AFGEHANDELD

opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren

voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990–2090, fase 3

deelrapport 3.4: initieel sedimenttransportmodel Hollandse kust

september 1989

H0825-34

waterloopkundig laboratorium | WL

voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990–2090, fase 3

deelrapport 3.4: initieel sedimenttransportmodel Hollandse kust

J.A. Roelvink en M.J.F. Stive

waterloopkundig laboratorium | WL

KADER

Dit rapport is een onderdeel van de kustverdedigingsstudie die in 1988 en 1989 heeft plaatsgevonden en heeft geresulteerd in de Diskussienota Kustverdediging. Hierin wordt een aantal alternatieve mogelijkheden ten aanzien van kustverdedigingsbeleid onderzocht en worden deze mogelijkheden met elkaar vergeleken.

De beleidsanalytische studie vereist kennis over een groot aantal, soms nogal uiteenlopende aspekten van kustverdediging(sbeleid): kustgedrag, veiligheid van de duinenkust, voorspelling van kustgedrag, gebruiksfunkties in het duingebied en hoe deze te beoordelen, welke maatregelen zijn zinvol, etc. Al deze onderwerpen zijn in twintig onderbouwende studies aan de orde gekomen en in rapporten vastgelegd. Omtrent de technische onderbouwing van de voorspelling van het kustgedrag is gerapporteerd in het Technische Rapport 5. Dit rapport beschrijft in beknopte vorm de voornaamste resultaten uit de verschillende fasen van de kustvoorspellingsstudie. Deze fasering is nodig geweest om al in een vroeg stadium voorlopige resultaten te kunnen geven voor een eerste beleidsanalytische uitwerking, zodanig dat de eerste fase reeds resulteerde in een voorspelling van de ontwikkeling van de kustlijn met het gewenste oplossend vermogen in tijd en ruimte. In twee daaropvolgende fasen zijn de voorspellingen verbeterd en waar mogelijk onderbouwd. Elke fase op zich is beschreven middels rapporten, die beschikbaar zijn als onderbouwende Deelrapporten. Het onderhavige rapport maakt deel uit van deze serie. Een overzicht is als volgt:

Fase 1 Deelrapport 1 : Een eerste benadering van de voorspelling van de kustverplaatsing 1990-2090; beschrijving methode en resultaten Fase 1

Fase 2 Deelrapport 2.1: Prognose kustontwikkeling Zeeland 1990-2090; beschrijving methode en resultaten Fase 2

Fase 2 Deelrapport 2.2: Prognose ligging kustlijn Voorne en Goeree 1990-2090; beschrijving methode en resultaten Fase 2

Fase 2 Deelrapport 2.3: De kust van Noord-Holland en Texel - Ontwikkeling en voorspelling; beschrijving methode en resultaten Fase 2

Fase 2 Deelrapport 2.4: Kustlijnvoorspelling Friese Waddeneilanden 1990-2090; beschrijving methode en resultaten Fase 2

Fase 3 Deelrapport 3.1: Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090 Fase 3; dynamisch model van het Nederlandse kustsysteem

Fase 3 Deelrapport 3.2: Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090 Fase 3; twee-lijn model van de Hollandse kust

Fase 3 Deelrapport 3.3: Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090 Fase 3; getijstromingsmodel voor de Hollandse kust

Fase 3 Deelrapport 3.4: Voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090 Fase 3; initiëel sedimenttransportmodel voor de Hollandse kust

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN
LIJST VAN FIGUREN

blz.

1. Inleiding..... 1
1.1 Studiekader en opdracht..... 1
1.2 Methode van aanpak..... 2

2. Modelbeschrijving..... 3
2.1 Globaal..... 3
2.2 Transportmodel..... 6
2.3 Lokale golf- en stroomparameters..... 10

3. Resultaten..... 14
3.1 Inleiding..... 14
3.2 Presentatie en kalibratie van raai- en puntresultaten..... 14
3.3 Transporten op de onderwateroever..... 16
3.4 Transporten in de brandingszone..... 18
3.5 Nauwkeurigheids-analyse..... 18

LITERATUUR

TABELLEN

FIGUREN

LIJST VAN TABELLEN

1. Golfrichting en frequentie van voorkomen per windrichtingssector voor drie meetstations
2. Golfklimaat Lichteiland Goeree; 8 richtings-, 10 hoogteklassen
3. Golfklimaat Meetpost Noordwijk; 8 richtings-, 10 hoogteklassen
4. Golfklimaat Eierland; 8 richtings-, 10 hoogteklassen
5. Getijconstanten verticaal getij
6. Transporten raai 14; gevoeligheid voor ruwheidsformulering
7. Transporten raai 40
8. Transporten raai 76; gevoeligheid voor ruwheidsformulering
9. Transporten raai 103; gevoeligheid voor ruwheidsformulering

LIJST VAN FIGUREN

1. Langdurige reststroom beeld nabij Noordwijk (v.d. Giessen, Borst c.s.)
2. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R014, D20
3. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R014, D15
4. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R014, D10
5. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R014, D08
6. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R040, D20
7. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R040, D16
8. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R040, D10
9. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R040, D08
10. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R076, D20
11. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R076, D16
12. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R076, D10
13. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R076, D08
14. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R076, D05
15. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R103, D21
16. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R103, D15
17. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R103, D10
18. Totale snelheden en transportbijdragen per getijfase; R103, D08
19. Netto-transport vektoren, niet gekalibreerd
20. Netto-transport vektoren, gekalibreerd
21. Netto dwarstransporten als funktie van de waterdiepte
22. Netto dwarstransport gradienten naar de waterdiepte
23. Invloed fouten in input; langstransport
24. Invloed fouten in input; dwarstransport
25. Totale procentuele fout; langstransport
26. Totale procentuele fout; dwarstransport

1. Inleiding

1.1 Studiekader en opdracht

In opdracht van de Dienst Getijdewateren is door het Waterloopkundig Laboratorium, de Technische Universiteit Delft en diverse diensten van de Rijkswaterstaat een studie uitgevoerd met betrekking tot de voorspelling van de ontwikkeling van de Nederlandse kust voor de perioden 1990-2000, 1990-2020 en 1990-2090. Deze kustvoorspellingsstudie wordt gerapporteerd in Technisch Rapport 5, dat gebruikt is ter onderbouwing van de Diskussienota Kustverdediging.

Voor de voorspelling van de kustontwikkeling zijn drie fasen onderscheiden. Alle drie fasen zijn gebaseerd op een extrapolatie van de waargenomen ontwikkelingen van het Nederlands kustsysteem. In Fase 1 is dit rechttoe-rechtaan gedaan door extrapolatie van de lineaire trend, gebaseerd op de individuele tijdreeksen van de kustpositie gemiddeld over morfologisch uniforme segmenten. In de volgende fase (Fase 2) zijn de voorspellingen gedetailleerd in ruimte en tijd en gekorrigeerd voor trendveranderingen en (quasi-) periodieke effekten door gebruik te maken van fenomenologische kennis. De definitieve extrapolatie is uiteindelijk mede gebaseerd op en onderbouwd via een uiteenrafeling en kwantificering van de onderliggende fysische processen (Fase 3). Op grond van bestaande fysische proceskennis zijn hiervoor zg. konceptuele modellen voorgesteld waarmee de ontwikkeling van een gesloten kust zoals die van Holland en de ontwikkeling van estuaria als die van de Waddenzee of van het Deltagebied kunnen worden beschreven. Teneinde ook op meer gedetailleerde tijd- en ruimteschaal een via fysische proceskennis onderbouwde voorspelling te verkrijgen, is voor de Hollandse kust ook de zogenaamde "twee-lijn" modelleringstechniek gebruikt. Het uiteindelijke voorspelresultaat is gebaseerd op een integratie van de resultaten van de drie fasen.

In het onderhavige Deelrapport 3.4 worden de resultaten beschreven van één van de twee onderbouwende deelstudies, t.w. de resultaten betreffende de initiële sedimenttransporten langs de gesloten Hollandse kust.

1.2 Methode van aanpak

De basisgedachte achter Fase 3 van de Kustvoorspellingsstudie is dat er op grond van de huidige kennis van de fysische processen een verbetering van of in ieder geval kontrôle op een via extrapolatie verkregen voorspelling mogelijk moet zijn. Hiertoe zijn twee deelstudies ondernomen.

1. Dynamische sedimentbalans voor het hele Nederlandse kustsysteem

   Op grond van de fysische proceskennis over het sedimenttransport en morfologische gedrag van de shoreface, de brandingszone, de duinen en de estuaria en hun buitendelta's is een sedimentbalanssysteem geschetst, waarmee het dynamisch gedrag van het kustsysteem als geheel kan worden beschreven. De tijdschaal is van 10 tot 100 jaar, waarmee de logische ruimteschaal van de orde van minstens enkele kilometers is geworden.

2. Dynamische kustlijnbalans voor de Hollandse kust

   Op grond van de fysische proceskennis over het sedimenttransport en morfologische gedrag van de shoreface, de brandingszone en de duinen is via de kustlijntechniek aangevuld met via het JARKUS-bestand waargenomen ontwikkelingen een kustlijnvoorspelling gemaakt. De tijdschaal is orde 30 jaar en de ruimteschaal van de orde een kilometer.

Deze deelstudies zijn op hun beurt onderbouwd met twee modelleringsstudies, t.w. één waarmee het door het getijgedreven stromingsbeeld langs de Hollandse kust en met name nabij de havenmondingen kan worden beschreven, en een tweede waarmee het sedimenttransport in een aantal tot aan de inner shelf reikende raaien kan worden beschreven.

De vier bovengenoemde deelstudies vormen de onderbouwende rapportage van Fase 3:
- Deelrapport 3.1: Dynamische sedimentbalans van het Nederlandse kustsysteem;
- Deelrapport 3.2: Twee-lijn model van de Hollandse kust;
- Deelrapport 3.3: Getijstromingsmodel voor de Hollandse kust;
- Deelrapport 3.4: Initiëel sedimenttransportmodel voor de Hollandse kust.

2. Modelbeschrijving

2.1 Globaal

Voor de afleiding, onderbouwing en kwantificering van de konceptuele modellen voor de kustontwikkeling is een fysisch-mathematisch model gekonstrueerd waarmee het initiële sedimenttransportbeeld kan worden berekend voor de zone langs de Hollandse kust vanaf de inner shelf (zeg vanaf 25 m waterdiepte) tot aan de brandingszone. De achterliggende gedachte is dat het weinig dynamische shorefaceprofiel zich morfologisch laat beschrijven met behulp van een initiëel transportmodel.

Het basismodel beschouwt een raai en koppelt een aantal fysische processen in deze raai (zie ook schema op pag. 5). De raai loopt globaal loodrecht op het kustprofiel van de inner shelf naar het strand. De aanname is dat - gegeven de ruimte en tijdschalen waarin we zijn geinteresseerd - lokaal de topografie in langsrichting als uniform mag worden beschouwd, zodat de raai in langsrichting een deel van de kust representeert, zeg orde één tot enkele kilometers.

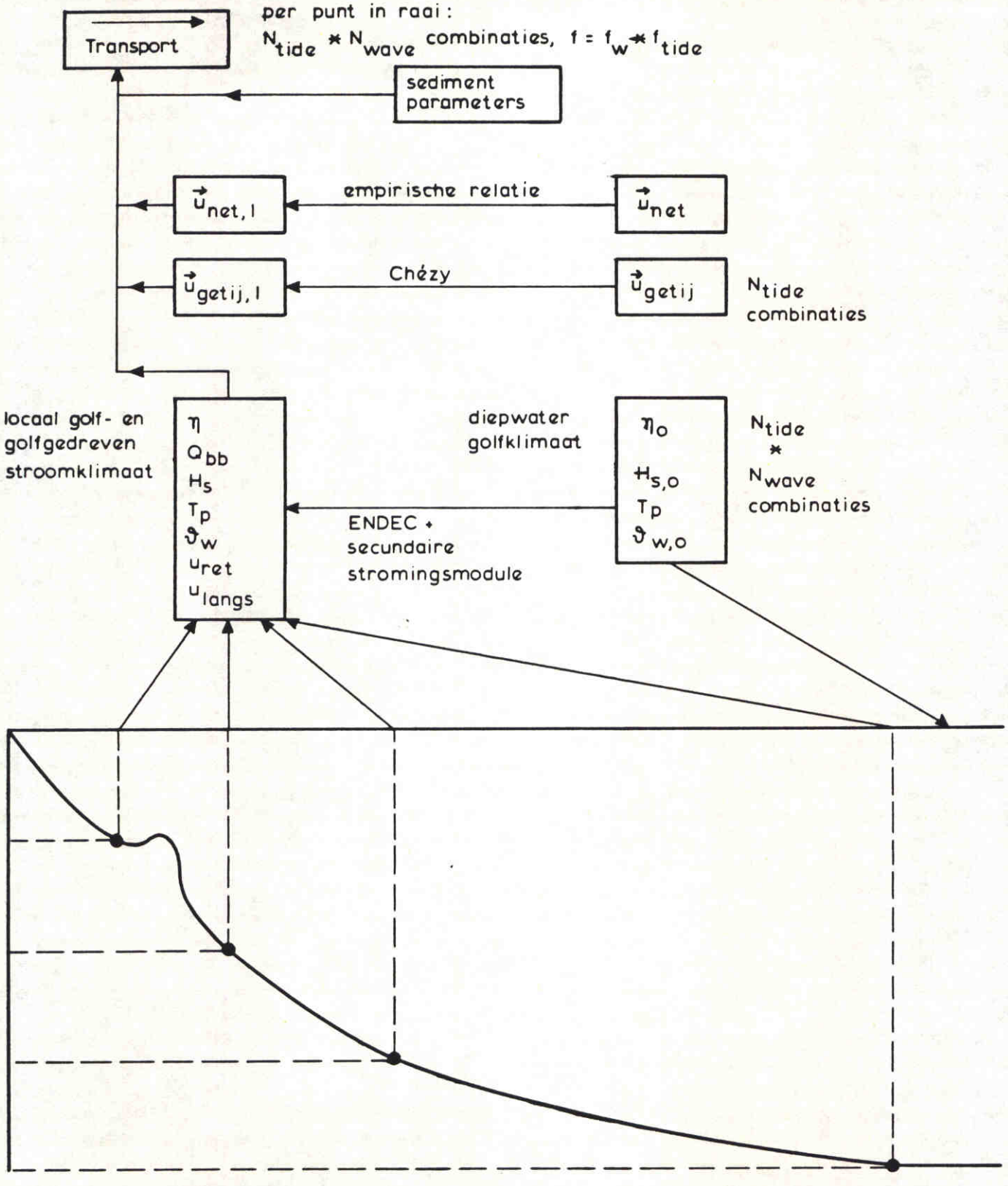
De twee hoofdgroepen van beschouwde hydrodynamische processen zijn door getijde geinduceerde stromingen en door golven geinduceerde stromingen, waarbij ook de interaktie en/of kombinatie van beiden een rol speelt.
Zowel het golf- als het getijklimaat wordt als randvoorwaarde ingevoerd aan de zeewaartse rand en middels een fysisch-mathematische procesformulering vertaald naar hydrodynamische processen langs de raai. De beschouwde processen zijn:

- vertikaal getij (waterstanden); randvoorwaarde uit gemeten komponenten
- horizontaal getij (watersnelheden); rvw. uit gemeten komponenten
- waterstandsopzet gekoppeld aan golfkondities; rvw. uit metingen
- waterstandsopzet door golfgeinduceerde set-up; uit theorie
- langdurige reststroming uit metingen
- golfvoortplanting: refraktie en breking; rvw. uit gemeten golfklimaten
- golfgedreven nettostromen in voortplantingsrichting: asymmetrie-stroming, bodemgrenslaagstroming en brandingsretourstroming
- golfgedreven nettostromen in kustlangsrichting: kustdriftstroming.

Het gesimuleerde getijstromingsklimaat bevat de twee van belang geachte komponenten: de dubbeldaagse komponent M2 en zijn harmonische komponent M4. Een eventueel belang van de amplitude van de overige komponenten blijkt ondergeschikt aan de door andere effekten veroorzaakte onnauwkeurigheden. De getijsimulatie is gekalibreerd aan de hand van de beschikbare metingen (Borst, 1987; Spanhoff et al, 1987) en naar de raaien vertaald (in kustlangsrichting) op grond van de kennis over de fasen en relatieve amplituden van de komponenten. Op grond van metingen naar de stroomvertikaal op verschillende plaatsen langs de kust is een empirisch model voor de rotatie van de stroomvektor nabij de bodem gemaakt: in de regel rechtsomdraaiend. De afname van de snelheid nabij de bodem is met een simpele grenslaagbenadering in rekening gebracht. De variatie langs de raaien is bepaald via de relatie van Chézy op basis van de aanname van konstant verhang in langsrichting.

Het gesimuleerde langdurige reststromingsklimaat is bepaald op grond van de tot op dit moment geanalyseerde metingen (Borst, 1987; Spanhoff et al, 1987). Het beeld hiervan is dat in de regel op dieper water (zeg orde 20 m) er op enige afstand boven de bodem (orde 0.5 m) een netto landwaarts gerichte stroming heerst van enkele cm's per seconde. Dichter in de nabijheid van de kust buigt deze netto stroming naar het noorden af. De orde grootte van de stroming blijkt ruimtelijk niet al te sterk te variëren. Hoewel de ruimtelijke resolutie van de metingen niet zo groot is moet vooralsnog worden aangenomen dat dit beeld globaal gelijk is langs de gehele gesloten Hollandse kust. De oorzaken van dit beeld zijn nog niet eenduidig opgehelderd: mogelijke effekten zijn getijdereststroming, windgedreven upwelling en downwelling, dichtheidseffekten en golfeffekten. Het reststroombeeld is via een empirische beschrijving in rekening gebracht.

Het golfklimaat aan de zeewaartse rand van de raaien is bepaald aan de hand van een bewerking van de meetresultaten over een 10-jarige periode zoals deze bekend zijn van de meetstations Goeree, Noordwijk, IJmuiden en Eierland. Uit de metingen is gehaald (Roskam, persoonlijke communicatie) een golfklimaat onderscheiden in golfhoogte- en golfperiodeklassen per richtingsklassen van 30 graden, waarbij een waterstandverhoging per golfhoogteklasse is geregistreerd. Om voor de aanname golfrichting is windrichting te korrigeren is een bewerking analoog aan die van Hokke en Roskam (1987) uitgevoerd. De golfklimaten op de zeewaartse rand van de raaien zijn in kustlangsrichting door extrapolatie tussen de stations bepaald. In de raaien zelf is het golfklimaat bepaald met



SCHEMA PUNT-RAAI MODEL

behulp van golfvoortplantingsberekeningen via het model ENDEC, waarbij de effekten refraktie, breking en set-up zijn betrokken. Uit de aldus berekende lokale golfgrootheden zijn de netto golfgedreven effekten zoals asymmetrie-stroming, bodemgrenslaagstroming, brandingsretourstroming en brandingslangs-stroom berekend via formuleringen als beschreven in De Vriend en Stive (1988), Stive en De Vriend (1987) en Roelvink en Stive (1989).

De bovenbeschreven hydrodynamische grootheden zoals de netto stromingen en de niet-lineaire golfeffekten zijn als input gebruikt voor berekeningen van het initiële sedimenttransport via de formuleringen van Bailard (1981). Deze formuleringen gaan uit van een instantane respons van het sediment op de waterbeweging dichtbij de bodem, net buiten de bodemgrenslaag. De dikte van deze grenslaag is van de orde de ribbelhoogte; hierbinnen speelt zich het door Bailard onderscheiden bodemtransport af en vlak daarbuiten het door Bailard onderscheiden suspensietransport.

2.2 Transportmodel

Er wordt gebruik gemaakt van het Bailard transportmodel in 2 horizontale dimensies:

$$\vec{q}_x = \frac{c_f}{\Delta g N}\frac{\varepsilon_B}{\tan\phi}\left[\left(|\vec{u}|^2\vec{u}_x\right) - \frac{\tan\beta_x}{\tan\phi}\left(|\vec{u}|^3\right)\right] +$$

$$+ \frac{c_f}{\Delta g N}\frac{\varepsilon_s}{w}\left[\left(|\vec{u}|^3\vec{u}_x\right) - \frac{\varepsilon_s}{w}\tan\beta_x\left(|\vec{u}|^5\right)\right]$$

$$\vec{q}_y = \frac{c_f}{\Delta g N}\frac{\varepsilon_B}{\tan\phi}\left[\left(|\vec{u}|^2\vec{u}_y\right) - \frac{\tan\beta_y}{\tan\phi}\left(|\vec{u}|^3\right)\right] +$$

$$+ \frac{c_f}{\Delta g N}\frac{\varepsilon_s}{w}\left[\left(|\vec{u}|^3\vec{u}_y\right) - \frac{\varepsilon_s}{w}\tan\beta_y\left(|\vec{u}|^5\right)\right]$$

Hierbij zijn:

x,y : twee willekeurige, loodrecht op elkaar staande richtingen

$\vec{q}_x$, $\vec{q}_y$: transport [$m^3/m'/s$]

$\vec{u}$: instantane, totale snelheidsvector nabij de bodem [m/s]

$\vec{u}_x$, $\vec{u}_y$: instantane snelheidscomponent in x resp. y-richting [m/s]

$\tan\beta_x$: $\frac{\partial z_b}{\partial x}$, z_b = bodemniveau, + = omhoog

$\tan\beta_y$: $\frac{\partial z_b}{\partial y}$

Δ : relatieve dichtheid sediment

g : valsnelheid [m/s^2]

N : fractie sediment t.o.v. totaal volume

$\tan\phi$: hoek interne wrijving

w : valsnelheid sediment [m/s]

c_f : wrijvingscoefficient = $\frac{1}{2} f_w$

ε_B : efficiency factor bodemtransport

ε_s : efficiency factor suspensietransport

De haken < > geven tijdmiddeling aan.

