien hier infiltratie plaatsvindt (8 mm/j), dan is het verschil na 1000 jaar sterk afgenomen, en vergelijkbaar met het verschil dat zonder klei-isolatie optreedt. Indien de infiltratie gelijk is aan nul (peilbeheersing) dan is ook na 1000 jaar nog een behoorlijke invloed van de consolidatieperiode zichtbaar.

In Figuur 3.5 is het verschil uitgezet tussen de uitloging die met een diffusiecoëfficiënt van 0.01 m²/s en 0.02 m²/s wordt berekend. Het is goed mogelijk dat een dergelijke grote afwijking bestaat (0.01 m²/s is de normale aanname), omdat er weinig zekerheid is over de werkelijke waarde van de diffusiecoëfficiënt. Uit de figuur wordt duidelijk dat het verschil in diffusiecoëfficiënt leidt tot een afwijking van 12-25 % van de berekende uitloging. Deze afwijking is in dezelfde orde van grootte als de afwijking die na meer dan 500 jaar ontstaat door verwaarlozing van de consolidatie.

Indien er dus een grote inspanning wordt gestoken in de exacte modellering van de consolidatieperiode, dan zou in feite ook de diffusiecoëfficiënt beter bekend moeten zijn. Uit de consolidatieberekeningen is ook een indruk te krijgen over de effectiviteit van peilbeheersing en isolatie afzonderlijk. In de verspreidingsberekeningen is immers geen variant waar uitsluitend klei-isolatie plaatsvindt.

In Tabel 3.6 is de uitlogging weergegeven bij een depot met peilbeheersing, zonder isolatie, en een depot zonder peilbeheersing, met klei-isolatie. Uit de getallen blijkt dat de uitlogging door het aanbrengen van peilbeheersing veel sterker daalt dan door isolatie.

Tabel 3.6 Uitlogging uit een gemiddeld depot bij peilbeheersing en bij isolatie met klei

Inf 0-20	Inf 20-50	Inf 50-200	Inf 200-1000	uitloog 20	uitloog 50	uitloog 200	uitloog 500	uitloog 1000
peilbeheersing, niet geïsoleerd								
180	40	20	0	0.74	1.01	1.78	2.26	3.00
100	20	10	0	0.44	0.63	1.18	1.68	2.41
30	10	8	0	0.20	0.35	0.88	1.39	2.11
0	0	0	0	0.10	0.21	0.58	1.09	1.80
geïsoleerd, zonder peilbeheersing								
180	40	20	8	0.03	0.06	0.24	0.58	1.29
100	20	10	8	0.01	0.02	0.10	0.34	0.95
30	10	8	8	0.00	0.00	0.04	0.24	0.79
8	8	8	8	0.00	0.00	0.04	0.22	0.75

Behalve de uitlogging zijn ook de concentraties in het watervoerend pakket op verschillende tijdstippen voor de scenario's 180-40-20-8 mm infiltratie en 8-8-8-8 mm infiltratie beschouwd. Het 180-40-20-8 scenario moet als absoluut maximaal scenario beschouwd worden. De concentratie is beschouwd in de verticaal in het WVP, stroomafwaarts onder het westelijke vlakke stuk van het depot. De concentraties worden voor 3 dieptes (5, 15 en 30 m) (diepte gerekend vanaf de onderkant van het depot) gegeven op een aantal tijdstippen. De berekende waarden staan vermeld in Tabel 3.7 en 3.8 en in de Figuur 3.6.

Tabel 3.7 Concentraties (DCB in mg/l) onder de westzijde van een ongeïsoleerde variant bij het infiltratiescenario 180-40-20-8 mm/j

Tijd (jaren)	Conc op 5 m diepte	Conc op 15 m diepte	Conc op 30 m diepte
20	1.1	-	-
50	4.2	-	-
100	7.3	0.03	-
200	11	0.32	-
500	12	2.0	0.03
1000	9.8	2.0	1.3

Tabel 3.8 Concentraties (DCB in mg/l) onder de westzijde van een ongeïsoleerde variant bij het infiltratiescenario 8-8-8-8 mm/j

Tijd (jaren)	Conc op 5 m diepte	Conc op 15 m diepte	Conc op 30 m diepte
20	0.02	-	-
50	0.45	-	-
100	1.9	-	-
200	4.6	0.03	-
500	8.5	0.83	0.02
1000	8.9	1.6	0.06

Op 5 en 10 meter diepte bestaat tot 500 jaar na het begin van de consolidatieperiode een fors concentratieverschil tussen beide varianten. Na 1000 jaar is er nog sprake van een klein verschil (10% voor 5 meter, 20 % voor 15 meter). Opvallend is dat de concentratie op 5 meter diepte bij het maximale scenario na 500 jaar daalt. Dit wordt veroorzaakt doordat het concentratieblok dat gedurende de eerste jaren uit het depot komt, langzaam door diffusie en dispersie wordt verspreid, zodat de concentraties dalen. Op 30 meter diepte is de concentratie na 1000 jaar bij het maximale scenario al behoorlijk verhoogd, terwijl dit bij het 8-8-8-8 scenario nog vrijwel niet het geval is.

Uit de berekeningen blijkt dat indien de korte termijn beschouwd wordt, de hoeveelheid consolidatiewater een belangrijke rol speelt bij de correcte modellering van de concentraties onder het depot. Hierbij moet wel worden bedacht dat de getoonde effecten nogal extreem zijn, omdat het maximale scenario is uitgezet tegen het 'minimale' scenario. Na ongeveer 1000 jaar is het concentratieverschil op 5 meter diepte niet erg groot, maar op grotere diepte nog steeds redelijk. Dit verschil zal echter na verloop van tijd verder dalen.

3.5 Ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging

Om inzicht te geven in de ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging wordt voor variant 1 (Og-A) een beschrijving van de verspreiding gegeven. De verspreiding zal uit de andere varianten, uitgezonderd variant 13, vergelijkbaar verlopen, al zullen de concentraties verschillen. Voor de variant 13 wordt een aparte beschrijving van de verspreiding gegeven. Deze verspreiding kan met behulp van de bijgeleverde computeranimatie voor alle andere varianten bestudeerd worden (zie Bijlage C voor gebruiksaanwijzing).

De verspreiding verloopt als volgt. Het grootste deel van de verontreiniging zal uit het depot in de bovenste laag van het tweede watervoerende pakket terecht komen. Van daar zal het met de stroming in het tweede watervoerende pakket in eerste instantie in westelijke richting worden meegevoerd. Onder het westelijke deel van het depot en ten westen van het depot splitst de stroming in noordwestelijke en zuidwestelijke richting. De verontreiniging zal dus gedeeltelijk in noordwestelijke en gedeeltelijk in zuidwestelijke richting worden meegevoerd. Onder de polder zal kwel een gedeelte van het water via de scheidende laag en het eerste watervoerende pakket als kwelwater naar de deklaag stromen. Op de plekken waar het water opkwelt (in de Noordoostpolder en in Oostelijk Flevoland) zal uiteindelijk een concentratieverhoging optreden. Opmerkelijk is hierbij dat het kwelgebied in de Noordoostpolder altijd op dezelfde lokatie verontreinigd wordt, terwijl het verontreinigde kwelgebied zich in de Flevopolder langzaam in zuidelijke richting verplaatst.

Chronologisch ziet de verspreiding er als volgt uit:

- 250 jaar In de deklaag is nog geen concentratieverhoging zichtbaar. In het eerste watervoerende pakket treedt ten westen van het depot een zeer beperkte verontreiniging op. In de scheidende laag en de toplaag van het tweede watervoerende pakket is tot 300 meter ten westen van het depot een concentratie aanwezig boven de normwaarde voor DCB. In de diepere lagen van het tweede watervoerende pakket is nog weinig verontreiniging aanwezig.
- 2500 jaar In de deklaag is nog geen concentratieverhoging zichtbaar. Bij enkele andere varianten is na 2500 jaar wel een kleine concentratieverhoging in de kwelgebieden zichtbaar. In het eerste watervoerende pakket is nog steeds slechts een zeer kleine verspreiding in westelijke richting zichtbaar. In de scheidende laag treedt tot 500 meter ten westen van het depot een concentratieverhoging op. Ook zonder de kwelgebieden in de Noordoostpolder en de Flevopolder is een concentratieverhoging zichtbaar. In het bovenste gedeelte van het tweede watervoerende pakket is een omvangrijke verspreiding in westelijke (tot 1000 meter van het depot), noordwestelijke (tot 500 meter van het depot) en zuidwestelijke (tot 300 meter van het depot) richting zichtbaar. Ook in diepere lagen treedt een forse verspreiding op.

- 5000 jaar** In de kwelgebieden (deklaag) in de Noordoostpolder en de Flevopolder is op een afstand van 1-2 kilometer ten noordwesten en ten zuidwesten van het depot een concentratieverhoging zichtbaar. De kwelplek in de Noordoostpolder is omvangrijker dan die in de Flevopolder. De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en in de scheidende laag is vergelijkbaar met die in de deklaag. In het tweede watervoerende pakket is een omvangrijke verspreiding opgetreden. Deze is het sterkst ontwikkeld in noordwestelijke richting (tot 2 km van het depot). In de diepere lagen treedt een wat sterkere verspreiding in zuidwestelijke richting op.
- 10000 jaar** In de kwelgebieden is een gebied van 1-3 km van het depot verontreinigd met relatief lage concentraties (echter wel boven de norm). De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en de scheidende laag zijn sterk vergelijkbaar met die in de deklaag. In de bovenste laag van het tweede watervoerende pakket is de verontreiniging in noordwestelijke richting tot 2.5 km van het depot verplaatst en in zuidwestelijke richting tot ongeveer 3 km. In de diepere lagen treedt een sterkere zuidwestelijk gerichte verspreiding op.
- 25000 jaar** De omvang van de verontreiniging in het kwelgebied ten noordwesten van het depot is vergelijkbaar met de situatie na 10000 jaar. Het verontreinigde gebied in de Flevopolder verplaatst zich in zuidelijke richting en heeft een afstand van 4 km van het depot bereikt. De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en de scheidende laag is sterk vergelijkbaar met die in de deklaag. De verspreiding in het tweede watervoerende pakket heeft zich verder in noordwestelijke en zuidwestelijke richting uitgebreid.

De verspreiding uit variant 13B verloopt anders dan uit de andere varianten omdat variant 13B dichterbij de dijk ligt. Dit betekent dat de verontreiniging uit variant 13B zich uitsluitend in noordwestelijke richting zal bewegen, en sneller in de Noordoostpolder zal opkwellen. Het zuidwestelijke deel van het gebied zal niet verontreinigd worden. Omdat het depot dichterbij de kwelgebieden ligt, zal de concentratie in het kwelgebied hoger oplopen.

Chronologisch verloopt de verspreiding uit variant 13B als volgt

- 250 jaar** In de deklaag is nog geen concentratieverhoging zichtbaar. In het eerste watervoerende pakket treedt ten zuidwesten van het depot een zeer beperkte verontreiniging op. In de scheidende laag en de toplaag van het tweede watervoerende pakket is tot 300 meter ten westen van het depot een concentratie aanwezig boven de normwaarde voor DCB. In de diepere lagen van het tweede watervoerende pakket is nog weinig verontreiniging aanwezig.
- 2500 jaar** In de deklaag is tot 200 meter ten noordwesten van het depot een concentratieverhoging tot boven de normwaarde voor DCB zichtbaar. Ook in het tweede watervoerende pakket worden normoverschrijdende concentraties bereikt.

- 5000 jaar In het kwelgebieden (deklaag) in de Noordoostpolder is op een afstand van 1-2 kilometer ten noordwesten van het depot een normoverschrijdende concentratie zichtbaar. De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en in de scheidende laag is vergelijkbaar met die in de deklaag. In het tweede watervoerende pakket is een omvangrijke verspreiding opgetreden. Deze is het sterkst ontwikkeld in noordwestelijke richting (tot 2 km van het depot). In de diepere lagen treedt een wat sterkere verspreiding in zuidwestelijke richting op.
- 10000 jaar In de kwelgebieden is een gebied van 1-3 km van het depot verontreinigd met relatief lage concentraties (echter wel boven de norm). De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en de scheidende laag is sterk vergelijkbaar met die in de deklaag. In de bovenste laag van het tweede watervoerende pakket is de verontreiniging in noordwestelijke richting tot 2.5 km van het depot verplaatst.
- 25000 jaar De omvang van de verontreiniging in het kwelgebied ten noordwesten van het depot is vergelijkbaar met de situatie na 10000 jaar, al is het gehele kwelgebied westwaarts verschoven. De verspreiding in het eerste watervoerende pakket en de scheidende laag is sterk vergelijkbaar met die in de deklaag. De verspreiding in het tweede watervoerende pakket heeft zich verder in noordwestelijke richting uitgebreid.

3.6 Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten die voor de MER nodig zijn (-depotkenmerk: isolerend vermogen; aspect: verspreiding via grondwater; fase/periode: 250/2500/25000 jaar; -criteria: 1. concentratie DCB 1,2 (max. concentratie), 2. vracht DCB 1,2 (kg/jaar), 3. volume verontr. grondwater (volume in m³)) staan vermeld in Bijlage B. Bij de benodigde tijdstippen is 5000 en 10000 jaar toegevoegd omdat uit de berekeningen blijkt dat veel varianten na 2500 net wel of net geen verspreiding van verontreinigingen te zien geven. Het zou dus beter zijn om de verspreiding na 5000 of na 10000 jaar te beschouwen. Verder is de gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume van het watervoerende pakket en de maximale concentratie in het watervoerende pakket toegevoegd. In de figuren is het verloop van het verontreinigde volume, de concentraties en de fluxen te vinden. Deze zijn aan de rapportage toegevoegd om de lezer in staat te stellen meer inzicht te krijgen in het verloop van het verspreidingsproces bij de verschillende varianten. In deze paragraaf worden aanwijzingen gegeven die nodig zijn voor een correcte interpretatie van de gegeven figuren en tabellen.

Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied

Deze waarde is de maximale DCB-concentratie die op een tijdstip in het kwelgebied bereikt wordt in mg/m³. De waarde wordt in de tabellen in de Bijlage B gegeven en in de Figuren 3.7-3.17. De waarde van deze parameter moet sterk gerelativeerd worden omdat het goed mogelijk is dat de concentratie in slechts één gridcel bereikt wordt, en dat de concentratie in alle overige cellen (veel) lager is.

Bij het verloop van de maximale DCB-concentratie in de tijd zijn de volgende opmerkingen te maken:

- De maximale concentratie in het kwelgebied is hoger naarmate de flux uit de variant hoger (variant 1 en 4) is en naarmate de variant dichterbij de oever ligt (variant 12 en 13).
- Bij de dubbele varianten treden twee maxima op: de eerste wordt in de Flevopolder bereikt en is afkomstig van het zuidelijke deel, de tweede wordt in de Noordoostpolder bereikt en is afkomstig uit het noordelijke deel.
- De maximale concentratie bereikt bij bijna alle varianten na ongeveer 10000 jaar de hoogste waarde. Bij variant 12 wordt reeds na 5000 jaar de hoogste waarde bereikt, en bij variant 13 reeds na 4000 jaar.
- De maximale concentratie vertoont een wat golvend verloop omdat de fluxen uit de verschillende depotonderdelen (talud, onderzijde) een verschillende reistijd naar het kwelgebied hebben.
- De maximale concentratie in het kwelgebied wordt redelijk verlaagd door peilbeheersing en de isolerende maatregelen. De maximale concentratie wordt sterk verlaagd bij toepassing van een combinatie van peilbeheersing en isolerende maatregelen.

Volume boven de streefwaarde voor grondwater

In de tabellen in Bijlage B wordt het volume van het watervoerende pakket gegeven waar in het poriënwater de norm en een waarde van 5 maal de norm wordt overschreden. In de figuren wordt deze waarde voor de deklaag en voor het watervoerende pakket gegeven. De volumina zijn in m^3 en gelden voor de vaste en vloeibare fase tezamen. Correctie van dit getal met een factor 0.3 levert het volume grondwater dat is verontreinigd. De normwaarde is de streefwaarde voor de algemene milieukwaliteit voor grondwater (MILBOWA): 0.01 mg DCB per m^3 . 5 Maal de norm is een waarde van 0.05 mg DCB per m^3 .

De deklaag bestaat uit de bovenste modellaag in de twee polders. Omdat deze laag 2-3 meter dik is, kan een schatting van het verontreinigde oppervlak (in m^2) gegeven worden door het gegeven volume door 2.5 te delen. Het watervoerende pakket bestaat uit het eerste watervoerende pakket (modellaag 2), de scheidende laag (modellaag 3) en het tweede watervoerende pakket (modellaag 4, 5 en 6).

Bij het verontreinigde volume in de deklaag (Figuur 3.7-3.17) zijn de volgende opmerkingen te maken:

- Het verontreinigde volume neemt zowel boven de norm als boven 5 maal de norm gestaag toe. Na ongeveer 20000 wordt een maximale omvang bereikt. Hierna blijft de omvang van het verontreinigde volume ongeveer constant.
- Bij enkele varianten begint de ontwikkeling van het verontreinigde volume in de deklaag na ongeveer 3000 jaar. Bij de dubbele varianten ontwikkelt het verontreinigde volume zich reeds na 1500 jaar. De reden van dit verschil is dat de enkelvoudige varianten meestal wat verder van de oevers verwijderd liggen dan de dubbele. Zodoende is de reistijd van depot naar kwelgebied bij de enkelvoudige varianten wat langer.

- Bij de enkelvoudige varianten wordt een tot boven de norm verontreinigd volume van 100 - 125 miljoen m³ bereikt. Bij de dubbele varianten is dit ongeveer 100 miljoen m³, bij de varianten met peilbeheersing minder dan 75 miljoen m³. Bij de geïsoleerde varianten wordt een zeer klein volume verontreinigd.

Bij het verontreinigde volume van het watervoerende pakket (Figuur 3.18-3.28) zijn de volgende opmerkingen te maken:

- Het verontreinigde volume is hoger naarmate de flux uit de variant hoger is, maar is bij de dubbele varianten lager dan bij de enkelvoudige varianten. Het verontreinigde volume is bij de dubbele varianten lager omdat deze dichterbij de kwelgebieden liggen, zodat de verontreiniging relatief snel weer opkwelt en geen mogelijkheid heeft een groot volume te verontreinigen. Het volume dat bij de variant 13 wordt verontreinigd is kleiner dan bij de andere varianten, omdat variant 13 dichterbij de dijk ligt.
- Na 15000 jaar wordt in de meeste gevallen een constante waarde voor het verontreinigde volume bereikt. Bij de geïsoleerde varianten zal de omvang van het volume na die tijd zelfs dalen. Ook het volume dat tot meer dan 5 maal de norm is verontreinigd daalt na 15000 jaar.
- Bij peilbeheersing (variant 7 en 9) wordt toch nog een behoorlijk volume tot boven de norm verontreinigd. Het volume dat tot 5 maal de norm wordt verontreinigd is in dat geval echter gering.
- Bij peilbeheersing in combinatie met diffusieremmende isolatielaag (variant 10 en 11) is de omvang van het verontreinigde volume gering.
- De gemiddelde concentratie in het volume boven 5* de norm is bij een aantal varianten in geval van een combinatie van peilbeheersing en isolatie hoger dan in het geval van alleen peilbeheersing. Dit is een schijnbaar effect dat veroorzaakt wordt doordat in geval van combinatie van peilbeheersing en isolatie enkele rekencellen van de klasse van meer dan 5 maal de norm verschuiven naar de klasse van meer dan 1 maal de norm. Hierdoor vallen dus enkele cellen met een lage concentratie weg, zodat de gemiddelde waarde in de cellen met een concentratie van 5 maal de norm stijgt.

Gemiddelde concentratie in volume

In de tabellen van Bijlage B en in de Figuren 3.29-3.49 wordt de gemiddelde concentratie in de deklaag en het watervoerende pakket gegeven voor het gedeelte waar de concentratie de normwaarde en 5 maal de normwaarde overschrijdt. De waarde van deze gemiddelde concentratie ligt dus altijd boven respectievelijk de normwaarde of 5 maal de normwaarde.

De gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume geeft de intensiteit van de verontreiniging aan. Als de gemiddelde concentratie in de buurt van de normwaarde ligt, dan betekent dit dat de concentraties in het verontreinigde volume de norm *nét* overschrijden. Liggen de gemiddelde concentraties veel hoger dan de normwaarde, dan is er sprake van een sterke normoverschrijding.

De gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume in het kwelgebied stijgt zeer sterk bij de ontwikkeling van dit verontreinigde volume. Na korte tijd (5000-10000 jaar) wordt reeds een maximale waarde bereikt. Hierna blijft de gemiddelde concentratie constant of daalt licht (variant 12). De gemiddelde concentratie is hoger naarmate de flux uit de variant hoger is. Bij de dubbele varianten is de gemiddelde concentratie wat lager dan bij de enkelvoudige varianten.

De gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume van het watervoerende pakket vertoont in de eerste 250 jaar een sterke piek. Dit wordt veroorzaakt doordat de flux uit het depot op dat moment hoog is, terwijl de verontreiniging nog geen tijd heeft gekregen zich over het systeem te verspreiden. Als de verontreiniging zich verder over het systeem verspreid daalt de gemiddelde concentratie in het verontreinigde gebied. Na 10000 jaar wordt een ongeveer constante waarde bereikt. De hoogte hiervan verschilt niet sterk voor de ongeïsoleerde varianten. De gemiddelde concentratie is wat hoger als de flux uit het depot hoger is (variant 1 en 4), al is het verschil niet erg groot. Bij de enkelvoudige varianten loopt de gemiddelde concentratie hoger op dan bij de dubbele varianten.

Fluxen

In de tabellen in Bijlage B worden de totale jaarfluxen uit het depot gegeven. In de Figuren 3.29-3.39 worden de cumulatieve fluxen en in 3.40-3.52 de fluxen per m² uit de verschillende delen van het depot gegeven.

De totale jaarflux uit het depot geeft de vracht DCB die zich jaarlijks uit het depot naar de ondergrond verplaatst. De opsplitsing van de fluxen naar talud en depotbodem geeft een inzicht in welk depotgedeelte de grootste bijdrage levert aan de totale depotflux. De flux per m² geeft een indicatie over de isolerende kwaliteit van de betreffende variant. Hoe hoger deze flux, hoe slechter de isolerende kwaliteit van de variant.

Bij de fluxen uit de varianten zijn de volgende opmerkingen te maken:

- De flux uit de dikke varianten is lager dan die uit de dunne varianten (variant 1 en 4). Dit wordt veroorzaakt doordat het oppervlak van de dunne varianten groter is, en doordat de infiltratie door deze varianten hoger is.
- De flux uit de dubbele varianten is hoger dan die uit de enkelvoudige varianten van vergelijkbare dikte. De reden hiervan is dat de dubbele varianten een veel groter totaal taludoppervlak hebben dan de enkelvoudige varianten.
- Bij peilbeheersing en isolatie daalt de flux uit het depot. De flux uit de variant met klei-isolatie komt in tegenstelling tot bij de overige varianten pas na enige tijd op gang. De reden hiervan is dat de kleilaag alle verontreiniging adsorbeert, zodat er de eerste jaren (vrijwel) schoon water uit het depot zal treden.
- De flux uit de taluds is de eerste jaren hoger dan de flux uit de onderzijde van het depot. Omdat de taluds relatief snel uitgeloozd raken, zal na enige tijd de flux uit de onderzijde van het depot de hoogste waarde hebben. Bij de dubbelzijdige varianten is gedurende 25000 jaar de flux uit de taluds hoger dan uit de onderzijde van het depot.

- Bij alle varianten zonder peilbeheersing is de flux uit de depotranden in ieder geval op de korte termijn hoger dan die uit de depotbodem. Bij de varianten 1 en 4 daalt de flux uit de taluds na 3000-4000 jaar onder de flux uit het vlakke deel. Bij de geïsoleerde varianten is de flux uit het vlakke deel altijd hoger dan die uit de taluds.
- In eerste instantie is de flux per m² (en ook per m³) uit het bovenste deel van het talud veel hoger dan die uit de andere delen van het depot. Omdat dit gedeelte van het depot echter vrij snel is uitgeput, zal de flux na verloop van tijd tot onder de flux uit het onderste deel van het talud en uit het vlakke deel van het depot dalen.

3.7 Kwantificering fluxen en volumina voor B(a)P, Flua, PCB-28 en gamma-HCH

3.7.1 Inleiding

Als aanvulling op de verspreidingsberekeningen die voor een aantal depots zijn uitgevoerd zijn voor een aantal verontreinigingen fluxen en verontreinigde volumina gekwantificeerd. Deze zijn oorspronkelijk in een aparte notitie beschreven ('Aanvulling op verspreidingsberekeningen Ketelmeer', november 1993).

Het betreft de volgende stoffen:

- B(a)P (benzo(a)pyreen)
- Flua (fluorantheen)
- PCB-28
- gamma-HCH

De berekende flux is de flux in gram per jaar die het depot aan de onderzijde verlaat. Het verontreinigde volume is gegeven voor het watervoerende pakket en de scheidende laag. In de gegeven volumina wordt de normconcentratie (streefwaarde algemene milieukwaliteit, VROM) of 5* de normconcentratie overschreden. De gegevens worden gegeven voor 250, 2500, 10000 en 25000 jaar. De analyse is uitgevoerd voor de depots 3C, 3D, 13C en 13D en voor de huidige situatie. Deze depots zijn allen gelegen binnen de voorkeurslokatie Epb. De variant 3 ligt in het midden van het Ketelmeer, de variant 13 ligt ten noorden hiervan. De C-variant heeft peilbeheersing, maar geen isolatie, de D-variant heeft een isolatie met een RC-waarde van 3. Dit betekent dat tussen dit depot en het watervoerende pakket een laag van een niet nader gedefinieerd materiaal is aangebracht die ervoor zorgt dat de diffusieafstand tussen specie en watervoerend pakket met een factor 1000 stijgt. De codering van de depots is als volgt:

3C: Og-A(1; + 10/-40)
3D: Og-A(1; + 10/-40)
13C: Og-A(1; + 10/-40)v1
13D: OG-A(1; + 10/-40)v1

De verdelingscoëfficiënten die zijn gebruikt zijn dezelfde als bij de studie naar de uitloging van de depots in het Hollandsch diep zijn gebruikt. De reden hiervoor is dat de berekeningsresultaten in dat geval maximaal vergelijkbaar zijn. Daarnaast bestaat voor de meeste stoffen geen eenduidigheid omtrend de exacte waarde van de verdelingscoëfficiënt, zodat het niet mogelijk is om dé waarde van de verdelingscoëfficiënt te gebruiken. De verdelingscoëfficiënten die bij het Hollandsch diep zijn gebruikt zijn gebaseerd op gegevens die door RIZA zijn aangeleverd.

De verdelingscoëfficiënten zijn gecorrigeerd voor de adsorptie aan DOC (opgelost organisch koolstof). Hierbij is aangenomen dat de preferentie voor adsorptie aan DOC 10 maal minder is dan die voor de adsorptie aan POC (particulair organisch koolstof). Aangenomen is dat de concentratie DOC in het poriënwater gelijk is aan 40 mgC/l. Deze correctie van de verdelingscoëfficiënt heeft vooral gevolgen voor de verdelingscoëfficiënt van sterk adsorberende stoffen (hier B(a)P en PCB-28), omdat de mobiliteit van deze stoffen door adsorptie aan DOC fors verhoogd kan worden. Tabel 3.9 geeft de gebruikte waarden.

Voor de vergelijking is de streefwaarde van de algemene milieukwaliteit (AMKSTR, VROM) voor grondwater gebruikt. Hierbij moet worden aangetekend dat de normconcentratie die voor gamma-HCH is gebruikt (0.01 mg/m³) afwijkt van de waarde die als streefwaarde voor de algemene milieukwaliteit wordt genoemd. Hier wordt een waarde van 0.2 ug/m³ genoemd. Uit mondelinge informatie bleek dat deze waarde niet correct is, en dat de correcte waarde voor grondwater de waarde is die in de Leidraad Bodembescherming wordt genoemd (A-waarde grondwater 0.01 mg/m³).

Tabel 3.9 K-waarden en concentraties, waarbij de poriënwaterconcentraties gelden bij een organisch koolstofgehalte van de vaste fase van 5% C .

	Koc (m ³ /kg)	K gecorri- geerd (m ³ /kg)	C vaste fase (mg/kg)	poriënwater- concentratie (mg/m ³)	AMK streef- waarde (mg/m ³)	vermenigvul- digingsfactor tijdas (-)
B(a)P	1290	210	1.13	0.11	0.001	420
Flua	59	48	2.28	0.95	0.005	96
PCB-28	290	134	0.14	0.02	0.01	268
gamma- HCH	2	1.98	0.002	0.02	0.01	4

De gegevens voor de vier verontreinigingen zijn afgeleid uit de berekeningen die zijn uitgevoerd voor de stof dichloorbenzeen (DCB). Deze stof heeft een concentratie van 0.808 mg/kg vaste fase en een verdelingscoëfficiënt van 0.5 m³/kg. De opgeloste concentratie in de specie is dus bij een organisch koolstofgehalte van 5% C is dus gelijk aan 32.3 mg/m³.

De berekeningen voor DCB zijn uitgevoerd bij een referentieconcentratie van 1 mg/m³. Dit betekent dat voor deze stof alle berekende concentraties met 32.3 vermenigvuldigd zijn, teneinde reële concentraties te krijgen.

De waarden die voor DCB zijn berekend kunnen worden omgezet naar de andere vier verontreinigingen door de tijdas van de berekeningen te verschuiven, en door de concentratie met een factor te vermenigvuldigen. De tijdas moet met het quotiënt van de verdelingscoëfficiënt van de betreffende stof en de verdelingscoëfficiënt van DCB vermenigvuldigd worden (tabel 3.9). De berekende concentraties moeten met de poriënwaterconcentraties uit tabel 1 vermenigvuldigd worden.

3.7.2 Fluxen

In de volgende vier tabellen wordt voor de verschillende stoffen de flux in gram per jaar uit het depot naar de ondergrond gegeven.

Tabel 3.10 Flux uit het depot voor benzo(a)pyreen in g/j

	huidig	depot 3c	depot 3d	depot 13c	depot 13d
250 jaar	700	1.1	0.7	1.1	0.72
2500 jaar	660	1.0	0.68	1.0	0.71
10000 jaar	440	0.97	0.62	0.97	0.64
25000 jaar	230	0.82	0.50	0.81	0.50

Tabel 3.11 Flux uit het depot voor fluorantheen in g/j

	huidig	depot 3c	depot 3d	depot 13c	depot 13d
250 jaar	5800	9.3	6.0	9.2	6.2
2500 jaar	3600	8.1	5.2	8.1	5.4
10000 jaar	1100	5.9	3.3	5.8	3.3
25000 jaar	330	3.9	1.5	3.7	1.5

Tabel 3.12 Flux uit het depot voor PCB-28 in g/j

	huidig	depot 3c	depot 3d	depot 13c	depot 13d
250 jaar	13	0.19	0.13	0.19	0.13
2500 jaar	11	0.18	0.12	0.18	0.12
10000 jaar	6.4	0.16	0.10	0.16	0.11
25000 jaar	2.7	0.13	0.07	0.13	0.076

Tabel 3.13 Flux uit het depot voor gamma-HCH in g/j

	huidig	depot 3c	depot 3d	depot 13c	depot 13d
250 jaar	40	0.15	0.090	0.14	0.092
2500 jaar	4.0	0.065	0.021	0.059	0.019
10000 jaar	3.2	0.047	0.014	0.041	0.013
25000 jaar	0.015	0.034	0.013	0.031	0.012

3.7.3 Normoverschreidende volumina

In de volgende twee tabellen is het volume waar de streefwaarde en 5* de streefwaarde wordt overschreden. Deze waarden zijn voor PCB-28 en gamma-HCH gelijk aan nul, omdat binnen de beschouwde termijn nergens een norm-overschreiding plaatsvindt. De poriënwaterconcentratie van PCB-28 is 0.02 mg/m³, de poriënwaterconcentratie gamma-HCH is 0.02 mg/m³; de streefwaarden voor grondwater is voor beide stoffen 0.01 mg/m³. De normoverschreiding in het poriënwater is dus maar een factor 2.

Tabel 3.13 Volumina (in miljoen m³) waar de streefwaarde van de algemene milieukwaliteit voor benzo(a)pyreen wordt overschreden, de gemiddelde concentratie in dit volume en de maximale concentratie (mg/m³) (geen ingevulde waarde betekent geen overschrijding norm).

HUIDIG	vol > norm (mln m³)	C gem (mg/m³)	vol > 5*norm	C gem (mg/m³)	C max (mg/m³)
250 jaar					
2500 jaar					
10000 jaar	84	0.0016			0.0027
25000 jaar	140	0.0045	56	0.0070	0.011
DEPOT 3C					
250 jaar					
2500 jaar	1.0	0.0016			0.0016
10000 jaar	1.8	0.0043	1.0	0.0055	0.0069
25000 jaar	2.1	0.0080	1.2	0.011	0.015
DEPOT 3D					
250 jaar					
2500 jaar	0.9	0.0014			0.0014
10000 jaar	1.0	0.0055	1.0	0.0055	0.0058
25000 jaar	1.5	0.0080	1.0	0.011	0.012
DEPOT 13C					
250 jaar					
2500 jaar	1.0	0.0013			0.0013
10000 jaar	1.8	0.0044	1.0	0.0066	0.0071
25000 jaar	2.3	0.0077	1.2	0.0012	0.015
DEPOT 13D					
250 jaar					
2500 jaar	1.0	0.0001			0.0011
10000 jaar	1.0	0.0057	1.0	0.0057	0.0060
25000 jaar	1.9	0.0067	1.0	0.011	0.013

Tabel 3.14 Volumina (in miljoen m³) waar de streefwaarde van de algemene milieukwaliteit voor fluorantheen wordt overschreden, de gemiddelde concentratie in dit volume en de maximale concentratie (mg/m³) (geen waarde betekent geen overschrijding norm).

HUIDIG	vol > norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	vol > 5*norm	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250 jaar					
2500 jaar	97	0.013			0.024
10000 jaar	860	0.019	130	0.065	0.16
25000 jaar	2000	0.025	700	0.046	0.26
DEPOT 3C					
250 jaar	1.0	0.010			0.010
2500 jaar	1.9	0.037	1.0	0.060	0.064
10000 jaar	3.3	0.069	2.0	0.10	0.20
25000 jaar	26	0.019	3.3	0.10	0.34
DEPOT 3D					
250 jaar	1.0	0.0085			0.0085
2500 jaar	1.2	0.041	1.0	0.049	0.054
10000 jaar	3.3	0.049	1.5	0.095	0.16
25000 jaar	4.8	0.050	2.0	0.095	0.26
DEPOT 13C					
250 jaar					
2500 jaar	1.9	0.037	1.0	0.061	0.063
10000 jaar	3.5	0.066	2.3	0.095	0.20
25000 jaar	11	0.036	3.4	0.10	0.27
DEPOT 13D					
250 jaar					
2500 jaar	1.2	0.043	1.0	0.049	0.052
10000 jaar	3.2	0.052	1.9	0.084	0.16
25000 jaar	5.6	0.044	2.1	0.092	0.19

3.8 Conclusies

Met betrekking tot de gevolgde werkwijze is de volgende conclusie te trekken:

- De werkwijze levert uitstekende resultaten, waarbij ook de diffusie goed wordt gemodelleerd. Deze werkwijze is uitsluitend mogelijk door een vergaande automatisering van de berekeningen. De foute laagindeling die bij de eerste berekeningen is gehanteerd heeft vrijwel geen gevolgen voor de berekeningsresultaten, vooral omdat deze laagindeling slechts relevant was buiten het beïnvloedingsgebied van de doorge-rekende varianten.

Ten aanzien van het belang van het correct meenemen van de consolidatieperiode is het volgende te concluderen:

- Indien de uitloging en de concentraties in de ondergrond op korte termijn belangrijk zijn (< 500 jaar), dan moet de consolidatie nauwkeurig gemodelleerd worden. Bij beschouwing van langer perioden is het effect van de consolidatie op het eindresultaat gering (< 10 % na 1000 jaar).
- De onzekerheid die in de berekeningen na meer dan 500 jaar wordt geïntroduceerd bij verwaarlozing van de consolidatie is nog kleiner dan de onzekerheid die in de berekeningen aanwezig is omdat de diffusiecoëfficiënt niet nauwkeurig bekend is.

De belangrijkste trends (voor getalswaarden wordt naar hoofdstuk 3 verwezen) ten aanzien van de verschillende varianten zijn:

- Bij alle varianten, behalve de variant 13, zal de verontreiniging zich vanuit het depot eerst in westelijke en vervolgens in noordwestelijke en zuidwestelijke richting verspreiden. Uiteindelijk wordt een kwelgebied in de Noordoostpolder en in Oostelijk Flevoland verontreinigd. Bij variant 13 zal alleen een gebied in de Noordoostpolder verontreinigd worden.
- Voor de flux uit het depot geldt:
 - de flux is hoger naarmate het depot dunner is;
 - de flux uit de dubbele varianten is hoger dan uit de enkelvoudige varianten, omdat de dubbele varianten een relatief groter taludoppervlak hebben;
 - door peilbeheersing daalt de flux uit het depot;
 - door isolatiemaatregelen daalt de flux uit het depot, de diffusieremmende isolatielaag is hierbij effectiever dan een kleilaag.
- Voor de maximale concentratie in het kwelgebied geldt:
 - de concentratie is hoger als de flux uit het depot hoger is;
 - de maximale waarde wordt bij alle varianten na ongeveer 10000 jaar bereikt;
 - de maximale concentratie wordt sterk verlaagd door peilbeheersing en isolatiemaatregelen;
 - bij de dubbele varianten worden twee maximale waarden bereikt: eerst in de Flevopolder en vervolgens in de Noordoostpolder;
 - de maximale concentratie is hoger als het depot zich dichterbij het kwelgebied bevindt.
- Voor het volume van de deklaag dat tot meer dan de normwaarde wordt verontreinigd geldt:

- na ongeveer 20000 jaar wordt een maximaal volume bereikt, behalve bij de 'voorlandvariant' (variant 13) waar na ongeveer 10000 jaar een maximaal volume bereikt wordt;
- bij de enkelvoudige varianten begint de vorming van het volume na ongeveer 3000 jaar, bij de dubbele varianten na ongeveer 1500 jaar; bij de 'voorlandvariant' (variant 13) begint de vorming al na 1000 jaar;
- bij de enkelvoudige varianten wordt een maximaal volume bereikt van 100-125 miljoen m³, bij de dubbele varianten van 100 miljoen m³, bij de varianten met peilbeheersing minder dan 75 miljoen m³ en bij de varianten met de diffusieremmende isolatie een zeer gering volume.
- Voor het volume van het watervoerende pakket dat tot meer dan de normwaarde wordt verontreinigd geldt:
 - het verontreinigde volume neemt toe als de flux uit het depot stijgt, en daalt bij de dubbele varianten;
 - het volume bereikt na 15000 jaar een min-of-meer constante waarde;
 - bij de 'voorlandvariant' (variant 13) wordt een kleiner volume verontreinigd dan bij alle andere varianten;
 - ook bij peilbeheersing wordt nog een behoorlijk volume tot boven de norm verontreinigd;
 - het verontreinigde volume daalt sterk bij isolatie met de diffusieremmende isolatielaag.
- Voor de gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume geldt:
 - de gemiddelde concentratie is in het kwelgebied na 10000-15000 jaar maximaal;
 - in het watervoerende pakket vertoont de gemiddelde concentratie een sterke piek na 250 jaar en daalt vervolgens tot na ongeveer 10000 jaar een constante waarde wordt bereikt;
 - de gemiddelde concentratie stijgt licht bij verhoging van de flux;
 - de gemiddelde concentratie is bij de dubbele varianten lager dan bij de enkelvoudige varianten;
 - de gemiddelde concentratie in het verontreinigde volume is bij de 'voorlandvariant' (variant 13) veel hoger dan bij de andere varianten.
- Bij een dun depot zal de verspreiding van verontreinigingen sterker zijn als bij een dik depot omdat het bodemoppervlak en de infiltratie door een dun depot groter zijn.
- De verspreiding uit een dubbel depot zal groter zijn dan uit een enkel depot van vergelijkbare dikte omdat het totale taludoppervlak bij het dubbele depot veel groter is. Het verontreinigde volume is bij de dubbele depots lager dan bij de enkele depots.
- De verspreiding uit een depot dicht bij de Noordoostpolder (variant 13) verloopt sneller dan bij de overige depots. Hierbij wordt een kleiner volume van het watervoerende pakket verontreinigd maar zijn de concentraties in het verontreinigde volume hoger. Het kwelgebied raakt bij deze variant eerder verontreinigd, met hogere concentraties.
- Bij peilbeheersing daalt de verspreiding van verontreinigingen redelijk. Door diffusie transport komt echter toch nog een behoorlijke vracht aan DCB in het systeem terecht.
- Bij peilbeheersing in combinatie met isolerende maatregelen daalt de verspreiding van verontreinigingen uit het depot sterk. Een diffusieremmende isolatielaag heeft een groter remmend effect op de verspreiding dan een kleilaag.
- Isolatie met een kleilaag zonder peilbeheersing heeft een sterker verlagend effect op de uitloging dan peilbeheersing, zonder isolatie.