Voor de situatie van golven en stroom onder een willekeurige hoek zijn de termen tussen haken, de snelheidsmomenten, het resultaat van gecompliceerde interacties tussen oscillerende en netto snelheidscomponenten. De analyse hiervan kan vereenvoudigd worden door de snelheidsvector op te splitsen in een netto component $\vec{\bar{u}}$ en een oscillerende component $\vec{\tilde{u}}$.

Door nu aan te nemen, dat de ene component klein is t.o.v. de andere, en door als hoofdrichting de richting van de grootste component te nemen, kunnen de totale snelheidsmomenten d.m.v. een Taylor-ontwikkeling worden geschreven als combinaties van machten van de netto snelheid en centrale snelheidsmomenten. Het grote voordeel hiervan is, dat over de centrale momenten in golfrichting reeds vrij veel bekend is uit gootproeven, en dat deze betrekkelijk eenvoudig zijn te modelleren.

We onderscheiden twee situaties:

1 $|\vec{\bar{u}}| < \vec{\tilde{u}}$

en

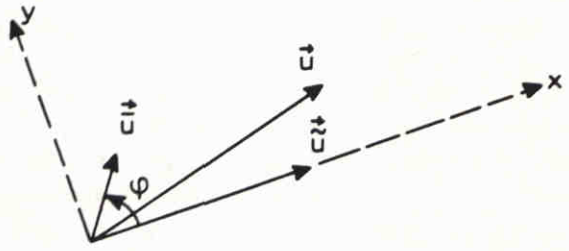
2 $|\vec{\bar{u}}| > \vec{\tilde{u}}$

waarbij $\vec{\tilde{u}}$ = rms-amplitude van het oscillerende deel van de snelheid.

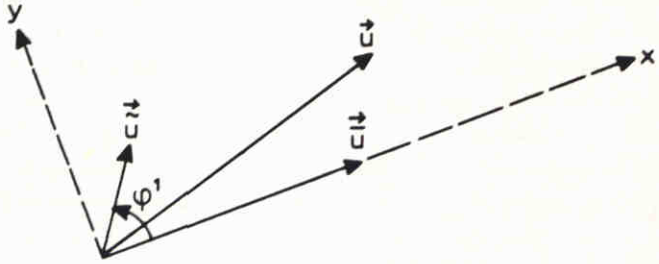
Voor beide situaties zijn aparte formuleringen afgeleid; deze blijken voor $|\vec{\bar{u}}| = \vec{\tilde{u}}$ redelijk te overlappen.

We gaan uit van de volgende coordinatenstelsels:

Situatie (1) :



Situatie (2) :



De formuleringen voor de totale snelheidsmomenten luiden nu:

Situatie 1:

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^2 u_x\rangle = \langle\tilde{u}^3\rangle + \langle\tilde{u}^2\rangle\,\bar{u}\,(3\cos\phi) + \bar{u}^3\cos\phi$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^2 u_y\rangle = \langle\tilde{u}^2\rangle\,\bar{u}\sin\phi + \bar{u}^3\sin\phi$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3 u_x\rangle = \langle|\tilde{u}|^3\tilde{u}\rangle + \langle|\tilde{u}|^3\rangle\,\bar{u}\,(4\cos\phi) +$$

$$+ \langle|\tilde{u}|\tilde{u}\rangle\,\bar{u}^2\,(3 + 9\cos^2\phi)/2 + \langle|\tilde{u}|\rangle\,\bar{u}^3\,(3\cos\phi + \cos^3\phi)$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3 u_y\rangle = \langle|\tilde{u}|^3\rangle\,\bar{u}\,(\sin\phi) + \langle|\tilde{u}|\tilde{u}\rangle\,\bar{u}^2\,(3\sin\phi\cos\phi) +$$

$$+ \langle|\tilde{u}|\rangle\,\bar{u}^3\,(3\sin\phi + 3\sin\phi\cos^2\phi)/2$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3\rangle = \langle|\tilde{u}|^3\rangle + \langle|\tilde{u}|\tilde{u}\rangle\,\bar{u}\,\langle 3\cos\phi) +$$

$$+ \langle|\tilde{u}|\rangle\,\bar{u}^2\,(3 + 3\cos^2\phi)/2$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^5\rangle = \langle|\tilde{u}|^5\rangle + \langle|\tilde{u}|^3\tilde{u}\rangle\,\bar{u}\,(5\cos\phi) +$$

$$\langle|\tilde{u}|^3\rangle\,\bar{u}^2\,(5 + 15\cos^2\phi)/2 +$$

$$\langle|\tilde{u}|\tilde{u}\rangle\,\bar{u}^3\,(15\cos\phi + 5\cos^3\phi)/2 +$$

$$\langle|\tilde{u}|\rangle\,\bar{u}^4\,(15 + 30\cos^2\phi - 5\cos^4\phi)/8$$

Situatie 2:

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^2 u'_x\rangle = \bar{u}^3 + \bar{u}\,\langle\tilde{u}^2\rangle\,(1 + 2\cos^2\phi') + \langle\tilde{u}^3\rangle\cos\phi'$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^2 u'_y\rangle = \bar{u}\,\langle\tilde{u}^2\rangle\,(2\sin\phi'\cos\phi') + \langle\tilde{u}^3\rangle\sin\phi'$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3 u'_x\rangle = |\bar{u}|^3\bar{u} + |\bar{u}|\bar{u}\,\langle\tilde{u}^2\rangle\,(3 + 9\cos^2\phi')/2 +$$

$$+ |\bar{u}|\langle\tilde{u}^3\rangle\,(3\cos\phi' + \cos^3\phi') + \frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}\,\langle\tilde{u}^4\rangle\,(3 + 6\cos^2\phi' - \cos^4\phi')/8$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3 u'_y\rangle = |\bar{u}|\bar{u}\,\langle\tilde{u}^2\rangle\,(3\sin\phi'\cos\phi') + |\bar{u}|\,\langle\tilde{u}^3\rangle\,(3\sin\phi' + 3\sin\phi'\cos^2\phi')/2 +$$

$$+ \frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}\,\langle\tilde{u}^4\rangle\,(3\sin\phi'\cos\phi' - \sin\phi'\cos^3\phi')/2$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^3\rangle = |\bar{u}|^3 + |\bar{u}|\,\langle\tilde{u}^2\rangle\,(3 + 3\cos^2\phi')/2 +$$

$$+ \frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}\,\langle\tilde{u}^3\rangle\,(3\cos\phi' - \cos^3\phi')/2$$

$$\langle|\vec{\tilde{u}}|^5\rangle = |\bar{u}|^5 + |\bar{u}|^3\,\langle\tilde{u}^3\rangle\,(5 + 15\cos^2\phi')/2 +$$

$$|\bar{u}|\bar{u}\,\langle\tilde{u}^3\rangle\,(15\cos\phi' + 5\cos^3\phi')/2 +$$

$$|\bar{u}|\,\langle\tilde{u}^4\rangle\,(15 + 30\cos^2\phi' - 5\cos^4\phi')/8 +$$

$$\frac{\bar{u}}{|\bar{u}|}\,\langle\tilde{u}^5\rangle\,(15\cos\phi' - 10\cos^3\phi' + 3\cos^5\phi')/8$$

Uit het bovenstaande blijkt, dat de totale snelheidsmomenten, benodigd in de Bailard-formule, berekend kunnen worden uit de centrale momenten en de netto snelheid nabij de bodem.

Centrale momenten:

Deze worden berekend zoals beschreven in Roelvink en Stive (1988). Hierin blijken ze slechts een functie te zijn van:

H_{rms} : rms golfhoogte = $H_s/\sqrt{2}$

T_p : piekperiode

h : waterdiepte

Q_{bb} : perc. brekende golven

C_r : correlatiecoefficient tussen de korte en de lange golven; deze is op zijn beurt een functie van $(\frac{H_{rms}}{H_{rms,o}})^2$, dus ook:

$H_{rms,o}$: diepwater golfhoogte.

Tevens dient θ_w, de hoek van de golfvoortplantingsrichting met de normaal, bekend te zijn.

Netto snelheid:

Deze wordt gedacht te zijn opgebouwd uit de volgende componenten:

$\vec{u}_{net}$: langdurig gemiddelde nettostroom bij de bodem;

$\vec{u}_{tide}$: getijsnelheid bij de bodem;

$\vec{u}_{ret}$: golfgedreven retoursnelheid bij de bodem, in golfrichting;

$\vec{u}_{langs}$: golfgedreven langsstroomsnelheid.

2.3 Berekening locale golf- en stroomparameters

Golven en golfgedreven stroom

Aangezien met name voor de hogere golfklassen niet aangenomen mag worden, dat de golfhoogte constant is over het beschouwde gebied van ca. -20 m tot -8 m, dienen voor een aantal punten in het profiel locale golf- en golfgedreven stroomklimaten berekend te worden.

Op voorhand is niet te zeggen, welke golfklasse in een bepaalde richtingsklasse dominant zal zijn. Dit betekent, dat per golfrichting een behoorlijk aantal klassen moet worden meegenomen. Voor windrichtingsklassen van 30° is met behulp van de door Roskam en Hokke gegeven relatie tussen windrichting en golfrichting de representatieve golfrichting bepaald.

Dit resulteert in 8 klassen met golven in kustwaartse richting zoals weergegeven in Tabel 1 voor de station LE Goeree, Meetpost Noordwijk en Eierland. Deze drie stations worden representatief geacht voor de Hollandse kust. Per golfrichting zijn 10 golfhoogteklassen van 0.50 m onderscheiden, met de daar-

bij behorende gemiddelde T_{M01} en waterstand. Dit leidt per station tot 80 golfklassen: de resultaten staan per station vermeld in tabel 2 t/m 4.
Om voor een raai het lokale diepwater golfklimaat te bepalen worden de frequenties van voorkomen van de 80 golfklassen geïnterpoleerd uit de klimaten van de twee omliggende meetstations.
Voor de waterstanden wordt tevens een getijvariatie opgelegd in 12 stappen, met name om de invloed van de koppeling tussen horizontaal en verticaal getij correct mee te nemen. Het verticale getij wordt berekend door interpolatie van de M_2 en M_4 componenten uit de getijdetabellen voor de Nederlandse kust (zie tabel 5). De waterstand op een zeker tijdstap wordt als volgt berekend uit de getijconstanten:

$$\text{eta}(t) = a_o + a_{M2}\cos(\omega_{M2}t - g_{M2}) + a_{M4}\cos(\omega_{M4}t - g_{M4})$$

waarin:

eta (t) = waterstand t.o.v. NAP
a_o = gemiddelde waterstand
a_{M2} = amplitude M2-component
a_{M4} = amplitude M4-component
g_{M2} = fase M2-component (°)
g_{M4} = fase M4-component (°)
ω_{M2} = hoeksnelheid M2-component = 28.984°/uur
ω_{M4} = hoeksnelheid M4-component = 57.968°/uur
t = tijd na H.W. Hoek van Holland

De golfhoogteafname over het profiel wordt berekend met behulp van ENDEC, waarbij voor ieder van de ca. 960 randvoorwaarden uitvoer wordt gegeven in een beperkt aantal opgegeven punten.
In deze punten wordt dan tevens de golfgedreven retourstroom berekend volgens de Vriend en Stive (1987).
De golfgedreven langsstroom wordt berekend volgens de JONSMOD modellering:

$$u_{langs} = \frac{T_p}{\rho c_f \sqrt{\pi}\, H_{rms}} \sinh kh\, D\, \frac{\sin\theta_{w,o}}{C_o}$$

waarin:

u_{langs} = golfgedreven dieptegemiddelde langsstroom
T_p = piekperiode

c_f = wrijvingscoefficient
H_{rms} = r.m.s. golfhoogte
k = golfgetal
h = waterdiepte
D = dissipatie
$\theta_{w,o}$ = hoek van golfinval t.o.v. normaal op diep water
C_o = golfvoorplantingssnelheid op diep water

Per punt in het profiel wordt nu een aparte golfklimaatfile geschreven, die de volgende parameters bevat:

H_s : sign. golfhoogte
T_p : piekperiode
θ_w : hoek golfvoortplantingsrichting t.o.v. N
fractie : kans van voorkomen $f_{wave} * f_{tide}$
h : waterstand t.o.v. NAP
U_{net} : retourstroom in golfrichting
U_{langs} : langsstroom (diepte gemiddelde)

Voor ieder uitvoerpunt in een profiel wordt een apart uitvoerbestand geopend, met een naam volgens R <raainr> D <diepte>. Dit bestand wordt door het puntransportmodel als invoerbestand gebruikt.

Per golfconditie worden de 12 getijcondities weggeschreven zodat door de volgorde van inlezen van het locale klimaat de getijfase behouden blijft.

Langdurige nettostroom nabij de bodem

Uit gegevens gepubliceerd in Borst (1988) blijkt (zie figuur 1), dat over langere tijd gemiddeld een nettostroom bij de bodem van ca. 1 cm/s optreedt in de richting van de kust. Dichterbij de kust buigt deze naar het noorden af. Bij gebrek aan meer gegevens is voor dit onderzoek deze nettostroom ruw geschematiseerd volgens:

$$u_{net} = |u_{net,h_o}| \sin\left[\frac{h_o - h}{h_o} * \pi/2\right] \text{ in langsrichting}$$

$$v_{net} = |u_{net,h_o}| \cos\left[\frac{h_o - h}{h_o} * \pi/2\right] \text{ in dwarsrichting}$$

Getijstroomsnelheden

In een aantal punten op diepwater kunnen de amplituden en fasen van de eerste twee harmonischen van de horizontale langs- en dwarsgetijsnelheid worden gegeven. Deze getijconstanten worden dan op de gewenste raai geïnterpoleerd, waardoor het locale diepwatergetijverloop kan worden benaderd. Met de aanname, dat de verhangen constant zijn over het profiel, wordt dan voor elk punt in het profiel de getijstroomsnelheid berekend. De gebruikte waarden staan vermeld in tabel 5. De berekening van de snelheden op een bepaald tijdstip verloopt analoog aan die voor het verticale getij.

Omrekening verticaal gemiddelde snelheden naar bodemsnelheden

De golfgedreven langsstroom en de getijstroom zijn verticaal gemiddelde waarden. Uitgaande van een logarithmisch snelheidsprofiel worden deze omgerekend naar bodemsnelheden, zoals gebruikt in de formule van Bailard, met behulp van:

$$\tilde{U}_{bodem} = \bar{U}\left(1 + \frac{\sqrt{\bar{g}}}{\kappa C}\left(1 - \ln\frac{h}{z_r}\right)\right)$$

3. Resultaten

3.1 Inleiding

Op grond van de berekeningen met het raaimodel wordt een beeld verkregen van de initiële sedimenttransporten langs de gesloten Hollandse kust. In principe is het mogelijk dit te doen voor elke positie in een willekeurige raai. Er zijn echter twee situaties te noemen waarbij de interpretatie moeilijk is, t.w.

- voor het dwarstransport in de brandingszone: het dwarsprofiel in de brandingszone is sterk dynamisch van karakter waar het de grootte van de transporten en de gerelateerde morfologie betreft, een initiële transportberekening geeft dan alleen een indruk van de mogelijke transportgrootten;
- voor het langstransport in de nabijheid van rivier- en estuariummondingen: het stroom- en sedimenttransportbeeld in deze situaties is sterk ruimtelijk variërend, zodat de raai-benadering niet opgaat.

Gegeven deze beperkingen zijn in vier raaien ter plekke van RSP km palen 14, 40, 76 en 103 berekeningen uitgevoerd voor een aantal diskrete diepten vanaf 21 m tot aan de kustlijn. De resultaten staan in het onderstaande beschreven.

3.2 Presentatie en kalibratie van raai- en puntresultaten

Voor de presentatie van de grote hoeveelheid informatie en resultaten zoals die per punt langs de raaien ter beschikking is gekomen, is gekozen voor:

1) vektorplots (figuur 2 t/m 18) waarin per punt tot aan de 8 m dieptelijn het netto snelheidsbeeld en het netto transportbeeld per 1/12 getijdfasestap geïntegreerd over alle golfkondities is gegeven;
2) transporttabellen (tabel 6 t/m 9) waarin het netto transportresultaat geïntegreerd over alle getijfasen en golfkondities is gegeven.

ad 1) vektorplots (figuur 2 t/m 18); (opm.: R014 D20 staat voor raai 14, 20 m diepte): Bestudering van de vektorplots geeft aan dat op dieper water er een duidelijke gelijkvormigheid bestaat tussen de getijstroom-ellips en de transport-ellips. Blijkbaar treden de golven ongeacht hun richting slechts als opwoeler op. Naarmate de waterdiepte afneemt gaan de netto golfeffekten (b.v. asymmetrie) een steeds belangrijkere rol spelen.

ad 2) transporttabellen (tabel 6 t/m 9):
De transporttabellen geven per raai de netto langstransporten tot 1 à 2 m diepte en de netto dwarstransporten tot de 8 m dieptelijn. Ook zijn enkele resultaten gepresenteerd voor verschillende formuleringen die een rol spelen bij de bepaling van dieptegemiddelde langsstroming. Meer systematisch wordt in par. 3.5 de gevoeligheid van de resultaten aangegeven voor variatie van een aantal parameters. Bestudering van de resultaten laat in aansluiting bij de ad 1) berekende resultaten zien dat het relatieve belang van de golven toeneemt naarmate de waterdiepte afneemt.

Alvorens een meer uitgebreide diskussie te voeren over vooral de netto-transportresultaten (zie paragrafen 3.3 en 3.4) wordt hier eerst een kalibratie uitgevoerd van de transporten. Dit wordt noodzakelijk geacht omdat het bekend is dat de absolute nauwkeurigheid van transportformules zeker niet beter is dan een faktor 2 (dus van 0.5 tot 2 maal het rekenresultaat; vergelijk met de B-faktor in de Bijkerformule). Uitgangspunt bij de kalibratie is dat het overall kwalitatieve transportbeeld (dus de richting en de ruimtelijke gradiënten) korrekt is. Hierbij is de de kern van de diskussie of de quasi-stationaire respons van het sedimenttransport op de waterbeweging zoals in de gehanteerde formule volgens Bagnold-Bailard hier van toepassing is. Hier baseren we ons op de literatuur. Buiten de brandingszone in het getij regiem en op de shoreface wordt bevestiging gevonden in het werk van Heathershaw (1981) en van Vincent et al (1983). Op de upper shoreface en in de brandingszone wordt bevestiging gevonden in Roelvink en Stive (1989). Een tweede uitgangspunt is dat het kwantitatieve transportbeeld middels één faktor voor het hele veld kan worden gekalibreerd, echter wel met een onderscheid in langs- en dwarstransport. Deze faktoren zijn als volgt bepaald:

1) voor het dwarstransport uit de waargenomen verplaatsing van de -10 m dieptelijn over de laatste 90 jaar;
2) voor het langstransport uit de orde grootte van het netto langstransport in de brandingszone als funktie van de oriëntatie van de kustlijn over de Hollandse kust.

Het resultaat is een reduktie van het dwarstransport met een faktor 2 en een versterking van het langstransport met een faktor 2. Een min of meer indirekte kontrôle op deze transportgrootten volgt uit de analyse van de JARKUS-metingen zoals uitgevoerd door Bakker en Dijkman (Deelrapport 3.2). Het uit de gradiënten resulterende totaal effect op de actieve zône heeft de verwachte orde van grootte.

Een samenvatting van bovenstaande resultaten is te vinden in figuren 19 en 20. Figuur 19 geeft de ongekalibreerde netto transport resultaten en figuur 20 geeft het resultaat na kalibratie. Een nadere presentatie van de resultaten volgt hieronder in paragraaf 3.3 en 3.4. Tenslotte zal nog uitgebreider worden ingegaan op de nauwkeurigheid van de resultaten in paragraaf 3.5.

3.3 Transporten op de onderwateroever

Naast het samenvattende overzicht van de gekalibreerde netto jaarlijkse sedimenttransporten in de vorm van een vektorplot (figuur 20), is in Figuren 21 en 22 een samenvattend overzicht van de gekalibreerde netto landwaarts gerichte transporten en gradiënten naar de diepte gegeven. Op grond van deze resultaten kunnen de volgende kwantitatieve konklusies worden getrokken.

Dwarstransport op de onderwateroever

De onderwateroever is statisch van karakter met betrekking tot de sedimenttransporten en morfologie. Het dwarstransport langs de ongestoorde kust is vooral golfgedomineerd. De resultaten van het initieel transportmodel deduktief beziend, blijkt dit vooral uit het verloop van de grootte van het dwarstransport gaande van bv 20 m waterdiepte naar 10 m waterdiepte. Op 20 m is de orde van grootte 1 tot 3 $m^3/m/jaar$, op 10 m is dit 9 tot 15 $m^3/m/jaar$: de toename moet voornamelijk aan de golfbijdrage liggen, omdat de langdurige reststroomkomponent van 1 tot enkele cm's/sec eerder (door bijbuiging in langsrichting) afneemt dan toeneemt. De fysische verklaringen zijn dat zowel de golfopwoeling, als de grootte van de golfgrenslaag geinduceerde netto stromingsbijdrage, als de asymmetriebijdrage toenemen naarmate de diepte afneemt. De transportgrootten zijn vooral waterdieptegedomineerd.

Gebaseerd op het konceptuele model ligt er ergens tussen 10 m en 6 m waterdiepte de overgang van het meer statische - waterdieptegedomineerde - gedrag van de onderwateroever naar het sterk dynamische gedrag van het brandingszoneprofiel. Verder ook het koncept aannemende van een in eerste benadering vormvast brandingszone/strand/duin-profiel, dan wordt in eerste orde één van de faktoren die bepaalt of er horizontale profielverschuiving optreedt het dwarstransport aan de rand van de overgang van het dynamisch bovendeel van het profiel. Deze overgang wordt aangenomen te liggen op globaal 8 m waterdiepte ten opzichte van gemiddeld zeenivo, en het dwarstransport bedraagt aldaar 10 à 15 $m^3/m/jaar$. De keuze van 8 m volgt uit de analyse van Roelvink (1989).

Langstransport op de onderwateroever

Het langstransport op de onderwateroever wordt bepaald door een kombinatie van golven en getijdestromingen. Onderstaande tabel vergelijkt de stromingen geinduceerd door een lopende getijgolf en door een vrij-oppervlak-zwaartekrachtsgolf (windgolf) van gelijke amplitude, nabij de zeebodem voor verschillende waterdiepten.

waterdiepte (m)	golfperiode (s)		
	5	10	15
10	0.48	0.87	0.94
20	0.14	0.72	0.88
50	0.00	0.36	0.70

Tabel a Amplitude-verhouding van lopende windgolfgedreven orbitaalsnelheid en lopende getijgolfstroming, ieder van eenheidsamplitude, nabij de zeebodem (naar Pugh, 1987); opmerking: voor de aktuele waarde dient deze verhouding nog vermenigvuldigd te worden met de ratio golfhoogte en getijslag.

Mede op grond van bovenstaande tabel zal duidelijk zijn dat het gekombineerde effekt van golven en getij veel belangrijker is dan de individuele effekten. Bijvoorbeeld, golfgedreven en stormsurge-gedreven stromingen kunnen bepalend zijn zelfs in gebieden waar getijdestroming overheerst, omdat de sediment transportgrootte snel toeneemt met de stroomsnelheid. Echter, als wordt aangenomen dat de golf- en stormsurgegedreven stromingen random qua richting zijn verdeeld deze slechts het richtingspatroon van het getijgedreven sedimenttransport versterken als gevolg van de niet-lineaire (derde macht of hoger) relatie tussen stroming en transport. Als gevolg hiervan zijn de getijtransport patronen steeds dominant, maar de lange termijn transportstromen kunnen groter zijn dan verwacht zou mogen worden van getijstromingseffekten alleen.

Dit bovenbeschreven effekt komt duidelijk tot uiting in het langstransport op de onderwateroever: het hoofdpatroon volgt het getij-gedreven effekt, t.w. dominant noordwaarts transport als gevolg van de fase van de M4 komponent die de M2 in noordwaartse richting versterkt. Daarnaast nemen de amplituden gaande

van Hoek van Holland naar Noordwijk eerst enigszins af en nemen daarna sterker toe. Het gevolg is een negatieve sedimenttransport gradient van Hoek van Holland naar het centrale deel en een positieve van globaal Egmond/Bergen naar Den Helder. In het deel van Hoek van Holland naar Noordwijk leidt dit tot netto transportgradienten in de zone van 15 tot 8 m waterdiepte van 4 tot 8 $m^3/m/jaar$ over orde 27 km in langsrichting. In het noordelijke deel van de Hondsbossche tot Den Helder zijn er netto transportgradiënten van 6 tot 12 $m^3/m/jaar$ in de zone van 20 tot 8 m waterdiepe.

3.4 Transporten in de brandingszone

Langstransporten in de brandingszone

Het langstransport in de brandingszone is primair bepaald door het golfklimaat als gevolg van de dominantie van de golfgedreven stroming in deze zone. Secundair heeft de getijdestroming hier wel een effekt. Op grond van de beschikbare resultaten kan het netto langstransport als gevolg van de kombinatie golven en getij geschat worden op circa 120.000 $m^3/jaar$ t.p.v. km 103, op circa 40.000 $m^3/jaar$ t.p.v. km 76 en op circa 20.000 $m^3/jaar$ t.p.v. km 14. De variaties als gevolg van het verloop van het golfklimaat en het getijklimaat in langsrichting van de Hollandse kust vallen binnen de nauwkeurigheidsmarges van deze schatting. Het nulpunt van het netto langstransport als gevolg van het huidige golfklimaat alleen ligt naar schatting bij een kustlijnoriëntatie van 18 à 20 graden t.o.v. Noord. Dit betekent dat een kleinere hoek in zuidwaarts transport resulteert en een grotere hoek in noordwaarts transport. De invloed van het getijdetransport hierop is blijkbaar dat door de positieve scheefheid naar het Noorden in het horizontale getij de nulpunts-kustoriëntatie één tot enkele graden kleiner is.

3.5 Nauwkeurigheids-analyse

Door een aantal factoren die samenhangen met de aard en het gebruik van de toegepaste transportformule ontstaat een onnauwkeurigheid in de gegeven gemiddelde transporten. In het volgende wordt getracht aan de hand van schattingen van de afzonderlijke bijdragen een beeld te krijgen van de totale onnauwkeurigheid.
De volgende factoren worden onderscheiden bij het gebruik van een voornamelijk empirische transportformule als die van Bailard:

a) De transportformule is gebaseerd op te weinig metingen; dit kan leiden tot een systematische afwijking van de formule doordat de weinige metingen toevallig te hoog of te laag lagen; de steekproef is te klein om het gemiddeld verloop goed te beschrijven.

b) De transportformule wordt gebruikt buiten de geteste range; bij een empirische formule leidt dit vaak tot een systematische afwijking.

c) De transportformule is gebaseerd op te weinig parameters; dit leidt in het algemeen tot een grote spreiding, als het gedrag van de niet meegenomen parameters onafhankelijk is van de wel gebruikte parameters. Een duidelijk voorbeeld hiervan is het voorkomen van beddingvormen, die vaak relicten zijn van andere omstandigheden, daardoor moeilijk voorspelbaar zijn en zo bijdragen aan de spreiding.

d) De invoergegevens voor de transportformule zijn onvoldoende bekend. De spreiding in deze gegevens komt in meer of mindere mate tot uiting in een spreiding in de berekende transporten, afhankelijk van de gevoeligheid van de formule voor deze gegevens.

Deze foutenbronnen leiden er toe, dat in de voorspelling van een bepaalde transportgebeurtenis in plaats en tijd een fout op kan treden, die een orde groter is dan het transport zelf. Gelukkig is het op twee manieren mogelijk deze fout te reduceren:

1. door ijking,
2. door middeling in ruimte en tijd.

Door de tweede methode worden vooral de toevallige fouten aangepakt. Door ijking tracht men systematische fouten te verwijderen.

IJking (zie ook paragraaf 3.2)

De systematische afwijkingen genoemd onder a) en b) kunnen aanzienlijk zijn; een factor 2 is wellicht al een optimistische schatting. Er zijn twee onafhankelijke ijkgegevens beschikbaar, te weten de verplaatsing van een aantal dieptelijnen op dieper water, en het totale langstransport in de brandingszone. Over beide processen zijn redelijk betrouwbare gegevens voorhanden; het eerste wordt voornamelijk bepaald door dwarstransportgradienten, terwijl het tweede

overeenkomt met het geïntegreerde langstransport over de brandingszone. Uit deze gegevens blijkt, dat de dwarstransporten met ongeveer een factor 2 worden overschat, terwijl de langstransporten met een factor 2 worden onderschat. Op grond hiervan is besloten de berekende dwars- en langstransporten met deze factor te corrigeren. Het is te verwachten dat door deze correctie althans een deel van de systematische fouten verdwijnt.

Middeling over ruimte

De onder c) genoemde spreiding wordt voor een groot deel veroorzaakt door bodemvormen. Hierdoor kan het transport op een specifieke plaats moeilijk voorspeld worden. Het gemiddelde transport over een groter gebied echter is veel minder gevoelig voor de toevallige bodemligging. Aangezien de schaal waarop in dit onderzoek gekeken wordt, in de orde van kilometers ligt, kan een groot deel van de spreiding geacht worden weg te vallen.

Middeling over de tijd

De spreiding van de tijd, doordat bijvoorbeeld de bodemvormen op een bepaald tijdstip niet in evenwicht zijn bij de overheersende condities, kan worden verminderd door over een langere tijd te middelen. Dit wordt in het volgende beschreven.

Neem aan, dat de relatieve, toevallige fout in het transport verdeeld is met gemiddelde 0 en variantie σ^2:

$$x_{\cdot k} = \frac{T_{\cdot k} - F_k}{F_k}$$

waarbij:

$x_{\cdot k}$ = relatieve, toevallige fout in transport
$T_{\cdot k}$ = werkelijk transport
F_k = berekend transport

Ook geldt dan:

$$x_{\cdot k} = \frac{p\,T_{\cdot k} - p\,F_k}{p\,F_k}$$

Het jaargemiddelde transport $\underset{\cdot}{T} = \sum_{k=1}^{N} p_k\,T_{\cdot k}$

We nemen aan, dat: $E_{\dot{f}} = \sum_{k=1}^{N} p_k F_k$

Nu geldt: $\text{var } f = E(f-Ef)^2 = E\left(\sum_{k=1}^{N} (p_k \dot{T}_k - p_k F_k)\right)^2 =$

$$= E \sum_{k=1}^{N} \sum_{l=1}^{N} (p_k F_k p_l F_l \dot{x}_k \dot{x}_l) =$$

$$= \sum_{k=1}^{N} \sum_{l=1}^{N} (p_k F_k p_l F_l) E \dot{x}_k \dot{x}_l = \sum_{k=1}^{N} p_k^2 F_k^2 E \dot{x}_k^2 =$$

$$= \sum_{k=1}^{N} p_k^2 F_k^2 \text{ var } \dot{x}_k$$

$$= N (p F)^2_{rms} \sigma^2$$

Dus: $$\frac{\sigma_{\dot{f}}}{E_{\dot{f}}} = \frac{\sqrt{N} (p F)_{rms} \sigma}{\sum_{k=1}^{N} p_k F_k}$$

Dit betekent, dat de verhouding tussen de relatieve fout van het gemiddelde en de relatieve fout van afzonderlijke transportgebeurtenissen wordt bepaald door:

$$\frac{\text{rel. fout gemiddelde}}{\text{rel. fout per gebeurtenis}} = \frac{\sqrt{N} (p F)_{rms}}{\sum_{k=1}^{N} p_k F_k}$$

Aangezien $p \sim \frac{1}{N}$ zal dit in het algemeen betekenen, dat de relatieve fout van het gemiddelde afneemt met ongeveer $\sqrt{N}$. Naarmate echter het gemiddelde kleiner wordt t.o.v. de afzonderlijke bijdragen, neemt de fout toe; dit is bijvoorbeeld het geval bij alternerende richting met een klein netto effect.

Voor locatie 103 is deze verhouding berekend, zowel voor langs- als dwarstransport. Het blijkt, dat het langstransport gemiddeld een ongunstiger verhouding heeft tussen de relatieve fout van het gemiddelde en de relatieve fout per gebeurtenis: ongeveer 25%, tegen ca. 10% voor het dwarstransport; zie tabel b.

In ieder geval is de fout in het gemiddelde beduidend kleiner dan de fout in het ruimtelijk gemiddelde transport per gebeurtenis. Hierdoor is de toevallige fout in het gemiddelde transport in het algemeen kleiner dan een factor 1, zodat het teken waarschijnlijk goed is.

Locatie: 103

diepte	longshore	cross-shore
2	.211	
4	.132	
5	.140	
6	.163	
8	.222	.074
10	.264	.066
15	.281	.076
21	.285	.086

Tabel b Verhouding $\frac{\text{relatieve fout jaargemiddeld transport}}{\text{relatieve fout per transport gebeurtenis}} = \frac{\sqrt{N}\ (p\ F)_{rms}}{\sum_{k=1}^{N} p_k\ F_k}$

N = aantal gebeurtenissen

p = kans van voorkomen van gebeurtenis

F = berekend transport tijdens gebeurtenis

Gevoeligheid van het gemiddelde transport voor gekozen parameterwaarden

De gevoeligheid van het gemiddelde transport voor fouten in ingevoerde waarden kan worden onderzocht met een zogenaamde 'mean value'-methode. Hierbij wordt telkens één parameter een realistische afwijking gegeven terwijl de overige parameters hun meest waarschijnlijke waarde houden. Zo krijgt men ten eerste een systematisch inzicht in het belang van afzonderlijke onnauwkeurigheden in de schatting van invoerparameters. Ten tweede kan een schatting van de totale fout ten gevolge van alle onnauwkeurigheden gegeven worden.

Als de fout in het transport ten gevolge van parameter i gelijk is aan ΔF_i, dan is een redelijke schatting van de totale fout:

$$\Delta F_{tot} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} F_i^2}$$

Voor een aantal invoerparameters is de invloed op het eindresultaat onderzocht. In de onderstaande tabel is aangegeven om welke parameters het gaat, en wordt de schatting van de onnauwkeurigheid aangegeven.

parameter	geschatte fout
Coëfficient lange golven (CCR)	100%
Langdurige reststroom bij bodem (U_{net})	100%
D_{50} van het sediment	50%
Amplitude getijsnelheden	10%
Amplitude M_4-component getijsnelheid	25%
Reststroom langs kustgericht	.02 m/s

De invloed van deze afwijkingen op het langstransport, resp. het dwarstransport, in raai 103, is te zien in de Figuren 23 en 24.

Voor het langstransport spelen met name dicht bij de kust de fouten in U_{net} en D_{50} een belangrijke rol, terwijl op dieper water de fout in de getij-amplitude van overheersend belang is. De fout in de dieptegemiddelde reststroom U_o speelt in het gehele gebied een rol, terwijl op diep water ook UM_4 niet onbelangrijk is.

Voor het dwarstransport zijn van de onderzochte variabelen op ondieper water vooral CCR, U_{net} en de D_{50} van belang. Op diep water is vooral nog U_{net} een belangrijke bron van onzekerheid.

Belangrijk is op te merken dat model onnauwkeurigheden bijvoorbeeld asymmetrietransport en "wave-induced" streaming hier buiten beschouwing blijven.
De totale geschatte fout in het jaargemiddeld langs- en dwarstransport in raai 103 is weergegeven in Figuur 25 resp. 26.
Hieruit blijkt, dat het langstransport op dieper water nog onvoldoende nauwkeurig bepaald kan worden op grond van de beschikbare gegevens; op ondieper water is dit beeld minder somber.

De totale fout in het dwarstransport ten gevolge van onnauwkeurigheden in invoerparameters is in de orde van 50%; de fout ten gevolge van modelonnauwkeurigheden is hierin niet verwerkt.

LITERATUUR

Bailard, J.A. (1981).
An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach.
J. Geophysical Research, Vol. 86, No. C11, pp. 10938-10954.

Borst, J.C. (1987).
Verkennende beschrijving van het stroomklimaat in het kustvak Delfland.
Rijkswaterstaat, Nota GWAO-87.477.

De Vriend, H.J. en Stive, M.J.F. (1987).
Quasi-3D modelling of nearshore currents.
Coastal Eng., 11:565-602.

Heathershaw, A.D. (1981).
Comparisons of measured and predicted sediment transport rates in tidal currents.
Marine Geology, 42:75-104.

Hokke, A.W. en Roskam, A.P. (1987).
Gemeten golfklimaat op diep water.
Rijkswaterstaat, Nota GWAO-87.291.

Pugh, D.T. (1987).
Tides, surges and mean sea level; A handbook for engineers and scientists.
Wiley, 472 p.

Roelvink, J.A. (1989).
Feasibility of offshore nourishment of the Dutch sandy coast.
Proc. Int. Conf. Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters, Bradford, England, Sept. 1989.

Roelvink, J.A. en Stive, M.J.F. (1989).
Wave-induced cross-shore flow variations and related bar formation on a beach.
J. Geophysical Research, Vol. 94, No. C4, pp. 4785-4800.

LITERATUUR (vervolg)

Spanhoff, R., Borst, J.C., Van Heuvel, T., De Kok, J. en Sloekers, A. (1987).
Baggerstorting bij Scheveningen.
Rijkswaterstaat, Nota GWAO-87.269.

Stive, M.J.F. en De Vriend, H.J. (1987).
Quasi-3D nearshore current modelling: wave-induced secondary current.
Proc. ASCE Conference on Coastal Hydrodynamics, Delaware, 1987, p. 356.

Vincent, C.E., Young, R.A. en Swift, D.J.P. (1983).
Sediment transport on the Long Island shoreface, North American Atlantic Shelf: role of waves and currents in shoreface maintenance.
Continental Shelf Research, Vol. 2, Nos 2/3, pp. 163-181.

Windrichtings-sector (°)	Golfrichting (°)	Frequentie van voorkomen		
		L.E. Goeree	M.P. Noordwijk	Eierland
180-210	222	.117	.098	.097
210-240	246	.181	.180	.122
240-270	269	.113	.109	.111
270-300	293	.086	.089	.089
300-330	316	.071	.100	.076
330-360	334	.063	.061	.070
0- 30	350	.065	.060	.059
30- 60	6	.083	.067	.073
Totaal aanlandige golfrichtingen		.778	.764	.697
Overige		.222	.236	.303

Tabel 1 Golfrichting en frequentie van voorkomen per windrichtingssector voor drie meetstations

Tabel Golfklimaat Lichteiland Goeree
8 richtings-, 10 hoogteklassen

Windrichtingssector 180-210 gr. thetar = 222 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	3.97	-.21	42.0	1.719
.75	4.26	-.07	42.0	4.212
1.25	4.41	.07	42.0	3.258
1.75	4.84	.21	42.0	1.440
2.25	5.56	.36	42.0	.693
2.75	5.88	.50	42.0	.288
3.25	6.00	.64	42.0	.063
3.75	6.00	.79	42.0	.027
4.25	6.00	.93	42.0	.000
4.75	6.00	1.07	42.0	.000

Windrichtingssector 210-240 gr. thetar = 246 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.05	-.21	66.0	1.819
.75	4.25	-.07	66.0	5.601
1.25	4.38	.07	66.0	5.070
1.75	4.89	.21	66.0	3.125
2.25	5.49	.36	66.0	1.342
2.75	5.89	.50	66.0	.847
3.25	6.00	.64	66.0	.225
3.75	6.29	.79	66.0	.063
4.25	6.00	.93	66.0	.009
4.75	6.00	1.07	66.0	.000

Windrichtingssector 240-270 gr. thetar = 269 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.06	-.21	89.0	1.120
.75	4.23	-.07	89.0	3.089
1.25	4.52	.07	89.0	2.764
1.75	5.16	.21	89.0	2.014
2.25	5.69	.36	89.0	1.147
2.75	5.95	.50	89.0	.705
3.25	6.00	.64	89.0	.226
3.75	6.53	.79	89.0	.135
4.25	7.14	.93	89.0	.063
4.75	7.00	1.07	89.0	.036

Windrichtingssector 270-300 gr. thetar = 293 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.04	-.21	113.0	.957
.75	4.24	-.07	113.0	1.859
1.25	4.57	.07	113.0	1.823
1.75	5.38	.21	113.0	1.507
2.25	5.80	.36	113.0	1.002
2.75	5.97	.50	113.0	.632
3.25	6.08	.64	113.0	.451
3.75	6.11	.79	113.0	.162
4.25	6.67	.93	113.0	.135
4.75	8.00	1.07	113.0	.072

Windrichtingssector 300-330 gr. thetar = 316 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	3.95	-.21	136.0	.716
.75	4.41	-.07	136.0	1.723
1.25	4.55	.07	136.0	1.705
1.75	5.24	.21	136.0	1.297
2.25	5.93	.36	136.0	.753
2.75	6.00	.50	136.0	.472
3.25	6.08	.64	136.0	.236
3.75	6.50	.79	136.0	.145
4.25	7.33	.93	136.0	.054
4.75	7.33	1.07	136.0	.000