4 Literatuur

- Gerrits, H.J. en N.M. de Rooij, 1991
Modellering grondwaterkwaliteit Ketelmeer
Waterloopkundig Laboratorium (T927)
- Gerrits, H.J., W. van Ellen, M.P.J.M. Kroot en N.M. de Rooij, 1993
Verspreidingsberekeningen MER Speciedepot Hollandsch Diep
Waterloopkundig Laboratorium (T842)
- Gerrits, H.J., K. Maiwald en N.M. de Rooij, 1993
Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeer-
gebied; aanvullende depotberekeningen
Waterloopkundig Laboratorium (T1121) (concept)
- Grashoff, P.S., R. Kersten, N.M. de Rooij en H.J. Gerrits, 1990
Modellering grondwaterkwaliteit Ketelmeer
Waterloopkundig Laboratorium (T600)
- Ingenieursbureaucombinatie, 1992
Studie ten behoeve van de MER/projectnota voor de baggerspeciebergingslocatie Ketel-
meergebied (fase 2); stap 1 rapport genereren van alternatieven
Ingenieursbureaucombinatie DHV Milieu & Infrastructuur en Witteveen + Bos Raadgeven-
de Ingenieurs
- Rooij, N.M. de, R. Passchier, W. van Ellen, J. Streng en H.J. Gerrits, 1991
Verspreiding van verontreinigingen naar het grondwater voor slibdepots in het Ketelmeer-
gebied
Waterloopkundig Laboratorium (T841)
- RWS, 1993
Ontwerpaspecten Speciedepots
- Streng, J.M.A., N.M. de Rooij, R. van Buren en H.J. Gerrits, 1991
Modellering van de invloed van de verontreinigde waterbodem in de zuidrand van het
Noordelijk Deltabekken
Waterloopkundig Laboratorium (T262.61)

Bijlage A Hydrologische schematisaties

Variant 1: Og-A(1; +5,-25)	
<u>Algemene gegevens</u>	
enkelvoudig depot	
inhoud	21.8 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-25 m
helling talud dh/dL	0.2223
afmeting putbodem	714x714 m
dikte sliblaag	23.79 m
weerstand	211000 d
taludlengte L	107.02 m
opp. bovenzijde sliblaag	861249 m ²
opp. onderkant sliblaag	509796 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	351453 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,31)...(46,52)} - {(27,33)...(44,50)}
aantal cellen	160
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,33)...(44,50)}
aantal cellen	18x18
oppervlakte	810000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.103x10 ⁻³ m/d
leakance	0.2962x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(27,33)...(44,50)}
aantal cellen	18x18
oppervlakte	810000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.103x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1580x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	13.84 m
celnummers ix,iy	{(28,34)...(43,49)}
aantal cellen	16x16
oppervlakte	640000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.103x10 ⁻³ m/d
leakance	0.878x10 ⁻⁵ d ⁻¹

Variant 2: Og-A(1;+5,-40)	
<u>Algemene gegevens</u>	
enkelvoudig depot	
inhoud	22.3 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.235
afmeting putbodem	505x505 m
dikte sliblaag	32.81 m
weerstand	318000 d
taludlengte L	139.62 m
opp. bovenzijde sliblaag	615023 m ²
opp. onderkant sliblaag	255025 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	359998 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,31)...(44,50)} - {(27,33)...(42,48)}
aantal cellen	144
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,33)...(42,48)}
aantal cellen	256
oppervlakte	640000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1032x10 ⁻³ m/d
leakance	0.34181x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(28,34)...(41,47)}
aantal cellen	196
oppervlakte	490000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1032x10 ⁻³ m/d
leakance	0.16816x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(30,36)...(39,45)}
aantal cellen	100
oppervlakte	250000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1032x10 ⁻³ m/d
leakance	0.43615x10 ⁻⁵ d ⁻¹

Variant 3: Og-A(1; +10,-40)	
<u>Algemene gegevens</u>	
enkelvoudig depot	
inhoud	21.8 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.232
afmeting putbodern	433x433 m
dikte sliblaag	35.75 m
weerstand	352000 d
taludlengte L	154.09 m
opp. bovenzijde sliblaag	549362 m ²
opp. onderkant sliblaag	187489 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	361874 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,31)...(44,50)} - {(28,34)...(41,47)}
aantal cellen	204 (breedte 3 cellen)
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(28,34)...(41,47)}
aantal cellen	196
oppervlakte	490000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1016x10 ⁻³ m/d
leakance	0.30881x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(28,34)...(41,47)}
aantal cellen	196
oppervlakte	490000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1016x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1519x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(30,36)...(39,45)}
aantal cellen	100
oppervlakte	250000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1016x10 ⁻³ m/d
leakance	0.3940x10 ⁻⁵ d ⁻¹

Variant 4: Og-B(2; +5,-25)	
<u>Algemene gegevens</u>	
dubbel depot	
inhoud	27.5 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-25 m
helling talud dh/dL	0.224
afmeting putbodern	564x514 m
dikte sliblaag	21.40 m
weerstand	184000 d
taludlengte L	95.53 m
opp. bovenzijde sliblaag	1064725 m ²
opp. onderkant sliblaag	579792 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	484933 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,31)...(43,54)} - {(27,23)...(41,36)} - {(27,39)...(41,52)}
aantal cellen	226 (breedte 2 cellen)
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,23)...(41,36)} + {(27,39)...(41,52)}
aantal cellen	420
oppervlakte	1050000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1163x10 ⁻³ m/d
leakance	0.3397x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(27,23)...(41,36)} + {(27,39)...(41,52)}
aantal cellen	420
oppervlakte	1050000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1163x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1812x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	13.83 m
celnummers ix,iy	{(28,24)...(40,35)} + {(28,40)...(40,51)}
aantal cellen	312
oppervlakte	780000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1163x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1006x10 ⁻⁴ d ⁻¹

Variant 5: Og-B(2;+5,-40)	
<u>Algemene gegevens</u>	
dubbel depot	
inhoud	29.1 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.238
afmeting putbodem	392x347 m
dikte sliblaag	29.56 m
weerstand	277000 d
taludlengte L	124.20 m
opp. bovenzijde sliblaag	762588 m ²
opp. onderkant sliblaag	272048 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	490540 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,22)...(42,53)} - {(27,24)...(40,36)} - {(27,39)...(40,51)}
aantal cellen	212 (breedte 2 cellen)
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,24)...(40,36)} + {(27,39)...(40,51)}
aantal cellen	364
oppervlakte	910000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.3924x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(28,25)...(39,35)} + {(28,40)...(39,50)}
aantal cellen	264
oppervlakte	660000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1931x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(29,26)...(38,34)} + {(29,41)...(38,49)}
aantal cellen	180
oppervlakte	450000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.5007x10 ⁻⁵ d ⁻¹

Variant 6: Og-B(2; +10,-40)	
<u>Algemene gegevens</u>	
dubbel depot	
inhoud	30.3 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.235
afmeting putbodem	338x310 m
dikte sliblaag	31.94 m
weerstand	305000 d
taludlengte L	135.92 m
opp. bovenzijde sliblaag	709634 m ²
opp. onderkant sliblaag	209560 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	500074 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,21)...(42,52)} - {(28,24)...(39,34)} - {(28,39)...(39,49)}
aantal cellen	312 (breedte 3 cellen of 4 cellen)
hor. weerstand K_{hor}	10.0 m/d
leakance	$0.1 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(28,24)...(39,34)} + {(28,39)...(39,49)}
aantal cellen	264
oppervlakte	660000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1047 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.3564 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(28,24)...(39,34)} + {(28,39)...(39,49)}
aantal cellen	264
oppervlakte	660000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1047 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.1753 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(29,25)...(38,33)} + {(29,40)...(38,48)}
aantal cellen	180
oppervlakte	450000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1047 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.4547 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$

Variant 7: Ge-B(2; +5,-25)p	
<u>Algemene gegevens</u>	
dubbel depot	
inhoud	30.3 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-25 m
helling talud dh/dL	0.2417 m
afmeting putbodem	613x554 m
dikte sliblaag	20.47 m
weerstand	164000 d
taludlengte L	84.69 m
opp. bovenzijde sliblaag	1131927 m ²
opp. onderkant sliblaag	679204 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	452723 m ²
<u>Modelgegevens peilverlaging</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(26,22)...(43,38)} + {(26,40)...(43,56)}
initial head	-4.65 m
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,21)...(44,57)} - {(27,23)...(42,37)} - {(27,41)...(42,55)}
aantal cellen	260 (breedte 2 cellen)
hor. weerstand K _{hor}	0.1x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,23)...(42,37)} + {(27,41)...(42,55)}
aantal cellen	480
oppervlakte	1200000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1248x10 ⁻³ m/d
leakance	0.4142x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(28,24)...(41,36)} + {(28,42)...(41,54)}
aantal cellen	364
oppervlakte	910000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1248x10 ⁻³ m/d
leakance	0.2038x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	13.84 m
celnummers ix,iy	{(29,25)...(40,35)} + {(29,43)...(40,53)}
aantal cellen	264
oppervlakte	660000 m ²
hor. weerstand K _{hor}	0.1248x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1101x10 ⁻⁴ d ⁻¹

Variant 11: Ge-A(1;+5,-25)bp	
<u>Algemene gegevens</u>	
enkelvoudig depot	
inhoud	25.6 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-25 m
helling talud dh/dL	0.1874 m
afmeting putbodem	759x759 m
dikte sliblaag	20.45 m
weerstand	165000 d
taludlengte L	109.12 m
opp. bovenzijde sliblaag	954790 m ²
opp. onderkant sliblaag	576081 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	378709 m ²
<u>Modelgegevens peilverlaging</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(26,32)...(46,52)}
initial head	-4.65 m
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(25,31)...(47,53)} - {(27,33)...(45,51)}
aantal cellen	168 (breedte 2 cellen)
hor. weerstand K_{hor}	0.1×10^{-3} m/d
leakance	0.1×10^{-3} d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(27,33)...(45,51)}
aantal cellen	361
oppervlakte	902500 m ²
hor. weerstand K_{hor}	0.1239×10^{-3} m/d
leakance	0.4117×10^{-4} d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(27,33)...(45,51)}
aantal cellen	361
oppervlakte	902500 m ²
hor. weerstand K_{hor}	0.1239×10^{-3} m/d
leakance	0.2026×10^{-4} d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	13.84 m
celnummers ix,iy	{(28,34)...(44,50)}
aantal cellen	289
oppervlakte	722500 m ²
hor. weerstand K_{hor}	0.1239×10^{-3} m/d
leakance	0.1095×10^{-4} d ⁻¹

Variant 12: Og-B(2; +5,-40)	
<u>Algemene gegevens</u>	
dubbel depot, verschoven	
inhoud	29.1 mln m ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.238
afmeting putbodem	392x347 m en 347x392 m
dikte sliblaag	29.56 m
weerstand	277000 d
taludlengte L	124.20 m
opp. bovenzijde sliblaag	762588 m ²
opp. onderkant sliblaag	272048 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	490540 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	1
celnummers ix,iy	{(22,45)...(37,61)} - {(24,47)...(35,59)} + {(42,20)...(57,36)} - {(44,22)...(55,34)}
aantal cellen	232 (breedte 2 cellen)
hor. weerstand K _{hor}	10.0 m/d
leakance	0.1x10 ⁻³ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(24,47)...(35,59)} + {(44,22)...(55,34)}
aantal cellen	312
oppervlakte	796250 m ² (406250 + 390000)
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.3924x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(25,48)...(34,58)} + {(45,23)...(54,33)}
aantal cellen	220
oppervlakte	556875 m ² (281875 + 275000)
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.1931x10 ⁻⁴ d ⁻¹
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(26,49)...(33,57)} + {(46,24)...(53,32)}
aantal cellen	144
oppervlakte	360000 m ² (2x180000)
hor. weerstand K _{hor}	0.1067x10 ⁻³ m/d
leakance	0.5007x10 ⁻⁵ d ⁻¹

Variant = 13B: Og-A(1; +10,-40)VL Peil ketelmeer	
<u>Algemene gegevens</u>	
enkelvoudig depot	
inhoud	21.8 Mm ³
bodem t.o.v. NAP	-40 m
helling talud dh/dL	0.232
afmeting putbodem	433x433 m
dikte sliblaag	35.75 m
weerstand	352000 d
taludlengte L	154.09 m
opp. bovenzijde sliblaag	549362 m ²
opp. onderkant sliblaag	187489 m ²
opp. taluds (hor. projectie)	361874 m ²
<u>Modelgegevens dijklichaam</u>	
modellaag	4
celnummers ix,iy	{(26,28)...(45,47)} - {(29,31)...(42,44)}
aantal cellen	204 (breedte 3 cellen)
hor. weerstand K_{hor}	10.0 m/d
leakance	$0.1 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 1</u>	
dikte	3.68 m
celnummers ix,iy	{(29,31)...(42,44)}
aantal cellen	196
oppervlakte	490000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1016 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.30881 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 2</u>	
dikte	7.48 m
celnummers ix,iy	{(29,31)...(42,44)}
aantal cellen	196
oppervlakte	490000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1016 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.1519 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$
<u>Modelgegevens sliblaag 3</u>	
dikte	28.84 m
celnummers ix,iy	{(31,33)...(40,42)}
aantal cellen	100
oppervlakte	250000 m ²
hor. weerstand K_{hor}	$0.1016 \times 10^{-3} \text{ m/d}$
leakance	$0.3940 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$

Bijlage B Resultaten chemische berekeningen

Variante 1: Og-A(1; + 5/-25)

Tabel 1 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.55
2500	0.00	0.32
5000	0.085	0.26
10000	0.17	0.21
25000	0.13	0.16

Tabel 2 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	140	0.39	100	0.53	8.0
2500	2200	0.16	1200	0.28	8.9
5000	5700	0.11	2900	0.18	4.8
10000	10000	0.080	5100	0.14	1.8
25000	13600	0.064	6300	0.10	1.0

Variante 2: Og-A(1; + 5/-40)**Tabel 3** Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.34
2500	0.058	0.22
5000	0.066	0.17
10000	0.10	0.13
25000	0.80	0.088

Tabel 4 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	93	0.36	57	0.57	8.5
2500	1700	0.14	950	0.24	11.4
5000	4800	0.084	2100	0.16	7.9
10000	9200	0.060	3600	0.11	5.6
25000	12000	0.044	3400	0.085	4.6

Variante 3: Og-A(1; + 10/-40)

Tabel 5 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.30
2500	0.00	0.20
5000	0.027	0.16
10000	0.093	0.12
25000	0.074	0.081

Tabel 6 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	100	0.30	59	0.49	7.9
2500	1600	0.13	810	0.24	11.5
5000	4600	0.080	2000	0.15	8.2
10000	9000	0.056	3400	0.10	5.5
25000	11800	0.040	2400	0.087	4.6

Variant 3B: Og-A(1; + 10/-40)**Tabel 7** Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.29
2500	0.037	0.19
5000	0.030	0.15
10000	0.067	0.12
25000	0.073	0.081

Tabel 8 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	81	0.35	59	0.47	14.0
2500	1400	0.15	720	0.26	29.5
5000	4400	0.081	1900	0.15	19.9
10000	8800	0.056	3400	0.11	14.0
25000	11700	0.041	2300	0.090	12.0

Variant 3C: Og-A(1; + 10/-40)p

Tabel 9 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.20
2500	0.018	0.075
5000	0.014	0.060
10000	0.035	0.045
25000	0.028	0.029

Tabel 10 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	74	0.26	38	0.48	11.8
2500	1100	0.080	450	0.15	13.8
5000	3100	0.045	830	0.10	10.0
10000	6000	0.030	680	0.089	7.1
25000	7500	0.020	180	0.97	4.2

Variant 3D: Ge-A(1; + 10/-40)p

Tabel 11 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.11
2500	0.00	0.023
5000	0.00	0.021
10000	0.012	0.018
25000	0.011	0.014

Tabel 12 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	30	0.32	9	1.0	8.9
2500	790	0.034	100	0.11	4.9
5000	1400	0.024	60	0.12	4.4
10000	2000	0.019	53	0.12	3.6
25000	1700	0.017	37	0.11	2.5

Variant 4: Og-B(2; + 5/-25)

Tabel 13 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.80
2500	0.13	0.43
5000	0.15	0.34
10000	0.16	0.27
25000	0.12	0.20

Tabel 14 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	210	0.38	140	0.56	8.7
2500	3400	0.14	2000	0.23	9.6
5000	7000	0.11	4100	0.16	4.6
10000	11700	0.078	6500	0.12	1.2
25000	14300	0.059	5900	0.098	0.90

Variant 5: Og-B(2; + 5/-40)

Tabel 15 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.50
2500	0.083	0.30
5000	0.10	0.23
10000	0.11	0.17
25000	0.070	0.11

Tabel 16 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	160	0.31	100	0.47	10.5
2500	2900	0.11	1500	0.20	9.3
5000	6400	0.079	3300	0.13	5.5
10000	10800	0.057	5000	0.091	4.8
25000	13100	0.038	2200	0.085	3.8

Variant 6: Og-B(2; + 10/-40)

Tabel 17 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.44
2500	0.090	0.28
5000	0.10	0.21
10000	0.094	0.15
25000	0.067	0.099

Tabel 18 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	150	0.30	100	0.44	8.6
2500	2700	0.11	1400	0.19	11.0
5000	6100	0.074	3000	0.12	6.7
10000	10500	0.053	4300	0.090	3.4
25000	12700	0.036	1900	0.087	0.78

Variante 7: Ge-B(2; + 5/-25)p

Tabel 19 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.37
2500	0.052	0.17
5000	0.065	0.13
10000	0.074	0.092
25000	0.040	0.058

Tabel 20 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	150	0.24	110	0.32	4.5
2500	2500	0.079	1100	0.15	10.0
5000	5100	0.053	1800	0.10	6.1
10000	8400	0.036	1500	0.087	4.6
25000	9100	0.022	430	0.086	2.1

Variante 9: Ge-B(2; + 5/-25)kp

Tabel 21 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.028
2500	0.016	0.11
5000	0.033	0.10
10000	0.052	0.084
25000	0.036	0.056

Tabel 22 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	84	0.038	8	0.17	0.51
2500	1400	0.057	390	0.14	6.6
5000	3600	0.042	790	0.11	5.6
10000	6600	0.032	980	0.088	4.1
25000	8500	0.022	370	0.088	2.3

Variant 10: Ge-B(2; + 5/-25)bp

Tabel 23 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.061
2500	0.011	0.045
5000	0.015	0.039
10000	0.019	0.033
25000	0.014	0.026

Tabel 24 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	98	0.061	13	0.27	1.5
2500	1100	0.034	170	0.11	5.1
5000	2300	0.024	150	0.095	3.6
10000	3000	0.020	110	0.091	2.6
25000	2400	0.018	78	0.081	1.3

Variant 11: Ge-A(1; + 5/-25)bp

Tabel 25 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.043
2500	0.00	0.035
5000	0.010	0.031
10000	0.018	0.027
25000	0.016	0.021

Tabel 26 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	88	0.047	6	0.22	0.70
2500	790	0.038	150	0.10	1.2
5000	1800	0.026	140	0.091	0.97
10000	2900	0.021	110	0.089	0.68
25000	2900	0.019	91	0.079	0.38

Variant 12: Og-B(2; + 5/-40)

Tabel 27 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.51
2500	0.13	0.30
5000	0.19	0.23
10000	0.15	0.17
25000	0.085	0.11

Tabel 28 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	160	0.31	110	0.45	10.6
2500	3000	0.11	1500	0.19	8.2
5000	5500	0.077	2600	0.13	5.0
10000	8300	0.051	2300	0.11	2.4
25000	8000	0.033	1300	0.094	1.6

Variant 13B: Og-A(1; + 10/-40)VL

Tabel 29 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.29
2500	0.28	0.19
5000	0.45	0.15
10000	0.31	0.11
25000	0.20	0.078

Tabel 30 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	75	0.39	58	0.49	13.2
2500	920	0.21	540	0.35	15.0
5000	1600	0.16	890	0.26	10.6
10000	2400	0.10	1200	0.17	7.5
25000	2400	0.063	810	0.14	4.9

Variant 13C: Og-A(1; + 10/-40)VLP

Tabel 31 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.20
2500	0.12	0.067
5000	0.17	0.065
10000	0.12	0.041
25000	0.07	0.027

Tabel 32 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	65	0.28	43	0.42	9.7
2500	700	0.11	370	0.18	6.0
5000	1200	0.077	570	0.13	4.6
10000	1600	0.051	510	0.11	3.4
25000	1300	0.036	240	0.097	2.1

Variant 13D: Ge-A(1; + 10/-40)VLP

Tabel 33 Maximale DCB-concentratie in het kwelgebied (in mg/m³) en DCB-flux uit het depot (vracht in kg DCB/jaar) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	concentratie (mg/m ³)	flux (kg/jaar)
250	0.00	0.11
2500	0.048	0.022
5000	0.055	0.020
10000	0.044	0.017
25000	0.033	0.013

Tabel 34 Volume van de watervoerende pakketten en de scheidende laag (in miljoen m³) dat tot boven de streefwaarde (0.01 mg DCB/m³) en tot boven vijf maal de streefwaarde is verontreinigd, de gemiddelde concentraties in deze volumina (in mg/m³) en de maximale concentratie (in mg/m³) op verschillende tijdstippen na aanvang van de vulfase

tijd (jaar)	> norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	> 5*norm (mln m ³)	C gem (mg/m ³)	C max (mg/m ³)
250	54	0.18	15	0.61	6.8
2500	510	0.049	180	0.097	2.2
5000	790	0.037	180	0.082	1.9
10000	960	0.028	120	0.081	1.6
25000	710	0.025	68	0.077	1.1

Bijlage C Aanwijzingen bij het animatieprogramma

De resultaten van de driedimensionale verspreidingsberekeningen zijn bijgeleverd als een computeranimatie. Deze is bijzonder eenvoudig te installeren en te bedienen.

De floppy bevat de volgende files:

readme	933	1.03.93	11:51
ketflm .arc	907716	30.03.93	9:38
install .exe	29760	1.03.93	9:56

De installatie-aanwijzingen staan in de file READ.ME. Voor de duidelijkheid worden ook hier de installatieaanwijzingen gegeven. De procedure verloopt als volgt:

- Maak op de harde schijf een ruimte van minimaal 1.7 Mb vrij.
- Stop de floppy in de drive (dit zal waarschijnlijk A: zijn) en type INSTALL.
- Het installatieprogramma zal nu vragen naar de source drive (dit is de drive waar zich de floppy in bevindt, meestal A: of B:) en naar de target drive (dit is de harde schijf waar de animatie op terecht moet komen, meestal C: of D:). De namen van deze drives moeten worden ingevoerd.
- Vervolgens begint de installatie. Deze duurt even, afhankelijk van de snelheid van de gebruikte computer.
- Als de installatie beëindigd is, staat de cursor inmiddels op de directory waar de animatieprogrammatuur is geïnstalleerd. Op deze directory zullen de volgende programma's aanwezig zijn:

animat.an0	715	1.03.93	9:33
aniview .exe	54987	5.07.90	14:13
haloibme.dev	13450	5.05.88	16:16
ketel .bat	25	1.03.93	22:22
ketel1 .oct	153318	28.02.93	22:18
ketel10 .oct	69304	1.03.93	3:31
ketel11 .oct	65523	1.03.93	3:56
ketel12 .oct	134692	1.03.93	4:28
ketel2 .oct	138978	28.02.93	22:52
ketel3 .oct	134093	1.03.93	0:17
ketel4 .oct	163551	1.03.93	0:50
ketel5 .oct	155335	1.03.93	1:19
ketel5b .oct	158844	1.03.93	1:46
ketel6 .oct	152809	1.03.93	2:13
ketel7 .oct	125098	1.03.93	2:39
ketel9 .oct	101798	1.03.93	3:05
ploto .dev	116	7.06.91	14:16

- De animatie start na intypen van KETEL # . Het teken # staat hier voor het betrekken- de variant nummer, waarbij de keuze bestaat uit de nummers 1-7, 5b en 9-12. Na dit commando zal een kaartje van het Ketelmeergebied op het scherm verschijnen.
- Het kaartje toont de zes modellagen (1: deklaag, 2: wvp1, 3: scheidende laag, 4: wvp2, 5: wvp2, 6: wvp2). Rechts onder de kaartjes staat het tijdstip. De legenda geeft de concentratie van DCB in mg/l.
- De animatie kan als volgt bestuurd worden:

→ toets laat tijd toenemen
 ENTER stop op het getoonde tijdstip
 ← toets laat tijd afnemen
 F10 breek de animatie af

Bijlage D Discussie resultaten DCB, B(a)P, flua, PCB-28 en gamma-HCH mbt de fluxen naar het grondwater zoals berekend voor het depot met peilbeheersing en het depot met peilbeheersing én isolatie.

In de studie 'Beperking diffusie baggerspeciedepots' (T843, maart 1993) wordt berekend hoe de flux uit een geïsoleerd (RC-waarde 3.0) depot zich in de tijd gedraagt ten opzichte van de flux uit een ongeïsoleerd depot. Hier blijkt (tabel 8.3, blz 8-3) dat de verhouding tussen de flux uit het geïsoleerde depot (RC-waarde is 3.0) en het ongeïsoleerde depot toeneemt in de tijd. Dit betekent dat de effectiviteit van de isolatie daalt in de tijd. De verhouding stijgt van 0.045 na 1000 jaar naar 0.239 na 50000 jaar.

In dit rapport (T1063, hoofdstuk 3) wordt de flux uit een ongeïsoleerd depot met peilbeheersing (3C, 13C) en die uit een geïsoleerd (RC-waarde 3.0) depot met peilbeheersing (3D, 13D) voor DCB berekend. Als de verhouding tussen deze fluxen wordt uitgezet blijkt deze eerst sterk te dalen, en vervolgens geleidelijk te stijgen (zie figuur 1). Dit is in strijd met de resultaten van de studie T843 omdat de verhouding volgens deze studie geleidelijk zou moeten stijgen.

In figuur 2 is de verhouding van de totale fluxen uitgesplitst voor de taluds en voor de vlakke bodem. Hieruit blijkt dat de verhouding van de fluxen uit de bodem zich wel conform de resultaten van de studie T843 gedraagt, maar dat de verhouding van de flux uit de taluds eerst sterk daalt, en vervolgens geleidelijk toeneemt. De discrepantie tussen de resultaten van de studie T843 en T1063 is dus toe te schrijven aan de fluxen uit de taluds.

Er zijn twee redenen te geven waarom de flux uit de taluds zich niet gedraagt conform de resultaten van de studie T843:

- Bij de berekeningen met een RC-waarde van 3.0 is tussen het depot en het watervoerende pakket een weerstand voor diffusief transport aangebracht. Deze weerstand is echter alleen voor verticale uitwisselingen aangebracht, en niet voor de horizontale uitwisselingen. Dit betekent dat het diffusieve transport uit de randcellen van het depot (dus het talud) een weinig (zie analyse verderop) te hoog is.
- Bij de geïsoleerde en de ongeïsoleerde variant wordt peilbeheersing toegepast. Dit kan op twee manieren in het model worden meegenomen:
 - Door de potentiaal aan de bovenzijde van het depot gelijk te maken aan die aan de onderzijde. Een probleem hierbij is echter dat de potentiaal aan de onderzijde van het depot een horizontale gradient bezit. Het is dus niet mogelijk om dé potentiaal onder het depot vast te stellen. Als aan de bovenzijde wel een vaste potentiaal gehanteerd wordt, zal er dus altijd enige kwel door het depot optreden, waardoor dus een opwaarts advectief transport ontstaat. Gezien de storing die dit advectieve transport veroorzaakt op de bepaling van de fluxen naar het watervoerende pakket, is deze methode in de berekeningen niet toegepast.

- Door de bovenzijde van het depot af te sluiten voor stroming, zoals in de berekeningen is gedaan. Hierbij zal geen verticaal advectief transport in het depot optreden. In de dijken aan weerszijden van het depot is echter een kleine stroming in- en uit het depot aanwezig. Door deze stroming ontstaat een klein advectief transport uit het depot. Dit transport wordt na korte tijd klein door uitloging van de betreffende gridcellen. Dit transport verklaart de hoge initiele flux uit de taluds, en dus ook uit het depot. Een groot deel van deze flux is te vermijden door in de dijken ook isolatie tegen stroming toe te passen.

In een korte gevoeligheidsanalyse is uitgezocht wat de fluxen uit het depot (variant 3) zouden zijn bij de volgende opbouw van het model:

1. peilbeheersing zonder RC-waarde, dus ongeremd diffusief transport (zo is de variant 3c doorgerekend);
2. peilbeheersing met een RC-waarde van 3.0 bij verticale uitwisselingen en geen RC-waarde bij horizontale uitwisselingen (zo is de variant 3d doorgerekend);
3. peilbeheersing met een RC-waarde van 3.0 bij verticale en horizontale uitwisselingen (zo zou 3d doorgerekend moeten worden);
4. peilbeheersing met een RC-waarde van 4.0 bij verticale en horizontale uitwisselingen (uit deze berekening kan een indruk verkregen worden over het rendement van een verdere verhoging van de isolerende kwaliteiten);
5. peilbeheersing met een diffusief transport van nul (met deze berekening kan het advectieve transport gekwantificeerd worden).

In de presentatie van de resultaten is de eerste berekening op 1.0 gesteld, en zijn de resultaten van de andere berekeningen hierop geschaald (figuur 3). Uit de figuur is het volgende te concluderen;

- De resultaten van de berekening met een RC-waarde van 3.0 voor horizontale en verticale diffusie wijken vrijwel niet af van die van de berekening met een RC-waarde van 3.0 voor alleen verticale diffusie. Dit betekent dat slechts een zeer kleine fout wordt gemaakt als de RC-waarde alleen voor de verticale diffusie wordt toegepast.
- Bij een RC-waarde van 4.0 voor verticale en horizontale diffusie wordt de flux uit het depot sterk verlaagd ten opzichte van een RC-waarde van 3.0.
- Als alleen advectief transport beschouwd wordt, is de flux uit het depot iets lager dan bij een RC-waarde van 4.0.

Nu de zuivere bijdrage van het advectieve transport berekend is, kan ook het zuivere diffusieve transport berekend worden door de resultaten van de berekening met uitsluitend advectief transport van de berekening met een RC-waarde van 3.0 af te trekken. Het resultaat is in figuur 4 uitgezet.

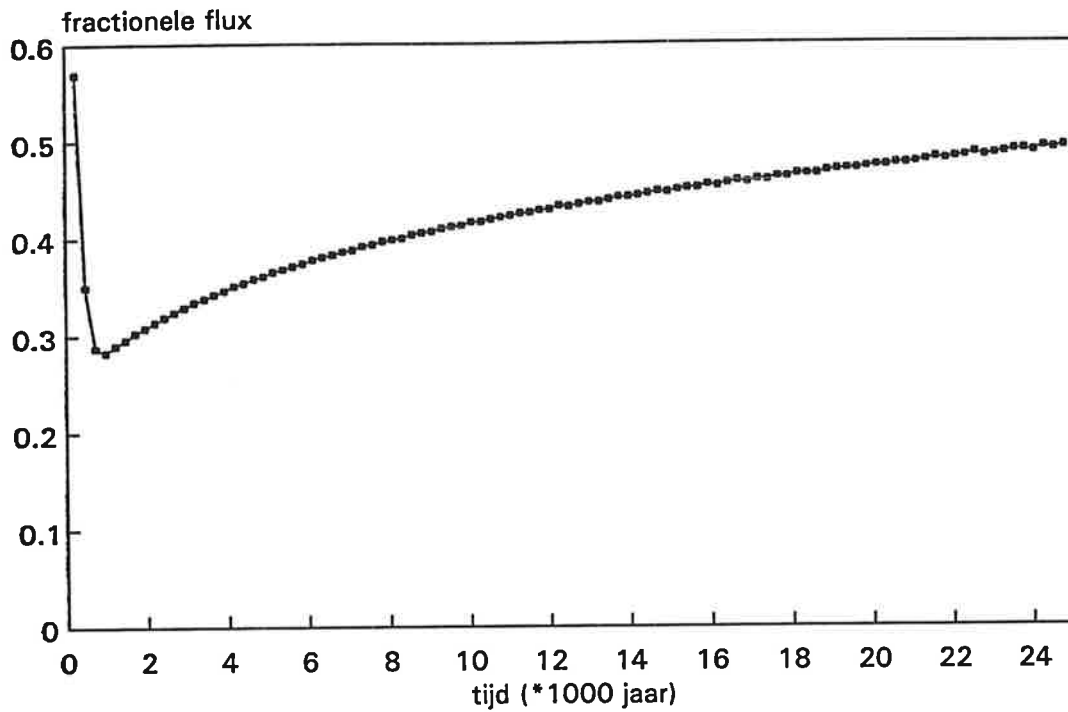
Het verloop van het diffusieve transport is nu wel conform de resultaten van het onderzoek T843. De reductie die met een RC-waarde van 3.0 wordt bereikt (orde 0.35 na 10000 jaar) is echter geringer dan op basis van de resultaten van het onderzoek T843 verwacht wordt (orde 0.2 na 10000 jaar). De reden hiervan is dat het diffusieve transport bij het ongeïsoleerde depot niet het maximaal mogelijke diffusieve transport is omdat zich een horizontale concentratiegradient onder het depot instelt. Het diffusieve transport is hierdoor op het punt waar schoon water onder het depot stroomt maximaal (maximale concentratiegradient).

Dit neemt echter af in stroomafwaartse richting doordat het langsstromende water een bepaalde concentratie aan verontreinigingen bevat, zodat de concentratiegradient over de verticaal niet maximaal is.

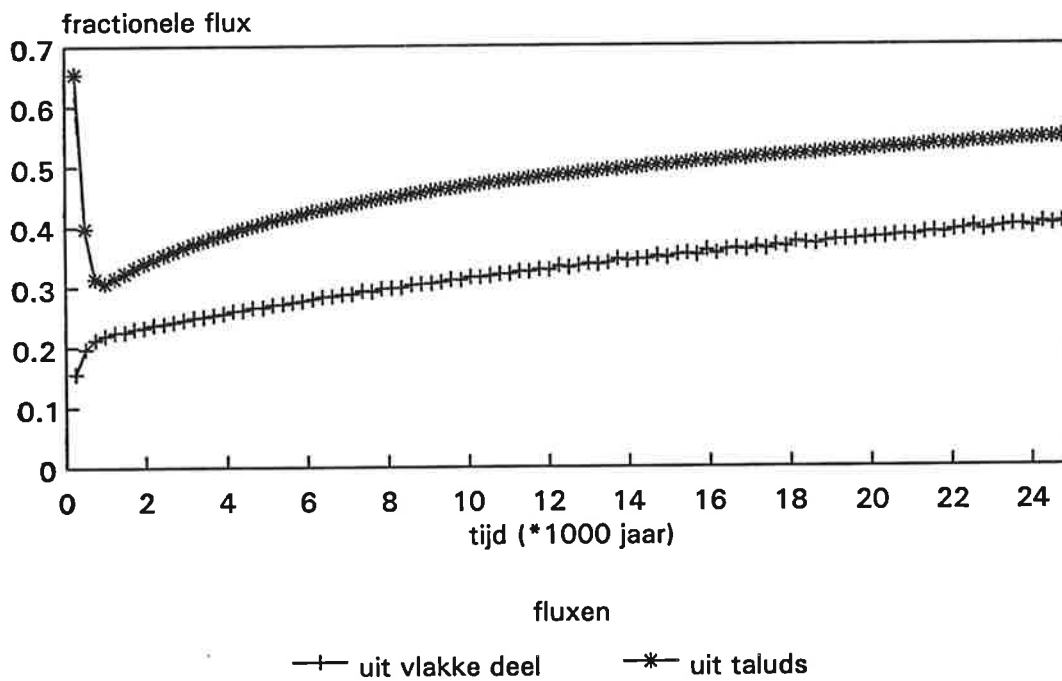
Deze remming van het maximaal mogelijke diffusieve transport zal bij de ongeïsoleerde en bij de geïsoleerde variant voorkomen. Bij de ongeïsoleerde variant zal deze echter veel sterker zijn dan bij de geïsoleerde variant, omdat de concentratieopbouw bij de ongeïsoleerde variant veel sterker zal zijn. Het verschil in fluxen uit de geïsoleerde en de ongeïsoleerde variant zal dus in de praktijk minder zijn dan in het onderzoek T843 is aangegeven.

In dit rapport (T1063, paragraaf 3.7) worden de fluxen uit de varianten 3 en 13 uitgewerkt voor BaP, Flua, PCB-28 en gamma-HCH. Hier blijkt dat de reductie van de flux bij isolatie bij de stoffen BaP, Flua en PCB-28 na 10000 of 25000 jaar slechts in de orde van 0.6-0.5 ligt en dus veel lager dan de reductie die voor DCB bereikt wordt (orde 0.35). Bij gamma-HCH wordt wel een reductie gevonden die in dezelfde orde van grootte als van DCB ligt.

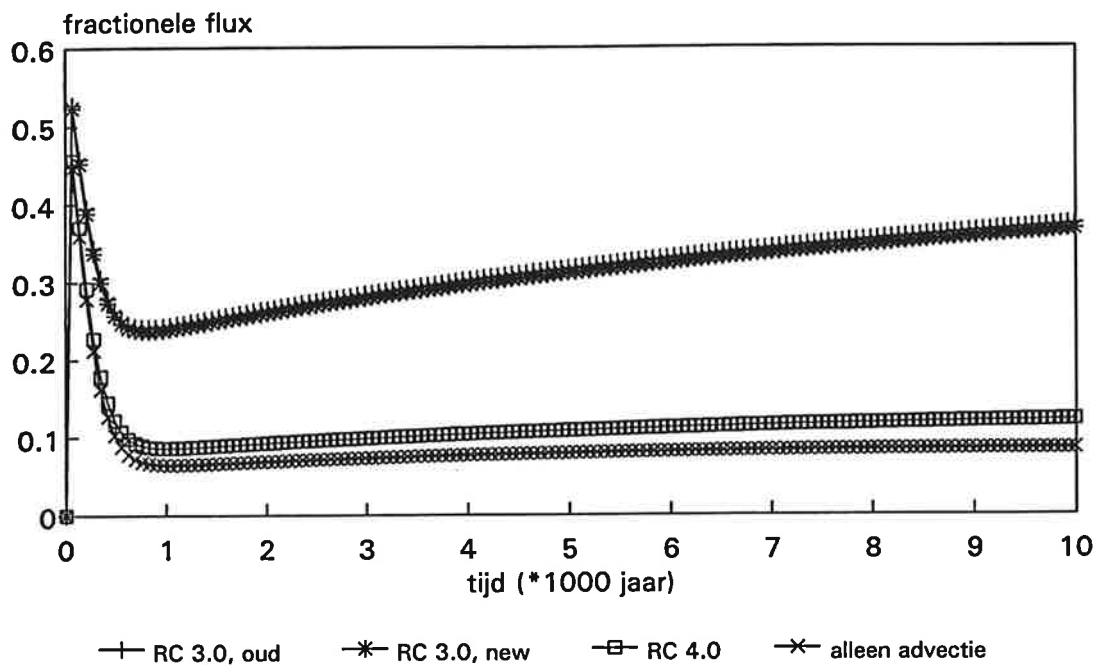
De reden van de veel kleinere reductie voor de fluxen van BaP, Flua en PCB-28 is dat deze stoffen veel sterker adsorberen (hogere verdelingscoëfficiënt) dan DCB. De resultaten voor deze stoffen zijn afgeleid uit de resultaten voor DCB door de tijdas aan te passen (voor BaP * 420, voor Flua * 96 en voor PCB-28 * 268). Omdat de stoffen BaP, Flua en PCB-28 veel sterker adsorberen dan DCB zijn de resultaten van deze stoffen afkomstig zijn uit het vroege (0-250 jaar) deel van de resultaten voor DCB. In dit deel is de reductie van de flux veel minder dan 0.35 door de rol van het advectieve transport.



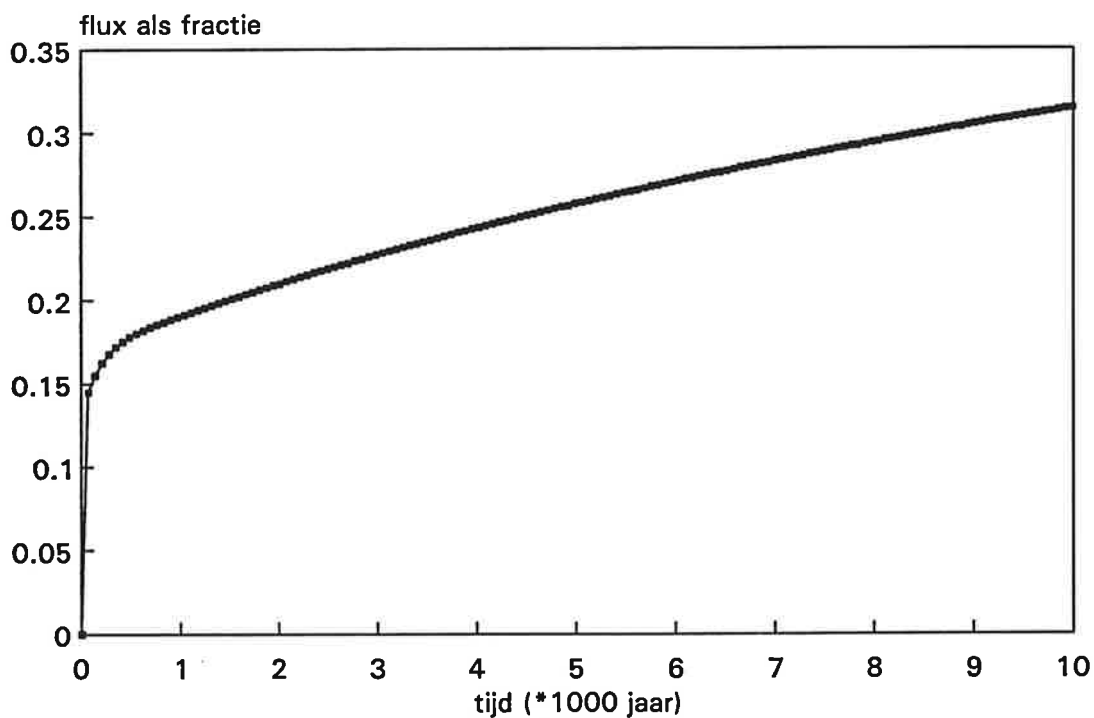
Figuur 1 Flux uit het geïsoleerde depot (RC-waarde 3.0) als fracatie van de flux uit het ongeïsoleerde depot.



Figuur 2 Flux uit het geïsoleerde depot (RC-waarde 3.0) als fractie van de flux uit het ongeïsoleerde depot.

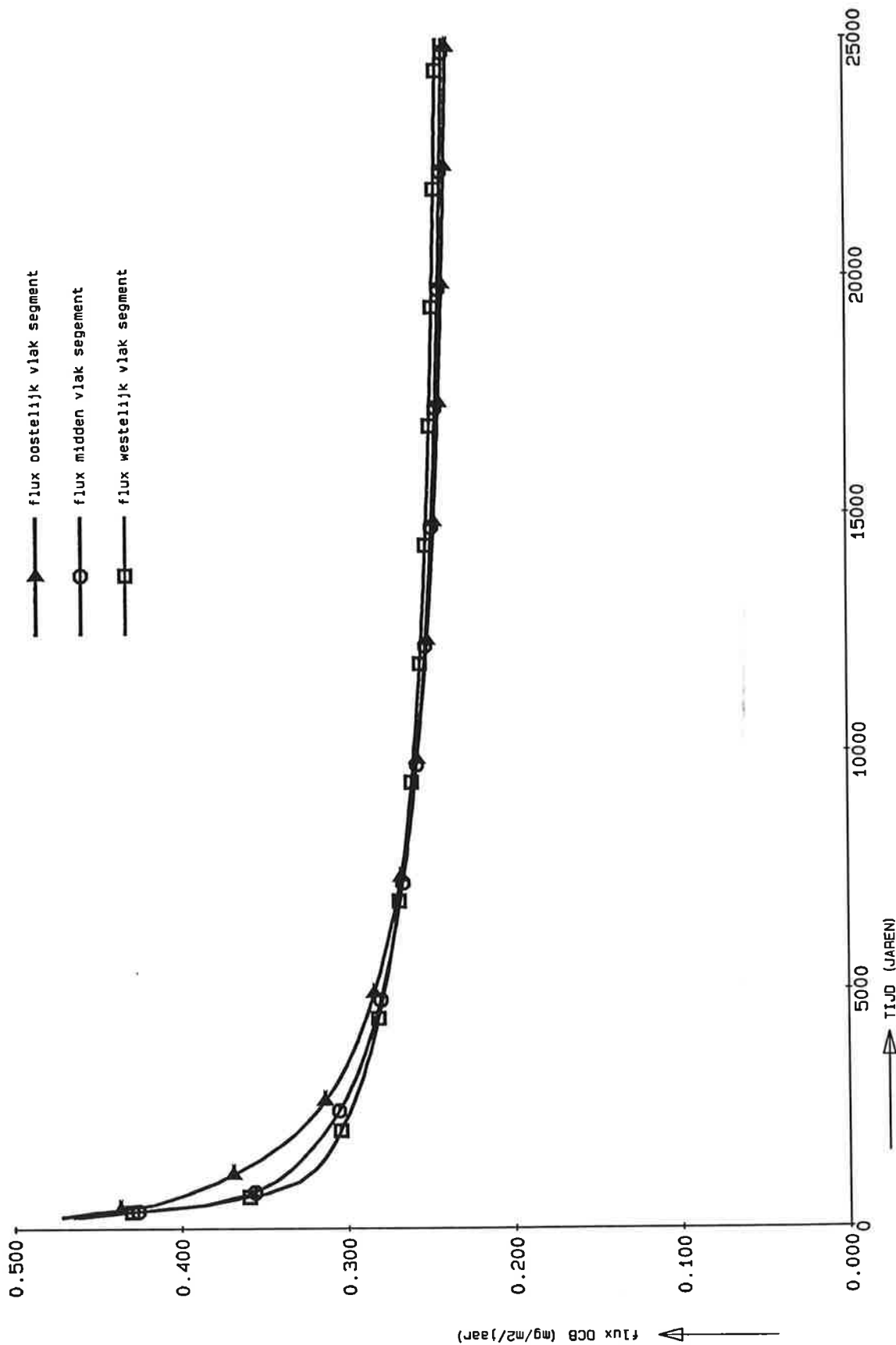


Figuur 3 Flux bij een aantal RC-waarden als fractie van de flux uit een ongeïsoleerd depot (variant 3).