Windrichtingssector 330-360 gr. thetar = 334 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.00	-.21	154.0	.752
.75	4.43	-.07	154.0	1.611
1.25	4.65	.07	154.0	1.503
1.75	5.34	.21	154.0	.975
2.25	5.95	.36	154.0	.689
2.75	6.00	.50	154.0	.313
3.25	6.13	.64	154.0	.286
3.75	6.60	.79	154.0	.089
4.25	7.60	.93	154.0	.045
4.75	8.00	1.07	154.0	.036

Windrichtingssector 000-030 gr. thetar = 350 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	3.98	-.21	170.0	1.024
.75	4.40	-.07	170.0	2.520
1.25	4.64	.07	170.0	1.777
1.75	5.29	.21	170.0	.743
2.25	5.62	.36	170.0	.236
2.75	6.00	.50	170.0	.091
3.25	6.29	.64	170.0	.063
3.75	7.00	.79	170.0	.036
4.25	7.00	.93	170.0	.000
4.75	8.00	1.07	170.0	.009

Windrichtingssector 030-060 gr. thetar = 6 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.05	-.21	186.0	1.754
.75	4.43	-.07	186.0	2.758
1.25	4.68	.07	186.0	2.233
1.75	5.20	.21	186.0	.841
2.25	5.82	.36	186.0	.398
2.75	6.00	.50	186.0	.235
3.25	6.67	.64	186.0	.027
3.75	6.80	.79	186.0	.045
4.25	6.00	.93	186.0	.009
4.75	6.00	1.07	186.0	.000

Tabel 2 Golfklimaat Lichteiland Goeree; 8 richtings-, 10 hoogteklassen

Tabel Golfklimaat Meetpost Noordwijk
8 richtings-, 10 hoogteklassen

Windrichtingssector 180-210 gr. thetar = 222 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.17	-.21	42.0	2.270
.75	4.35	-.07	42.0	4.200
1.25	4.57	.07	42.0	2.087
1.75	5.31	.21	42.0	.809
2.25	5.89	.36	42.0	.322
2.75	6.00	.50	42.0	.087
3.25	6.00	.64	42.0	.017
3.75	8.00	.79	42.0	.000
4.25	8.00	.93	42.0	.009
4.75	8.00	1.07	42.0	.000

Windrichtingssector 210-240 gr. thetar = 246 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.13	-.21	66.0	2.318
.75	4.33	-.07	66.0	6.035
1.25	4.50	.07	66.0	4.828
1.75	5.27	.21	66.0	3.004
2.25	5.94	.36	66.0	1.259
2.75	6.04	.50	66.0	.391
3.25	6.00	.64	66.0	.156
3.75	8.00	.79	66.0	.009
4.25	8.00	.93	66.0	.000
4.75	8.00	1.07	66.0	.000

Windrichtingssector 240-270 gr. thetar = 269 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.07	-.21	89.0	1.197
.75	4.28	-.07	89.0	3.476
1.25	4.72	.07	89.0	2.585
1.75	5.60	.21	89.0	1.782
2.25	6.02	.36	89.0	1.057
2.75	6.04	.50	89.0	.454
3.25	6.21	.64	89.0	.166
3.75	7.00	.79	89.0	.122
4.25	7.67	.93	89.0	.052
4.75	8.00	1.07	89.0	.009

Windrichtingssector 270-300 gr. thetar = 293 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.21	-.21	113.0	1.213
.75	4.49	-.07	113.0	2.071
1.25	4.79	.07	113.0	1.768
1.75	5.79	.21	113.0	1.465
2.25	6.00	.36	113.0	1.031
2.75	6.00	.50	113.0	.667
3.25	6.46	.64	113.0	.303
3.75	7.04	.79	113.0	.234
4.25	7.43	.93	113.0	.061
4.75	8.00	1.07	113.0	.087

Windrichtingssector 300-330 gr. thetar = 316 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.37	-.21	136.0	1.278
.75	4.53	-.07	136.0	2.348
1.25	4.95	.07	136.0	2.409
1.75	5.76	.21	136.0	1.513
2.25	6.05	.36	136.0	1.148
2.75	6.08	.50	136.0	.678
3.25	6.61	.64	136.0	.287
3.75	7.33	.79	136.0	.209
4.25	8.00	.93	136.0	.061
4.75	8.00	1.07	136.0	.070

Windrichtingssector 330-360 gr. thetar = 334 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.09	-.21	154.0	.953
.75	4.59	-.07	154.0	1.811
1.25	4.94	.07	154.0	1.239
1.75	5.47	.21	154.0	1.040
2.25	6.00	.36	154.0	.485
2.75	6.00	.50	154.0	.295
3.25	6.71	.64	154.0	.147
3.75	7.33	.79	154.0	.052
4.25	8.00	.93	154.0	.043
4.75	8.00	1.07	154.0	.035

Windrichtingssector 000-030 gr. thetar = 350 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.11	-.21	170.0	1.385
.75	4.42	-.07	170.0	2.464
1.25	4.70	.07	170.0	1.298
1.75	5.07	.21	170.0	.618
2.25	6.00	.36	170.0	.113
2.75	6.33	.50	170.0	.052
3.25	7.33	.64	170.0	.026
3.75	6.67	.79	170.0	.026
4.25	8.00	.93	170.0	.017
4.75	8.00	1.07	170.0	.000

Windrichtingssector 030-060 gr. thetar = 6 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.21	-.21	186.0	1.596
.75	4.48	-.07	186.0	2.861
1.25	4.72	.07	186.0	1.666
1.75	5.58	.21	186.0	.375
2.25	6.17	.36	186.0	.105
2.75	6.18	.50	186.0	.096
3.25	6.00	.64	186.0	.000
3.75	6.00	.79	186.0	.000
4.25	6.00	.93	186.0	.000
4.75	6.00	1.07	186.0	.000

Tabel 3 Golfklimaat Meetpost Noordwijk; 8 richtings-, 10 hoogteklassen

Tabel Golfklimaat Eierland
8 richtings-, 10 hoogteklassen

Windrichtingssector 180-210 gr. thetar = 222 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.35	-.21	42.0	1.056
.75	4.49	-.07	42.0	2.991
1.25	4.80	.07	42.0	2.273
1.75	5.43	.21	42.0	1.648
2.25	5.90	.36	42.0	.972
2.75	6.00	.50	42.0	.465
3.25	6.00	.64	42.0	.220
3.75	6.67	.79	42.0	.051
4.25	6.67	.93	42.0	.025
4.75	7.00	1.07	42.0	.000

Windrichtingssector 210-240 gr. thetar = 246 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.13	-.21	66.0	1.069
.75	4.52	-.07	66.0	3.105
1.25	4.80	.07	66.0	2.961
1.75	5.45	.21	66.0	2.138
2.25	5.99	.36	66.0	1.442
2.75	6.00	.50	66.0	.891
3.25	6.08	.64	66.0	.433
3.75	6.11	.79	66.0	.153
4.25	8.00	.93	66.0	.009
4.75	8.00	1.07	66.0	.000

Windrichtingssector 240-270 gr. thetar = 269 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.35	-.21	89.0	.828
.75	4.52	-.07	89.0	2.585
1.25	4.92	.07	89.0	2.636
1.75	5.70	.21	89.0	2.112
2.25	6.01	.36	89.0	1.352
2.75	6.04	.50	89.0	.752
3.25	6.13	.64	89.0	.397
3.75	6.61	.79	89.0	.194
4.25	8.00	.93	89.0	.118
4.75	8.00	1.07	89.0	.127

Windrichtingssector 270-300 gr. thetar = 293 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.36	-.21	113.0	.699
.75	4.77	-.07	113.0	1.701
1.25	5.04	.07	113.0	1.743
1.75	5.77	.21	113.0	1.549
2.25	6.03	.36	113.0	1.162
2.75	6.12	.50	113.0	.842
3.25	6.21	.64	113.0	.480
3.75	6.79	.79	113.0	.278
4.25	7.85	.93	113.0	.227
4.75	8.00	1.07	113.0	.219

Windrichtingssector 300-330 gr. thetar = 316 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.49	-.21	136.0	.691
.75	4.78	-.07	136.0	1.247
1.25	5.19	.07	136.0	1.643
1.75	5.89	.21	136.0	1.660
2.25	6.06	.36	136.0	1.062
2.75	6.29	.50	136.0	.632
3.25	6.49	.64	136.0	.413
3.75	7.13	.79	136.0	.135
4.25	8.00	.93	136.0	.084
4.75	8.00	1.07	136.0	.034

Windrichtingssector 330-360 gr. thetar = 334 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.27	-.21	154.0	.870
.75	4.90	-.07	154.0	1.495
1.25	5.25	.07	154.0	1.604
1.75	5.86	.21	154.0	1.224
2.25	6.09	.36	154.0	.920
2.75	6.19	.50	154.0	.456
3.25	6.80	.64	154.0	.211
3.75	7.50	.79	154.0	.101
4.25	8.00	.93	154.0	.068
4.75	8.00	1.07	154.0	.051

Windrichtingssector 000-030 gr. thetar = 350 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.20	-.21	170.0	.672
.75	4.63	-.07	170.0	1.930
1.25	5.20	.07	170.0	1.692
1.75	5.81	.21	170.0	.799
2.25	6.04	.36	170.0	.383
2.75	6.30	.50	170.0	.230
3.25	6.67	.64	170.0	.102
3.75	7.60	.79	170.0	.042
4.25	8.00	.93	170.0	.034
4.75	8.00	1.07	170.0	.017

Windrichtingssector 030-060 gr. thetar = 6 gr.

Hs	Tm01	w.s.	richting	perc.
(m)	(s)	(m)	(gr)	(%)
.25	4.28	-.21	186.0	.977
.75	4.65	-.07	186.0	3.034
1.25	4.97	.07	186.0	2.057
1.75	5.76	.21	186.0	.858
2.25	5.92	.36	186.0	.204
2.75	6.40	.50	186.0	.085
3.25	6.86	.64	186.0	.059
3.75	7.00	.79	186.0	.017
4.25	8.00	.93	186.0	.008
4.75	8.00	1.07	186.0	.000

Tabel 4 Golfklimaat Eierland; 8 richtings-, 10 hoogteklassen

Tabel Getijconstanten verticaal getij

plaats	x	a0	aM2	gM2	aM4	gM4
	km	m	m	gr	m	gr
Den Helder	0	0.00	0.65	191	0.11	222
Scheveningen	55	0.02	0.68	129	0.20	183
Hoek va Holland	118	0.08	0.78	85	0.17	161

Tabel Getijconstanten langs-getijstroom

plaats	x	u0	uM2	guM2	uM4	guM4
	km	m/s	m/s	gr	m/s	gr
	-10	0.00	0.80	87	0.20	174
	25	0.00	0.50	65	0.10	130
	91	0.00	0.50	44	0.05	87
	103	0.00	0.50	44	0.05	87
	148	0.00	0.80	29	0.00	0

Tabel Getijconstanten dwars-getijstroom

plaats	x	v0	vM2	gvM2	vM4	gvM4
	km	m/s	m/s	gr	m/s	gr
	-10	0.00	0.08	-3	0.00	0
	25	0.00	0.05	-24	0.00	0
	91	0.00	0.05	-46	0.00	0
	103	0.00	0.05	-46	0.00	0
	148	0.00	0.08	-61	0.00	0

Tabel 5 Getijconstanten verticaal getij

Raai 14 orientatie : 105°

rep. richting: 108.0° verschil: -3.0°

diepte	x	langs f_w Nielsen	langs r = .05 m	dwars Nielsen	dwars r = .05 m
20	9000	13.8	14.0	13.8	5.2
15	7000	7.5	7.7	12.2	7.7
10	1500	4.0	4.0	27.9	29.4
8	1100	2.9	2.7	41.6	48.7
6	700	1.2	1.2		
5	500	.7	1.6		
4	400	.6	2.1		
2	200	61.4	24.7		

Tabel 6 Transporten raai 14, gevoeligheid voor ruwheidsformulering

Raai 40 orientatie : 97°

rep. richting: 108.6° verschil: -11.6°

diepte	x	langs	dwars
20	7500	5.8	4.3
16	2000	3.3	7.2
10	1000	- 1.1	22.1
8	800	- 5.0	26.9
6	600	-16.6	27.5
5	500	-25.2	
4	400	-31.8	
3	300	-29.4	
2	200	2.7	
1	100	9.3	

Tabel 7 Transporten raai 40

Raai 76 orientatie : 115°

rep. richting: 109.6° verschil: 5.4°

diepte	x	langs f_w Nielsen	langs r = .05 m	dwars f_w Nielsen	dwars r = .05 m
20	16000	6.0	6.7	4.2	3.9
16	3000	4.1	4.2	5.5	5.4
10	1900	2.4	2.3	21.2	22.8
8	1540	2.4	2.2	31.0	37.5
6	1180	3.3	3.0		
5	1000	5.1	5.2		
4	800	13.5	11.2		
2	400	49.0	31.5		

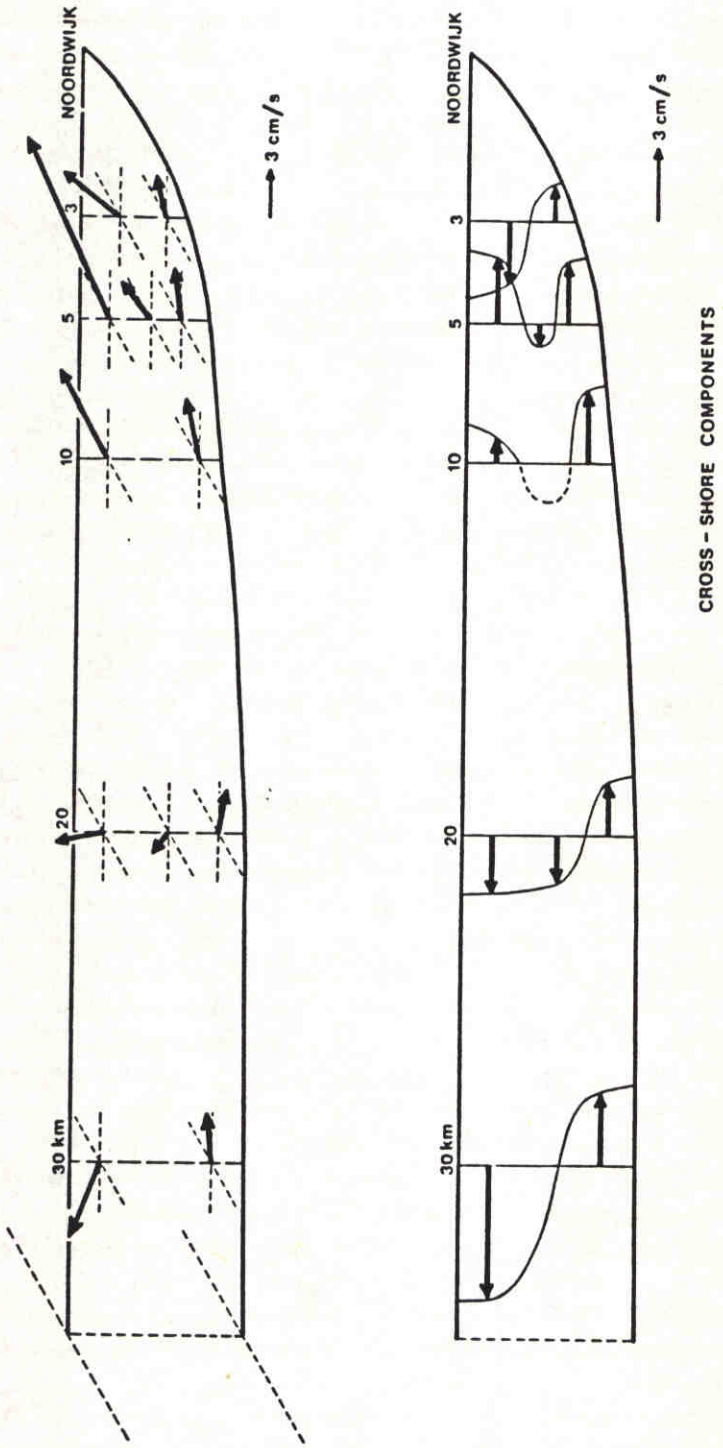
Tabel 8 Transporten raai 76; gevoeligheid voor ruwheidsformulering

Raai 103 orientatie : 132.5°

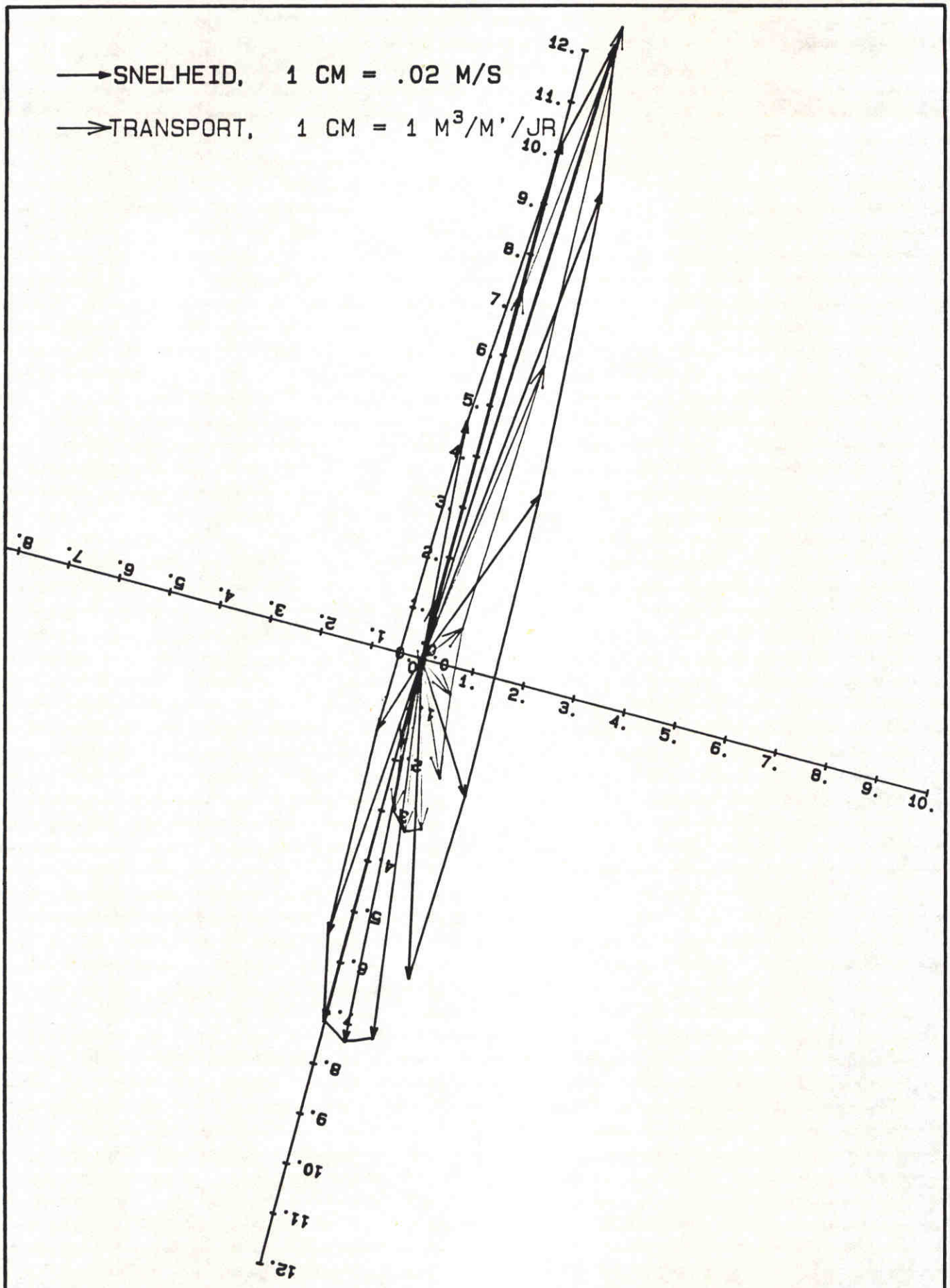
rep. richting: 108.9° verschil 23.6

diepte	x	langs f_w Nielsen	langs r = .05 m	dwars f_w Nielsen	dwars r = .05 m
21	10.000	5.5	5.5	3.0	2.9
15	3200	3.9	3.7	6.7	6.6
10	1000	5.1	4.6	18.3	19.9
8	800	7.8	6.7	23.6	30.1
6	600	16.3	13.3	23.5	44.7
5	500	27.2	21.1		
4	400	46.6	34.7		
2	200	135.6	78.4		
1	100	179.5			

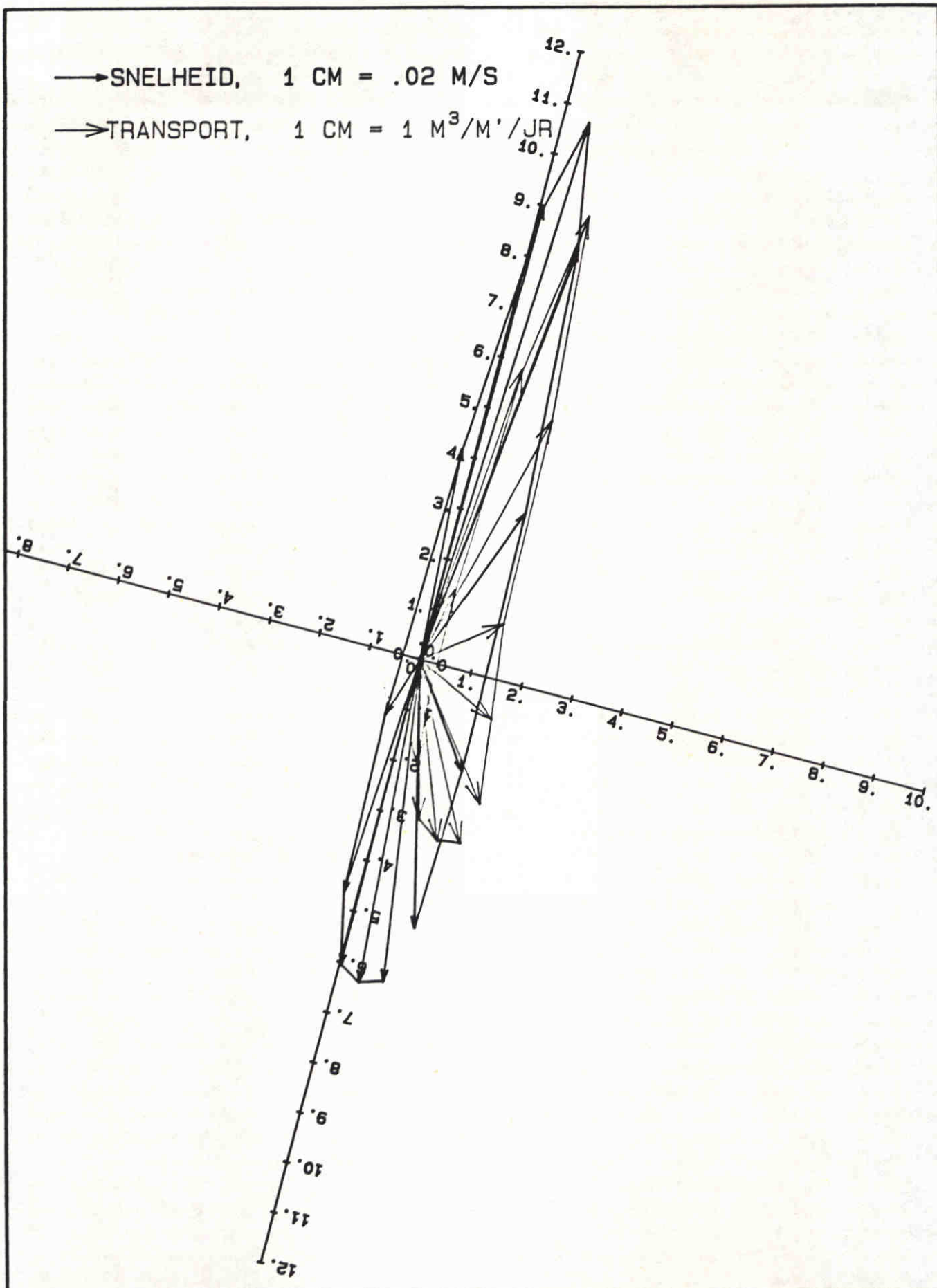
Tabel 9 Transporten raai 103; gevoeligheid voor ruwheidsformulering



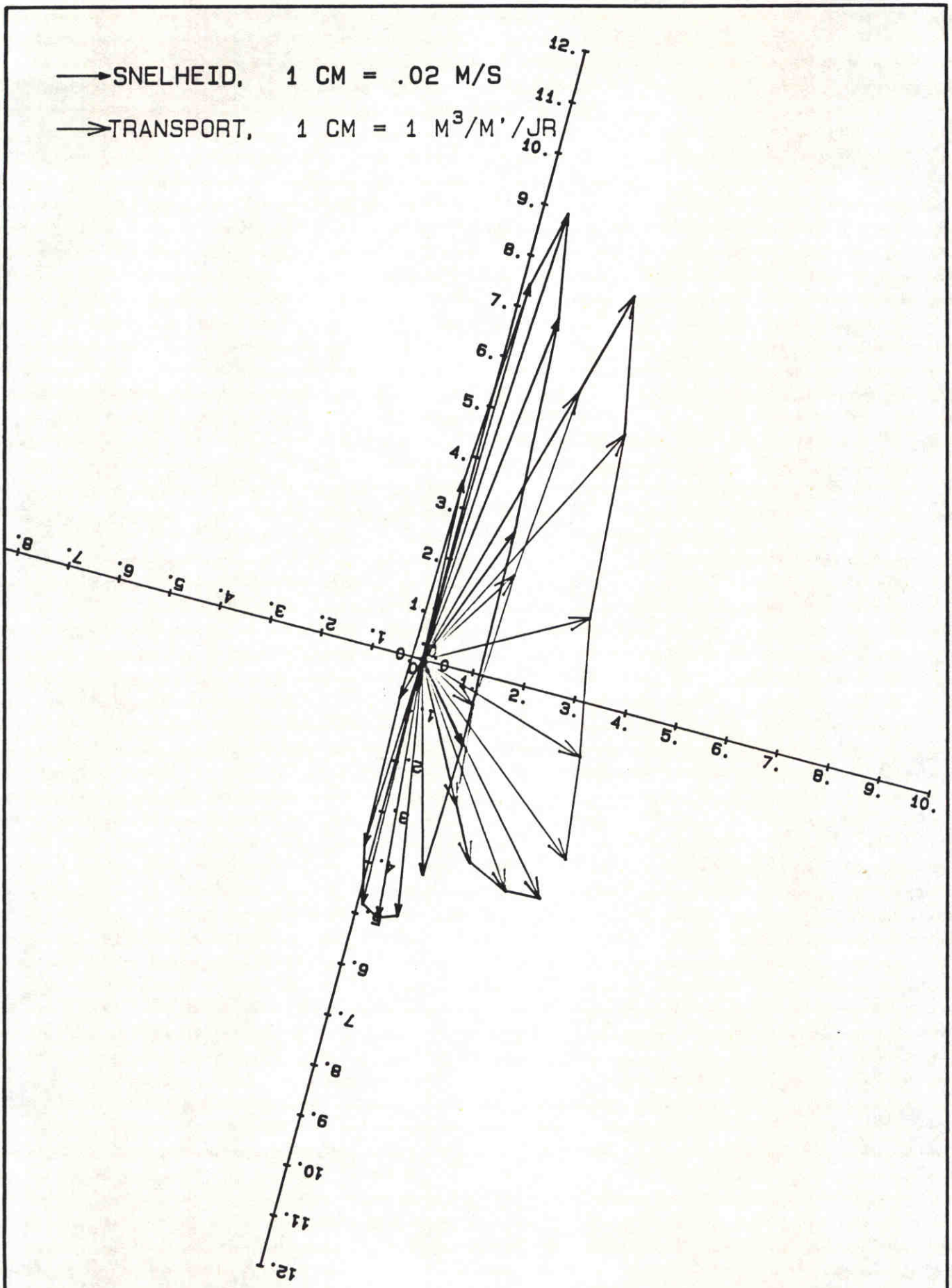
LANGDURIGE RESTSTROOM BEELD NAB'J NOORDW'IJK (v.d. GIESSEN, BORST c.s)		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	FIG. 1



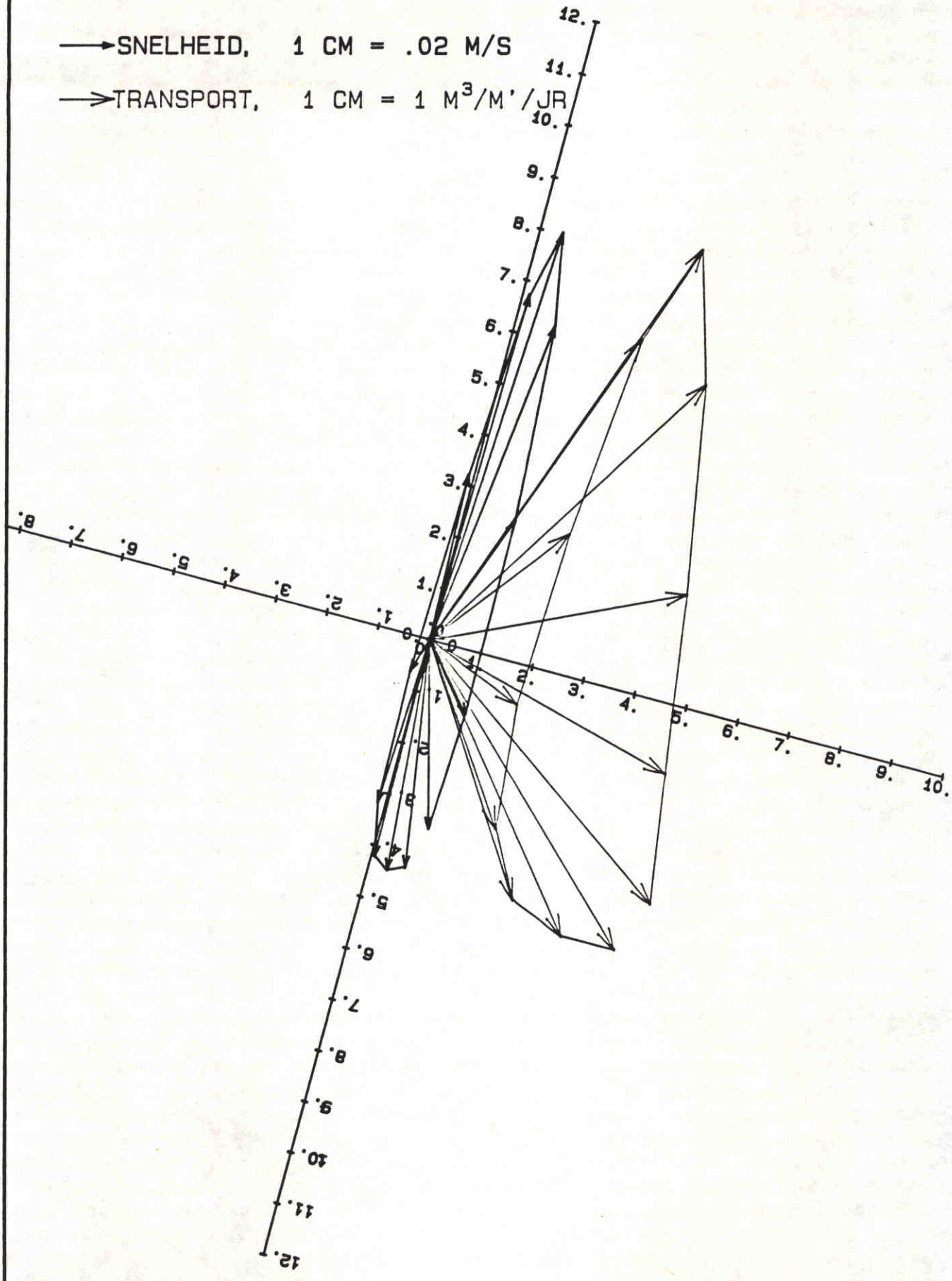
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R014 D20	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.2



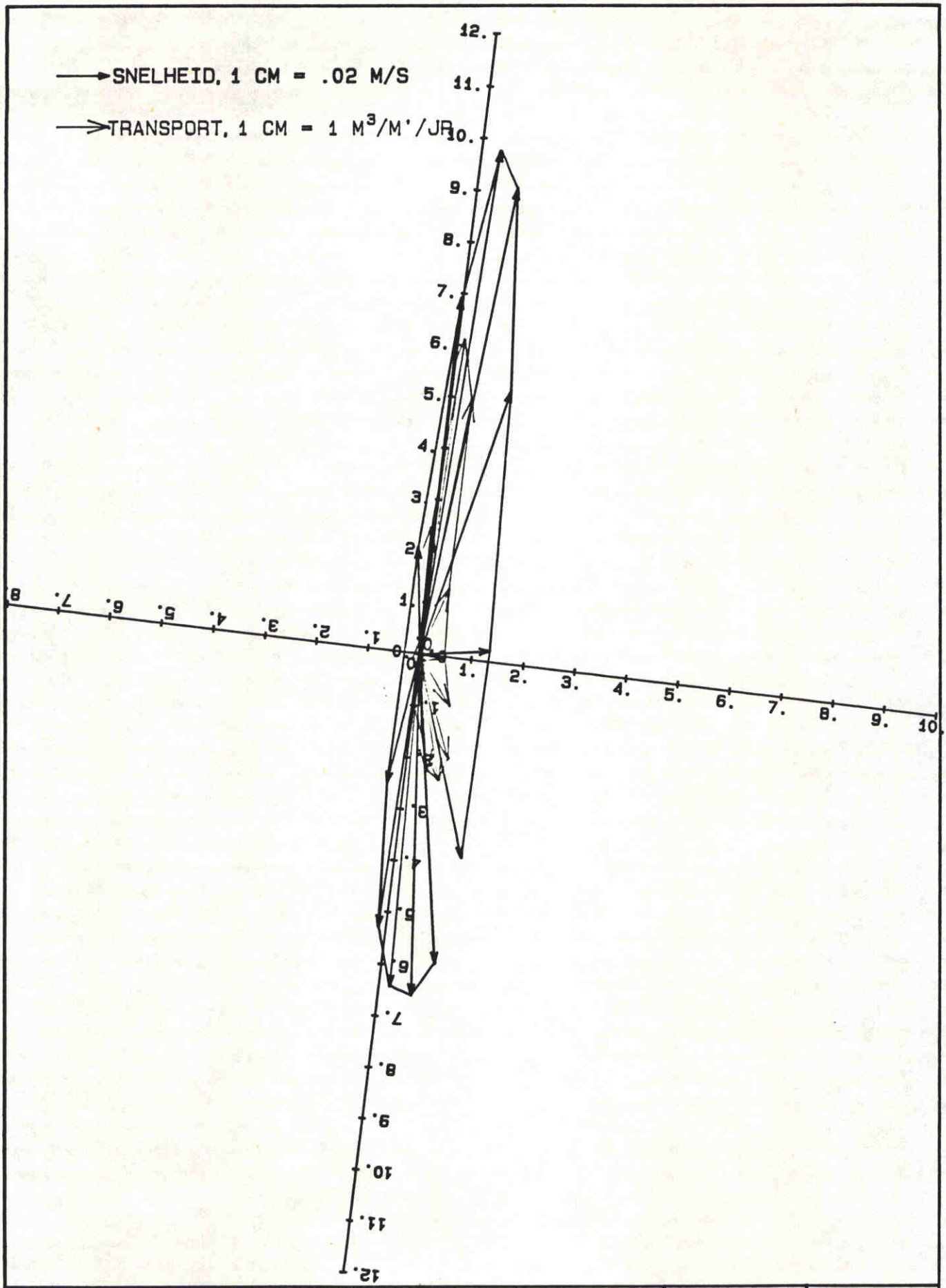
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R014 D15	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig. 3



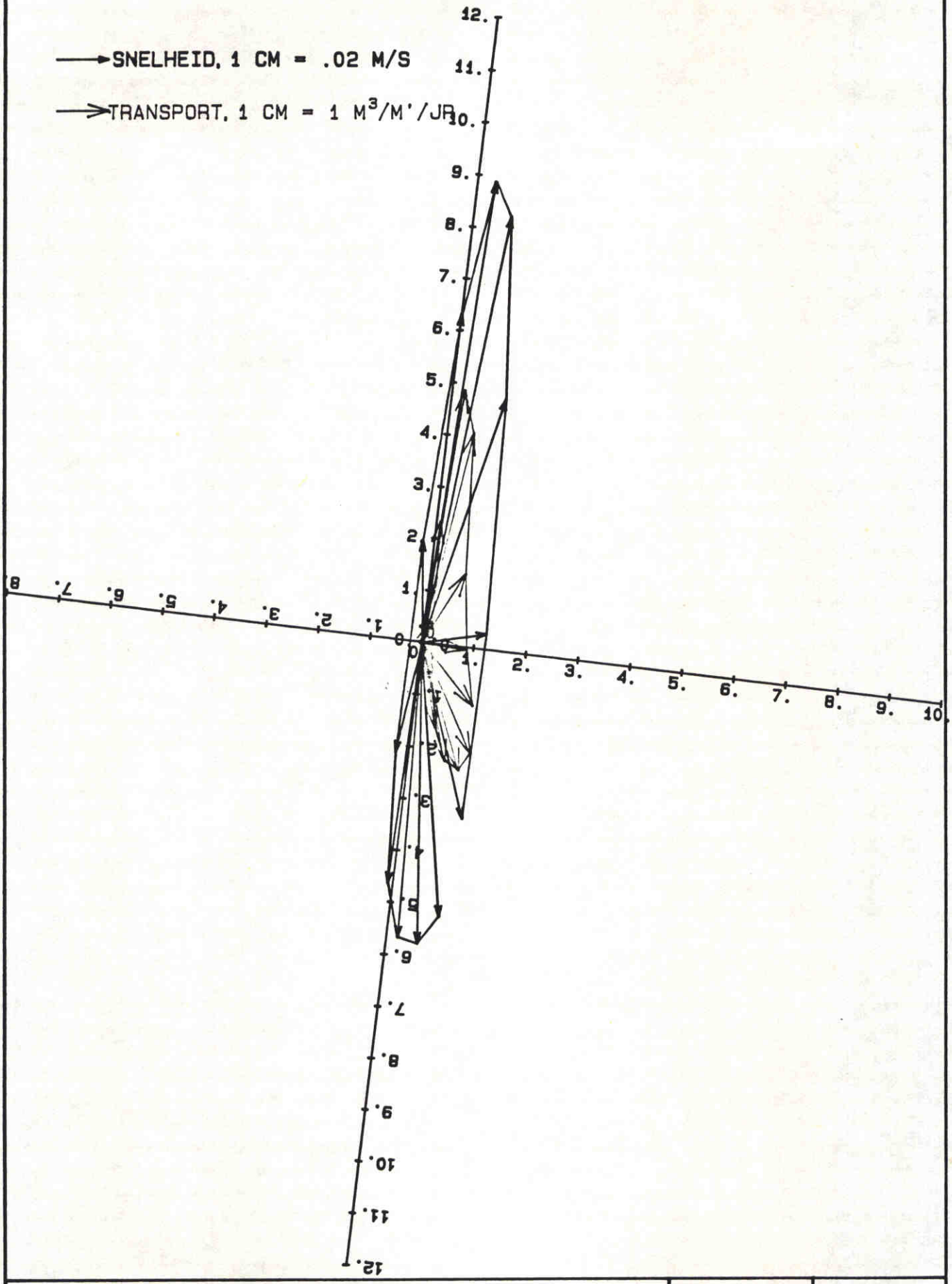
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R014 D10	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig. 4



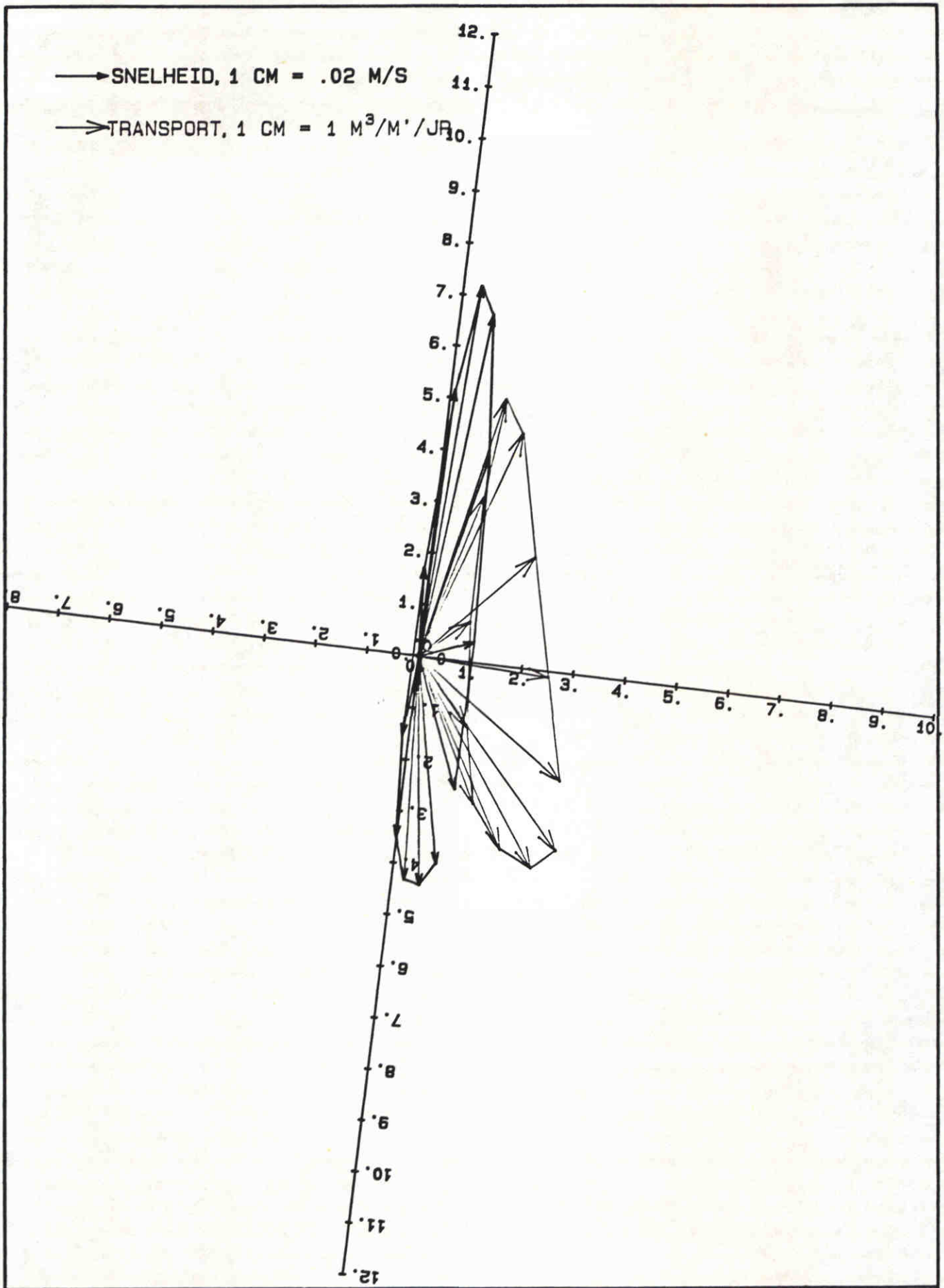
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE	R014 D08	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.5