Figuur 4 Zuiver diffusieve flux bij een RC-waarde van 3.0, als fractie van de flux die bij ongeremde diffusie optreedt.

FIGUREN



fluxen DCB

STYXZ

T1063

VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 1

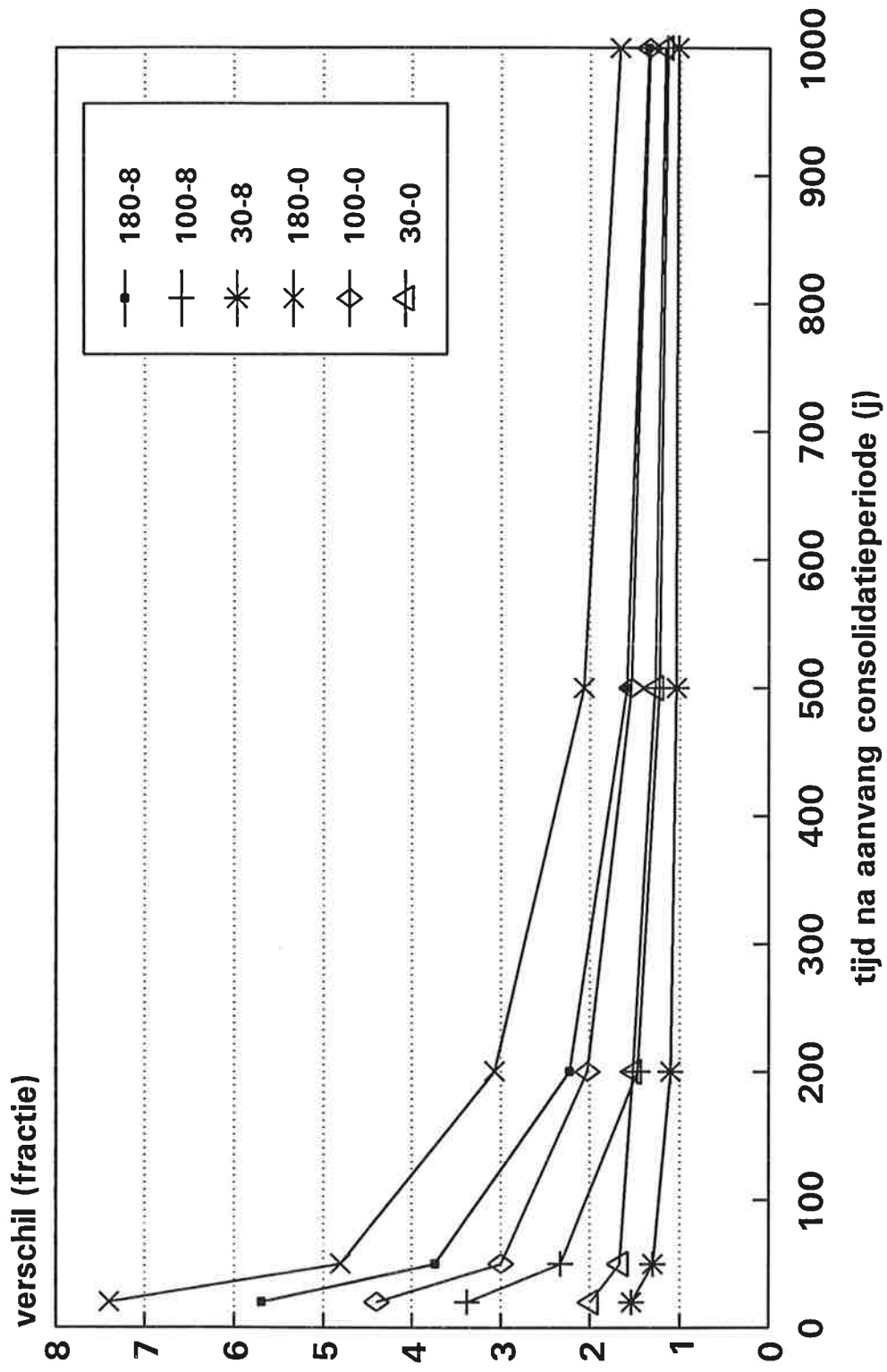
Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

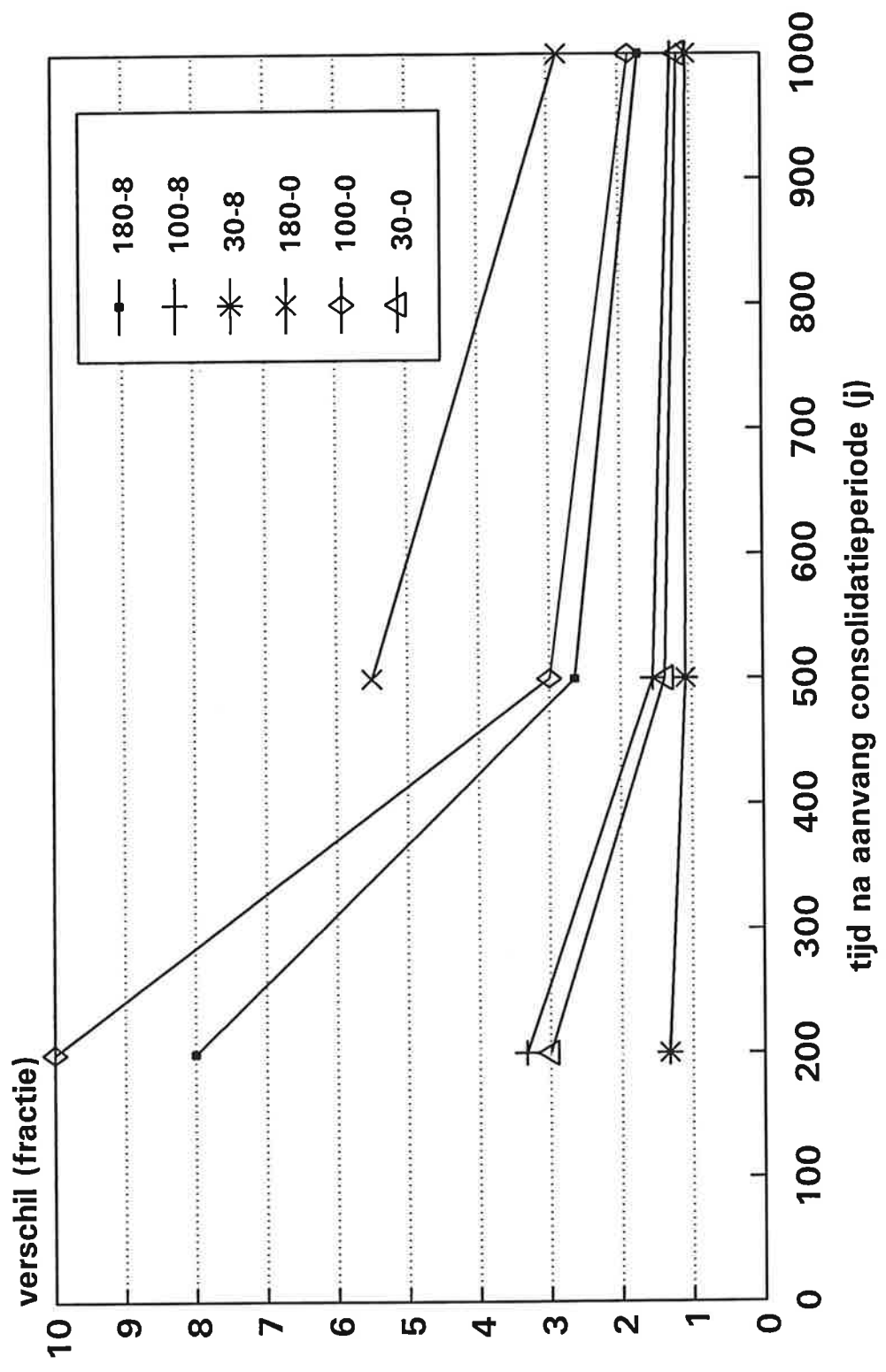
mrt 18, 1993

Fig. 3.2

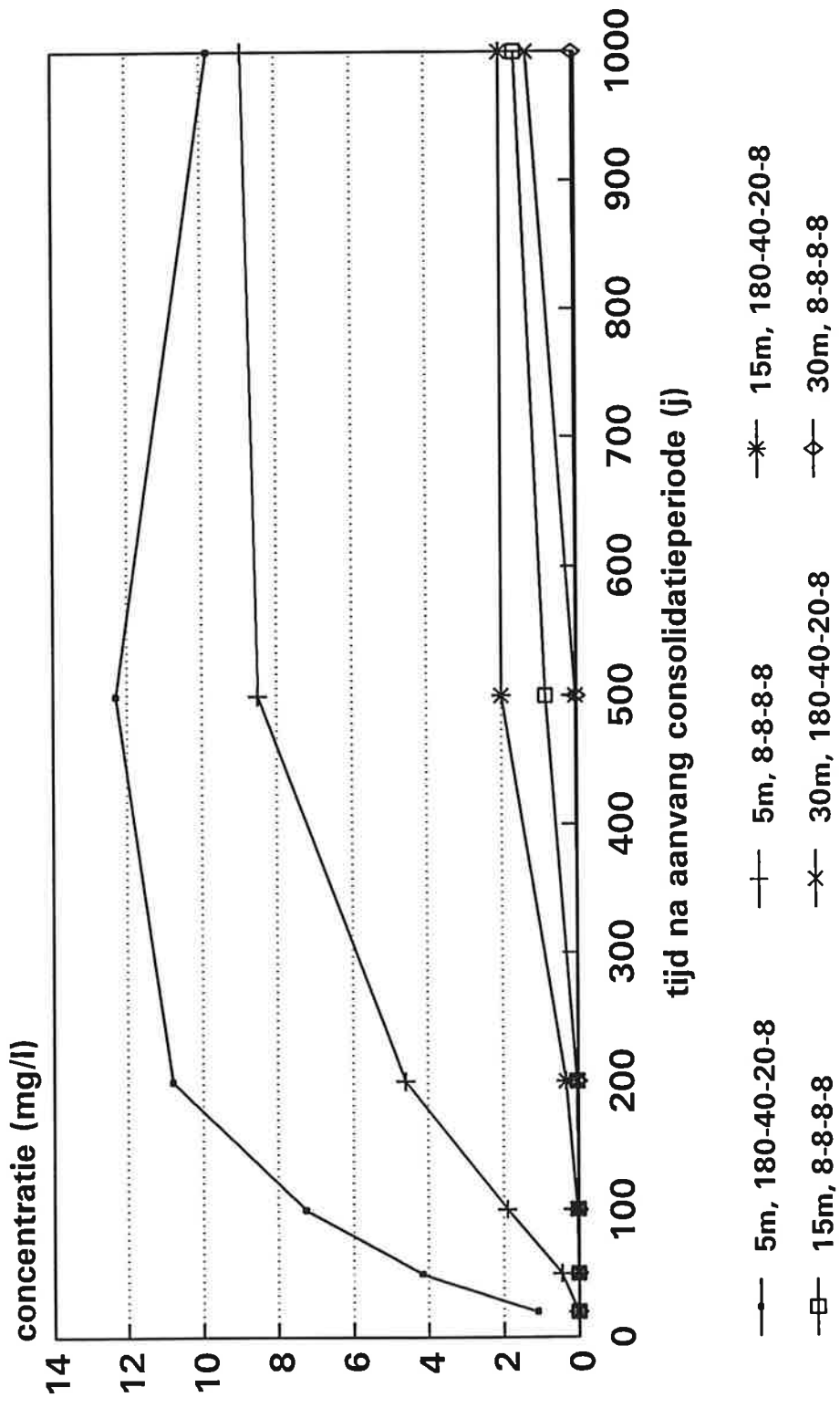
Figuur 3.3 Verschil in uitloging bij verschillende consolidatiescenario's tov de berekening zonder consolidatie



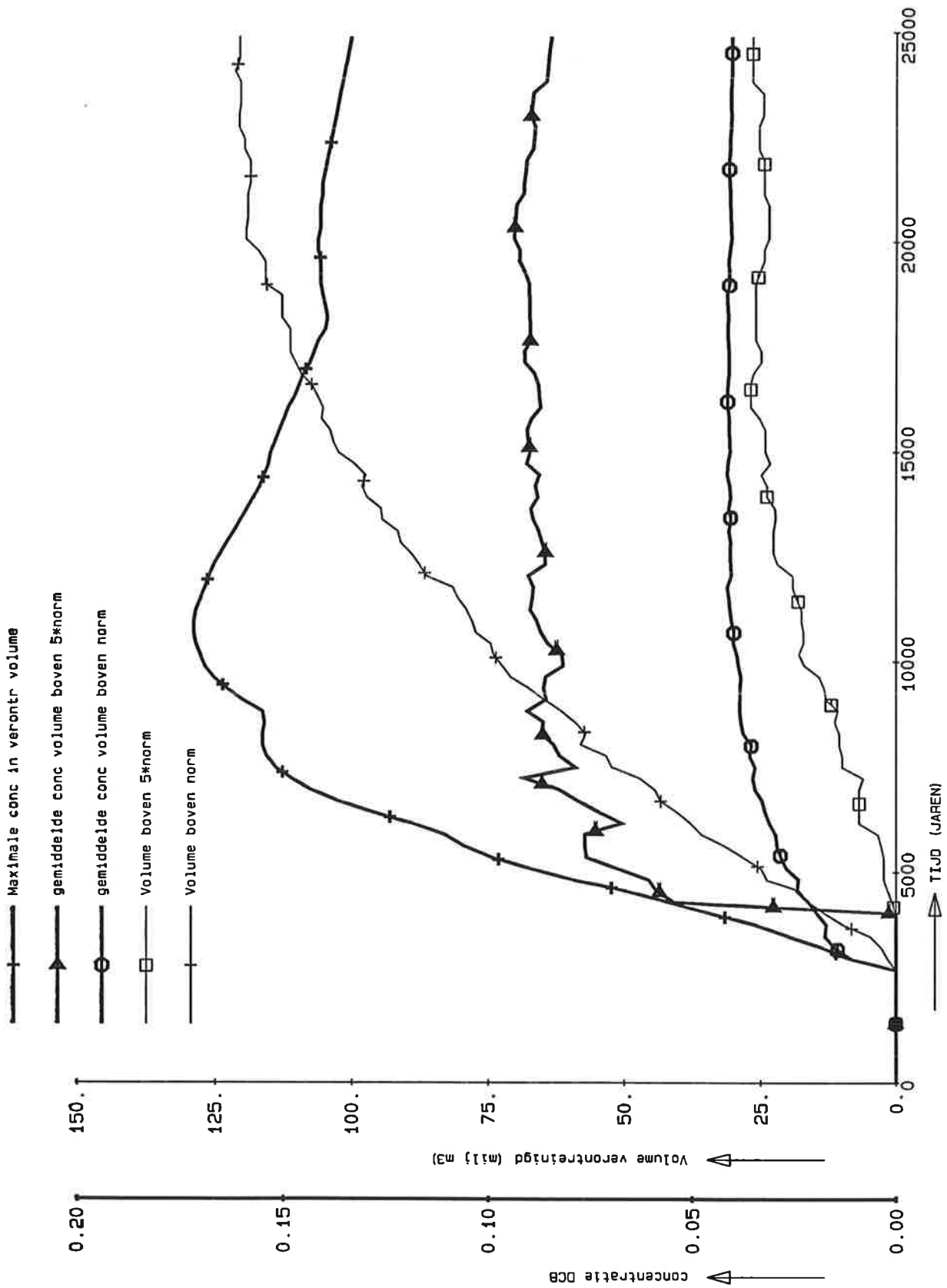
Figuur 3.4 Verschil in uitlogging bij verschillende consolidatiescenario's tov de berekening zonder consolidatie (klei)



Figuur 3.6 Concentratieverloop (DCB) onder het benedenstroomse deel van het depot bij twee consolidatiescenario's



- 5m, 180-40-20-8
- 15m, 8-8-8-8
- +— 5m, 8-8-8-8
- *— 15m, 180-40-20-8
- ◇— 30m, 8-8-8-8



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc

Variant 1, deklaag

STYXZ

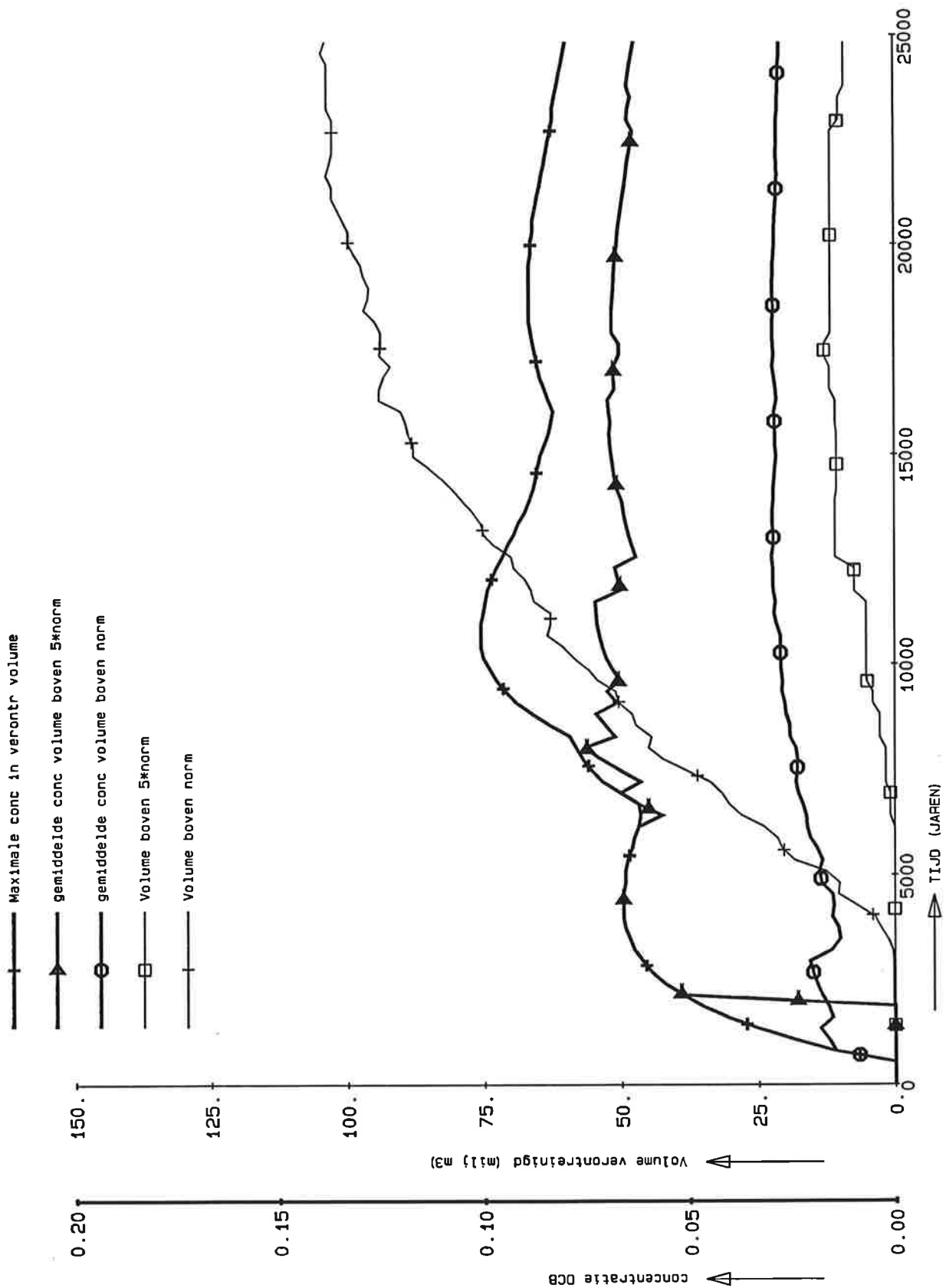
T1063

Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

mrt 18, 1993

Fig. 3.7



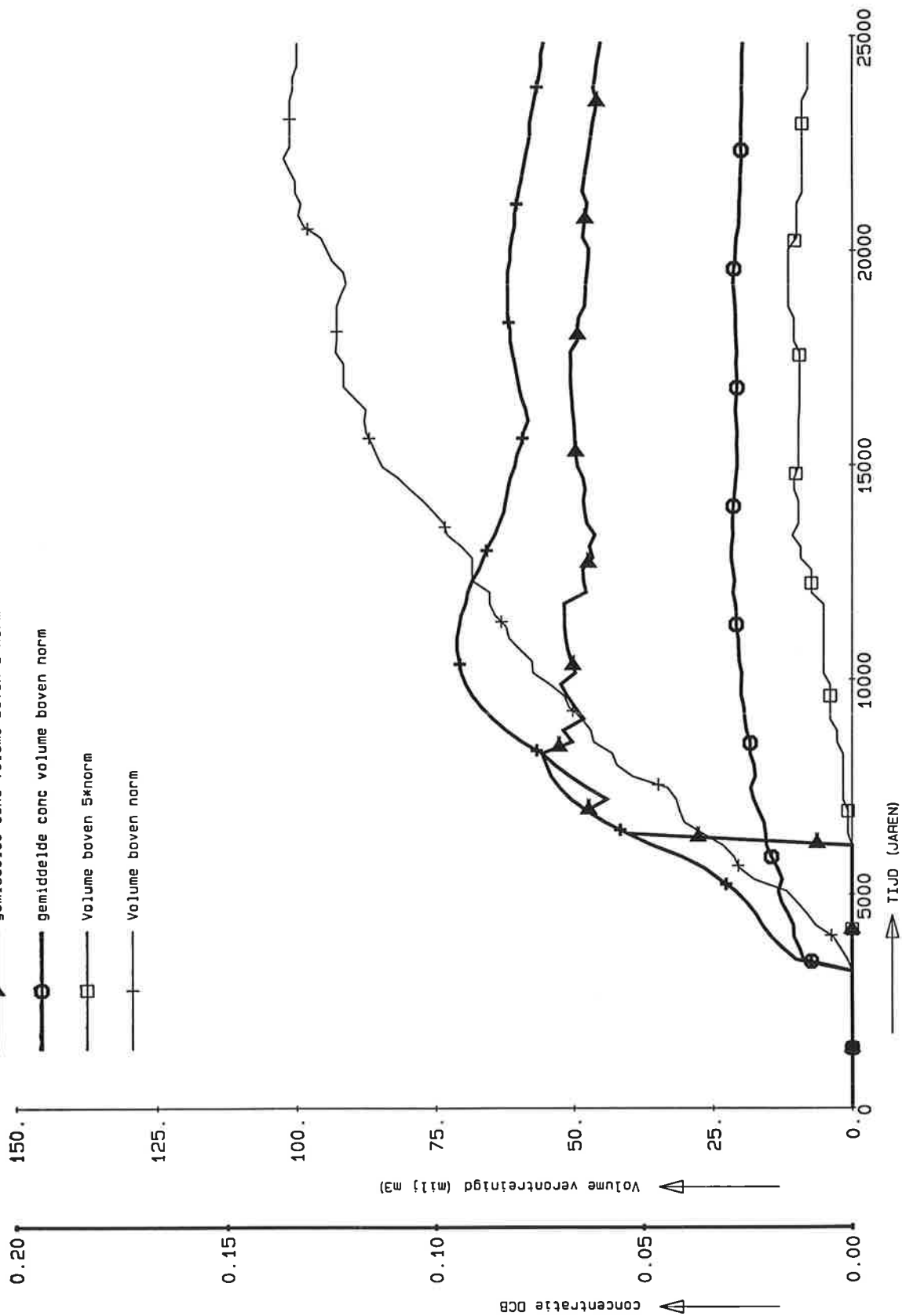
Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 (kwelgebied)
 Variant 2, deklaag

STYXZ

T1063

Ketelmeer

- +— Maximale conc in verontr volume
- ▲— gemiddelde conc volume boven 5norm
- gemiddelde conc volume boven norm
- volume boven 5norm
- +— volume boven norm

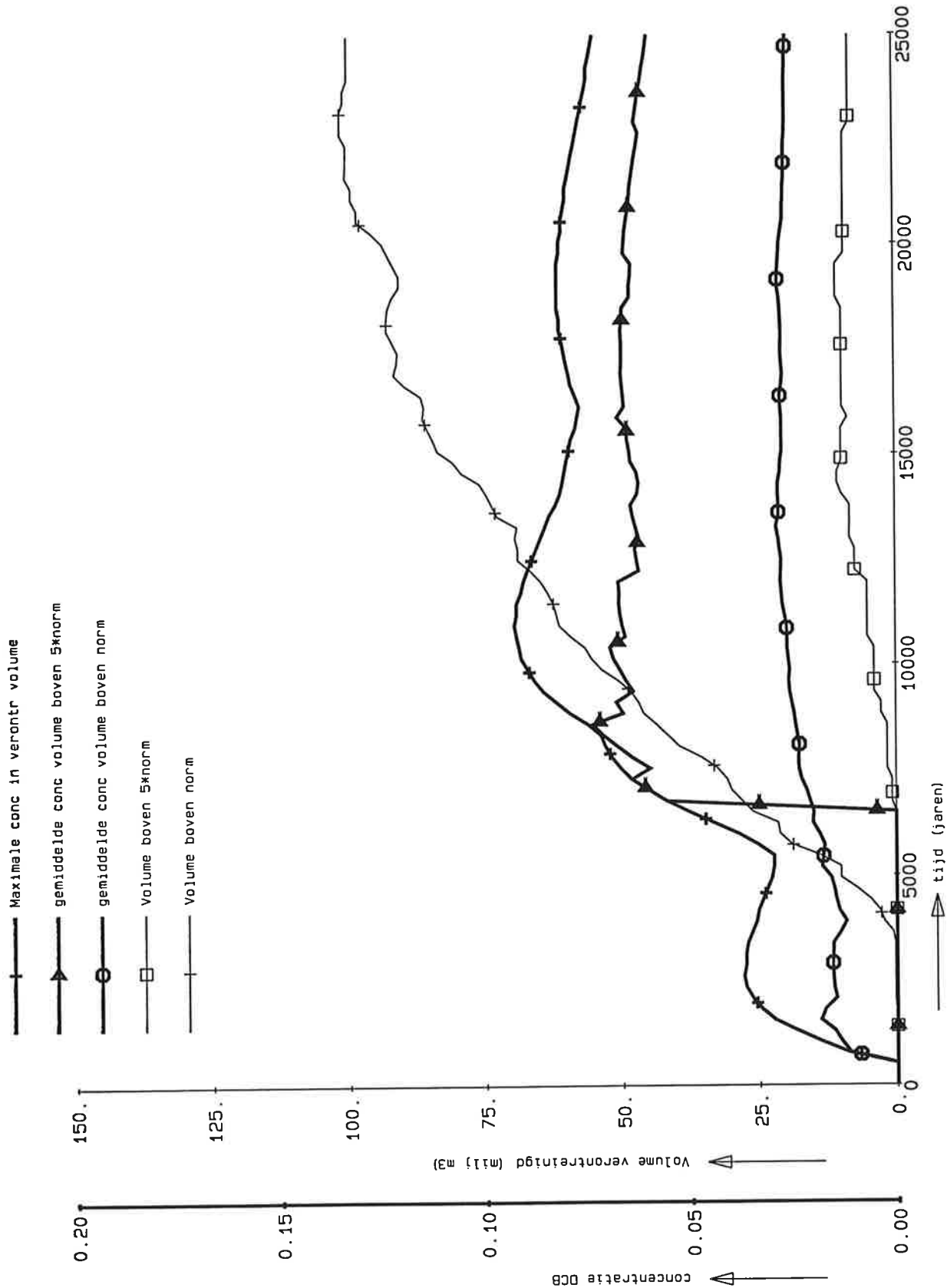


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 (kwelgebied)
 Variant 3, deklaag

STYXZ

T1063

Ketelmeer

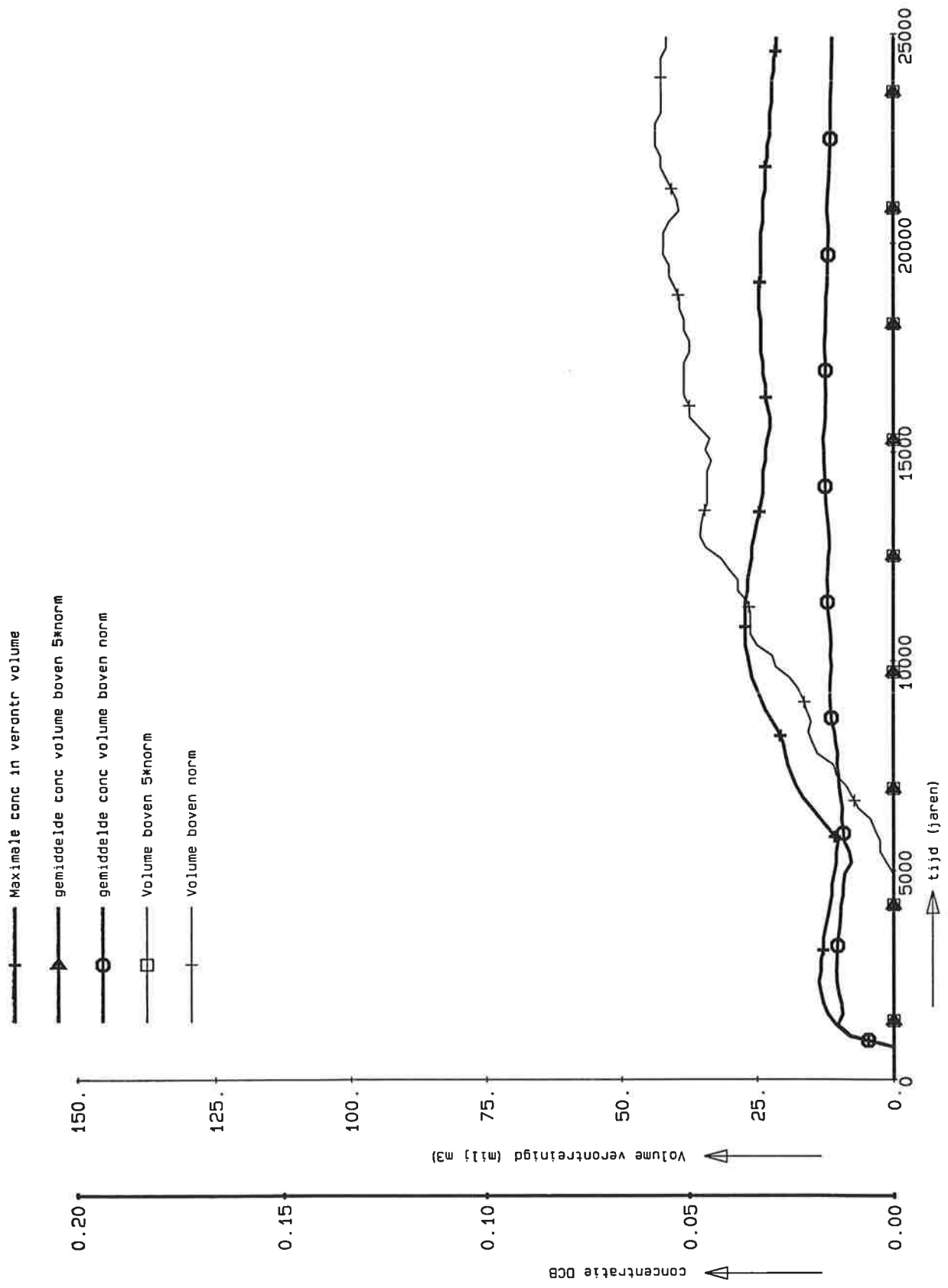


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 [kwelgebied]
 Variant 3B

STYXZ

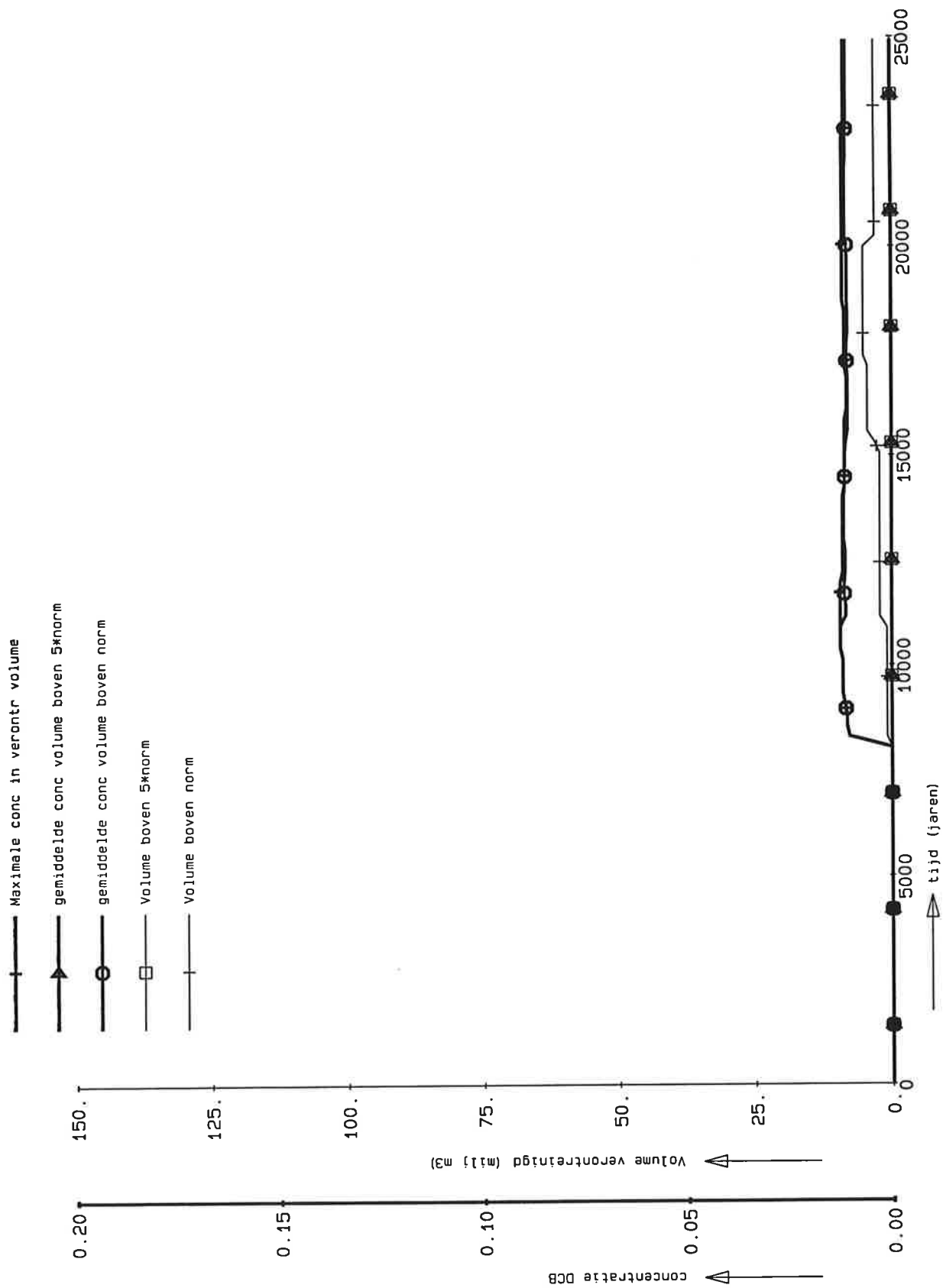
T1063

Ketelmeer



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc [kwelgebied]
Variant 3C

STYXZ	T1063
Ketelmeer	

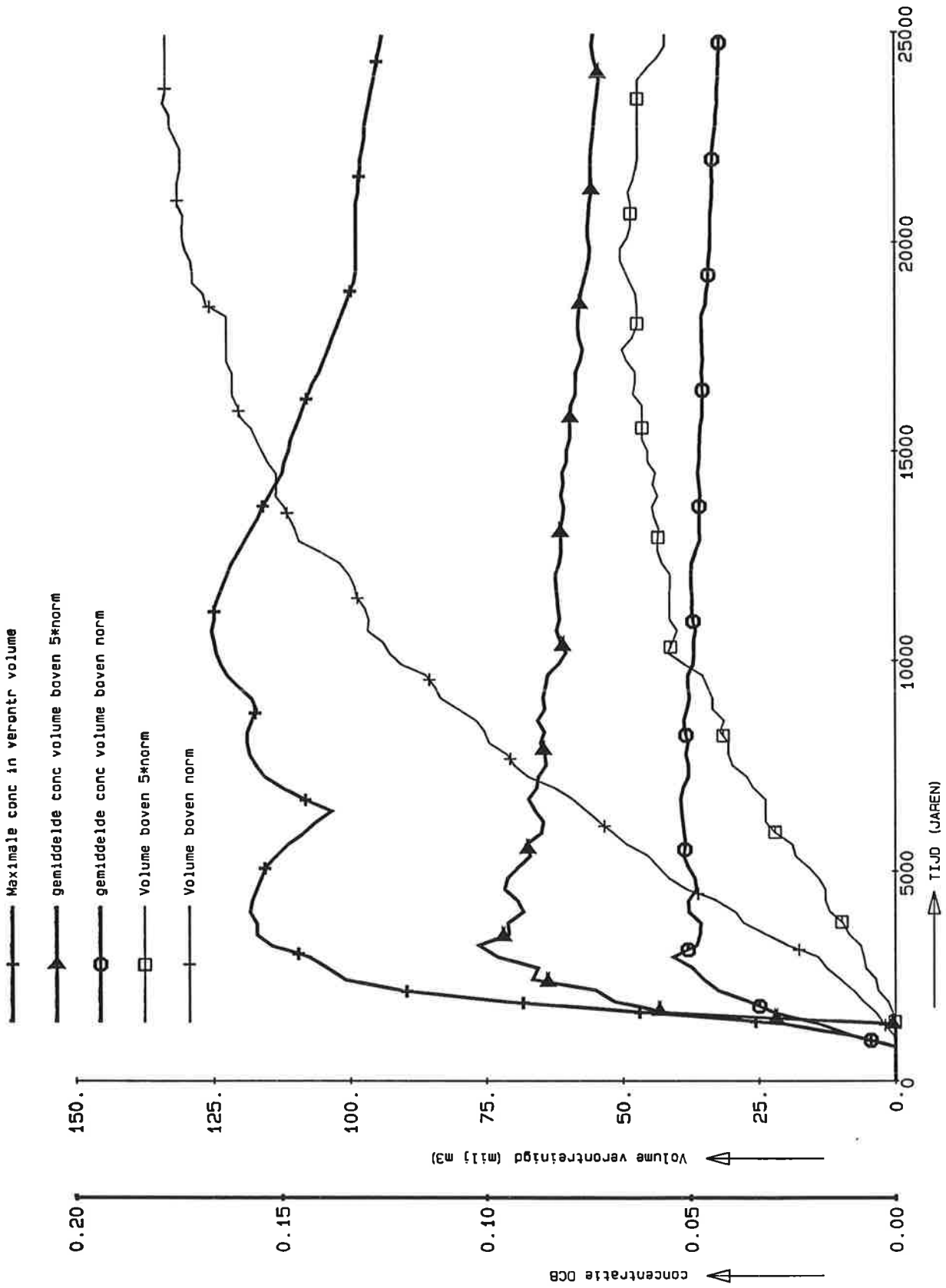


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
[kwelgebied]
variant 3D

STYXZ

T1063

Ketelmeer



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 [kwelgebied]
 Variant 4, deklaag