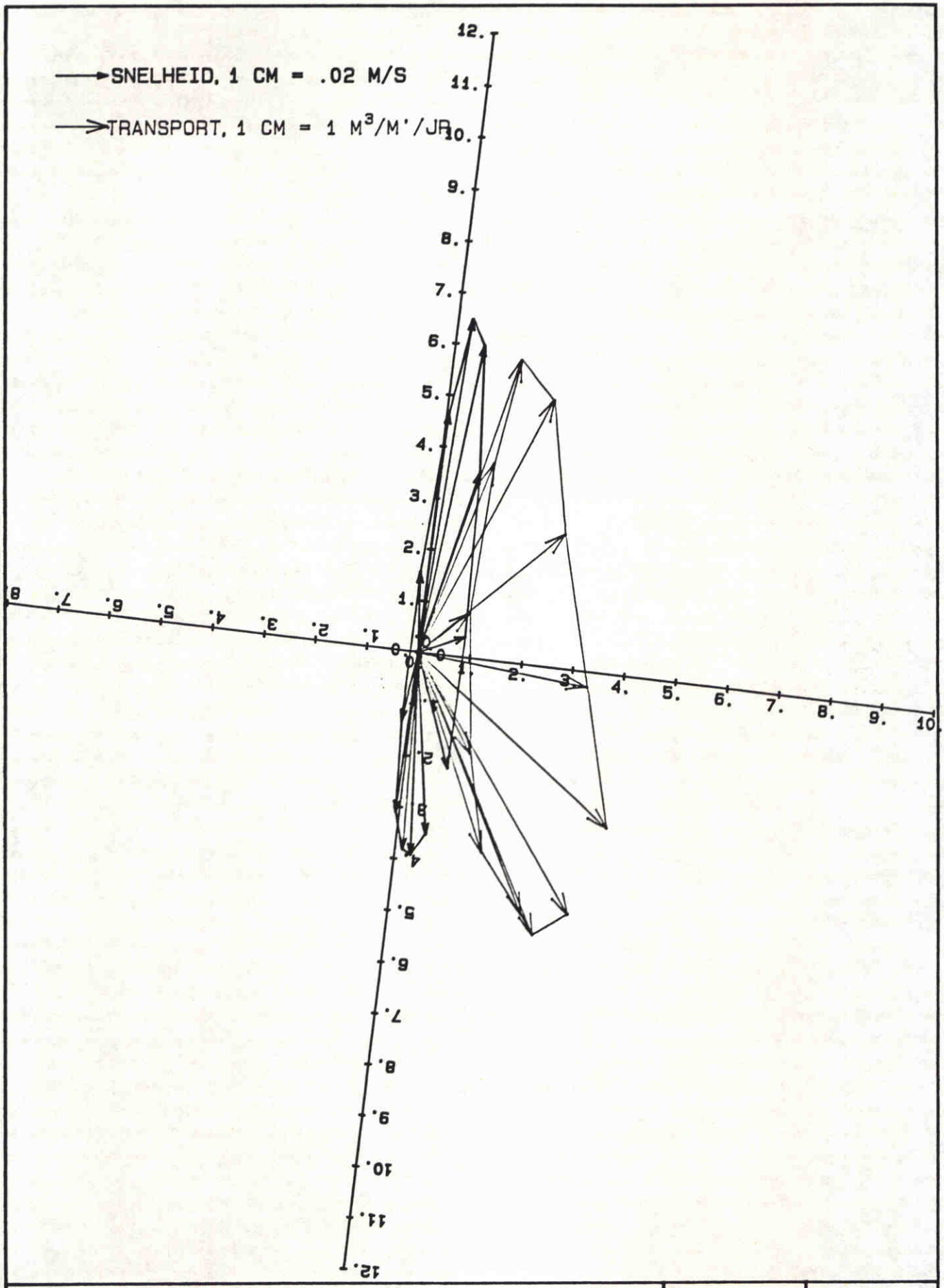
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R040 D20	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.6



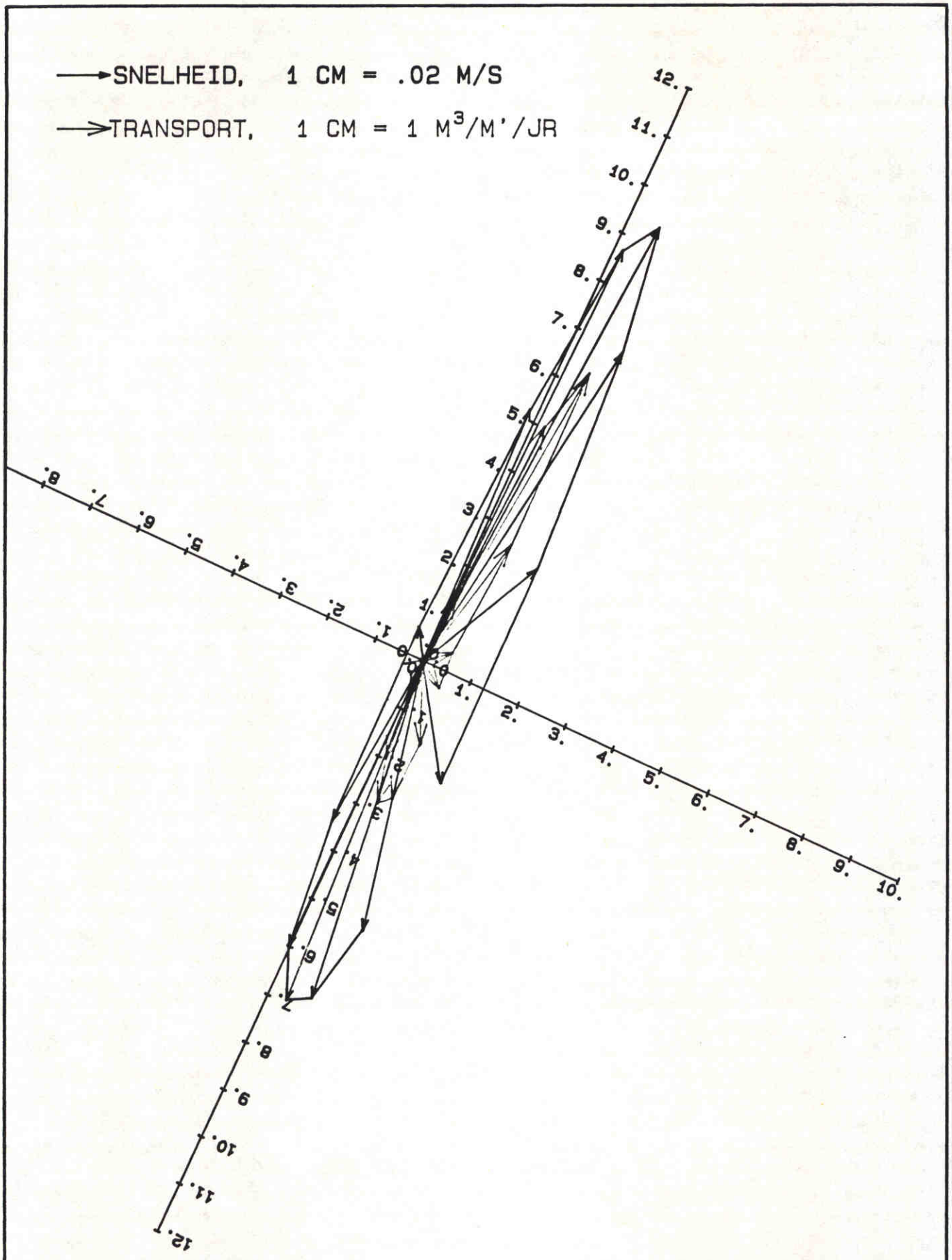
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R040 D16	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.7



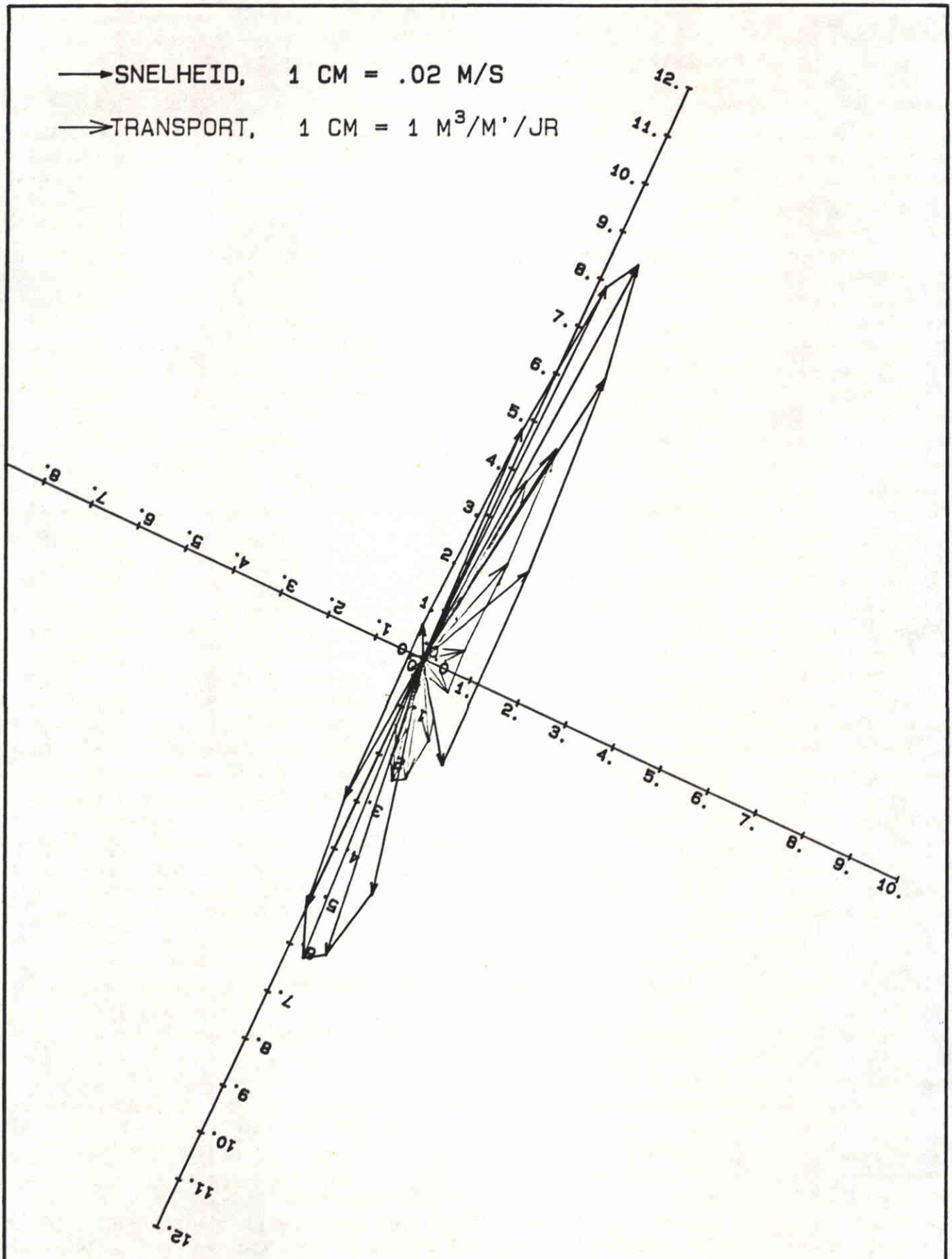
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R040 D10	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig. 8



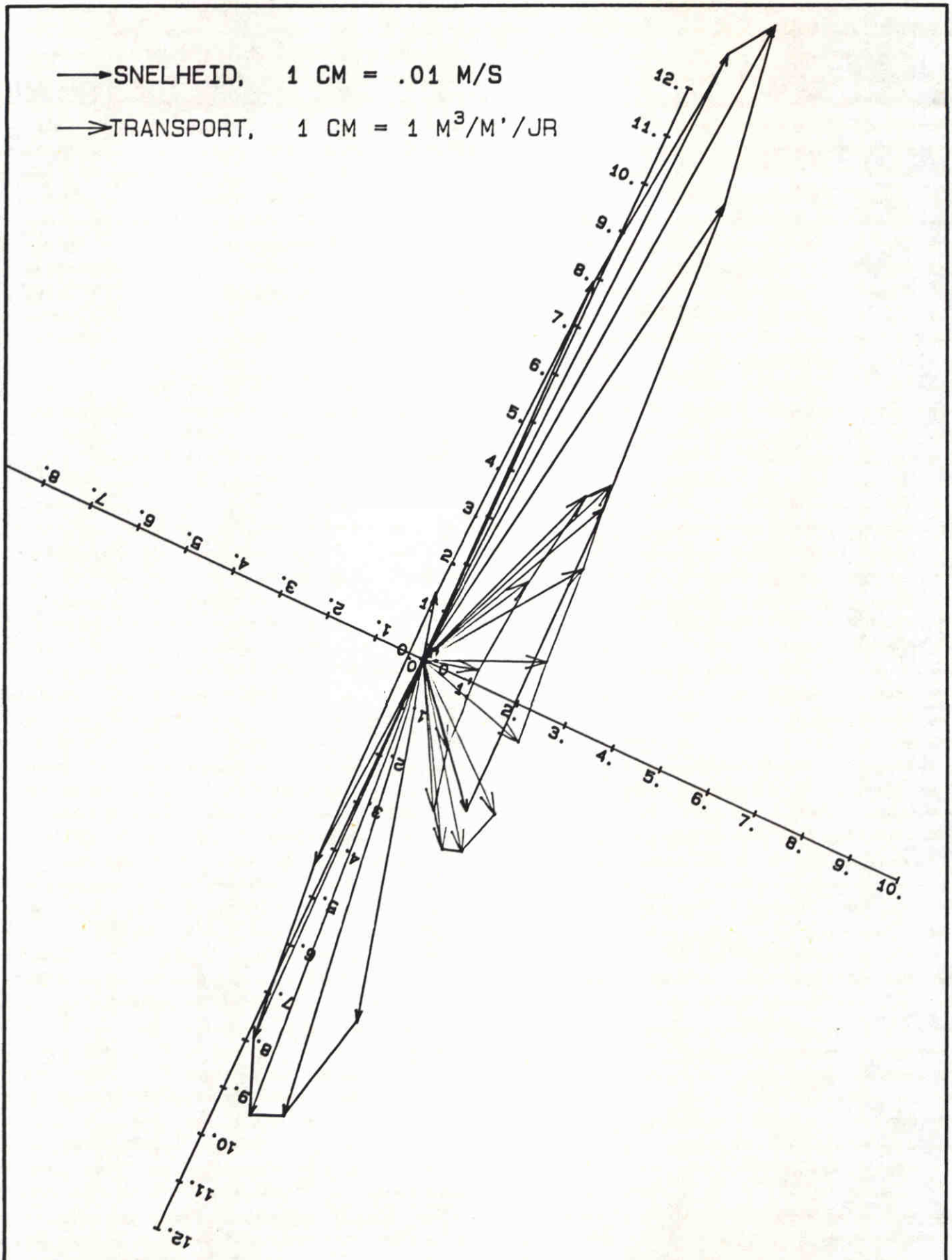
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R040 D08	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.9



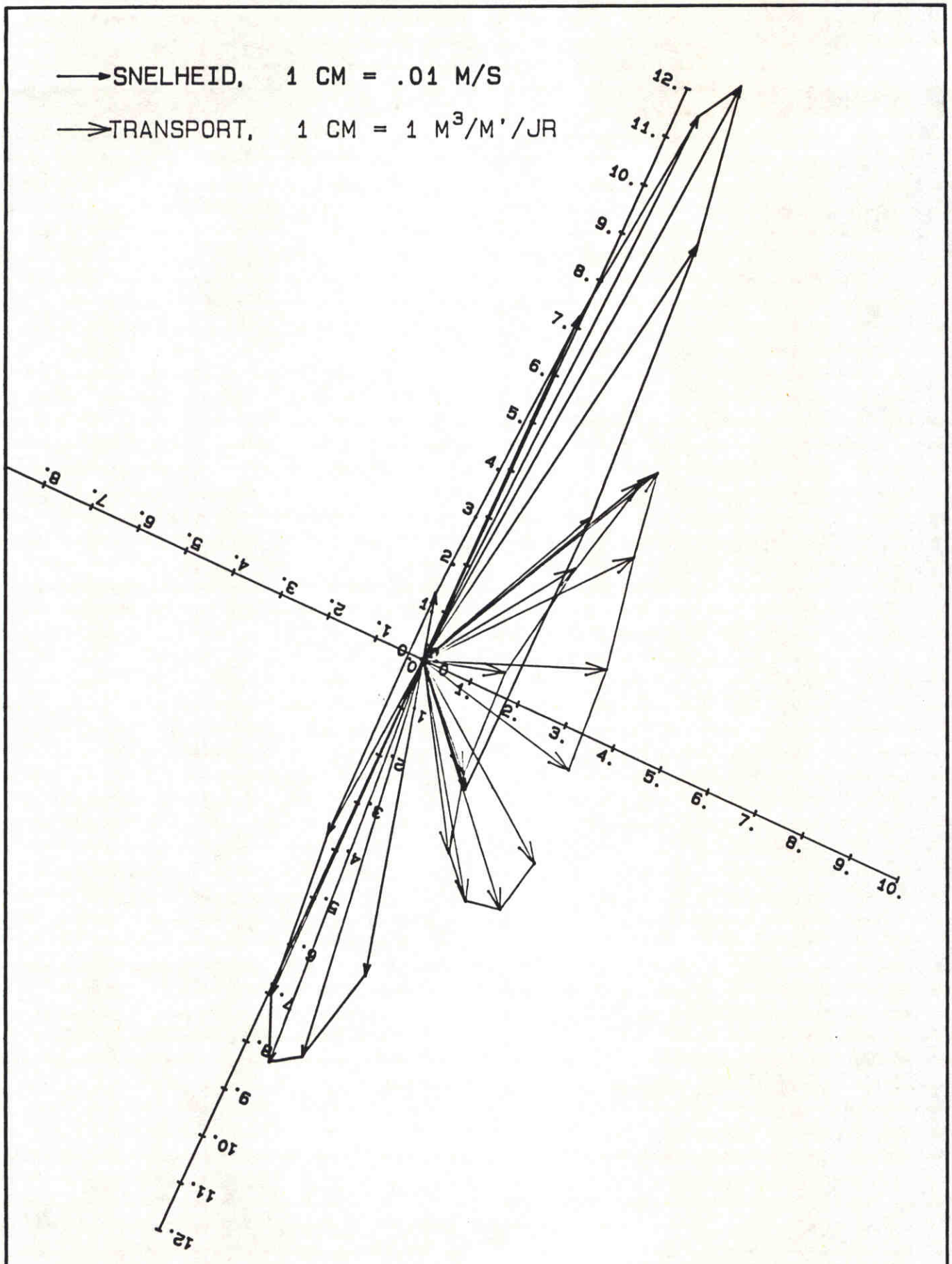
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R076 D20	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.10



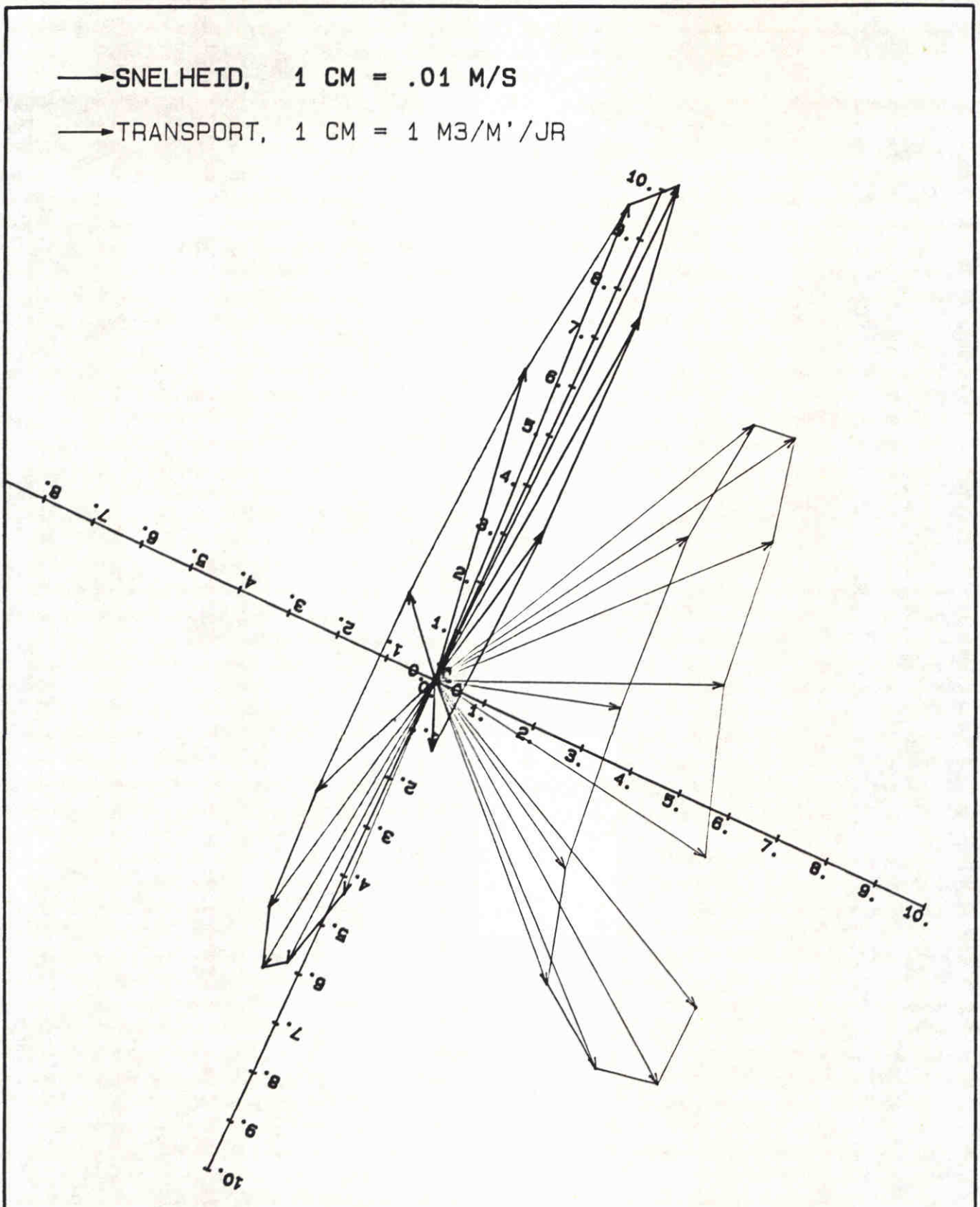
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE	R076 D16	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.11



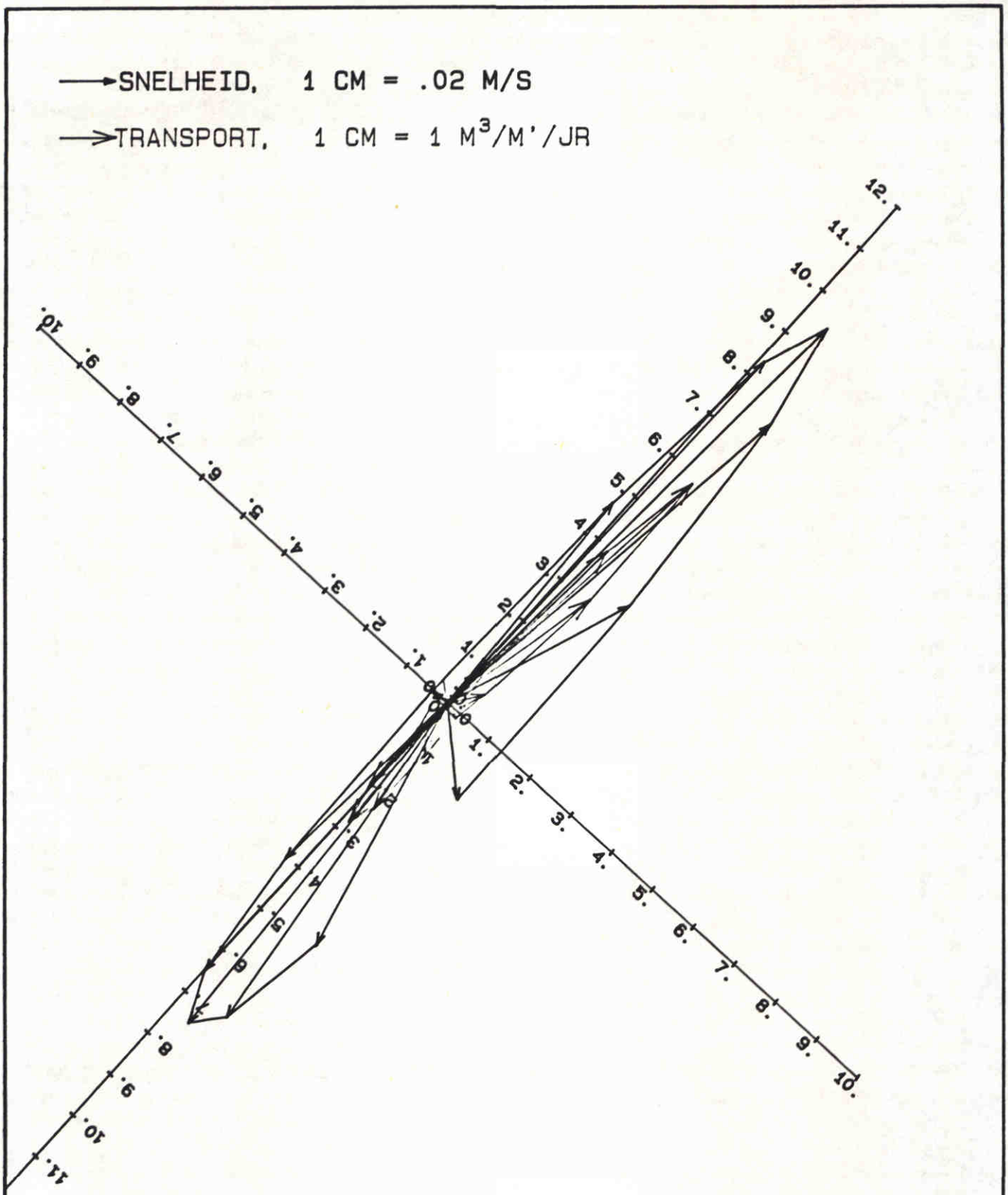
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R076 D10	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.12



TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE	R076 D08	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.13



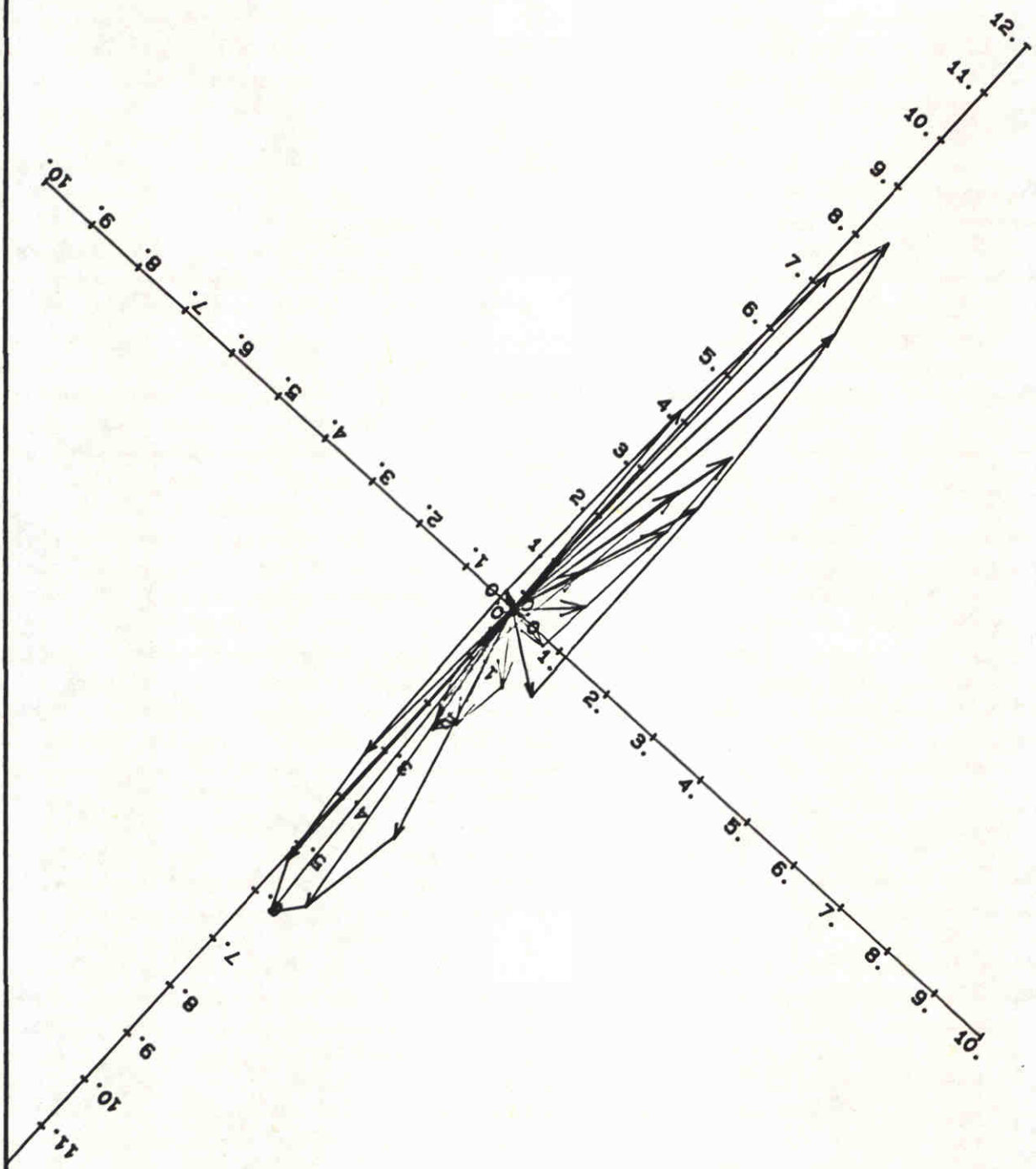
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R076 D05	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.14



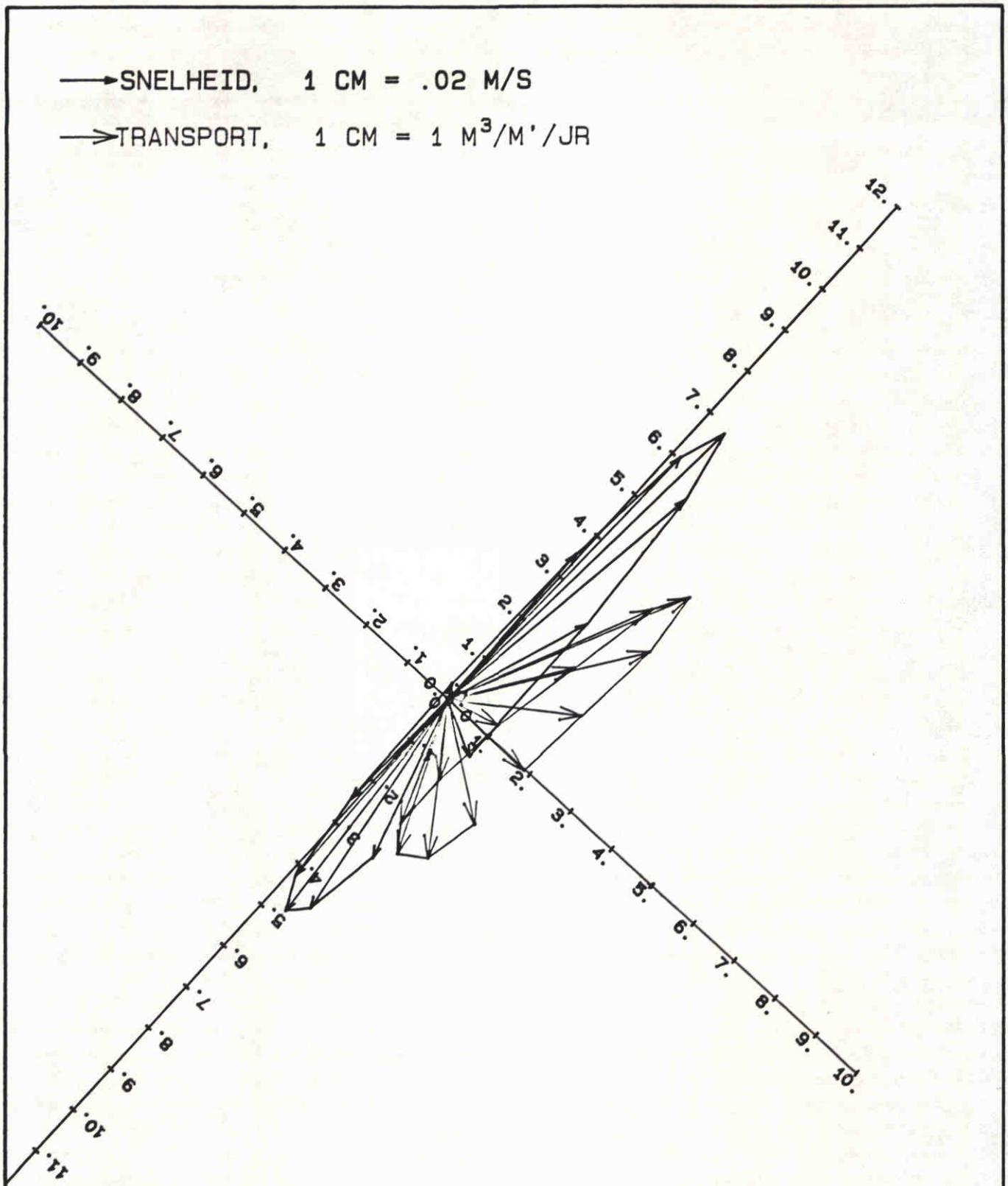
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R103 D21	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig. 15

→SNELHEID, 1 CM = .02 M/S

→TRANSPORT, 1 CM = 1 $M^3/M'/JR$



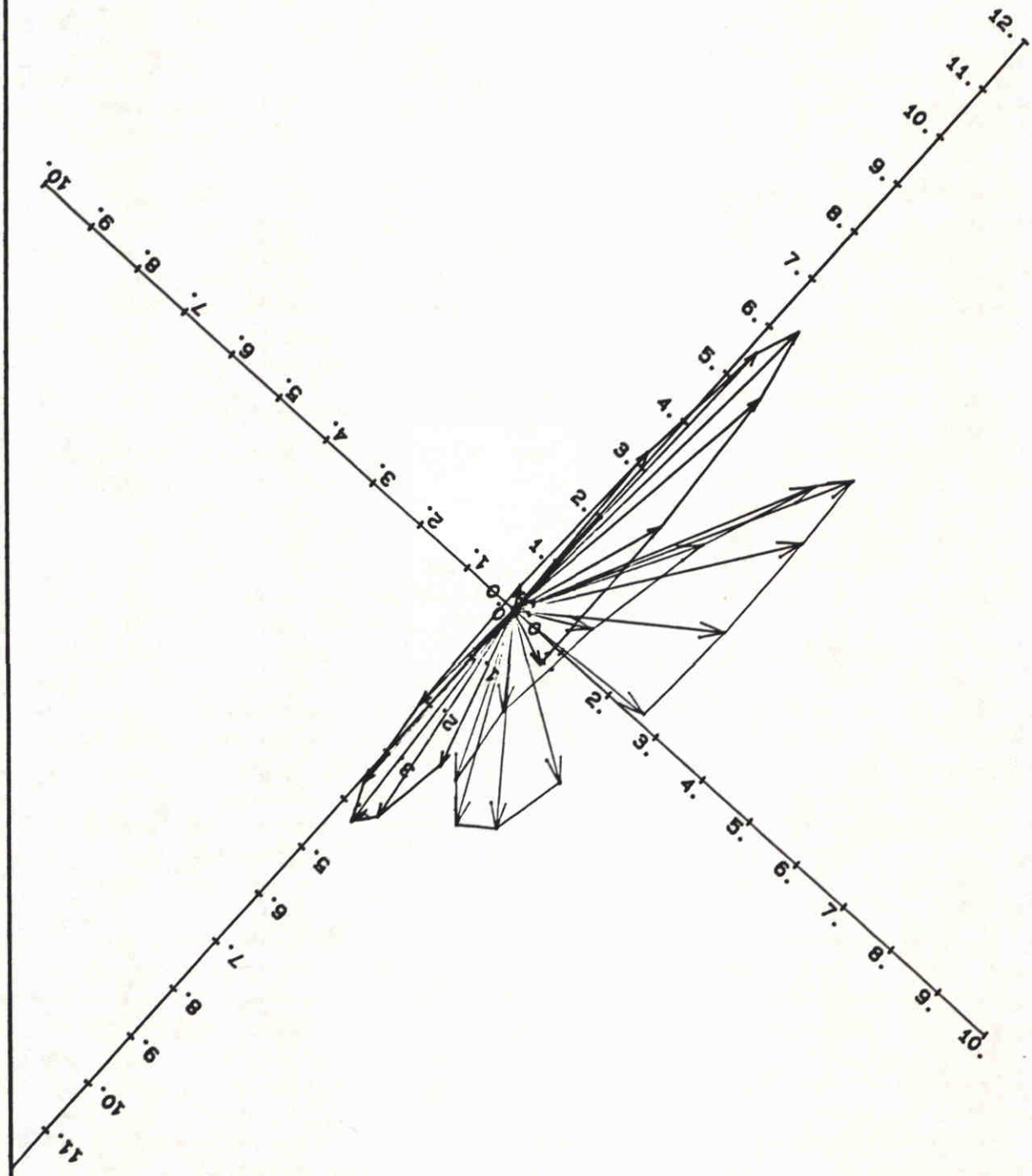
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE	R103 D15	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig.16



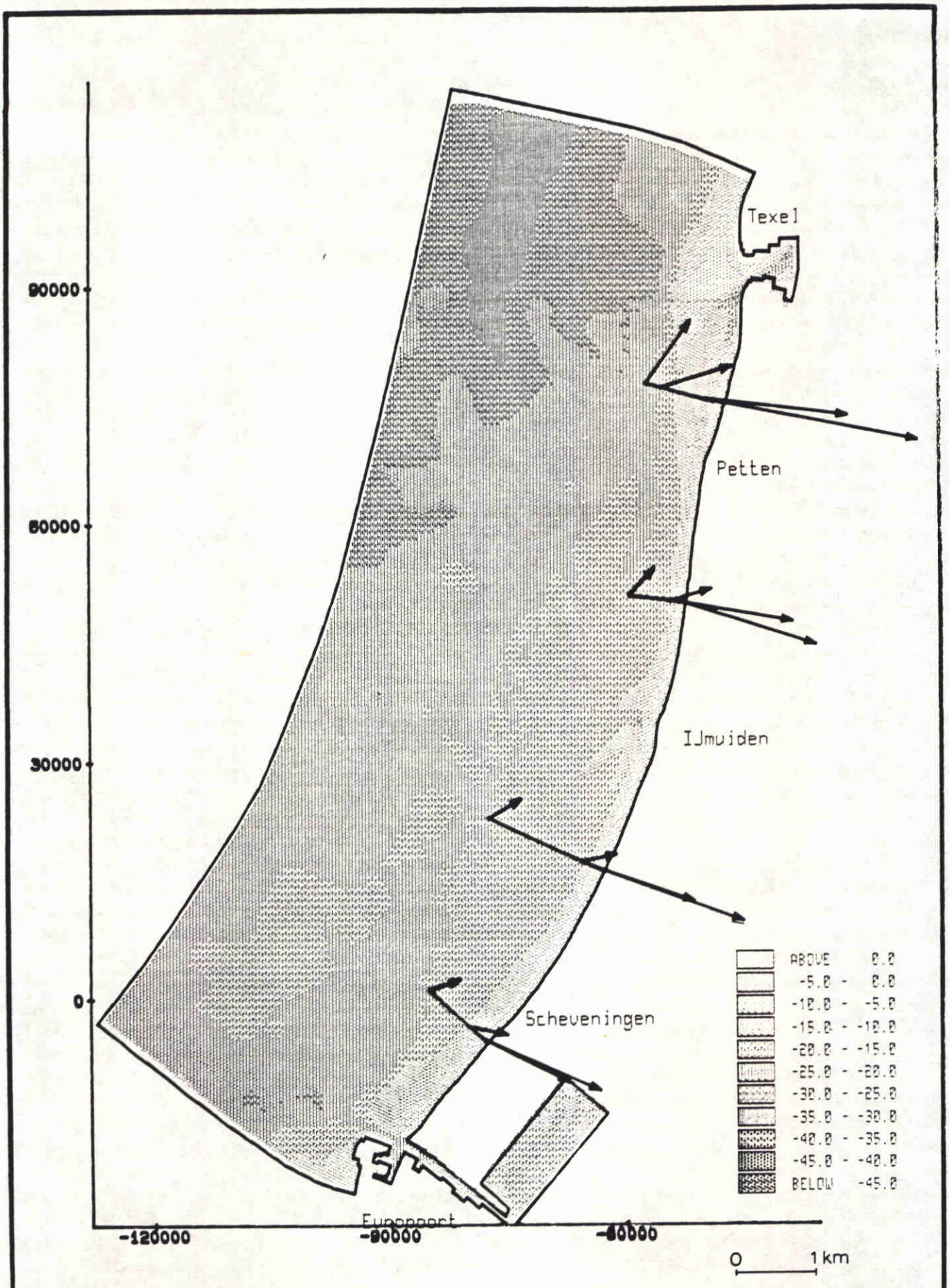
TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE	R103 D10	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825	Fig. 17