STYXZ

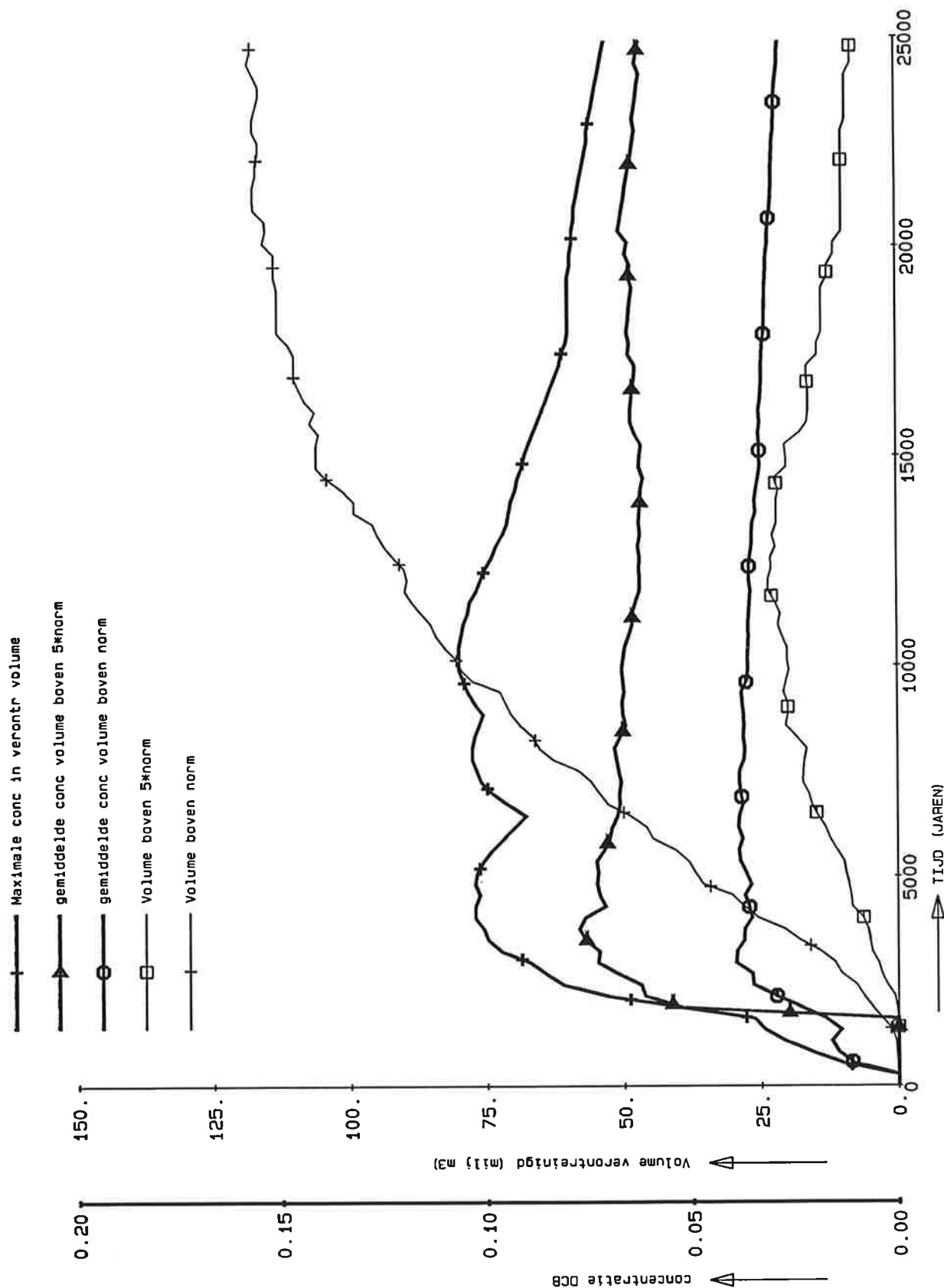
T1063

Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

mrt 18, 1993

Fig. 3.10

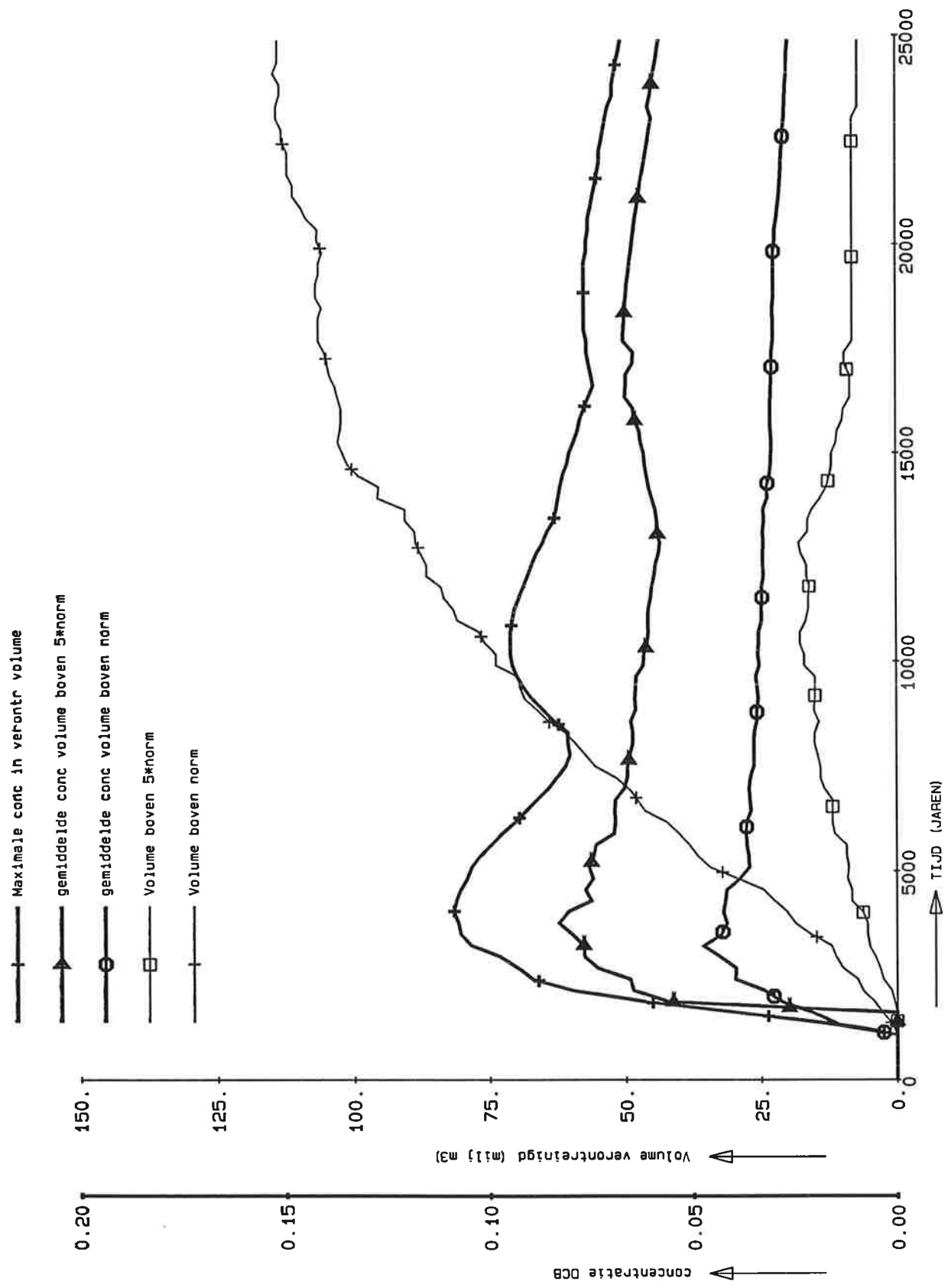


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 (kwelgebied)
 Variant 5, deklaag

STYXZ

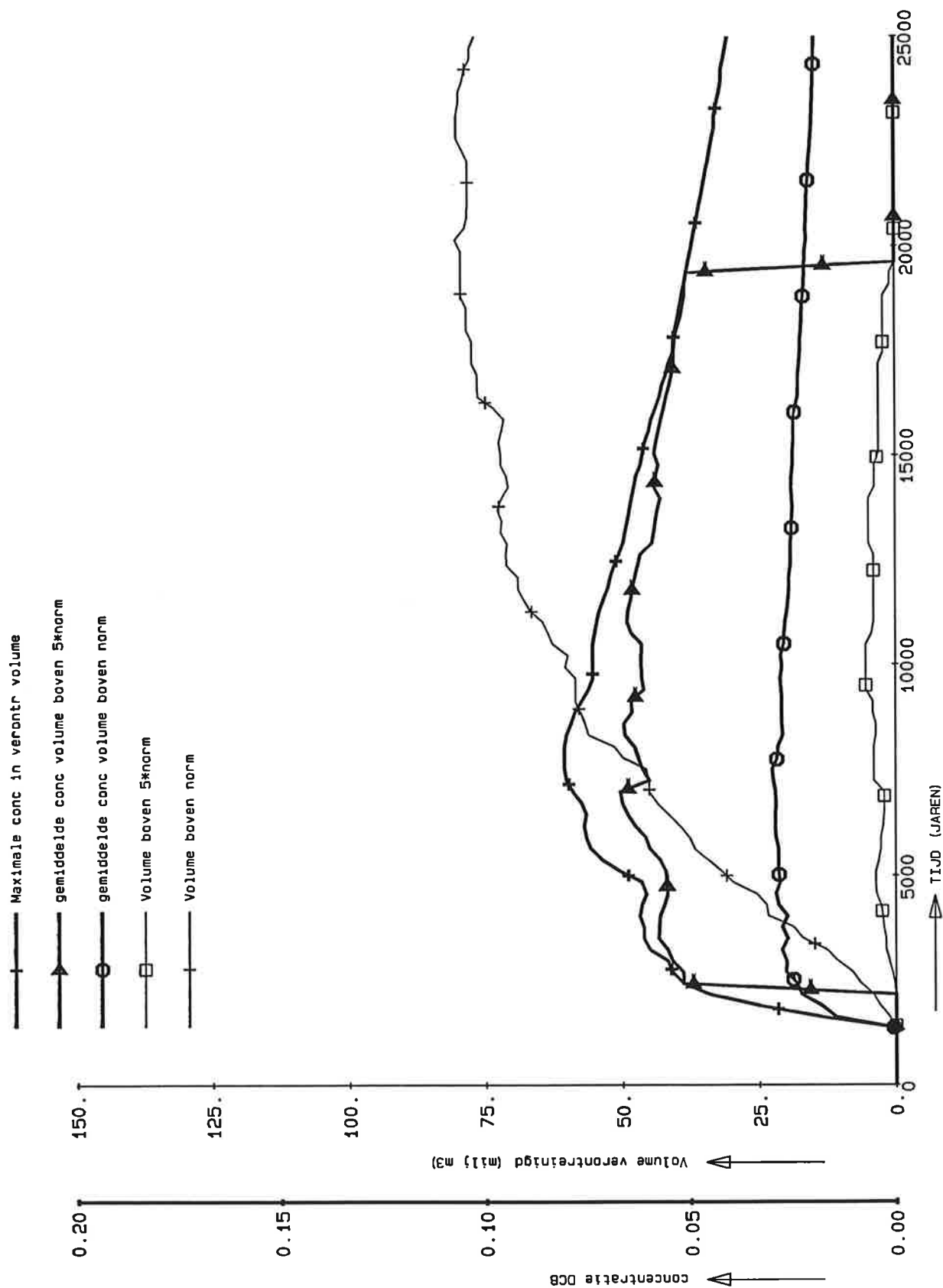
T1063

Ketelmeer



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 [kwelgebied]
 Variant 6, deklaag

STYXZ	T1063
Ketelmeer	

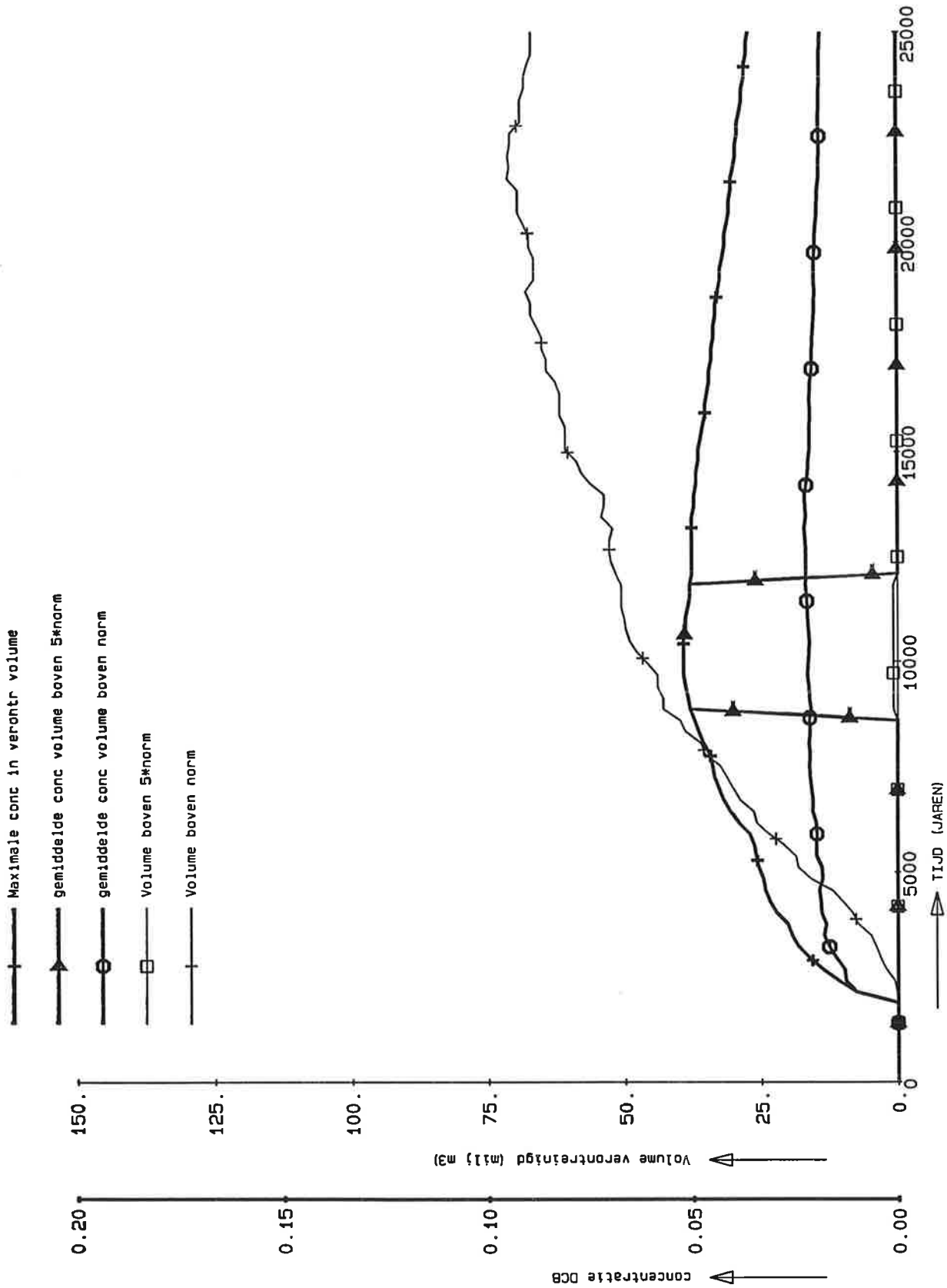


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc [kwelgebied] Variant 7, deklaag

STYXZ

T1063

Ketelmeer



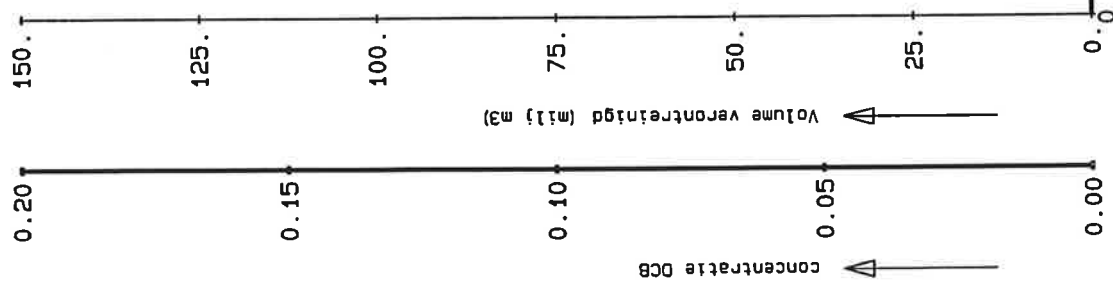
Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 (kwelgebied)
 Variant 9, deklaag

STYXZ

T1063

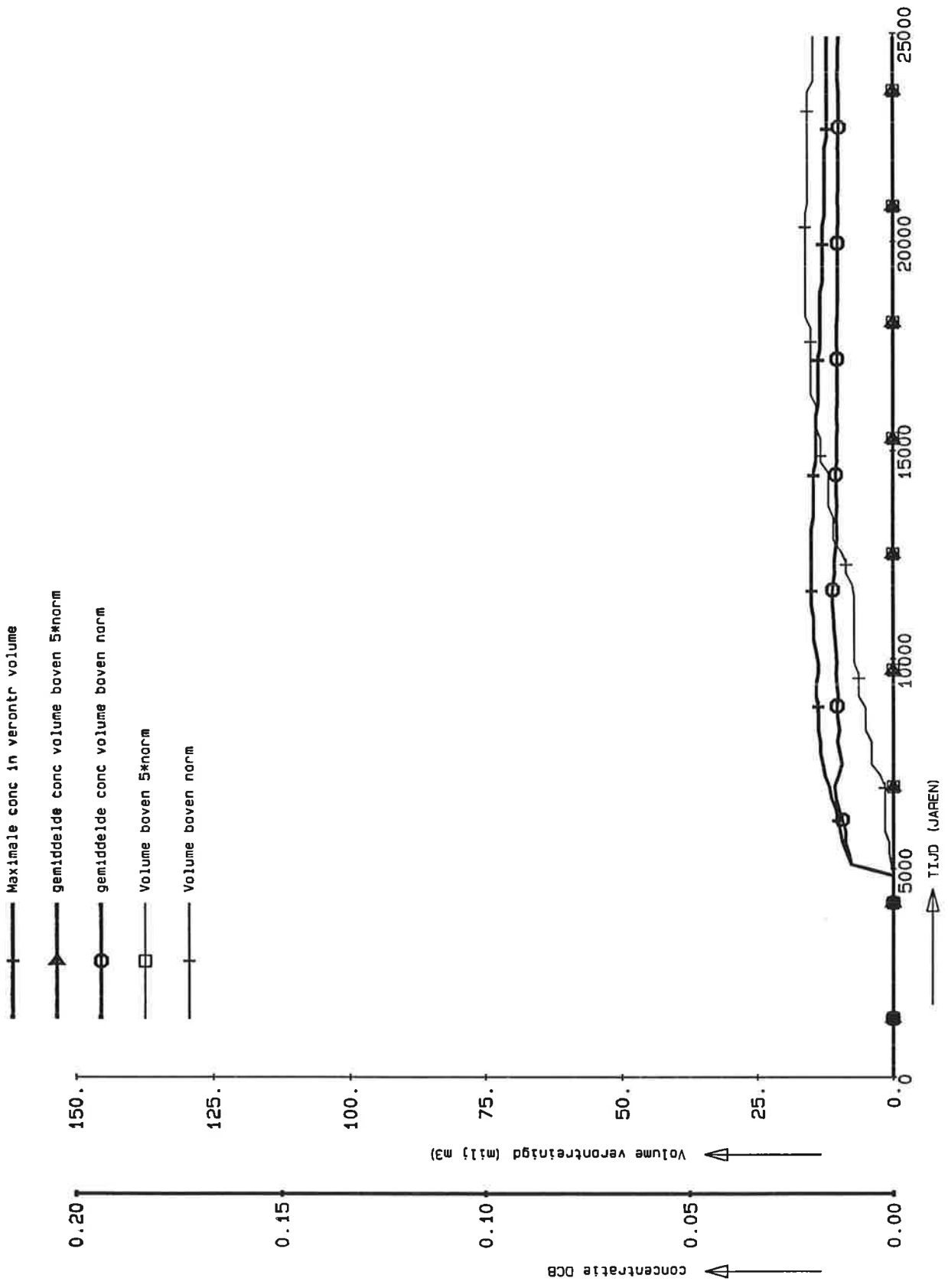
Ketelmeer

- +— Maximale conc in verontr volume
- ▲— gemiddelde conc volume boven 5*norm
- gemiddelde conc volume boven norm
- Volume boven 5*norm
- +— Volume boven norm



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 (kwelgebied)
 Variant 10, deklaag

STYXZ	T1063
Ketelmeer	

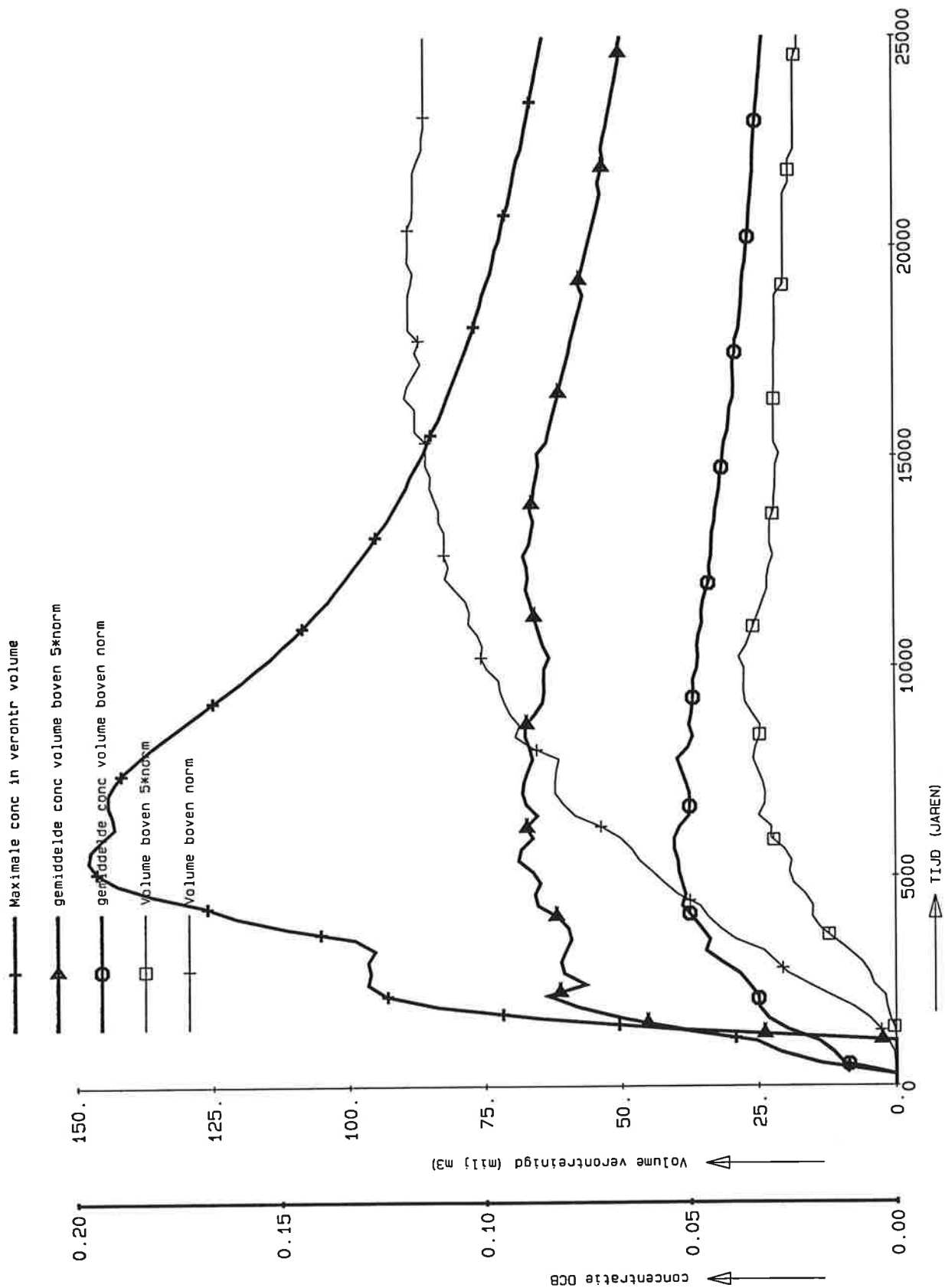


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 [kwelgebied]
 Variant 11, deklaag

STYXZ

T1063

Ketelmeer

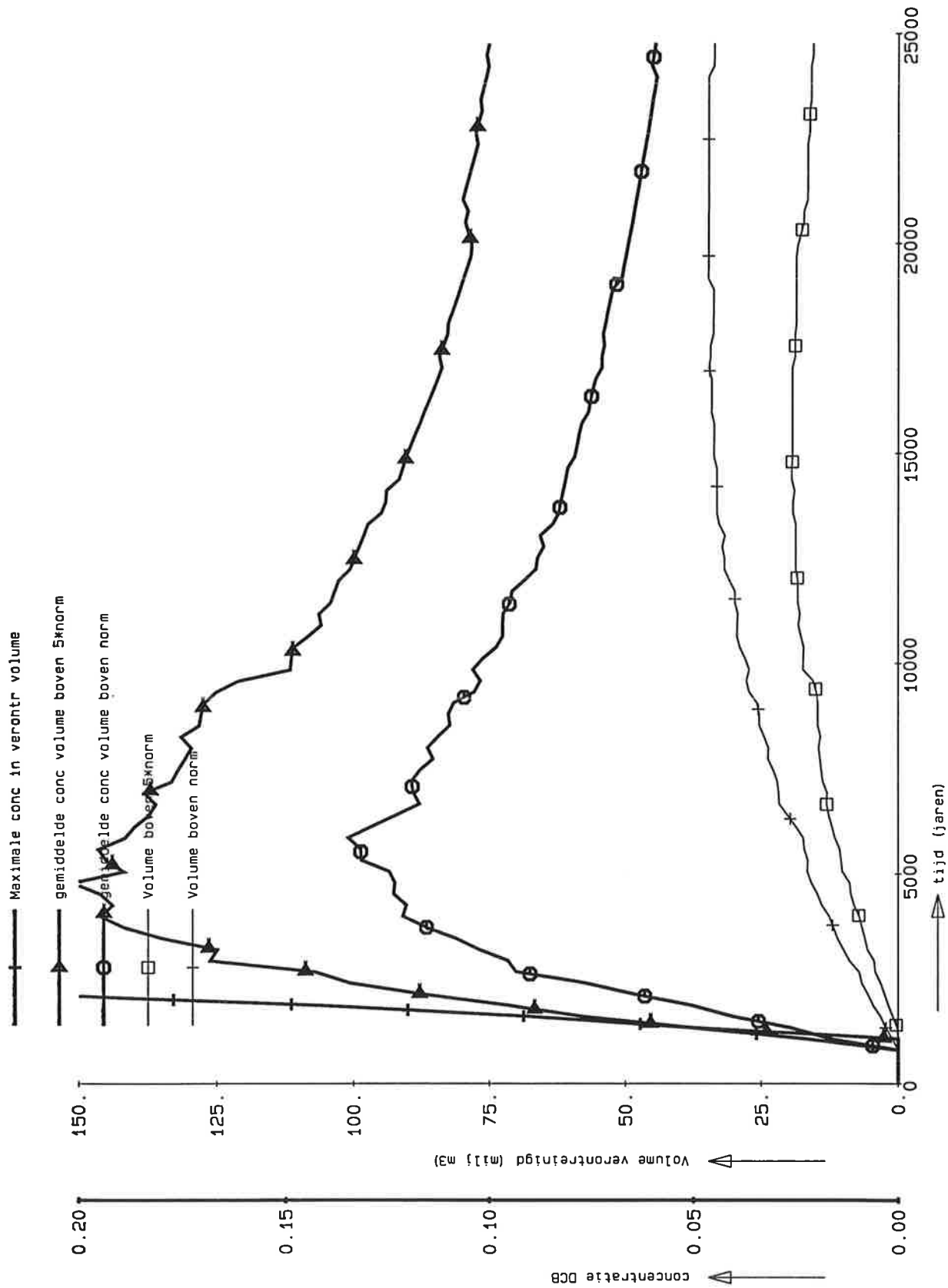


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 {kwelgebied}
 Variant 12, deklaag

STYXZ

T1063

Ketelmeer

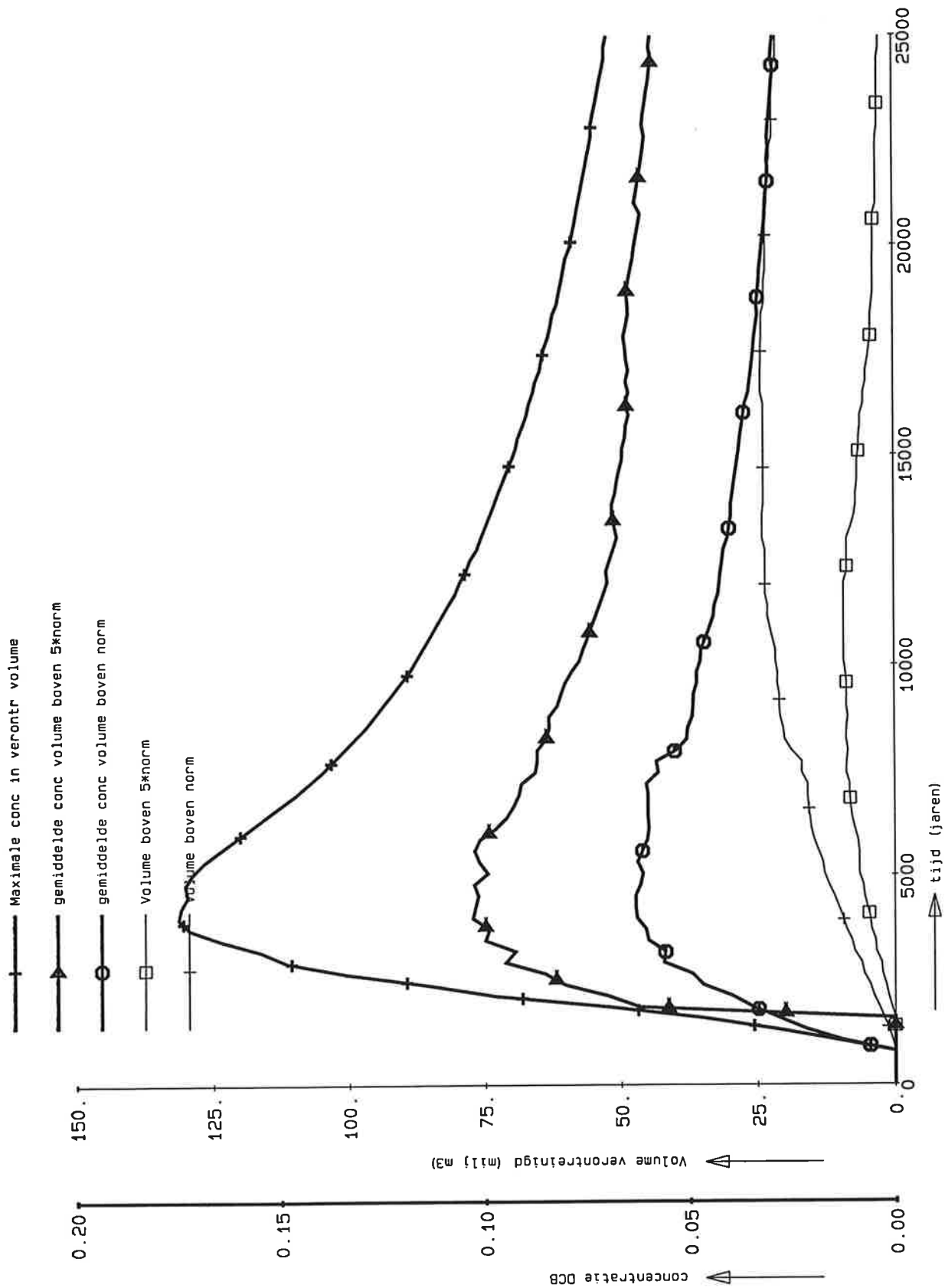


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc [kwelgebied] variant 13B

STYXZ

T1063

Ketelmeer



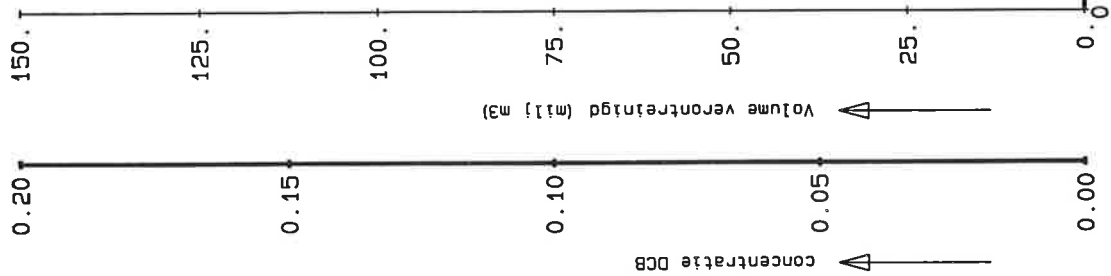
Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 [kwelgebied]
 variant 13C

STYXZ

T1063

Ketelmeer

- +— Maximale conc in verontr volume
- ▲— gemiddelde conc volume boven 5*norm
- gemiddelde conc volume boven norm
- Volume boven 5*norm
- +— Volume boven norm



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
[kwelgebied]
variant 13D

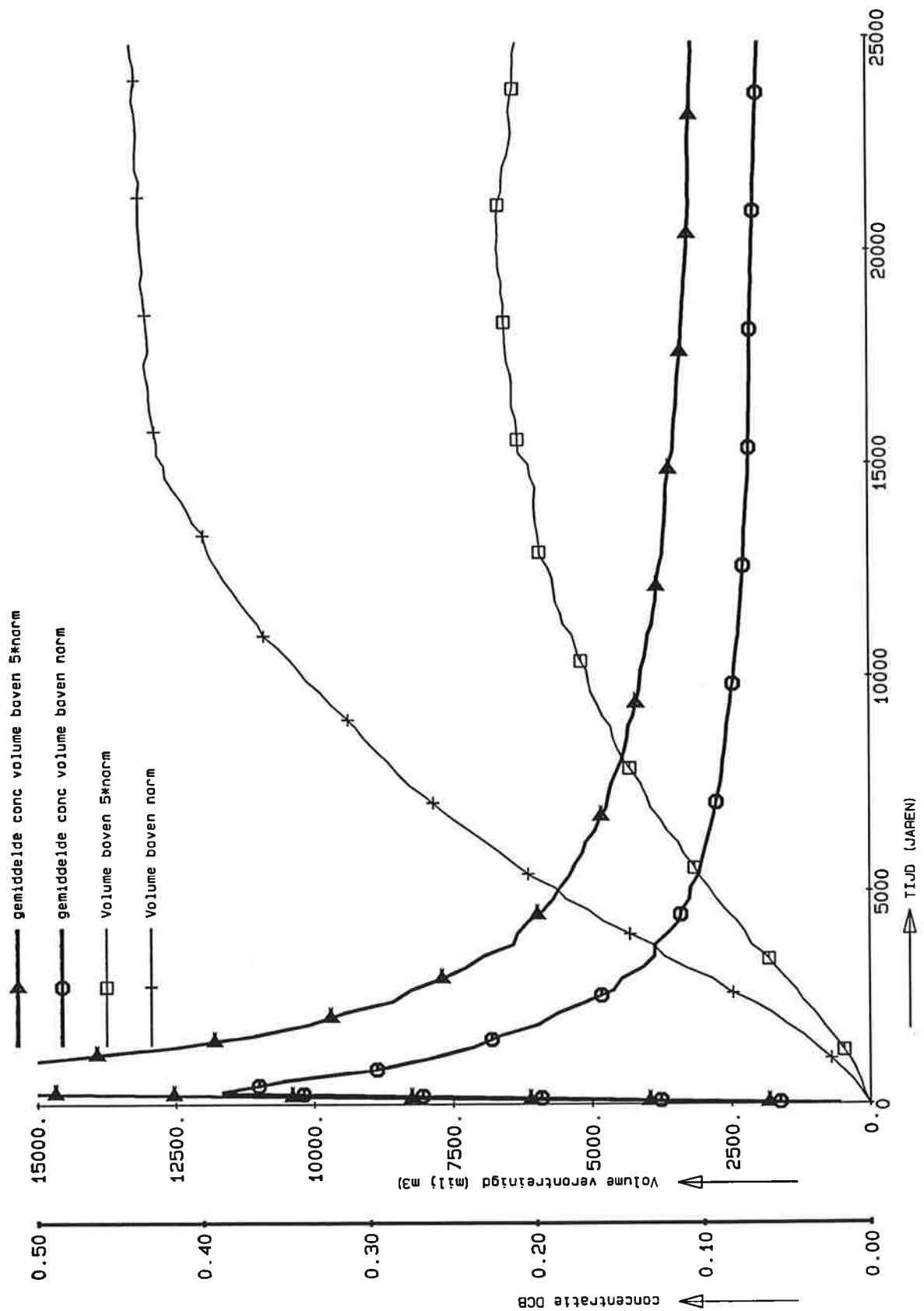
STYXZ

T1063

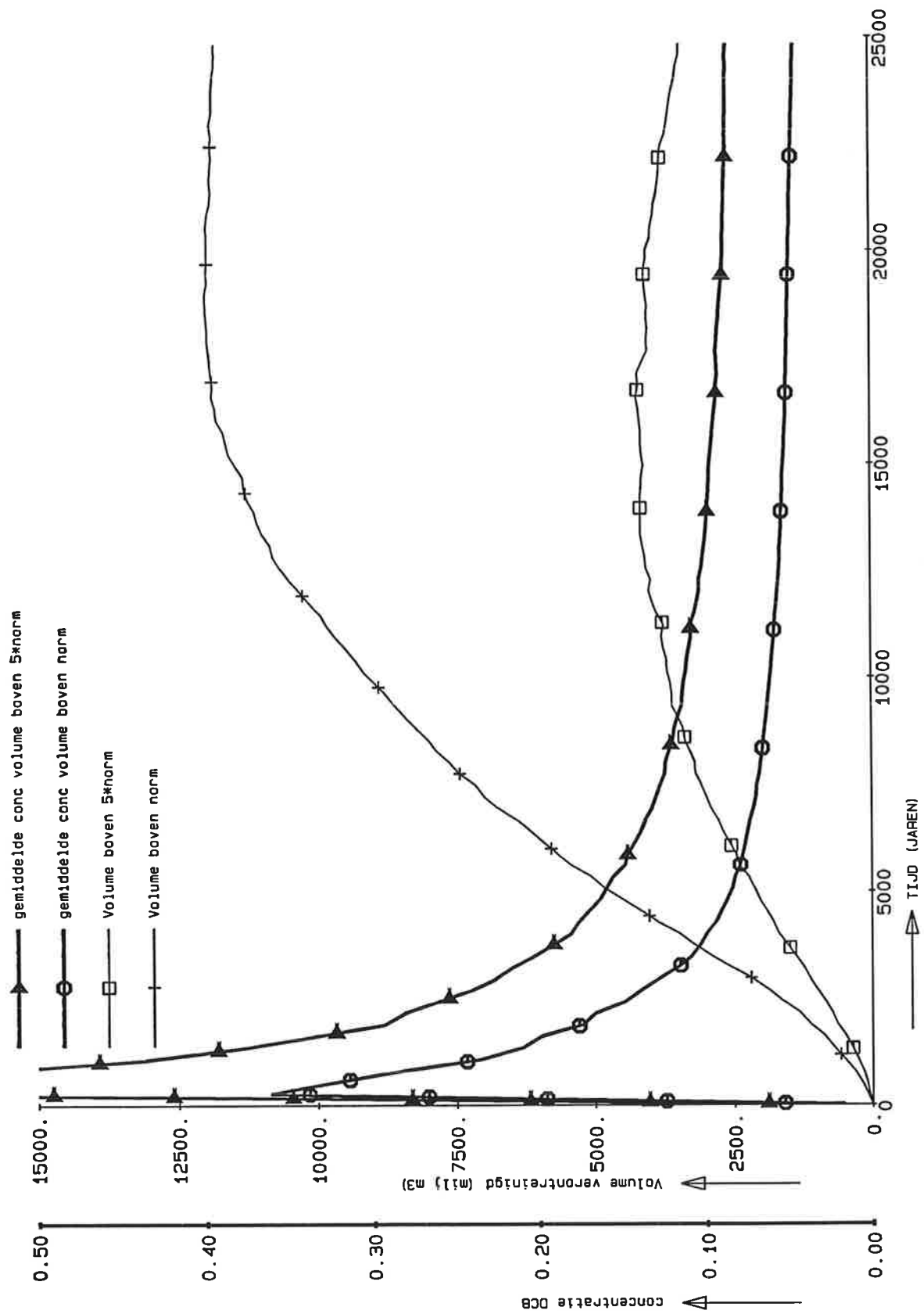
Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

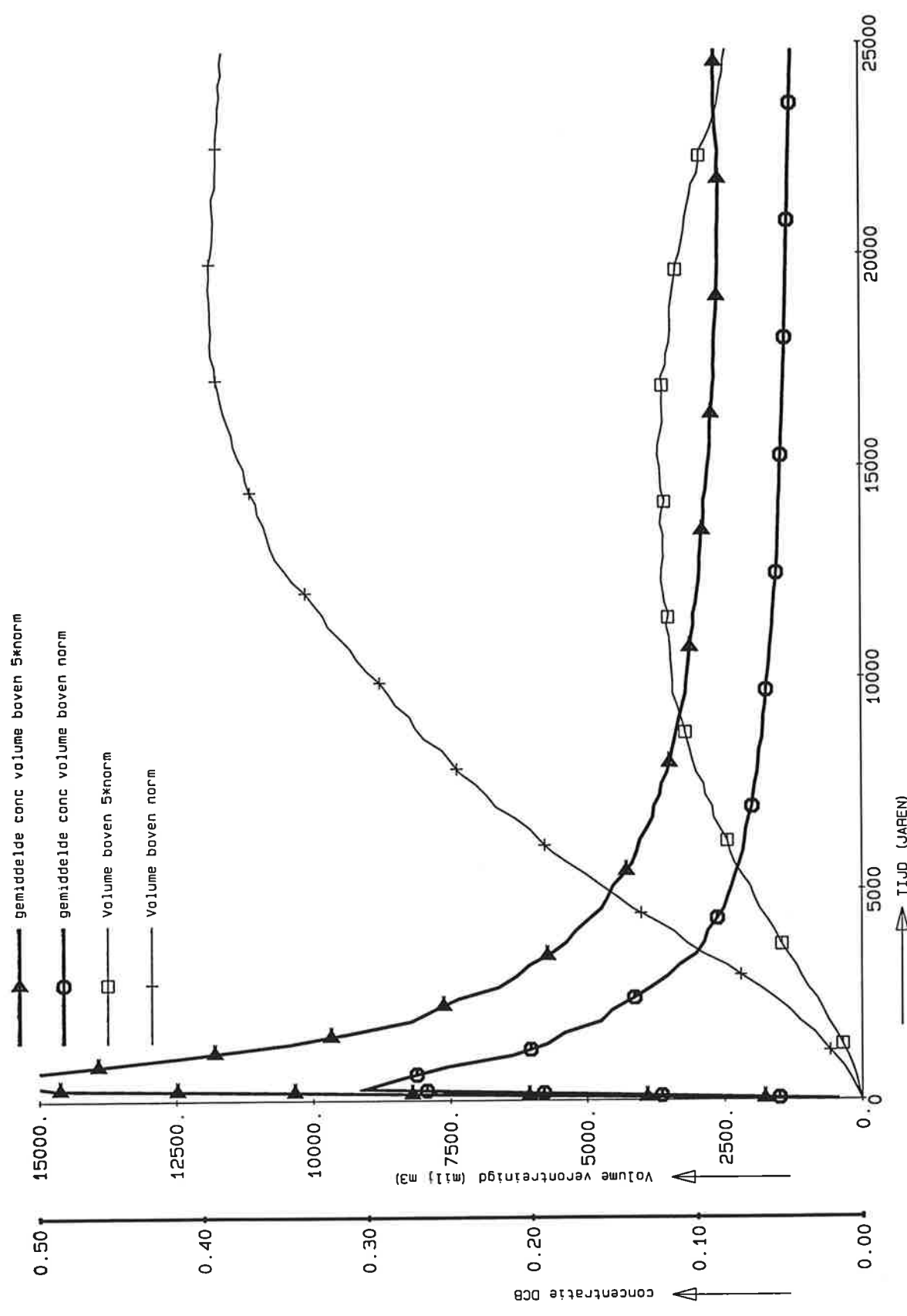
Fig 3.17d



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc Variant 1, WVP	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.18



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc Variant 2, WVP	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.19

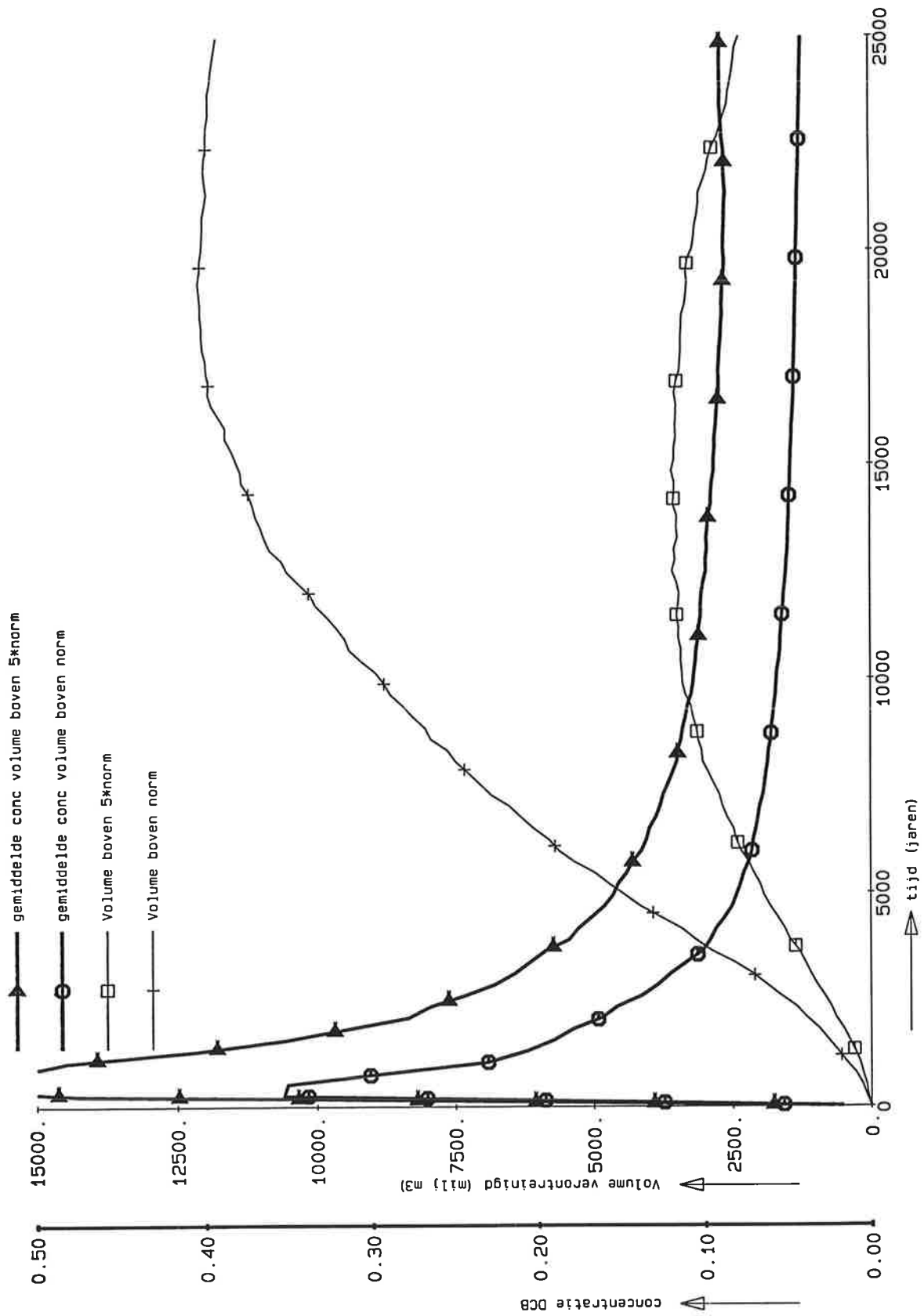


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 3, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

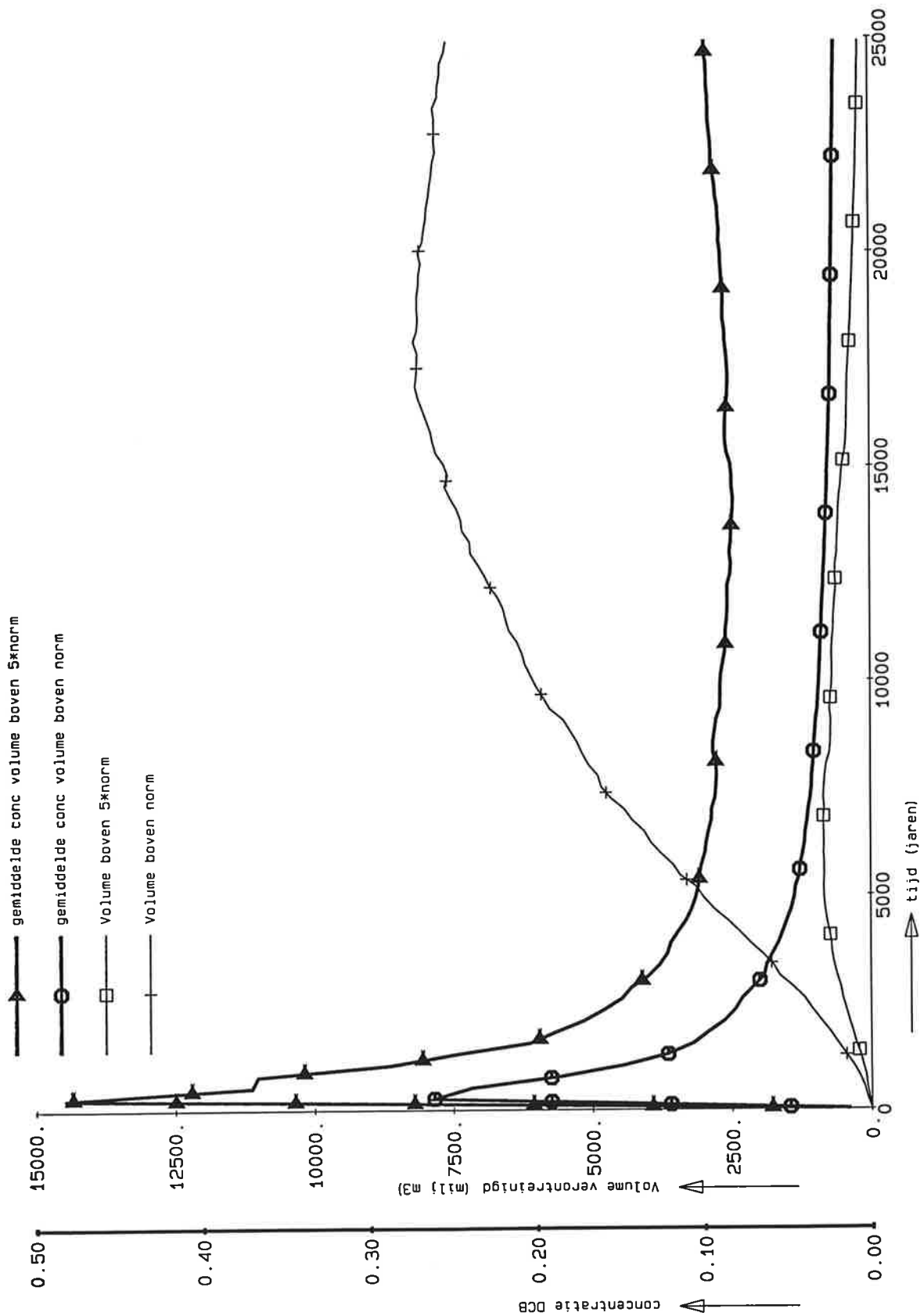


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 3b, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

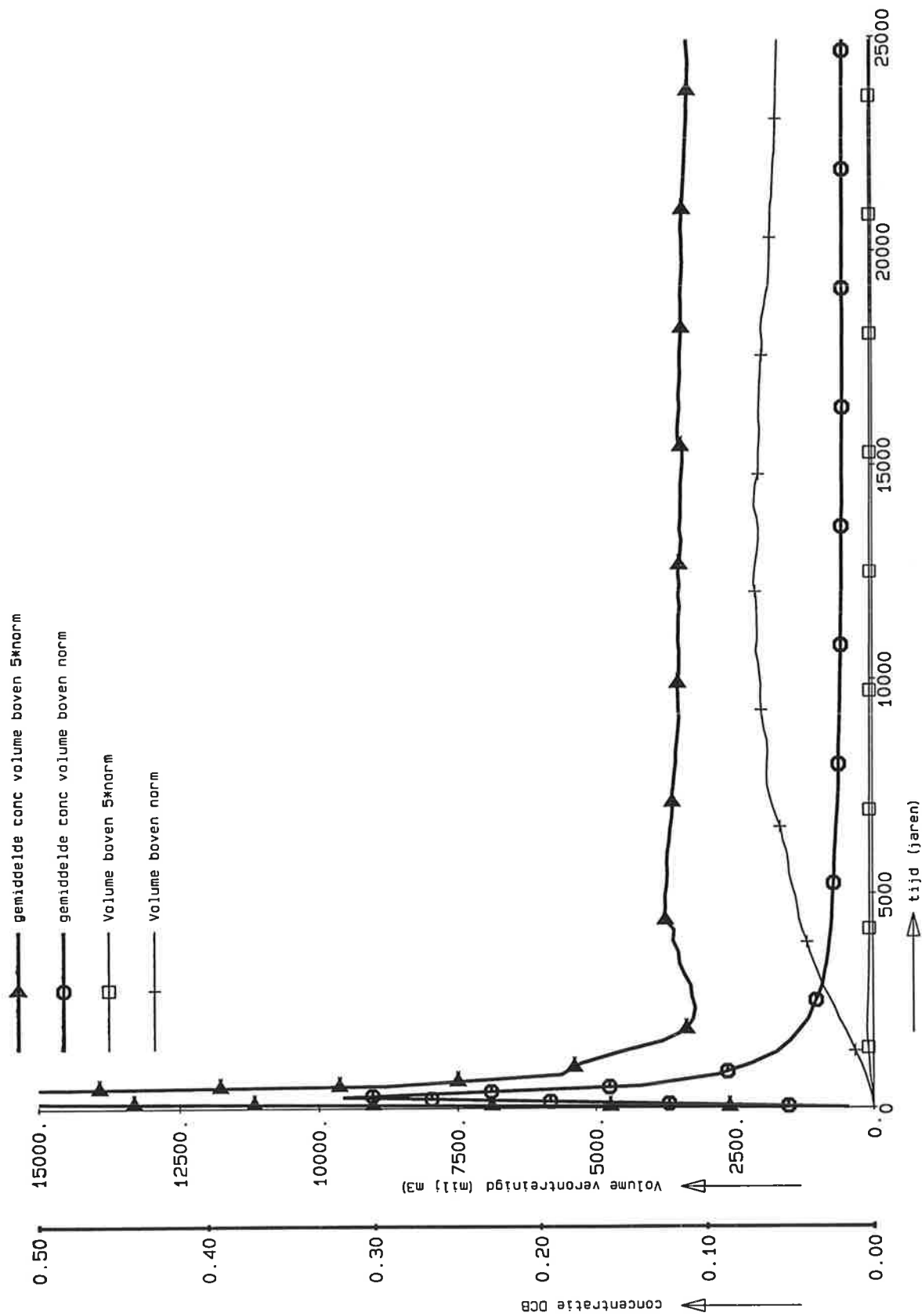


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 3C, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

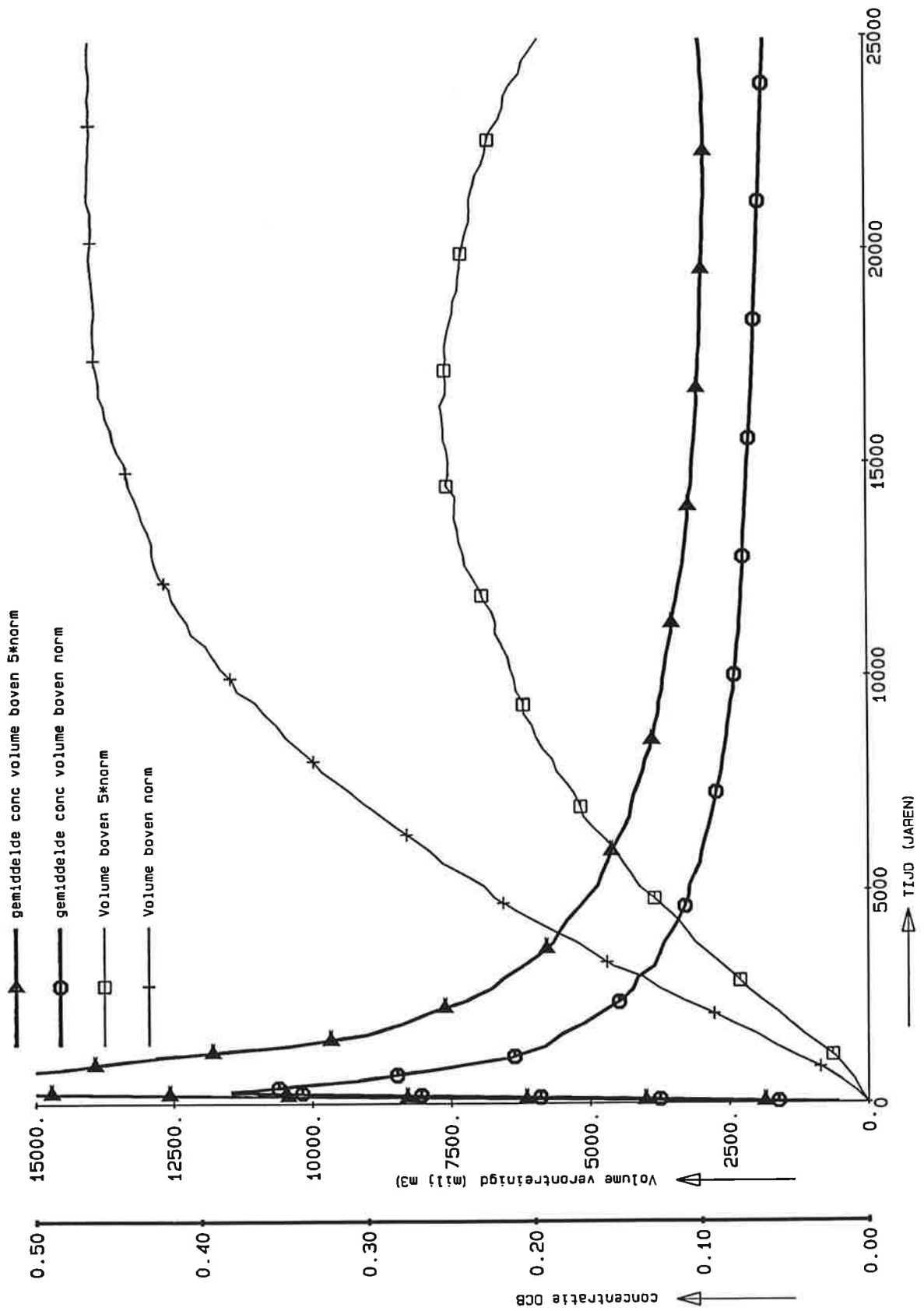


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 3D, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

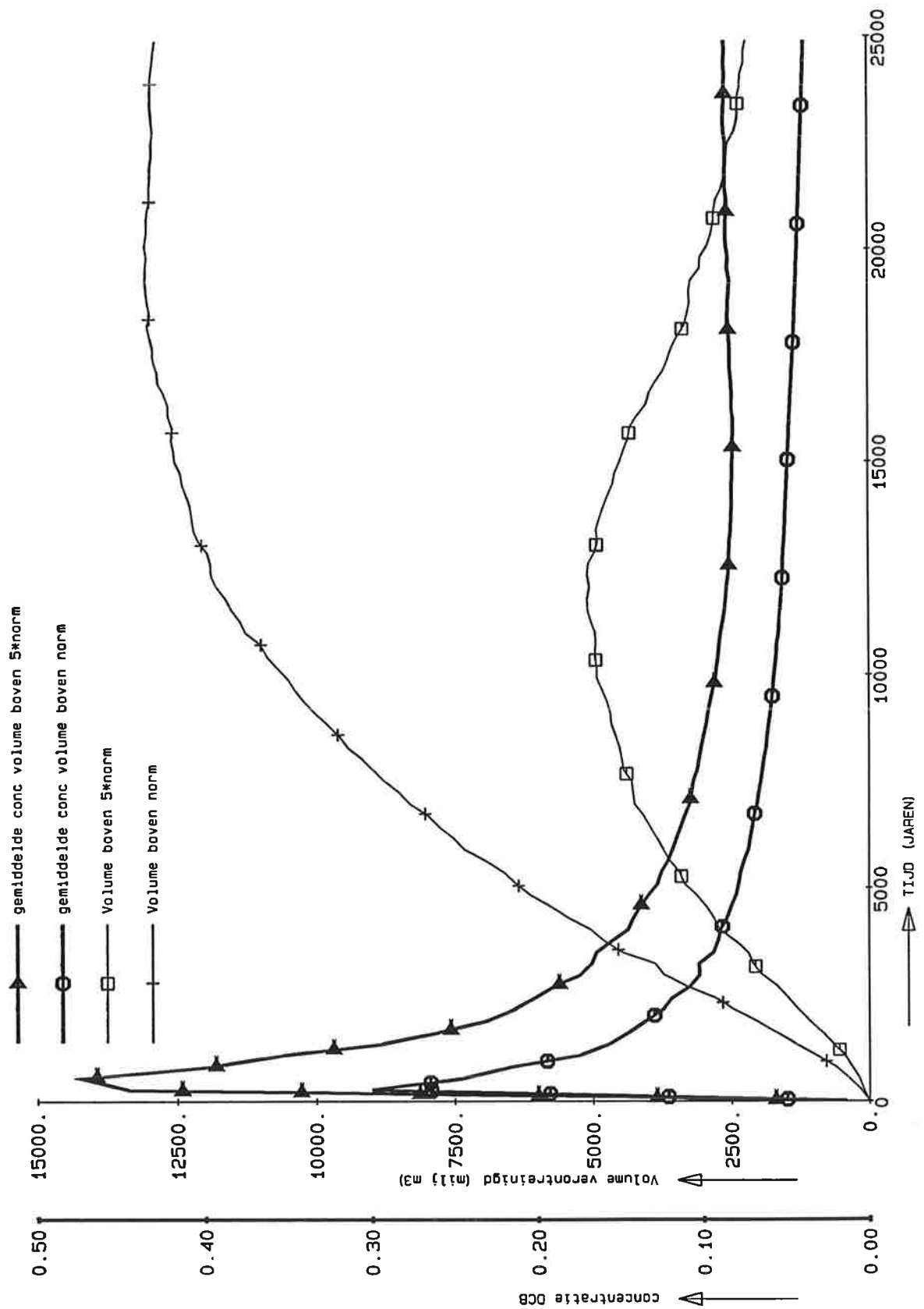


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 4, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

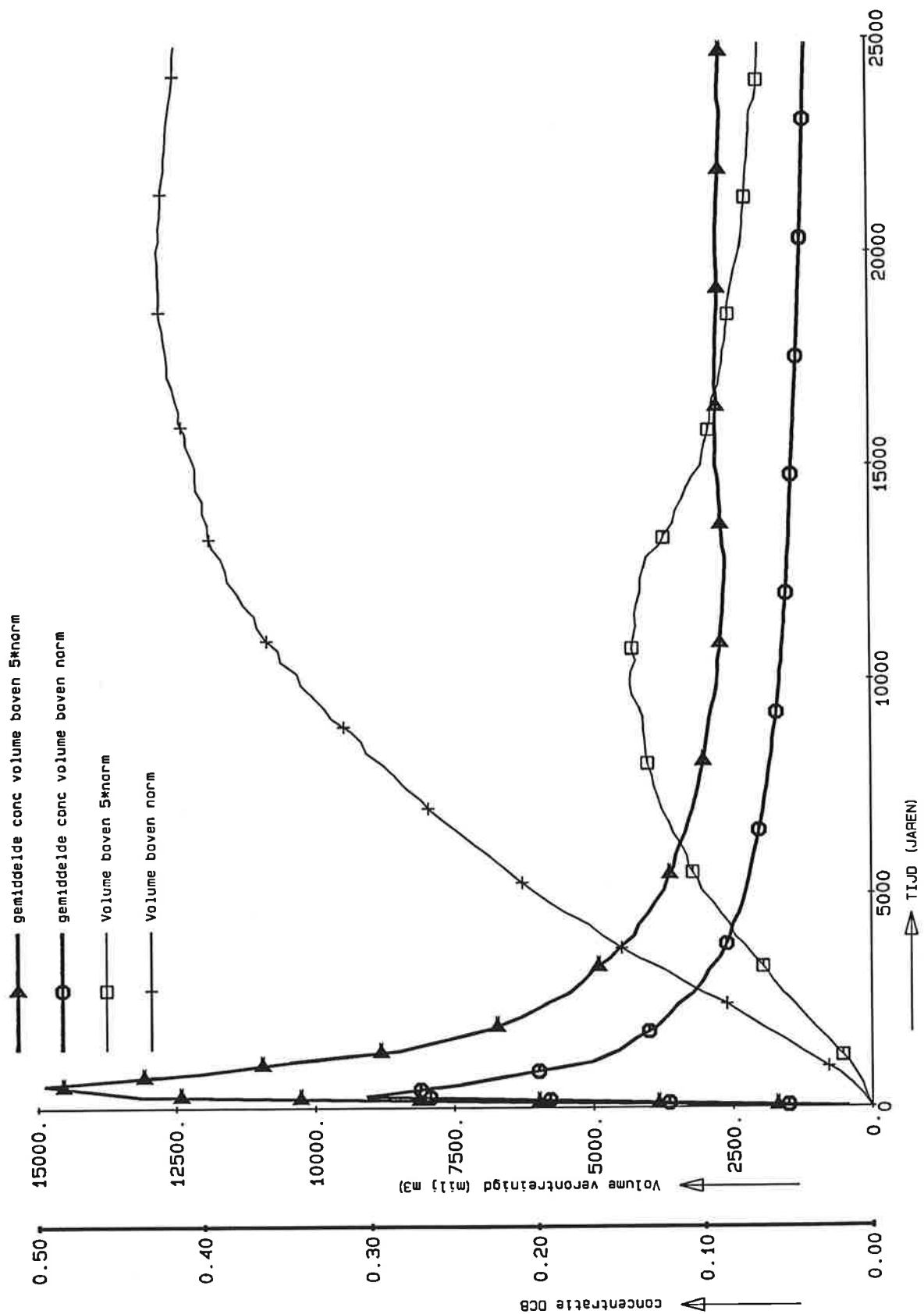


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 5, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

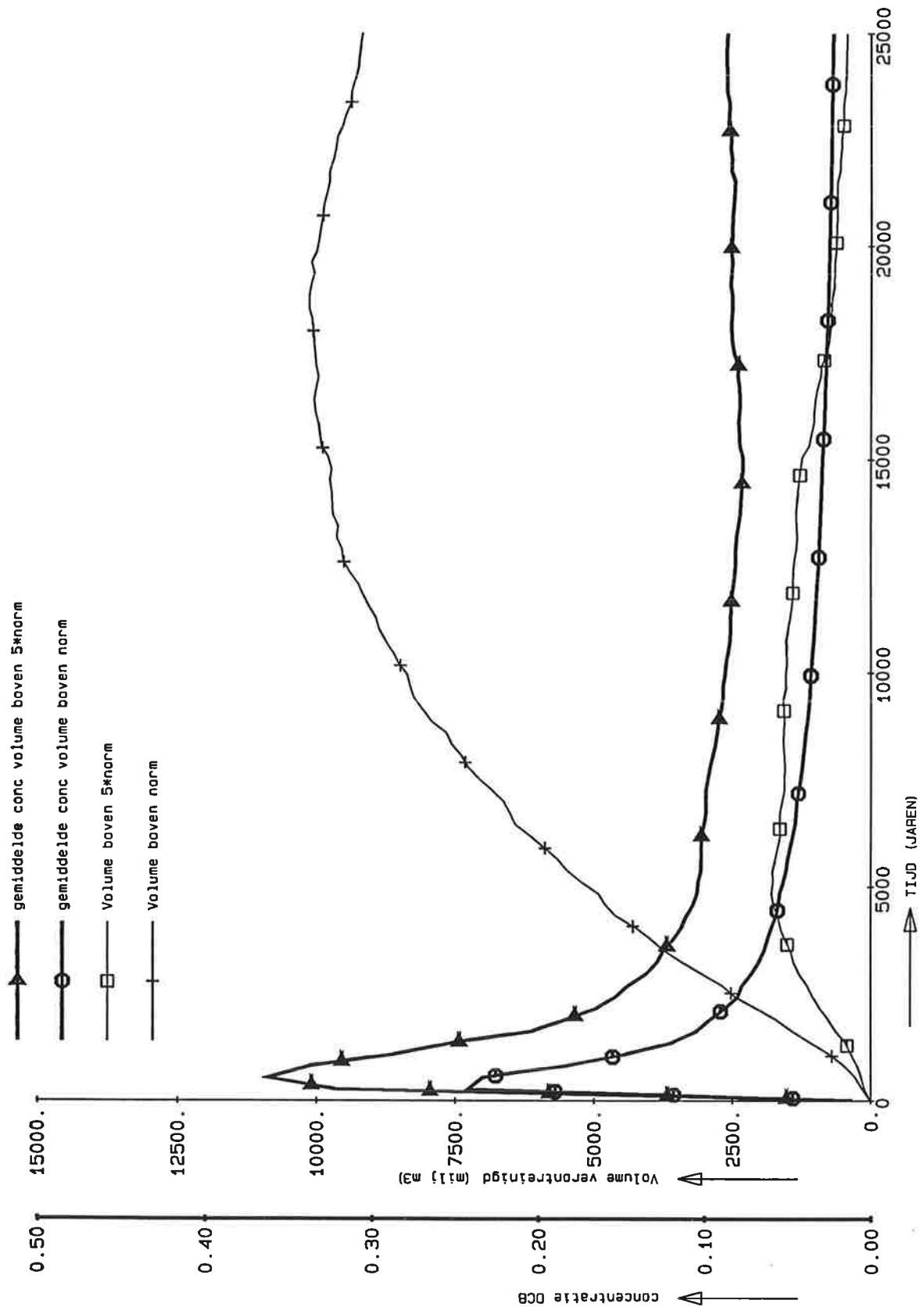


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 6, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

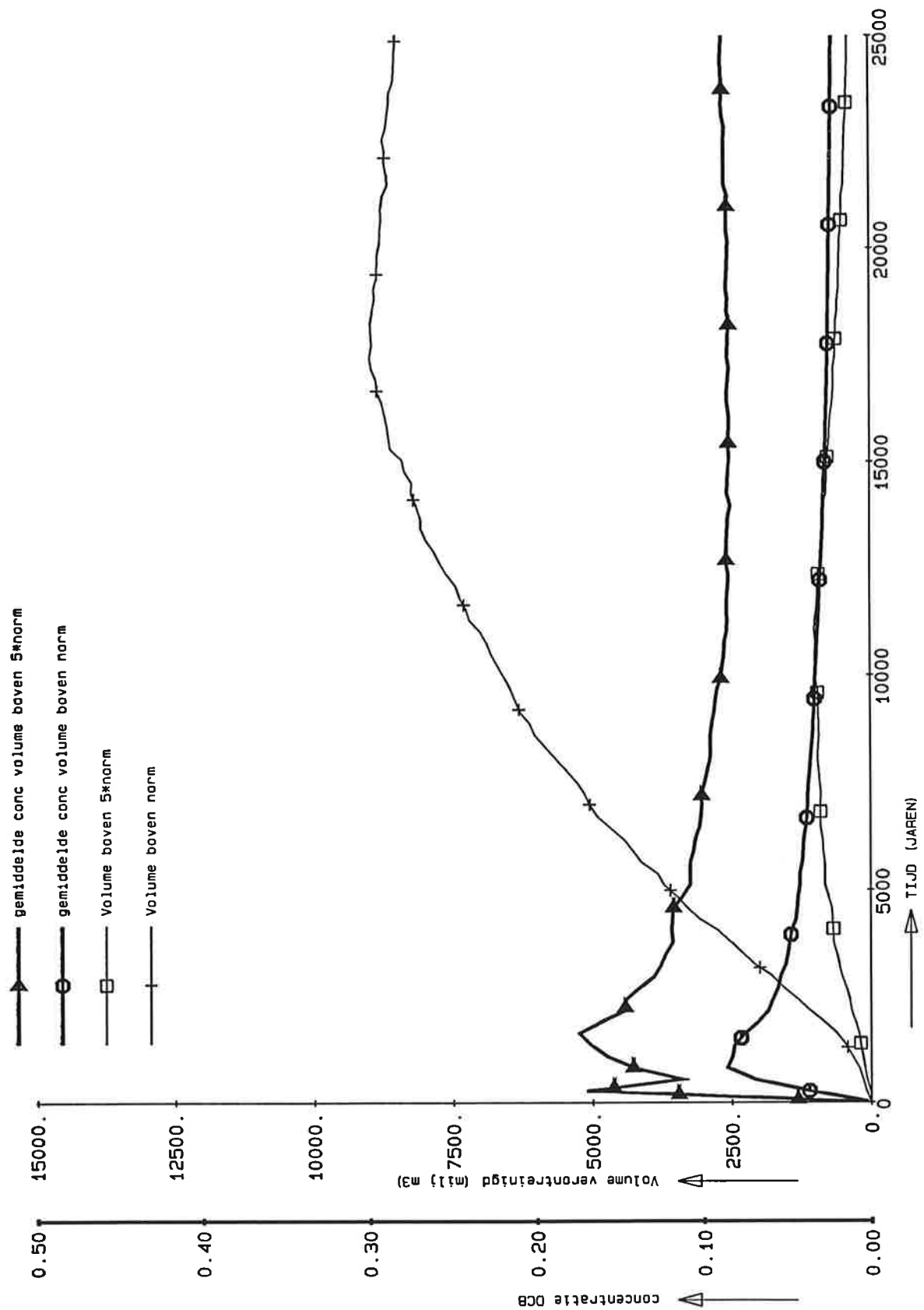


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 7, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

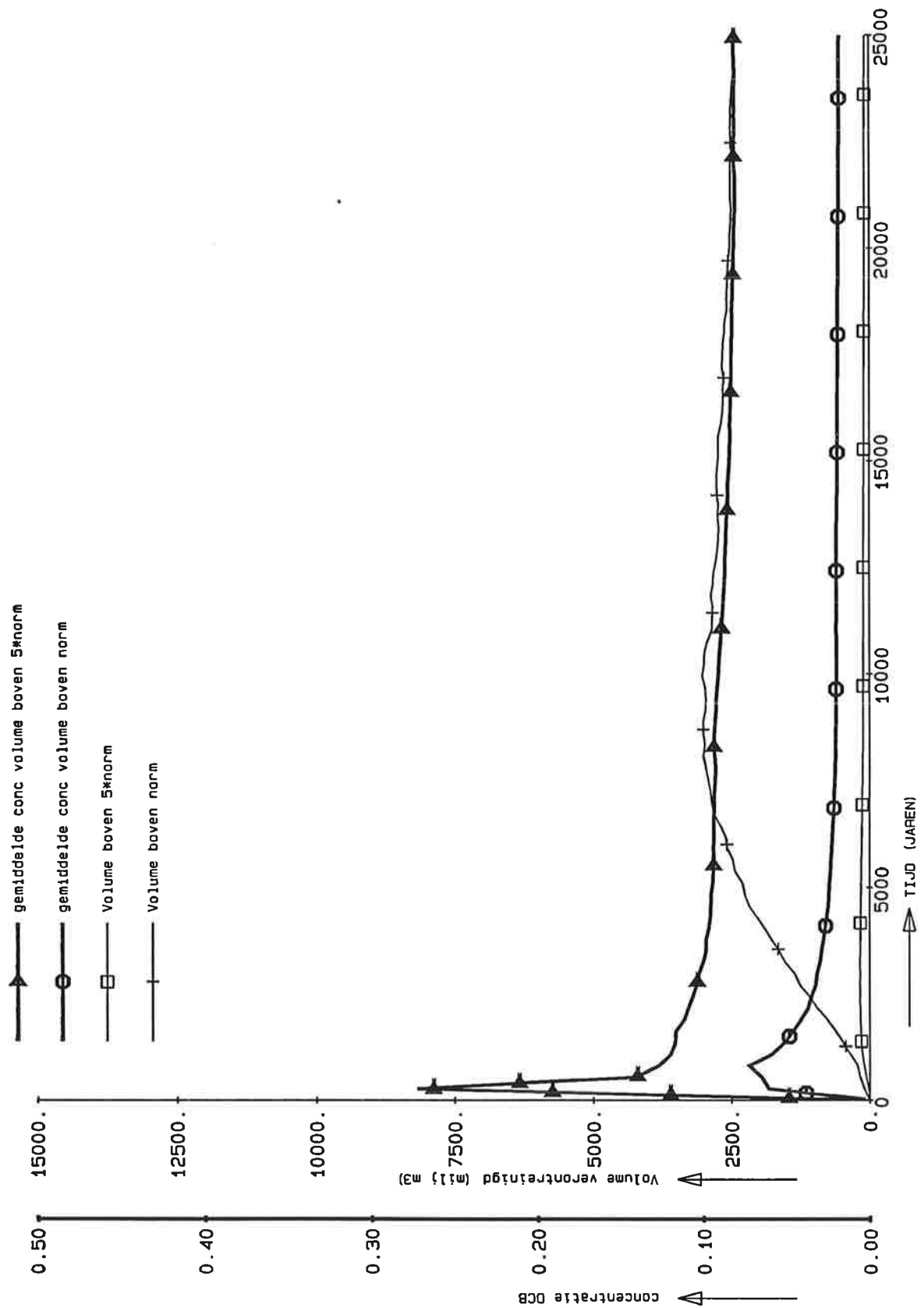


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 9, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

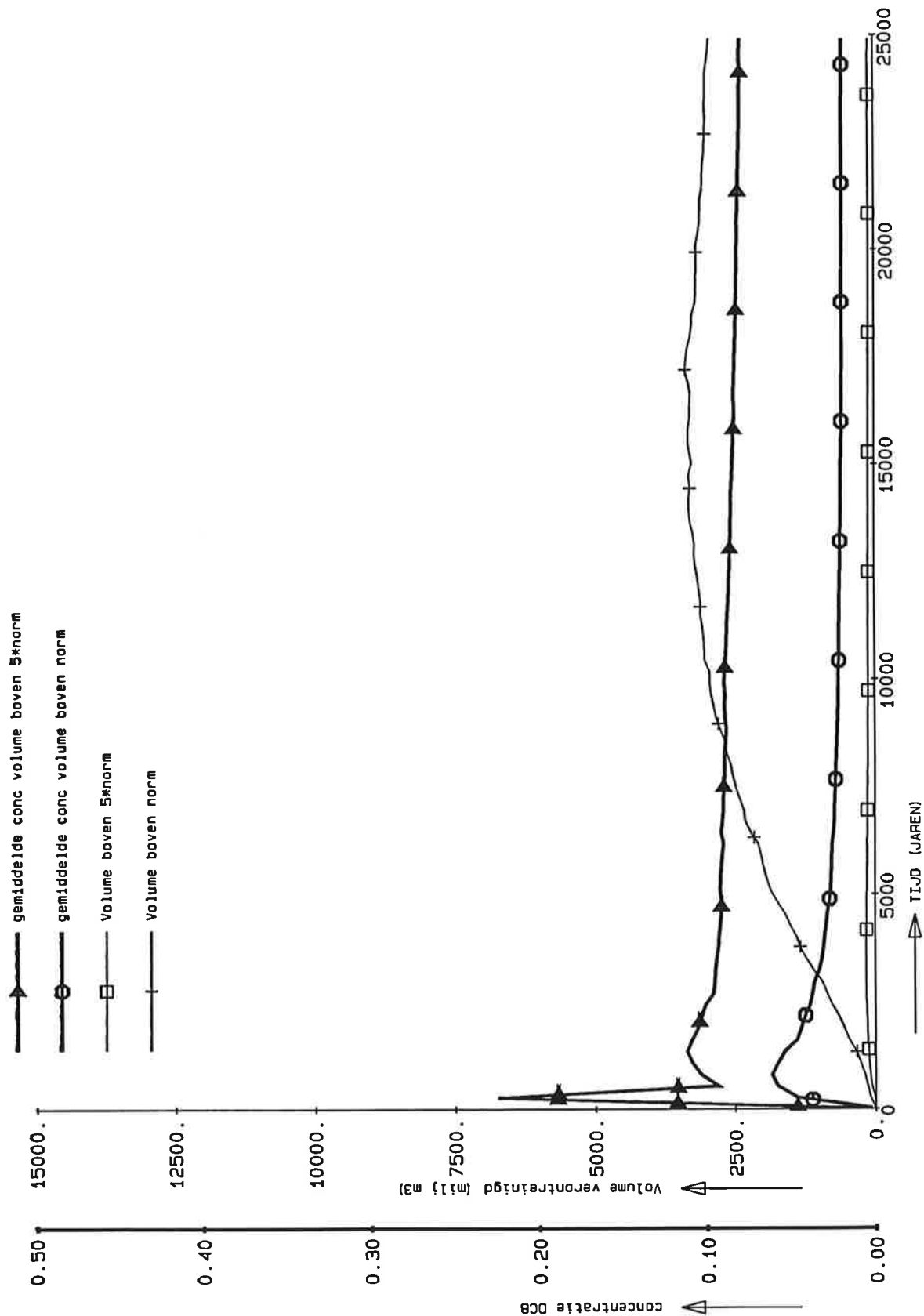


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 10, WVP

STYXZ

T1063

Ketelmeer

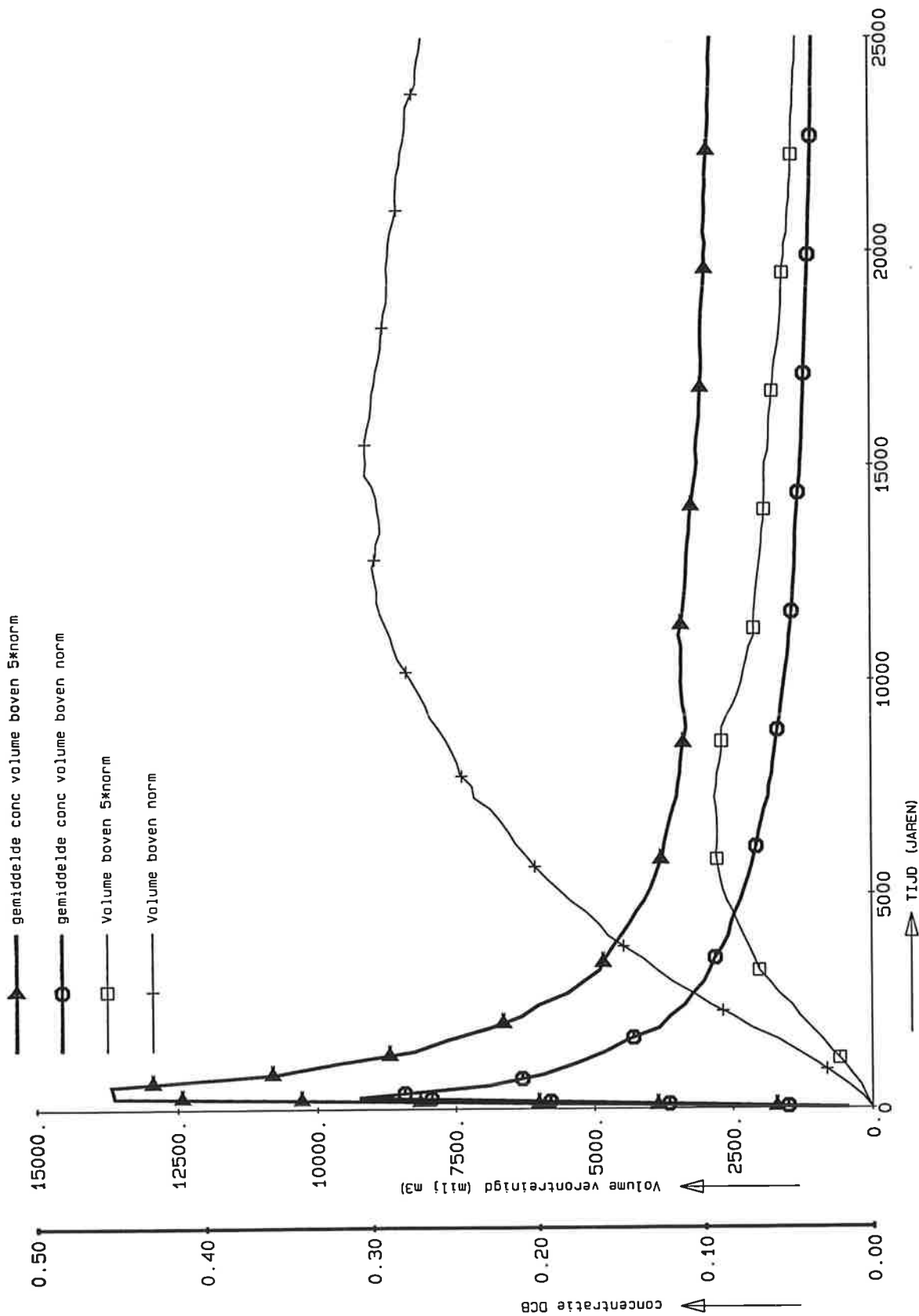


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 11, WVP

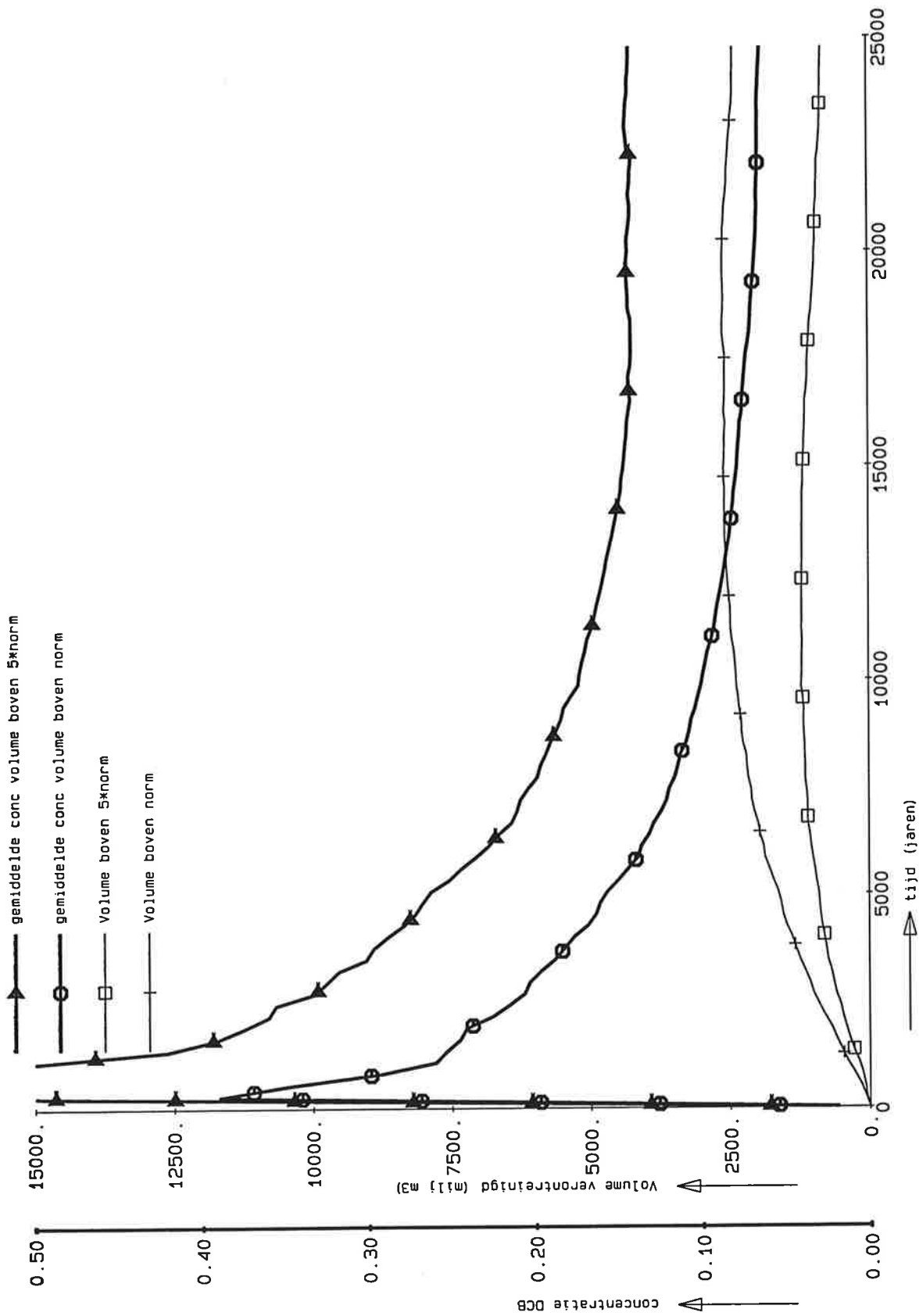
STYXZ

T1063

Ketelmeer



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc Variant 12, WVP	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig. 3.28a

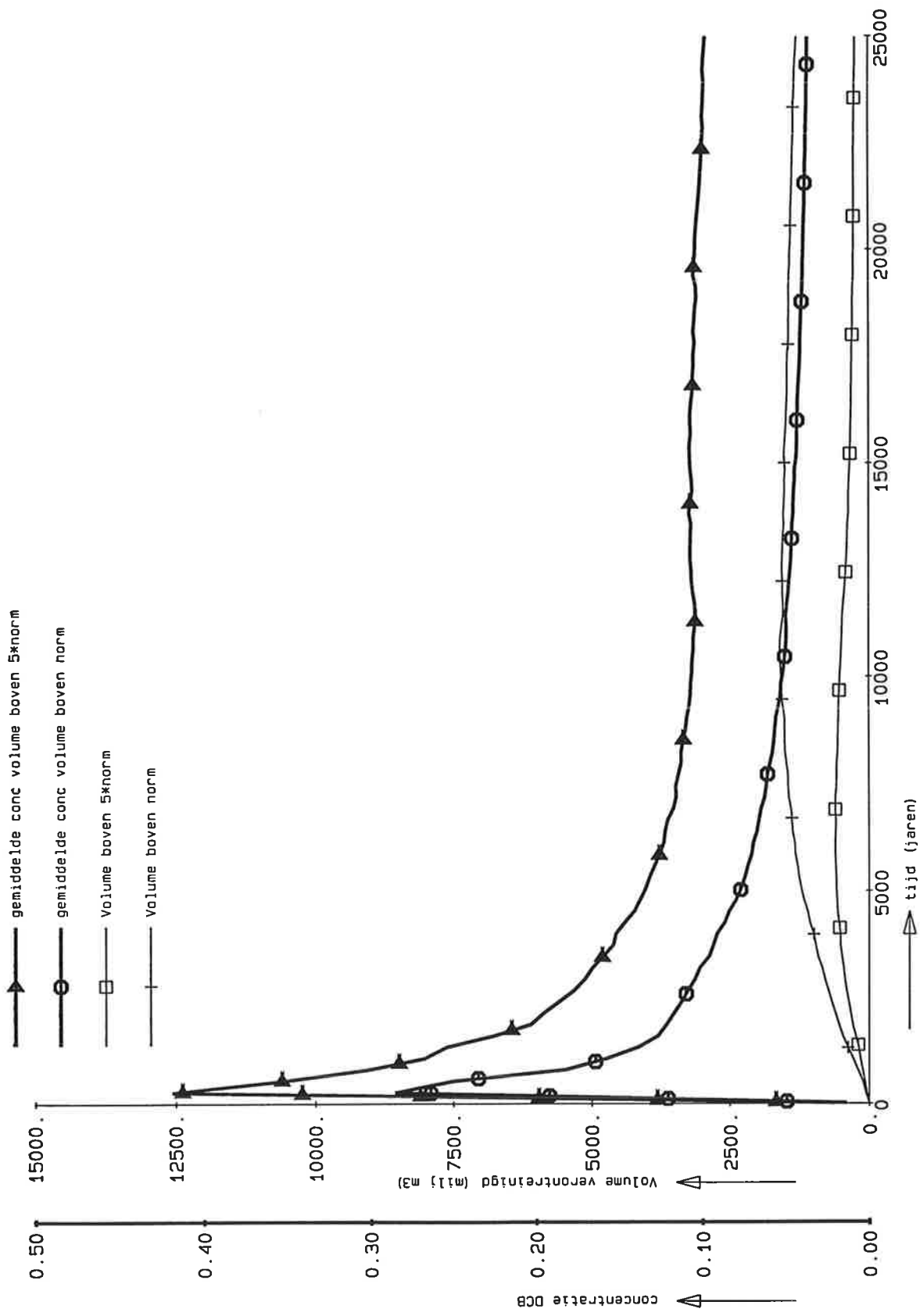


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 13B, WVP

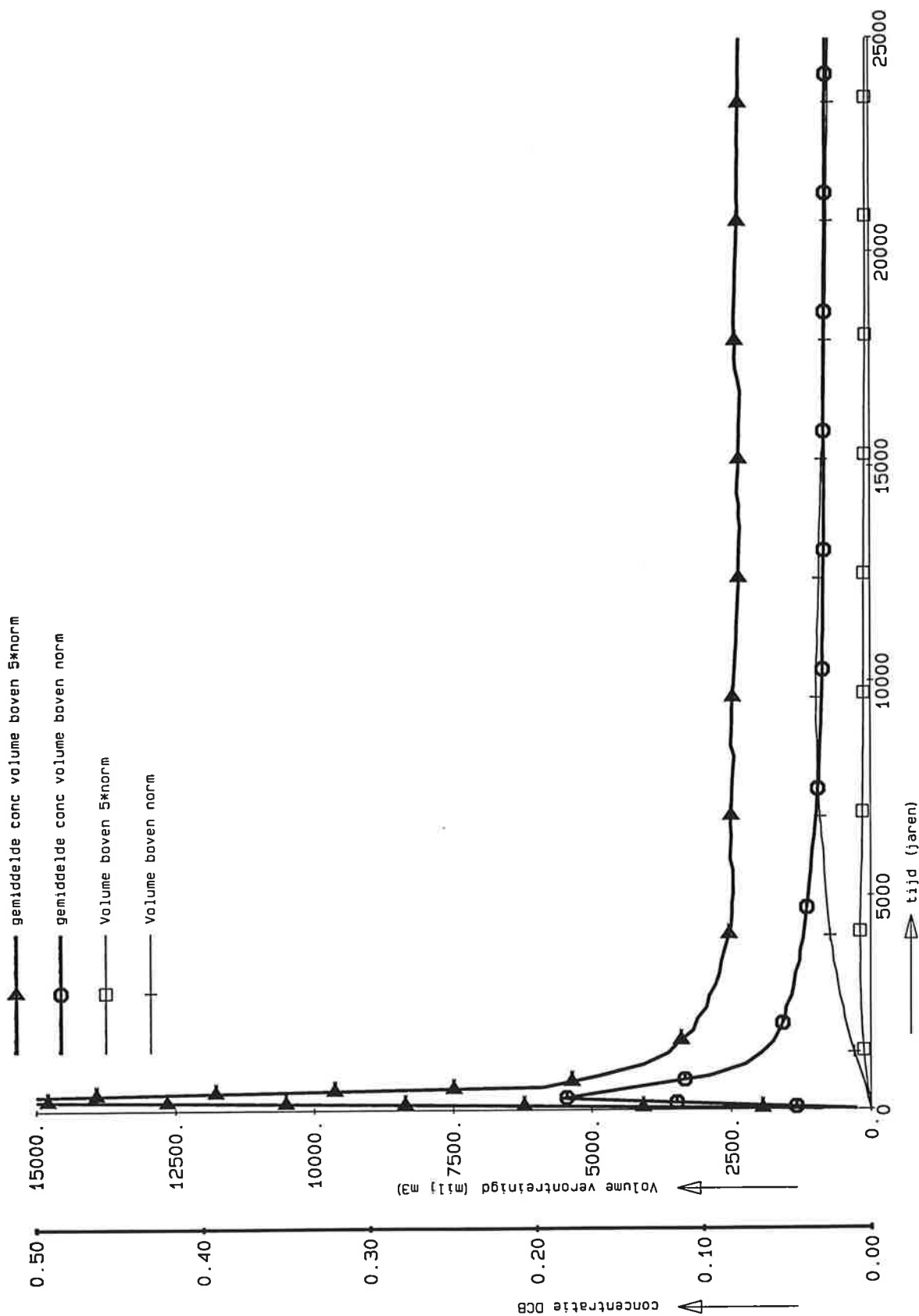
STYXZ

T1063

Ketelmeer



Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc Variant 13C, WVP	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.28c

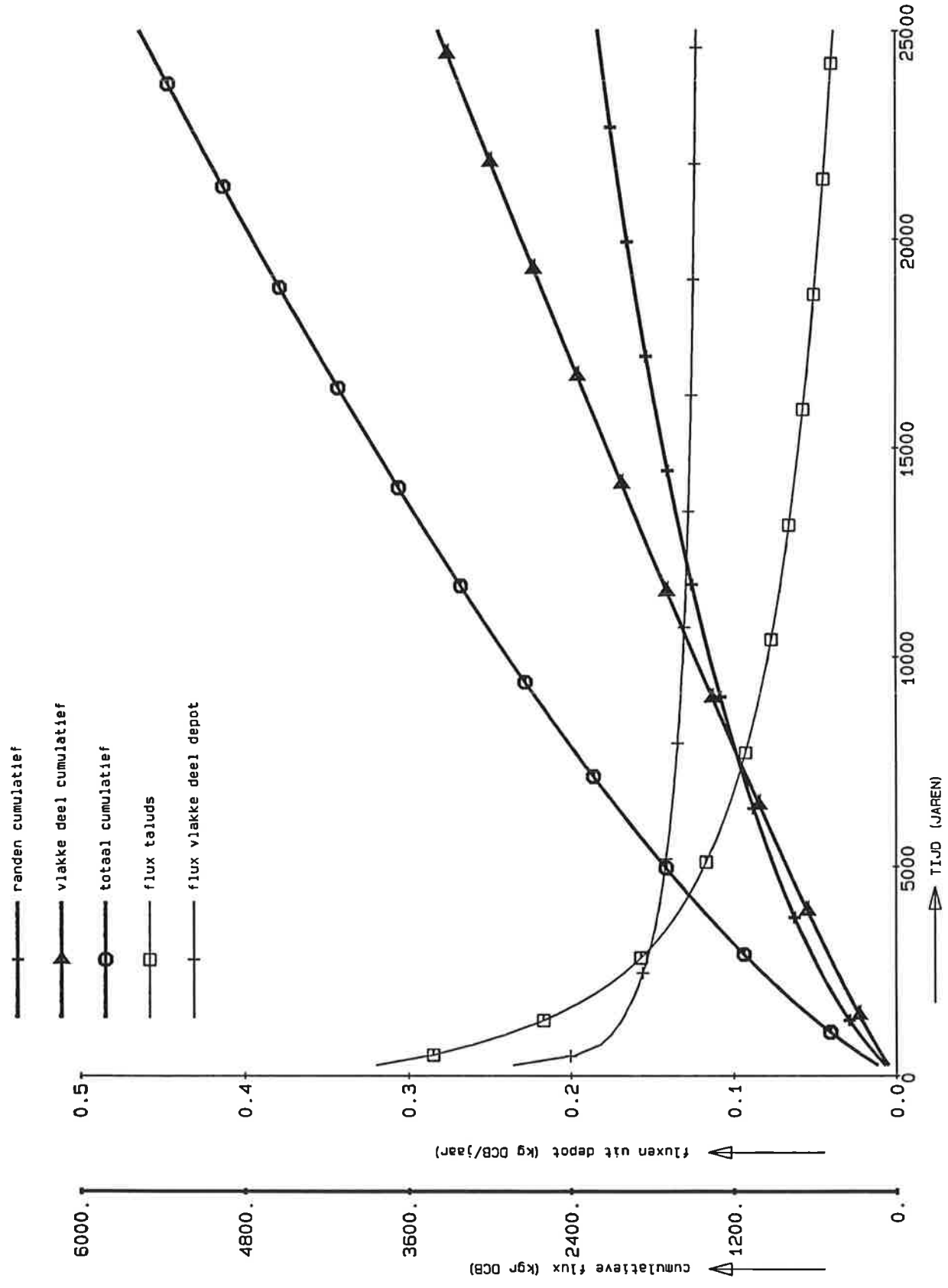


Volumina verontreinigd en gemiddelde en maximale conc
 Variant 13D, WVP

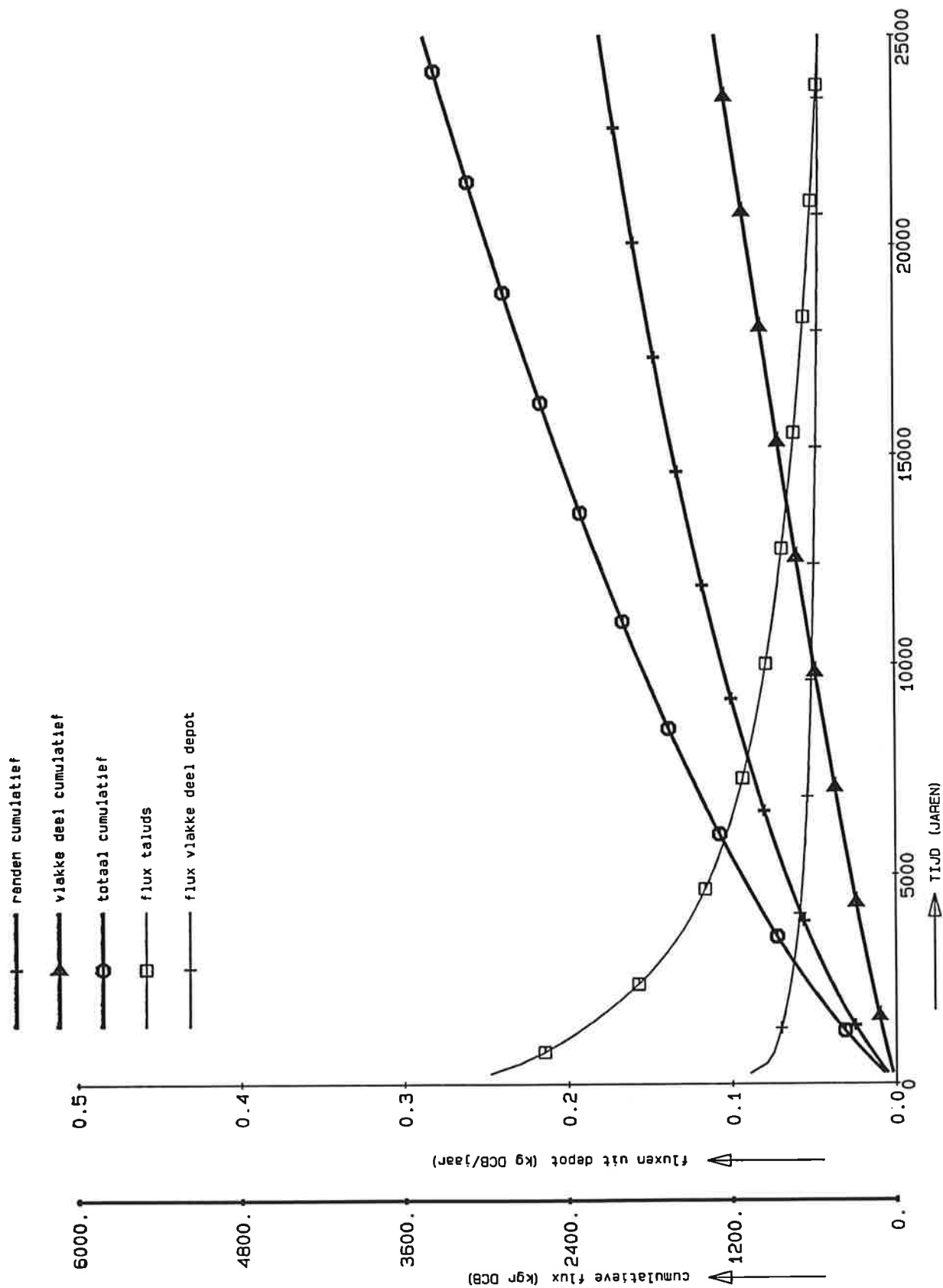
STYXZ

T1063

Ketelmeer

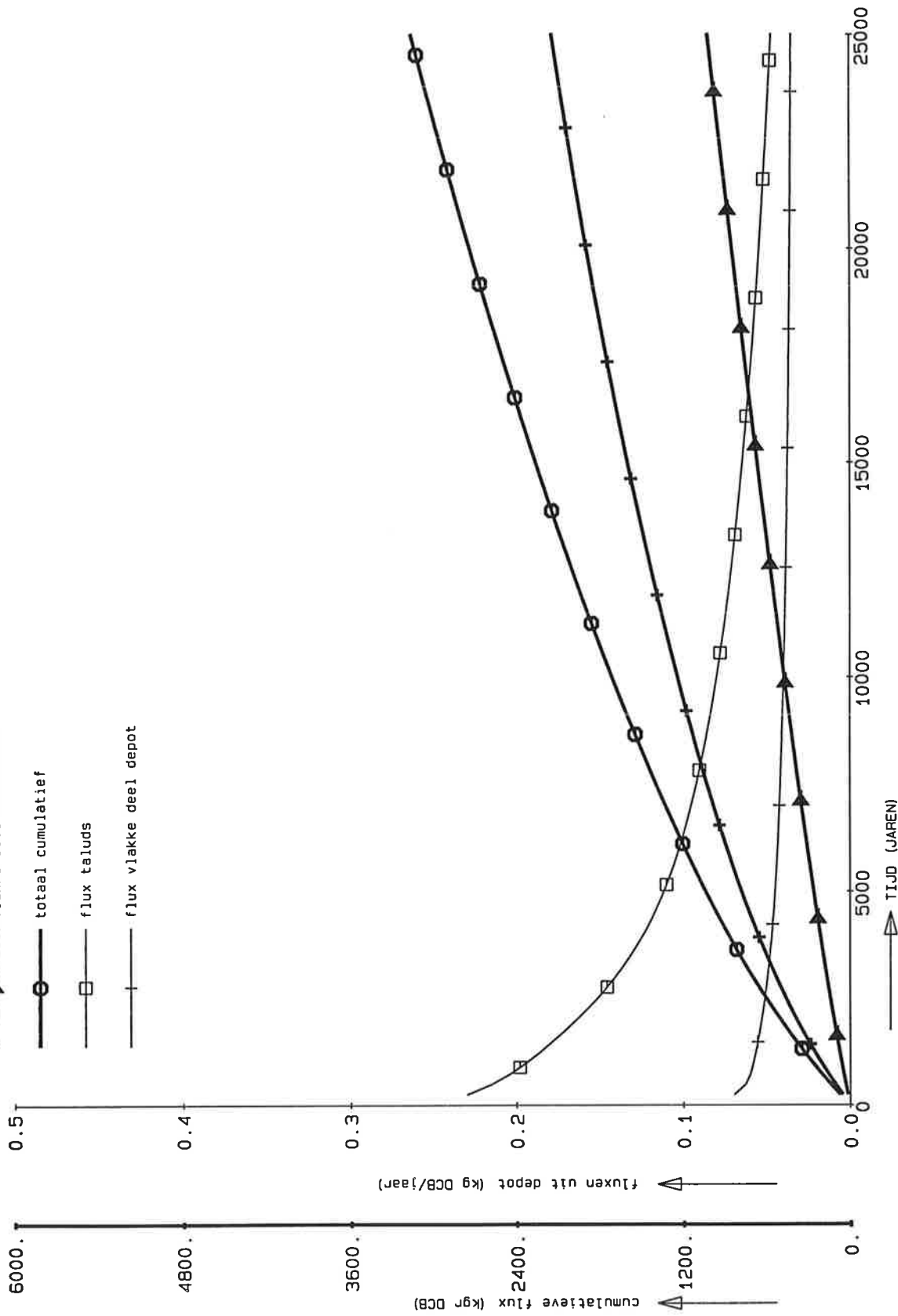


fluxen DCB Variant 1	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	feb 18, 1993	Fig. 3.29



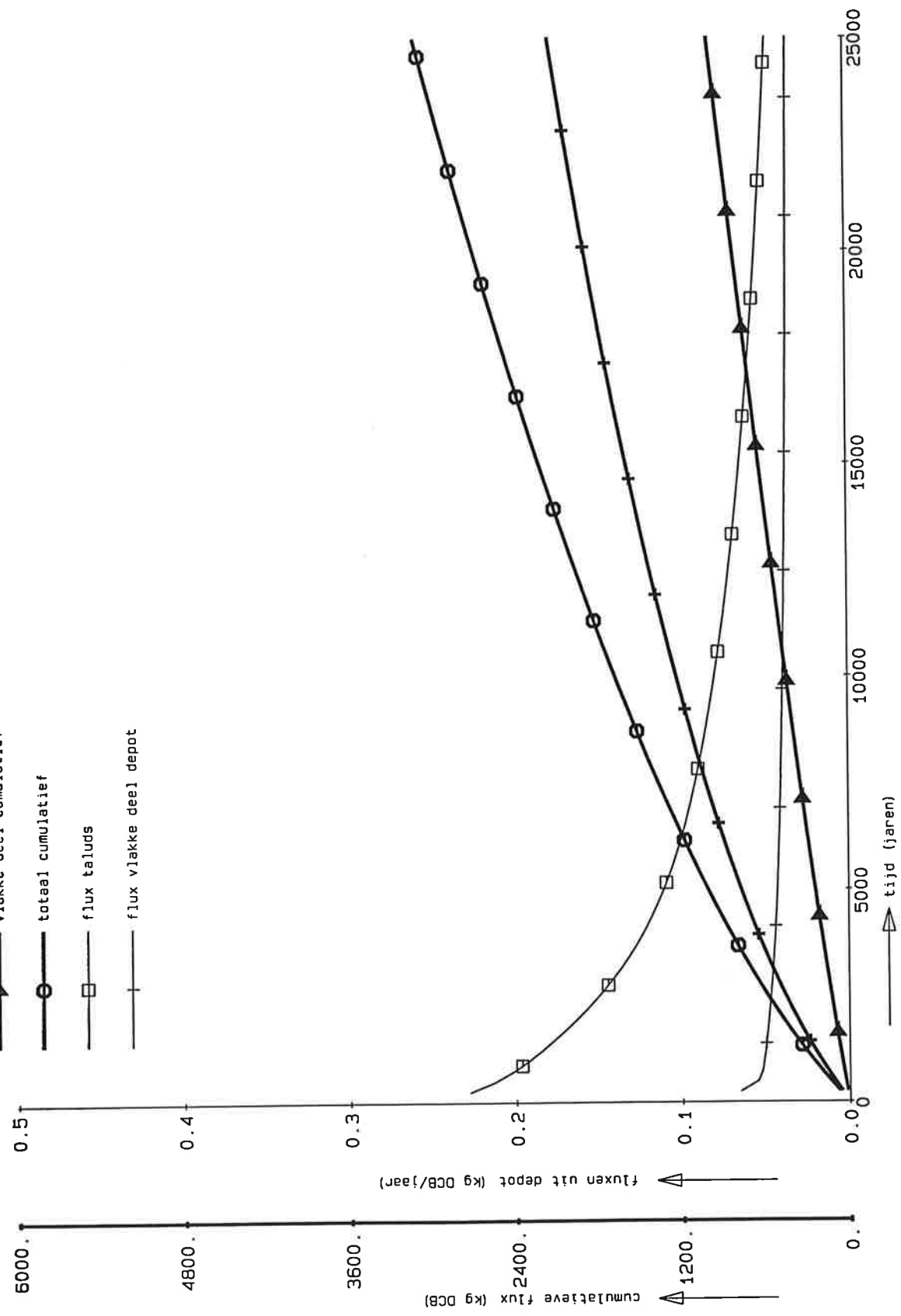
fluxen DCB Variant 2	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.30

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



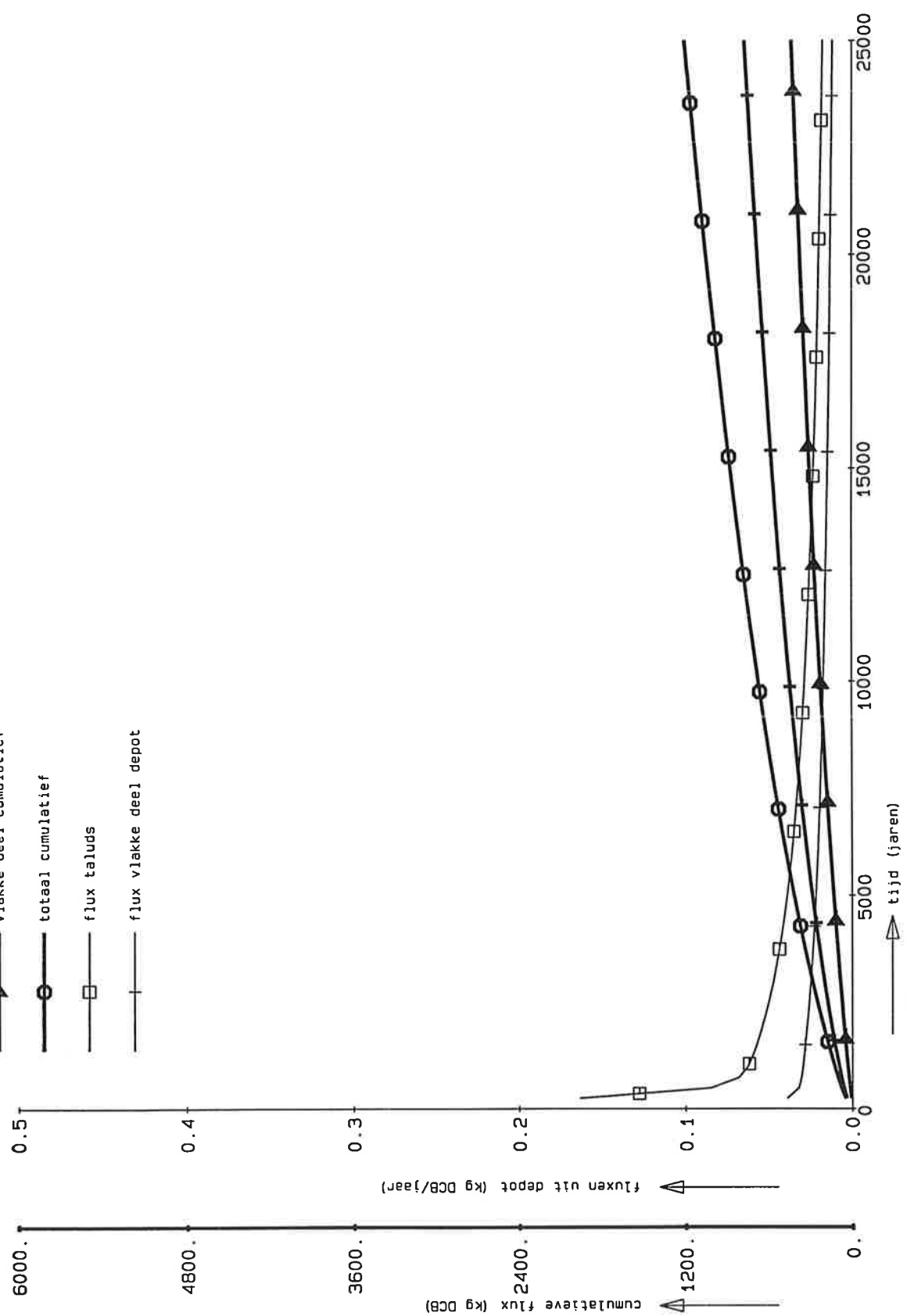
fluxen DCB Variant 3	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig. 3.31a

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



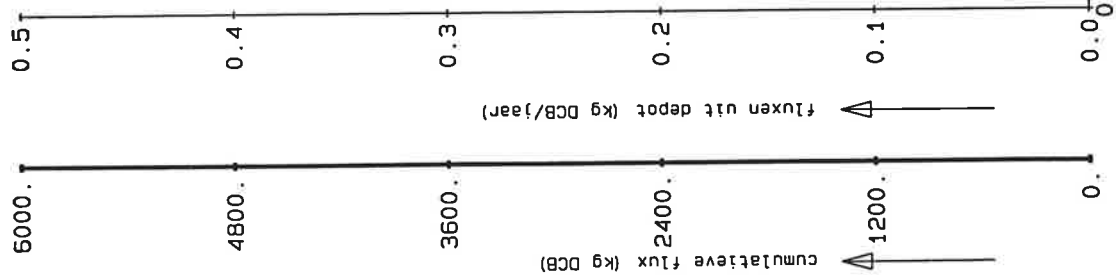
fluxen DCB variant 3B	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.31b

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



fluxen DCB variant 3C	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.31c

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



↑ tijd (jaren)

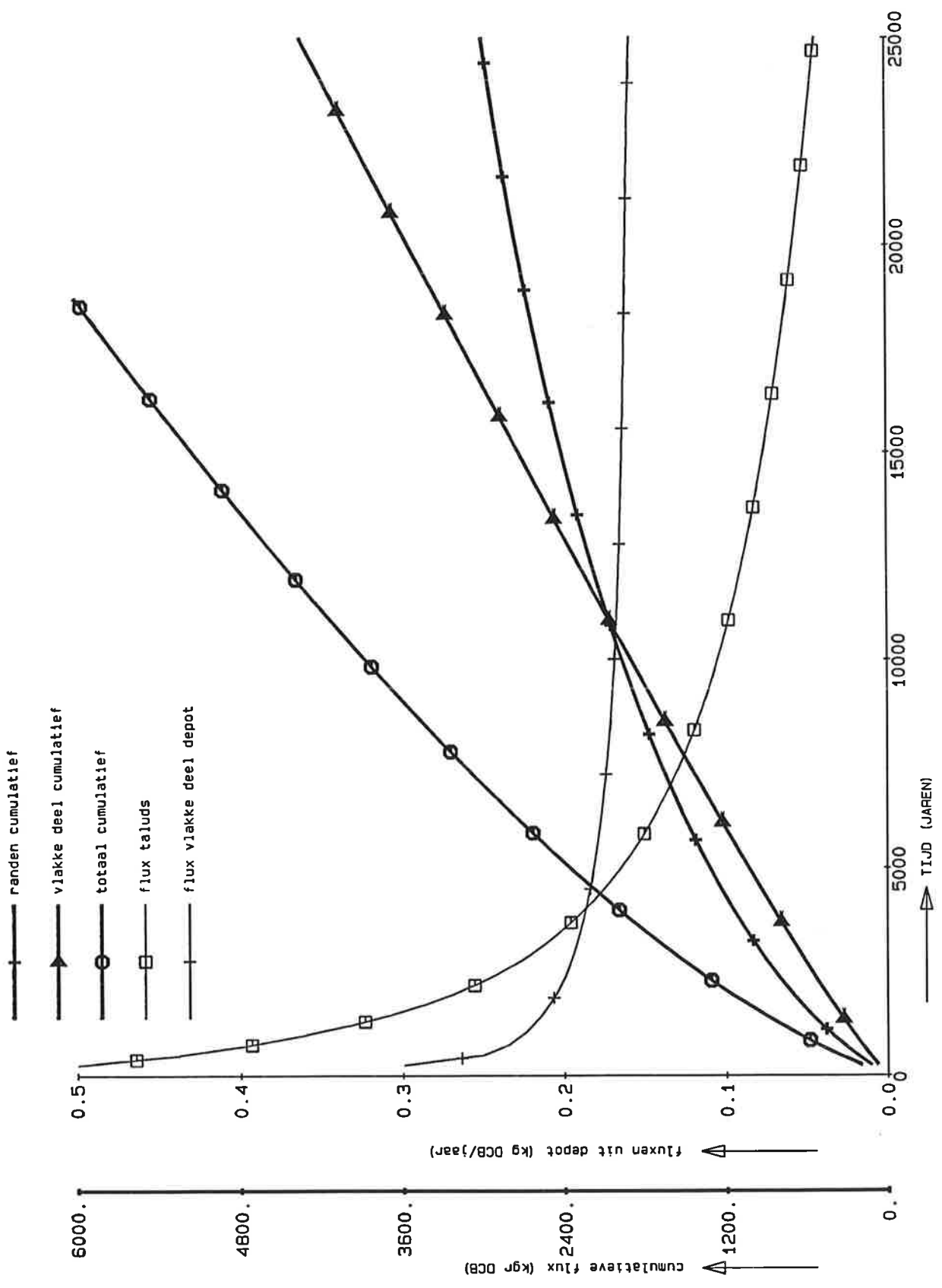
fluxen DCB

variant 3D

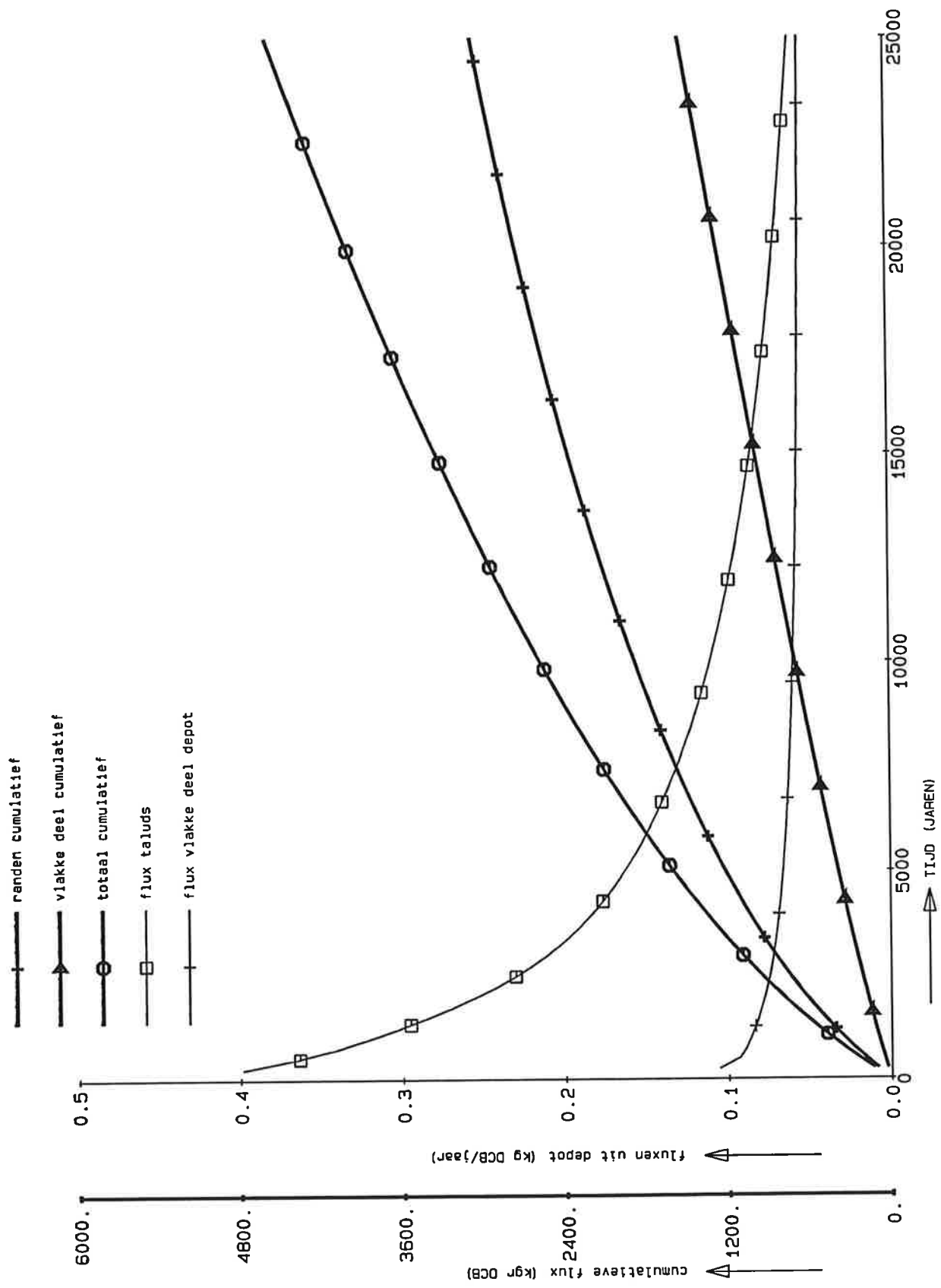
STYXZ

T1063

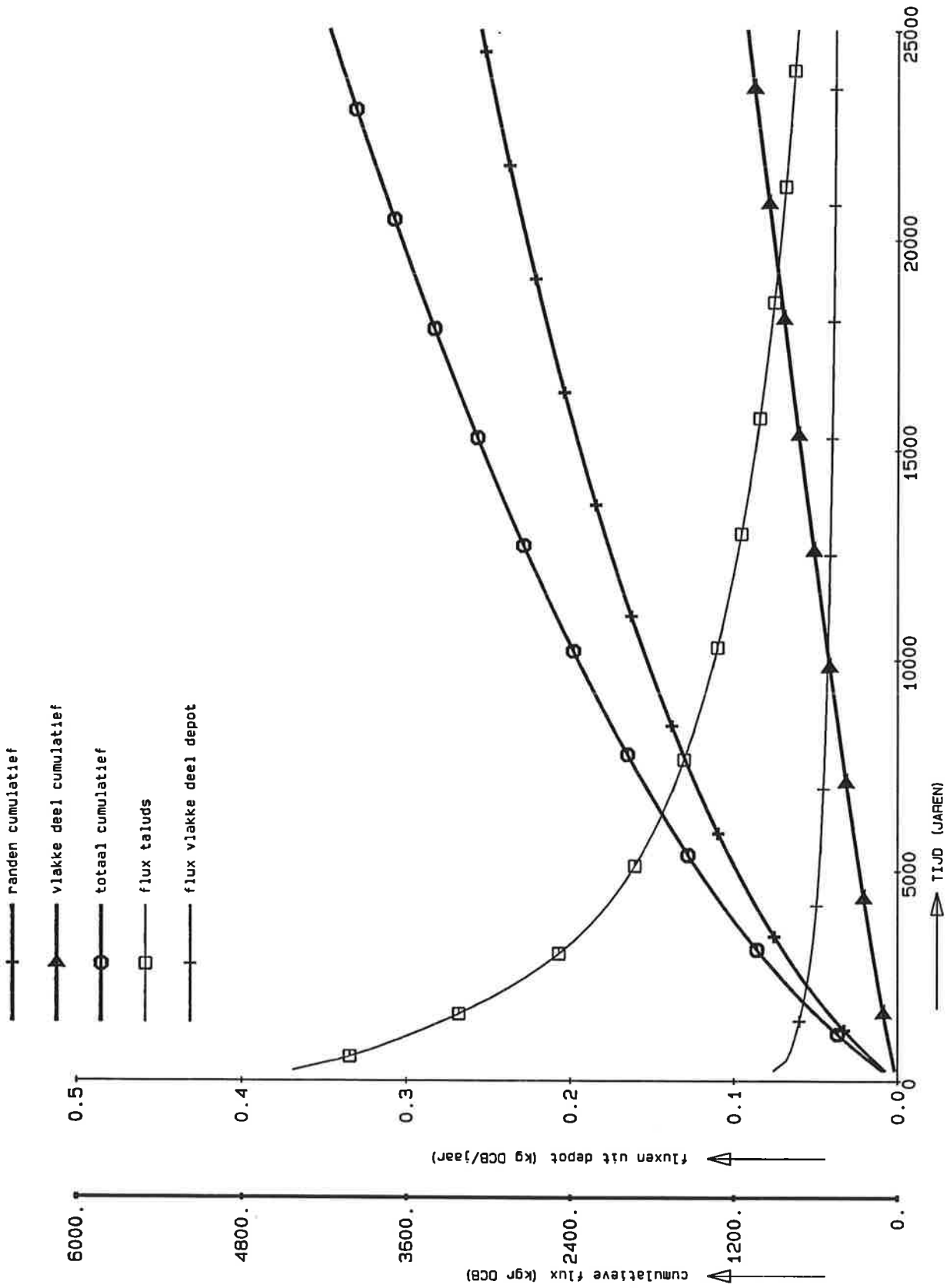
Ketelmeer



fluxen DCB Variant 4	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		mrt 18, 1993 Fig. 3.32

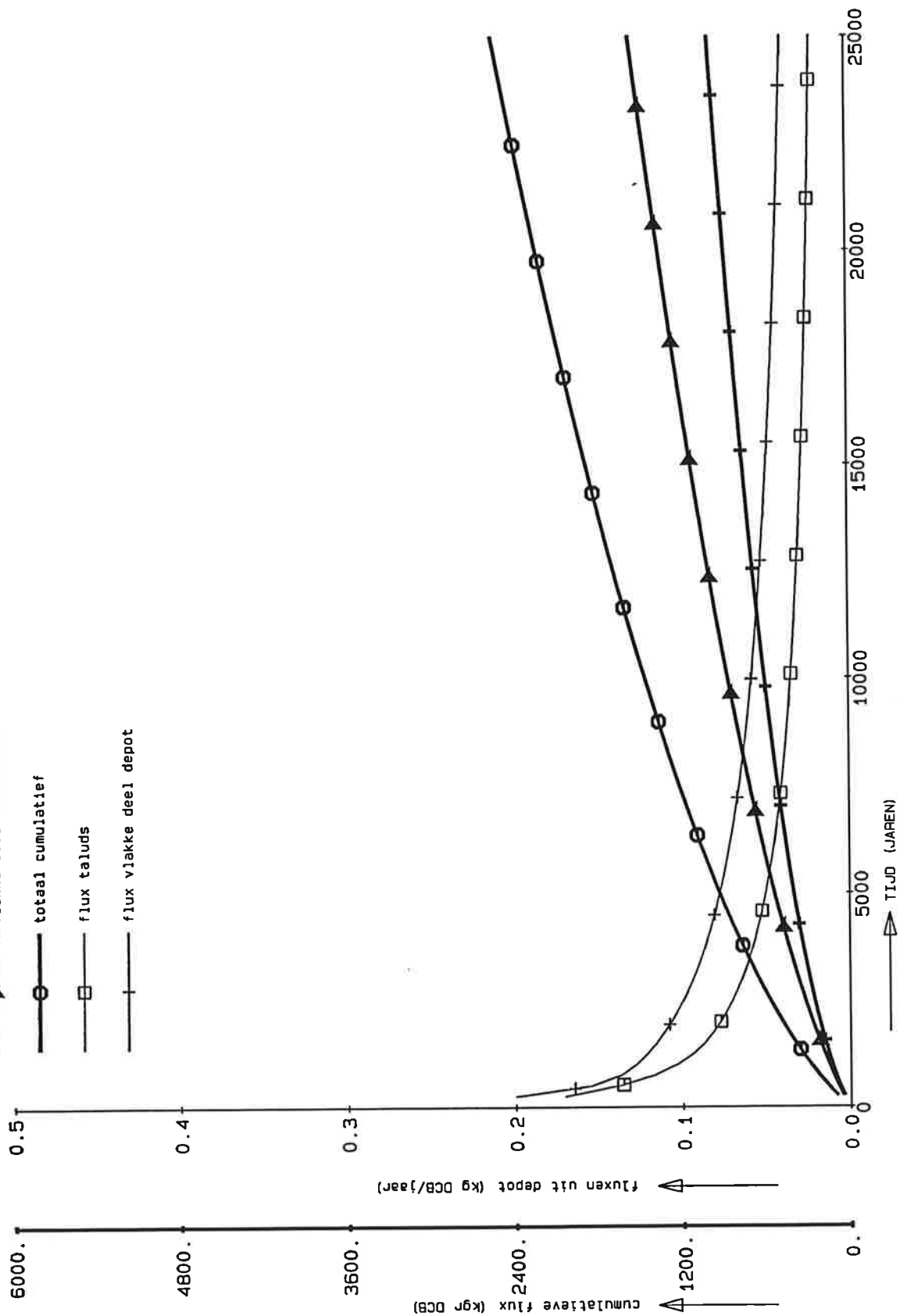


fluxen DCB Variant 5	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.33

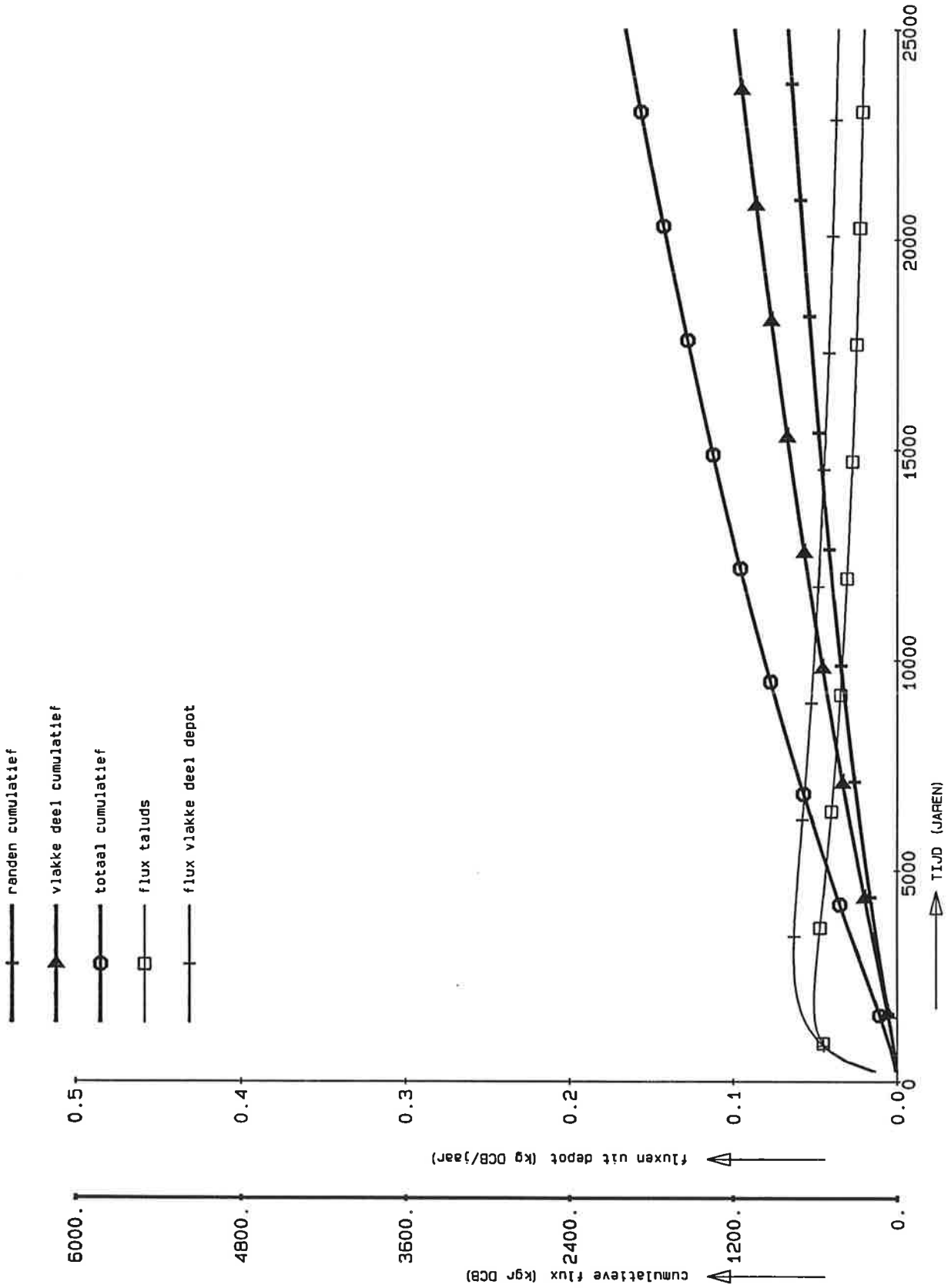


fluxen DCB Variant 6	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.34

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot

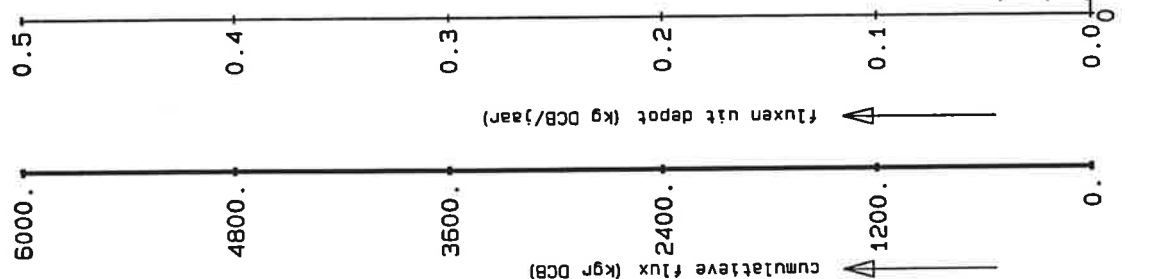


fluxen DCB Variant 7	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.35

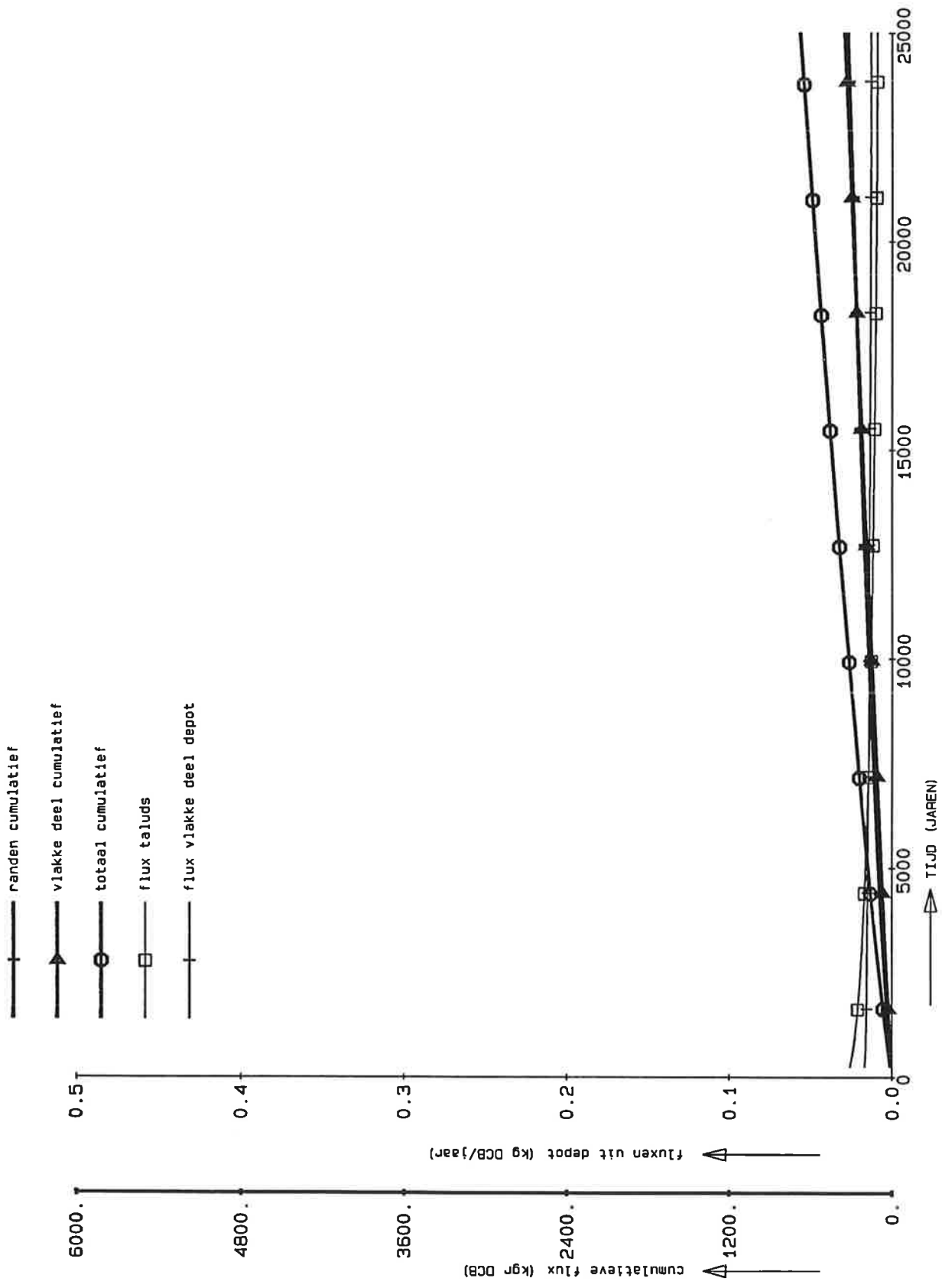


fluxen DCB Variant 9	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.36

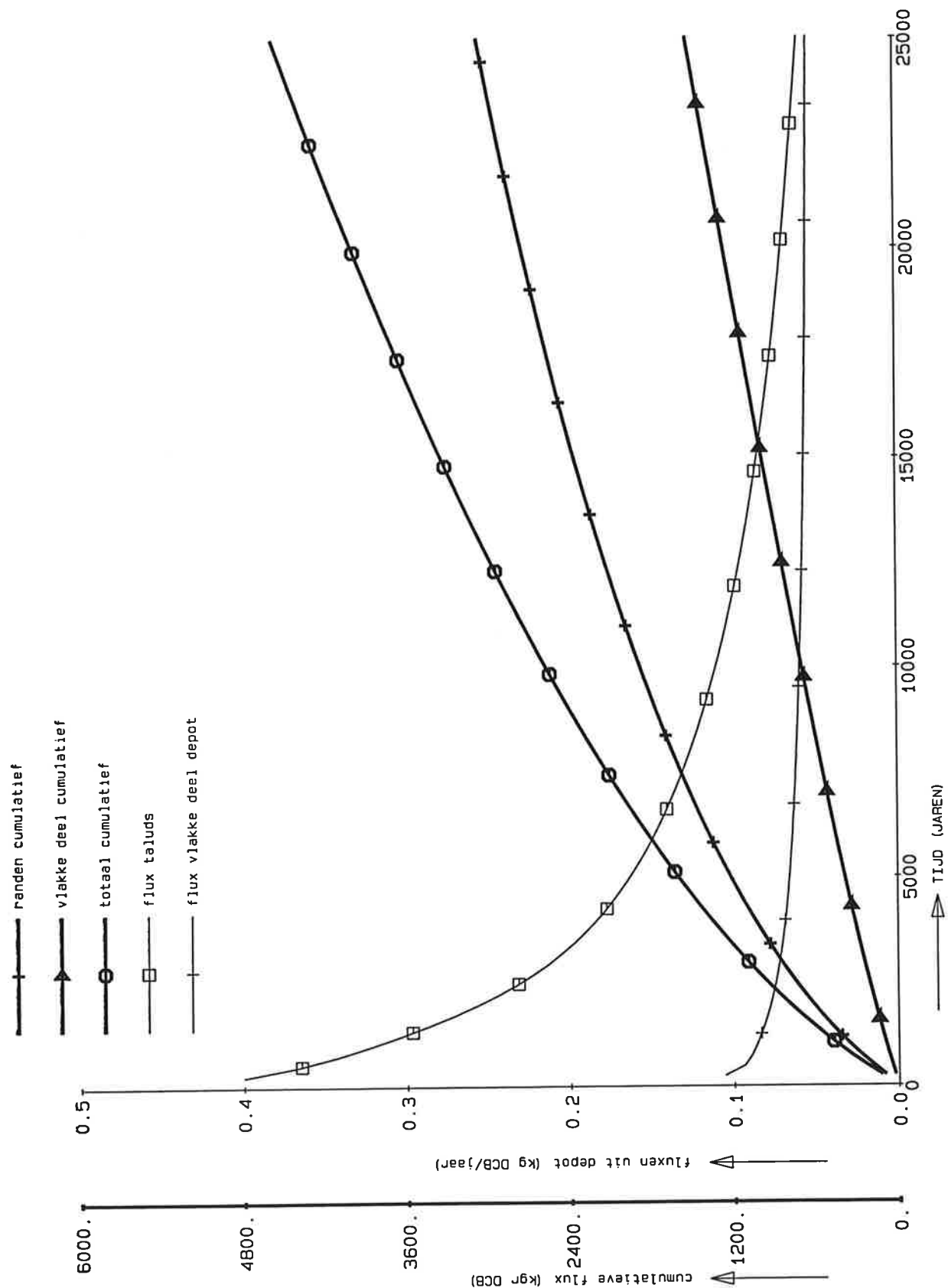
- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



fluxen DCB Variant 10	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.37



fluxen DCB Variant 11	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.38



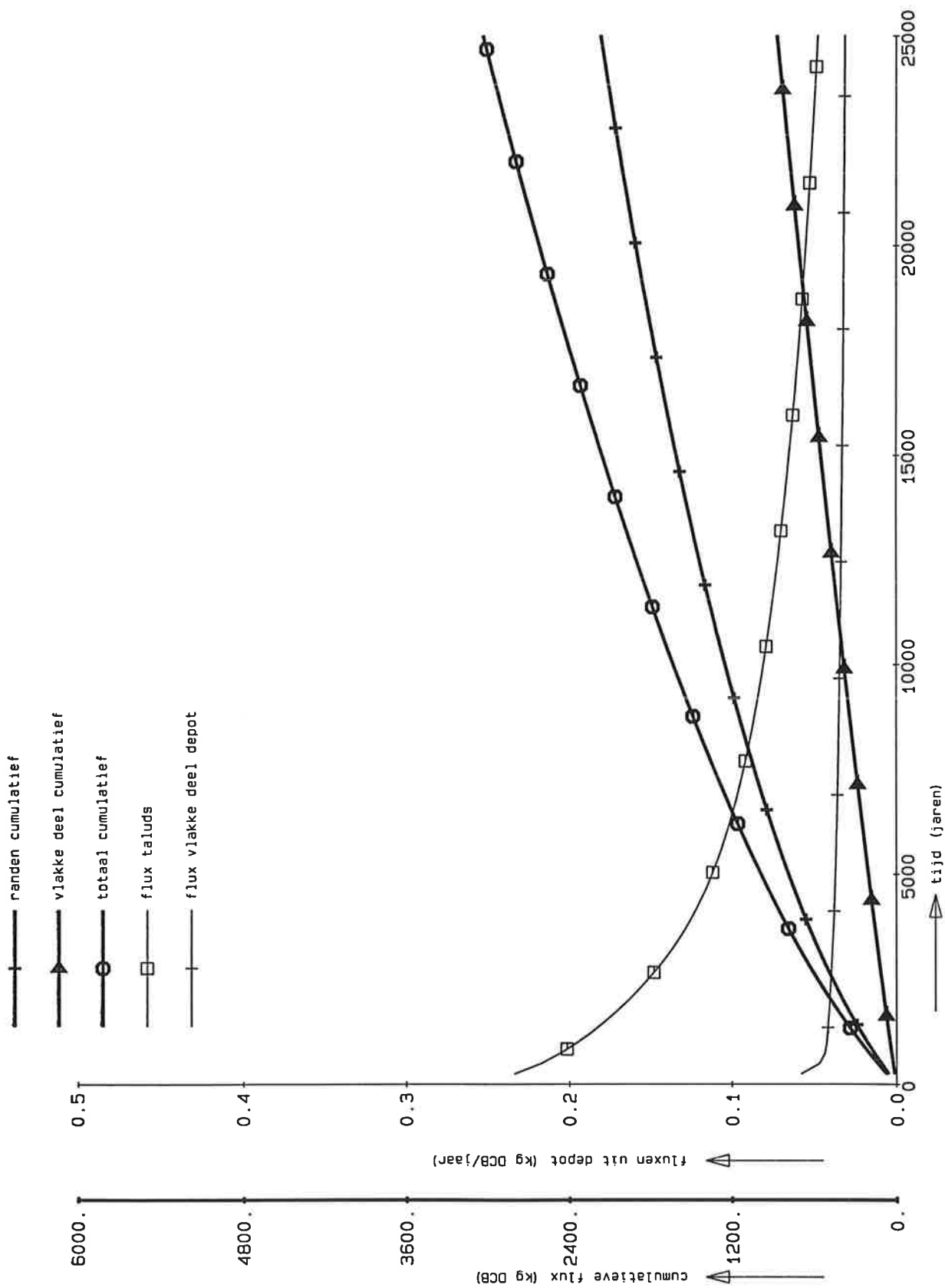
fluxen DCB

STYXZ

T1063

Variant 12

Ketelmeer



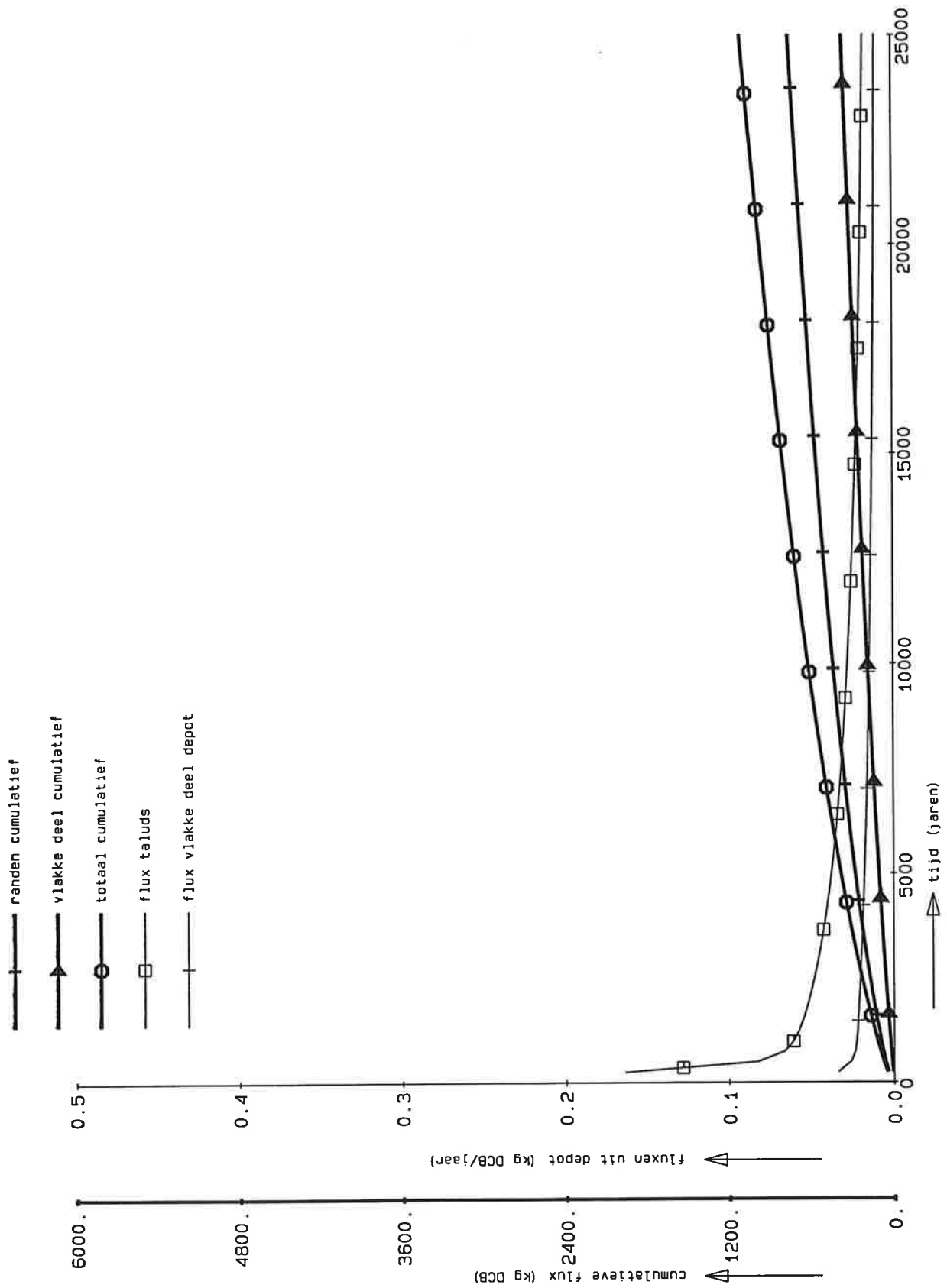
fluxen DCB

variant 13B

STYXZ

T1063

Ketelmeer



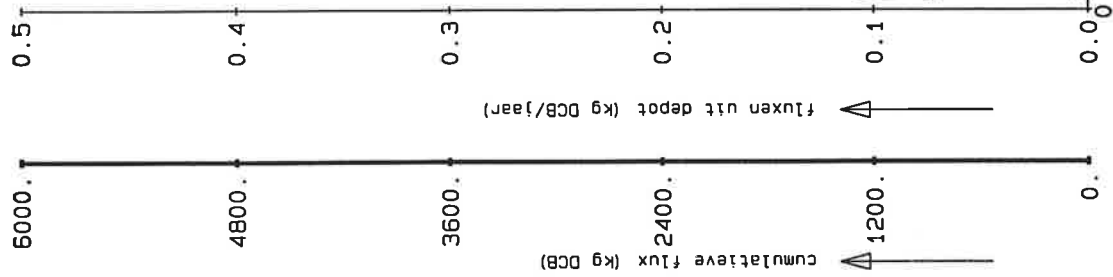
fluxen DCB
variant 13C

STYXZ

T1063

Ketelmeer

- +— randen cumulatief
- ▲— vlakke deel cumulatief
- totaal cumulatief
- flux taluds
- +— flux vlakke deel depot



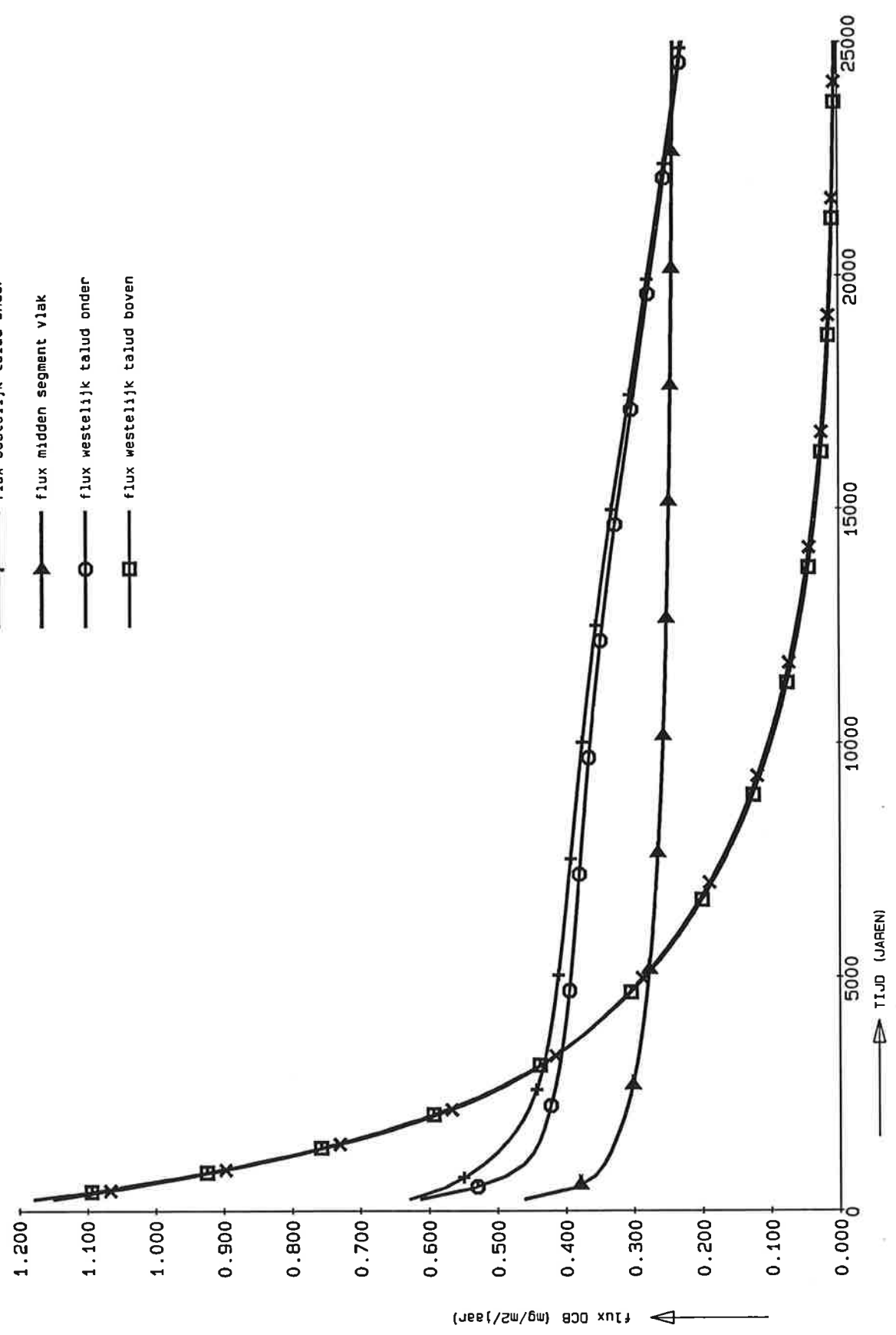
fluxen DCB
variant 13D

STYXZ

T1063

Ketelmeer

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB

STYXZ

T1063

VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 1

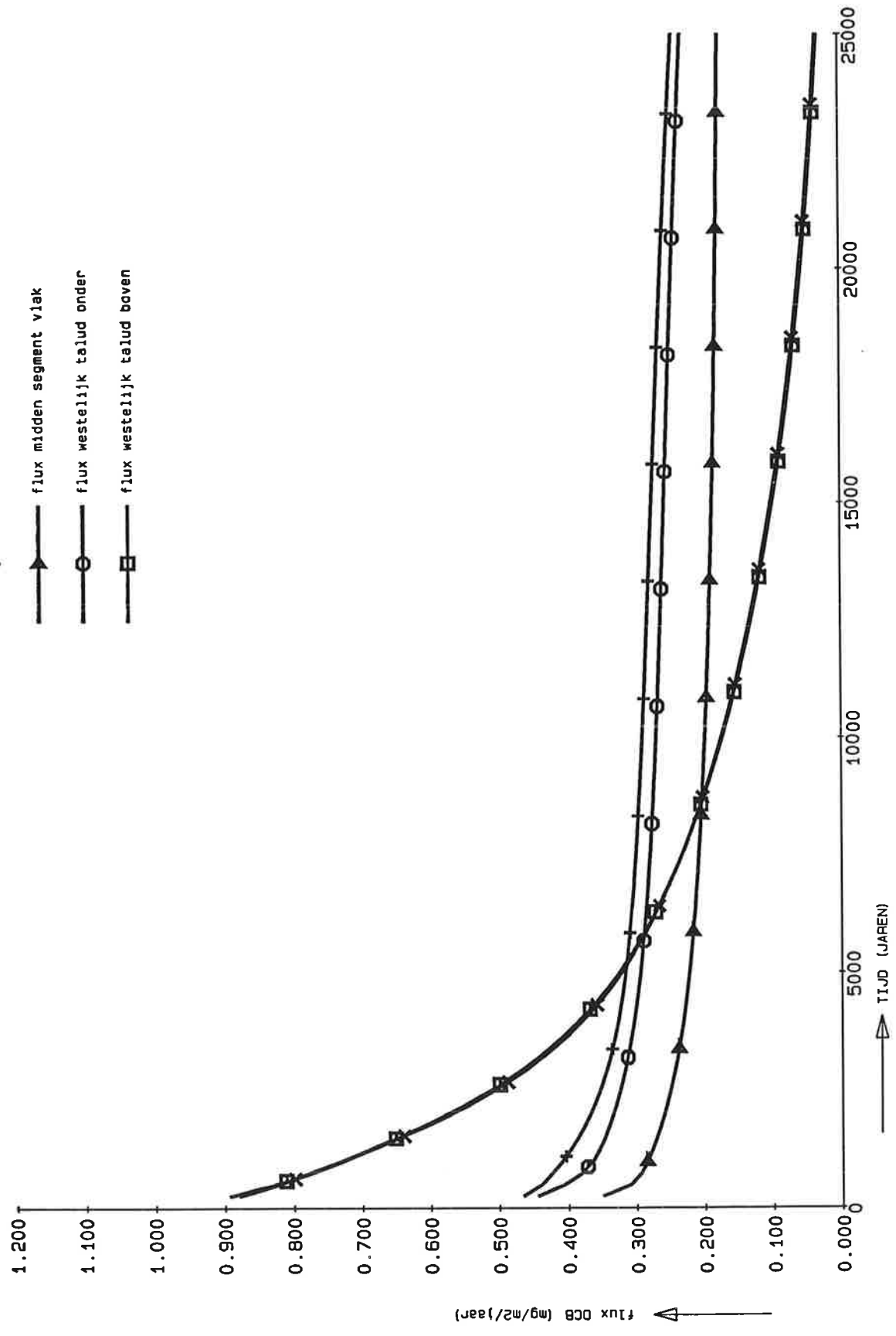
Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

mrt 18, 1993

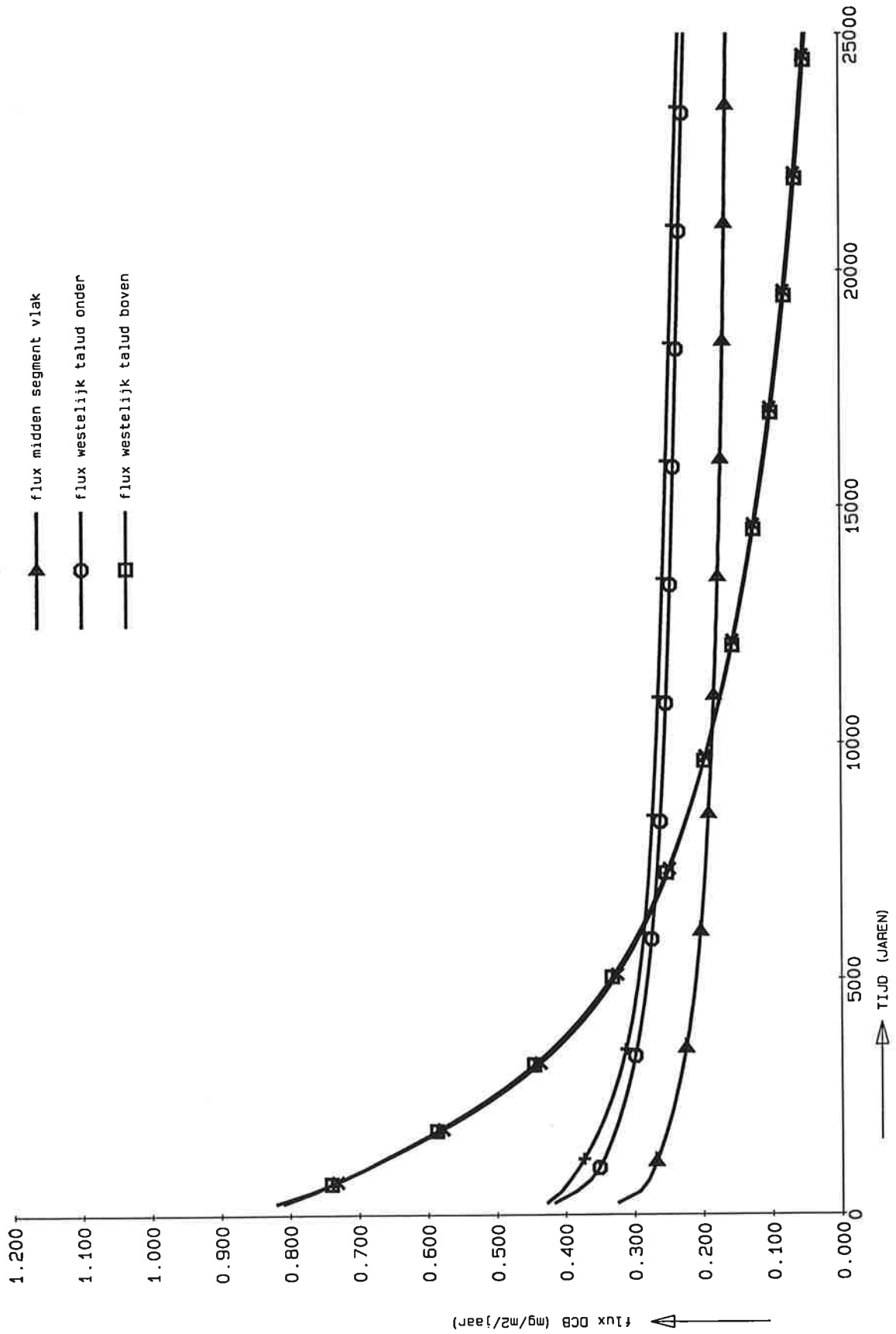
Fig. 3.40

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 2	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.41

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB

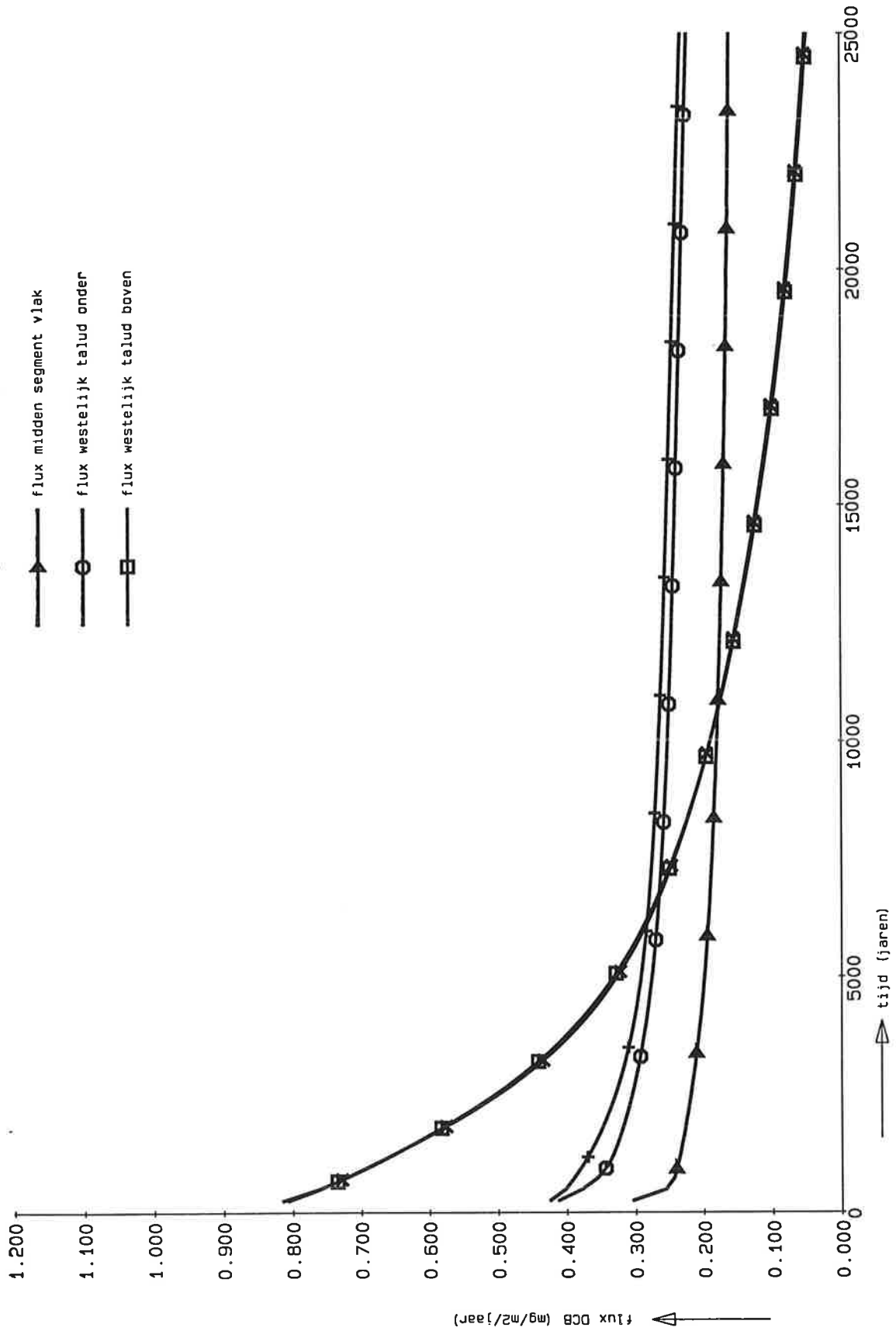
STYXZ

T1063

VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 3

Ketelmeer

- x — flux oostelijk talud boven
- + — flux oostelijk talud onder
- ▲ — flux midden segment vlak
- ○ — flux westelijk talud onder
- □ — flux westelijk talud boven



fluxen DCB

STYXZ

T1063

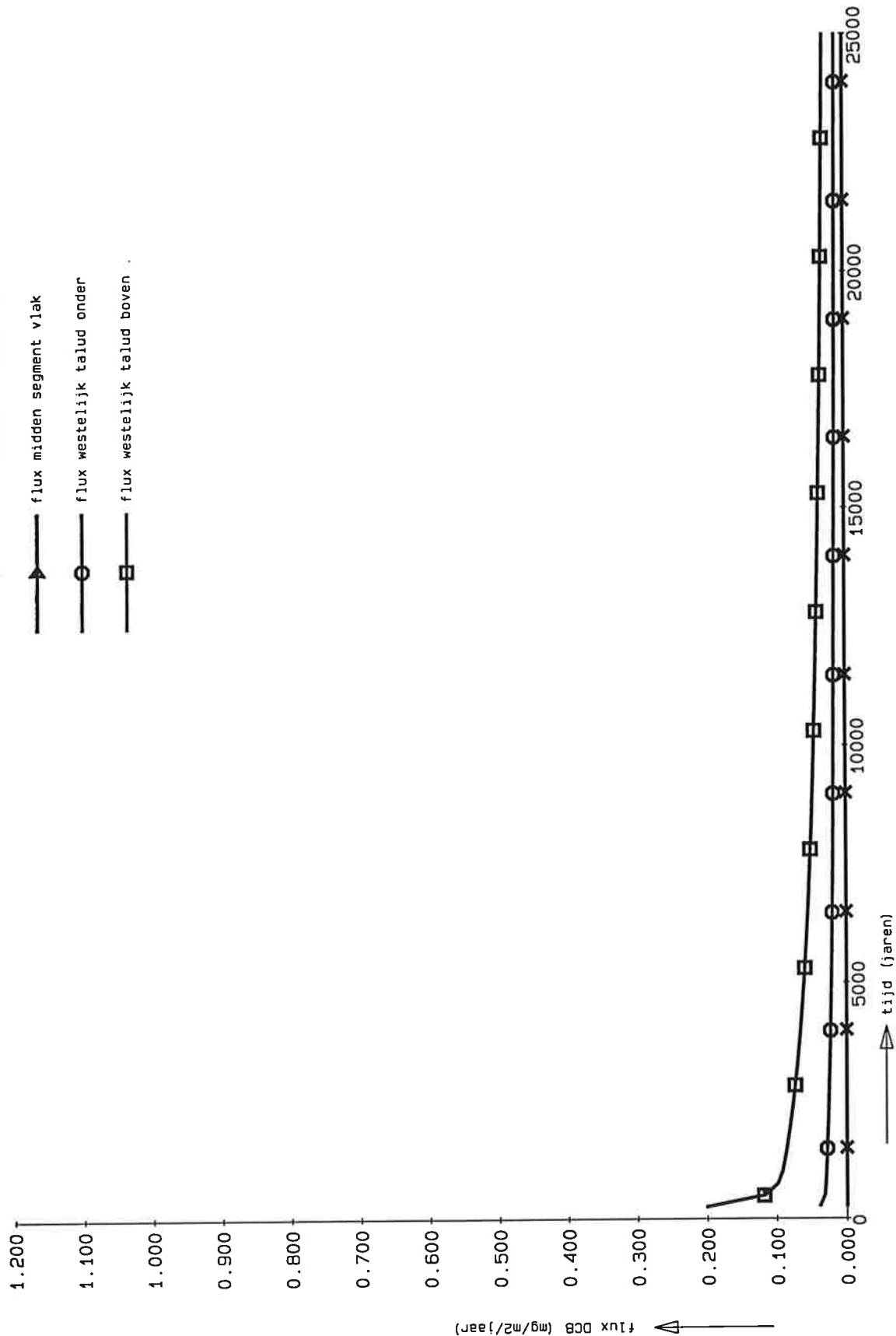
VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 3B

Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

Fig 3.42b

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB

STYXZ

T1063

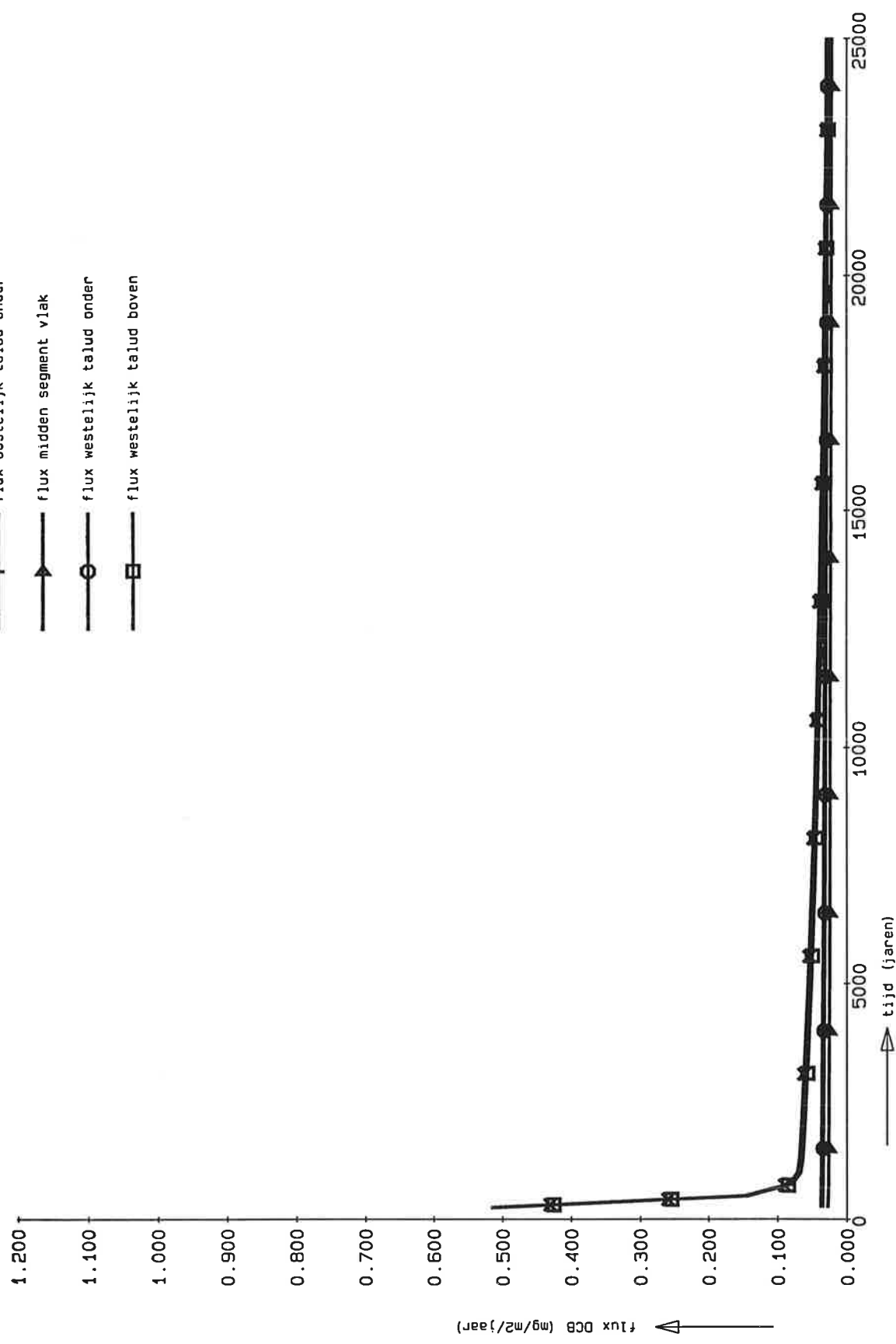
VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 3C

Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

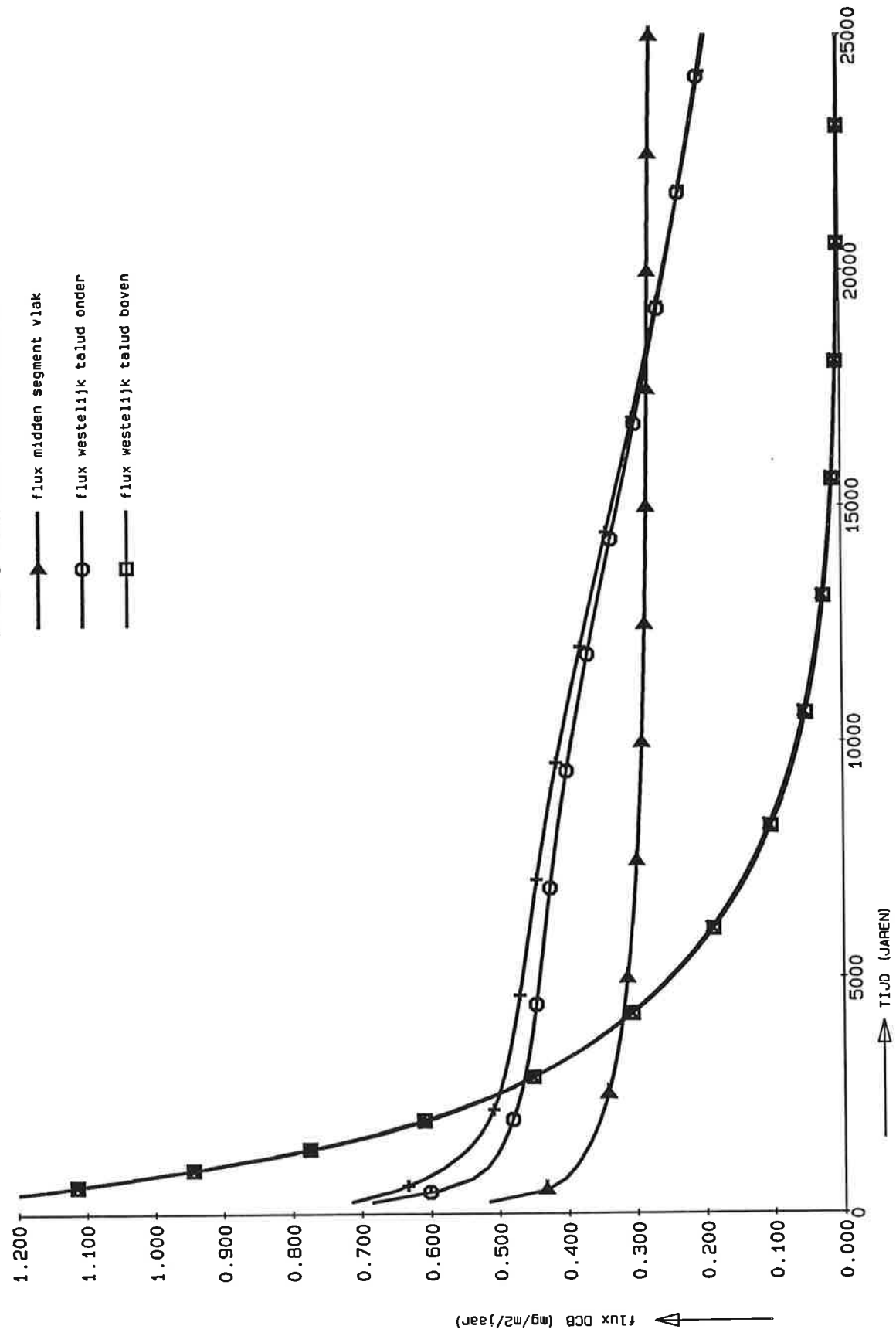
Fig 3.42c

- x — flux oostelijk talud boven
- + — flux oostelijk talud onder
- ▲ — flux midden segment vlak
- ○ — flux westelijk talud onder
- □ — flux westelijk talud boven



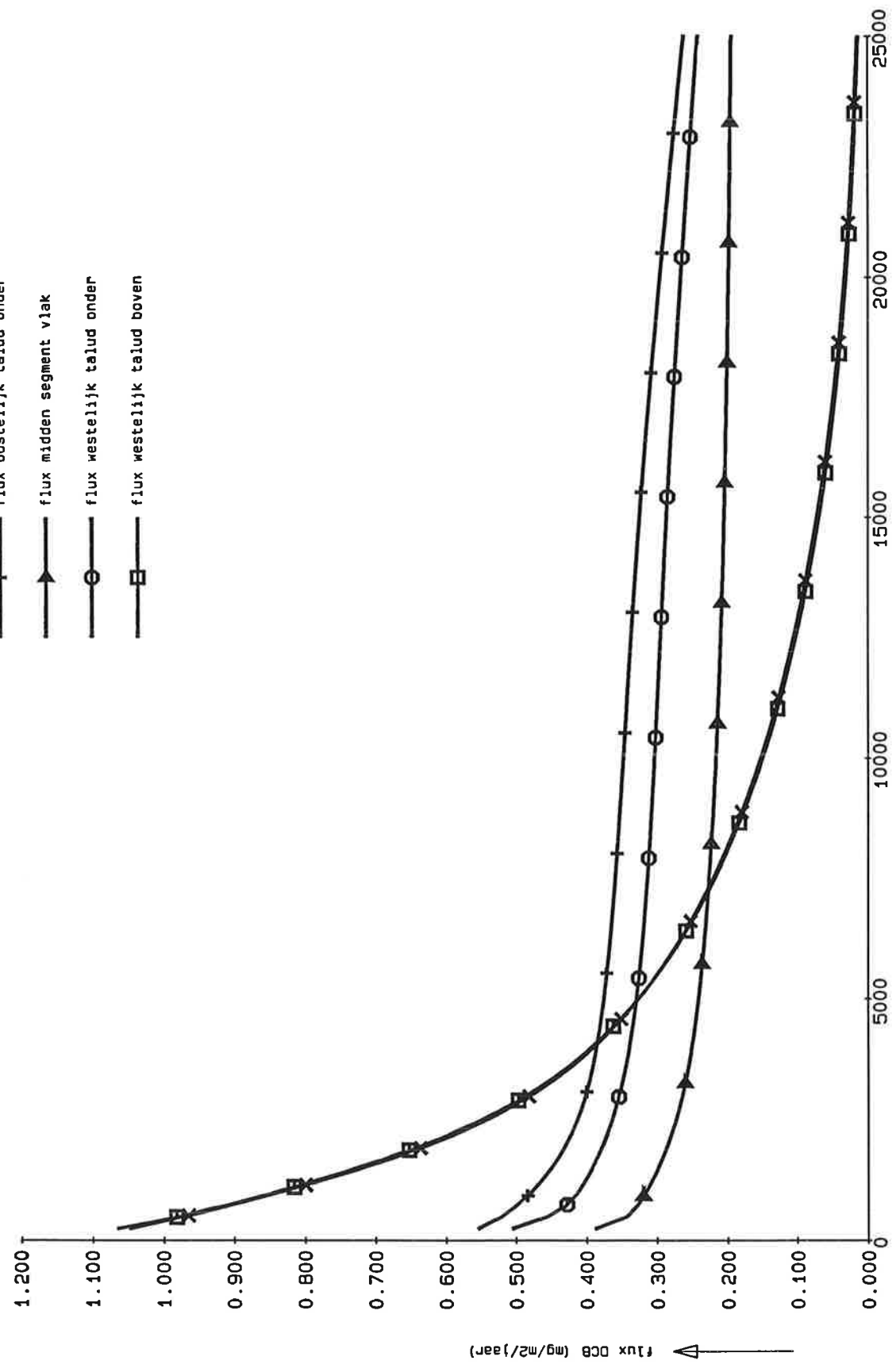
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 3D	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.42d

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



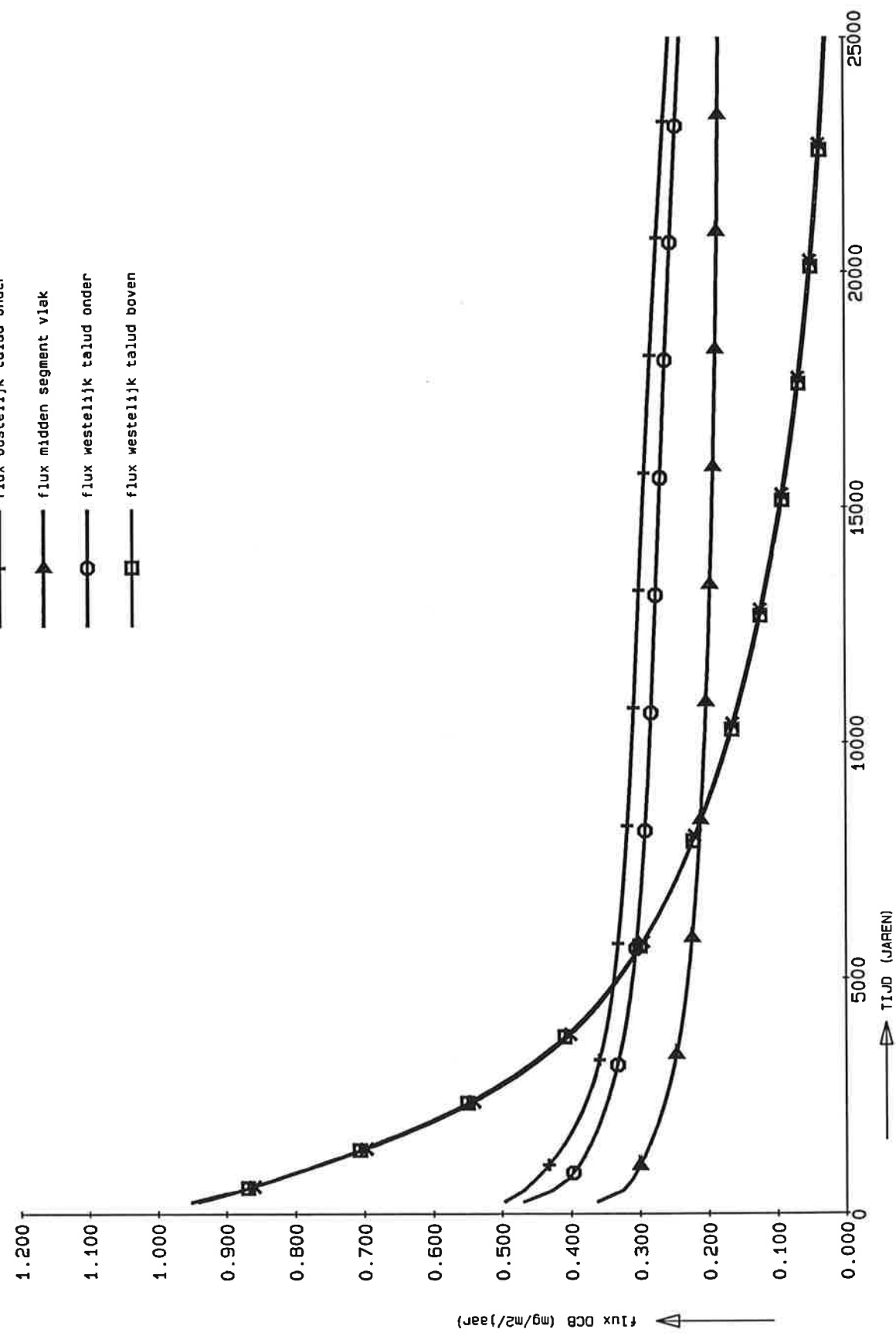
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 4	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.43

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



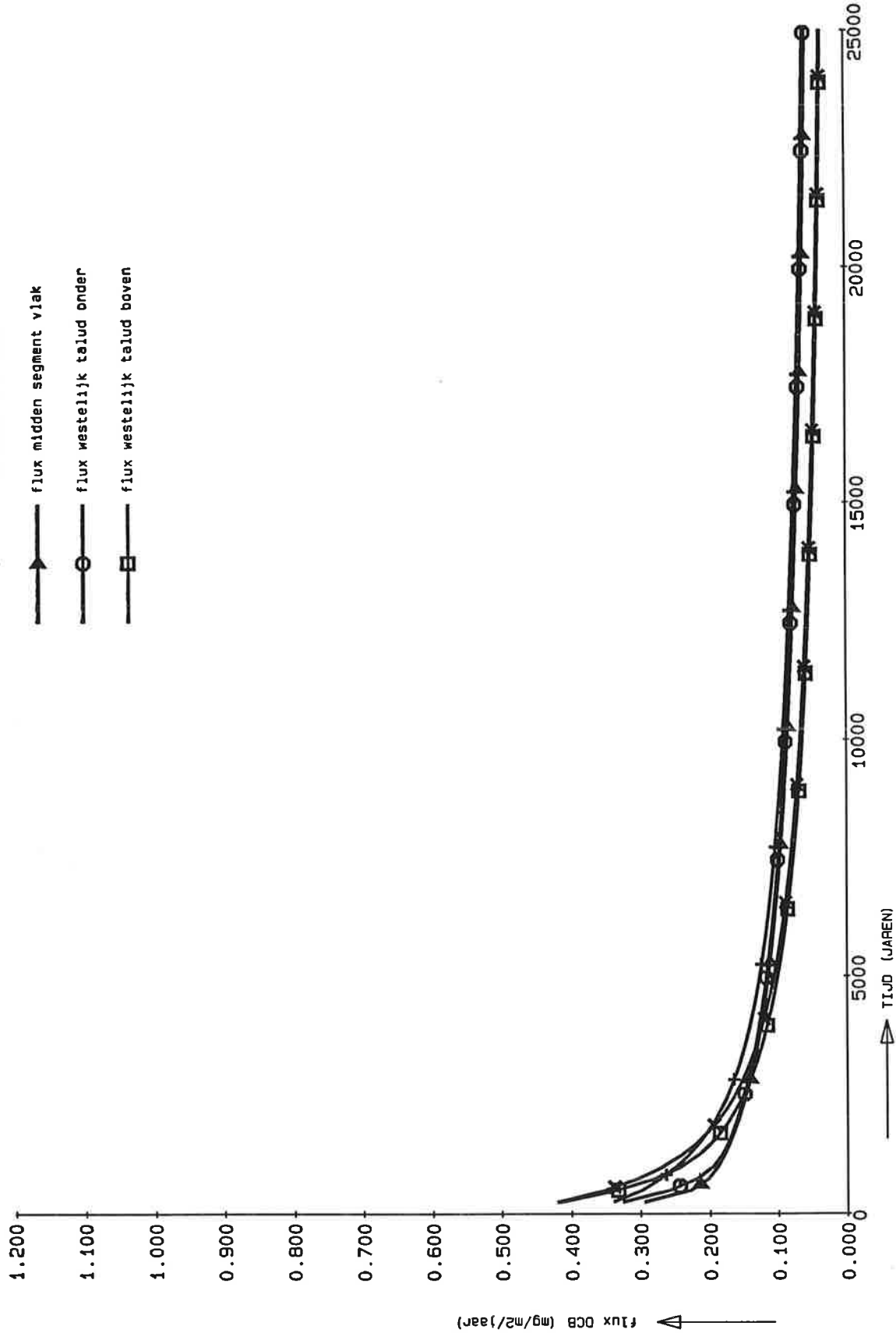
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 5	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.44

- x — flux oostelijk talud boven
- + — flux oostelijk talud onder
- ▲ — flux midden segment vlak
- ○ — flux westelijk talud onder
- □ — flux westelijk talud boven



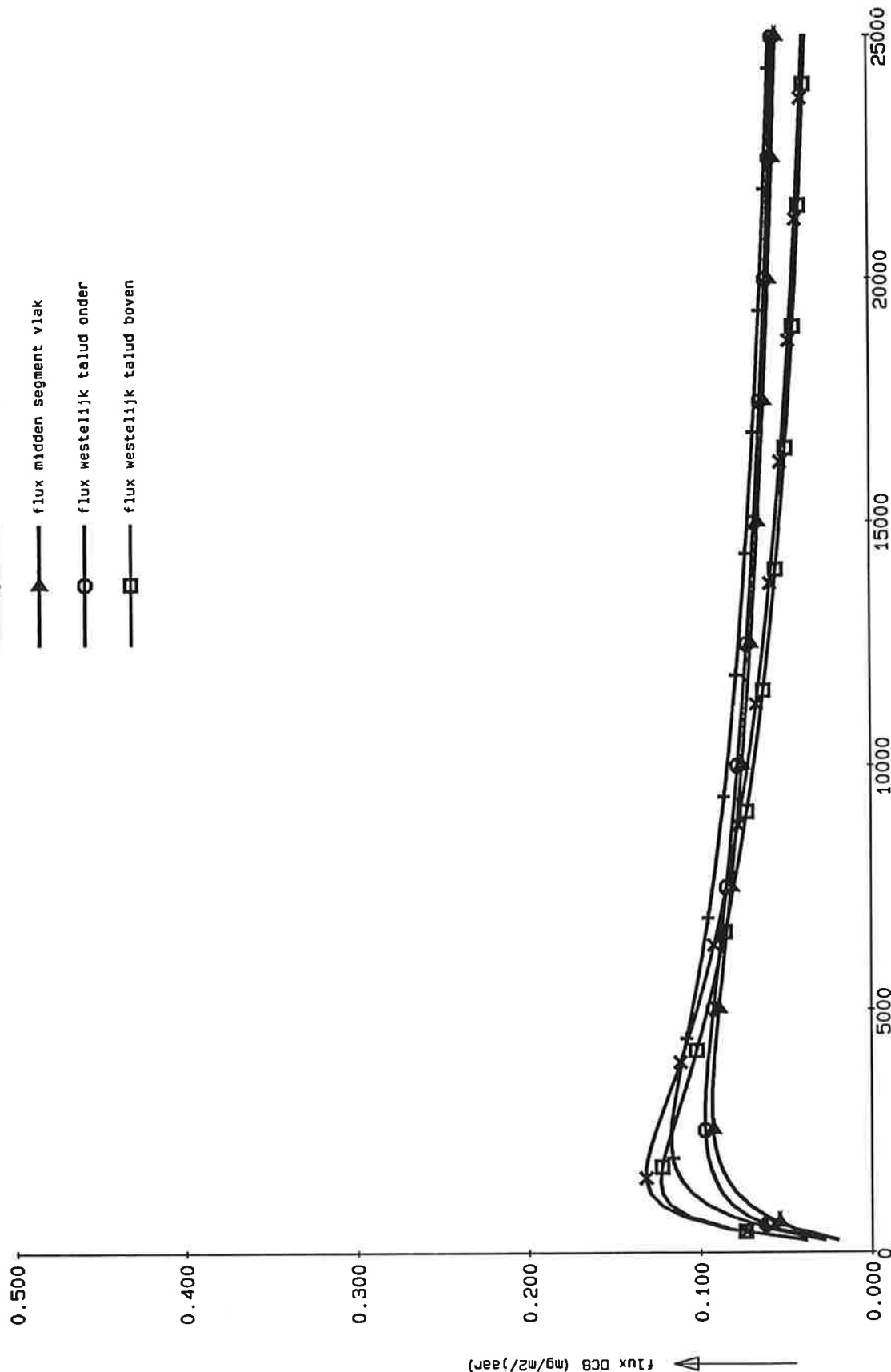
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 6	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.45

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 7	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.46

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB

STYXZ

T1063

VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 9

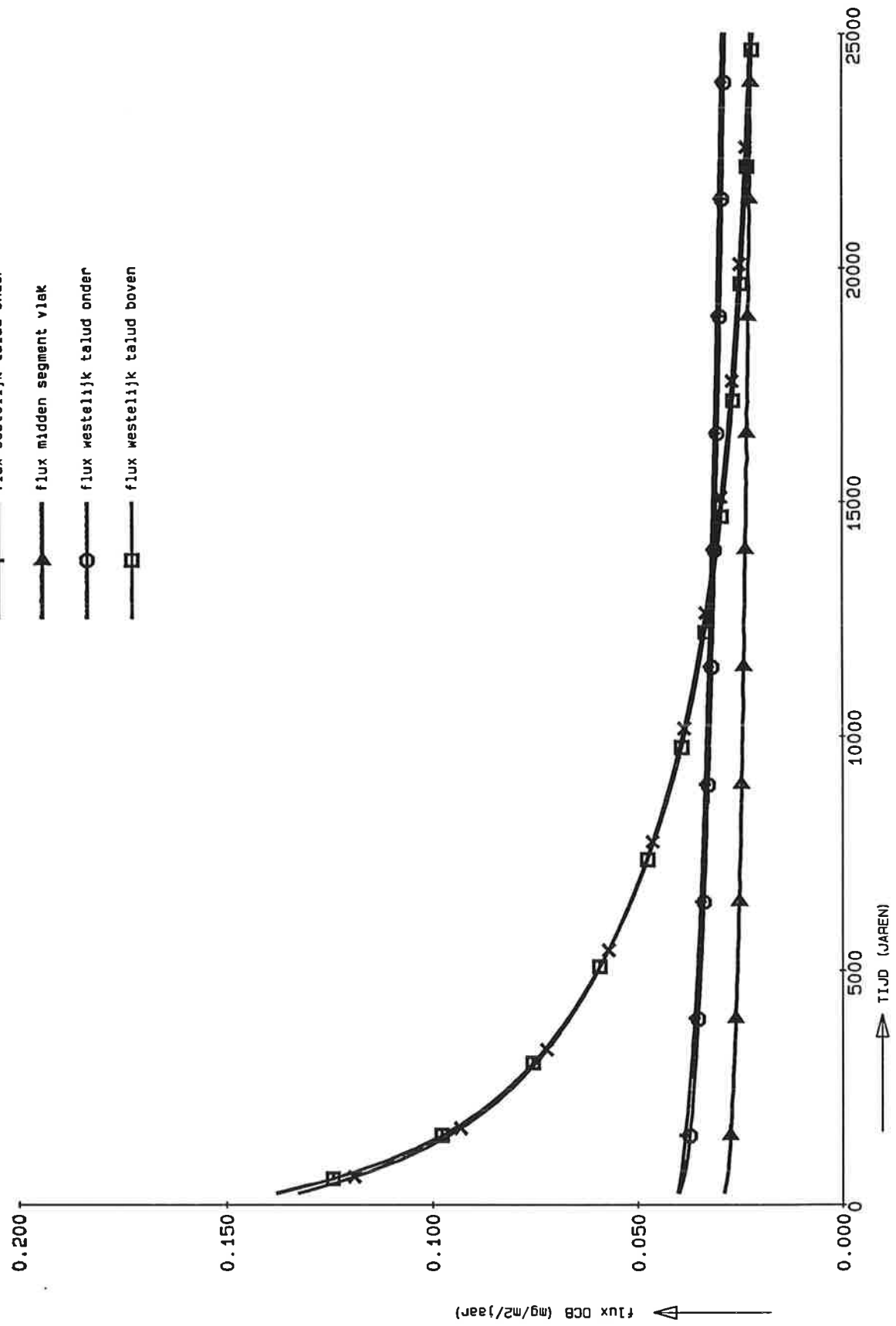
Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

mrt 18, 1993

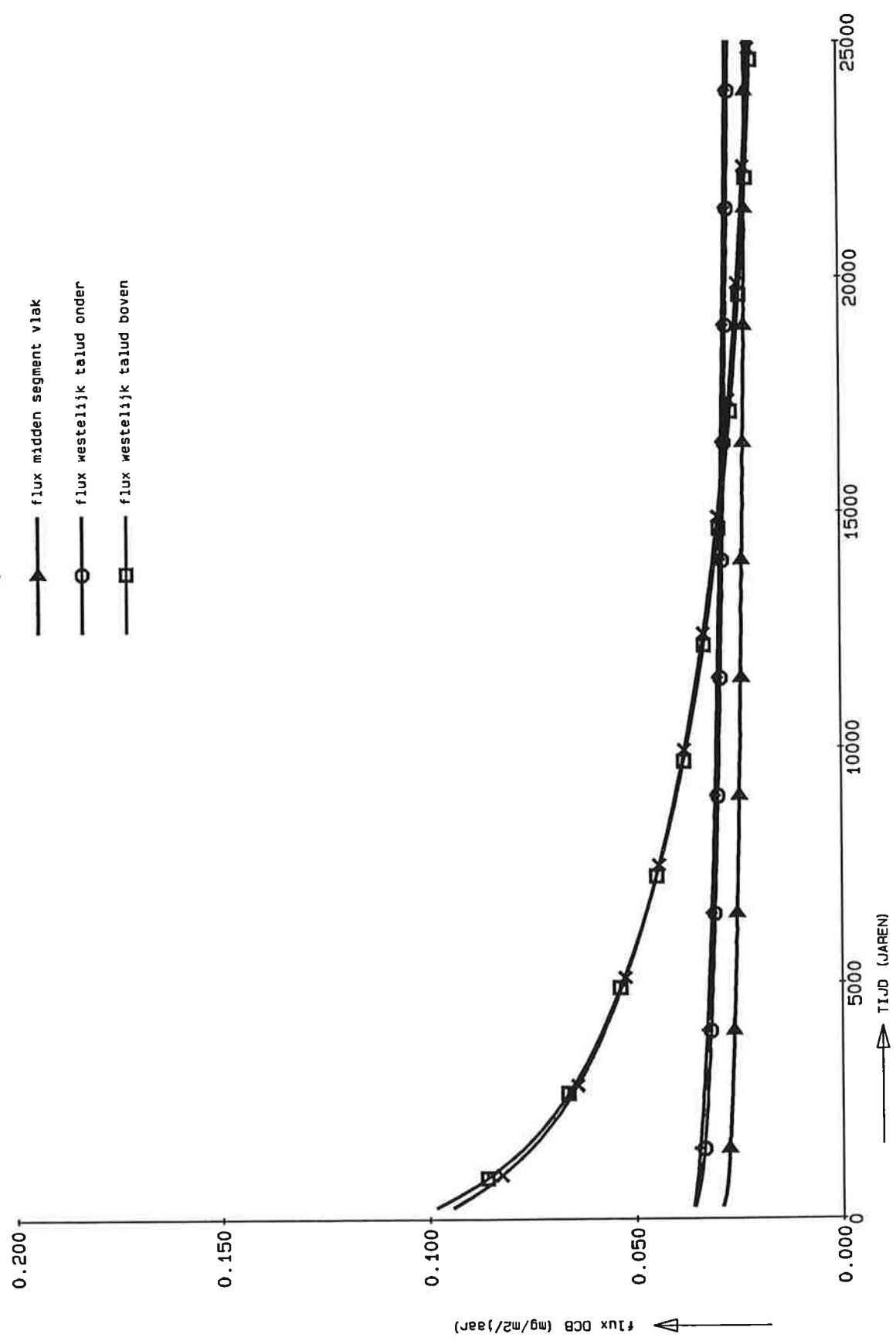
Fig. 3.47

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



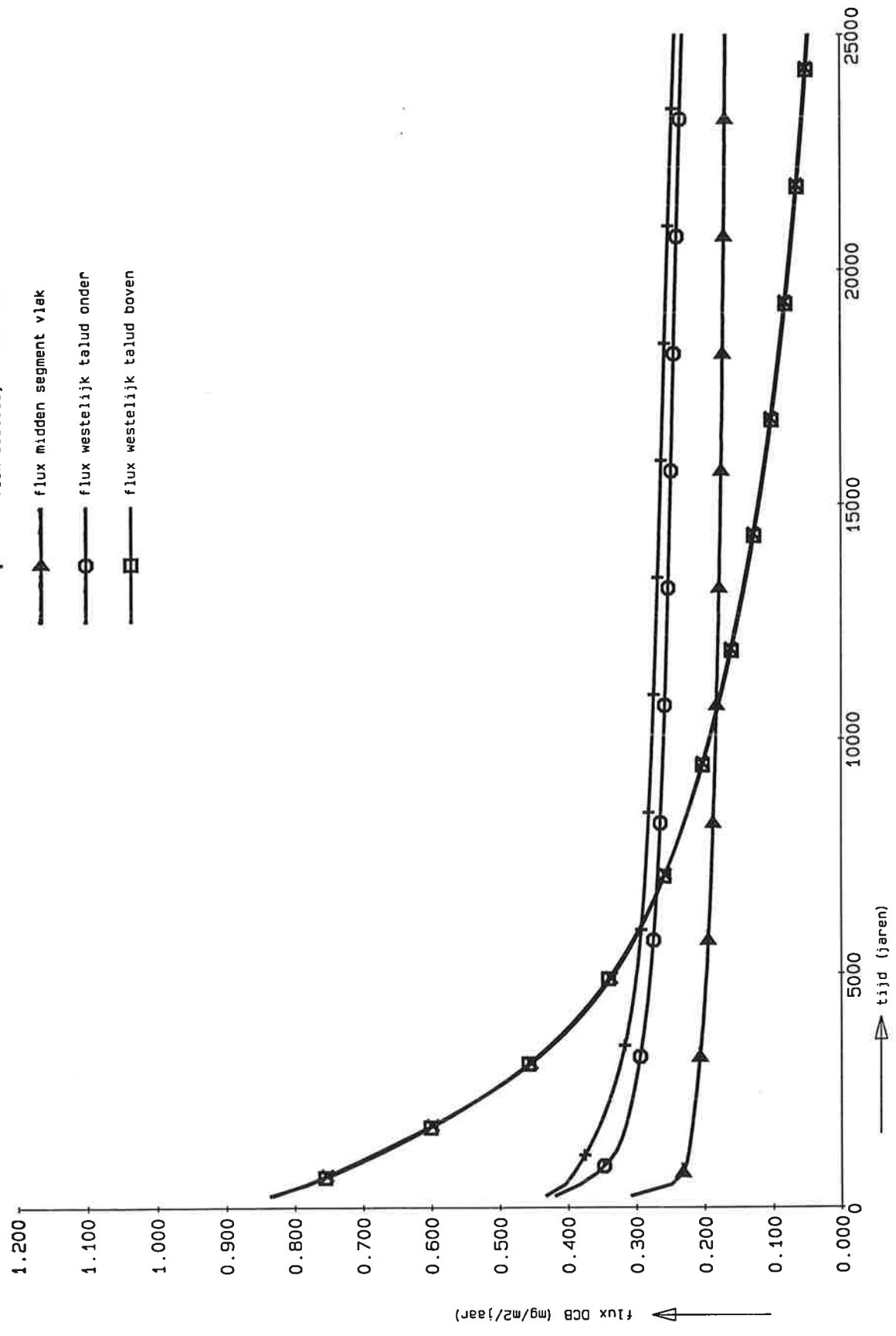
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 10	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.48

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- ⊖— flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



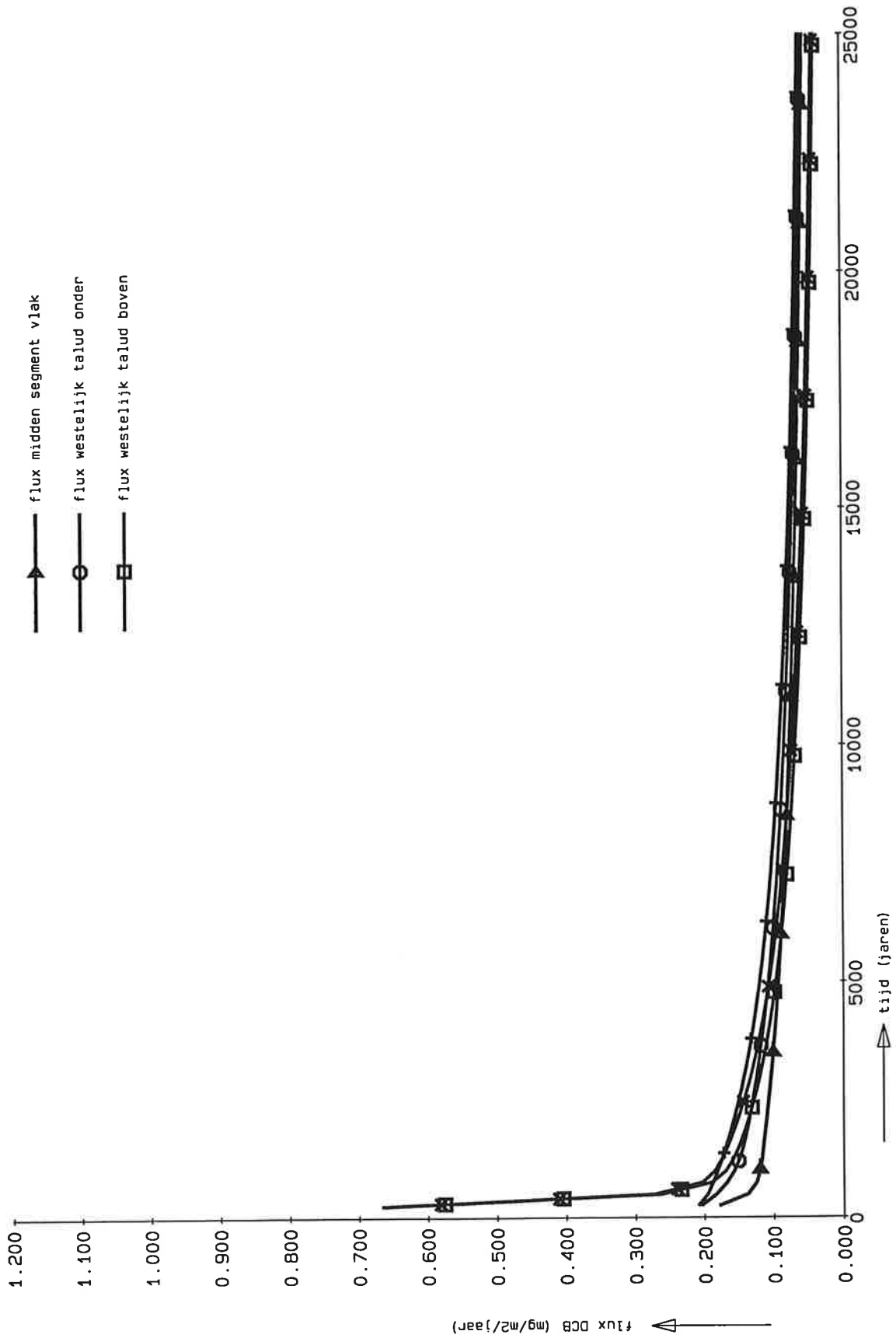
fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 11	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS	mrt 18, 1993	Fig. 3.49

- x— flux oostelijk talud boven
- +— flux oostelijk talud onder
- ▲— flux midden segment vlak
- flux westelijk talud onder
- flux westelijk talud boven



fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 13B	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.50

- x — flux oostelijk talud boven
- + — flux oostelijk talud onder
- ▲ — flux midden segment vlak
- ○ — flux westelijk talud onder
- □ — flux westelijk talud boven



fluxen DCB

STYXZ

T1063

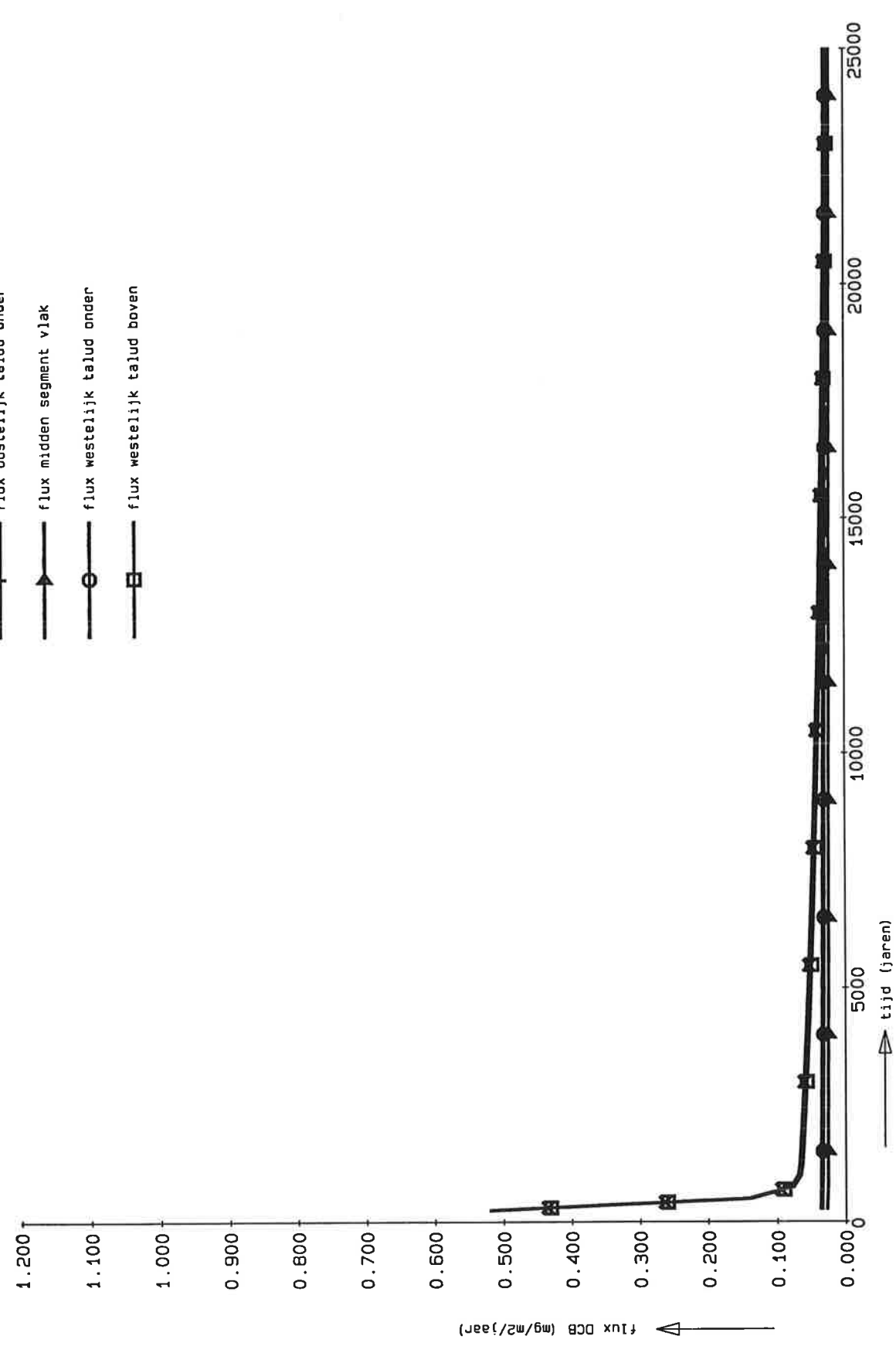
VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 13C

Ketelmeer

DELFT HYDRAULICS

Fig 3.51

- x — flux oostelijk talud boven
- + — flux oostelijk talud onder
- ▲ — flux midden segment vlak
- ○ — flux westelijk talud onder
- □ — flux westelijk talud boven



fluxen DCB VERGELIJKING UITLOGING SEGMENTEN 2D variant 13D	STYXZ	T1063
	Ketelmeer	
DELFT HYDRAULICS		Fig 3.52