→SNELHEID, 1 CM = .02 M/S

→TRANSPORT, 1 CM = 1 $M^3/M'/JR$

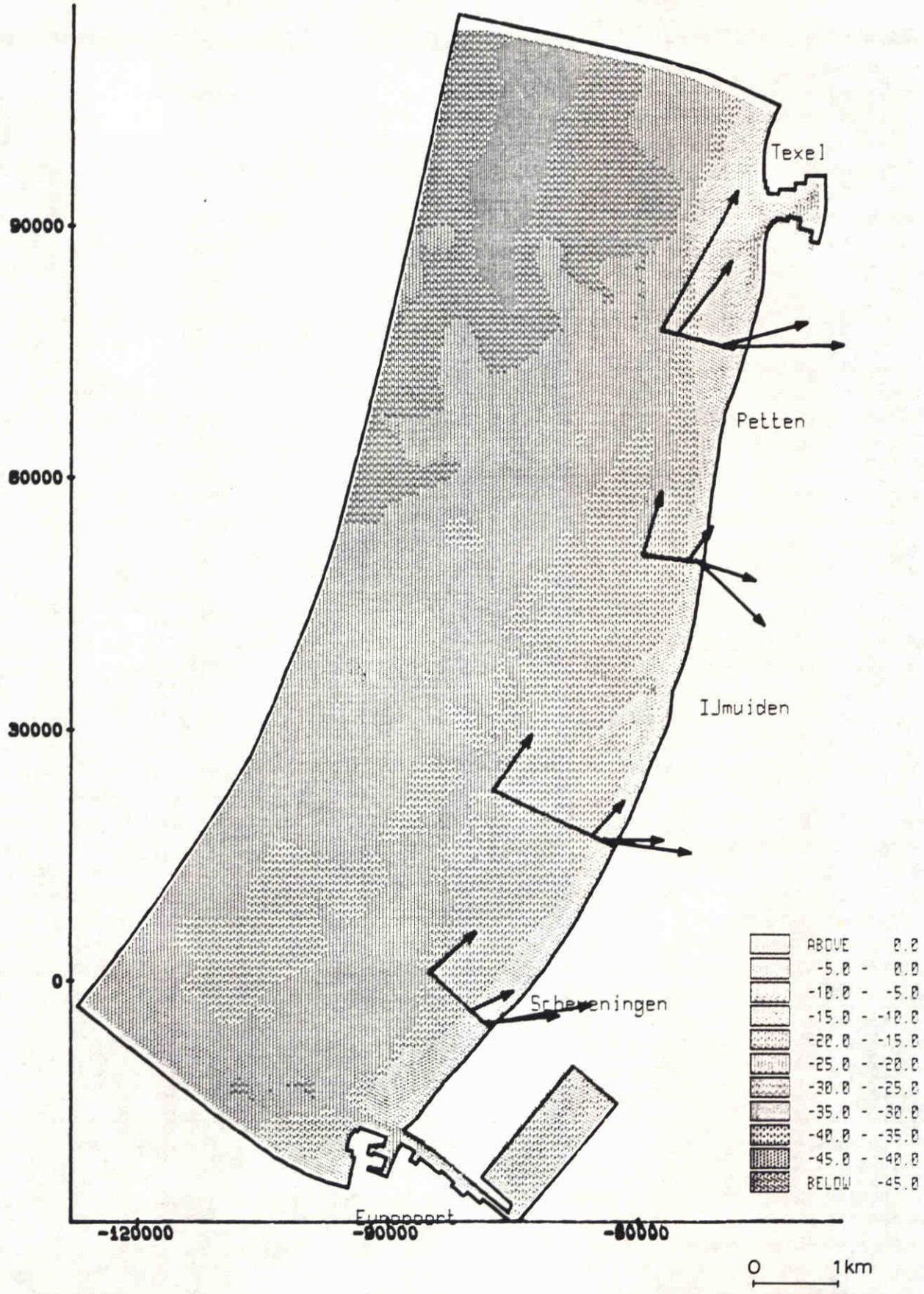


TOTALE SNELHEDEN EN TRANSPORTBIJDRAGEN PER GETIJFASE		
	R103 D08	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 825.	Fig.18



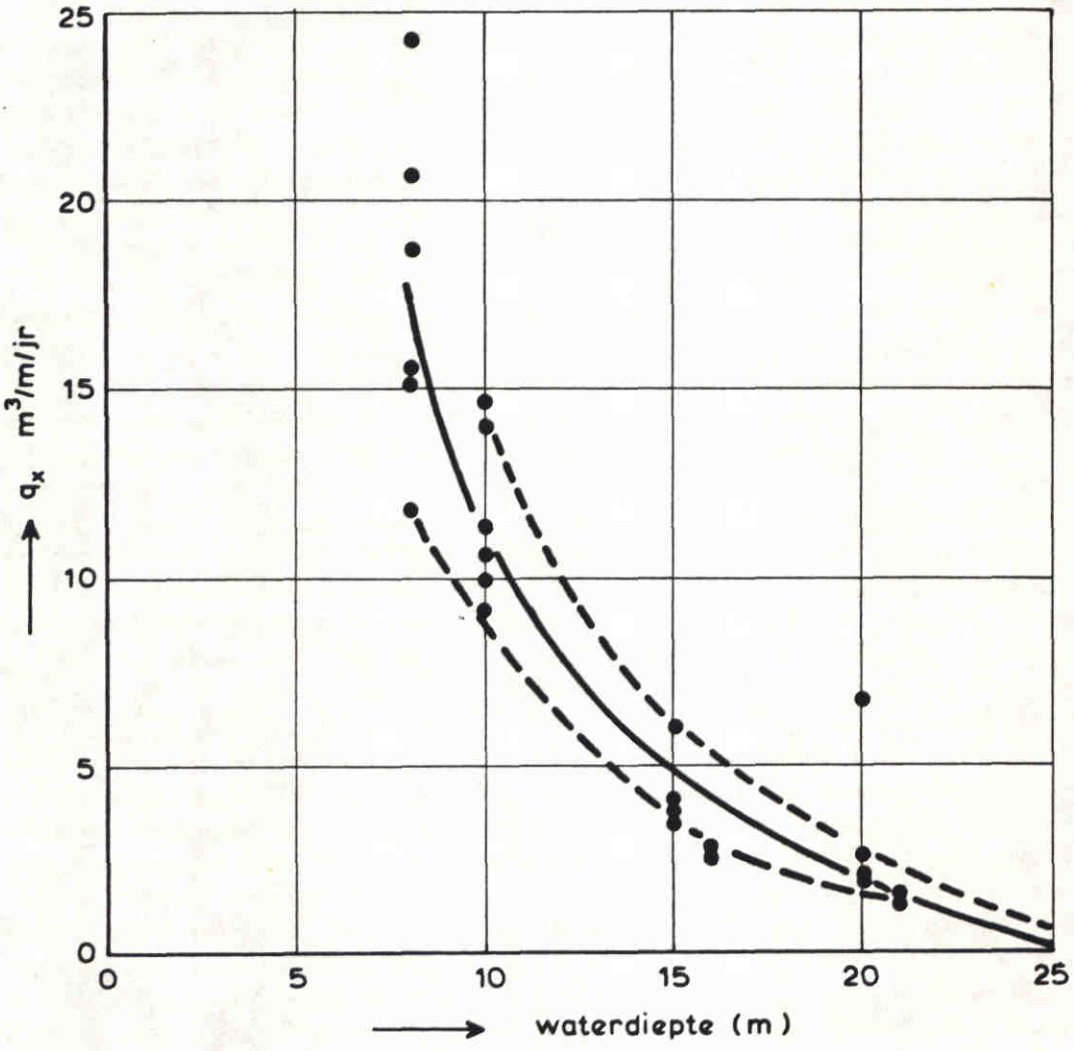
NETTO - TRANSPORT VEKTOREN , NIET GEKALIBREERD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | H 825 | FIG. 19



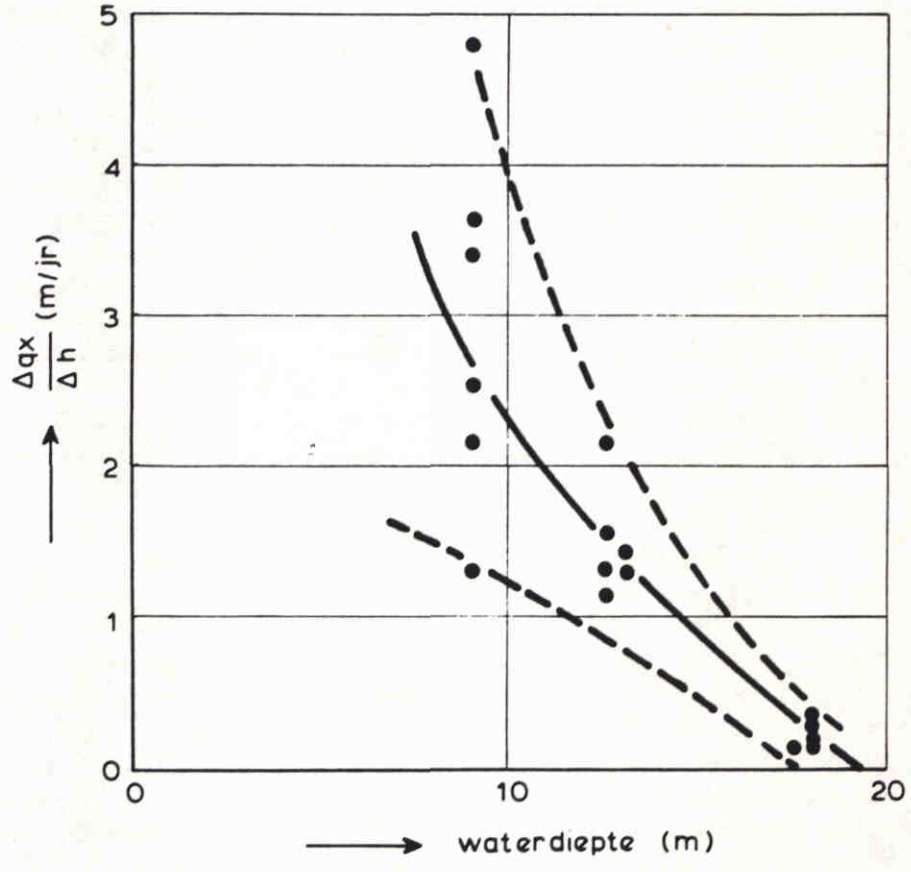
NETTO-TRANSPORT VEKTOREN, GEKALIBREERD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | H 825 | FIG. 20



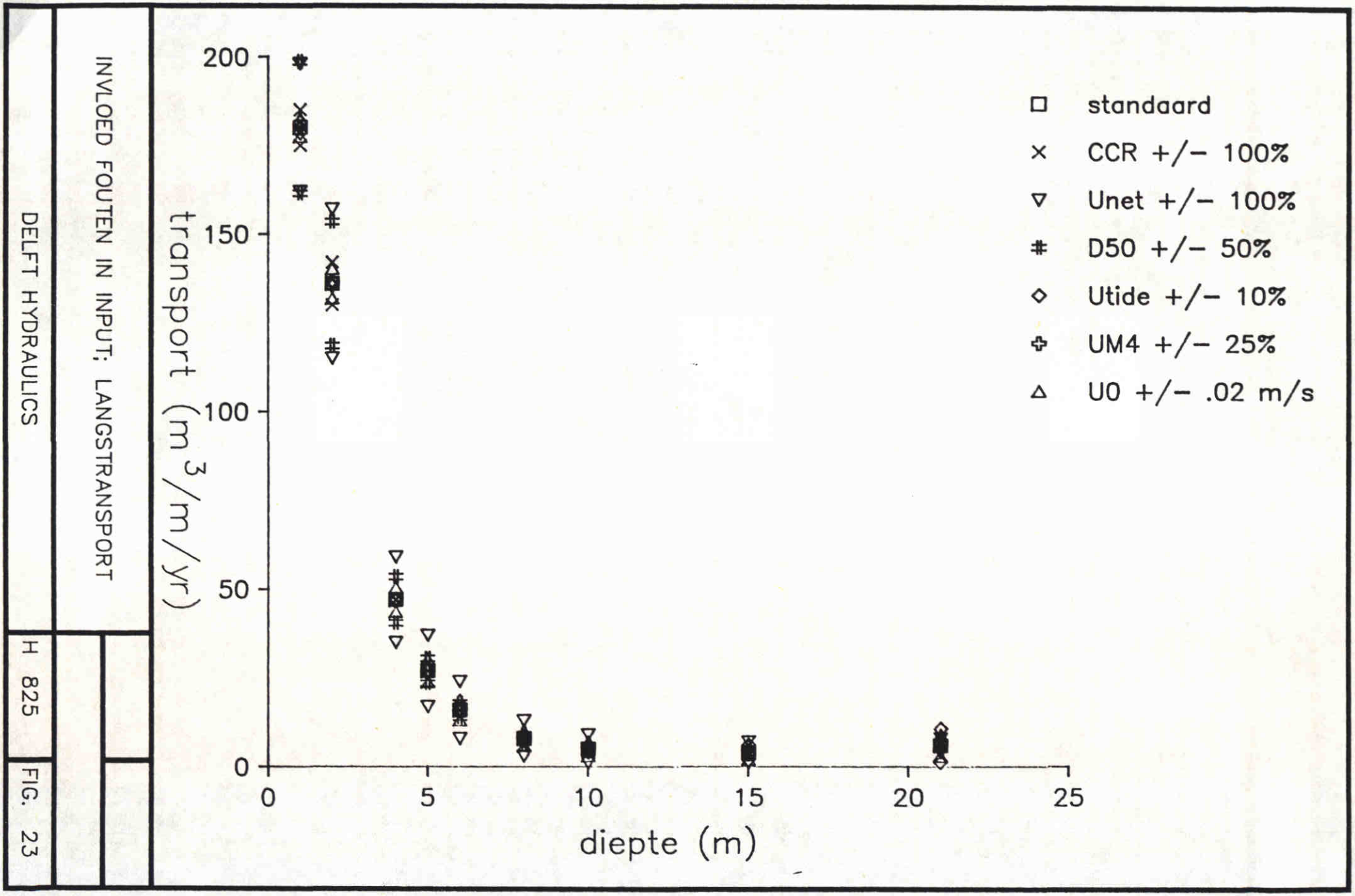
NETTO DWARSTRANSPORTEN ALS FUNKTIE VAN DE WATERDIEPTE

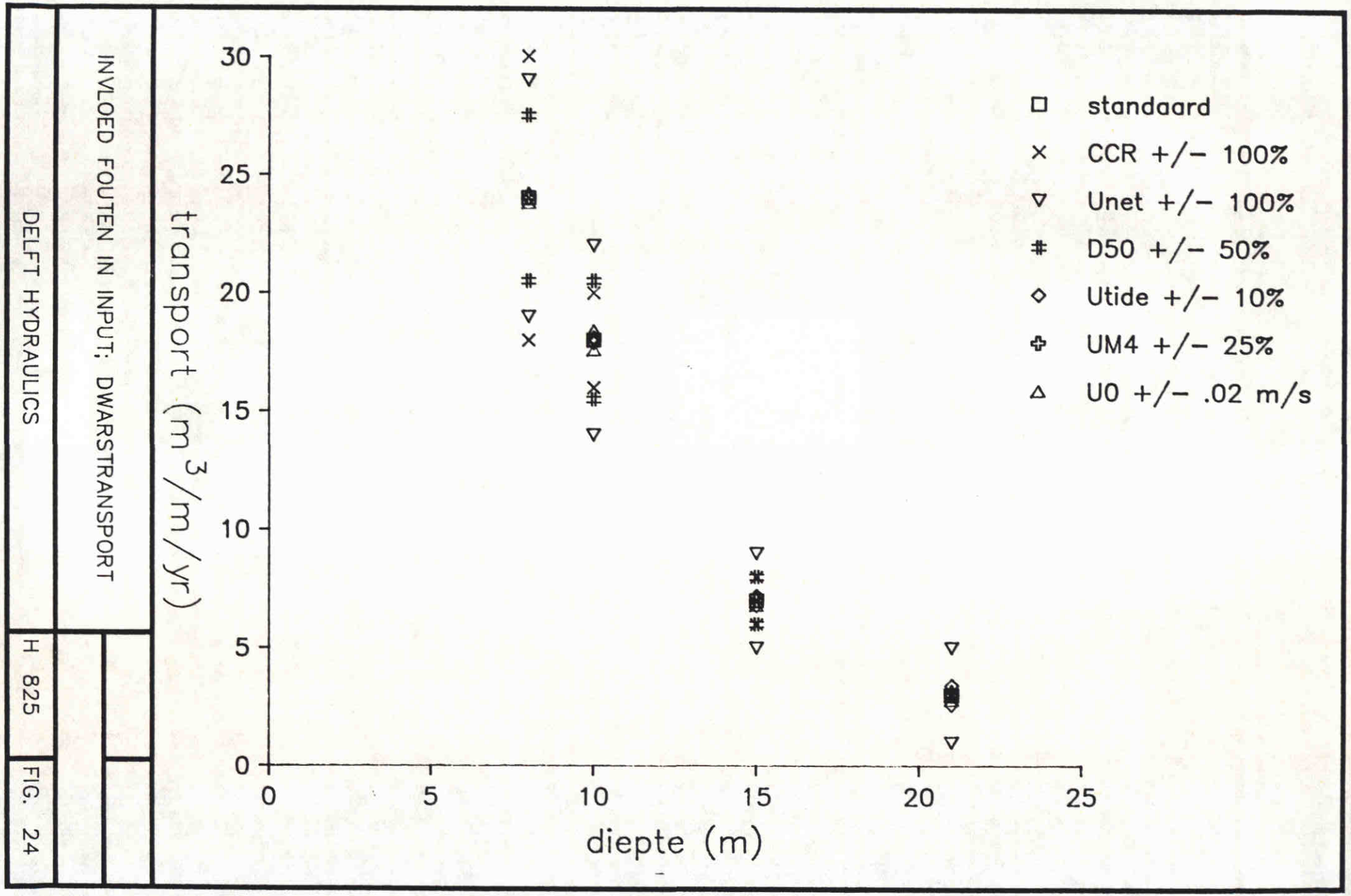
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | H 825 | FIG. 21



NETTO DWARSTRANSPORT GRADIENTEN
NAAR DE WATERDIEPTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM | H 825 | FIG. 22


INVLOED FOUTEN IN INPUT; LANGSTRANSPORT
DELFT HYDRAULICS
H 825
FIG. 23
transport (m3/m/yr)
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
diepte (m)
standaard
CCR +/- 100%
Unet +/- 100%
D50 +/- 50%
Utide +/- 10%
UM4 +/- 25%
U0 +/- .02 m/s


INVLOED FOUTEN IN INPUT; DWARSTRANSPORT
DELFT HYDRAULICS
H 825
FIG. 24
transport (m3/m/yr)
diepte (m)
0
5
10
15
20
25
30
standaard
CCR +/- 100%
Unet +/- 100%
D50 +/- 50%
Utide +/- 10%
UM4 +/- 25%
U0 +/- .02 m/s

TOTALE PROCENTUELE FOUT; LANGSTRANSPORT

DELFT HYDRAULICS | H 825 | FIG. 25

TOTALE PROCENTUELE FOUT; DWARSTRANSPORT

DELFT HYDRAULICS | H 825 | FIG. 26

waterloopkundig laboratorium | WL

hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl