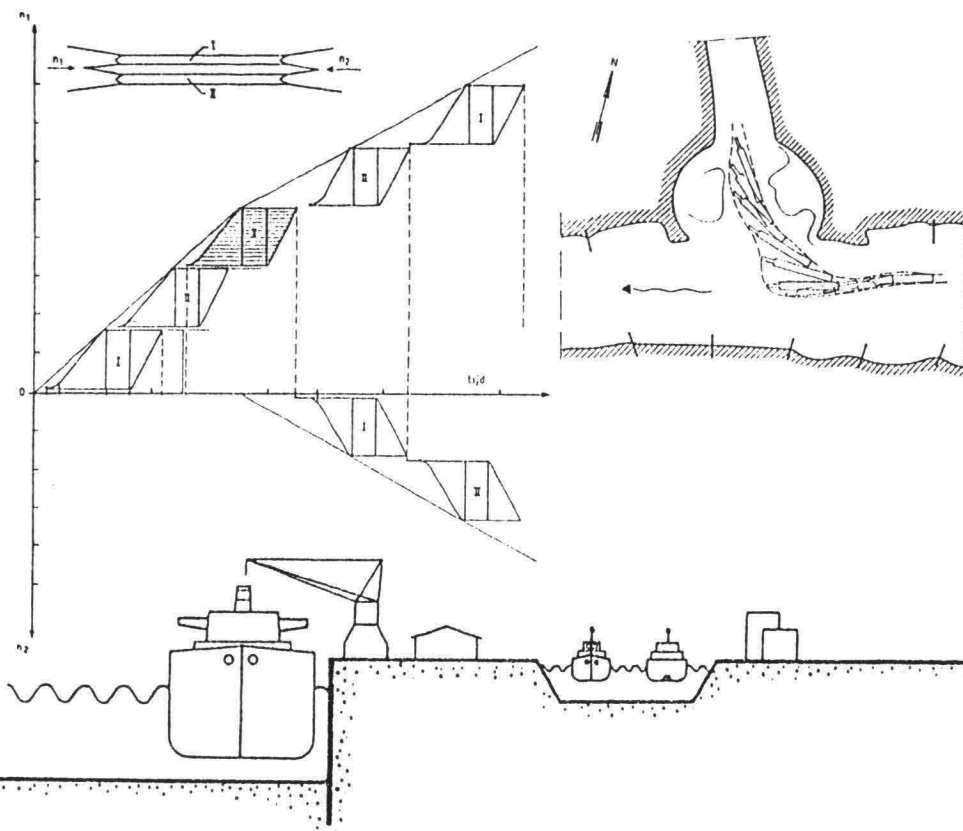


Weerstand en capaciteit van scheepvaartwegen

f13N - Havens en Scheepvaartwegen II

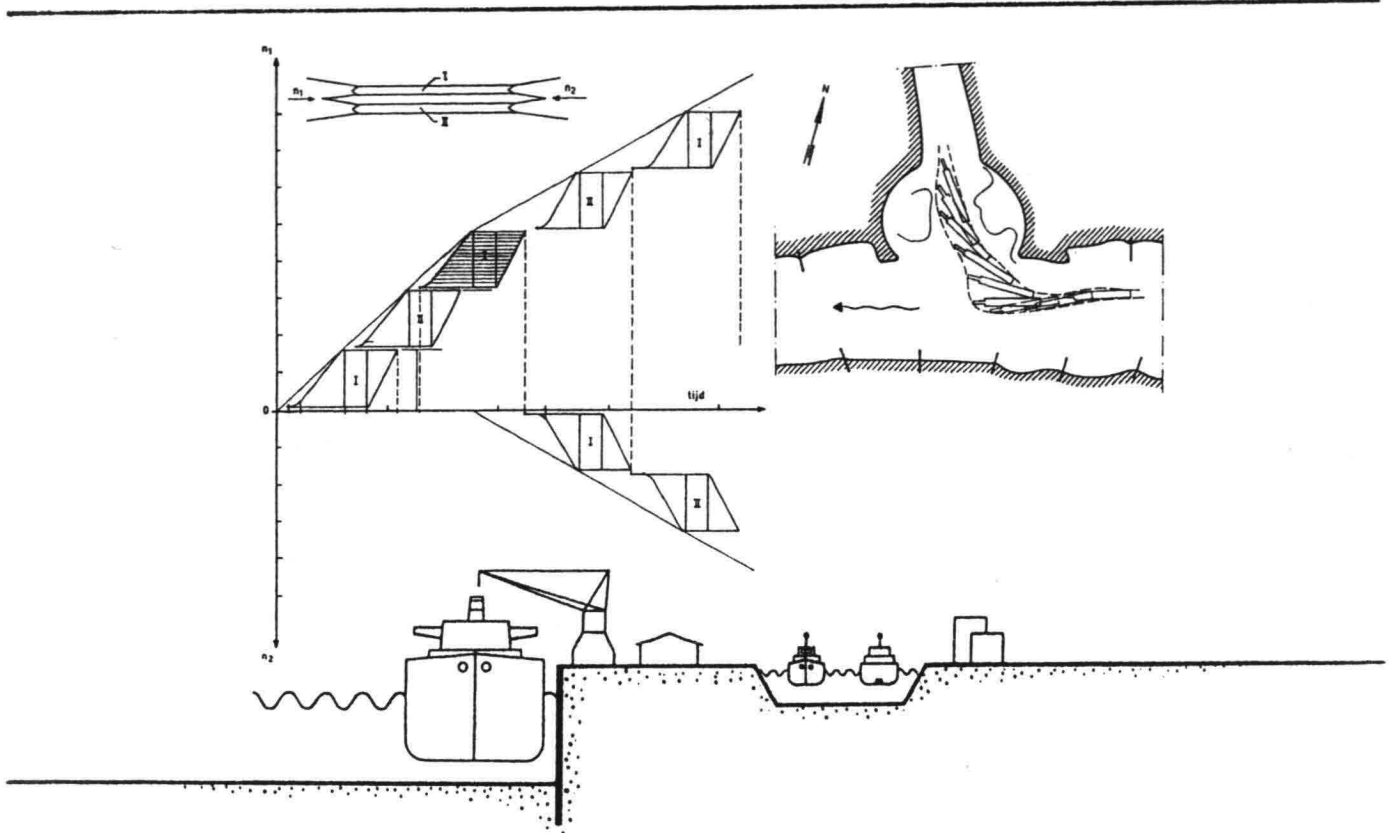
Ir. J. Bouwmeester



WEERSTAND EN CAPACITEIT VAN SCHEEPVAARTWEGEN

f13N - Havens en scheepvaartwegen II

ir. J. Bouwmeester



Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

uitgave
1984

1e gew. druk
augustus 1988

f13N

650252

fl. 7.50

INHOUD

blz.

1	INLEIDING	1
2	WEERSTAND EN CAPACITEIT VAN VAARWEGVAKKEN	2
2.1	Verkeersstromen	2
2.1.1	Verkeersstromen algemeen	2
2.1.2	Eigenschappen van verkeersstromen	2
2.1.3	Onderzoek naar verkeersstromen en toepassingsgebied	4
2.2	Begrippen capaciteit, weerstand, e.d.	6
2.3	Weerstand vaarweg	9
2.4	De vaarsnelheid op een vaarweg	12
2.5	Capaciteit vaarweg	17
2.5.1	Globale benadering op basis van ervaringskennis	17
2.5.2	Metingen in de praktijk	19
2.5.2.1	Hiaatafstand tussen twee schepen	19
2.5.2.2	Virtueel gebied rondom een schip	23
2.5.2.3	Aansluitingen op vaarwegen	31
2.5.3	Simulatiemodellen	32
2.5.3.1	Het korte-vak-model	32
2.5.3.2	Binnenvaartmodel voor vertakte vaarwegen	34
3	WEERSTAND EN CAPACITEIT VAN KUNSTWERKEN IN VAARWEGEN	40
3.1	Kunstwerken algemeen	40
3.2	Weerstand en capaciteit van beweegbare bruggen	41
3.3	Weerstand en capaciteit van schutsluizen	41
3.3.1	Schutproces	43
3.3.1.1	Schutcyclus	43
3.3.1.2	Schutcapaciteit	46
3.3.1.3	Passeertijd van het individuele schip	47
3.3.2	Duur van de onderdelen van het schutproces	49
3.3.2.1	Bedieningstijd	49
3.3.2.2	In- en uitvaar(volg)tijden van de afzonderlijke schepen	58
3.3.2.3	Lustijden	70
3.3.3	Maximum aantal schepen in de schutkolk	71
3.3.4	Berekening van de schutcapaciteit	77
3.3.5	Wachttijd, schuttijd en overligtijd als onderdelen van de passeertijd	81
3.3.6	Simulatie van het schutproces	89
3.3.7	Informatieverwerkend systeem op schutsluizen	90
	LITERATUUR	98
	VOORNAAMSTE SYMBOLEN	101
	BIJLAGEN: I Scheepvaart informatieverwerkend systeem	

INLEIDING

In vergelijking tot de verkeerskunde voor het wegverkeer, met zijn ver doorgevoerde verkeersregeling en verkeersbegeleiding, bevindt de scheepvaartverkeerskunde zich min of meer in de beginfase van zijn ontwikkeling. De behoefte aan meer samenhangende kennis op het vakgebied van de scheepvaartverkeerskunde werd vooral bepaald door de snelle groei van het verkeer en vervoer te water gedurende de laatste decennia.

Opm.: Alhoewel de groei de laatste jaren wat minder is, zal de toeneming van de olieprijs deze groei in de toekomst gunstig kunnen beïnvloeden, onder andere door sterke toename kolenvervoer.

Deze groei ging onder andere gepaard met een toename voor wat betreft het aandeel van de duwvaart (schaalvergroting) en het vervoer van gevaarlijke stoffen (risico). Naast de beroepsvaart heeft er een zeer snelle opkomst van de pleziervaart plaatsgevonden, waardoor beheerders van vaarwegen in de problemen dreigden te komen.

In dit verband, maar vooral ook ten aanzien van de beperkte beschikbare ruimte in geografische, technische, maar vooral ook financiële zin, werd voor Nederland een herbezinning noodzakelijk geacht ten aanzien van de structuur en het gebruik van onze scheepvaartwegen. In de ontwerp-Vaarwegnota [1] die hiertoe werd opgesteld en die de Minister van Verkeer en Waterstaat in 1977, tezamen met het Strukturaarschema Vaarwegen, deel a: Beleidsvoornemen [2] aan het parlement heeft aangeboden, wordt uitgegaan van de volgende doelstelling ten aanzien van het vaarwegverkeer:

“ Het scheppen en instandhouden van een goede infrastructuur voor de scheepvaart en het bevorderen van een veilige en vlotte verkeersafwikkeling.”

Deze doelstelling wil de Overheid zo mogelijk nastreven voor alle hoofdvaarwegen (de zogenaamde nationaal belangrijke doorgaande vaarwegen voor de beroepsvaart en de vaarwegen die zorgdragen voor de ontsluiting van het vervoer over water van landdelen, zoals Twente). Het beheer met betrekking tot de scheepvaart voor de niet-hoofdvaarwegen van meer regionaal belang zou dan bij andere instanties moeten komen te liggen.

De definitieve Vaarwegnota verscheen in 1981 [3] tezamen met Strukturaarschema Vaarwegen, deel d: Regeringsbeslissing, 1981 [4]. Daarnaast verscheen er in 1981 tevens de Partiële herziening van het Strukturaarschema Vaarwegen [5] waar de regering pleit voor toevoeging van enige vaarwegen aan het hoofdvaarwegennet voor de recreatievaart.

Kort samengevat streeft de regering naar een beheer door het Rijk, dat, voor zover het scheepvaartzaken betreft, vrijwel uitsluitend vaarwegen omvat met een intensieve tot zeer intensieve beroepsvaart, c.q. recreatievaart.

De in dit college behandelde onderwerpen richten zich dan ook in eerste instantie op deze intensief bevaren scheepvaartwegen met de daarin gelegen kunstwerken. Allereerst worden de weerstand en capaciteit van open vaarwegvakken behandeld. Bepalend zijn hierbij veelal de discontinuïteiten zoals bruggen, bochten e.d.

In tweede instantie komen de weerstand en capaciteit van gesloten vaarwegen aan de orde. Aangezien hierbij de schutsluizen de bepalende faktor in de capaciteit vormen, zal hierop dieper worden ingegaan.

2 WEERSTAND EN CAPACITEIT VAN VAARWEGVAKKEN

2.1 Verkeersstromen

2.1.1 Verkeersstromen algemeen

In het verleden konden schepen in verband met de geringe verkeersdichtheid op de vaarwegen nog worden beschouwd als (min of meer) onafhankelijke eenheden. Door de toename van de verkeersintensiteit op vele vaarwegen, moesten deze schepen echter steeds meer met elkaar rekening gaan houden. Het inhalen en ontmoeten van schepen komt veelvuldiger voor, waardoor de kans op aanvaringen en stremmingen vergroot wordt.

Dit wordt nog versterkt, indien op deze scheepvaartweg havenbekkens en andere scheepvaartansluitingen en/of kruisingen aanwezig zijn. Hierdoor krijgt men ook nog te maken met het zogenaamde "weven". Dit doet zich voor tussen in- en uitvoegend verkeer en doorgaand verkeer.

Bij het moderne scheepvaartverkeer zal men dan ook rekening dienen te houden met min of meer samenhangende verkeersstromen. Zowel ten aanzien van de veiligheid als ten aanzien van de vervoerscapaciteit zal een wetenschappelijke aanpak van het verkeer te water steeds meer een dwingende eis worden (de zorg voor een vlotte en veilige verkeersafwikkeling, speciaal ten aanzien van het vervoer van gevaarlijke stoffen). Dit zal op den lange duur resulteren in strengere verkeersregels en zelfs verkeersbegeleiding. Hierbij is een zeer nauwe samenwerking tussen onder andere de verkeersdeskundige, de nauticus en de civiel-ingenieur nodig.

Een probleem bij de verkeersregeling is de historisch gegroeide instelling van de individuele verkeersdeelnemers. Een strenge verkeersregeling, waarbij bepaalde schepen boven andere bevoorreed zullen worden, vraagt om een geheel andere instelling, en maakt het systeem bovendien kwetsbaarder. Dit is echter wel nodig wil men komen tot een vervoersoptimum voor het gehele systeem. In het algemeen belang zullen van sommige verkeersdeelnemers offers moeten worden gevraagd, waarbij het gezegde "wie het eerst komt, het eerst maalt" meestal niet meer opgaat.

2.1.2 Eigenschappen van verkeersstromen

De eigenschappen van verkeersstromen voor vaarwegen worden in hoofdzaak bepaald door:

- a. de verkeersmiddelen,
- b. de vervoersweg,
- c. het water als verkeersdrager en
- d. de schipper als verkeersdeelnemer.

Ad a. De verkeersmiddelen

De verkeersmiddelen bij de scheepvaart bestaan, in tegenstelling tot bij het landverkeer, voornamelijk uit schepen ten dienste van de beroepsvaart. Privévaart komt slechts sporadisch voor, met uitzondering van de zogenaamde pleziervaart. In de laatste decennia moest steeds meer rekening met deze pleziervaart gehouden worden in verband met de snelle toename van het aantal jachthavens en jachten (toename 8% per jaar).

In het algemeen hebben we te maken met een grote diversiteit in afmetingen, type, voortstuwing enz. van schepen. Naast de grote 2-, 4- en 6-baksduwvaart kennen we vele typen motorschepen, maar ook kleine coasters

en de heel kleine pleziervaartuigen. Het verkeersbeeld krijgt hierdoor een zeer gemengd en daardoor vaak onoverzichtelijk karakter.

Er zijn grote verschillen in snelheid, windgevoeligheid, wendbaarheid e.d. Deze worden nog vergroot door de grote variatie in beladingsgraad van de schepen. Daarbij zijn er grote verschillen in manoeuvreerbaarheid, speciaal in bochten, en uitloopten (de zogenaamde "remweg"), tussen de diverse scheepstypen.

Een zeer belangrijke eigenschap van vervoersstromen bij verkeer te water is, in tegenstelling tot landverkeer, dat schepen niet zonder meer kunnen stoppen. Ze zouden onbestuurbaar worden, waarbij de kans groot is dat ze dwars op de vaarweg komen te liggen. Indien schepen hiertoe toch worden gedwongen, zoals bij sluizen, gesloten bruggen en bij het verlenen van voorrang, dan moeten hiervoor voorzieningen in de vorm van wachtplaatsen ingericht worden of moet men gebruik maken van sleepboothulp.

Al deze verschillende eigenschappen komen naar voren bij het beschouwen van vervoersstromen op binnenscheepvaartwegen met de daarbij horende interacties tussen slepen, motorschepen, duwconvoien en pleziervaart onderling. Bij zeescheepvaartwegen bestaan deze verschillen vooral tussen coasters, vrachtschepen (stukgoed en containers), olie- en ertstankers. Voor vaarwegen met een menggebied van zee- en binnenvaart worden de verschillen door toename in diversiteit uiteraard nog veel groter.

Ad b. De vervoersweg

Hierbij zijn van belang het tracé, het dwarsprofiel en de vaarwegvakken met de daarin voorkomende bochten, obstakels in de vorm van brugpijlers, loswallen, e.d., kruisingen en aansluitingen met andere scheepvaartwegen en haveningangen. In het algemeen betreft dit plaatselijke vernauwingen of verwijdingen van het dwarsprofiel.

De vervoersweg kan worden opgevat als een aantal in serie geschakelde weerstanden, waarbij zintuigfysiologische waarnemingen een zeer belangrijke rol spelen.

De zichtlengte bijvoorbeeld is van groot belang speciaal bij kruisingen, bruggen, bochten enz. Bij natuurlijke scheepvaartwegen, zoals rivieren, liggen tracé, lengte- en dwarsprofiel min of meer vast. Bij kunstmatig aangelegde scheepvaartwegen, zoals kanalen, zijn deze binnen zekere grenzen zelf vast te stellen.

Daarnaast spelen vorm en type van de toegepaste oeververdediging (kribben of doorgaande vastgelegde oever) eveneens een belangrijke rol voor wat betreft de zogenaamde bermvrees. Het gekozen dwarsprofiel is veelal bepalend voor een goede afwikkeling van het verkeer. Dit in nauwe samenhang met het lengteprofiel met de zich daarin bevindende bochten en kunstwerken, zoals bruggen, schutsluizen enz.

Ad c. Het water als verkeersdrager

Het verkeer te water is, gezien de specifieke eigenschappen van het water als tussenstof, een moeilijk te doorgronden verschijnsel. Het waterverkeer is in tegenstelling tot weg- en railverkeer veel minder aan vaste banen gebonden. Het medium water kenmerkt zich door zijn grote beweeglijkheid. Een schip zal tijdens het varen voortdurend in een dynamische evenwichtstoestand verkeren, waarbij steeds met het roer moet worden gecorrigeerd. De relatief langzame bewegingen van een schip zullen zich, gezien zijn grote traagheid, echter ook langer doorzetten. Om bestuurbaar te blijven moet een schip een relatieve snelheid ten opzichte van het omringende

water behouden. De schipper dient namelijk steeds over een zekere druk op het roer te beschikken. Uitzondering hierop vormen schepen met de zogenaamde stuurschroeven (Schottel of Voight-Schneider schroeven) en dwars-schroeven (boeg- en hekschroeven).

Vaartuigen, die in elkaars nabijheid komen, zullen elkaar beïnvloeden via de verkeersdrager door de door hen veroorzaakte waterverplaatsingen. Indien het scheepvaartkanaal tevens een afvoerende functie binnen de waterhuishouding heeft, dan geeft de hierdoor ontstane langsstroom weer extra complicaties. Dit geldt eveneens bij lozing van water op een kanaal (dwarsstromen), getijbeweging in het kanaal (variërende waterstanden) enz.

De weerstand van het schip is, gezien de geringe snelheden en de beweeglijkheid van het water, veelal kleiner dan de wrijving tussen voertuig en weg bij weg- en railvervoer. Het verkeer te water kenmerkt zich door zijn tweedimensionale karakter, wat inhoudt, dat het zich veel minder rechtlijnig beweegt. Het eist derhalve een eigen onderzoek, dat meer aansluiting heeft met het vliegverkeer dan met het landverkeer.

Ad d. De schipper als verkeersdeelnemer

Bij het verkeer te water vervult de kapitein of de schipper een belangrijke rol als individuele verkeersdeelnemer. Een gezagvoerder van een schip draagt een grotere eigen verantwoording voor de veiligheid van schip en lading dan bijvoorbeeld de bestuurder van een auto of van een trein. Er kunnen zich situaties voordoen, waarbij snel naar eigen inzicht moet worden gereageerd. De reactiesnelheid en het gedrag van de individuele stuurman is vaak bepalend voor het voorkomen van aanvaringen tussen schepen onderling en tussen het schip en de wal.

De nautische aspecten bij de scheepvaart zijn vaak dominerend. Veel hangt af van de ervaring en het inzicht van de gezagvoerder. Iedere gezagvoerder zal op een bepaalde situatie anders reageren. Iedere verkeersregeling betekent veelal een verzwakking van de individuele verantwoordelijkheid, wat daardoor steeds een reëel gevaar met zich kan meebrengen. Het streven dient daarom steeds te zijn de afzonderlijke verkeersdeelnemers een zo groot mogelijk eigen verantwoordelijkheidsgevoel te laten behouden. Dit, omdat er zich altijd onverwachte situaties kunnen voordoen, waarbij naar eigen inzicht en verantwoordelijkheid moet worden gehandeld. In de bestaande scheepvaartreglementen is hiervoor dan ook steeds de nodige ruimte gelaten. In het Binnenvaart Politie Reglement (BPR, art. 1.04 en 1.05) staat bijvoorbeeld: "Van de voorschriften van dit reglement moet volgens de eisen van goed zeemanschap worden afgeweken, voorzover de omstandigheden dit vorderen, in zonderheid om aanvaring te voorkomen".

2.1.3 Onderzoek naar verkeersstromen en toepassingsgebied

De moeilijkheid voor een wetenschappelijke aanpak voor het scheepvaartverkeersgedrag zit in het grote aantal variabelen, waarbij vooral de nautische aspecten, welke moeilijk voor wetenschappelijke behandeling toegankelijk zijn, een vaak dominerende rol spelen. Hiertoe moet het tweedimensionale verloop van voorkomende verkeerssituaties, in de tijd gemeten, exact worden waargenomen en geregistreerd. De Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat beschikt hiervoor over een mobiele radarwagen, waarbij radarbeelden van een stuk vaarweg begrensd door twee vastgelegde zichtraaien gefotografeerd worden.

Voor latere identificatie van de op de radarfoto's voorkomende schepen moeten op het tijdstip van passeren van één van de zichtraaien alle van belang zijnde kenmerken van de individuele schepen worden vastgelegd, zoals:

naam, thuishaven, type, laadvermogen/deadweight, tonnage, vaarrichting, beladingsgraad, enz.

Uit een aantal achtereenvolgende radarbeelden kan men de snelheid en de vaarbaan van de schepen vaststellen. De snelheid kan men ook meten door de tijdstippen te meten waarbij het schip de beide zichtraaien passeert ($V = L/t$) of door gebruik te maken van een speciale aan de scheepvaart aangepaste 'radarsnelheidsmeter'.

Daarnaast moeten ook nog de nodige gegevens over de vaarweg worden meegenomen, zoals: waterstanden, stroomsnelheden, bodemligging en andere infra-structurele basisgegevens.

De belangrijkste reden dat een vaarwegbeheerder kennis over de bestaande verkeersstromen (metingen zijn zeer arbeidsintensief en dus kostbaar) zal willen verzamelen, heeft te maken met nieuwe ontwikkelingen en mogelijke groei van het verkeer.

Kijken we bijvoorbeeld naar het gepasseerd laadvermogen te Lobith, dan blijkt dit tussen 1970 en 1980 een groei van ca. 25% te hebben ondergaan. Het gemiddelde laadvermogen per schip in tonnen is over genoemde periode zelfs toegenomen van $\bar{T} = 900$ tot $\bar{T} = 1330$, een vergroting derhalve van ca. 50%. Daarnaast wordt er een toename van vervoer van gevaarlijke stoffen gesignaleerd.

Ook de sterke toename van de recreatievaart, een jaarlijkse groei van 10% in de periode 1970-1980, kan een reden voor nader onderzoek zijn.

Het voorgaande is van belang bij bijvoorbeeld de volgende vraagstukken:

1. In een bestaande rivier met scherpe bochten met relatief smalle vaargeul neemt de verkeersintensiteit toe. De vraag is nu bij welke intensiteit wordt het noodzakelijk de bochtbreedte te vergroten door een mogelijke vastlegging van de vaargeul of door bochtafsnijdingen toe te passen.
2. Wat zal de invloed zijn op de totale verkeersafwikkeling op een rivier als er andere of grotere typen schepen (containerschepen, roro-schepen, zesbaksduwvaart enz.) worden ingevoerd.
3. Welke recreatievaartintensiteit kan op de rivieren maximaal accepteren zonder de veiligheid en capaciteit voor de beroepsvaart in gevaar te brengen.
4. Hoe ver kan men gaan met de aanleg van nieuwe of uitbreiding van bestaande jachthavens langs een vaarweg vanuit verkeerskundig oogpunt.

In het algemeen gaat het hierbij om de invloeden van ingrepen of veranderingen op de verkeersafwikkeling te kunnen kwantificeren.

2.2 Begrippen capaciteit, weerstand, e.d.

Het doel van de scheepvaartverkeerskunde behelst naast het scheppen en instandhouden van een goede infrastructuur voor de scheepvaart, het in kwalitatief opzicht bevorderen van een vlotte (voldoende capaciteit) en veilige (minimale risico's) scheepvaartafwikkeling.

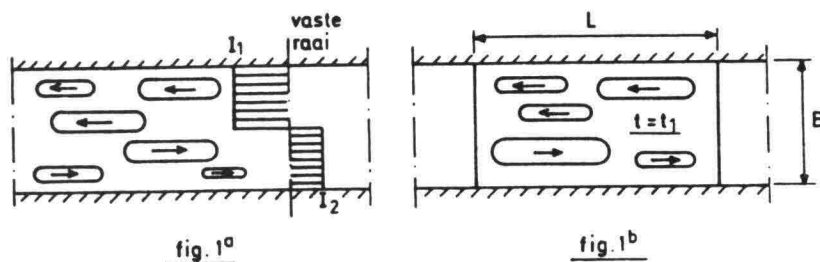
In dit verband zijn de volgende begrippen voor scheepvaart van belang:

- Intensiteit (I)

Dit is de hoeveelheid scheepvaartverkeer, uitgedrukt in aantallen schepen, tonnen laadvermogen of anderszins, die per tijdseenheid een bepaalde dwarsdoorsnede van een vaarweg (onderdeel) passeert (zie figuur 1a).

- Dichtheid (D)

Dit is de hoeveelheid scheepvaart, uitgedrukt in aantallen schepen, tonnen laadvermogen of anderszins, per eenheid van oppervlakte ($L \times B$) of vaarweglengte (L) op een bepaald tijdstip (zie figuur 1b).



Figuur 1. Intensiteits- en dichtheidsbepaling

- Capaciteit (C)

Deze heeft betrekking op de maximaal mogelijke intensiteit ($C = I_{max}$)
Definitie:

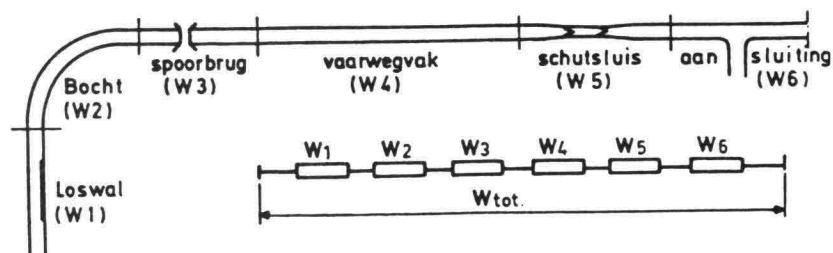
De capaciteit van een gegeven vaarwegonderdeel is de maximale hoeveelheid scheepvaartverkeer, die onder de voorkomende omstandigheden per tijdseenheid kan passeren.

- Verkeersbelasting (I/C)

Deze wordt gevormd door het quotiënt van de Intensiteit en de Capaciteit. (Deze is maximaal indien $I = C$ of $I/C = 1$).

- Weerstand (W)

De weerstand wordt bepaald door de tijd die nodig is om een vaarwegonderdeel te passeren. De totale weerstand van een te varen route kan worden opgevat als een samenstel van in serie geschakelde weerstanden die de reisduur (reistijd + wachttijd + overligtijd) en daarmee in belangrijke mate de transportkosten bepalen (zie figuur 2).



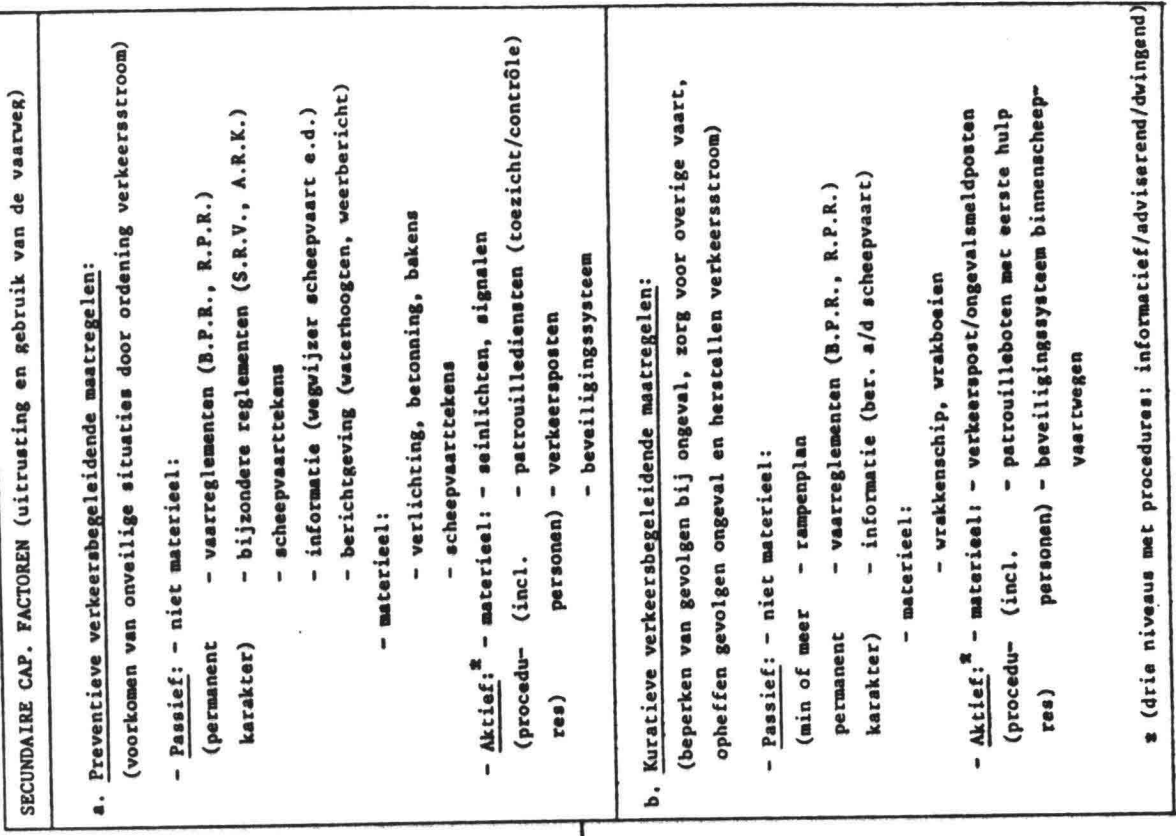
Figuur 2. Weerstanden in een vaarweg

Opmerkingen bij bovengenoemde begrippen:

1. Het scheepvaartverkeer wordt uitgedrukt in aantallen schepen, tonnen laadvermogen of anderszins.
Dit is afhankelijk van het doel waarvoor de gegevens verzameld worden. Het aantal scheepspassages bij bijvoorbeeld een schutsluis kan voldoende zijn indien de diversiteit van de gepasseerde typen schepen maar niet te groot is. Dit is bijvoorbeeld het geval als het uitsluitend om duwvaart of motorschepen of pleziervaart gaat. Indien alle drie de categorieën voorkomen, zullen ze veelal afzonderlijk worden geteld. Het gepasseerd aantal tonnen laadvermogen is wat dat betreft al een betere maat, uitgezonderd de pleziervaart natuurlijk. Het geeft in combinatie met het aantal schepen tevens een maat voor het gemiddelde laadvermogen (T).
Wat daarbij echter niet is meegenomen is de beladingsgraad (λ) van de gepasseerde schepen. Wil men bijvoorbeeld de werkelijke hoeveelheid vervoerde lading weten, dan zal men ook de beladingsgraad van elk schip moeten meenemen.

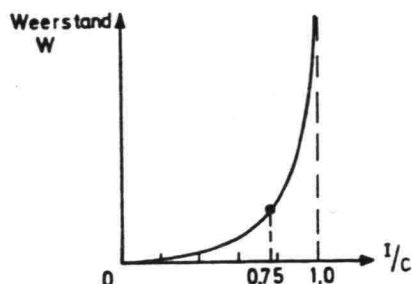
2. Bij de definitie van capaciteit wordt gesproken over voorkomende omstandigheden.
Hieronder vallen:
 - het scheepvaartverkeer (scheepstypen, scheepsafmetingen, laadvermogen, beladingsgraad, e.d.),
 - het vaarwegonderdeel (waterloopkundige omstandigheden vaarwegvak, bedrijfsomstandigheden bruggen en sluisen, enz.) en
 - de uitwendige omstandigheden (tijdstip van de dag, weersomstandigheden, zicht, enz.).De omstandigheden die de capaciteit beïnvloeden kunnen onderverdeeld worden in primaire en secundaire factoren (zie schema blz 8).
De primaire factoren zijn van infrastrukturele aard (vorm, afmeting, waterloopkundige omstandigheden) en worden veelal bepaald door waterbouwkundige werken.
De secundaire factoren hebben betrekking op het gebruik van de infrastructuur. Deze kunnen van materiële aard zijn zoals betonning, bebakening, verlichting, seingeving op sluisen en bruggen, ankerplaatsen, wachtplaatsen enz., maar ook van immateriële aard, zoals berichtgeving, reglementen, enz.
De primaire factoren bepalen de potentiële capaciteit, dit is de capaciteit, die maximaal gerealiseerd kan worden als de secundaire factoren optimaal zijn. De werkelijke capaciteit wordt dan ook bepaald door de aanwezige secundaire factoren in de beschouwing mee te nemen (zie schema).
De capaciteit van een vaarweg zal voornamelijk bepaald worden door het vaarwegonderdeel met de grootste weerstand (kleinste capaciteit); veelal is dit een schutsluis.

3. Ten aanzien van de verkeersbelasting (I/C) kan worden opgemerkt, dat een toestand, waarbij $I/C = 1$ voor langere tijd optreedt, onaanvaardbaar is. Bij sluisen (met wachtplaatsen) zou dit voor kortere tijd nog wel mogelijk zijn, maar bij langere perioden zal het al snel leiden tot onaanvaardbaar grote weerstanden als gevolg van lange wacht- en passeertijden (zie figuur 3). Voor vaarwegvakken is het eigenlijk altijd onaanvaardbaar. Indien hier $I/C \geq 1$ zou worden, dan ontstaat er filevorming en schoksgewijze verkeersafwikkeling. Op een verkeersweg komt dit vaak voor en is niet fataal. Op een rivier bijvoorbeeld zou dit leiden tot een complete chaos, waarbij de schepen dwars op de vaarweg kunnen komen te liggen met zeer hoge ongevalrisico's.



SCHEMA

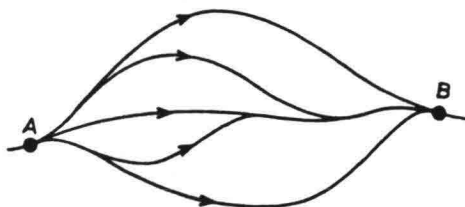
In de praktijk wordt dan ook gewerkt met een maximaal toelaatbare verkeersbelasting ofwel een maximaal toelaatbare intensiteit (I_t). De grenswaarde voor I/C wordt sterk bepaald door de gekozen periode waarover deze optreedt. Deze grenswaarde wordt lager naarmate deze periode langer gaat worden. Zeer globaal kan gesteld worden dat op urbasis $I/C \leq 0,75$ is.



Figuur 3. Weerstand als functie van de verkeersbelasting

2.3 Weerstand vaarweg

Zoals reeds eerder vermeld, heeft de grootte van de totale weerstand belangrijke consequenties voor de reisduur en daarmee voor de transportkosten. Een schipper die de keuze heeft uit meerdere mogelijke vaarwegen (zie figuur 4), zal in het algemeen de vaarweg met de minste weerstand (kortste reistijd) kiezen. Vaarwegen met veel oponthoud bij het passeren van sluizen, bruggen, e.d. (hoge weerstand), zal hij zoveel mogelijk vermijden. In dit geval speelt de tijd een overheersende rol. Soms kan de keuze van de schippers ook anders uitvallen, bijvoorbeeld indien er voor bepaalde vaarwegen en sluizen tolgeld wordt geheven. Dit laatste is onder andere de oorzaak van de zogenaamde **hoefijzervaart** via Nederland. Omdat de vaarwegen in Nederland niet belast zijn, maar wel in België en Duitsland, varen vele schippers om via Nederland. Dit kost veel meer tijd, maar minder geld, ondanks extra energiekosten.



Figuur 4. Routekeuze

Om dit soort problemen te bestuderen, zijn er in het verleden (computer-) routekeuzemodellen ontwikkeld. Deze werkten veelal op tijdbasis. Door de invoering van onder andere de evenredige vrachtverdeling, waarbij schepen soms weken op een nieuwe vracht moeten wachten, zijn deze modellen veelal niet meer direkt toepasbaar. De wachttijd, nodig om een vracht te verkrijgen, is sterk overheersend ten opzichte van de verschillen in reistijd tussen de alternatieve vaarroutes.

Voor het overgrote deel van het vaarwegennet, namelijk de kanalen en de gekanaliseerde rivieren, vormen de schutsluizen het onderdeel met de grootste weerstand. Zij zijn in dat geval bepalend voor de capaciteit van de betreffende vaarweg. Op vrij stromende rivieren vormen bochten, splitsingspunten, versmallingen, e.d. de grootste weerstand.

De weerstand van een vaarweg kan onderverdeeld worden in:

1. De weerstand ten gevolge van de vaartijd, de tijd welke nodig is om de vaarwegvakken te passeren.
Er wordt hierbij nog onderscheid gemaakt tussen
 - een vast (konstant) deel: (W_k) en
 - een variabel deel: (W_v).
2. De weerstand ten gevolge van de wachttijd, de tijd die verloren gaat met wachten voor sluisen, (spoor)bruggen, enz.

Het konstante deel van de weerstand ten gevolge van de vaartijd (W_k) is de tijd die één enkel schip, varend in de as van de vaarweg, erover doet om een bepaald vaarwegtraject af te leggen. De snelheid waarmee vooral de kleinere schepen kunnen varen ligt voor stroomloze kanalen veelal in de buurt van $V_s = 0,9 V_{gr}$, waarbij V_{gr} de fysisch maximaal haalbare snelheid is. Het feit dat deze schepen zo hard kunnen varen komt omdat deze schepen veelal over een motorvermogen beschikken, welke geschikt is om rivieren stroomopwaarts te bevaren.

Onder andere door de stijging van de energieprijzen ligt de zogenaamde economische snelheid momenteel meer in de buurt van $V_s = 0,8 V_{gr}$. Bij het bepalen van W_k wordt een vaarweg beschouwd, waarbij dus geen ander verkeer aanwezig is.

Factoren die W_k bepalen zijn te vergelijken met de primaire capaciteitsfactoren uit het hiervoor gegeven schema, namelijk:

1. Vorm en afmeting van het dwarsprofiel van de vaarweg.
2. Strecking van de vaarweg met bochten en andere discontinuïteiten.
3. Weerstand en voortstuwings-eisen van het beschouwde schip.
4. Omstandigheden als wind, stroom, zicht, e.d.

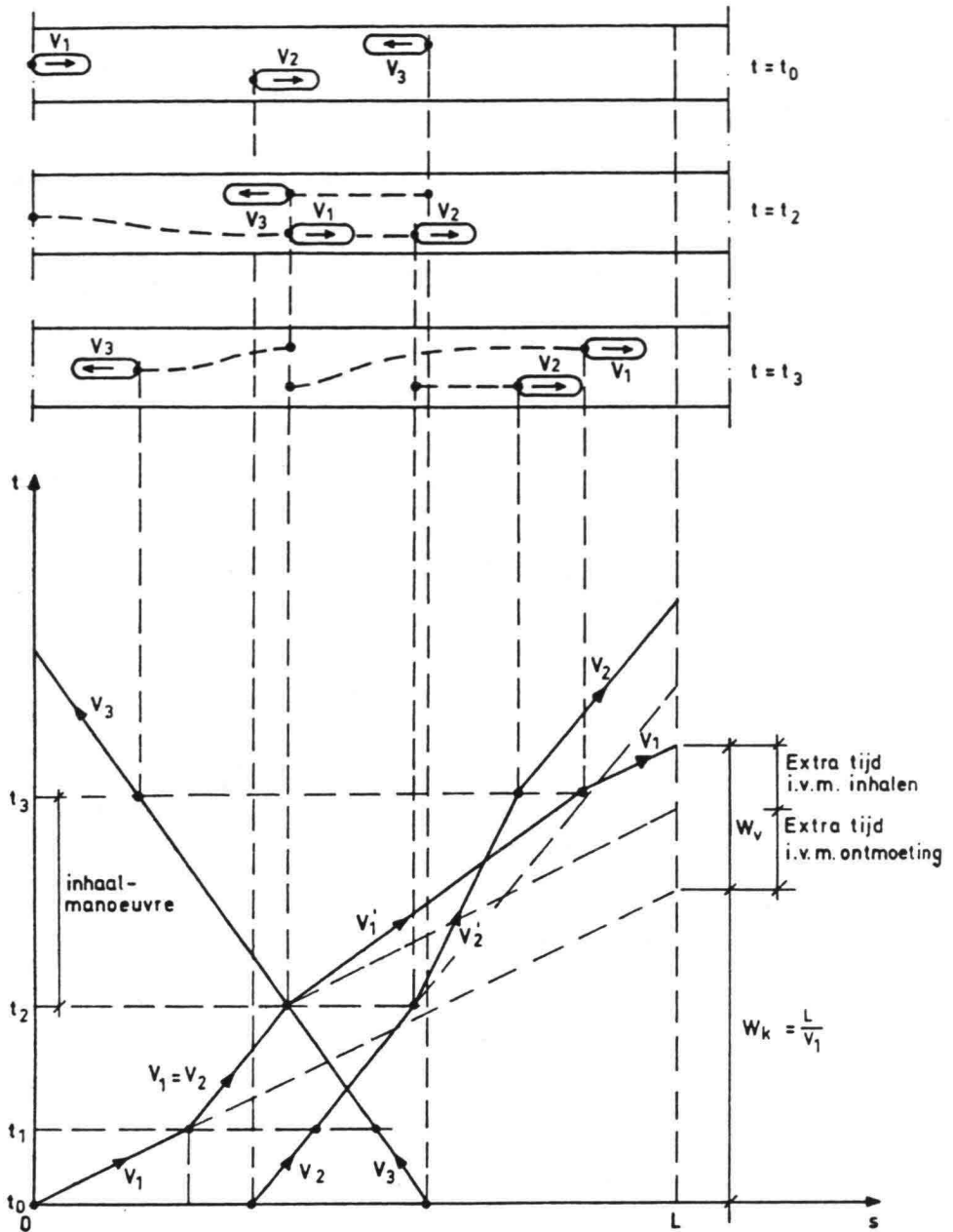
Het variabele deel van de weerstand ten gevolge van de vaartijd (W_v) is het extra tijdverlies dat ontstaat door de interactie van het beschouwde schip met het overige scheepvaartverkeer.

Factoren die W_v bepalen zijn onder andere:

1. De vertraging welke optreedt tijdens inhaal- en ontmoetingsmanoeuvres met andere schepen. Deze manoeuvres zijn afhankelijk van:
 - het aantal vaarstroken, onder andere bepaald door de verkeersintensiteit;
 - snelheidsverschil en diversiteit van de betrokken schepen (duwvaart, pleziervaart);
 - reactie en gedrag van de individuele schippers.
2. Het tijdelijk of geheel niet kunnen inhalen ten gevolge van:
 - een te grote verkeersdichtheid op de vaarweg
 - overschrijden van reglementair niet toegestane vaarsnelheden
 - een inhaalverbod.

Indien er sprake is van zogenaamd filevaren, wegens het niet kunnen inhalen, dan wordt de snelheid van deze file bepaald door het langzaamst varende schip.

Een voorbeeld van een ontmoeting en een inhaalmanoeuvre is in figuur 5 nader uitgewerkt in een weg-tijd diagram.



Figuur 5. Opbouw van de weerstand t.g.v. vaartijd ($W_k + W_v$)

Indien schip 1, ongestoord door het overige verkeer, het vaarwegvak (lengte L) met $V_1 = 0,8 V_{gr}$ zou kunnen doorlopen, dan wordt het constante deel van de weerstand $W_k = L/V_1$.

Aangezien schip 2, met een snelheid $V_2 < V_1$ vaart, zal schip 1 hem in willen halen. Dit wordt in eerste instantie verhinderd, omdat van tegengestelde richting schip 3 met snelheid V_3 komt aanvaren (tijdstip $t = t_0$). Schip 1 zal dus snelheid moeten minderen, hij moet tijdelijk met de snelheid van schip 2 ($V_1 = V_2$) gaan varen om een botsing te voorkomen (tijdstip $t = t_1$).

Pas als het tegemoetkomende schip 3 de achtersteven van schip 2 gepasseerd is, kan de inhaalmanoeuvr starten (tijdstip $t = t_2$). Hiertoe moet het in te halen schip 2 zijn snelheid tot V_2 minderen, terwijl de snelheid V_1 van schip 1 tijdens de inhaalmanoeuvr aanzienlijk kleiner is geworden dan zijn oorspronkelijke snelheid V_1 in verband met de grotere weerstand die het schip ondervindt in de door schip 1 en schip 2 tezamen zeer beperkte dwarsdoorsnede van de vaarweg.

Pas als de achtersteven van schip 1 voorbij de boeg van schip 2 is aangekomen (tijdstip $t = t_3$) kan schip 1 zijn weg met zijn oorspronkelijke snelheid V_1 vervolgen.

In figuur 5 is op de verticale as te zien hoe de totale weerstand ten gevolge van de vaartijd $W_{tot} = W_k + W_v$ is opgebouwd.

Bij bovenomschreven inhaalmanoeuvre moet het in te halen schip zijn snelheid verminderen om inhalen mogelijk te maken. Dit is gebruikelijk in de scheepvaartwereld. Zou dit namelijk niet gebeuren, dan zou het inhalende schip, op het tijdstip dat de boeg van beide schepen zich in dezelfde raai bevinden, niet uit de "kuil" ten gevolge van de spiegeldaling van het in te halen schip kunnen komen. De schepen zouden in dat geval paarsgewijze het gehele kanaal doorlopen.

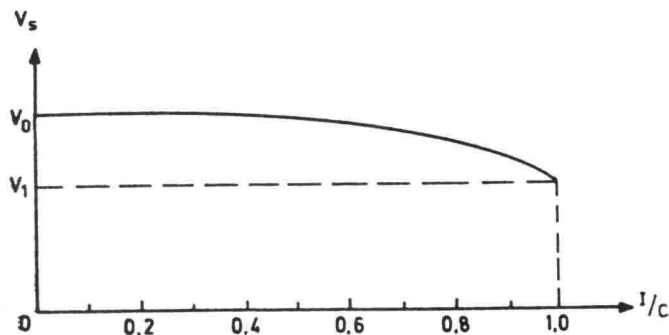
2.4 De vaarsnelheid op een vaarweg

De reistijd over een vaarwegvak hangt af van de trajektlengte en de gerealiseerde vaarsnelheid. De trajektlengte ligt over het algemeen wel vast, maar de vaarsnelheid is sterk afhankelijk van de reeds eerder genoemde zogenaamde primaire capaciteitsfactoren.

Bepalend voor de vaarsnelheid zijn in eerste instantie (zie figuur 6):

1. De scheepsweerstand en voortstuwingeigenschappen van een maatgevend enkel schip of een maatgevende combinatie van schepen bij het varen in een qua vorm en afmeting gegeven dwarsprofiel.
2. De verkeersbelasting (I/C) op de betreffende vaarweg.

Daarnaast spelen de zogenaamde secundaire capaciteitsfactoren, zoals betonnen, verlichting, reglementen, enz. voor de scheepvaartwegen, maar vooral voor de vrije rivieren een rol.



Figuur 6. Vaarsnelheid (V_s) als functie van de verkeersbelasting (I/C)

Experimenteel is een snelheidsbelastingskromme uitgezet, waarbij (uit capaciteitsmetingen op het Amsterdam-Rijnkanaal) een globaal verband tussen de gemiddelde snelheid en de verkeersbelasting (I/C) werd gevonden, namelijk een derdegraadskromme [6]:

$$V_s = V_0 - a (I/C)^3 \quad (1)$$

Van deze kromme zijn twee punten te bepalen, n.l. de maximale vaarsnelheid op de onbelaste vaarweg (V_0) en de vaarsnelheid (V_1) die gerealiseerd kan worden bij het bereiken van de capaciteit (meestal de snelheid van het traagste schip per vaarbaan).

De werkelijke vaarsnelheid is afhankelijk van het motorvermogen. Bij voldoende motorvermogen is het schip in staat om met de grenssnelheid te varen.

De vaarsnelheid van een schip op een onbelaste vaarweg kan in de praktijk bepaald worden door:

- Hydraulische berekeningen (theorie Krey, Schijf, e.d.)
- Toetsing via vaarproeven in prototype en model (b.v. Zuid-Willemsvaart)
- Generalisering met behulp van in a. en b. genoemde mogelijkheden.

Ad a. Hydraulische berekening

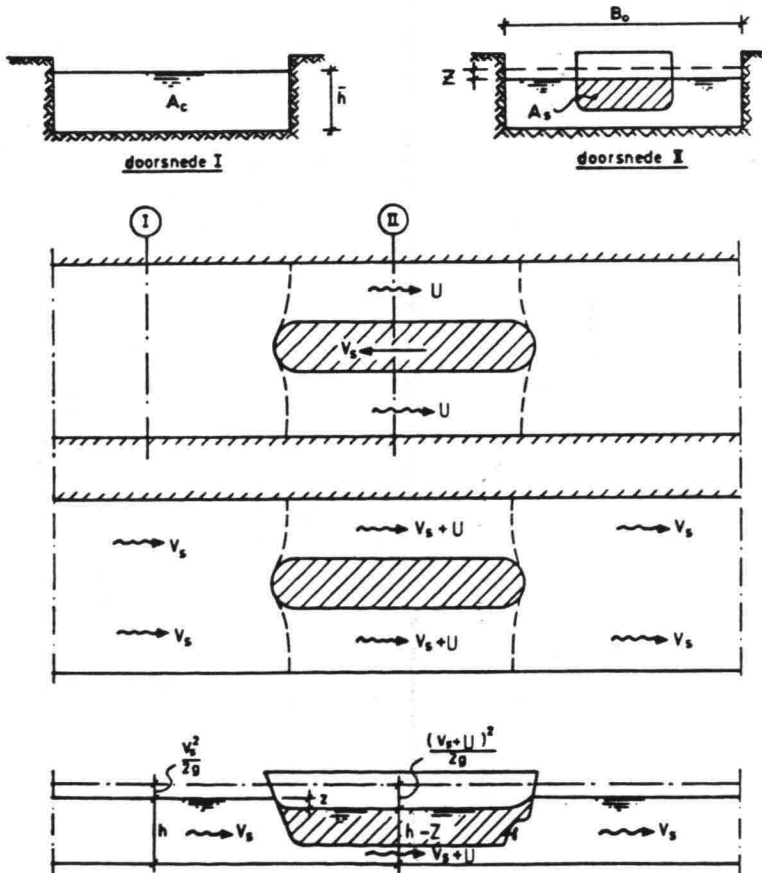
Bouwmeester [25] behandelt in het collegedictaat f12N Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen onder andere de eenvoudige potentiaaltheorie van Krey [7] en Schijf [8]. Figuur 7 geeft hiervoor de definitieschets.

Dit resulteerde in de continuïteits- resp. bewegingsvergelijking:

$$A_C \cdot V_S = (A_C - A_S - B_O \cdot Z) \cdot (V_S + U) \quad (2)$$

$$Z = (V_S + U)^2 / 2g - V_S^2 / 2g \quad (3)$$

- met
- A_C = Oppervlak ongestoorde kanaal (m^2)
 - A_S = Oppervlak ondergedompeld schip (m^2)
 - B_O = Waterspiegelbreedte (m)
 - U = Retourstroom (m/s)
 - V_S = Vaarsnelheid schip (m/s)



Figuur 7. Definitieschets retourstroomtheorie Schijf

Voor de grenssnelheid V_{gr} , dit is de maximaal mogelijke vaarsnelheid in een begreind kanaal, gaan deze vergelijkingen over in:

$$1 - A_s/A_c + 0,5 Fr^2 - 1,5 Fr^{2/3} = 0 \quad (4)$$

met $Fr = V_{gr}/\sqrt{gh}$ en $\bar{h} = A_c/B_0$

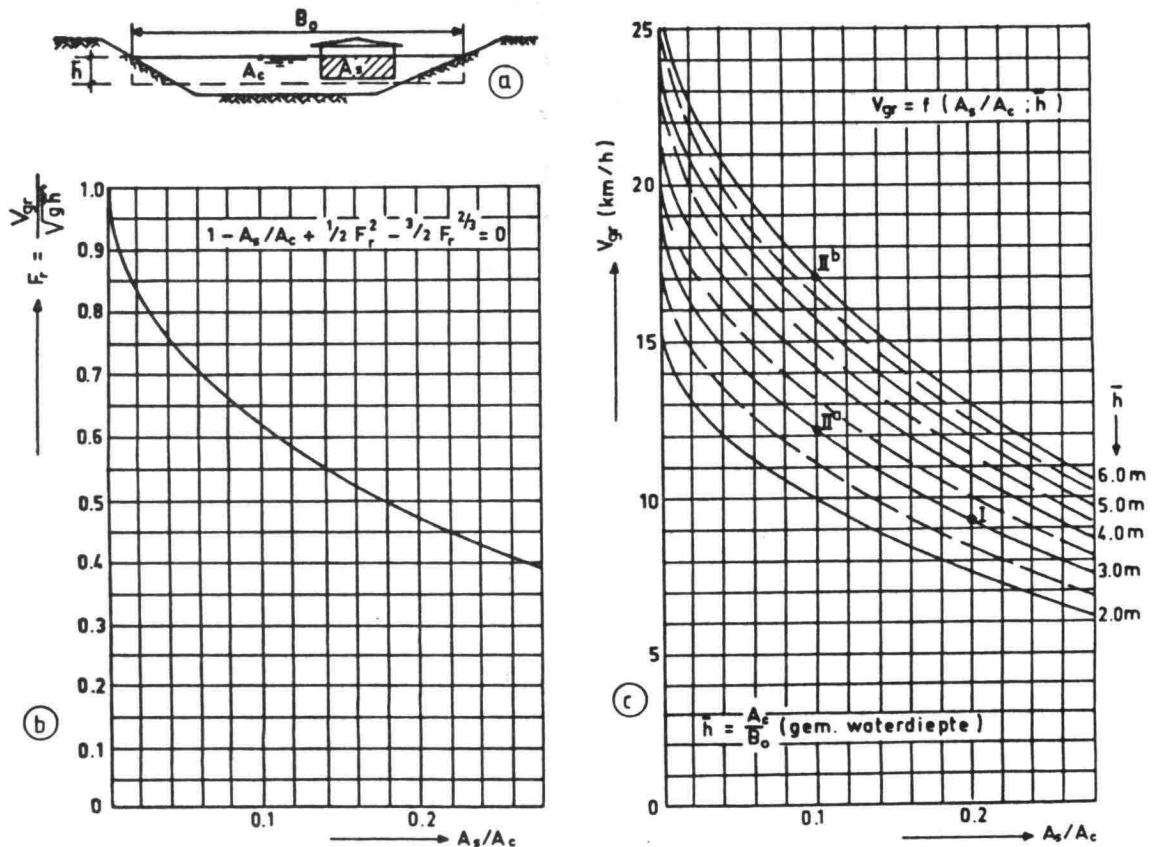
Gerekend is met de gemiddelde waterdiepte $h = A_c/B_0$, omdat in de praktijk veelal trapeziumvormige dwarsprofielen voor scheepvaartkanalen worden toegepast en omdat deze uitdrukking tevens triviaal is voor bakprofielen. In figuur 8a is dit weergegeven. Een trapeziumvormig dwarsprofiel kan vanuit de theorie voor de berekening van de grenssnelheid worden geschematiseerd tot een bakvormig profiel met breedte B_0 en diepte $\bar{h} = A_c/B_0$.

In figuur 8b is de in vergelijking (4) gevonden éénduidige relatie tussen Fr en de A_s/A_c -verhouding voor het algemene toepassingsgebied weergegeven.

Als uitersten gelden uiteraard:

$$A_s/A_c = 0 \rightarrow Fr = 1 \rightarrow V_{gr} = \sqrt{gh}$$

$$A_s/A_c = 1 \rightarrow Fr = 0 \rightarrow V_{gr} = 0$$



Figuur 8. Grenssnelheden volgens Schijf

Aangezien het Froude-getal (Fr) een functie is van zowel de grenssnelheid V_{gr} als van de gemiddelde waterdiepte \bar{h} , is in figuur 8c nog eens de grenssnelheid V_{gr} als functie van \bar{h} en A_S/A_C weergegeven [9].

Hieruit blijkt dat vooral de gemiddelde waterdiepte \bar{h} bepalend is voor de vaarsnelheid van een schip in een kanaal.

Dit wordt vooral duidelijk middels het volgende voorbeeld. Indien wordt uitgegaan van een A_S/A_C -verhouding van 0,2 en een $\bar{h} = 3$ m (zie punt I in grafiek) en we verdubbelen de oppervlakte van het dwarsprofiel van het kanaal, dan wordt de A_S/A_C -verhouding 0,1. Indien deze verdubbeling van oppervlakte wordt verkregen door de breedte B van het kanaal te verdubbelen (zie punt IIa in grafiek), dan levert dit een vaarsnelheidsvermeerdering op van ca. 30%. Bij verdubbeling van de waterdiepte \bar{h} van het kanaal (zie punt IIb in grafiek) levert dit een snelheidstoename van ca. 85% op. Een verdieping van een bestaande vaarweg levert dus het meeste effect op voor de vaarsnelheid gezien het feit dat zowel \bar{h} als de A_S/A_C -verhouding positief worden beïnvloed. Verbreding beïnvloedt alleen de A_S/A_C -verhouding.

Tenslotte dient nog opgemerkt, dat bij scheepvaart op stroomvoerende kanalen en op rivieren gerekend moet worden met de relatieve vaarsnelheid van het schip ten opzichte van het omringende water. Stroomafwaarts wordt dit ($V_S - U_0$) en stroomopwaarts ($V_S + U_0$), indien U_0 de watersnelheid in het ongestoorde dwarsprofiel is.

Ad b. Toetsing via vaarproeven

De werkelijke vaarsnelheid van schepen blijkt op alle vaarwegen altijd kleiner te zijn dan de theoretisch maximaal mogelijke grenssnelheid V_{gr} . Zo is uit metingen op de Zuid-Willemsvaart [10] gebleken, dat de motorschepen met een grenssnelheid van ca. 0,85 V_{gr} varen. Deze gemeten snelheden lagen, om de orde van grootte aan te geven, gemiddeld tussen de 7 en 11 km/h bij een A_S/A_C -verhouding van 0,09 à 0,12.

Voor rivieren, maar vooral voor rivierbochten, is het erg moeilijk om over een grenssnelheid te spreken, aangezien het gehele dwarsprofiel van de vaarweg, speciaal bij grotere breedten, niet mag worden meegenomen bij de bepaling van de A_S/A_C -verhouding. Bij metingen in de Waalbocht bij Nijmegen bleek de gemiddelde snelheid van motorschepen ten opzichte van het water voor geladen schepen tussen 11 en 15 km/h en voor ongeladen schepen tussen 16 en 18 km/h te liggen [11]; terwijl de aanwezige A_S/A_C -verhouding in de buurt van de 0,04 en 0,06 ligt. Voor een deel zijn deze (te lage) snelheden, naast de eerder genoemde problemen van schematisatie van een breed rivierdwarsprofiel, mede een gevolg van het doorlopen van een bocht (in de buitenbocht is de stroomsnelheid groter). Een ander aspect is het zogenaamde stevelen: een schip krijgt een kleine dalwaarts gerichte snelheid ten opzichte van het omringende water ten gevolge van het verhang van de rivier.

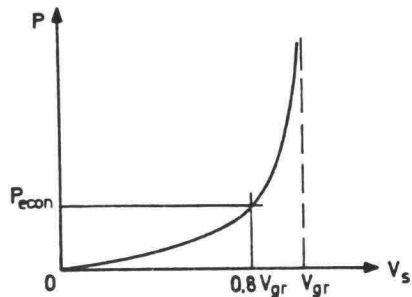
Het verschil tussen de gemiddelde snelheid van geladen en ongeladen schepen, dus de beladingsgraad λ , komt in principe reeds tot uiting in de A_S/A_C -verhouding.

In het algemeen kan gesteld worden dat de redenen waarom niet met de grenssnelheid kan worden gevaren, bepaald worden door de volgende zaken:
- Het vaarwater is te breed in verhouding tot de breedte van het schip, waardoor een één-dimensionale schematisatie voor de hydraulische berekening niet zonder meer mag worden toegepast. (De verhouding tussen de lengte van het beschouwde schip en de breedte van de vaarweg moet hiervoor tenminste 1 of meer zijn.)

- Door stroming op rivieren en stroomvoerende kanalen zal de snelheid van het schip ten opzichte van de oevers sterk worden beïnvloed (theoretisch is er geen invloed, indien gerekend wordt met de relatieve snelheid van het schip ten opzichte van het water).
- Bij het doorlopen van bochten en bij onoverzichtelijke vaarweggedeelten (bruggen, ligplaatsen in vaarweg, e.d.) zal met een aanzienlijk lagere vaarsnelheid worden gevaren.
- Bij toename van de intensiteit op de vaarweg (dus van de verkeersbelasting I/C) zullen er in toenemende mate ontmoetingen en inhaalmanoeuvres met andere schepen plaatsvinden waarbij de snelheid sterk verminderd dient te worden.
- Het schip heeft een te gering motorvermogen om de grenssnelheid te halen.
- De vaarwegreglementen schrijven een lagere snelheid voor dan de grenssnelheid, veelal in verband met optreden van schade aan de oevers en overige, al of niet stilliggende, scheepvaart.
- Uit oogpunt van economie zal, gezien het onevenredig extra motorvermogen dat hiervoor nodig is, nooit met de grenssnelheid worden gevaren.

Uit figuur 9 blijkt namelijk dat boven een snelheid van ca. $0,8 V_{gr}$ het benodigde motorvermogen progressief gaat toenemen. De economische vaarsnelheid van $0,8 V_{gr}$ vergt dan ook minder dan de helft van het motorvermogen dat nodig is om met de grenssnelheid V_{gr} te kunnen varen.

Opm.: Indien het vermogen van een schip wordt opgevoerd tot boven een waarde welke benodigd is om de grenssnelheid te halen, dan zal deze extra energie slechts worden omgezet in grotere scheepsgolven. De vaarsnelheid zal echter zeker niet toenemen.



Figuur 9. Vaarsnelheid versus motorvermogen

Concluderend kan gesteld worden dat de vaarsnelheid afhangt van:

- type, motorvermogen, e.d. van de betreffende schepen
- vorm en afmeting van het beschouwde dwarsprofiel met de daarbij gegeven waterhoogten, stroomsnelheden, obstakels als brugpijlers, e.d.
- de verkeersbelasting (I/C), de vaarreglementen e.d., de strekking van de vaarweg (bochten e.d.).

2.5 Capaciteit vaarweg

In het schema in paragraaf 2.4 zijn alle factoren genoemd, welke de capaciteit van een vaarweg beïnvloeden. De vraag is, op welke manier de werkelijke capaciteit van een vaarweg kan worden bepaald. Zuiver theoretisch is dit niet te doen, zoals reeds bleek uit de bepaling van een der componenten, namelijk die van de mogelijke vaarsnelheid. Zeer veel aspecten, zoals het menselijke reactievermogen, zijn namelijk in theoretische zin niet "hard" te maken.

Hiervoor zullen benaderingsmethoden nodig zijn, zoals:

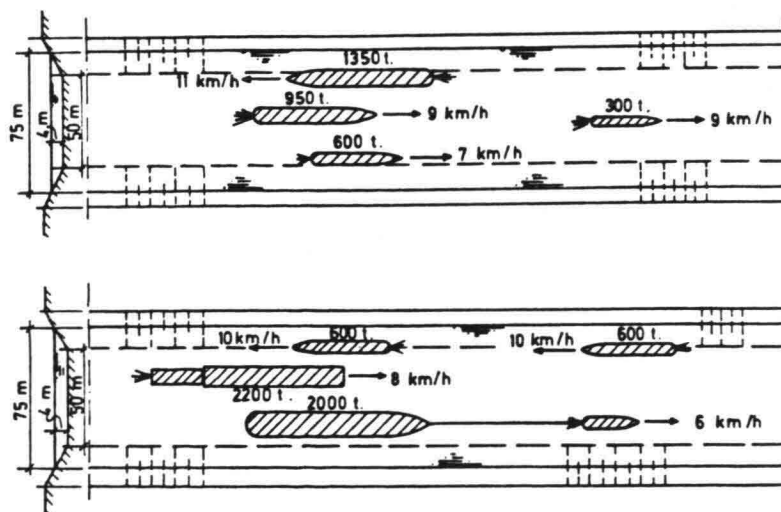
1. Globale benadering op basis van ervaringskennis.
2. Metingen in de praktijk (veelal zeer arbeidsintensief, dus kostbaar).
3. Simulatie in een, zoveel mogelijk, mathematisch model (hiervoor zijn echter zeer veel meetgegevens nodig).

2.5.1 Globale benadering op basis van ervaringskennis

Deze methode wordt wel toegepast indien men in korte tijd en bij gebrek aan uitvoerige metingen in de praktijk snel belangrijke beslissingen moet nemen. Deze methode is in Nederland toegepast in de beginjaren '70 bij de voorbereiding van de Vaarwegennota, waarin een beleid voor de toekomst van het Nederlandse vaarwegennet moest worden opgesteld op basis van aanvaardbare capaciteit en veiligheid.

Hiertoe is een enquête gehouden onder gezagvoerders van binnenvaartschepen en praktijkdeskundigen, zoals vaarwegbeheerders, riviermeesters, kanaalmeesters, enz. De deelnemers zijn geselecteerd op ervaring ten aanzien van scheepstypen en vaarwegafmetingen. Deze enquête werd in de vorm van een schriftelijk examen uitgevoerd, waarbij werd uitgegaan van een eenvoudig model van een volbelaste vaarweg. Dit model bestond uit twee opeenvolgende dwarsdoorsneden op een gegeven vaarweg met een onderlinge afstand L , waarin een hoeveelheid scheepvaart geconcentreerd werd gedacht.

Aangezien de enquête gericht was op het bepalen van de maximale verkeersbelasting, werd aan de deelnemers een aantal dergelijke verkeerssituaties aangeboden in de vorm van tekeningen (zie figuur 10) De deelnemers moesten deze beoordelen op veiligheid in nautisch opzicht. De verkeersbelasting mocht door de deelnemers daarbij naar eigen inzicht worden verzwaard of verlicht, waarbij geen onderling overleg mocht plaatsvinden.



Figuur 10. Enkele te beoordelen verkeerssituaties

"Een voorgelegde verkeerssituatie werd in nautisch opzicht als aanvaardbaar aangemerkt indien een, in statistisch opzicht, significante meerderheid van deelnemers zich in deze zin had uitgesproken."

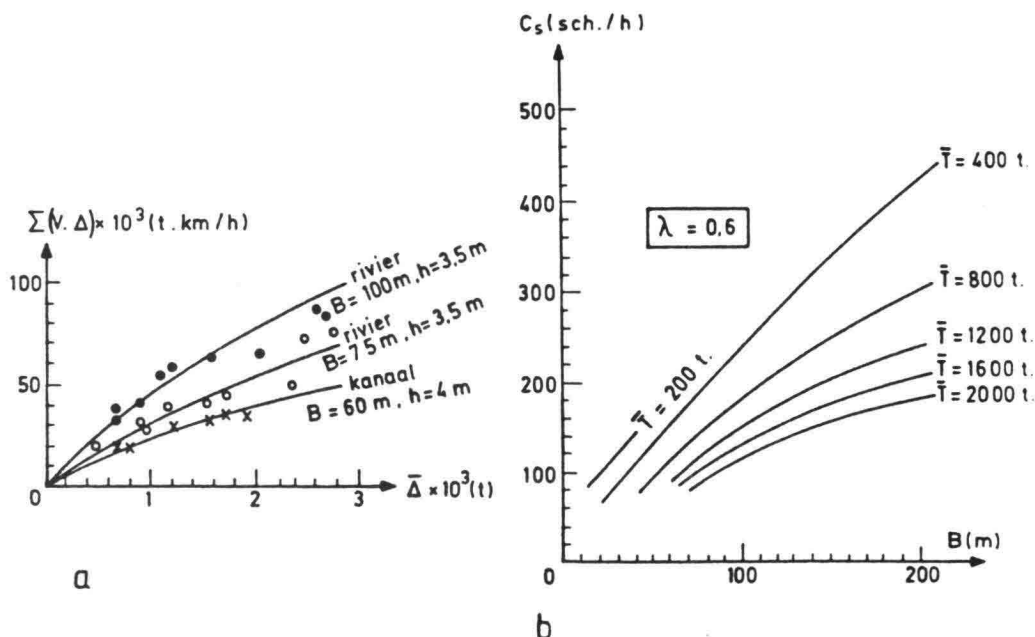
Om de verkeersbelasting van een dwarsdoorsnede te kunnen karakteriseren zijn een aantal parameters op hun bruikbaarheid getoetst. Het beste bleek de parameter $\Sigma(V.\Delta)$, zijnde de som van produkten van vaarsnelheid en waterverplaatsing van de schepen, welke zich binnen de situatielengte L bevinden.

In figuur 11a blijkt een redelijk verband te bestaan tussen $\Sigma(V.\Delta)$ en het gemiddelde tonnage $\bar{\Delta}$ van de betreffende schepen. (Δ = waterverplaatsing in tonnen, V = vaarsnelheid in km/h). Door nu de maximale toelaatbare waarde van $\Sigma(V.\Delta)$ te delen door de situatielengte L, kan bij benadering de capaciteit van de onderzochte vaarwegen bepaald worden, namelijk:

$$C = \Sigma(V.\Delta)/L \cdot t/h \tag{5}$$

In figuur 11b is op grond van het voorgaande de capaciteit C_s (sch/h) als functie van de bevaarbare vaarwegbreedte B vastgesteld voor een beladingsgraad $\lambda = 0,6$. Bij de bepaling van de gemiddelde vaarsnelheden op de volbelaste vaarweg is daarbij uitgegaan van de snelheid van de traagste schepen.

Uit deze figuur blijkt, dat de capaciteit voor kleine schepen met een gemiddeld tonnage van $\bar{T} = 400$ ton tot $B = \text{ca. } 200$ m praktisch recht evenredig is met de breedte. Voor grotere schepen, $\bar{T} = 800$ ton, blijkt dit slechts op te gaan tot een breedte $B = \text{ca. } 100$ m, daarboven neemt de capaciteitstoename bij vergroting van de breedte sterk af.



Figuur 11. Uit de enquête verkregen verbanden

Beperkende voorwaarden bij de aldus bepaalde capaciteit zijn:

- geen (scherpe) bochten aanwezig in vaarweg
- een redelijke stroomsnelheid op de rivier
- goed zicht aanwezig

De eerder genoemde situatielengte L bleek uit latere analyse een verband op te leveren met de afmetingen van de schepen (lengte l en breedte b), de gemiddelde beladingsgraad (λ) van de schepen binnen de beschouwde vaarwegvaklengte (L) en de zogenaamde navigatiebreedte (B). In formulevorm [12]:

$$L = (1 + \lambda) \cdot \Sigma(l \cdot b) / \Sigma b + B/2 + 100 \quad (6)$$

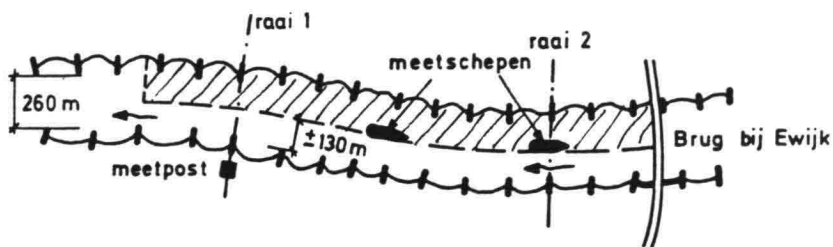
2.5.2 Metingen in de praktijk

Aangezien in de praktijk de maximum capaciteit nooit zal worden bereikt, calamiteiten uitgezonderd, zullen metingen zonder meer weinig bruikbare gegevens opleveren.

Veelal zal gebruik gemaakt moeten worden van een geforceerde situatie, waarbij ingegrepen wordt in de natuurlijke verkeersafwikkeling. Dit zou op natuurlijke wijze kunnen door bijvoorbeeld direkt na stremmingen, veroorzaakt door mist of ijs, of ten gevolge van stakingen, metingen uit te voeren. Gezien de gecompliceerdheid en voorbereidingstijd van zo'n totale meting, is dit praktisch onmogelijk. Dit kan alleen op kunstmatige wijze worden bereikt door bijvoorbeeld het ophouden van de scheepvaart bij spoorbruggen of door de vaarweg plaatselijk zodanig te versmallen met behulp van een wrakkenschip en/of de nodige betonning en het invoeren van een oploopverbod, dat een situatie ontstaat, waarbij filevaart optreedt met een maximale intensiteit.

2.5.2.1 Hiaatafstand tussen twee schepen

In 1975 zijn door Rijkswaterstaat op de Waal bij Ewijk tijdens een geforceerde scheepvaartstremming met behulp van radarfotografie uitgebreide waarnemingen verricht naar filevaart [13]. Ten behoeve van deze filevaartmeting werd de vaargeul tussen twee van te voren uitgezette meetraaien met behulp van wrakboten en aanvullende betonning tijdelijk versmald van de normaalbreedte van 260 m tot circa 130 m (zie figuur 12). In het meetvak was tevens een oploopverbod van kracht. Dit oploopverbod werd, door middel van borden die op enige afstand boven- en benedenstrooms van het meetvak waren geplaatst, aan de scheepvaart kenbaar gemaakt. Verder was er een patrouillerend riviermeestervaartuig aanwezig om het verkeer te begeleiden en toe te zien op een stipte naleving van het oploopverbod.



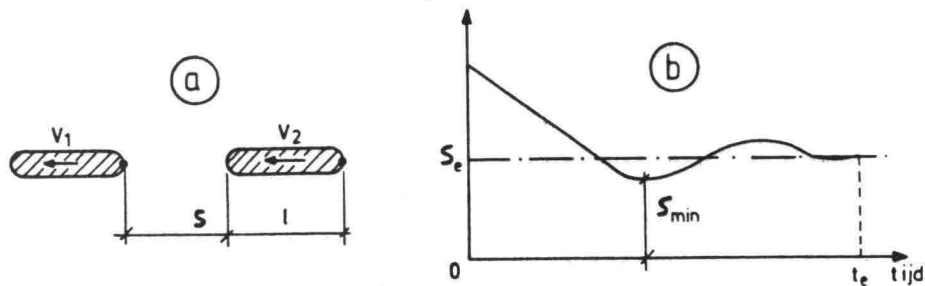
Figuur 12. Situatie meetvak Ewijk

Tijdens de meting werd in beide meettraaien van elk schip het tijdstip van passage gemeten, waarbij van ieder schip de volgende kenmerken werden opgenomen:

- tijdstip van passeren
- vaarrichting
- beladingsgraad
- laadvermogen
- categorie
- naam en verdere bijzonderheden

Met deze gegevens is het mogelijk om de schepen op de radarfoto's, welke in de (mobiele) meetpost met een automatische camera van het radarscherm waren opgenomen, achteraf te identificeren en de positie en de snelheid van de schepen ten opzichte van de oevers te bepalen.

Het radarbeeld werd met een tijdsinterval van 30 seconden gefotografeerd. In totaal zijn circa 1500 foto's gemaakt. Uit projectie van deze foto's zijn bij de uitwerking de gezochte zogenaamde "hiaatafstanden" opgemeten. De hiaatafstand is hier gedefinieerd als de afstand tussen het hek van het voorvarende schip en de boeg van het achtervarende schip (zie figuur 13a). Uit de reeks radarfoto's zijn alleen die situaties geselecteerd, waarbij twee (of meer) schepen achter elkaar varen en waarbij het achterste schip potentieel sneller is dan het voorste, maar oplopen niet mogelijk is vanwege het geldende oploopverbod en/of een sterke beperking van de beschikbare breedte van de vaarweg.



Figuur 13. Hiaatafstand

Tijdens zo'n verkeerssituatie (zie figuur 13b) zien we de navolgende stadia:

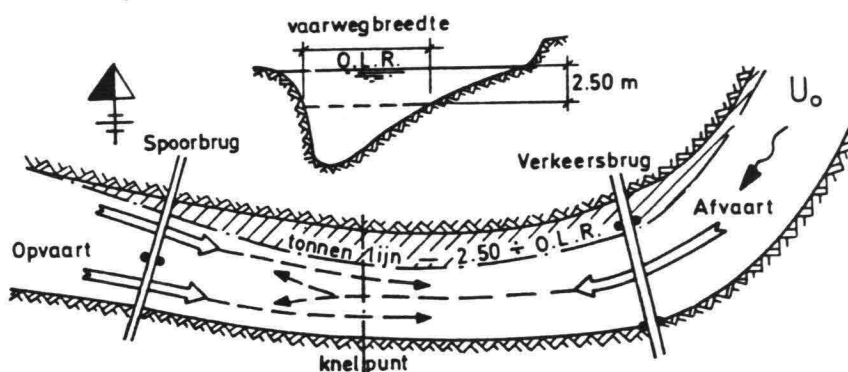
1. De hiaatafstand neemt geleidelijk af door afname van de vaarsnelheid van het achterste schip V_2 .
2. De hiaatafstand is afgenomen tot een bepaalde minimum-waarde S_{min} , die nog juist veilig wordt geacht door de schipper van het achterste schip met lengte l .
3. De schipper van het achterste schip stemt zijn snelheid af op die van het voorste schip ($V_2 = V_1$), hetgeen veelal gebeurt door in eerste instantie een te grote snelheidsvermindering. Hierdoor ontstaat er eerst een soort slingering om een eindwaarde van de hiaatafstand S_e , welke na een tijdsverloop van t_e wordt bereikt.

Deze S_e is dus de gezochte minimale, kennelijk nog juist veilig geachte hiaatafstand. Het enige nadeel bij dit soort metingen blijft, dat het hierbij niet helemaal om een natuurlijke situatie gaat. Er is bijvoorbeeld rivierpolitie in de buurt en de vraag is natuurlijk in hoeverre dit de vaarsnelheden en daarmee de hiaatafstanden zal beïnvloeden.

Voor het knelpunt dat de Waalbocht bij Nijmegen vormt, zijn eenzelfde soort metingen verricht [14]. De verkeerssituatie wordt daar ter plaatse naast de aanwezige vrij scherpe bocht nog extra ingewikkeld door de aanwezigheid van de onoverzichtelijke situatie van de spoor- en verkeersbrug.

Ten tijde van de metingen was de middenpijler van de spoorbrug nog aanwezig. Dit bleek een zodanig knelpunt voor het scheepvaartverkeer te zijn, dat besloten werd deze tussenpijler te verwijderen. Bij de metingen ter plaatse van de Waalbocht is een grove schematisatie toegepast, waarbij is uitgegaan van twee geheel gescheiden vaarstroken. Het verkeersaanbod wordt over beide vaarstroken verdeeld gedacht conform de gemeten percentages. Aangenomen is dat er geen interactie plaatsvindt tussen de vaarstroken onderling.

Voor de opvaart sluit deze schematisatie goed aan bij de werkelijkheid. Uit metingen [11] is voor kleine schepen gebleken, dat de opvaart op geruime afstand voor het knelpunt zijn keuze maakte voor de noorder- of zuideropening van de spoorbrug. De grotere geladen schepen namen bij opvaart veelal de buitenbocht (zuideropening) in verband met de daar aanwezige grotere waterdiepte. De kleine geladen en de ongeladen schepen namen echter de binnenbocht (noorderopening) in verband met de geringere optredende stroomsnelheden. Voor de afvaart gold echter dat vrijwel alle schepen in het midden van de vaarweg het knelpunt binnenvoeren. Dit zogenaamde driestrooksverkeerspatroon is in figuur 14 geïllustreerd voor een laagwaterperiode OLR (Overeengekomen Lage Rivierwaterstand, dat is de waterstand die behoort bij een afvoer die gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden).



Figuur 14. Driestrooks verkeerspatroon in de Waalbocht bij Nijmegen (oude situatie)

De vaarwegbeheerder streeft ernaar om bij OLR een vaargeulbreedte van tenminste 150 m te kunnen garanderen. Deze bevaarbare breedte wordt bepaald in het kielvlak van de schepen en is gedefinieerd op 2,50 m beneden OLR. Het knelpunt tussen de beide bruggen bij Nijmegen had echter een breedte van nauwelijks meer dan 100 m. Pas halverwege het knelpunt, midden tussen de twee bruggen gelegen, bepaalde de afvaart zijn definitieve keus voor de noorder- en zuiderpsoorbrugopening. Deze keuze was echter wel afhankelijk van de momentane verkeerssituatie.

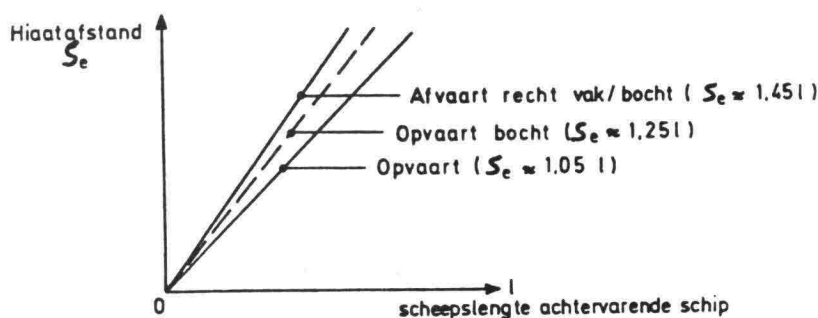
Op dit punt wijkt de eerdergenoemde schematisatie dus af van de werkelijkheid. Omdat over het algemeen in de werkelijkheid de verkeersafwikkeling (door o.a. het individuele gedrag van de schippers) flexibeler is dan in het geschematiseerde model, zal genoemde afwijking in de praktijk kunnen leiden tot enige onderschatting van de capaciteit van de Waalbocht. Gezien het feit dat slechts een betrekkelijk gering deel van de afvaart de noordelijke opening koos, aangezien voor de zuidelijke opening geldt dat hier de manoeuvreerruimte en de meewerkende stroomsnelheid beide groter zijn, is er een variant model onderzocht, waarin alle afvaart de zuidelijke opening kiest. De invloed bleek slechts een geringe extra belasting te betekenen voor het zuidelijke vaarwegvak.

Opmerking: Onlangs heeft men de middenpijler van de spoorbrug verwijderd, en heeft men voor het riviervak tussen de bruggen de vaargeulbreedte vergroot tot 150 m door opstorten van de buitenbocht en aanpassing van de kribben.

Uit zowel de metingen bij Ewijk als bij Nijmegen bleek het volgende:

1. Er bleek geen verband te bestaan tussen de hiaatafstand en de relatieve vaarsnelheid van de betreffende schepen.
2. Ongeladen schepen leveren maar een iets kleinere hiaatafstand op ten opzichte van geladen schepen. Deze verschillen zijn echter niet relevant voor berekeningen en zeker niet voor de grove schematisatie.
3. De hiaatafstand op een rechte vaarweg blijkt voor de afvaart ($S_e = 1,45 l$) groter te zijn dan die voor de opvaart ($S_e = 1,05 l$). Dit heeft te maken met het minder goed bestuurbaar zijn van afvarende schepen bij kleine vaarsnelheden en dus bij plotseling verplicht inhouden van de vaart door bijvoorbeeld calamiteiten.
4. Invloed van de bocht is alléén merkbaar bij de opvaart. De schepen houden in dat geval een grotere hiaatafstand in acht ($S_e = 1,25 l$).

In figuur 15 is het globale verband weergegeven tussen de hiaatafstand S_e en de scheepslengte l van het achtervarende schip (!)



Figuur 15. Verband tussen de hiaatafstand en de scheepslengte van het achtervarende schip

Gaan we bijvoorbeeld uit van een grove schematisatie van de Waalbocht bij Nijmegen (oude situatie), bestaande uit drie vaarstroken, twee stroomopwaarts en één stroomafwaarts, dan kan de capaciteit van dit knelpunt bij benadering worden bepaald. Elke vaarstrook geeft via het gemiddelde tonnage (de lengtes van de afzonderlijke schepen met de daarbij behorende hiaatafstanden) en de vaarsnelheid van het minst snel varende schip een capaciteit. Voor de opvaart wordt door elk schip een lengte van $l + 1,25 l = 2,25 l$ aangehouden, waarbij de groepssnelheid klein is ten opzichte van de afvaart in verband met het veelal geladen zijn van deze schepen (V_s van een geladen schip is ca. 3 km/h lager dan van een ongeladen schip) en de tegengesteld gerichte stroomsnelheid van de rivier (ca. 5 km/h). Hiervoor zijn echter twee vaarstroken beschikbaar.

Voor de afvaart wordt door elk schip een lengte van $l + 1,45 l = 2,45 l$ aangehouden. De groepssnelheid is echter groot in verband met het veelal ongeladen zijn van deze schepen en de meewerkende stroomsnelheid van de rivier.

Aangezien het echter een zeer plaatselijk knelpunt van de vaarweg betreft, is de keuze van het minst snel varende schip (ca. 9 km/h ten opzichte van het water) niet eenduidig te bepalen. Dit hangt sterk samen met het aanbodpatroon over de dag van de diverse categorieën schepen bij het bereik van de bocht.

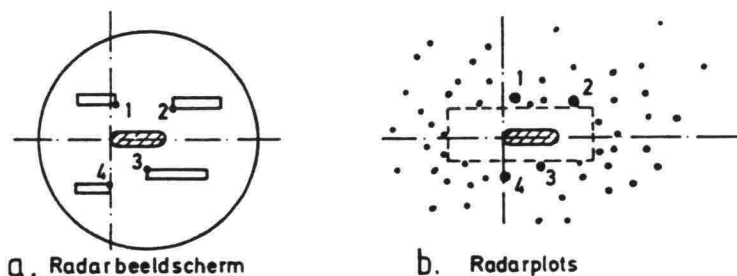
Opm.: In werkelijkheid is de hiaatafstand afhankelijk van de persoon en van de ruimte (bijvoorbeeld het al dan niet aanwezig zijn van een zijdelingse uitwijkmogelijkheid). De hier beschreven geforceerde plaatselijke vernauwing zal kleinere hiaatafstanden geven dan een geleidelijk optredende vernauwing.

Een ander probleem ontstaat indien in het knelpunt bepaalde ontmoetingen niet plaats kunnen vinden. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij de grote opvarende eenheden (duwstellen, koppelverbanden, grote gesleepte objecten). Zij verlenen in zo'n geval voorrang aan de grote afvaart. Dit speelt vooral bij lage rivierwaterstanden. In zulke gevallen kwam het in de praktijk voor dat soms twee à drie opvarende eenheden op stroom lagen te wachten totdat de doorvaart vrij was. Door dit wachten van grote eenheden werd op z'n beurt de vaargeulbreedte benedenstrooms van de spoorbrug bij Nijmegen weer beperkt, waardoor de kleinere schepen achter elkaar moesten invoegen.

De wachtrij benedenstrooms van de spoorbrug mag in ieder geval niet groter worden dan ca. 2000 m, omdat anders de verkeersafwikkeling ter plaatse van de aansluiting van het Maas-Waalkanaal bij Weurt belemmerd wordt door de wachtende schepen.

2.5.2.2 Virtueel gebied rondom een schip

Een andere methode van metingen in de praktijk is die van het bepalen van het zogenaamde virtuele gebied rondom een schip. Deze methode is vooral toegepast bij brede waterwegen in kustgebieden en op zee en werd voor het eerst ontwikkeld in Japan en Engeland [15]. Het virtuele gebied van een gegeven schip wordt bepaald met behulp van een groot aantal foto's die van een radarscherm, waarop dit schip steeds voorkomt, worden genomen (zie figuur 16).



Figuur 16. Meting van het virtuele gebied rondom een schip

Door van elke opname van het radarscherm die punten (1 t/m 4 van figuur 16a) van de overige schepen welke het dichtst in de omgeving van het te volgen schip liggen, over te nemen, ontstaat een beeld, zoals dat in figuur 16b is weergegeven, waarbij meerdere stippen van één en hetzelfde schip afkomstig kunnen zijn, zij het op verschillende momenten tijdens ontmoetingen of inhaalmanoeuvres. Rondom dit bekende schip (bijvoorbeeld een kustvaarder van 500 ton) ontstaat nu een ruimte waarbinnen andere schepen zich niet wagen. Voor elk type schip kan op deze wijze zo'n ruimte worden bepaald.

Als definitie zou gesteld kunnen worden: "Rond elk varend schip bevindt zich een zodanig virtueel gebied waarbinnen andere schepen zich uit oogpunt van een veilige verkeersafwikkeling niet zullen begeven."

Ook hier geldt echter dat dit virtuele gebied sterk samenhangt met de tijdens de meting aanwezige verkeersintensiteit. Bij toenemende intensiteit (en afnemende manoeuvreerruimte) zal men geneigd zijn meer risico's te nemen, waardoor het virtuele gebied zal afnemen.

De vraag is dan ook of het op deze manier bepaalde gebied het minimale respectievelijk het veilige virtuele gebied van een schip oplevert. Dit gebied heeft dan ook geen "harde" grenzen, de ene schipper is voorzichtiger dan de andere, doch er kan wel een grens worden gedefinieerd.

Deze methode van meting is door Rijkswaterstaat onder andere toegepast om de interactie tussen beroeps- en pleziervaart op vaarwegen nader te onderzoeken. Reglementair is de kleine scheepvaart (< 20 m) verplicht aan de grote schepen voorrang te verlenen. Dit betekent, dat snelheid moet worden geminderd en/of de koers moet worden verlegd. De vraag is nu wanneer de pleziervaart actie gaat ondernemen en welke afstanden tot het beroepsvaartuig door de recreant als veilig en voldoende worden beschouwd.

Voor de Amer, nabij de jachthaven van Drimmelen, met een vaarwegbreedte van 350 m, en het Prinses Margrietkanaal, met een vaarwegbreedte van 60 m, zijn in dit verband de eerdergenoemde bewerkingen uitgevoerd op verrichte radarmetingen. Elk punt stelt hier echter een totaal pleziervaartuig voor, gezien de geringe afmetingen ervan op het radarscherm (zie figuur 17a en b). Hieruit blijkt dat de pleziervaart op de Amer ernaar streeft om 50 à 100 m vóór de boeg van de beroepsvaart vandaan te blijven en ca. 20 m vanaf de boorden van het schip.

Voor het Prinses Margrietkanaal ligt de grens van het invloedsgebied op ca. 60 m voor de boeg en 15 m uit de boorden van het schip. De indruk bestaat dat het invloedsgebied hier ellipsvormig is in plaats van rechthoekig (zie figuur 17c).

Zonder beroepsvaart heeft het recreatieverkeer een zekere dichtheid. Wanneer het beroepsvaartuig arriveert, zal de dichtheid van het recreatieverkeer binnen het invloedsgebied geringer zijn dan buiten dit gebied en wel kleiner naarmate de afstand tot het schip ook kleiner wordt. Door de onnauwkeurige meetmethode kon de grens van het invloedsgebied alleen in voorwaartse richting en dan nog globaal worden bepaald en geldt voor een strook van 10 à 15 m aan weerszijde van de scheepsas van het beroepsvaartuig. Het verloop van de dichtheid van de pleziervaart in deze strook is in figuur 17d weergegeven.

Hieruit blijkt dat er juist buiten de grens van het invloedsgebied een zone is waar de dichtheid (grootste helling) van de pleziervaart groter is dan de gemiddelde onverstoorde dichtheid. Het beroepsvaartuig stuwt de pleziervaarders, zeker op het Prinses Margrietkanaal, als het ware voor zich uit, hoewel men zou verwachten dat ze alleen zijdelings gaan uitwijken.

Uit de bewerkingen van de radarfoto's blijkt verder het volgende:

- de beroepsvaart wijkt niet uit voor de recreatievaart
- de vaarsnelheid van de beroepsvaart blijft constant
- het invloedsgebied rondom beroepsvaartuigen is onafhankelijk van de grootte van het schip
- het invloedsgebied is voor lege en geladen schepen gelijk
- het invloedsgebied is op ruim water (Amer) beduidend groter dan op relatief smalle kanalen (Prinses Margrietkanaal) t.g.v. de invloed van de manoeuvreerruimtebeperking.

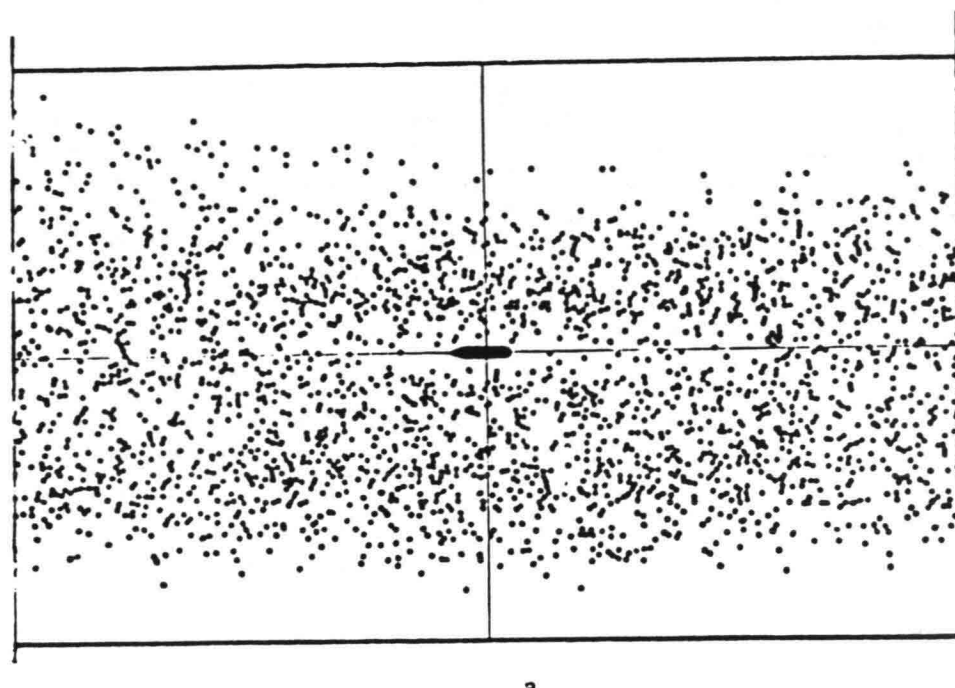


Fig. 17^a

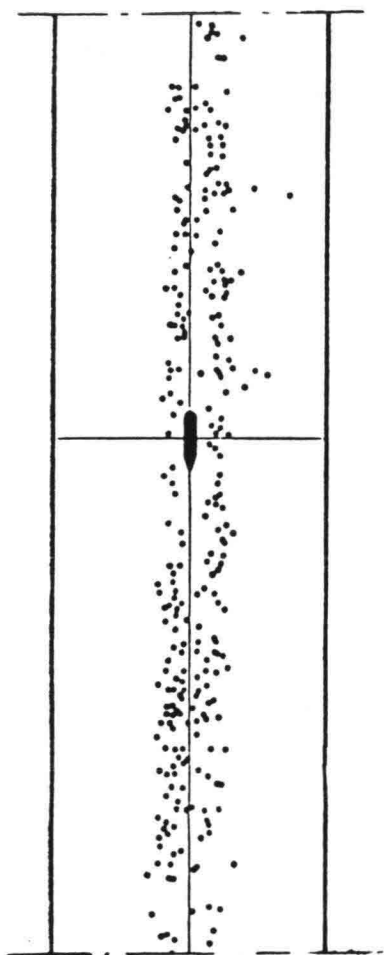


Fig. 17^b

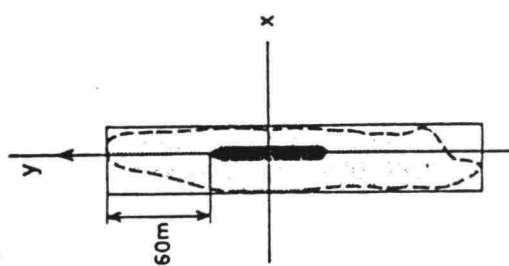


Fig. 17^c

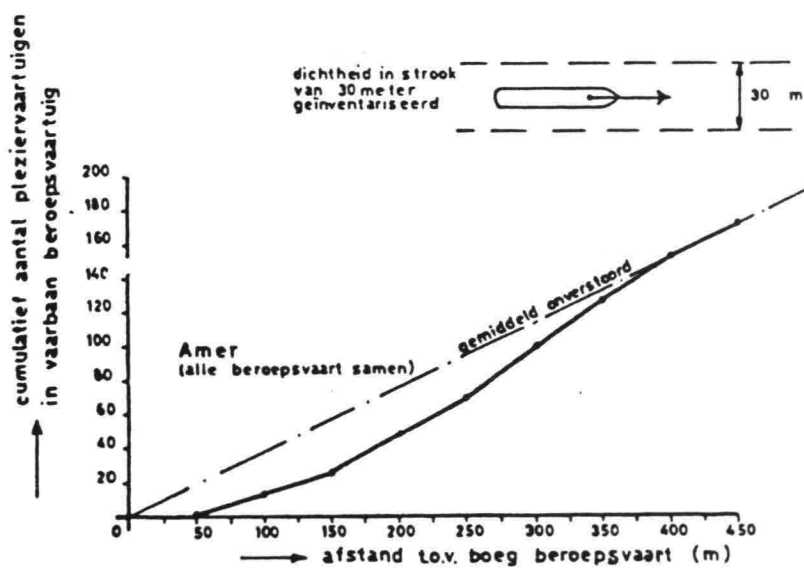
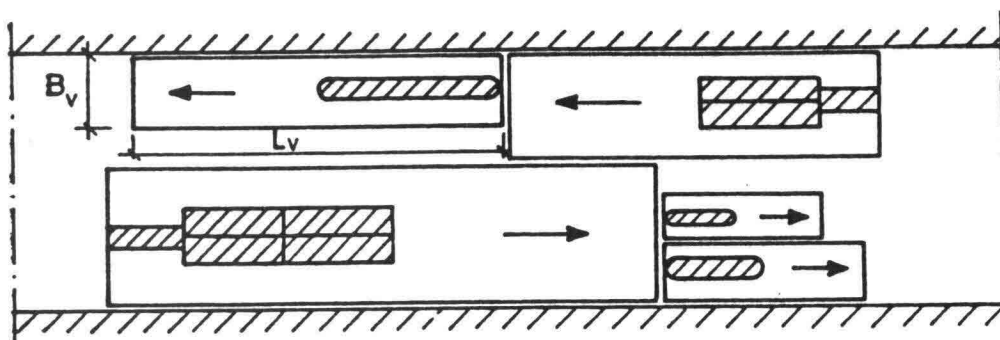


Fig. 17^d

Fig. 17 Verstoring van de dichtheid van recreatieverkeer bij passage van beroepsvaartuig

In aansluiting op het onderzoek naar de hiaatafstanden op de Waal bij Ewijk en Nijmegen bij filevaartmetingen is op basis van literatuur- en modelonderzoek tevens de benodigde vaarbaanbreedte van de diverse categorieën schepen bepaald, nodig voor een veilige verkeersafwikkeling in de bocht bij Nijmegen [13]. Het betreffende onderzoek resulteert in de zogenaamde virtuele afmetingen (L_v en B_v) per scheepscategorie, afhankelijk van de beladingstoestand en de vaarrichting (zie figuur 18). Eenvoudigheidshalve is daarbij verondersteld dat de virtuele gebieden rechthoekig van vorm zijn.



Figuur 18. Virtuele gebieden

Uitgangspunt voor het virtuele gebied is, dat er een zodanig veiligheidsgebied rond een varend schip gedefinieerd kan worden, dat de veiligheid van de totale verkeersafwikkeling gewaarborgd is, indien op geen enkel moment de virtuele gebieden van twee of meer schepen elkaar overlappen. De gevonden virtuele maten zijn geëvalueerd, onder andere in herhaalde besprekingen met riviermeesters van de directie Bovenrivieren en door de maten te toetsen aan concrete verkeerssituaties die in de praktijk nog juist veilig worden geacht.

Virtuele breedte

In afwijking van de gevolgde werkwijze bij het bepalen van de virtuele lengte, waarbij is uitgegaan van speciaal voor dit doel georganiseerde geforceerde praktijkmetingen, is voor het bepalen van de virtuele breedte vooral uitgegaan van literatuurstudie, omdat een geforceerde meting zeer moeilijk, zo niet onmogelijk valt te organiseren. De virtuele breedte van een schip hangt n.l. sterk af van de verkeerssituatie, waarin het schip zich bevindt. In verband met de versterking van de retourstroom en de spiegel daling, zullen twee schepen, die elkaar olopen, meer ruimte in breedterichting nodig hebben dan bij een ontmoeting. Voor capaciteitsbepalingen wordt uiteraard niet gezocht naar de breedte die een schip nodig heeft in een specifieke verkeerssituatie, maar naar de breedte, die gemiddeld nodig is in het ter plaatse gebruikelijke verkeerspatroon. De gezochte waarde voor bijvoorbeeld de Waalbocht wordt voor grote schepen benaderd door de benodigde breedte tijdens het ontmoeten, voor de kleine schepen moet met een wat ruimere maat gerekend worden, omdat deze relatief vaker bij olopmanoeuvres zijn betrokken.

Voor een ontmoeting van twee schepen op een recht stroomloos kanaal betekent dit per schip een vaarstrook van ca. 2.b. Op rivieren met plaatselijke turbulente stroomconcentraties, veroorzaakt door brugpijlers, kribben e.d., en de spiraalstroom in en nabij bochten, zal het omstromingspatroon van de schepen minder gunstig zijn.

Vooralschepen met een geringe koersstabiliteit (kleine relatief korte schepen) en geladen schepen met een relatief laag specifiek vermogen (het voortstuwingsvermogen uitgedrukt in kW's per ton waterverplaatsing, zie [25]) kunnen een ongunstige invloed op de vaarbaanstabieliteit ondervinden.

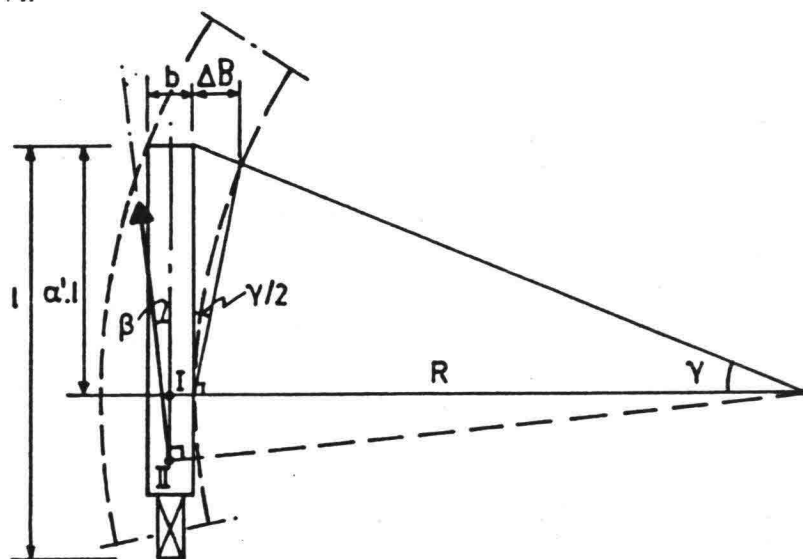
In verband met het voorgaande wordt de basis vaarstrookbreedte op stromend water gemiddeld voor zowel geladen als ongeladen schepen op ca. 2,2.b gesteld.

Voor kleine schepen wordt, met het oog op de grotere gevoeligheid voor uitwendige storingen een iets ruimere maat, namelijk ca. 2,3 à 2,4.b gekozen.

In bochten wordt de padbreedte nog groter dan bij een rechte vaarbaan, zelfs wanneer de drifthoek β nul is (figuur 19, draaipunt I).

Om de extra middelpuntvliedende kracht, werkend op een schip dat een bocht doorloopt, te compenseren, zal de drifthoek β een bepaalde waarde richting binnenbocht aannemen, waardoor het werkelijke draaipunt (figuur 19, draaipunt II) zich verder naar de achterkant van het schip zal verplaatsen. Voor de bepaling van de extra breedtetoeslag ΔB maakt dit geen verschil zoals uit het volgende zal blijken. Bij benadering geldt voor de berekening van deze extra breedtetoeslag ΔB in bochten [25]:

$$\Delta B = \alpha \cdot l^2/R \tag{7}$$



Figuur 19. Extra breedtetoeslag in bochten

Uit praktijkproeven met duweenheden, welke met een gemiddelde snelheid van ca. 14 km/h voeren, heeft Schüle [17] een aantal grafieken voor vaarwegklasse V samengesteld voor de bepaling van de extra breedtetoeslag ΔB als functie van de stroomsnelheid (zowel ten aanzien van op- als afvaart), de boogstraal R en de lengte/breedte-verhouding (l/b) van de schepen. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde diepgang van ca. 2,50 m. Overigens werden bij de proeven op de Donau geen noemenswaardige verschillen gevonden tussen de padbreedtes van geladen en ongeladen eenheden in de opvaart. Voor de afvaart was dit wel het geval, hiervoor bleek de padbreedte bij ongeladen duwstellen groter te zijn dan bij geladen duwstellen (zie tabel 1).

Globaal kan nu, met behulp van de onder (7) gevonden relatie, de α -waarde als functie van U_0 , V_S en $(1/b)$ worden gevonden.

In tabel 1 zijn de waarden van α weergegeven:

1/b	Opvaart geladen en leeg $U_0 = - 6$ km/h	stroomloos kanaal $U_0 = 0$	afvaart geladen / leeg $U_0 = + 6$ km/h
16	ca. 0,25	ca. 0,40	ca. 0,55 / ca. 0,65
8	ca. 0,30	ca. 0,45	ca. 0,60 / ca. 0,70
5,5	ca. 0,35	ca. 0,50	ca. 0,65 / ca. 0,75

Tabel 1. α -waarden voor $V_S' = 14$ km/h (ten opzichte van water)

Voor wat betreft de invloed van de waterdiepte op de bovengenoemde pad-breedte geldt, dat deze bij de proeven op de Donau niet veel afwijken van die op de Waal tijdens een laagwaterperiode.

Uit een analyse van de door Schüle opgestelde grafieken [25] blijkt dat de resultaten kunnen worden samengevat als:

$$\alpha = 0,035 \cdot V_S + 0,125 \cdot (1 - R/1000) \quad (8)$$

met: V_S is de vaarsnelheid t.o.v. de oever in km/h.
 R is de bochtstraal in m.

Opm: Door de vaarsnelheid voor de bocht sterk te verminderen, z.g. "aangepast bochtvaren", kan de benodigde vaarbreedte sterk gereduceerd worden.

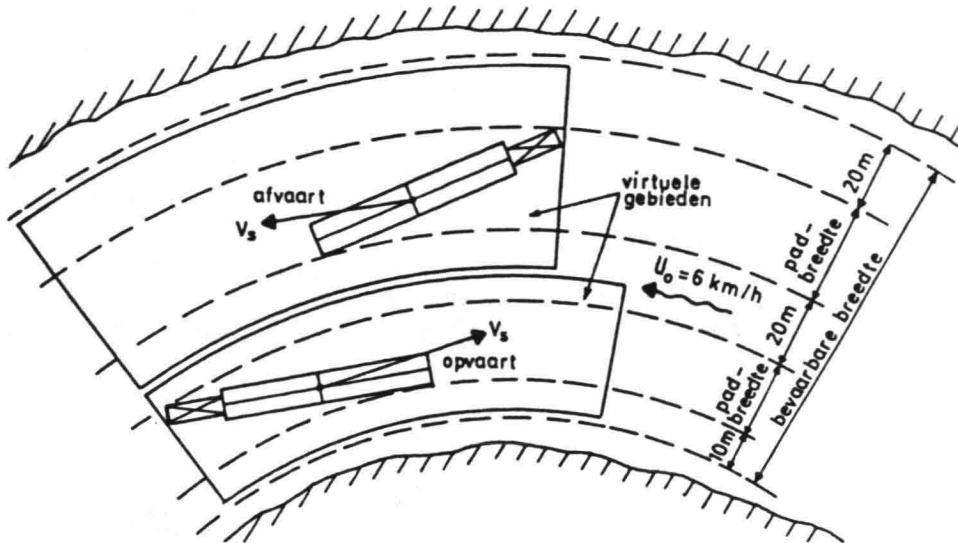
In zijn artikel [17] beveelt Schüle voor 4-baks duwstellen aan om voor bochten de volgende veiligheidsstroken in acht te nemen (zie figuur 20):

- In de binnenbocht tussen vaarbaan en oever : ca. 10 m
- Tussen de vaarbanen van de elkaar ontmoetende duwstellen: ca. 20 m
- In de buitenbocht tussen vaarbaan en oever : ca. 20 m

Uit waarnemingen voor de Waalbocht kwam naar voren dat:

- voor de opvaart een totale veiligheidsstrook van 20 m en
 - voor de afvaart een totale veiligheidsstrook van 25 m,
- naast de benodigde breedte van $b + \Delta B$, voldoende moet worden geacht voor het bepalen van de virtuele breedte in bochten. Dit is in totaal dus een iets kleinere breedte dan volgens Schüle.

Eerdergenoemde aanbevelingen zijn gebaseerd op de eis, dat duwstellen in de bocht gemiddeld met ca. 14 km/h ten opzichte van het water kunnen varen, bij een stroomsnelheid $U_0 = 6$ km/h en geldend voor boogstralen tussen $R = 600$ m en $R = 2000$ m.



Figuur 20. Veiligheidsstroken in een bocht

Voor het knelpunt in de Waalbocht (zie figuur 14) geldt een minimum straal van $R = 750$ m, waarbij de virtuele breedte voor een 4-baks duweenheid ($l = 185$ m, $b = 22,8$ m) als volgt kan worden bepaald:

1. Opvaart

$$B_v = b + \alpha \cdot l^2 / R + 20 = 22,8 + 0,3 \cdot 185^2 / 750 + 20 = 56,5 \text{ m}$$

2. Afvaart (ongeladen)

$$B_v = b + \alpha \cdot l^2 / R + 25 = 22,8 + 0,7 \cdot 185^2 / 750 + 25 = 79,5 \text{ m}$$

De totale breedte, benodigd om een ontmoeting in het bewuste knelpunt van de Waalbocht mogelijk te maken, bedraagt dus ca. 140 m. Aangezien de vaarbreedte in het knelpunt bij laagwater (gemeten in het kielvlak op 2,50 m beneden OLR) nauwelijks 100 m bedraagt, is een ontmoeting tussen twee vierbaks duweenheden bij LW onmogelijk. De opvarende duweenheid zal benedenstrooms van de bocht moeten wachten tot de afvarende duweenheid de bocht gepasseerd is.

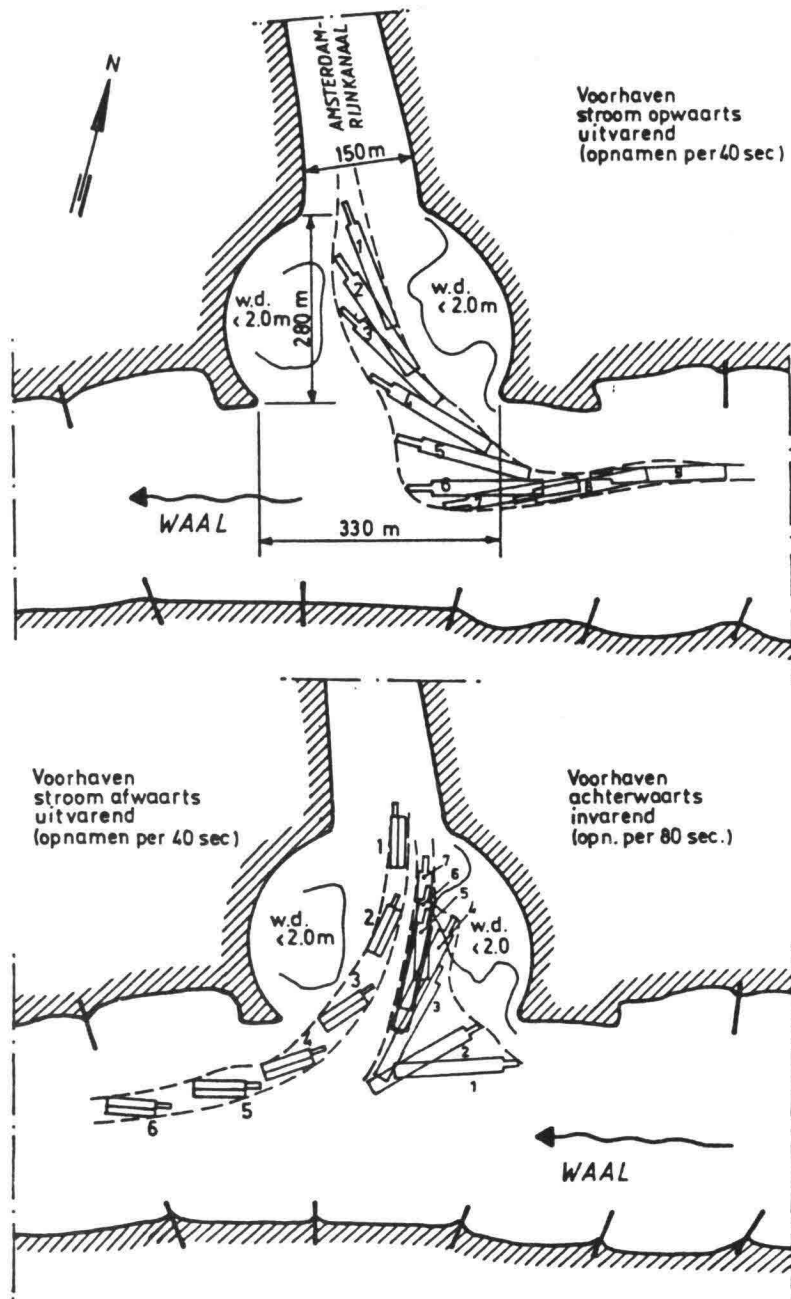
Een kunstmatige verbreding (onderzocht wordt of een oplossing waarbij de buitenbocht met steen wordt aangestort tot een verbreding van de vaargeul kan leiden) van het bewuste knelpunt of een bochtafsnijding met een veel grotere boogstraal dan de huidige $R = 750$ m (zeer kostbaar) zou voor een bevredigende oplossing kunnen zorgdragen.

Voor motorschepen bleek uit een studie van het verkeersgedrag in de Waalbocht bij Nijmegen [11] dat bij lage waterstanden het verkeerspatroon ter plaatse van het knelpunt (voor de verbetering!) in grote lijnen bestond uit twee stromen opvaart langs beide oevers en één stroomafwaarts. Bij dit verkeerspatroon zal er voor de opvaart, vooral bij laag water, geen sprake zijn van een oriënteringsprobleem, gezien de vele oriënteringspunten als de Waalkade en de tonnenlijn. Vanwege de vrij kleine verhouding scheepslengte/bochtstraal en de lage absolute snelheid is de drifthoek in opvaart verwaarloosbaar klein. Dit betekent dat de gemiddelde vaarstrookbreedte in de Waalbocht in principe niet groter hoeft te zijn dan de vaarstrookbreedte op een recht riviervak.

De afvaart in de Waalbocht bij laag water gaat vrijwel uitsluitend door het midden van de vaarweg, waardoor de geleidende werking van de oevers in veel mindere mate aanwezig is. Verder komen deze schepen met een grote

absolute snelheid (15 à 20 km/h) aan in het knelpunt om direct daarna een scherpe bocht te maken. Het is duidelijk dat de benodigde vaarbaan hier in veel mindere mate van te voren is te bepalen dan bij de opvaart.

De oriënteringsproblemen doen zich vooral voor indien de scheepsafmetingen klein zijn ten opzichte van de vaarwaterbreedte, de vaarbaan gekromd is, de absolute vaarsnelheid hoog is, zodat er weinig tijd is om zich te oriënteren en/of duidelijke oriënteringspunten ontbreken. Aangezien de afvaart door het midden van het vaarwater gaat, zal de werkelijk gevaren vaarbaan, vooral ter plaatse van het knelpunt, afwijken van de voorgenomen vaarbaan.



Figuur 21. Aansluiting Amsterdam-Rijnkanaal op de Waal bij Tiel

Ondanks het gebrek aan bekendheid over de invloed van het oriënteringsprobleem op de breedte van de vaarstrook wordt het, los van de reeds benodigde vaarbaanbreedte ten gevolge van de grotere drifthoeken welke ontstaan door de absolute vaarsnelheden, nodig geoordeeld om aan afvarende motorschepen een extra veiligheidsstrook van 5 meter toe te kennen, de zogenaamde oriënteringstoeslag.

2.5.2.3 Aansluitingen op vaarwegen

Naast bochten vormen aansluitingen op vaarwegen, zoals de voorhaven te Tiel (zie figuur 21), een belemmering voor de capaciteit van de doorgaande vaart. Speciaal bij het uitvaren van duweenheden vanuit de voorhaven blijkt dat de rivier over meer dan de helft van de vaarweg gedurende een zekere tijd wordt geblokkeerd. De doorgaande riviervaart heeft echter voorrang. Het uitvaren zal dan ook moeten wachten totdat er een geschikte opening in de doorgaande verkeersstroom ontstaat. Van de doorgaande riviervaart ter plaatse van de voorhaven bevindt de opvaart zich als regel in de zuidelijke helft van de rivier, de afvaart in de noordelijke helft, beide zoveel mogelijk naar de rivieras.

Incidenteel vindt de opvaart onder de noordelijke oever plaats, hetgeen de in- en uitvaart van de voorhaven zeer kan hinderen.

De problemen doen zich hoofdzakelijk voor bij het uitvaren van de voorhaven richting stroomopwaarts varende en het invaren van de voorhaven stroomafwaarts komend. Hierbij zijn er ten aanzien van de uitvaart naar de bovenstroomse richting twee manieren mogelijk:

1. Door vanuit de voorhaven de rivier zo snel mogelijk schuin over te steken, daarbij invoegend in het normale opvaarpatroon (alleen mogelijk indien niet gehinderd door intensieve doorgaande af- en opvaart);
2. Door vanuit de voorhaven eerst langs de noordelijke oever te gaan opvaren met blauwe vlag aan stuurboord (zie het voorbeeld in figuur 21 met een duwboot met twee schroeven van elk 1200 pk en duwbakken voorzien van koproeren).

De laatste mogelijkheid kan alleen worden uitgevoerd als er geen gelijktijdige invaart plaatsvindt, c.q. nadert. Deze invaart sorteert als het ware voor door zover mogelijk onder de noordelijke oever te gaan varen, waarbij de invaart zelf "kop voor" plaatsvindt. Daartoe is ruimte nodig in de oostelijke helft van de voorhaven.

De proeven in 1973 hebben uitgewezen dat een invarend duwstel (van de op de rivier gebruikelijke lengte) de ruimte in de voorhaven dusdanig benut, dat zich hierin tijdens deze invaart geen andere vaart mag bevinden. Dit geldt zeker bij de lagere waterstanden, waarbij binnen de voorhaven de ruimte extra beperkt wordt. Daarbij komt nog dat het onderscheiden van de afvaart met bestemming schutsluis Amsterdam-Rijnkanaal en de overige afvaart, met radarwaarnemingen vanaf de schepen niet mogelijk is. Van belang voor de uitvaartprocedure was dan ook de marifoonverbinding tussen de schepen onderling. Met de komst van de verkeersstoren op de kop van de voorhaven is een aanzienlijke verbetering opgetreden, door de mogelijkheid van verkeersbegeleiding (zie bijlage I). Wanneer in de toekomst het varen met zes bakken op de Waal zou worden toegestaan, dan is in de voorhaven een meergelegenheid nodig om de 6-baksformatie om te zetten in een 4-baksformatie in verband met de lengte van de nieuwe sluiskolk van 250 m. De problemen ten aanzien van het invaren van een zesbakken formatie in de voorhaven zullen zeker toenemen ten opzichte van de huidige problematiek. NB: Onlangs is de invoering van de 6-baks duwvaart een feit geworden.

2.5.3 Simulatiemodellen

Voor brede vaarwegen waarin geen sluizen voorkomen, zoals onder andere de Rijn, blijken er zoals we reeds eerder gezien hebben, grenzen aan de capaciteit van de vaarweg te ontstaan, welke het eerst naar voren komen bij de knelpunten ten gevolge van bochten, versmallingen en (spoor)bruggen.

Op de route Dordrecht-Lobith bijvoorbeeld passeren per jaar ruim 200.000 schepen, waarbij de verkeersintensiteit in de tijd sterke variaties vertoont. Tijdens de drukste uren zijn intensiteiten van 60 tot 80 schepen per uur gemeten. Verder speelt de grote diversiteit in afmetingen en de vaarsnelheden van de schepen een grote rol.

Tenslotte is er een grote variatie in de bevaarbare breedte van de verschillende riviervakken van de betreffende route, namelijk van 100 tot 300 meter. Wiskundige simulatiemodellen zijn een goed hulpmiddel om deze grillig verlopende processen te bestuderen. Het ontwikkelen en toepasbaar maken van deze modellen is echter zeer arbeidsintensief en dus kostbaar, nog afgezien van het verkrijgen van de vele hiervoor noodzakelijke meetgegevens.

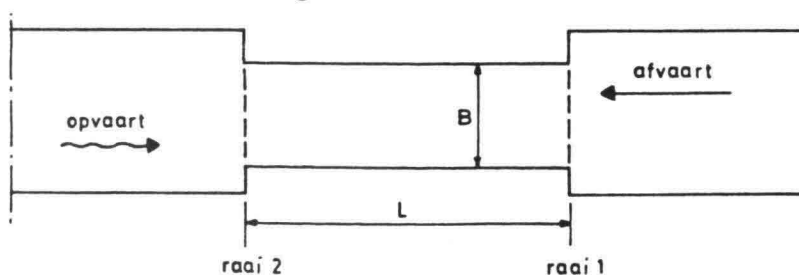
Ook mogelijke groei van het scheepvaartverkeer, in het bijzonder de toename van het aandeel van bijvoorbeeld het vervoer van gevaarlijke stoffen of van de recreatievaart, maar ook het invoeren van zesbaksduwvaart, vragen om kwantificering van de verandering of ingreep op de verkeersafwikkeling en daarmee op het ontstaan van knelpunten in een vaarweg.

Rond 1975 is bij de RWS-DVK (Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde) gestart met de ontwikkeling van een eenvoudig binnenvaartmodel, het zogenaamde Korte-Vak-Model (KVM). De aanleiding vormde ook hier de problematiek rond de Waalbocht bij Nijmegen.

Eveneens rond 1975 is bij TNO-IWECO (Instituut voor Werktuigkundige Constructies) een begin gemaakt met scheepvaartsimulatie. Dit model was in eerste instantie gebouwd voor de (zee)scheepvaart op de Nieuwe Waterweg ten behoeve van de gemeente Rotterdam. Inmiddels wordt dit model in opdracht van RWS-DVK verder ontwikkeld tot een specifiek binnenvaartmodel geschikt voor vertakte vaarwegen [18]. Achtereenvolgens worden beide modellen bekeken.

2.5.3.1 Het korte-vak-model (KVM)

Dit model is alleen toepasbaar op korte knelpunten, die geschematiseerd kunnen worden tot een recht vaarwegvak van 1 à 2 km lengte (L) met een constante breedte (B). De aangrenzende vaarwegvakken dienen een aanzienlijk grotere capaciteit te bezitten, zodat hier geen beperkingen voor de verkeersafwikkeling optreden. De verkeersstromen van afvaart en opvaart, welke door middel van een verkeersgeneratieproces worden bepaald (via aankomsttijdstippen en relevante kenmerken van de schepen), komen resp. aan op de raaien 1 en 2 (zie figuur 22).



Figuur 22. Korte-vak-model

Tot de relevante kenmerken behoren onder andere de vaarsnelheid V_s en de virtuele maten B_v en L_v . Het aankomsttijdstip van de virtuele voorsteven op de beginraai wordt nu gegenereerd. Met de gegeven vaarsnelheid en virtuele afmetingen van ieder schip is dan te berekenen wanneer de virtuele achtersteven van het schip het vak verlaat.

Voor alle schepen wordt deze zogenaamde "ruimteclaim" $T = (L_v + L)/V_s$ in het knelpunt vooraf berekend, waarbij V_s de vaarsnelheid ten opzichte van de oever is.

- a. Een eerste uitgangspunt is nu dat de vaart van ieder schip veilig is zolang er geen overlapping optreedt van het virtuele gebied met dat van een ander schip of met de vaargeulbegrenzing (oevers).
(Definitie: veilige vaart = ongeschonden virtueel gebied).
- b. Een tweede uitgangspunt is, dat er een voorranghebbende (VH) en een voorrangverlenende (VV) vaarrichting is (bijvoorbeeld afvaart heeft voorrang op opvaart).
- c. Een derde uitgangspunt is, dat de som van de virtuele breedte van schepen die naast elkaar het knelpunt invaren, niet verandert tijdens het varen door het knelpunt. (Dit uitgangspunt zal bij grote knelpuntlengte tot overschatting van de problemen leiden, aangezien het dan niet reëel geacht mag worden dat schepen die naast elkaar het knelpunt binnenkomen, dit zullen blijven doen over de volle knelweglengte).
Wordt nu tijdens het simulatieproces geconstateerd dat er meer virtuele breedte voor een verkeerssituatie nodig is dan in het knelpunt beschikbaar is, dan treedt een set spelregels in werking die er voor zorgt dat één of meer schepen buiten het vak wacht(en) totdat de verkeerssituatie zich in het vak zover heeft opgelost, dat zonder overlapping van virtuele gebieden kan worden doorgevaren.

Spelregels algemeen:

In verband met de grote diversiteit van scheepstypen, variërend van recreatievaartuigen tot zesbaksdweenheden en coasters, kunnen per vaarrichting een vrij groot aantal (20) verschillende scheepscategorieën worden onderscheiden. Daarnaast is een mogelijkheid ingebouwd om de vloot te verdelen in twee hoofdgroepen n.l. schepen van de grote-soort en schepen van de kleine-soort. Per soort kunnen namelijk geheel verschillende verkeersgedragsregels gelden.

Spelregels voor de voorranghebbende (VH) richting:

1. Schepen van de grote-soort (virtuele maten) mogen niet naast elkaar het vak invaren (voor de Waal 2- en 4-baksduwstellen, gekoppelde formaties en grote gesleepte vaartuigen).
2. Naast een schip van de grote-soort mag in breedterichting maximaal één schip van de kleine-soort invaren (mits tevens voldaan wordt aan punt 3).
3. Schepen mogen alleen naast elkaar invaren, als de som van hun virtuele breedten niet groter is dan een op te geven maximum waarde.
4. In het knelpunt mogen geen nieuwe oploopsituaties worden gestart; deze worden uitgesteld totdat de eindraai van het knelpunt is bereikt. (Schepen met grotere snelheid dan hun voorganger moeten hun snelheid zodanig verlagen, dat zij op de eindraai, virtueel gezien, juist aansluiten achter hun voorganger).
5. Verkeerssituaties op de beginraai van het knelpunt met een grotere virtuele breedte dan wordt toegestaan door de regels 1 t/m 3 worden afgebroken volgens het FIFO-principe (First In - First Out).

Spelregels voor de voorrangverlenende (VV) richting:

Nadat de verkeersafwikkeling van de VH-richting is voltooid, is gedurende de hele simulatieperiode het verloop in de tijd bekend van de VH-vaarstrookbreedte (op aankomstraai van VH-richting wordt voortdurend een administratie bijgehouden van de gesommeerde virtuele breedte van schepen die gelijktijdig over de raai gaan). Het verschil tussen de bevaarbare breedte B en laatstbedoelde ΣB_V is nu beschikbaar voor de VV-richting = $B_{VV}(t)$. De programmatuur voor de verwerking van de VV-richting is vrijwel identiek aan die van de VH-richting. Het enige nieuwe element zit in de volgende regel:

6. Is de benodigde tijd voor het passeren van het knelpunt gelijk aan $t_1 - t_2$, dan moet de virtuele breedte van de aangeboden verkeerssituatie kleiner of gelijk zijn aan $B_{VV}(t)$ gedurende t_1 tot t_2 .

Bij de VV-richting kan een volledige stagnatie optreden, omdat vooral grote-soort schepen uit de VH-richting een zodanige breedte in het knelpunt claimen dat de resterende breedte $B_{VV}(t)$ gedurende lange tijd onvoldoende is om VV-schepen door te laten. Er vormt zich dan een file van stilliggende schepen, dit in tegenstelling tot de VH-richting, waar alleen sprake kan zijn van een langzaam varende file, ontstaan door achter elkaar invoegende schepen.

Voorbeeld KVM: lengte "knelpunt": $L=1300$ m (zie figuur 22).

	virt. lengte	V_s (tov oever)	verblijftijd
Opvaart: vierbaksduwstel	400 m	8 km/h	765 s
Afvaart: idem	300 m	17 km/h	339 s
			1104 s = 18,4 min

Voor dit voorbeeld geldt dus dat de opvaart **niet** door het knelpunt kan varen, indien de hiaattijd tussen twee opeenvolgend grote afvarende eenheden kleiner is dan 18,4 minuten.

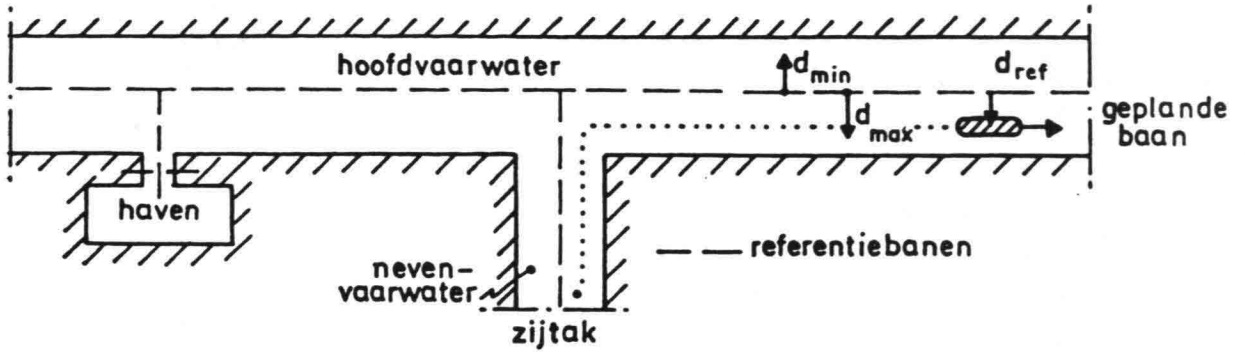
Opm:

In de praktijk wordt de ontmoetingsregeling uiteraard niet zo tot op de seconde nauwkeurig uitgevoerd als in het model. Gemiddeld genomen wordt het model geacht dit effect juist weer te geven.

2.5.3.2 Binnenvaartmodel voor vertakte vaarwegen

De voorloper van dit model, het "TNO-IWECO Vessel Traffic Simulation Model" (1978) werd in eerste instantie toepasbaar gemaakt voor de beschrijving van scheepvaartverkeer in de Rotterdamse haven [19]. Begin 1980 werd begonnen met de ontwikkeling (door RWS en TNO-IWECO) van dit nieuwe model. Dit model wordt in fasen ontwikkeld volgens de volgende indeling:

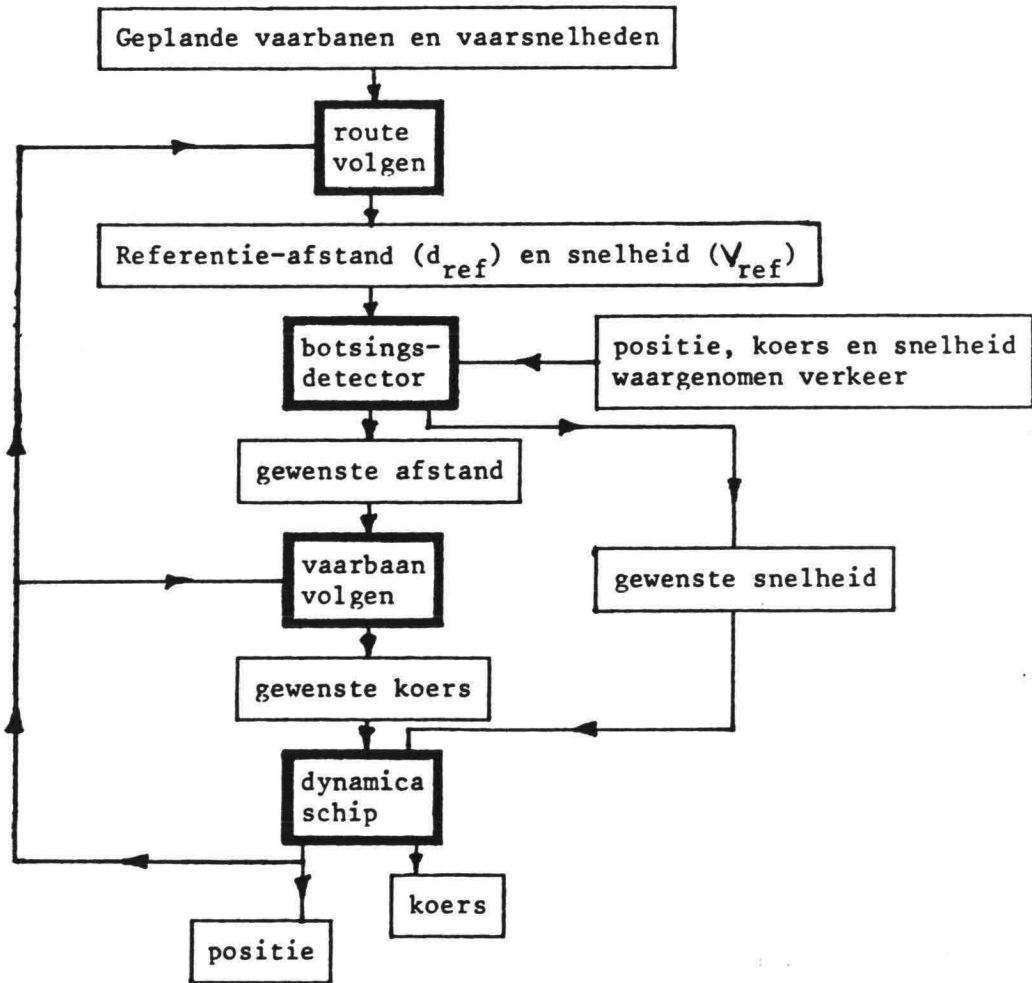
1. onvertakte vaarweg, incl. complicaties zoals bochten en andere bottle-necks
2. uitbreiding van 1 met één of meer havenin-/uitgangen
3. uitbreiding van 1 met een zijtak (zogenaamd splitsingspunt)
4. splitsingspunt met één of meerdere havenin-/uitgangen



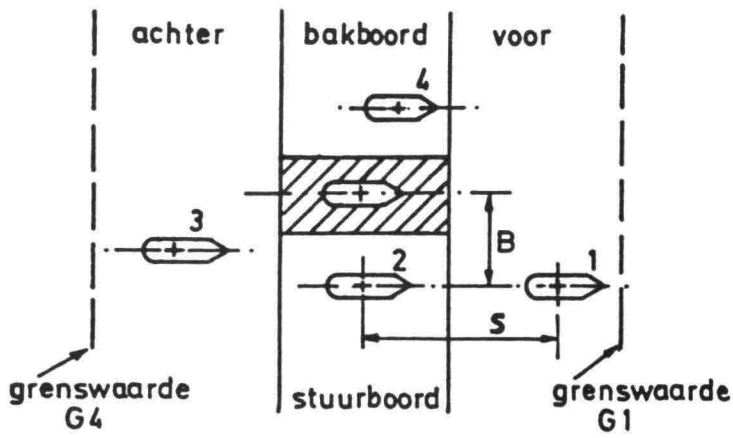
Figuur 23. Vertakte vaarweg

Het onder punt 1 genoemde model is inmiddels operationeel. Bij dit model wordt gebruik gemaakt van een stelsel van zogenaamde referentiebanen waarmee het te simuleren gebied wordt vastgelegd door middel van vaarweggedeelten met bijbehorende begrenzings (zie figuur 23).

De elementen van het model zijn de schepen die zich in het te simuleren gebied bevinden. Elk schip wordt beschreven door hetzelfde sub-model (zie figuur 24).

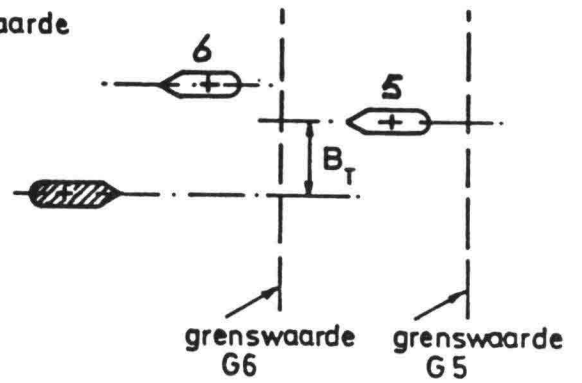


Figuur 24. Blokdiagram van het verkeerssubmodel



Situatie bij oplopen

Fig. 25^a



Situatie bij ontmoeten

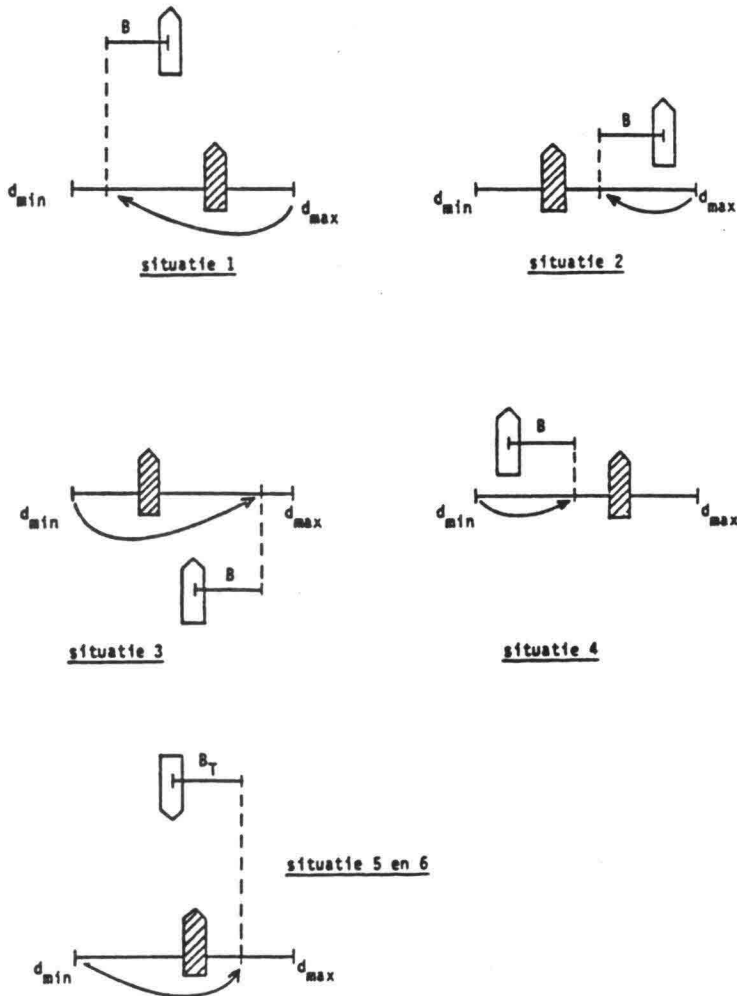


Fig. 25b

Overzicht van het opschuiven van de grens voor d_{min} of d_{max} bij elke situatie

De route van het schip is bepaald door de opeenvolgende referentiebanen te specificeren, samen met de geplande referentie-afstand (d_{ref}) ten opzichte van elke referentiebaan (zie figuur 23). Daarbij moet voor elke referentiebaan de geplande vaarsnelheid (de zogenaamde referentiesnelheid) worden opgegeven. Komt een schip het model binnen dan worden de grootheden behorende bij de eerste referentiebaan toegewezen. Aan het einde van de momentane referentiebaan wordt het schip overgegeven naar de volgende referentiebaan, waarbij de bijbehorende grootheden worden bijgewerkt. Als het schip aan het einde van de laatste referentiebaan is aangekomen, gaat het schip het model uit.

Per verkeerssysteem worden een aantal processen onderscheiden. Het proces waar het schip mee bezig is, is afhankelijk gesteld van het type vaarwater (hoofdvaarwater, nevenvaarwater, havenin-/uitgang) c.q. de overgang in type vaarwater.

Een schip dat via het nevenvaarwater het hoofdvaarwater opvaart (zie gestippelde lijn in figuur 23), doorloopt achtereenvolgens de volgende processen:

1. houden van het nevenvaarwater
2. overgang van nevenvaarwater naar hoofdvaarwater
3. houden van het hoofdvaarwater

Afhankelijk van de gecompliceerdheid van een systeem, zijn er meer processen nodig om het systeem te beschrijven.

Voor het eenvoudigste interactie-model voor een rechte onvertakte vaarweg bestaat slechts één proces, namelijk: "houden van het hoofdvaarwater". Voor de identificatie van voorkomende situaties wordt uitgegaan van het beschouwde schip "subject schip" (gearceerd).

Bij oplopen kunnen vier situaties worden onderscheiden, namelijk het andere schip zit vóór (1), aan stuurboord (2), aan bakboord (3) of achter (4) het beschouwde schip. Zit het andere schip vóór dan geldt een zogenaamde grenswaarde G_1 en zit het achter, dan geldt een grenswaarde G_4 . Bij situaties voor ontmoeten worden twee grenswaarden onderscheiden, G_5 en G_6 , waarbij $G_5 > G_6$ (zie figuur 25a).

Bij de afhandeling van bovengenoemde situaties wordt het volgende principe toegepast. Via een beslissingsproces wordt afgeweken van de referentie-afstand (d_{ref}) en de referentiesnelheid V_{ref} en wordt de gewenste afstand (d_g) en de gewenste snelheid (V_g) bepaald, waarbij moet gelden:

$$d_{min} \leq d_g \leq d_{max} \quad \text{en} \quad V_{min} \leq V_g \leq V_{max} \quad (9)$$

Door het stellen van zekere prioriteiten bij de afhandeling van (conflict) situaties en het dienovereenkomstig insluiten van de grenzen voor d_g en V_g , wordt op een systematische wijze de geschikte combinatie van d_g en V_g bepaald.

De minimum afstanden die daarbij in acht genomen moeten worden (zie figuur 25a) bestaan uit een longitudinale afstand (S) ten opzichte van de voorligger (soort gemiddelde hiaatafstand \bar{S}_e), een laterale afstand (B) bij oplopen en een laterale afstand (B_T) bij ontmoeten.

De minimale longitudinale afstand (S) ten opzichte van een voorligger wordt verkregen door de in eerste instantie aangenomen waarde $V_g = V_{max}$ zodanig te verlagen, dat voldaan wordt aan het genoemde criterium.

Indien inhalen niet mogelijk is ontstaat filevaart.

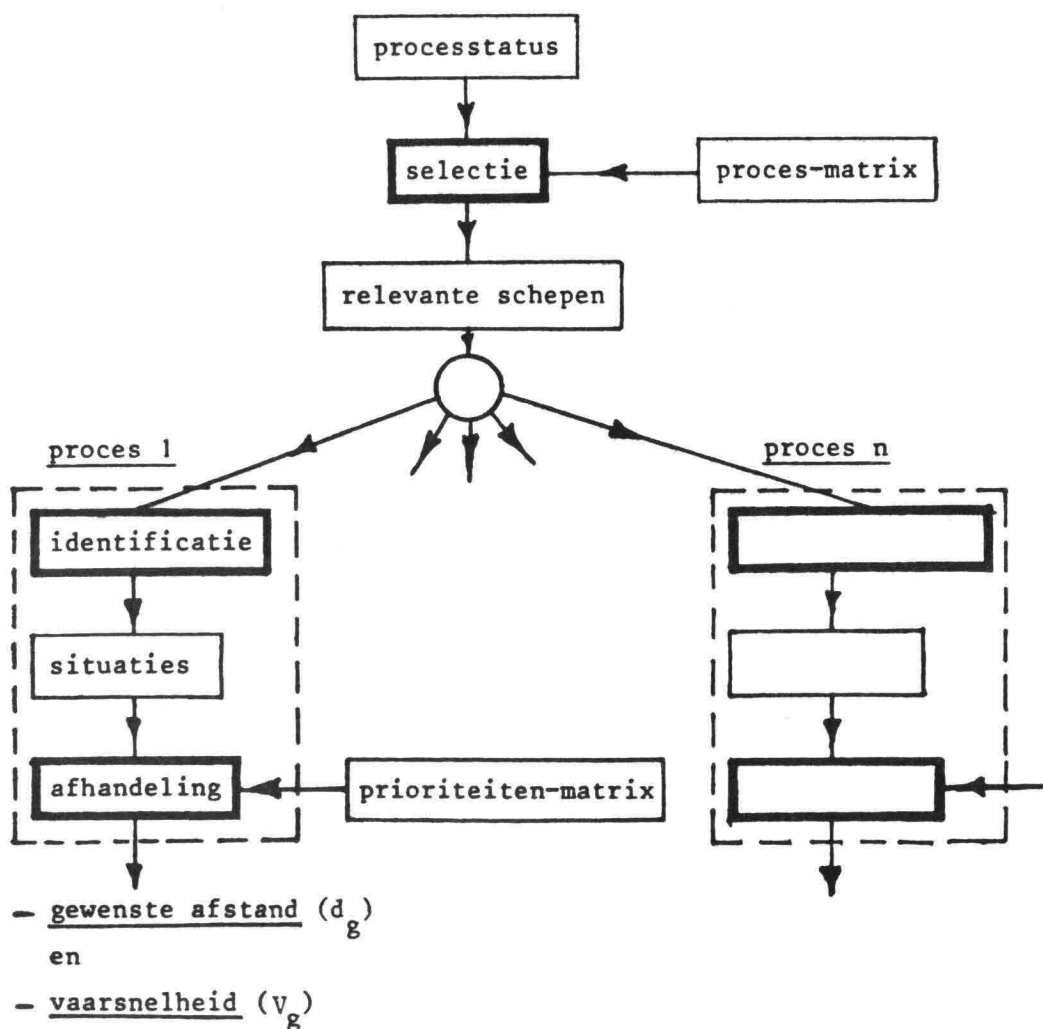
De minimale afstanden (B) en (B_T) worden meegenomen bij het verschuiven van d_g vanuit de aanvangstoestand, welke als volgt gegeven wordt:

$$\begin{aligned} d_g &= d_{ref} && \text{indien } d_{min} \leq d_{ref} \leq d_{max} \\ d_g &= d_{min} && \text{indien } d_{ref} < d_{min} \\ d_g &= d_{max} && \text{indien } d_{ref} > d_{max} \end{aligned} \quad (10)$$

Indien als prioriteitenlijst voor het afwerken van de situaties (figuur 25b) bijvoorbeeld (2, 6, 5, 4, 1, 3) wordt opgegeven, dan zal achtereenvolgens rekening worden gehouden met verkeer aan stuurboord (2), mogelijke tegenliggers (6) en (5), verkeer aan bakboord (4), inhalen van een voorligger (1) en tenslotte wordt met resterende marges gereageerd op verkeer van achterliggers (3).

Situatie (4) wordt hierbij voor situatie (1) genomen om te voorkomen dat bij een inhaalmanoeuvre het verkeer aan bakboord wordt weggedrukt.

Bij de algemene structuur van het interactie-model (figuur 26) dient echter allereerst voor alle schepen in het systeem de processtatus bepaald te worden.



Figuur 26. Algemene structuur van het interactie-model

Daarna kan achtereenvolgens elk schip als het "beschouwde schip" (subject schip) worden gehandeld, waarbij de overige schepen "ander schip" worden genoemd, zoals in het voorgaande voorbeeld behandeld. Van alle "andere schepen" binnen een zekere afstand (zie grenswaarden figuur 25) van het "beschouwde schip" wordt een lijst gemaakt, waarbij gelet wordt op de processtatus van het "andere schip" ten opzichte van het "beschouwde schip". Indien de processtatus niet van belang is, dan wordt het "andere schip" niet opgenomen in de lijst.

Voor elk proces kan met behulp van bijvoorbeeld de "proces-matrix" gedefinieerd worden, welke andere processen al dan niet van belang zijn (bijvoorbeeld het proces "overgang neven/hoofdvaarwater" is niet van belang ten opzichte van het proces "houden van het hoofdvaarwater" bij voorrangregeling).

Op deze wijze is het mogelijk om met een simulatiemodel de knelpunten voor de verkeersafwikkeling op te sporen en zo mogelijk bij te sturen.

3 WEERSTAND EN CAPACITEIT VAN KUNSTWERKEN IN VAARWEGEN

3.1 Kunstwerken algemeen

Het vaarwegnet wordt gevormd door vaarwegvakken bestaande uit kanalen, rivieren en vaargeulen, zoals in het voorgaande is behandeld, en de zogenaamde kunstwerken (bruggen en sluizen). Voor kunstwerken geldt dat de verkeersafwikkeling in ieder geval veilig moet zijn, terwijl daarnaast gestreefd zal worden naar een zo vlot mogelijke afwikkeling. Bij dit laatste speelt de voorwaarde dat binnen het kader van het algemeen overheidsbeleid "een zo groot mogelijke bijdrage geleverd wordt aan het algemeen welzijn".

Bij bruggen zal zodoende ook het belang van het (spoor)wegverkeer in de overwegingen betrokken moeten worden, terwijl bij sluizen (veelal gecombineerd met bruggen) de waterhuishouding en met name de schutverliezen van doorslaggevende betekenis kunnen zijn bij ontwerp en gebruik.

De afmetingen van bruggen en sluizen worden enerzijds bepaald door het zogenaamde maatgevende vaartuig (maximaal toegestane afmetingen) en anderzijds door de intensiteit van alle passerende schepen tezamen. Voorschriften ten aanzien van dimensionering van wegen en bruggen (o.a. VOSB) bestaan niet met betrekking tot het scheepvaartverkeer, uitgezonderd dan de CEMT-normen (vastgesteld op de Conférence Européenne des Ministres de Transport in 1954) voor kunstwerken in klasse IV-vaarwegen (aanbevolen standaardvaarweg voor internationale verbindingen) waarbij de intensiteit van het scheepvaartverkeer niet in de beschouwing is meegenomen.

Daarbij is uitgegaan van het Europaschip (80 x 9,5 x 2,5 m) als maatgevend vaartuig, waarbij als minimum doorvaartwijdte van (vaste) bruggen 28 m en als minimum doorvaarthoogte 5,25 m worden genoemd. Voor schutsluizen in klasse IV-vaarwegen is een minimale schutlengte van 85 m, een minimale doorvaartwijdte of dagwijdte van de sluis van 12 m en een minimale drempeldiepte van 3,5 m vastgesteld.

In het kader van het onderzoek door de Commissie Vaarwegbeheerders (CVB), werkgroep Bruggen in de beginjaren '80, is gebleken dat de CEMT-normen ten aanzien van de sluislengte van minimaal 85 m en de doorvaarthoogte van minimaal 5,25 m inmiddels veel te klein zijn voor de huidige klasse IV-vaartuigen in het Nederlandse vaarwegennet. De werkgroep Bruggen heeft in verband daarmee een minimum doorvaarthoogte van 7 m aanbevolen.

Ten aanzien van de capaciteit van kunstwerken wordt een onderscheid gemaakt tussen enerzijds de beweegbare (of vaste) bruggen en anderzijds de kunstwerken voor de overwinning van vervallen, zoals schutsluizen.

De vaste brug kan gepasseerd worden indien de doorvaarthoogte van de brug voldoende is voor de betreffende schepen of indien de strijkhoogte van deze schepen dit toelaat. De aanwezige doorvaarthoogte van de vaste bruggen vormt voor de betreffende vaarweg dus een bepalende randvoorwaarde (absolute doorvaartbeperking) voor het toe te laten scheepvaartverkeer.

Keersluizen (bijvoorbeeld in het Amsterdam-Rijnkanaal te Zeebrugge en te Ravenswaay) zijn kunstwerken waarmee een vaarweg kan worden afgesloten om te voorkomen dat een bepaald waterpeil op de vaarweg wordt over- of onderschreden. Normaal staat deze sluis open en kan de scheepvaart van die opening gebruik maken. Voor wat betreft de verkeerskundige aspecten is deze sluis dan ook te vergelijken met de doorvaartopening bij een brug. Hetzelfde kan worden gezegd van scheepvaartstuwen, waarbij ten tijde van het stuwen de scheepvaart gebruik maakt van schutsluizen.

In de volgende hoofdstukken zal allereerst ingegaan worden op de capaciteit en weerstand van beweegbare bruggen en daarna op die van schutsluizen.

3.2 Weerstand en capaciteit van beweegbare bruggen

Bij beweegbare bruggen kan nog onderscheid worden gemaakt tussen bruggen met (in geopende stand) onbeperkte doorvaarthoogte, zoals vlotbruggen, draaibruggen, basculebruggen, ophaalbruggen en rolbruggen en bruggen met beperkte doorvaarthoogte, zoals hefbruggen. Verkeerskundig zijn ze, op de eventuele beperkingen ten aanzien van de doorvaarthoogte na, alle met elkaar te vergelijken. Draaibruggen op een middenpijler geven gelijktijdig twee doorvaartopeningen vrij voor scheepvaartverkeer uit beide richtingen. Hefbruggen maar soms ook ophaal- en basculebruggen daarentegen behoeven soms maar gedeeltelijk geopend te worden, afhankelijk van de vereiste doorvaarthoogte, waardoor de bedieningstijd en daarmee het oponthoud voor het wegverkeer (belangrijk) worden beperkt.

Beweegbare bruggen vormen zowel voor de scheepvaart als voor het wegverkeer een hindernis. Bij spoorwegverkeer moet rekening worden gehouden met de zogenaamde bloktijden (vaste bedieningstijden afgestemd op de geblokkeerde tijdstippen overeenkomend met het strak geregelde spoorwegverkeer). Afhankelijk van de hoogteligging van de beweegbare brug zal of het scheepvaartverkeer of het wegverkeer de meeste hinder ervan ondervinden. Door een zodanige hoogteligging te kiezen dat de meeste schepen (bijvoorbeeld alle beroepsvaart) onder de gesloten brug door kunnen, wordt het vaak openen van de bruggen drastisch beperkt, en daarmee de hinder voor het wegverkeer. De weerstand die de brug voor de vaarweg oplevert, is in dat geval gering, terwijl de capaciteit praktisch niet wordt beperkt. Uit het onderzoek van de werkgroep Bruggen is gezocht naar een economisch bepaalde optimale doorvaartwijdte. Op grond van dit onderzoek blijkt dat voor klasse V-vaarwegen (scheepsbreedte 9,5 m) deze doorvaartwijdte tenminste 12 m dient te bedragen, terwijl de breedte van de fuikmond ongeveer 1,8 maal de breedte van het maatgevende schip moet zijn.

Vooraf bij bruggen, zoals spoorbruggen, die slechts op bepaalde tijden worden geopend, moeten de schepen kunnen wachten. Hiervoor dient, zowel voor beroepsvaart als recreatievaart, voldoende accommodatie aanwezig te zijn om blokkeren van de vaarweg voor de lage doorgaande vaart te voorkomen. Daarbij komt dat wachtende schepen, in het bijzonder de lege schepen, erg zijwindgevoelig zijn. Bij afmeren aan lager wal zal men moeilijk, en dus tijdrovend, weer op gang kunnen komen. Het verdient dan ook aanbeveling om als de wind uit beide richtingen frequent voorkomt, aan beide zijden van de vaarweg wachtplaatsen in te richten. In sommige gevallen kan het ook nodig zijn, om aparte wachtplaatsen te maken voor schepen met gevaarlijke stoffen.

Voor de berekening van de weerstand en de capaciteit van beweegbare bruggen wordt verwezen naar de berekeningsmethoden voor de schutsluis. Een brugpassage kan n.l. eenvoudig worden afgeleid uit een sluispassage, waarbij de bedieningstijd, bestaande uit openen en sluiten deuren en kolkomzetting, wordt teruggebracht tot het openen van de brug en waarbij de invaart rechtstreeks aan de uitvaart kan worden gekoppeld zonder dat het schip eerst tot stilstand in de kolk hoeft te komen.

3.3 Weerstand en capaciteit van schutsluizen

Schutsluizen zijn kunstwerken waardoor schepen een scheiding tussen twee vaarwegen met verschillende waterstanden en/of verschillende waterkwaliteiten (bijvoorbeeld zout-zoet) kunnen passeren. De waterstanden aan weerszijden van de sluis kunnen min of meer constant zijn (bijvoorbeeld kanaalsluizen), langzaam veranderen (bijvoorbeeld sluizen in een stuwcomplex) of zich periodiek wijzigen (bijvoorbeeld bij getijbeweging).

Hiermede hangt samen of een sluis één- of tweezijdig het water moet kunnen keren, hetgeen van belang is voor de keuze van de afsluitmiddelen (punteuren, hefdeuren of roldeuren). Een schutsluis kan bestaan uit een enkele sluis-kolk, één sluiskolk met een tussenhoofd waardoor met veelal drie verschil-lende kolkoppervlakten geschut kan worden, of uit een schutsluiscomplex van twee of meer kolken naast elkaar met al dan niet dezelfde afmetingen.

De afmetingen van een sluis met zeer geringe verkeersintensiteit, kunnen worden afgestemd op de afmetingen van het maatgevende vaartuig. Voor de verkeersafwikkeling bij grotere verkeersintensiteit is de samenstelling van het sluiscomplex van groot belang, evenals de aanwezigheid van beweegbare verkeersbruggen over of in de direkte omgeving van de sluisen.

De scheepvaart gaat de invloed van een kunstwerk meestal pas ondervinden vanaf het moment dat een schip vanaf de sluis wordt waargenomen.

Bij moderne sluisen bestaat de mogelijkheid om met de huidige communicatiemiddelen reeds eerder overleg tussen schipper en sluispersoneel te laten plaatsvinden.

Meestal wordt bij het passeren van een duidelijk herkenbare raai (bijvoorbeeld de ingang van de voorhaven of de passage van een brug) de gewenste volgorde bepaald waarin de schepen geschut zullen worden. In de praktijk komen echter nogal eens complicaties voor vanwege de sterk uiteenlopende afmetingen van de schepen. Zo kan bijvoorbeeld een klein schip dat later is aangekomen nog net met een schutting mee, terwijl eerder aangekomen schepen te groot zijn voor de nog beschikbare kolkruimte. Daarnaast spelen aankomstpatroon van de schepen (wisselende intensiteiten) en beladingsgraad (geladen/leeg), welke sterk kunnen wisselen voor beide vaarrichtingen, een belangrijke rol.

Bij het binnenvaren van de voorhaven kunnen er zich in principe drie situaties voordoen:

1. De deuren staan open, zodat het schip regelrecht de kolk kan invaren.
2. De deuren zijn (nog) gesloten, maar het schip zal achter de reeds aanwezige schepen afmeren aan de opstelruimte om met de eerstvolgende schutting mee te kunnen.
3. Het scheepvaartverkeer is zo druk dat het schip tenminste één schutting zal moeten wachten op de wachtplaats (overliggen) voor het aan de beurt is om te worden geschut.

Voor het bepalen van de capaciteit (maximale intensiteit) van een schutsluis wordt uitgegaan van de derde situatie, dat wil zeggen dat voortdurend een zodanige wachtrij aanwezig moet zijn, dat altijd met volle kolken geschut kan worden. Globaal kan voor Nederlandse omstandigheden worden aangenomen dat de capaciteit van een schutsluis ca. 10% is van de capaciteit van de aangrenzende vaarwegvakken.

De capaciteit van een schutsluis is dus maatgevend voor de verkeersafwikkeling op scheepvaartkanalen en op gekanaliseerde rivieren voorzover de stuw gesloten is (aannemend dat scheepvaart bij geopende stuw ongestoord door de stuwopening kan varen).

Een schutsluis vormt daarmee de grootste weerstand binnen een vaarwegtraject. Zo vormden indertijd de Hartelsluizen een onverantwoord grote weerstand (wachtijd) in het vaarwegtraject tussen Europoort en het Ruhrgebied in Duitsland, wat voor het grootste deel door de sterk opkomende duwvaart werd veroorzaakt. Dit knelpunt is uiteindelijk opgelost door het Hartelkanaal in open verbinding met de Oude Maas te brengen.

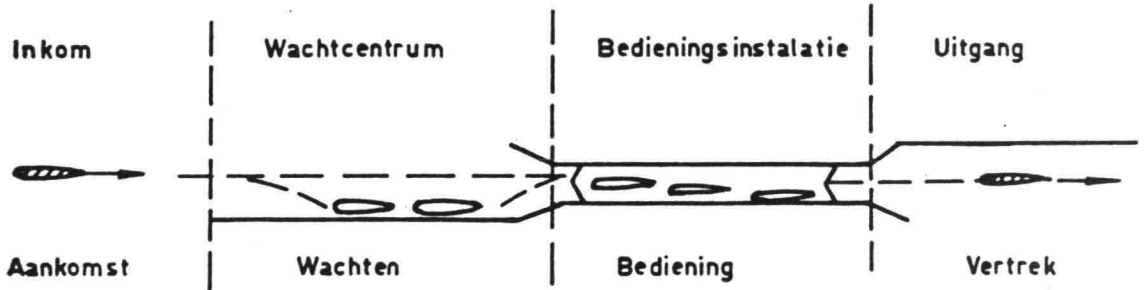
Voor de aanpak van de hierna volgende capaciteitsbepaling wordt in eerste instantie naar lit [20] verwezen. Voor literatuur met een meer algemeen karakter komt [21] in aanmerking, terwijl [22] een eenvoudige praktische benadering geeft.

3.3.1 Schutproces

Het passeren van een schutsluis kan in zijn algemeenheid worden opgevat als een wachttijdprobleem waarmee iedereen bijna dagelijks te maken krijgt, zoals het wachten op bus of trein, wachten op stoplichten, wachten bij loket van postkantoor, het op zijn beurt wachten bij de dokter, de kapper, de winkelier, enz., enz.

Elk hiermee samenhangend zogenaamd wachttijdsysteem (en daarmee ook het schutproces) kan in principe worden opgebouwd gedacht uit (zie figuur 27):

- een inkom waar de aankomsten plaatsvinden,
- een wachtcentrum waar de rijen wachtenden worden opgesteld,
- een bedieningsinstallatie, bestaande uit één of meerdere dienststations
- en de uitgang waarlangs de zogenaamde "klanten" vertrekken.



Figuur 27. Wachttijdsysteem bij een schutsluis

Het schutproces is hierbij bekeken vanuit de hoek van de vaarweggebruiker die de extra weerstand als wachttijdprobleem ondervindt. Bezien we het schutproces vanuit het oogpunt van de sluismeester, waarbij de schuttingen elkaar continu opvolgen, dan is er sprake van een zich voortdurend herhalend proces (de zogenaamde schutcyclus).

De volgende begrippen worden hierna behandeld:

- a. schutcyclus.
- b. schutcapaciteit
- c. passeertijd van het individuele schip.

3.3.1.1 Schutcyclus

Ten aanzien van de schutcyclus kan nog een onderscheid worden gemaakt tussen één- en tweerichtingsverkeer door de schutsluis. Eénrichtingsverkeer is alleen mogelijk als er twee of meer schutsluizen naast elkaar liggen. In de praktijk zal veelal ook hier vanuit beide richtingen worden geschut.

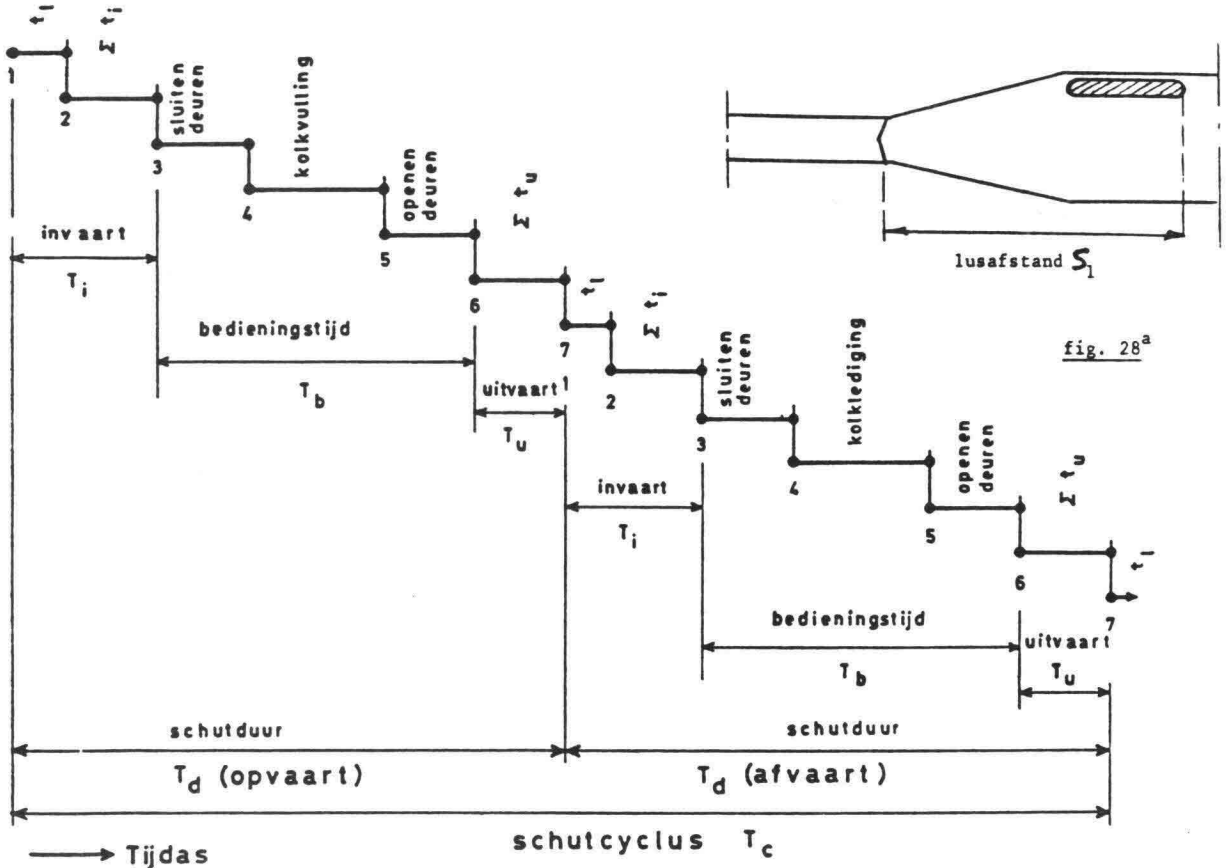
De schutsluis voor tweerichtingsverkeer is schematisch weergegeven in figuur 28. De zogenaamde cyclustijd (T_c), de tijd om een schutcyclus te doorlopen, kan worden opgebouwd uit tweemaal een schutduur (T_d), n.l.:

$$T_c = T_d(\text{opvaart}) + T_d(\text{afvaart}) \quad (11)$$

De schutduur kan weer verder onderverdeeld worden in de totale invaartijd (T_i), de bedieningstijd (T_b) en de totale uitvaartijd (T_u):

$$T_d = T_i + T_b + T_u \quad (12)$$

Zoals uit figuur 28 blijkt, begint de schutduur met een zogenaamde lustijd (t_1), dit is de tijd nodig voor de wisseling van schutrichting. Deze wordt bepaald door het laatste schip dat de sluis verlaat en het eerste schip dat de sluis invaart vanaf de wachtplaats. Het laatst uitvarende schip moet zich namelijk eerst ver genoeg van de sluis hebben verwijderd, wil het eerste schip kunnen opvaren (figuur 28a).



Figuur 28. Onderdelen van de schutcyclus

De invaartijd (T_i) wordt in twee delen gesplitst, namelijk de lustijd (t_1), waarin de invaartijd van het eerste schip inclusief het los- en opgangkomen vanaf de wachtplaats wordt meegenomen en de som van de zogenaamde invaarvolgtijden (Σt_i) van de schepen (deze schepen komen namelijk gelijktijdig met het eerste schip op gang).

$$T_i = t_1 + \Sigma t_i \quad (i = 2, \dots, n) \quad (13)$$

De bedieningstijd (T_b) begint op het moment dat het laatst invarende schip zich binnen de schutkolk bevindt, zodat de deuren gesloten kunnen worden. Hij eindigt wanneer de deuren aan de uitvaartzijde geopend zijn nadat de schutkolk is gevuld of geledigd en het eerste schip de kolk kan verlaten. De bedieningstijd bestaat dus uit de tijd benodigd voor het sluiten en weer openen van de deuren en de tijd welke nodig is om de kolk om te zetten (vullen of ledigen).

De totale uitvaartijd (T_u) zou analoog aan de totale invaartijd opgebouwd kunnen worden. Omdat echter de uitvaartijd van het eerste schip niet veel verschilt van de uitvaarvolgtijd (t_u), welke voor de overige schepen geldt, wordt de totale uitvaartijd bepaald door:

$$T_u = \sum t_u \quad (u = 1, \dots, n) \quad (14)$$

Samenvattend volgt nu uit (12), (13) en (14) voor de totale cyclustijd:

$$T_c = \left(t_1 + \sum_{i=2}^{n_1} t_i + \sum_{u=1}^{n_1} t_u + T_b \right)_{\text{opv.}} + \left(t_1 + \sum_{i=2}^{n_2} t_i + \sum_{u=1}^{n_2} t_u + T_b \right)_{\text{afvaart}} \quad (15)$$

In het geval van een in één richting werkende schutsluis wordt de schutduur (T_d) altijd eerst gevolgd door een leeg (zonder schepen) omzetten van de kolk, welke praktisch gelijk is aan de bedieningstijd (T_b) voor een volle kolk. De lustijd t_1 zal hierbij iets kleiner worden, aangezien niet gewacht hoeft te worden met het invaren tot de kolk leeg is en het laatst uitvarende schip de wachtplaats gepasseerd is. Voor de cyclustijd (T_c) van een in één richting werkende schutsluis geldt dan:

$$T_c = t_1 + \sum_{i=2}^{n_1} t_i + \sum_{u=1}^{n_1} t_u + 2 T_b \quad (16)$$

In figuur 28 zijn zeven tijdstippen in de schutcyclus onderscheiden, waarbij steeds de achtersteven van het schip in de tijd wordt gevolgd:

1. Achtersteven van het laatste schip uit de voorgaande schutting passeert de deuren (zie figuur 28a).
2. Achtersteven van het eerste schip van de te beschouwen schutting passeert de deuren aan de invaarzijde.
3. Achtersteven van het laatste schip van de te beschouwen schutting passeert de deuren aan invaarzijde, waarna deze gesloten kunnen worden.
4. Deuren invaarzijde zijn gesloten en de kolkomzetting kan beginnen.
5. Kolkomzetting is (praktisch) gereed en de deuren aan de uitvaarzijde kunnen geopend worden.
6. De deuren aan de uitvaarzijde zijn geopend, de achtersteven van het eerst uitvarende schip passeert de uitvaardeuren.
7. Achtersteven van het laatst uitvarende schip passeert de deuren (dit tijdstip valt samen met tijdstip 1 van de volgende schutting).

Opm.: Zoals uit figuur 28 blijkt wordt de lustijd bepaald door de tijdstippen 1 en 2. Deze zijn, zoals uit figuur 28a blijkt, sterk afhankelijk van de zogenaamde "lusafstand", zoals ook later zal blijken.

3.3.1.2 Schutcapaciteit

Indien een schutkolk steeds geheel gevuld is met schepen gedurende een groot aantal achtereenvolgende schuttingen, dan kan de schutcapaciteit als een gemiddelde hieruit worden bepaald.

In overeenstemming met de capaciteitsdefinitie voor een vaarwegvak (zie hoofdstuk 2.4) geldt zodoende als capaciteitsdefinitie voor een schutsluis:

" De capaciteit van een schutsluis is de maximale hoeveelheid verkeer, uitgedrukt in aantallen schepen, tonnen laadvermogen of anderszins, die onder de voorkomende omstandigheden per tijdseenheid kan worden geschut als het sluisbedrijf continu volbelast werkt. "

Hierbij moeten nog de volgende aantekeningen, analoog met een vaarwegvak (zie schema in paragraaf 2.2), worden gemaakt:

1. De definitie houdt in dat de capaciteit een gemiddelde waarde is uit een groot aantal schuttingen met volle kolken.
 2. Een bepaalde capaciteit geldt alleen bij de voorkomende omstandigheden zoals:
 - De samenstelling van het verkeersaanbod in twee richtingen naar scheepstype, scheepsafmeting, beladingsgraad, enz.
 - De bedrijfsomstandigheden van de sluis ten aanzien van de kwaliteit van het personeel, de personeelsbezetting, moderne hulpmiddelen als communicatie met de aankomende schepen, simulatiemodel voor een optimale vulling van de kolk, enz.
- Opm.: Ingrepen door de sluismeester ten aanzien van het schutproces door af te wijken van het Fifo-systeem, door bijvoorbeeld met $(n_{\max} - 1)$ schepen te gaan schutten of door achtereenvolgens sluisvullingen alléén met geladen of lege schepen te gaan schutten om zodoende de capaciteit op te voeren, worden bij bovengenoemde definitie buiten beschouwing gelaten.
3. Een onoverzichtelijke sluissituatie in de nabijheid van een bocht of brug veroorzaakt een zichtbeperking, waardoor veel voorzichtiger en dus langzamer gevaren moet worden (capaciteitsverlies).
 4. Het tijdstip van de dag (daglicht of duisternis).
 5. De weersomstandigheden (wind, mist, neerslag).

Eenvoudigheidshalve wordt voor de berekening van de schutcapaciteit uitgegaan van het uur als tijdseenheid. Voor de capaciteit uitgedrukt in aantallen schepen per uur (C_S) en aantal tonnen laadvermogen per uur (C_T) gelden, in het geval van tweerichtingsverkeer, de volgende vergelijkingen:

$$C_S = \frac{2 \bar{n}_{\max}}{\bar{T}_C} \cdot 60 \quad (\text{schepen/uur}) \quad (17)$$

$$C_T = C_S \cdot \bar{T} \quad (\text{tonnen laadvermogen/uur}) \quad (18)$$

Hierin zijn zowel \bar{n}_{\max} als \bar{T}_C gemiddelde waarden van respectievelijk het maximum aantal schepen per kolkvulling en de cyclustijd (in minuten) van een groot aantal schuttingen met volbezette kolk. Verder is \bar{T} het gemiddelde laadvermogen, samengesteld uit de scheepsklassen binnen de gepasseerde vloot volgens:

$$\bar{T} = \sum_{s=0}^m (P_s \cdot T_s) \quad (19)$$

Hierin is P_s het aandeel van de laadvermogenklasse T_s binnen de passerende vloot, waarbij m de hoogst voorkomende klasse is. Tabel 2 geeft een voorbeeld voor $m = 6$ en $\bar{T} = 700$ ton:

klasse S	0	1	2	3	4	5	6	7	
T_s (ton)	125	325	550	925	1350	2000	4100	8800	
P_s (%)	7,2	33	25,4	20,4	7,3	5,6	1,1	0	$\Sigma P_s = 100\%$
$P_s \cdot T_s$	9	107	140	189	100	112	45	0	$\Sigma P_s \cdot T_s = 700 \text{ t}$

Tabel 2. Aandeel laadvermogenklasse binnen de passerende vloot

Opm.: In de praktijk zal het maar zelden voorkomen dat in beide richtingen met volle kolken geschut moet worden. Bij een onevenwichtig aanbod tussen de twee schutrichtingen geldt dan voor de zwaarst belaste richting:

$$C_{sr} = \frac{\bar{n}_{max}}{\bar{T}_c} \cdot 60 \quad (\text{scheperen/uur}) \quad (20)$$

Hierin is C_{sr} een functie van de intensiteit in de tegenovergestelde richting. Vergelijking (20) geldt dan ook voor de capaciteit van éénrichtingsverkeer (intensiteit tegenovergestelde richting is nul!)

3.3.1.3 Passeertijd van het individuele schip

Indien de weerstand die een individueel schip ondervindt bij het passeren van een schutsluis, wordt bekeken, zoals in hoofdstuk 2.5 gedaan is ten aanzien van een vaarweg, dan kan deze zogenaamde passeertijd als volgt gedefinieerd worden:

“ De passeertijd van het afzonderlijke schip (t_p) is gelijk aan de totale extra tijd die een schutting vergt vergeleken met een denkbeeldige toestand zonder sluis, waarbij het schip met de kruissnelheid zou kunnen doorvaren.”

Deze passeertijd kan uit drie onderdelen worden opgebouwd, te weten de wachttijd (t_w), de schuttijd (t_s) en de overligtijd (t_o):

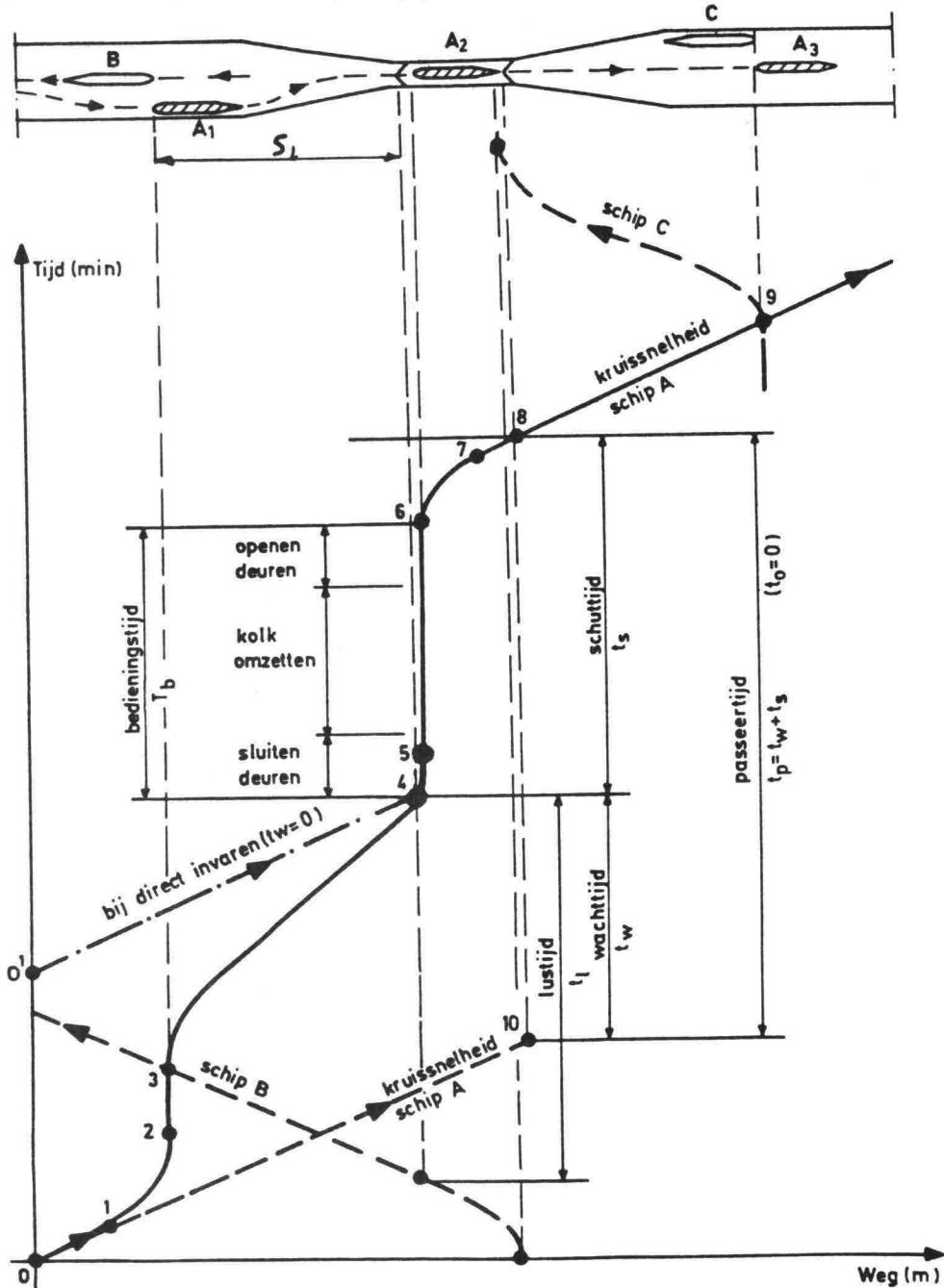
$$t_p = t_w + t_s + t_o \quad (21)$$

In figuur 29 is dit weergegeven voor een schutsluis waarin slechts één schip past en voor een situatie waarbij de overligtijd gelijk is aan nul. De overligtijd is gedefinieerd als de extra wachttijd, die optreedt als het bij de sluis gearriveerde schip niet mee kan met de eerstvolgende schutting omdat de kolk reeds volbezet is. Indien een schip moet overliggen, dan bestaat de overligtijd tenminste uit één hele schutcyclus. Aangezien pas na het verlopen van een hele schutcyclus opnieuw geschut kan worden, zal de overligtijd bestaan uit een geheel aantal schutcycli:

$$t_o = k \cdot \bar{T}_c \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (22)$$

Volgen we nu schip A in het weg-tijd diagram van figuur 29, dan kunnen we de navolgende fasen onderscheiden:

- (0-1) schip A nadert met kruissnelheid de sluis
- (1-2) schip A mindert vaart en stopt af op de wachtplaats (A1)
- (2-3) schip A verblijft op de wachtplaats
- (3) schip B is schip A gepasseerd, schip A kan nu opvaren
- (3-4-5) schip A vaart vanaf de wachtplaats de sluis in
- (4) schip A passeert met achtersteven de invaardeuren
- (4-5-6) bedieningstijd (T_b), positie schip (A2)
- (6-7) schip A vermeerderd vaart tot kruissnelheid is bereikt
- (7-8-9) schip A verlaat (met kruissnelheid) de sluis
- (8) schip A passeert met achtersteven de uitvaardeuren
- (9) schip A is schip C gepasseerd (A3), zodat schip C kan opvaren



Figuur 29. Weg-tijd diagram van een sluispassage

De passeertijd (t_p) wordt gevonden door schip A in fase (0-1) met kruissnelheid door te laten varen, alsof er geen sluis aanwezig is, totdat de achtersteven van het schip de uitvaardeuren (10) passeert.

De tijd die verloopt tussen het fictieve tijdstip (10) en het werkelijke tijdstip (8) dat de achtersteven de uitvaardeuren werkelijk passeert, wordt de passeertijd genoemd.

De schuttijd (t_s) bestaat uit de bedieningstijd (T_b), beginnend met het sluiten van de invaardeuren tot en met het openen van de uitvaardeuren, vermeerderd met de uitvaartijden tot en met het betreffende schip (in het voorbeeld slechts voor één schip).

De wachttijd (t_w) is het verschil tussen de passeertijd (t_p) en de schuttijd (t_s). De wachttijd vervalt ($t_w = 0$) als het schip bij de sluis aangekomen rechtstreeks de schutkolk kan binnenvaren (0'-4-5).

3.3.2 Duur van de onderdelen van het schutproces

Achtereenvolgens worden behandeld:

- . de bedieningstijd
- : de in- en uitvaar(volg)tijden van de afzonderlijke schepen
- . de lustijden

3.3.2.1 De bedieningstijd T_h

De bedieningstijd begint op het moment dat het laatste schip de sluis is binnengevaren, d.w.z. op het tijdstip waarop de achtersteven van het laatste schip de invaardeuren gepasseerd is en de deuren gesloten kunnen worden. De bedieningstijd eindigt op het moment dat de uitvaardeuren geopend zijn en het uitvaren kan beginnen (uitvaarlichten op groen).

Deze bedieningstijd kan in drie delen worden onderverdeeld:

- a: Het sluiten van de invaardeuren
- b: Het vullen of ledigen van de kolk
- c: Het openen van de uitvaardeuren

Ad a: Het sluiten van de invaardeuren

Nadat de sluismeester gecontroleerd heeft of de schepen, speciaal het laatst binnengevaren schip, vrijliggen van de deuren, worden de deuren gesloten. Deze controle gebeurt bij moderne sluisen met behulp van T.V.-kamera's op de sluisen. De tijd die nodig is om de deuren te sluiten is afhankelijk van het type deur. In tabel 3 zijn voor een drietal typen deuren, welke elektrisch bediend worden, enkele voorbeelden gegeven van waargenomen tijden. De hefdeur is veelal in het nadeel, gezien de vereiste doorvaarthoogte.

Ad b: Het openen van de uitvaardeuren

De deuren kunnen geopend worden als het waterstandsverschil aan weerszijden ervan praktisch tot nul is gereduceerd. Soms worden de deuren reeds geopend als er nog een zogenaamd restverval over de deur aanwezig is. Dit is onder andere afhankelijk van de afsluitmiddelen tussen deur en sluis (wrijving) en de bewegingswerktuigen (n.l. tegen verval in openen). Voor een hefdeur met afdrukmechanisme is dit veelal goed mogelijk.

Ook hier is de tijd die nodig is om de deuren te openen sterk afhankelijk van het type deur, zoals uit tabel 3 blijkt. Het openen van deuren kost meestal minder tijd dan het sluiten van deuren, aangezien de laatste fase van het sluiten zeer voorzichtig dient te geschieden om schade aan onder andere afsluit-middelen te voorkomen. Als de deuren geopend zijn, kan het uitvaarsein op groen worden gezet en kan het uitvaren beginnen.

Deurtype	Kolkbreedte (m)	Deur sluiten (min.)	Deur openen (min.)	Totaal (min.)
Roldeur	12	1,2	0,7	1,9
Hefdeur	14 à 18	3 à 3,3	2 à 2,3	5 à 5,5
Puntdeur	16 à 24	1,3 à 2,5	1,2 à 1,6	2,5 à 4,1

Tabel 3. Bedieningstijden van sluisdeuren

Ad c: Het vullen en ledigen van de kolk

Het vullen en ledigen van de schutkolk, de zogenaamde kolkomzetting, kan op drie manieren geschieden:

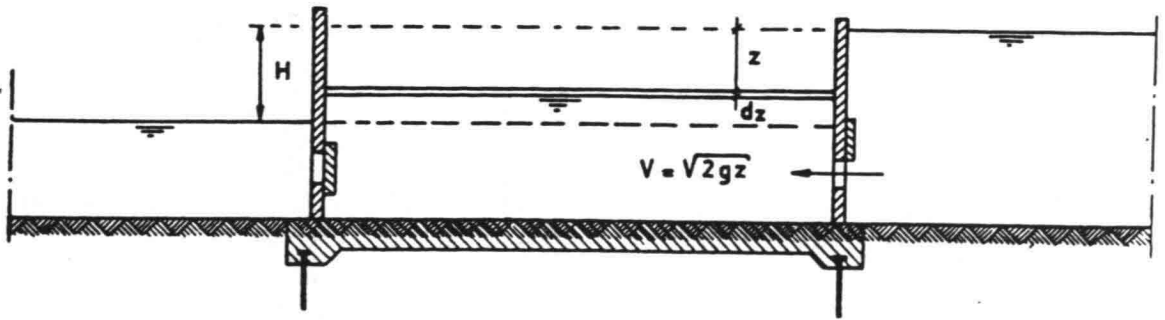
1. Door in de beweegbare waterkering (puntdeur, roldeur, hefdeur, enz.) schuiven aan te brengen.
2. Door het toepassen van omloop- of langsriolen die met één of meerdere openingen uitmonden in de kolkwanden of de kolkvloer.
3. Door de beweegbare waterkering (bijvoorbeeld een hefdeur of klepdeur) iets te trekken resp. te kantelen, waardoor het water langs de deur kan toetreden.

Bij het vullen van een schutsluis wordt het water in de kolk sterk vertraagd, waardoor er energievernietiging plaatsvindt. De schepen in de kolk kunnen hiervan hinder ondervinden, indien het vullen te snel geschiedt, waardoor onder andere de troskrachten te groot worden.

Bij het ledigen van een schutsluis wordt het water in de kolk versneld, waarvan de schepen in de kolk minder hinder ondervinden. Buiten de schutkolk wordt nu het water vertraagd, waardoor de bodem direkt achter de sluis onderhevig is aan deze energievernietiging. Om deze reden wordt hier veelal een stortebed toegepast.

Zowel bij het vullen als bij het ledigen van een schutsluis ontstaan er translatiegolven op de aansluitende kanaalpannen welke hinder kunnen opleveren voor aankomende en wachtende schepen.

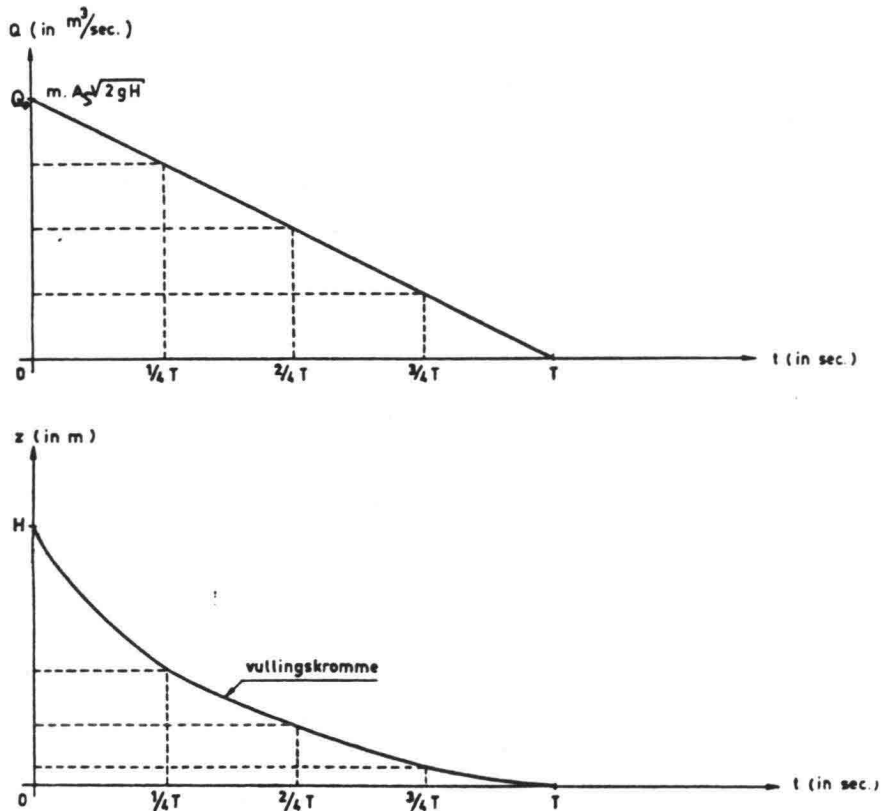
Voor sluisen met een gering verval en/of geringe afmetingen, worden in de deuren aangebrachte schuiven veelvuldig toegepast. Indien echter het verval of de afmeting van de sluis te groot worden, is dit niet meer mogelijk. In de eerste plaats worden de schuifafmetingen dan te groot, waardoor de deuren ontoelaatbaar verzwakt worden. Verder ontstaan er sterk geconcentreerde stromingen in de richting van de sluisas achter de deuren. Door toepassing van jaloezieschuiven kan ten aanzien hiervan enige verbetering optreden. Voor het geval een sluis kolk rechtstreeks door schuiven in de deuren wordt gevuld, ontstaat er een toestand zoals in figuur 30 is aangegeven.



Figuur 30. Kolkvulling middels schuiven in deuren

Indien de schuif plotseling geheel wordt geopend (schuifoppervlak A_S m²), dan wordt de ingelaten hoeveelheid water per tijdseenheid $m \cdot A_S \cdot \sqrt{2gz}$. De afvoercoëfficiënt m wordt voornamelijk bepaald door de vorm en de afrondingen van de afvoeropening, en varieert veelal tussen 0,6 en 0,9. Bij een kolkoppervlak van 0_k m² geldt de continuïteitsvergelijking:

$$m \cdot A_S \cdot \sqrt{2gz} \cdot dt + 0_k \cdot dz = 0 \quad (23)$$



Figuur 31. Verloop kolkvulling bij plotseling geopende schuif

Door integratie van vergelijking (23), met als beginvoorwaarde $z = H$ voor $t = 0$, wordt het verloop van de waterstand in de kolk met de tijd gevonden:

$$t = \frac{2 \cdot 0_k}{m \cdot A_S \cdot \sqrt{2g}} \cdot (H^{1/2} - z^{1/2}) \quad (24)$$

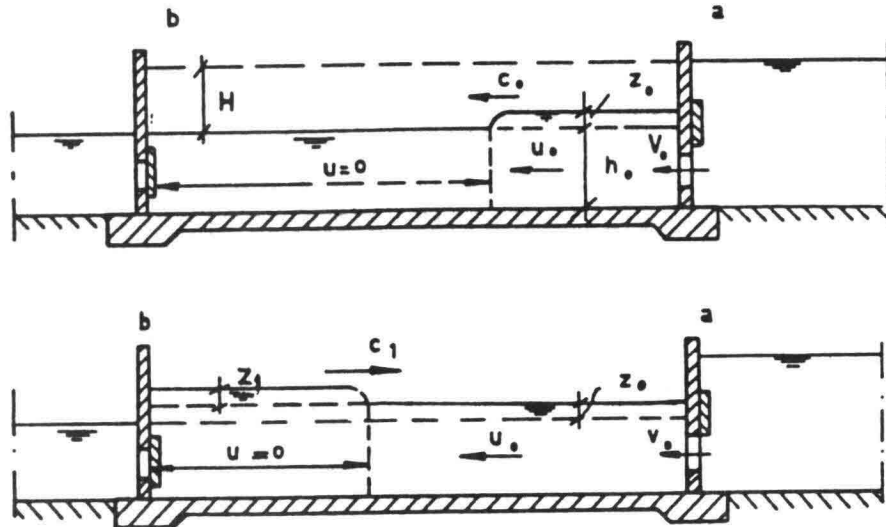
De totale vullingstijd T ($t = T$ voor $z = 0$) wordt dan:

$$T = \frac{2 Q_k H}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2gH}} \quad (25)$$

Het verloop van de vullingskromme met de tijd (zie figuur. 31) kan nu weergegeven worden volgens de vergelijking:

$$\frac{t}{T} = 1 - \sqrt{\frac{z}{H}} = 1 - \frac{Q_t}{Q_0} \quad (26)$$

In de voorgaande beschouwing is er vanuit gegaan, dat het peil in de schutkolk in zijn geheel gelijkmatig omhoog komt. In werkelijkheid zal dit echter niet het geval zijn. Wanneer namelijk de schuif op tijdstip $t = 0$ plotseling geheel wordt geopend, dan zal hierdoor een positieve translatiegolf in de schutkolk gaan lopen. In het kanaal zal een negatieve translatiegolf ontstaan welke, in verband met zijn zeer geringe hoogte, hier verder buiten beschouwing wordt gelaten. De schutkolk zal zich in principe schijfsgewijze gaan vullen (zie figuur 32).



Figuur 32. Translatiegolf ten gevolge van sluisvulling

Op tijdstip $t = 0$ begint er vanuit a een positieve translatiegolf met een hoogte z_0 te lopen, welke zich voortplant met een snelheid van:

$$C_0 = \sqrt{gh_0} \cdot (1 + 3/4 z_0/h_0)$$

De hoeveelheid water, welke door de schuif in de deur wordt ingelaten blijkt, gedurende de periode dat de waterstandsverhoging in de kolk ter plaatse van a een waarde van z_0 heeft, gelijk te zijn aan:

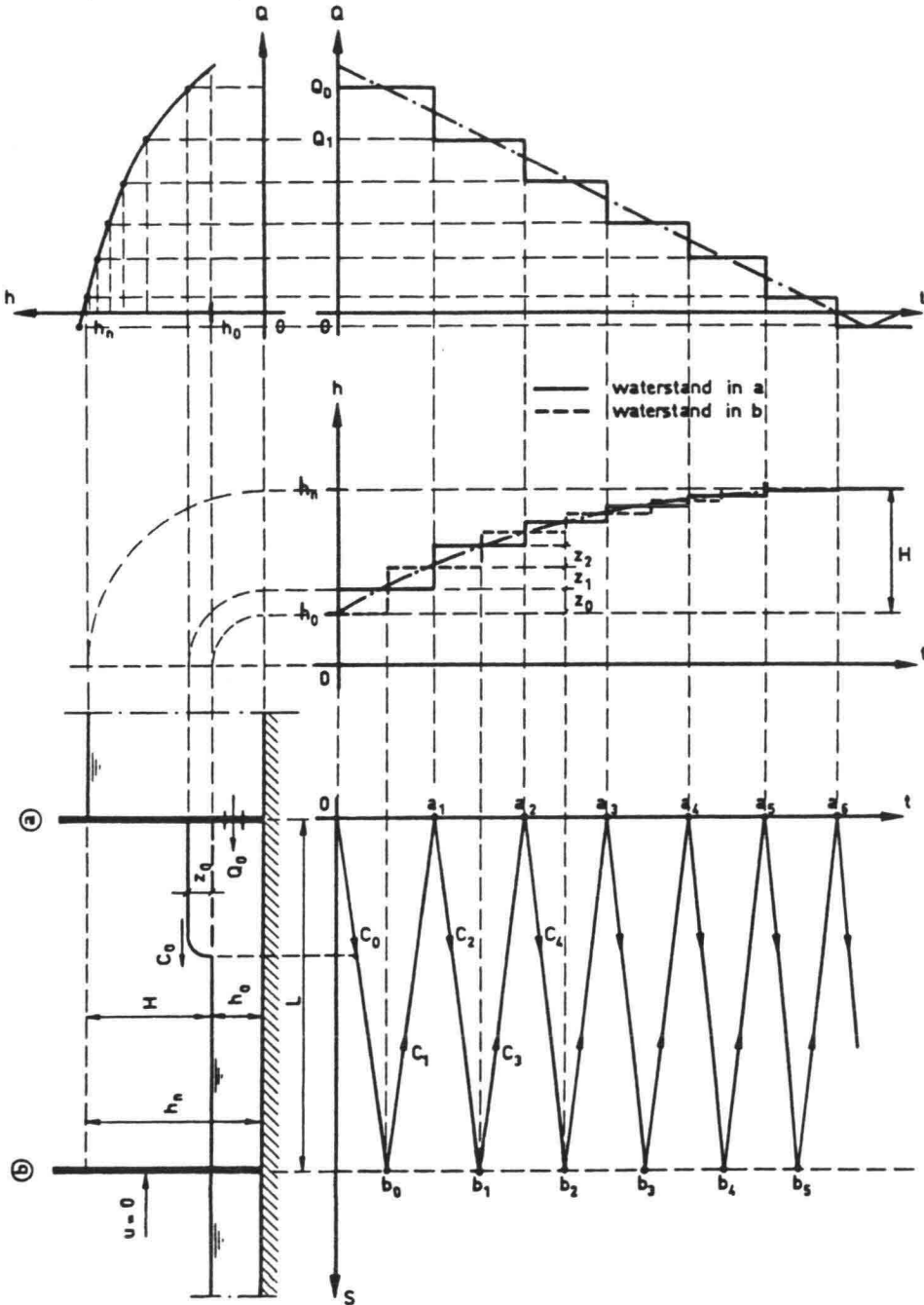
$$Q_0' = m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g(H - z_0)} \quad (27)$$

Uit continuïteitsoverwegingen moet deze hoeveelheid water gelijk zijn aan:

$$Q_0' = C_0 \cdot z_0 = U_0(h_0 + z_0) \quad (28)$$

Wanneer deze golf het eind van de kolk (sluisdeur b) heeft bereikt, dan vindt er een volledige terugkaatsing plaats, waarbij de kinetische energie geheel wordt omgezet in potentiële energie ($U = 0$). De hoogte van deze terugkerende golf zou weer z_0 bedragen, indien de voortplantingssnelheid gelijk zou zijn gebleven aan C_0 . Deze snelheid verandert echter, doordat de waterdiepte is toegenomen tot $(h_0 + z_0)$, en wordt C_1 . De nieuwe hoogte van de golf wordt daarbij z_1 volgens de continuïteitsvoorwaarde:

$$Q_0 = C_0 \cdot z_0 = C_1 \cdot z_1 \text{ enz.}$$



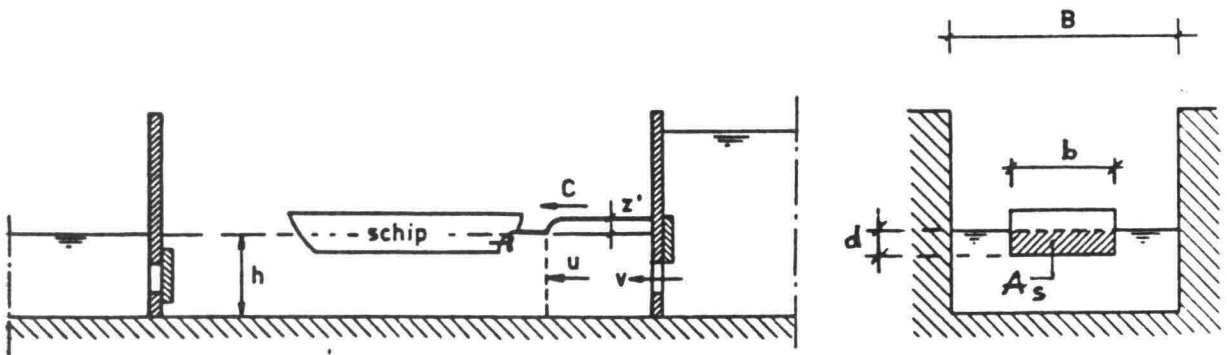
Figuur 33. Verloop kolkvulling met translatiegolven

In figuur 33 is het verloop van de gehele sluisvulling weergegeven. Op het tijdstip ($t_1 = L/C_0$) komt de translatiegolf in b aan (zie b_0). Hierdoor ontstaat in b een plotselinge waterstandsverhoging van ($z_0 = z_1$). Op het tijdstip ($t_2 = L/C_0 + L/C_1$) komt de translatiegolf in a terug (zie a_1). Hierdoor treedt in a een plotselinge waterstandsverhoging van ($z_1 + z_2$) op, waardoor de in te laten hoeveelheid water plotseling wordt verkleind tot $Q_1 = m.A_s \sqrt{2g(H - z_0 - z_1 - z_2)}$. Nu begint het proces weer van voren af aan. Dit gaat door tot a_6 is bereikt. Op dat moment komt de waterstand in de kolk hoger te liggen dan daarbuiten. Het proces keert hierdoor om. Er zal nu water vanuit de kolk gaan terugstromen (negatieve Q), waardoor een negatieve translatiegolf in de kolk ontstaat.

Het water in de kolk zal hierna een aantal malen om de waterstand gaan schommelen, waarbij de hoogten van de translatiegolven geleidelijk aan afnemen, totdat tenslotte de waterstand h_n is bereikt. In het verloop van de waterspiegel zit een periode T' , die veel kleiner is dan de vultijd T van de kolk, namelijk $T' = 2L/\bar{C}$. In bovenstaande beschouwing is geen rekening gehouden met de wrijving. Wanneer deze wordt meegenomen, dan zal hierdoor een helling in de waterspiegel ontstaan. De lijnen in het s-t diagram zullen hierdoor niet geheel recht meer zijn. Het proces blijft verder echter onveranderd.

Wanneer in de kolk schepen aanwezig zijn, dan ontstaat een geheel andere situatie. Tijdens de vulling van de kolk ontstaat een zeer gecompliceerd hydraulisch krachtenspel op de schepen. Omdat het deurvulstelsel een langsvulling van de kolk is, zullen de sloopstrossen voornamelijk belast worden door langskrachten.

Bij de ontmoeting van de translatiegolven met de schepen ontstaan er extra terugkaatsingen. Verder zal de waterspiegel gaan veranderen, doordat er ter plaatse van de schepen een kleiner doorstromingsprofiel ($A_k - A_s$) ontstaat, waardoor de watersnelheid in de kolk ter plaatse van het schip zal gaan toenemen. Bij de ontmoeting van de translatiegolf met het schip zal er een plotselinge langskracht op uitgeoefend worden (zie figuur 34).



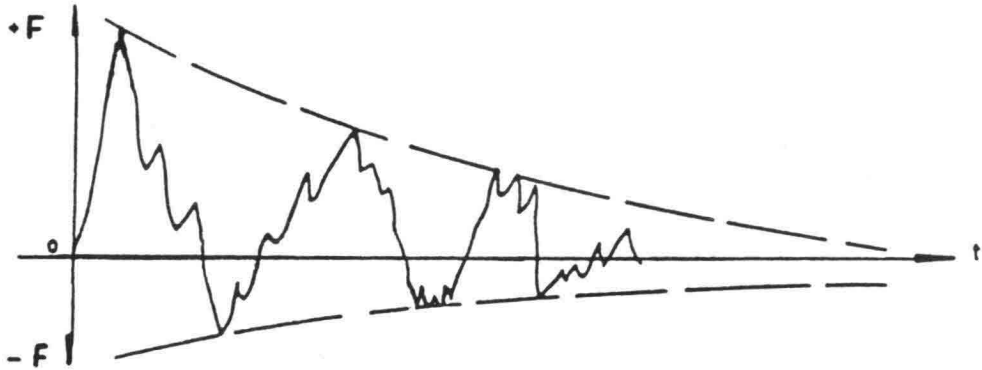
Figuur 34. Translatiegolf in schutkolk indien schepen aanwezig zijn

De grootte van deze langskracht is bij benadering:

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot b \cdot (z^2 + 2zd) \quad (29)$$

Deze langskracht moet door de sloopstrossen naar de bolders worden overgebracht. Gedurende de passage van deze golven langs het schip wordt deze langskracht nog vergroot met de wrijvingskrachten van het passerende water langs de sloopshuid. Hierdoor kunnen ontoelaatbare troskrachten ontstaan,

waardoor de trossen kunnen afbreken. Bij het terugkomen van de translatiegolf ontstaan wederom troskrachten, maar dan in tegengestelde richting (zie figuur 35). Hierdoor staat steeds één tros strak, terwijl de andere slap hangt. Het schip krijgt bij wisseling van de krachtrichting een geringe snelheid en dus een kinetische energie die door het slippen van de tros wordt opgevangen. Zonder slipmogelijkheden ontstaan zeer grote krachten, welke trosbreuk tot gevolg kunnen hebben.



Figuur 35. Verloop van de troskracht

Toelaatbare troskrachten zijn dus afhankelijk van de toegepaste trossen, de wijze van afmeren en de wijze van bediening der kabels tijdens het schutten (laten slippen). In Europa worden globaal dezelfde criteria gehanteerd ten aanzien van de wisselwerking tussen de toegepaste trossen aan boord van de schepen en de kwaliteit van het schutten zelf.

Vroeger werden soepele staakabels gebruikt tot ϕ 22 mm met een breuksterkte van 105 kN, terwijl tegenwoordig meer en meer nylontrossen worden toegepast. Omdat hier meer rek in zit, behoeven ze minder bediening tijdens het schutten.

De toegepaste criteria voor de hydrodynamische langskrachten zijn voor schepen tot 600 ton 1,5 o/oo van het scheepsgewicht, voor schepen tot 2000 ton 1 o/oo van het scheepsgewicht en voor 4-baksduwconvoeien 0,7 o/oo van het scheepsgewicht.

Om de troskrachten verder binnen de grenzen van het toelaatbare te houden, kan de schuifopening geleidelijk worden vergroot. Door de schuif met een eenparige snelheid te heffen zal de schuifopening lineair met de tijd gaan verlopen. $A_s' = t/T_1 \cdot A_s$. Hierin is T_1 de totale heftijd van de schuif. Indien weer wordt aangenomen dat het kolkoppervlak gelijkmatig omhoog komt, dan moet gelden:

$$m \cdot (t/T_1 \cdot A_s) \cdot \sqrt{2gz} \cdot dt + O_k \cdot dz = 0 \quad (30)$$

Hieruit volgt:

$$t \cdot dt = - \frac{O_k \cdot T_1}{m \cdot A_s \sqrt{2g}} \cdot \frac{dz}{\sqrt{z}} \quad (31)$$

Door integratie van vergelijking (31), met als beginvoorwaarde $z = H$ voor $t = 0$, wordt het verloop van de waterstand in de kolk met de tijd gevonden:

$$t^2 = \frac{4 \cdot 0_k \cdot T_1}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g}} \cdot (H^{1/2} - z^{1/2}) \quad (32)$$

De totale heftijd ($t = T_1$) wordt nu (zie figuur 36):

$$T_1 = \frac{4 \cdot 0_k}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g}} \cdot (H^{1/2} - H_1^{1/2}) \quad (33)$$

Het overblijvende verval H_1 , na T_1 s, vergt verder nog een vultijd analoog aan vergelijking (25) van:

$$T_2 = \frac{2 \cdot 0_k \cdot H_1}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1/2}} = \frac{2 \cdot 0_k \cdot H_1^{1/2}}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g}} \quad (34)$$

De totale vullingstijd wordt dan:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2 \cdot 0_k}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2g}} [2(H^{1/2} - H_1^{1/2}) + H_1^{1/2}] \quad (35)$$

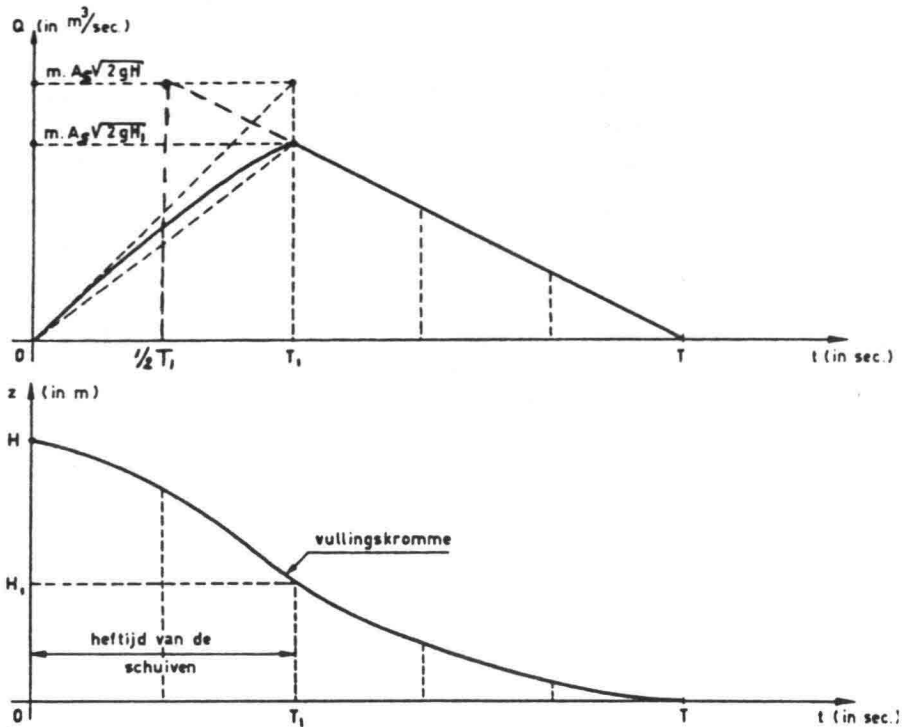
Dit is gelijk aan:

$$T = T_1/2 + \frac{2 \cdot 0_k \cdot H}{m \cdot A_s \cdot \sqrt{2gH}} \quad (36)$$

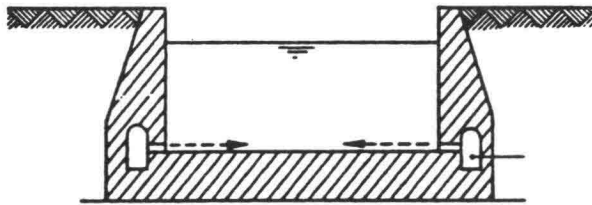
Hieruit blijkt dus, dat bij een eenparige schuifheffing, de totale vultijd ten opzichte van de plotselinge schuifheffing wordt vermeerderd met de helft van de heftijd ($T_1/2$).

De troskrachten worden in de beginperiode van de sluisvulling sterk gereduceerd door het zeer flauwe golffront. Dit wordt nog gunstiger, doordat de schepen een ligging willen aannemen, welke gelijk is aan dit flauwe golffront. Door de traagheid van deze scheepsbeweging zal het schip toch nog in een schommelende beweging geraken, hetgeen nu praktisch geen bezwaar oplevert voor de troskrachten.

Zoals uit de figuren 31 en 36 blijkt, is de tijd, nodig om het laatste gedeelte van de kolk te vullen, onevenredig ten opzichte van de totale vullingstijd. In de praktijk zal er ook naar gestreefd worden om bij een bepaald zogenaamd "restverval" (5 à 10 cm) de deuren reeds te gaan openen, waar-door een aanzienlijke tijdwinst kan ontstaan. Bij toename van zowel de vervallen als van de kolkoppervlakten wordt veelal gekozen voor systemen met omloopriolen en riolen met zijspruiten (figuur 37).



Figuur 36. Verloop kolkvulling bij geleidelijk geopende schuif



Figuur 37. Riool met zijspruiten

Het water wordt hierbij in- en uitgelaten door middel van regelbare openingen in de hoofden of wanden van de schutsluis. Hoe gelijkmatiger de openingen over de schutkolk zijn verdeeld, hoe gunstiger dit is voor de ligging van de scheepvaart tijdens het schutten. Door de relatief lange riolen zullen wrijvingsverliezen optreden, welke nog versterkt worden door de vertragsverliezen bij bochten, uitstromingen e.d. Bij deze oplossing zullen de wrijvingsverliezen dan ook overheersen, dit in tegenstelling tot de openingen die direkt in de deuren zijn aangebracht. De afvoer door de riolen is bij benadering gelijk aan:

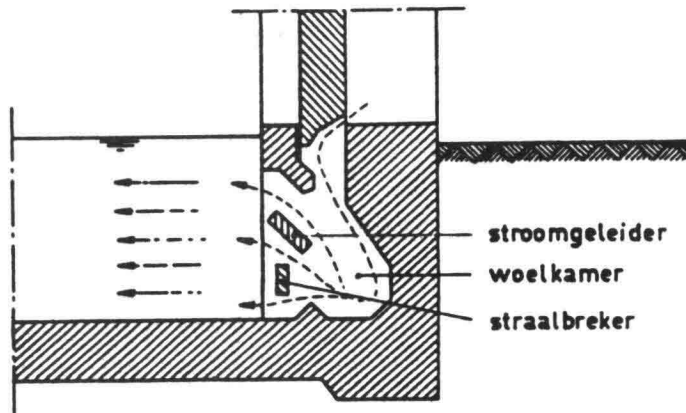
$$Q = \mu \cdot A_r \cdot \sqrt{2gz} \quad (37)$$

waarin A_r de doorsnede van het riool (m^2) en μ de afvoercoëfficiënt van het gehele rioolstelsel voorstelt. Deze afvoercoëfficiënt is gelijk aan: $\mu = \sqrt{1/\Sigma\phi}$, waarin $\Sigma\phi$ de som is van alle wrijvings- en vertragsverliezen (rioolschuif-, intree-, uittree- en bochtverliezen) in het gehele rioolstelsel.

Ook hierbij kan de hoeveelheid in te laten water door middel van schuiven worden geregeld, waardoor de troskrachten binnen het toelaatbare kunnen worden gehouden. Door de zijspruiten tegenover elkaar in de schutkolk te situeren, zullen de beide waterstromen elkaar treffen, waardoor veel energie kan worden uitgeput. De constructie met omloopriolen vereist veel extra betonwerk en dient verder goed te worden gedimensioneerd, aangezien de drukhoogte in het riool geleidelijk afneemt.

Door het toepassen van hefdeuren kan de schutkolk gevuld worden door het inlaten van water onder de getrokken deur door, waardoor riolen geheel vermeden konden worden. Met het oog op de noodzakelijke energieomzetting worden hierbij zogenaamde woelkamers geconstrueerd met één of meer straalbrekers en stroomgeleiders. Hierdoor wordt de schutstroom gedwongen zich reeds direkt over de gehele hoogte van de kolk te verdelen, waardoor een regelmatige langsstroom ontstaat (zie figuur 38).

Door het toepassen van stroomgeleiders zal de afvoercoëfficiënt μ kleiner worden. Deze varieert veelal tussen 0,4 en 0,6. Verder gelden hiervoor dezelfde beschouwingen ten aanzien van de schutkolkvulling als bij de eerder behandelde schuiven in de deuren.



Figuur 38. Schutkolkvulling onder hefdeur

Opmerking: Ook op het kanaalpand hebben translatiegolven een storende werking. Zo wordt de vaarwijze van aankomende schepen beïnvloed, en kunnen afgemeerde schepen losbreken van hun trossen.

3.3.2.2 In- en uitvaar(volg)tijden van de afzonderlijke schepen

De in- en uitvaar(volg)tijden zijn bij een groot aantal bestaande schutsluizen (16 sluiscomplexen met 23 sluiskolken) bepaald aan de hand van uitgebreide metingen, aangezien een theoretische benadering niet of nauwelijks mogelijk is. Vooral door de invloed van het menselijk gedrag en de grote verschillen ten aanzien van de manoeuvreereigenschappen van de diverse schepen ontstaat er een vrij grote spreiding in de meetresultaten. Voor de motorschepen in de binnenvaart, maar later ook voor de pleziervaart, zijn er bij een groot aantal (in afmetingen sterk variërende) schutsluizen uitvoerige tijdwaarnemingen verricht. Voor de zeevaart is slechts een beperkt aantal gegevens voorhanden.

In figuur 39a is een voorbeeld gegeven van meetresultaten van geladen motorschepen voor de invaarvolgtijden bij de (inmiddels buiten bedrijf gestelde) Hartelsluizen (kolkafmetingen 24 x 280 m en 12 x 120 m) en vervolgens voor de uitvaarvolgtijden bij de Volkeraksluizen (kolkafmetingen 24 x 325 m).

Uit de metingen en waarnemingen, welke gelden voor motorschepen, kunnen de navolgende conclusies worden getrokken:

1. De in- en uitvaar(volg)tijden nemen toe met het laadvermogen van de schepen (zie figuur 39a).
2. De in- en uitvaar(volg)tijden van ongeladen schepen zijn significant korter dan van geladen schepen, reden waarom bij verdere bewerking van de resultaten steeds onderscheid hiertussen wordt gemaakt.
3. De in- en uitvaar(volg)tijden van een schip met een bepaald laadvermogen neemt duidelijk toe naarmate het oppervlak van de natte kolkdoorsnede ($A_k = B_k \times h$, figuur 39b) kleiner wordt.
Opmerking: De conclusies 1 t/m 3 zijn uiteraard ook van toepassing op de lustijd (t_1). Verder is de lustijd direkt afhankelijk van de zogenaamde lusafstand S_1 . (zie figuur 39b). Deze is weer afhankelijk van de helling (1:5 à 1:8) waaronder het geleidewerk, dat een geleidelijke overgang voor de scheepvaart vormt tussen de wachtplaats en de schutsluis, wordt aangelegd. Voor duwvaartsluizen wordt hiervoor in Nederland veelal een parabolisch verlopend geleidewerk toegepast.
4. De in- en uitvaar(volg)tijden van de praktisch niet meer voorkomende sleepschepen zijn duidelijk langer dan die van motorschepen of duweenheden.
5. De in- en uitvaar(volg)tijden worden ongunstig beïnvloed door van het bakprofiel afwijkende kolkvormen (schutkolkbreedte groter dan sluis- hoofdbreedte, zoals bij een zogenaamde groene kolk) en door onoverzichtelijk gesitueerde wachtplaatsen (bochten e.d.).

De onder punt 3 vermelde conclusie wordt veroorzaakt door onder andere de scheepsweerstand die het schip bij het in- en uitvaren ondervindt en door de "weerstand" in psychologisch opzicht (zie figuur 39c).

Bij sterk toenemende breedte van de schutkolk (bijvoorbeeld duwvaartsluizen met een breedte van 24 m) gaan de kleinere schepen zogenaamd "verscherfd" in- en uitvaren. Dat wil zeggen dat de schepen niet langer netjes achter elkaar in- en uitvaren, maar naast elkaar of zelfs inhalend. Om de invloed van de weerstand bij in- en uitvaren in rekening te brengen, wordt gebruik gemaakt van de dimensieloze grootheid A_s/A_k , zijnde de verhouding tussen het ondergedompelde grootspantoppervlak van het schip en het oppervlak van de natte kolkdoorsnede.

Bij de overgang van de voorhaven naar de relatief nauwe sluis krijgt een schip, door verandering van deze grootheid, te maken met aanpassingsverschijnselen ten aanzien van de vaarsnelheid en de daarmee samenhangende retourstroom en spiegel daling. Bij een zeer plotselinge overgang (zie figuur 40) ontstaan de volgende verschijnselen:

1. Een positieve translatiegolf die de sluis kolk inloopt
2. Een sterke toeneming van de retourstroomsnelheid langs het schip
3. Een negatieve translatiegolf die de voorhaven inloopt.

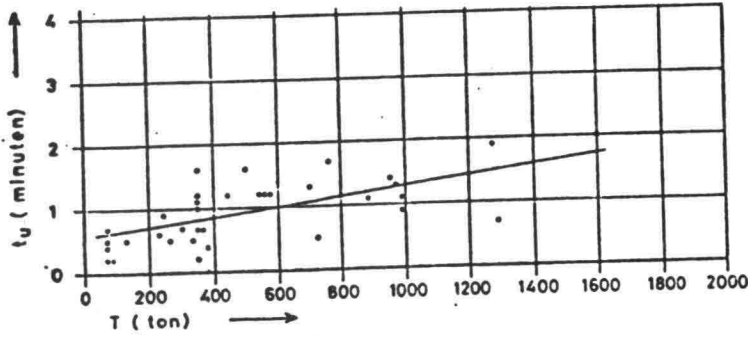
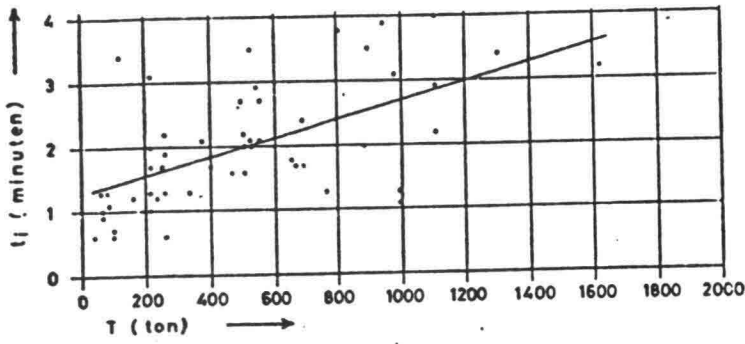


Fig. 39^a Voorbeelden van meetresultaten voor geladen motorschepen

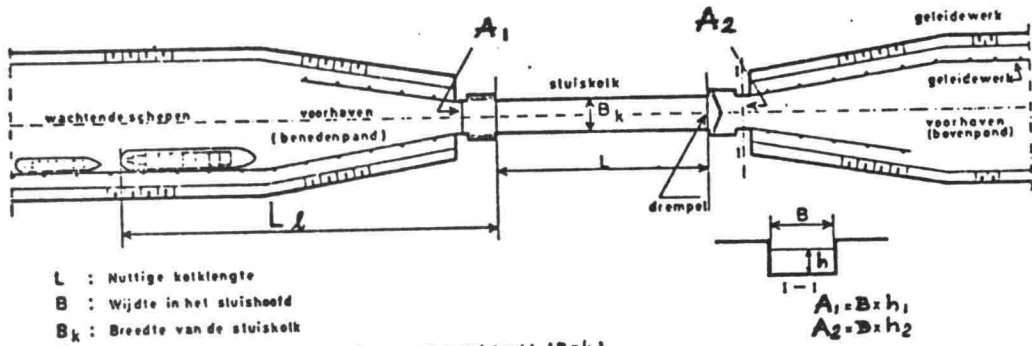
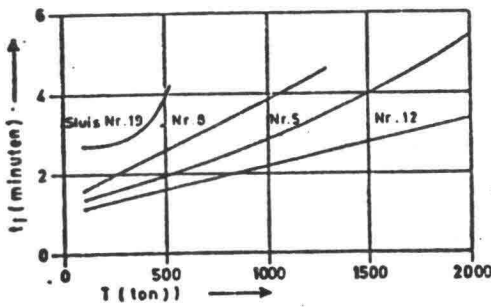


Fig. 39^b



Sluis Nr.	Sluishoofd		
	B (m)	h (m)	A (m ²)
12	24,0	6,4	154
5	18,0	5,4	97
8	14,0	3,5	49
19	7,5	2,5	19

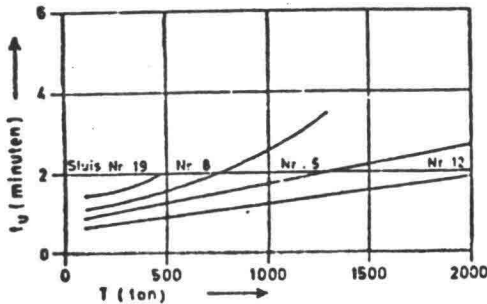


Fig. 39^c Het effect van de afmetingen van de natte dwarsdoorsnede over het sluishoofd op de in- en uitvaartvolgtijden (geladen motorschepen)

Deze optredende verschijnselen zijn sterker naarmate de vaarsnelheid hoger is en de A_S/A_K -verhouding kleiner is. Een uitgebreid onderzoek naar deze verschijnselen en de gevolgen voor de veiligheid enz. zijn in [23] aangegeven.

Tijdens het invaren in de sluis kolk zelf blijkt het verloop van de vaarsnelheid en de erbij optredende verschijnselen als terugkaatsende translatiegolven en stroomsnelheden een zeer onregelmatig karakter te kunnen vertonen. Door de sterk veranderende wrijvingskrachten langs de scheepswanden door wisselende stroomsnelheden en de hydrostatische krachten ten gevolge van translatiegolven met vertragende en versnellende krachten door heen en weer lopende golven, kunnen bij grote scheepssnelheden gevaarlijke situaties ontstaan met mogelijke aanvaringen, doorschieten, e.d.

In de praktijk blijkt dat er bij een verhouding van $A_S/A_K < 0,4$ in het algemeen maar weinig aan de hand is.

Voor geladen duweenheden bij duwvaartsluizen en de grootste zeeschepen bij zeevaartsluizen ($A_S/A_K = 0,7$ à $0,8$) mag de aanvangssnelheid (V_0) waarmee het schip de kolk invaart, niet te groot zijn. De maximale translatiegolfhoogte (Z_{max}), die bij de eerste terugkaatsing tegen de gesloten deur bereikt wordt, kan anders grote schade veroorzaken.

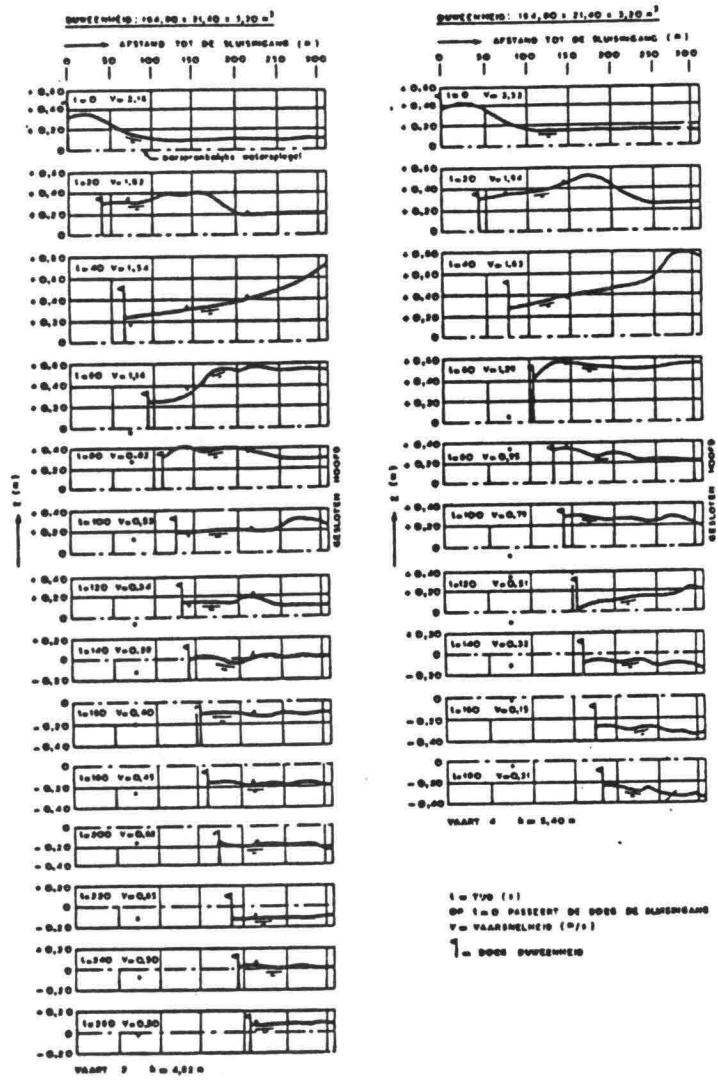
Deze Z_{max} blijkt recht evenredig te zijn met het kwadraat van de aanvangssnelheid (V_0^2) en met de verhouding tussen het natte grootspantoppervlak van het schip en het resterende oppervlaktedeel, gevormd door het verschil in oppervlakte van het natte kolkoppervlak en dat van het schip, waardoor de retourstroom moet plaatsvinden. Volgens figuur 41 geldt bij benadering:

$$\frac{Z_{max}}{h} = 1,44 \cdot \frac{V_0^2}{gh} \cdot \frac{A_S/A_K}{1-A_S/A_K} \quad (38)$$

Door het invoeren van de zogenaamde "standaard" (binnen)schepen (zie tabel 4) met eigen aandrijving (motorvaartuigen, duweenheden) welke representatief zijn voor een aantal laadvermogen klassen (0 t/m 7), kan een zekere samenhang tussen A_S en t_i en t_u worden bepaald.

No.	laadvermogen klasse (ton)	standaardschip			
		\bar{T} (ton)	l (m)	b (m)	d (m)
0	50 - 199	125	25	4,6	1,6
1	200 - 449	325	39	5,1	2,3
2	450 - 749	550	50	6,6	2,5
3	750 - 1149	925	67	8,2	2,5
4	1150 - 1549	1350	80	9,5	2,6
5	1550 - 2549	2000	95	11,5	2,7
6	2550 - 4999	4100	175	11,4	3,0
7	≥ 5000	8800	185	22,8	3,2

Tabel 4. Standaardschepen



Translatiegolven in de Hartelsluis opgewekt door een invarende duweenheid.

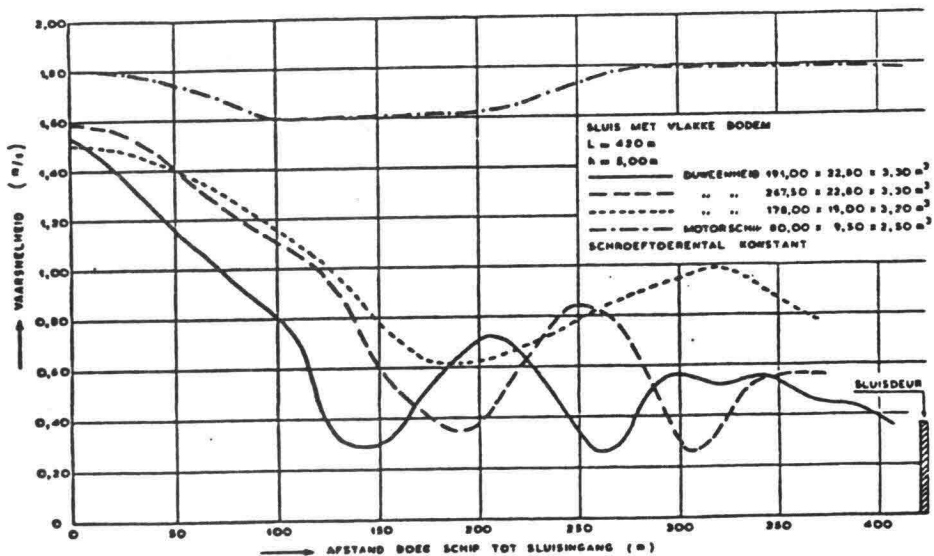


Fig. 40 Verloop van de vaarsnelheid in de sluis van verschillende schepen.

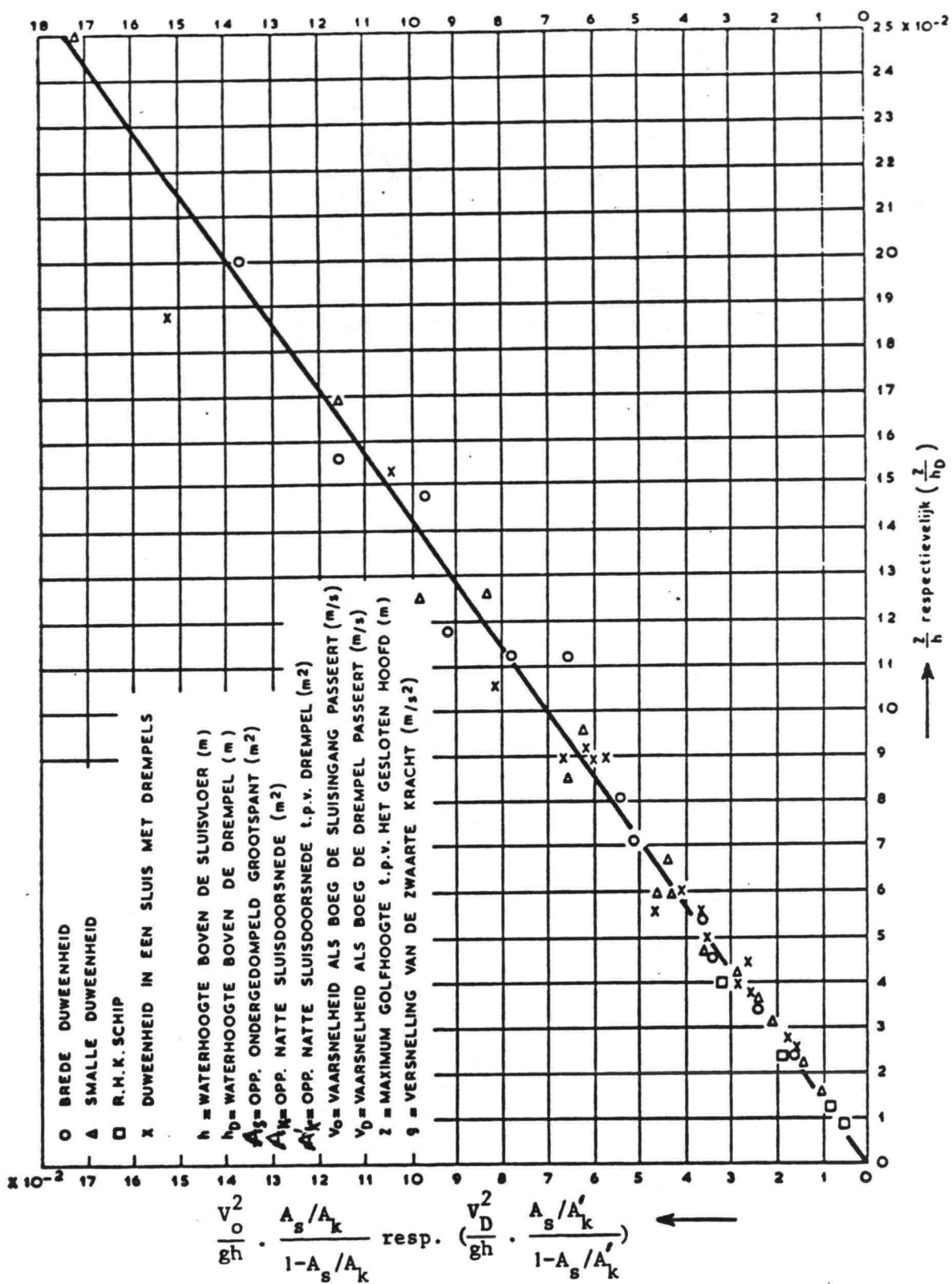


Fig. 41 Maximale translatiegolfhoogten t.p.v. het gesloten sluishoofd

In figuur 42 is voor zowel geladen als voor lege standaardschepen deze samenhang onderzocht en met behulp van de dimensieloze parameter A_S/A_K weergegeven voor sluizen met een moderne vormgeving (sluishoofdbreedte = sluiscolkbreedte) en een overzichtelijke situatie. Voor afwijkingen zoals sleepschepen, afwijkende sluisvormen, windhinder en onoverzichtelijke situaties dienen correcties te worden toegepast.

De in figuur 42 weergegeven waarden van t_i en t_u per standaardschip kunnen als basis dienen voor een simulatiemodel waarbij uit een gegeven verdeling over de laadklassen en belading een aankomstpatroon voor wat betreft scheepsgrootte en belading gegenereerd kan worden.

Het is echter ook mogelijk om met de gemiddelde waarden \bar{t}_i en \bar{t}_u voor een gegeven verkeerssamenstelling te rekenen, gegeven de oppervlakte van de kolkdoorsnede (A_K). Uitgaande van een gemiddeld laadvermogen (\bar{T}), bepaald volgens vergelijking (17) uit een gegeven verkeerssamenstelling (Voorbeeld: $T = 700$ ton, tabel 2 en figuur 43) en een gegeven kolkdoorsnede (A_K) en daarmee de A_S/A_K -verhouding per klasse standaardschip, geldt:

$$t_i = \sum_{s=0}^m (P_s \cdot t_{is}) \quad (39)$$

en

$$t_u = \sum_{s=0}^m (P_s \cdot t_{us}) \quad (40)$$

Hierin is P_s het aandeel in % van de laadvermogenklasse T_s binnen de gegeven verkeerssamenstelling, waarbij m de hoogst voorkomende laadvermogenklasse is. Verder is t_{is} de invaarvolgtijd en t_{us} de uitvaarvolgtijd voor het standaardschip uit klasse s .

In eerste instantie kunnen de gemiddelde in- en uitvaarvolgtijden (\bar{t}_i en \bar{t}_u) bepaald worden met behulp van een standaardfrequentieverdeling (zie figuur 43). Dit funktionele verband tussen het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) en de frequentieverdeling van de laadvermogenklasse s zijn experimenteel vastgesteld voornamelijk voor de doorgaande vaarwegen. Afhankelijk van de bevaarbaarheidsklasse zijn al of niet correcties nodig, welke mede afhankelijk van de schaalvergroting (prognose) in de binnenvaart.

In tabel 5 is de vlootsamenstelling voor de verschillende gemiddelde laadvermogens (\bar{T}) gegeven voor de standaardfrequentieverdeling volgens figuur 43, terwijl in tabel 6 een alternatieve vlootsamenstelling voor verschillende "lagere" bevaarbaarheidsklassen gegeven is. Voor simulatiemodellen kan uit de voorgaande frequentieverdeling een cumulatieve verdelingsfunctie worden samengesteld, waaruit met behulp van een randomgenerator een aankomstverdeling van schepen naar laadvermogen gegenereerd kan worden.

In veel gevallen is de standaardindeling voor de schepen onvoldoende en moet een verdergaande indeling worden toegepast, zoals bij verkeersafwikkelingsstudies voor de grote rivieren (zie tabel 7). Voor gegevens over de verkeerssamenstelling op de grote rivieren zie literatuur [24].

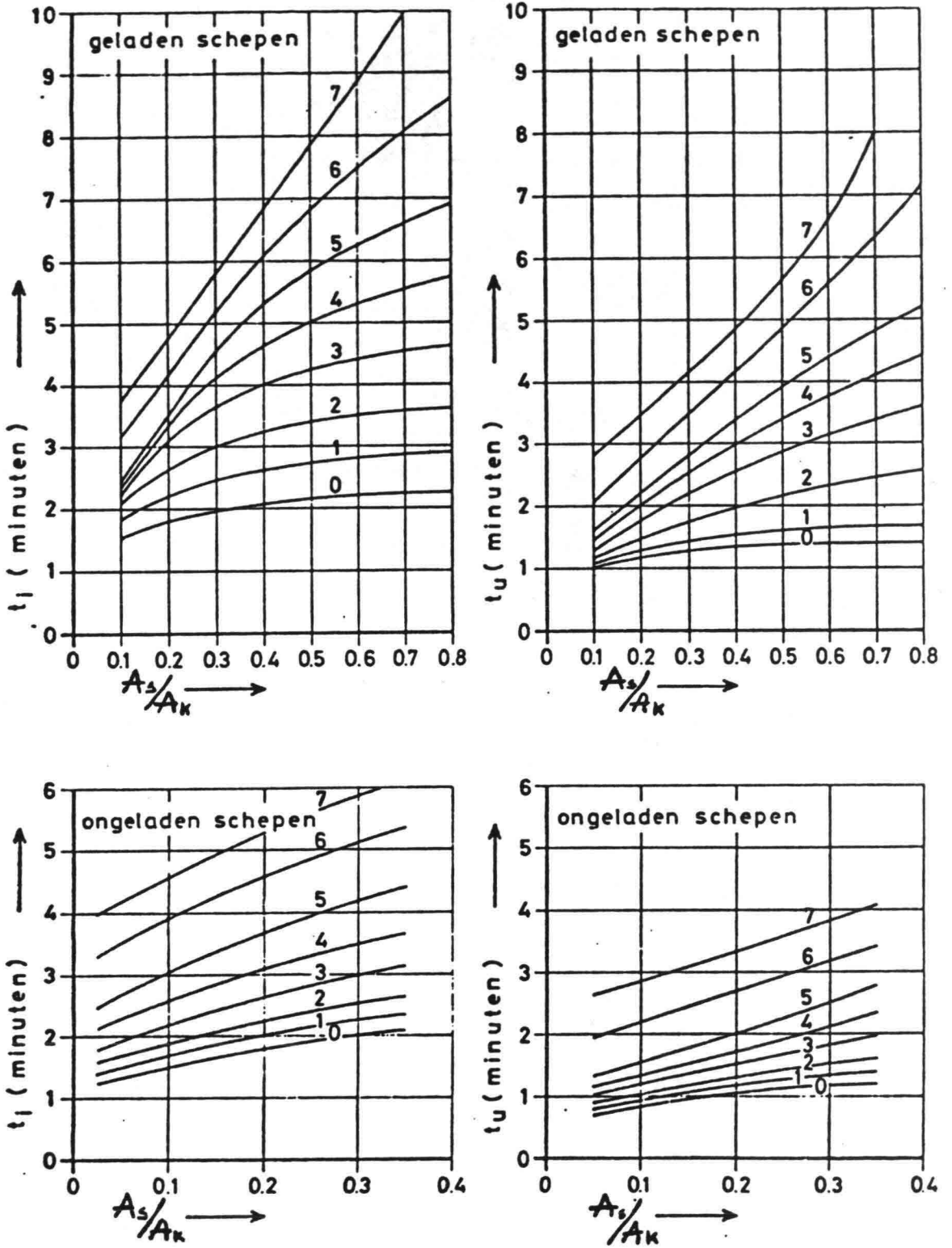
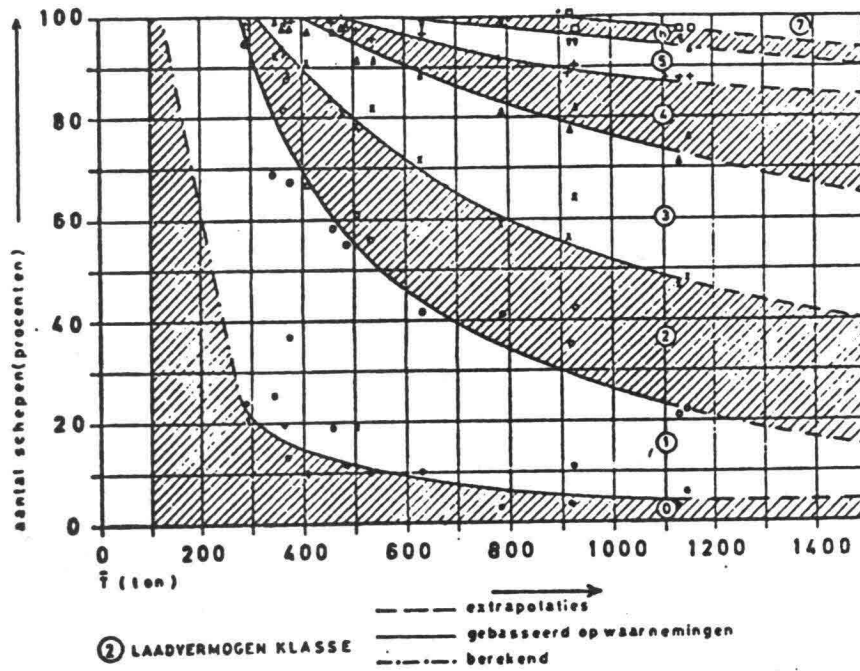


Fig. 42 In- en uitvaarvolgtijden van geladen en ongeladen standaardschepen



Figuur 43. Verband tussen het relatieve aandeel van de laadvermogenklassen van de gepasseerde vloot en het gemiddelde laadvermogen

\bar{T} (ton)	Aandeel van de standaardschepen (in %)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
125	100,0	-	-	-	-	-	-	-
160	82,5	17,5	-	-	-	-	-	-
200	62,5	37,5	-	-	-	-	-	-
240	42,5	57,5	-	-	-	-	-	-
280	22,5	77,5	-	-	-	-	-	-
300	20,0	73,0	7,0	-	-	-	-	-
350	17,5	62,5	16,0	4,0	-	-	-	-
400	15,4	54,2	20,9	9,0	0,5	-	-	-
450	13,5	48,0	24,5	11,0	3,0	-	-	-
500	12,0	43,4	26,1	13,0	4,6	0,9	-	-
600	9,3	36,7	27,0	17,0	5,6	4,4	-	-
700	7,2	33,0	25,4	20,4	7,3	5,6	1,1	-
800	6,0	30,0	24,0	22,5	9,0	6,4	2,1	-
900	5,0	26,2	24,5	23,8	10,5	6,5	2,9	0,6
1000	4,5	23,0	24,7	24,3	12,5	6,5	2,9	1,6
1100	4,5	19,5	25,0	25,0	14,0	6,5	3,0	2,5
1200	4,5	16,5	24,5	26,0	15,0	7,0	3,0	3,5
1300	4,5	14,5	25,0	25,0	16,5	7,2	2,8	4,5
1400	4,5	12,5	25,0	24,5	18,0	7,0	3,0	5,5
1500	4,5	10,5	25,0	23,5	20,0	7,0	3,0	6,5

Tabel 5. Samenstelling van de vloot in standaardschepen voor verschillende gemiddelde laadvermogens (\bar{T}) (standaardfrequentieverdeling). (Als bijvoorbeeld $\bar{T} = 600$ ton en de bevaarbaarheidsklasse van de vaarweg is 4 dient tabel 6 te worden toegepast.)

\bar{T} (ton)	Aandeel van de standaardschepen (in %)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	A. Bevaarbaarheidsklasse 4							
500	12,0	42,0	27,0	13,0	6,0	-	-	-
600	8,5	32,0	31,0	17,0	11,5	-	-	-
	B. Bevaarbaarheidsklasse 5							
700	7,0	29,0	27,0	22,0	8,0	7,0	-	-
800	5,0	24,0	25,0	25,0	10,5	10,5	-	-
900	4,0	18,5	23,0	27,0	13,5	14,0	-	-
1000	3,0	14,0	21,0	28,0	16,0	18,0	-	-
	C. Bevaarbaarheidsklasse 6							
1000	3,0	22,0	24,0	26,0	11,0	8,0	6,0	-
1200	2,0	16,0	22,0	29,0	11,0	10,0	10,0	-
1400	2,0	10,0	19,0	32,0	11,0	12,0	14,0	-

Tabel 6. Alternatieve vlootsamenstelling in standaardschepen voor verschillende "lagere" bevaarbaarheidsklassen (standaardfrequentieverdeling).

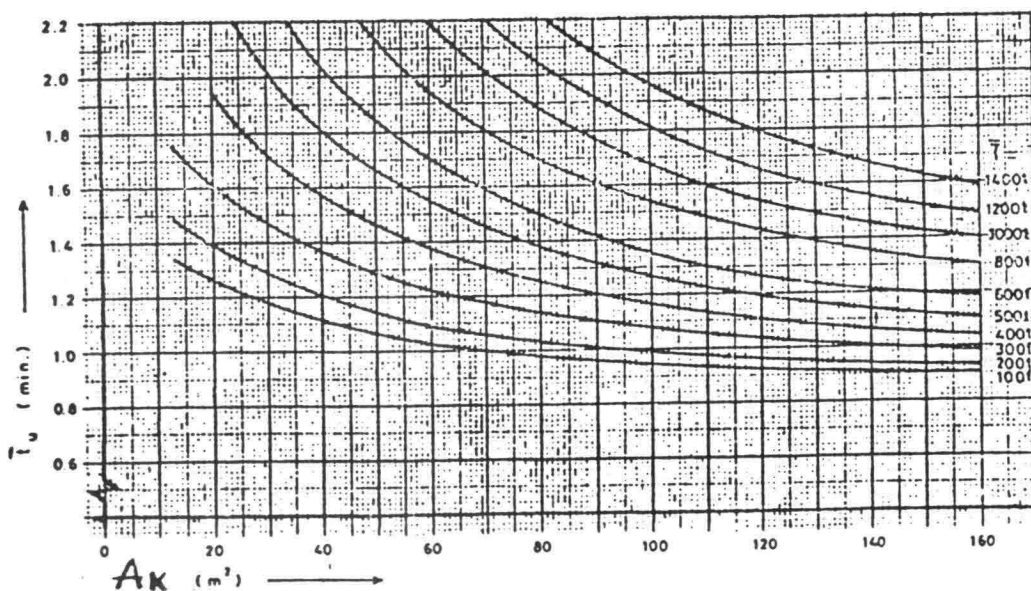
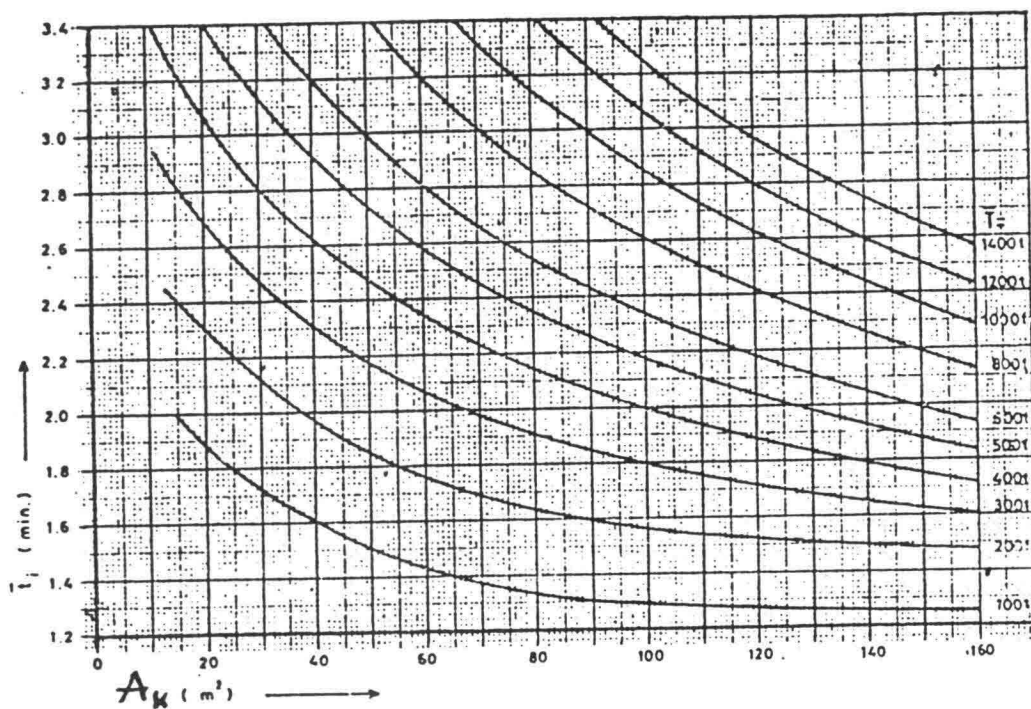
omschrijving	cate- gorie	% van het weektotaal		
		1972	1973	
- motorvracht- of motortankschip	< 450 ton	1	18,9	13,5
	450-749 ton	2	23,9	20,9
	750-1149 ton	3	23,4	23,5
	1150-1549 ton	4	11,2	15,9
	1550-2549 ton	5	3,8	3,9
	> 2550 ton	6	0,1	0,5
- duweenheid of duwend motor- vracht- of motortankschip	< 5000 ton	7	4,0	3,0
	≥ 5000 ton	8	3,6	4,4
- enkel sleepvracht- of sleeptankschip	< 1000 ton	9	0,4	0,4
of naast elkaar gekoppelde sleepschepen	≥ 1000 ton	10	3,6	1,9
- motorschip met sleepschip of	< 1000 ton	11	0,2	0,6
motorschip ernaast gekoppeld	≥ 1000 ton	12	0,0	1,9
- zeeschip		13	1,8	1,8
- werkvaartuig, gesleept object		14	0,3	0,2
- losse sleep, duwboot, dienst- of vissersvaartuig		15	2,1	1,6
- passagiersvaartuig		16	0,9	1,2
- recreatievaartuig		17	1,8	4,8

Het waargenomen weektotaal voor beide vaarrichtingen op de Waal beoosten Nijmegen bedraagt: in de periode 12 t/m 19 juni 1972 : 3598 schepen,
in de periode 19 t/m 26 juni 1973 : 3562 schepen.

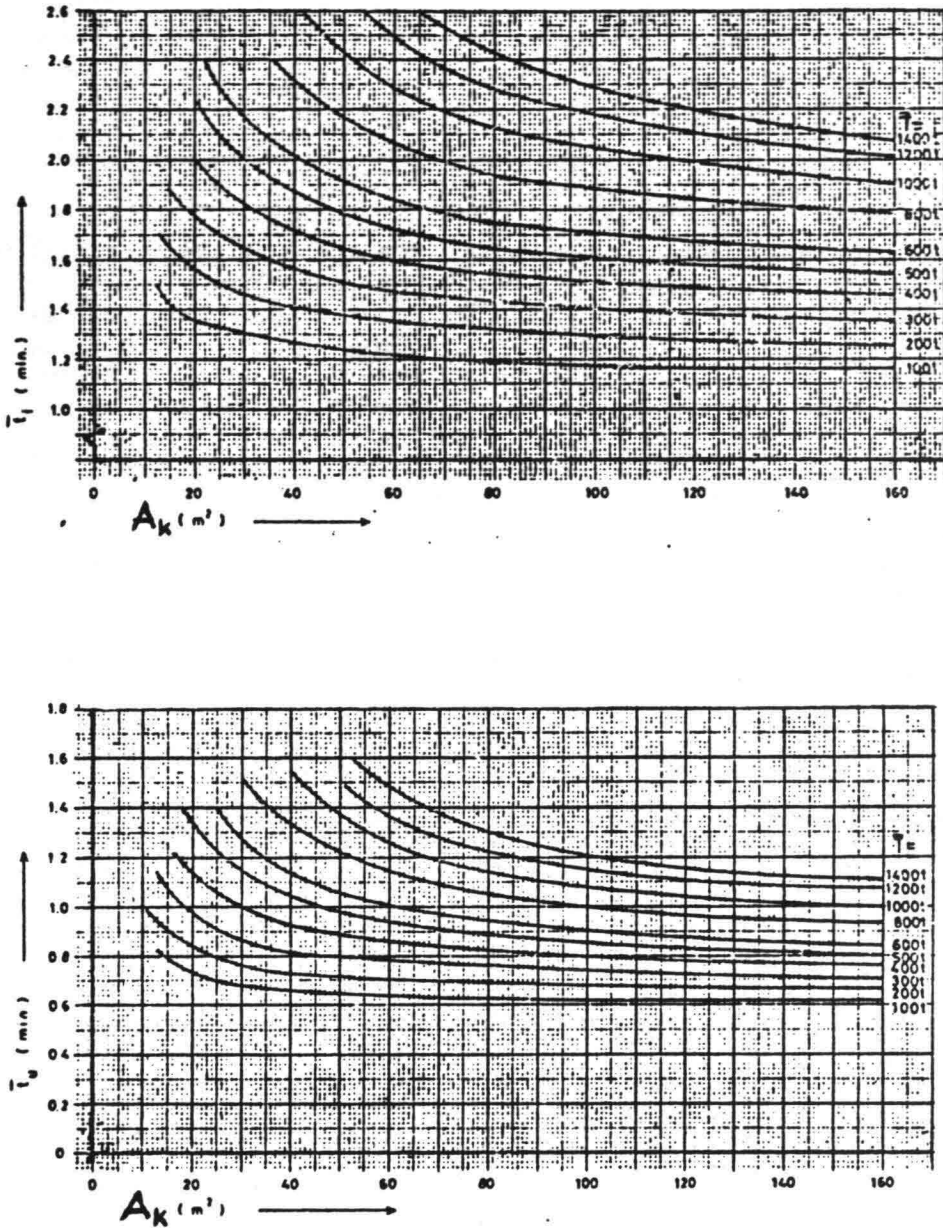
Tabel 7. Vlootindeling en percentage van voorkomen van de onderscheiden categorieën schepen.

Voor verschillende \bar{T} zijn, met behulp van de standaardfrequentieverdeling in tabel 5, de gemiddelde invaarvolgtijden (\bar{t}_i) en uitvaarvolgtijden (\bar{t}_u) als functie van het oppervlak van de natte kolkdoorsnede (A_k) bepaald (zie figuren 44 en 45). Dit is zowel voor geladen als voor ongeladen schepen gedaan. Uit deze grafieken blijkt nu voor een gemiddeld schip met gegeven \bar{T} (bijvoorbeeld $\bar{T} = 500$ ton):

$$\bar{t}_i(\text{geladen schip}) > \bar{t}_i(\text{leeg schip}) > \bar{t}_u(\text{geladen schip}) > \bar{t}_u(\text{leeg schip})$$



Figuur 44. Het verband tussen \bar{t}_i en \bar{t}_u van geladen schepen met eigen aandrijving en A_k voor verschillende waarden van \bar{T}



Figuur 45. Het verband tussen \bar{t}_i en \bar{t}_u van ongeladen schepen met eigen aandrijving en A_k voor verschillende waarden van \bar{T}

Aangezien het oppervlak van de natte doorsnede van het sluishoofd (A_k) in het algemeen (bijvoorbeeld bij gelijk vloerniveau van boven- en benedenhoofd) bij de aansluiting aan het bovenpand groter is dan bij die aan het benedenpand, zullen volgens figuren 44 en 45 de gemiddelde in- en uitvaartvolgtijden (\bar{t}_i en \bar{t}_u) voor het bovenpand kleiner zijn dan voor het benedenpand. De weerstand is immers afhankelijk van A_s/A_k -verhouding.

De in figuur 44 en 45 gegeven waarden gelden alleen voor schepen met eigen aandrijving, moderne sluisvormen (gelijke breedte van sluiscolk en sluishoofd: $B_k = B_h$) en voor de Nederlandse waterwegen. Wanneer de vorm van de sluiscolken hiervan sterk afwijkt (bijvoorbeeld $B_k > B_h$), dan zullen de waarden hoger liggen. Aangezien echter de breedte in oude sluiscolkvormen sterk varieert, is het niet zonder meer mogelijk

exacte correctiefactoren te geven. Deze zullen door waarnemingen ter plaatse bepaald dienen te worden. Voor de afwijkende sluizen ($B_k > B_n$) in de Zuid-Willemsvaart bijvoorbeeld moesten \bar{t}_i en \bar{t}_u voor geladen schepen gecorrigeerd worden met een faktor 1,1 à 1,15 en voor ongeladen schepen met een faktor 1,2 à 1,3.

3.3.2.3 De lustijden t_1

Bij de behandeling van de afzonderlijke in- en uitvaar(volg)tijden bleek al dat uit waarnemingen voor de lustijd dezelfde conclusies golden als voor de in- en uitvaar(volg)tijden, namelijk $t_1 = f(\text{leeg of geladen, } T, A_k)$.

De lustijd t_1 (zie figuur 29) is verder ook afhankelijk van de lusafstand S_1 , zijnde de afstand van achtersteven eerste schip aan wachtplaats tot de invardeuren (zie figuur 39b) en bestaat eigenlijk uit twee delen:

$$t_1 = t_1(\text{uitvarend schip}) + t_1(\text{invarend schip})$$

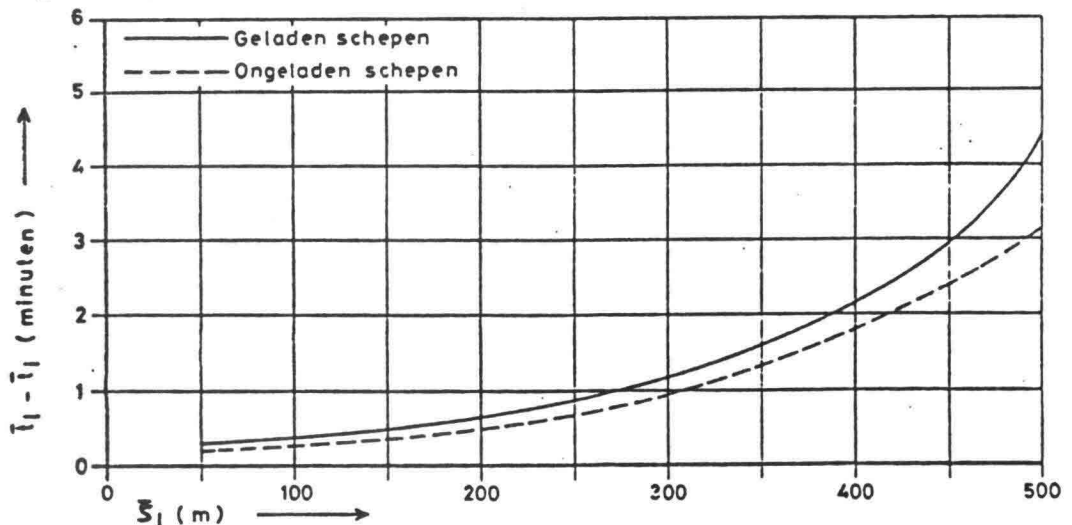
Uit waarnemingen (zie figuur 29) blijkt dat $t_1(\text{invarend schip})$ veel groter is dan $t_1(\text{uitvarend schip})$. Het loskomen en versnellen van het invarende schip, waarbij direkt al rekening gehouden moet worden met het vertragen van dit schip in verband met het plaatsnemen in de schutkolk, verloopt veel langzamer en neemt verreweg het grootste deel van de totale lustijd voor zijn rekening.

Dit is de reden dat voor een bepaald standaardschip de lustijd bij benadering wordt bepaald als functie van de lusafstand S_1 (belangrijk voor zowel het laatste utvarende schip als voor het eerste invarende schip) en de A_s/A_k -verhouding van het **eerste invarende schip** (!), dus:

$$t_1 = f(A_1, A_s/A_k)_{\text{invarend schip}}$$

De invarvolgtijden zijn, evenals de lustijd, functies van de A_s/A_k -verhouding. Voor de bepaling van de gemiddelde lustijd (\bar{t}_1) voor schuttingen met standaardschepen (zie figuur 46) is daarom uitgegaan van de gemiddelde invar(volg)tijd \bar{t}_i , waaraan de tijdscorrectie wordt toegevoegd, welke afhankelijk is van de gemiddelde lusafstand (\bar{S}_1).

$$\bar{t}_1 = \bar{t}_i + \text{tijdscorrectie } \Delta t [f(\bar{S}_1)] \tag{41}$$



Figuur 46. Correctiegrafiek voor de gemiddelde lustijd (\bar{t}_1)

Vooral in de kuststreek van Nederland kan de windinvloed van grote betekenis zijn op de gemiddelde lustijd. Met de situering van de wachtplaats(en) zal, zo mogelijk, rekening worden gehouden met de overheersende windrichting.

3.3.3 Maximum aantal schepen in de schutkolk

Zoals reeds eerder in hoofdstuk 3.3.1 (ad a: schutcapaciteit) is aangegeven, dient voor het uitvoeren van capaciteitsberekeningen de gemiddelde waarde van het maximum aantal schepen per kolkvulling van een groot aantal schuttingen met volbezette kolken (\bar{n}_{\max}) bepaald te worden. Bij achtereenvolgende schuttingen met volle kolken varieert het maximum aantal schepen per kolk (n_{\max}). Dit aantal blijkt sterk afhankelijk van de verdeling over de scheeps(grootte)klasse per kolkvulling en daarmee afhankelijk van het gemiddelde tonnage \bar{T} per schutting.

Voor de binnenvaart is n_{\max} op drie manieren benaderd:

- a. Handsimulatie
- b. Computersimulatie
- c. Praktijkwaarnemingen

De SIMULATIE dient als volgt te verlopen:

1. Keuze van de sluiscolkfmetingen L_k en B_k .
2. Vaststellen van de bevaarbaarheidsklasse (grootste toe te laten standaardchip).
3. Keuze van het gemiddelde laadvermogen \bar{T} .
4. Bepaling van het aandeel in de vloot van elk standaardchip door toepassing van de standaardfrequentieverdeling als functie van \bar{T} . Bij de keuze van de frequentieverdeling dient rekening te worden gehouden met de bevaarbaarheidsklasse.
5. Het vormen van een lange wachtrij waarbij de aankomstvolgorde van de standaardschepen bepaald wordt door middel van aselekte trekking. De kans op het voorkomen van een bepaald standaardchip is hierbij dus gelijk aan het aandeel van dit schip in de vloot volgens punt 4.
6. Het vullen van de op schaal weergegeven kolk met standaardschepen. Hierbij worden aan de praktijk ontleende spelregels toegepast. Dit houdt onder andere in:
 - het streven naar een maximum aantal schepen per schutting (tussenruimte in langsrichting ca. 3% van de scheepslengte, in dwarsrichting in totaal minimaal 1 à 2% van de kolkbreedte)
 - een schip dat op grond van de aankomstvolgorde aan de beurt is, mag niet worden overgeslagen
 - als de kolk $(n-1)$ schepen bevat en de overblijvende ruimte te klein is voor het n^e schip wordt, indien mogelijk, het daarop volgende schip uit de wachtrij meegenomen enz. In het algemeen werd bij deze procedure niet verder gekeken dan het $(n + 3)^e$ schip.
7. Het noteren van het aantal schepen in de kolk en het berekenen van \bar{T} .
8. Herhaling van 6 en 7 met de volgende schepen uit de wachtrij.
9. Het bepalen van n_{\max} als het gemiddelde aantal schepen per "volle" schutting met bijbehorende waarde van \bar{T} (als gevolg van de aselekte trekking van de schepen kan de berekende \bar{T} enigszins afwijken van de gekozen \bar{T}).
10. Herhaling van 3 t/m 9 voor een nieuw gekozen waarde van \bar{T} .

Handsimulatie en computersimulatie verlopen in principe op dezelfde wijze. In figuur 47 is op deze manier voor een drietal sluizen het maximum aantal schepen (n_{\max}) als functie voor het gemiddelde tonnage (\bar{T}) uitgezet, waarbij dit is aangevuld met waarnemingen uit de praktijk. Hieruit en uit ander onderzoek bleek dat er voor elke sluiskolk bij benadering tussen het gemiddelde tonnage (\bar{T}) en het maximum aantal schepen (n_{\max}) een verband in de vorm van een orthogonale hyperbool bestaat, n.l.:

$$\bar{T} \cdot n_{\max} = k \quad (42)$$

Hierin is k een constante voor een bepaalde kolkafmeting ($L_k \times B_k$). Dit globale verband valt te verklaren met behulp van figuur 48, waaruit blijkt dat er voor binnenschepen een min of meer lineair verband bestaat tussen het laadvermogen en de horizontale oppervlakte ($l \times b$) van de schepen. Vergelijking (38) kan daardoor immers ook als volgt geschreven worden:

$$\sum_1^{n=n_{\max}} (l \times b) = n_{\max} \cdot (\bar{l} \times \bar{b}) = \alpha \cdot (L_k \times B_k) \quad (43)$$

Hierin is α dan een coëfficiënt die de effectiviteit van het totale nuttige kolkoppervlak bepaalt ten aanzien van de door de schepen werkelijk ingenomen oppervlakte.

In figuur 49 is het resultaat van een groot aantal schutsluissimulaties weergegeven, waaruit een vast verband blijkt te bestaan tussen de waarde van k en het nuttige oppervlak van de sluiskolk. Tevens zijn in deze grafiek een aantal praktijkwaarnemingen van bestaande schutsluizen weergegeven, waaruit blijkt dat deze goed overeenkomen met de theoretisch bepaalde lijn. Evenals voor de in- en uitvaarvolgtijden blijkt ook in dit geval een relatief grote verschuiving in de frequentieverdelingen naar laadvermogenklassen slechts een beperkte invloed op de waarde van n_{\max} te hebben.

In de figuren 50a, b, c is \bar{n}_{\max} bepaald met behulp van simulatiemethoden als functie van \bar{T} voor een zeer groot aantal sluisbreedten ($B_k = 7$ tot 24 cm) en sluislengten ($L_k = 80$ tot 400 m).

Bij capaciteitsberekeningen wordt hiervan gebruik gemaakt om na vaststelling van de nuttige kolk lengte (L_k) en -breedte (B_k) het maximaal aantal schepen (n_{\max}) per kolkvulling te bepalen. Voor het verband tussen de gemiddelde waarden van de breedte (\bar{b}) en de lengte (\bar{l}) van de schepen en het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) wordt verwezen naar figuur 51.

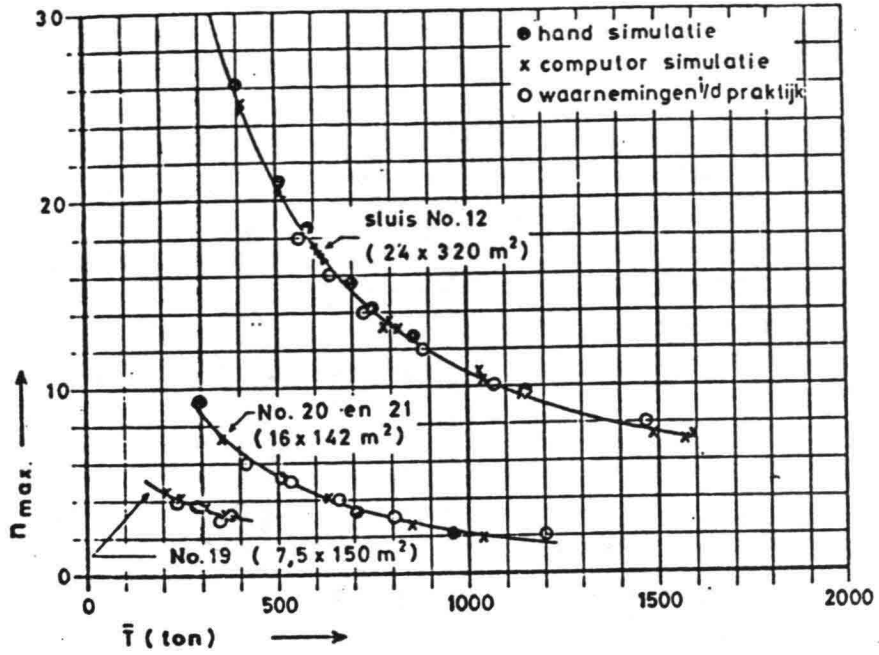


Fig. 47 Maximum aantal schepen (n_{max}) dat de kolk kan bevatten als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T})

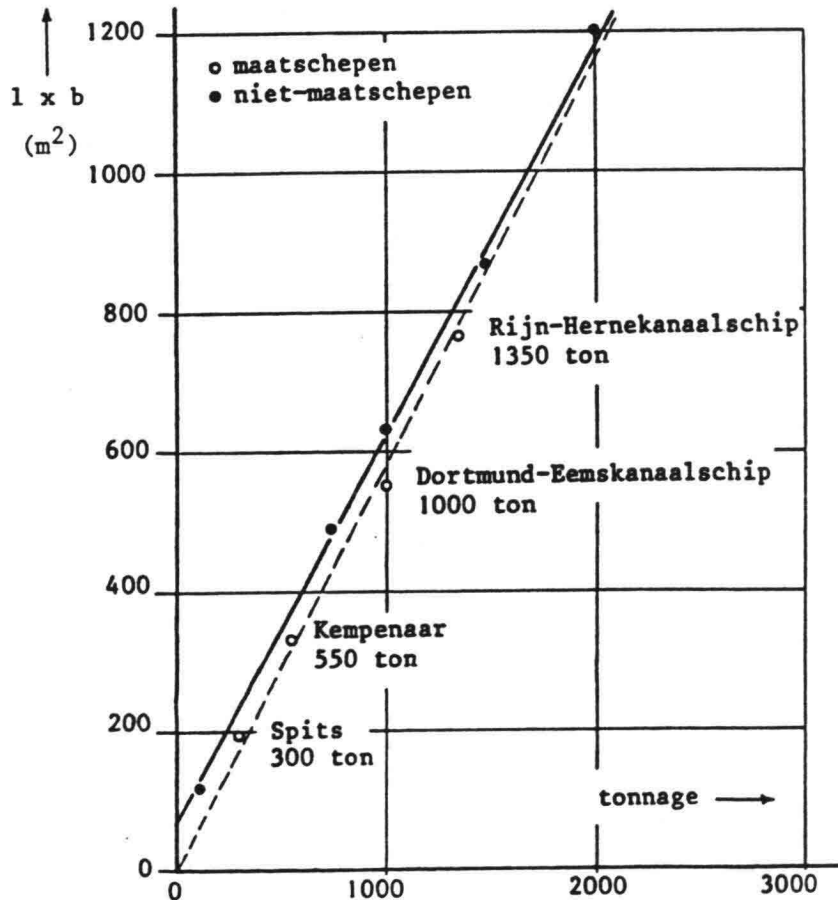


Fig. 48 Verband tussen laadvermogen en lengte x breedte van binnenschepen

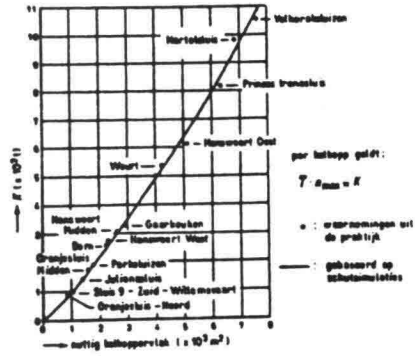


Fig. 49 Verband tussen K en het nuttige kolkoppervlak

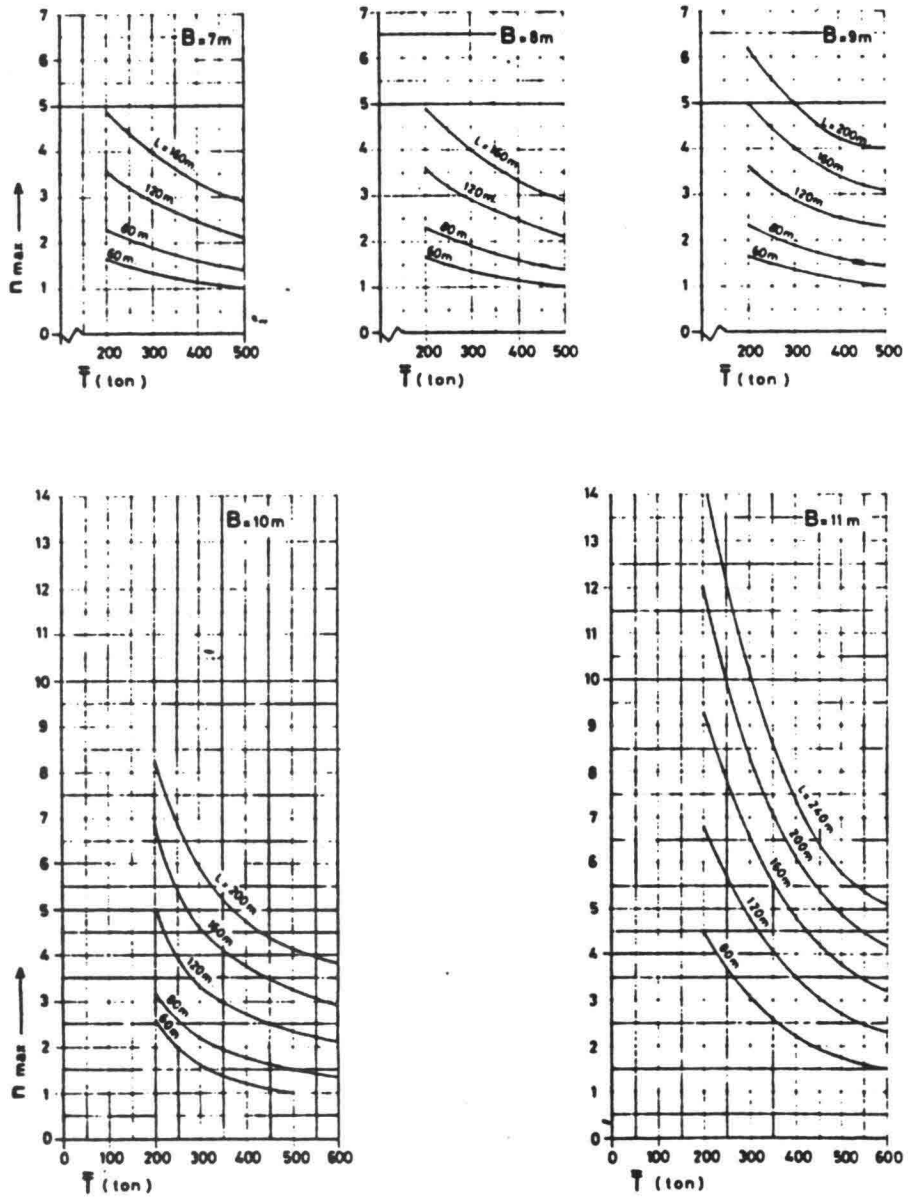


Fig. 50^a Maximum aantal schepen dat de sluiscolk kan bevatten (n_{max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkafmetingen

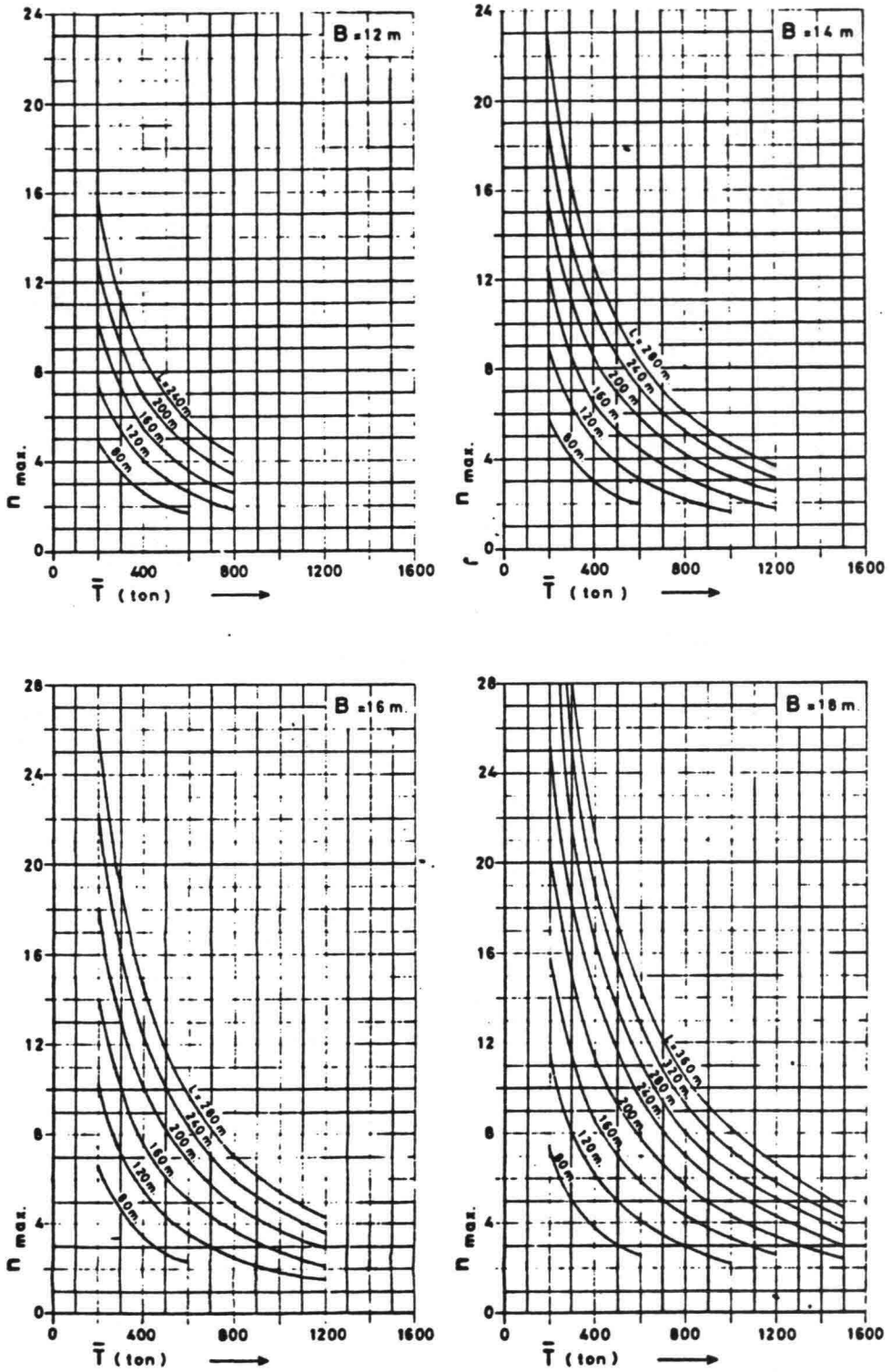


Fig. 50^b Maximum aantal schepen dat de sluiscolk kan bevatten (n_{max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkafmetingen

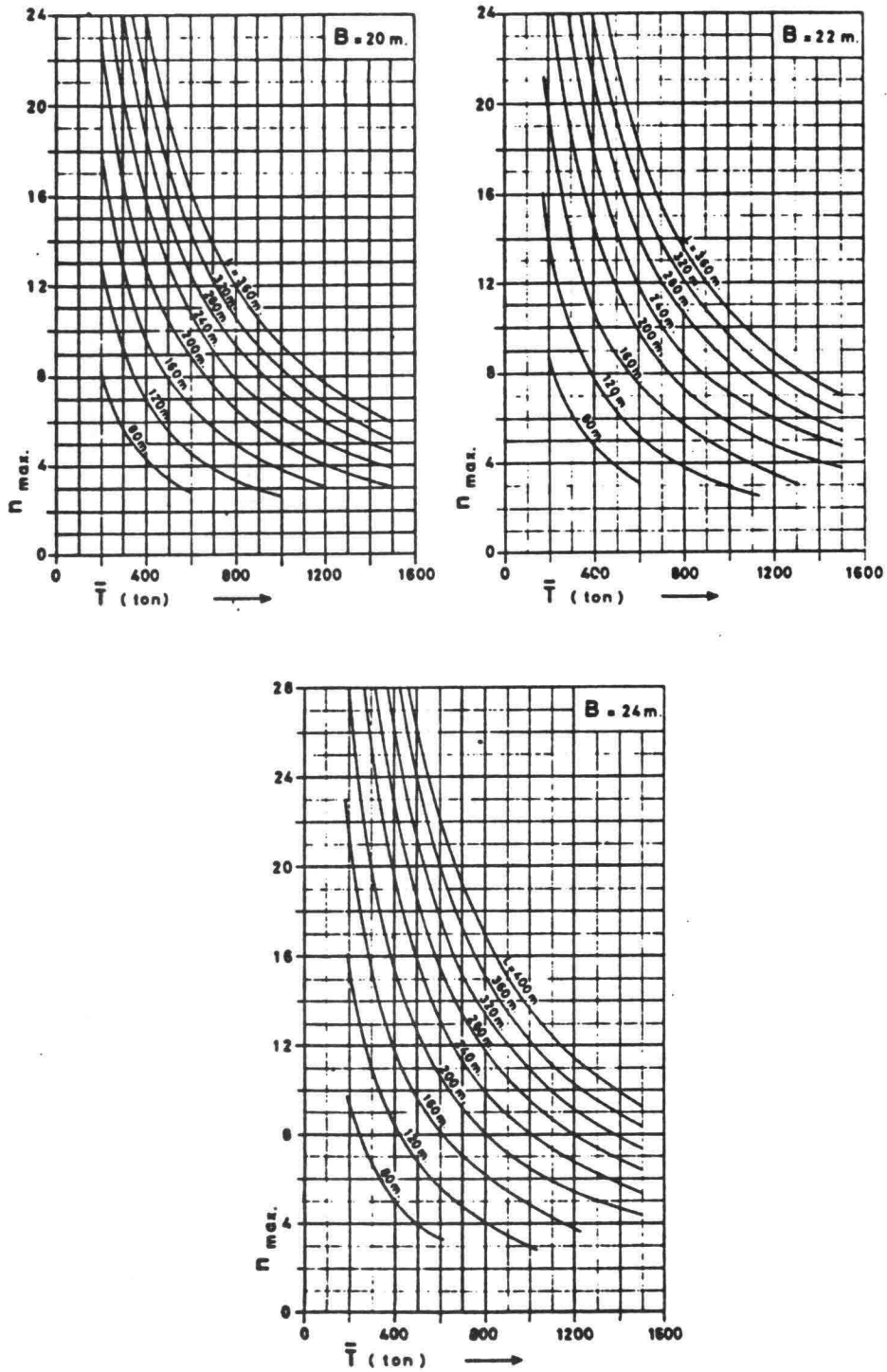
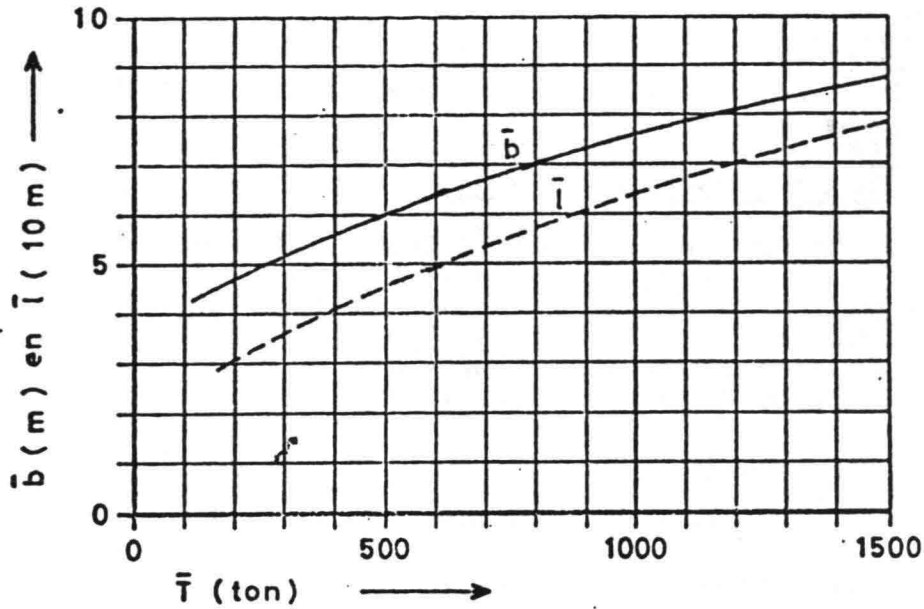


Fig. 50^c Maximum aantal schepen dat de sluisolk kan bevatten (n_{max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkafmetingen



Figuur 51. Het verband tussen de gemiddelde waarden van de breedte (\bar{b}) en de lengte (\bar{l}) van de schepen en het gemiddelde laadvermogen (\bar{T})

3.3.4 Berekening van de schutcapaciteit

Bij de berekening van de schutcapaciteit van binnenvaartsluizen kunnen nog drie gevallen worden onderscheiden.

1. In twee richtingen steeds schutten met volbezette kolken.
2. In één richting steeds schutten met volbezette kolken en in de andere richting steeds met gedeeltelijk bezette kolken.
3. In één richting steeds schutten met volbezette kolken (zogenaamd éénrichtingsverkeer).

Allereerst zal geval 1 voor wat betreft de berekeningsmethode worden behandeld. Daarna zal aangegeven worden welke wijzigingen in deze berekening moeten worden aangebracht voor de capaciteitsberekening volgens geval 2 of 3.

De schutcapaciteit (C_s of C_t) wordt bepaald als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}).

A. Bepaling van het gemiddelde maximum aantal schepen in de kolk

a. Gegevens met betrekking tot de vloot

1. Het bepalen van de samenstelling van de vloot, waarbij globaal onderscheid gemaakt moet worden tussen de categorieën binnenschepen (met en zonder eigen aandrijving), overige beroepsvaart en pleziervaart.

Toelichting: Bij de berekening van de schutcapaciteit wordt uitgegaan van binnenschepen met eigen aandrijving. Indien de sleepvaart of de overige categorieën een groot aandeel hebben in de samenstelling van de vloot, dient een reductie te worden aangebracht op de berekende capaciteit.

2. Keuze van verschillende waarden van \bar{T} met de bijbehorende gemiddelde scheeps lengte \bar{l} volgens figuur 51.
3. Vaststellen van de beladingsgraad λ , per vaarrichting. Als deze niet bekend is kan voor Nederlandse omstandigheden volstaan worden met een gemiddelde van $\lambda = 0,6$.

b. Gegevens met betrekking tot de sluis

1. Vaststellen van de nuttige kolk lengte (L_k) en -breedte (B_k).

c. Bepaling \bar{n}_{\max}

Voor de verschillende waarden van \bar{T} kan \bar{n}_{\max} bepaald worden met behulp van de figuren 50a, 50b, 50c.

B. Bepaling van de cyclustijd

a. Gegevens met betrekking tot de sluis

1. Berekening van het oppervlak van de natte dwarsdoorsnede over het bovenhoofd ($A_1 = B_n \cdot h_1$) en het benedenhoofd ($A_2 = B_n \cdot h_2$). In gebieden met wisselende waterstanden kan eenvoudigheidshalve met gemiddelde waarden worden volstaan.
2. Bepaling van de afstand van de sluisdeur tot het begin van de wachtplaats ($\bar{S}_1 - \bar{I}$).
3. Bepaling van de bedieningstijd T_b voor beide schutrichtingen door schatting of metingen aan een overeenkomstige bestaande sluis (zie paragraaf 3.3.2).

Voor de totale vullingstijd geldt vergelijking (25) bij plotseling trekken van de schuif en vergelijking (36) bij lineair trekken van de schuif. Hiervoor dienen de oppervlakte van de totale kolk (O_k) en het totaal te overwinnen verval (H) bekend te zijn. Verder moeten de heftijd van de schuif (T_s), de schuifopening (A_s) en de contractie-coëfficiënt bekend zijn.

b. De in- en uitvaartijden van de schepen

1. Bepaling van de inaarvolgtijd \bar{t}_i , per vaarrichting, voor geladen en ongeladen schepen, van de gekozen waarden van \bar{T} met behulp van figuur 44a en voor de opvaart geldt hierbij dat $A = A_1$, voor de afvaart $A = A_2$.
De per vaarrichting toe te passen waarde is:

$$t_i = \lambda \cdot \bar{t}_i(\text{geladen schepen}) + (1-\lambda) \cdot \bar{t}_i(\text{ongeladen schepen}) \quad (44)$$

2. Bepaling van de uitaarvolgtijd \bar{t}_u per vaarrichting enz. op dezelfde wijze als voor de inaarvolgtijd. Opvaart: $A = A_1$; afvaart: $A = A_2$

3. Bepaling van de lustijd \bar{t}_l per vaarrichting enz. door toepassing van:

$$\bar{t}_l = \bar{t}_i + \text{korrektie}$$

De correctie kan bepaald worden met behulp van de correctiegrafiek in figuur 46. Hierbij is S_1 de lusafstand volgens figuur 39c.

c. De schutduur per vaarrichting

Uit de vergelijkingen (12), (13) en (14) wordt, met behulp van de gemiddelde waarden, voor de schutduur de volgende vergelijking afgeleid:

$$\bar{T}_d = \bar{t}_1 + (\bar{n}_{\max} - 1) \bar{t}_1 + \bar{n}_{\max} \cdot \bar{t}_u + T_b \quad (45)$$

d. De schutcyclustijd

Voor de schutcyclustijd als gemiddelde uit een groot aantal schuttingen geldt:

$$\bar{T}_c = \bar{T}_d (\text{opvaart}) + \bar{T}_d (\text{afvaart})$$

C. Bepaling van de schutcapaciteit op uurbasis

$$C_s = \frac{2n_{\max}}{\bar{T}_c} \cdot 60 \quad (\text{scheperen/uur})$$

$$C_T = \bar{T} \times C_s \quad (\text{tonnen laadvermogen/uur})$$

De werkelijke schutcapaciteit is normaal iets lager dan de berekende. Gebruikelijk is de reductie van 10%. Voor de nachturen een extra reductie van 5%.

$$C_w = (\text{dagbedrijfsuren} + 0,95 \cdot \text{nachtbedrijfsuren}) \cdot 0,9 \cdot C_s \quad (46)$$

D. Bepaling schutcapaciteiten voor geval 2 en 3

Voor de berekening van de capaciteiten voor geval 2 en 3 kan volstaan worden met enkele wijzigingen in de hiervoor geschetste berekeningsgang.

a. Voor geval 2 zijn de volgende wijzigingen van belang:

1. Voor de vaarrichting waarvoor de capaciteit bepaald moet worden geldt n_{\max} ; voor de tegengestelde richting een (gemeten of geschatte) waarde voor $n < n_{\max}$.
2. \bar{T}_d wordt voor de eerstgenoemde richting bepaald op basis van n_{\max} (verg. 45) en voor de tegenovergestelde richting op basis van n .
3. De capaciteit wordt bepaald met behulp van vergelijking (20).

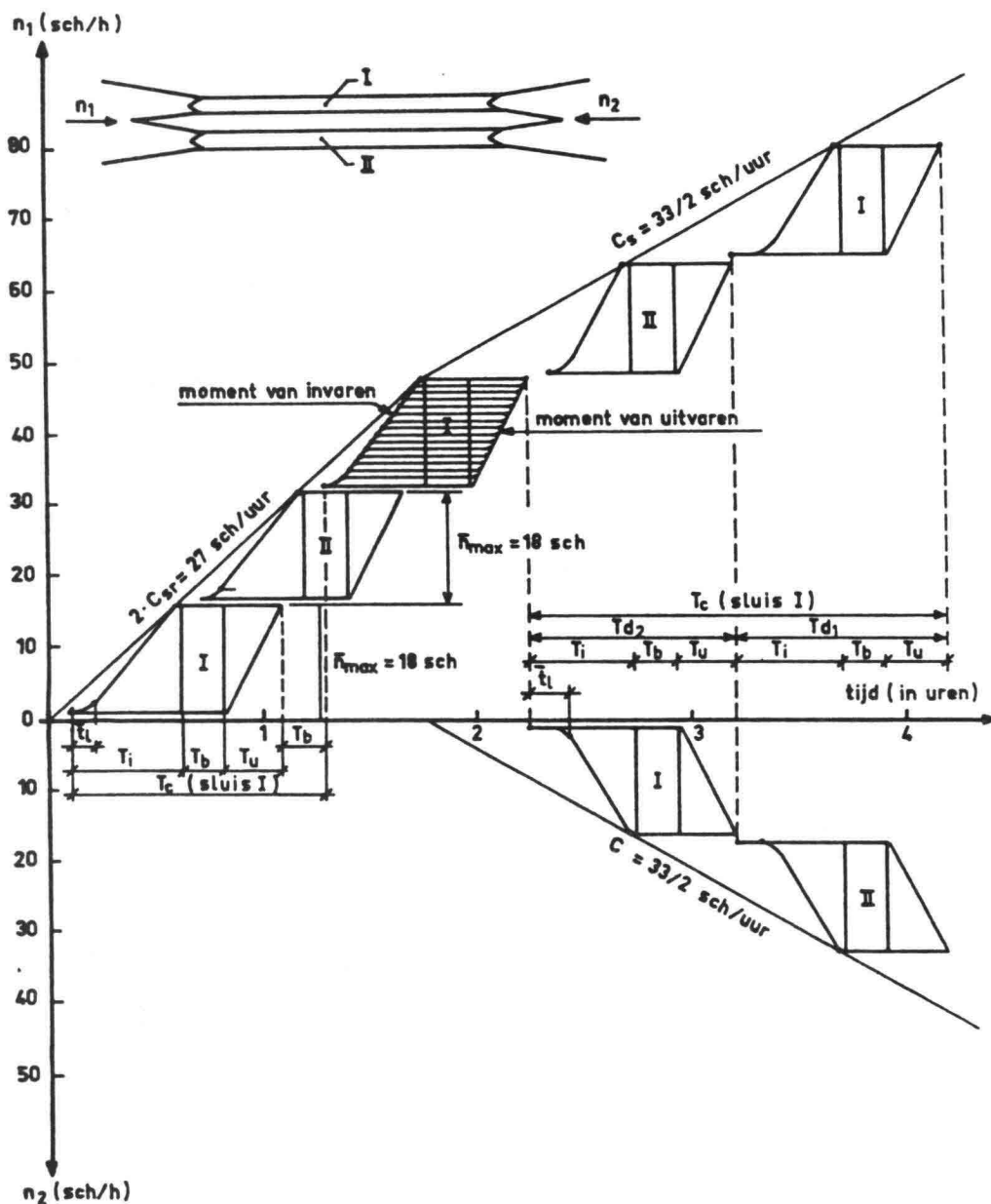
b. De wijziging met betrekking tot geval 3 is:

Algemeen: Alle gegevens betreffende de vloot, de vaartijden enz. behoeven slechts voor één richting bepaald te worden.

1. De lustijd dient vervangen te worden door de kortere invaartijd van het eerste schip.
2. $\bar{T}_c = \bar{T}_d(\text{schutrichting}) + T_b(\text{tegenovergestelde richting})$
3. Toepassing van vergelijking (20).

De bovengenoemde berekeningen zijn getoetst aan in de praktijk gemeten schutcapaciteiten en blijken slechts weinig hiervan af te wijken.

In figuur 52 is een voorbeeld gegeven van een dubbele sluis waarbij in eerste instantie met beide sluisen in één richting is geschut (geval 3 met 2 kolken, elk $\bar{n}_{\max} = 18$ schepen) en waarbij later is overgegaan op schutten in beide richtingen (geval 1). Hieruit blijkt dat in geval 1 de totale schutcapaciteit, uitgedrukt in schepen per uur, aanmerkelijk groter is dan in geval 3. Dit vindt zijn oorzaak in het terugschutten met lege kolken.



Figuur 52. Capaciteit bij schutten met twee sluisen

3.3.5 Wachttijd, schuttijd en overligtijd als onderdelen van de passeertijd van het individuele schip

Hoewel het erg belangrijk is om te weten hoeveel schepen er per tijdseenheid maximaal een sluis kunnen passeren (de capaciteit van de schutsluis), mag dit uiteraard niet de enige maatstaf zijn voor het vaststellen van de gewenste kolkafmetingen.

Bij een kontinu bediende sluis kan het voorkomen dat al het verkeer dat zich in bijvoorbeeld een week aanbiedt, nog wel net in die week geschut kan worden. De schutcapaciteit is dan, op weekbasis, voldoende. Voor een groot aantal individuele schepen kan dit echter onaanvaardbaar zijn in verband met heel lange passeertijden. De passeertijd van het afzonderlijke schip zal dan ook binnen redelijke grenzen moeten liggen, wil de situatie aanvaardbaar zijn. Dit hangt sterk samen met de variatie in de verkeersintensiteit oftewel "het intensiteitspatroon".

Zoals reeds eerder is besproken bestaat de passeertijd (t_p) uit de wachttijd (t_w), de schuttijd (t_s) en eventueel uit de overligtijd (t_o), dus:

$$t_p = t_w + t_s + t_o.$$

Achtereenvolgens zal een beschrijving worden gegeven van

- a. De gemiddelde wachttijd,
- b. de gemiddelde schuttijd en
- c. de gemiddelde overligtijd.

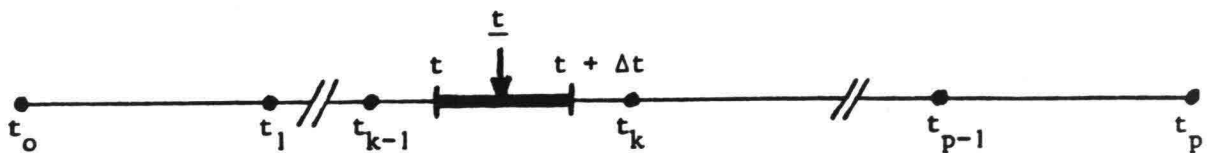
Ad a. De gemiddelde wachttijd

"De wachttijd begint op het theoretische aankomsttijdstip en eindigt op het tijdstip dat de bedieningstijd van de eerstvolgende schutting, in de vaarrichting van het beschouwde schip, begint" (zie figuur 29).

Indien nu met voldoende nauwkeurigheid kan worden aangetoond, dat de waarschijnlijkheid van de aankomst van een schip onafhankelijk is van het aantal schepen dat reeds in het systeem aanwezig is, dan mag verondersteld worden dat het aankomsttijdstip \underline{t} van het schip deel uitmaakt van een uniforme kansverdeling.

Voor de bepaling van de gemiddelde wachttijd \bar{t}_w voor elk schip wordt een periode van t_o tot t_p met p schutcycli beschouwd (zie figuur 53). Schutcyclus k loopt van t_{k-1} tot t_k , zodat $T_k = t_k - t_{k-1}$ is.

$$\sum_{k=1}^p T_k = t_p - t_o = p \cdot \bar{T}_c \tag{47}$$



Figuur 53. Periode met p schutcycli

Indien een schip aankomt op tijdstip \underline{t} tussen t_o en t_p , waarbij het aankomsttijdstip voldoet aan een uniforme kansverdeling, dan moet gelden:

$$P_r(t \leq \underline{t} < t + \Delta t) = \frac{1}{p \cdot \bar{T}_c} dt \tag{48}$$

Hierin is Δt zeer klein, zodat slechts één schip binnen dit tijdsinterval tegelijk binnenkomt. Het einde van de wachttijd wordt in figuur 53 aangegeven door de punten op de tijdstippen t_0, t_1, \dots, t_k voor iedere schutcyclus. De wachttijd in de k -de schutcyclus is dan gelijk aan:

$$t_w = t_k - \underline{t} \quad (49)$$

De gemiddelde wachttijd voor de beschouwde periode is dan:

$$\begin{aligned} \bar{t}_w &= \frac{1}{p \cdot \bar{T}_c} \cdot \left[\int_{t_0}^{t_1} (t_1 - \underline{t}) dt + \dots + \int_{t_{p-1}}^{t_p} (t_p - \underline{t}) dt \right] = \\ &= \frac{1}{p \cdot \bar{T}_c} \cdot \left[1/2 (t_1 - t_0)^2 + \dots + 1/2 (t_p - t_{p-1})^2 \right] = \\ &= \frac{1}{p \cdot \bar{T}_c} \cdot \left[1/2 T_1^2 + \dots + 1/2 T_p^2 \right] \\ \bar{t}_w &= \frac{1}{2p \bar{T}_c} \cdot \sum_{k=1}^p T_k^2 \quad (50) \end{aligned}$$

Hierin kan T_k als volgt worden geschreven:

$$T_k = \bar{T}_c + \Delta T_k \quad (k = 1, \dots, p)$$

Daarmee gaat vergelijking (50) over in:

$$\begin{aligned} \bar{t}_w &= \frac{1}{2p \bar{T}_c} \cdot \sum_{k=1}^p \{ \bar{T}_c + \Delta T_k \}^2 = \\ &= \frac{1}{2p \bar{T}_c} \sum_{k=1}^p \{ \bar{T}_c^2 + 2\bar{T}_c \cdot \Delta T_k + (\Delta T_k)^2 \} = \\ &= \frac{1}{2p \bar{T}_c} \cdot \left[p \cdot \bar{T}_c^2 + 0 + \sum_{k=1}^p (T_k - \bar{T}_c)^2 \right] \\ \bar{t}_w &= 1/2 \bar{T}_c + \frac{\text{Var}(T_c)}{2 \bar{T}_c} \quad (51) \end{aligned}$$

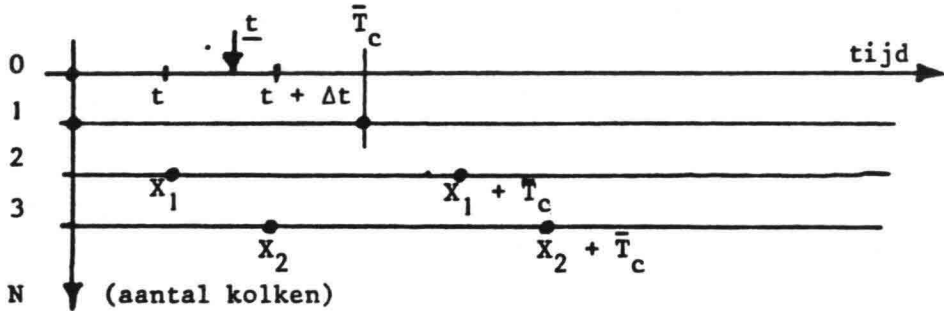
De tweede term in het rechterlid levert slechts een geringe bijdrage aan \bar{t}_w . Voor praktische doeleinden kan \bar{t}_w daarom als volgt worden benaderd:

$$\bar{t}_w = 1/2 \bar{T}_c \quad (52)$$

De gemiddelde wachttijd bij een sluiscomplex, bestaande uit N parallel gelegen schutkolken van gelijke afmetingen, kan worden bepaald onder aanname dat de volgende vier veronderstellingen gelden:

1. Het aankomsttijdstip \underline{t} is uniform verdeeld.
2. Per sluiscolk is $\bar{T}_c = \text{konstant}$.
3. Als $N \geq 2$ is \bar{T}_c voor alle sluiscolken even groot.
4. Als $N \geq 2$ dan zijn de faseverschillen tussen de schutcycli random verdeeld (uniforme kansverdeling).

Voor een sluiscomplex met N identieke kolken is het volgende voorbeeld uitgewerkt (zie figuur 54).



Figuur 54. Sluiscomplex met N identieke kolken

Indien het schip arriveert op een willekeurig tijdstip \underline{t} tussen $t = 0$ en $t = \bar{T}_c$ en het aankomsttijdstip uniform verdeeld is, geldt:

$$P_r \{ t \leq \underline{t} < t + \Delta t \} = \frac{1}{\bar{T}_c} dt \quad (53)$$

De schutcyclus van de eerste colk loopt van 0 tot \bar{T}_c . De begintijdstippen van de schutcyclussen van de 2e,, Ne colk zijn resp. X_1, \dots, X_N . De stochastische variabelen X_1, \dots, X_N zijn uniform verdeeld op het interval $(0, \bar{T}_c)$. De elementaire kansen met betrekking tot X_1, \dots, X_N zijn dan:

$$P_r \{ X_N \leq \underline{X}_N < X_N + \Delta X_N \} = \frac{1}{\bar{T}_c} \cdot d X_N \quad (54)$$

Bij de berekening van t_w kunnen er $N!$ mogelijkheden worden onderscheiden voor het moment waarop de betreffende schutcyclus \underline{X}_N aanvangt.

Voorbeeld voor drie kolken ($N = 3$):

Geval 1: $X_2 > X_1$

Het aankomsttijdstip \underline{t} kan liggen tussen:

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| 0 en X_1 | $t_w = X_1 - \underline{t}$ |
| X_1 en X_2 | $t_w = X_2 - \underline{t}$ |
| X_2 en \bar{T}_c | $t_w = \bar{T}_c - \underline{t}$ |

Geval 2: $X_2 < X_1$

Dit is identiek aan geval 1 met dien verstande dat X_1 en X_2 zijn verwisseld. Beide gevallen zullen dus dezelfde uitkomst opleveren, elk weer bestaande uit drie mogelijkheden (totaal $3 \times 2 = 3!$).

Voor het geval van N-kolken bestaat de bijdrage voor de gemiddelde wachttijd uit $(N - 1)!$ maal de volgende N-voudige integraal:

$$\bar{t}_w = \frac{(N-1)!}{\bar{T}_c \cdot N} \cdot \left[\int_0^{\bar{T}_c} \int_0^{X_{N-1}} \int_0^{X_3} \dots \int_0^{X_2} \int_0^{X_k} (X_k - t) dt \right] dX_1 dX_2 \dots dX_{N-1} \quad (55)$$

d.w.z.: $\bar{t}_w = \frac{(N-1)!}{\bar{T}_c^N} \cdot \left[N \cdot \frac{\bar{T}_c^{N+1}}{(N+1)!} \right]$ oftewel:

$$\bar{t}_w = \frac{\bar{T}_c}{N+1} \quad (56)$$

Voor $N = 1$ is de gemiddelde wachttijd dus $\bar{t}_w = 1/2 \bar{T}_c$ zoals onder vergelijking (52) reeds was gevonden.

Voor $N = 3$ is $\bar{t}_w = 1/4 \bar{T}_c$, derhalve een halvering ten opzichte van $N = 1$.

Opmerking: Bij toepassing van vergelijking (56) wordt niet altijd voldaan aan de veronderstellingen 2 t/m 4:

Ad 2. In de praktijk zullen de schutcyclussen variëren, het effect ervan op \bar{t}_w is echter gering, zoals reeds vermeld in het voorgaande ten aanzien van vergelijking (51).

Ad 3. De gemiddelde cyclustijd \bar{T}_c is veelal niet voor alle sluiskolken hetzelfde in verband met verschillen in afmetingen van deze kolken. De grootste afwijking ontstaat indien de schutkolken betrekking hebben op verschillende scheepvaartklassen. Een aantal schepen (veelal de grootste) maakt geen gebruik van alle sluiskolken. In deze gevallen kan bij vergelijking (20) een correctie worden berekend.

Ad 4. De veronderstelling gaat uit van een volkomen vrij en ongebonden schutproces. In vele gevallen zal de sluisbediening tussen de kolken onderling echter gecoördineerd worden onder andere vanuit oogpunt van veiligheid. In geval van tweelingsluizen bijvoorbeeld is het niet wenselijk om schepen toe te staan vanuit beide schutkolken in dezelfde richting tegelijk uit te varen, aangezien dit extra wachttijd oplevert. De nauwkeurigheid bij veronderstelling 4 zal, in het algemeen gesproken, toenemen naarmate het aantal kolken (N) zal toenemen.

Ad b. De gemiddelde schuttijd

De schuttijd begint als de invaart voltooid is en de invardeuren gesloten kunnen worden (zie figuur 29).

De schuttijd eindigt als het betreffende schip, na schutting, met de achtersteven de uitvardeuren passeert. De schuttijd omvat dus de bedieningstijd T_b en een gedeelte van de totale uitvaartijd (T_u). In het geval van een schutting met slechts één schip is de schuttijd:

$$t_s = T_b + t_u \quad (57)$$

Omvat de schutting n -schepen, dan is de gemiddelde schuttijd per schip (zie figuur 52):

$$\bar{t}_s = T_b + 1/2 (n + 1) \cdot t_u \quad (58)$$

In de praktijk varieert het aantal schepen per schutting. Als de uitvaarvolgtijd van de schepen gelijk is aan t_u , dan kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$\bar{t}_s = T_b + 1/2 t_u + 1/2 t_u \frac{\sum_{k=1}^z n_k^2}{\sum_{k=1}^z n_k} \quad (59)$$

Hierin is n_k het aantal schepen uit de k^e -schutting en z het totaal aantal schuttingen in de beschouwde periode. Als \bar{n} het gemiddeld aantal schepen per schutting is, dan moet gelden:

$$\sum_{k=1}^z n_k = z \cdot \bar{n} \quad \text{en}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^z n_k^2 &= \sum_{k=1}^z (n_k^2 - 2n_k \cdot \bar{n} + \bar{n}^2) + \sum_{k=1}^z (2n_k \cdot \bar{n} - \bar{n}^2) = \\ &= \sum_{k=1}^z (n_k - \bar{n})^2 + z \cdot \bar{n}^2 \end{aligned}$$

Gesubstitueerd in vergelijking (59) geeft dit:

$$\bar{t}_s = T_b + 1/2 t_u + 1/2 t_u \cdot \frac{\sum_{k=1}^z (n_k - \bar{n})^2 + z \cdot \bar{n}^2}{z \cdot \bar{n}}$$

oftewel:

$$\bar{t}_s = T_b + 1/2 t_u \cdot (\bar{n} + 1) + 1/2 t_u \cdot \frac{\text{Var}(n_k)}{\bar{n}} \quad (60)$$

Ad c. De gemiddelde overligtijd

Wanneer de intensiteit van de scheepvaart gering is, kunnen al de schepen tezamen met de volgende schutting meegenomen worden. Er zijn dus geen overliggers en de passeertijd bestaat dan uit de wachttijd en de schuttijd ($t_p = t_w + t_s$).

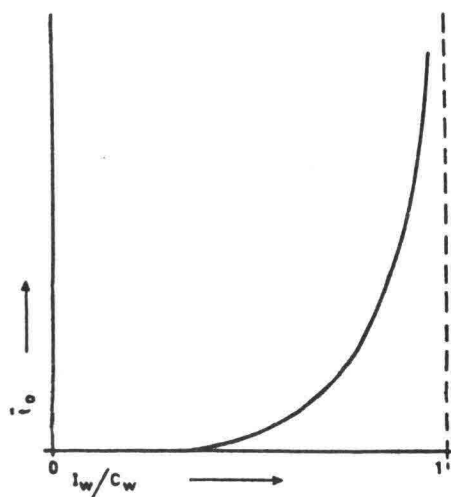
Neemt de verkeersintensiteit (I) toe, dan zal er een situatie ontstaan, waarbij de capaciteit (C) zo nu en dan wordt overschreden en waarbij één of enkele schepen soms een schutting moeten overliggen om pas met de daarop volgende schutting mee te kunnen. Elke nog verdere toename van de verkeersintensiteit zal leiden tot een accumulatie van schepen voor de sluisdoorgangen. Deze overmaat aan schepen kan pas worden afgewerkt in een periode waarin de hoeveelheid overliggende schepen kleiner wordt dan de capaciteit van het schutcomplex.

De kans op overliggen blijkt sterk afhankelijk van de variaties in de verkeersintensiteit, het zogenaamde intensiteitspatroon.

Variaties in de verkeersintensiteit kunnen gedeeltelijk systematisch en gedeeltelijk stochastisch van karakter zijn. De systematische opbouw in het intensiteitspatroon wordt grotendeels veroorzaakt door etmaalcyclussen van 24 uur en weekcyclussen van 7 dagen. Voor Nederland zijn de bedrijfstijden van veel sluizen veelal afgestemd op deze cyclussen. Een 24-uurs-cyclus wordt gekarakteriseerd door een relatief geringe verkeersintensiteit 's nachts en een relatief hoge verkeersintensiteit overdag. De wekelijkse cyclus vertoont iets dergelijks bij de beschouwing van de etmaalverkeersintensiteit over de week, waarbij op zaterdag en zondag een veel geringere intensiteit aanwezig is dan op de overige dagen van de week (maandag t/m vrijdag).

De overligtijden van schepen worden bepaald met behulp van simulaties van het schutproces. Uitgevoerd op weekbasis wordt er voor een periode van één of meer weken een schutsluissimulatie uitgevoerd. Door herhaling van deze simulaties voor verschillende weekintensiteiten (I_w) is het mogelijk de relatie tussen de gemiddelde overligtijd per schip en de weekintensiteit te bepalen.

Het eindproduct van een aantal uitgevoerde sluissimulaties is een zogenaamde overligcurve, welke het verband aangeeft tussen de gemiddelde overligtijd per schip (t_o) en de verhouding (I_w/C_w) tussen de intensiteit en capaciteit op weekbasis.



Figuur 55. Algemeen beeld van het verband tussen de gemiddelde overligtijd (t_o) en de intensiteit-capaciteitsverhouding (I_w/C_w) op weekbasis (zogenaamde overligcurve)

Als een gevolg van de grote verschillen in intensiteit tussen dag en nacht en het stochastische karakter van de intensiteitspatroon, kan er, zoals uit de praktijk is gebleken, zelfs vertraging optreden bij zeer lage waarden van I_w/C_w . Bij veel schutsluizen zal er zo nu en dan enig oponthoud optreden met overligtijden indien $I_w/C_w = 0,5$. Bij toenemende I_w/C_w -verhouding zal ook het aantal overliggende schepen progressief toenemen en daarmee uiteraard de gemiddelde overligtijd per schip (zie figuur 55).

Bij een gelijkmatig, zogenaamd gedosseerd aanbod, zal de overligtijd pas bij een veel hogere waarde van I_w/C_w gaan toenemen. Voor de meeste situaties op de Nederlandse vaarwegen mag deze verhouding niet groter worden dan 0,65 à 0,85, waarbij de gemiddelde overligtijd tot 3/4 à 1 uur is opgelopen.

Intensiteitspatronen kunnen het beste worden bepaald uit waargenomen intensiteitspatronen, opgebouwd uit uurintensiteiten. Voor het geval er sprake is van een nieuw aan te leggen vaarweg, zal in het algemeen gesproken beter gebruik gemaakt kunnen worden van intensiteitspatronen van een vergelijkbare vaarweg als startpunt, in plaats van het intensiteitspatroon alleen te baseren op de conjunctuur. De navolgende methode kan dan ook het best gebruikt worden voor het ontwikkelen van intensiteitspatronen:

1. Uitgaan van een waargenomen intensiteitspatroon, opgebouwd uit uurintensiteiten, per vaarrichting van één of meer gehele weken (van maandag t/m zondag).
Opm.: - De waarde van I_w (schepen/week) wordt per week bepaald.
- De uurintensiteit is het aantal schepen dat per uur bij de sluis aankomt en dus niet het aantal door de sluis gepasseerde schepen.
2. Bepaal per vaarrichting de systematische structuur van het intensiteitspatroon, waarbij twee mogelijkheden worden onderscheiden:
 - a. De samenstelling van de passerende vloot vertoont geen systematische variatie over het etmaal of de week.
 - b. Indien er wel sprake is van systematische variatie, dan dient de vloot eerst onderverdeeld te worden in relevante categorieën.
Volgens figuur 56 kan dan het systematische karakter van een waargenomen intensiteitspatroon worden bepaald.
3. Stel een prognose op voor de toekomstige systematische structuur, rekening houdend met eventueel relatief meer verkeer 's nachts en een relatief afnemend verkeer in de weekeinden.
4. Bepaal voor nieuwe (mogelijk grotere) waarden van I_w de toekomstige systematische structuur van het intensiteitspatroon. Wanneer een onveranderde structuur wordt verondersteld, dan kan de intensiteit voor elk uur met een konstante faktor worden vermenigvuldigd. Indien de structuur veranderd is, dan kunnen een aantal verschillende vermenigvuldigingsfactoren worden toegepast, aangepast aan de veranderde opbouw van de structuur.
5. Bepaal de stochastische variatie voor elke periode van de systematische structuur waarin de uurintensiteiten dezelfde waarde hebben. Indien de aankomst van de schepen bij de sluis willekeurig (random) geschiedt, dan kan gebruik gemaakt worden van de theoretische Poisson-verdeling om de stochastische variatie te bepalen.
Bij deze methode wordt het aantal uren waarin K (= 0, 1, 2, 3 enz.) schepen per uur bij de sluis aankomen berekend voor een gemiddelde

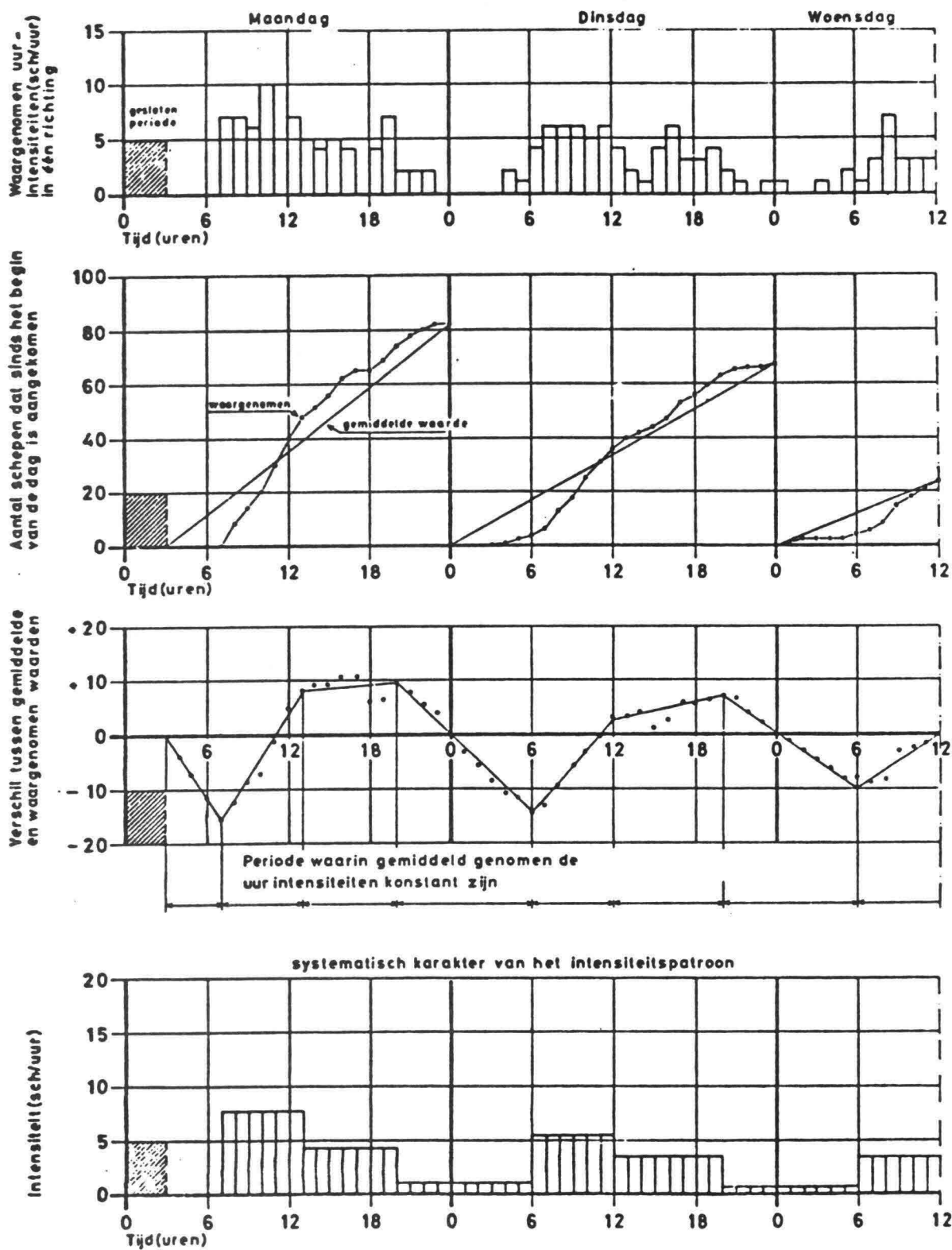


Fig. 56 Bepaling van het systematische karakter van een waargenomen intensiteitspatroon

waarde van de uurintensiteit (X) per beschouwde periode, gebruik makend van vergelijking (61)

$$P(K) = \frac{e^{-X} \cdot X^K}{K!} \cdot 100\% \quad (61)$$

met: X = gemiddelde uurintensiteit (in de beschouwde periode)
 K = aantal schepen per uur
 P(K) = percentage van het aantal uren waarin K schepen aankomen

Een voorbeeld wordt gegeven in tabel 8 voor X = 4 (schepen per uur) voor een beschouwde periode van 5 achtereenvolgende uren.

K (sch/h)	≤ 1	2	3	4	5	6	7	≥ 8
P(K)%	9	15	20	20	16	10	6	4
P(K) Cumulatief	0/8	9/23	24/43	44/63	64/79	80/89	90/95	96/99

Tabel 8. Verdeling aantal schepen per uur
 (bij X = 4 voor periode van 5 uur)

Indien de eerste vijf gevonden random-getallen 27, 09, 80, 44 en 56 bedragen, dan bestaat het intensiteitspatroon achtereenvolgens uit 3, 2, 6, 4 en 4 schepen per uur.

Deze methode kan niet automatisch gebruikt worden indien de aankomsttijdstippen van de schepen door invloeden verstoord worden, zodat het willekeurige (random) karakter verloren gaat. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een vaarweg met meerdere sluizen achter elkaar. Indien de aankomsttijden bij de eerste sluis random verdeeld zijn, dan geldt dit niet meer voor de volgende sluizen, aangezien het aanbod hiervoor gedoseerd wordt door de schuttingen van de eerste sluis. In dat geval is het voor deze zogenaamde afhankelijke sluizen beter uit te gaan van een normale verdeling met een geringe spreiding als startpunt, of zelfs een empirische verdeling. Bij deze verdelingen wordt eveneens gewerkt met random gegenereerde getallen.

3.3.6 Simulatie van het schutproces

In het voorgaande is bij het onderzoek naar de verkeersafwikkeling door schutsluizen steeds uitgegaan van het bepalen van gemiddelde waarden (\bar{T} , \bar{t}_i , t_u , enz.).

Aangezien bijna alle grootheden zogenaamde stochastische variabelen zijn, moet daarom steeds over zeer lange perioden gemeten worden om deze gemiddelde waarden voldoende nauwkeurig te kunnen bepalen.

Met de op de TU Delft ontwikkelde computertaal "PROSIM" zijn sluis- en brugverkeersafwikkelingen bijzonder goed te simuleren. Deze simulatietaal heeft een aantal voordelen ten opzichte van andere bestaande computertalen, namelijk:

- De programmering geschiedt volgens de procesbeschrijving (programma van het proces van een systeemcomponent, bijvoorbeeld een schip, komt overeen met het proces in werkelijkheid).
- Duidelijke foutmeldingen en modelcontrole (TRACE-versie).
- Mogelijkheden in standaardfaciliteiten voor lijstverwerking, wachtrijen, histogrammen, plots, enz.
- Maakt gebruik van standaardprocedures, waarin complexe bewerkingen worden uitgevoerd, waardoor het resterend programmeerwerk relatief eenvoudig is uit te voeren.

Een schutsluissimulatiemodel bevat een aantal componenten welke de verkeersafwikkeling bepalen, waaronder:

- het schip (de schipper)
- de kolkbedienaar
- de centralist

De procesbeschrijving van elk van deze componenten kan in een stroomschema weergegeven worden, waarin duidelijk en éénduidig wordt aangegeven welke akties worden uitgevoerd en wanneer of in welke situatie ze andere componenten moeten aktiveren (zie figuren 57, 58 en 59).

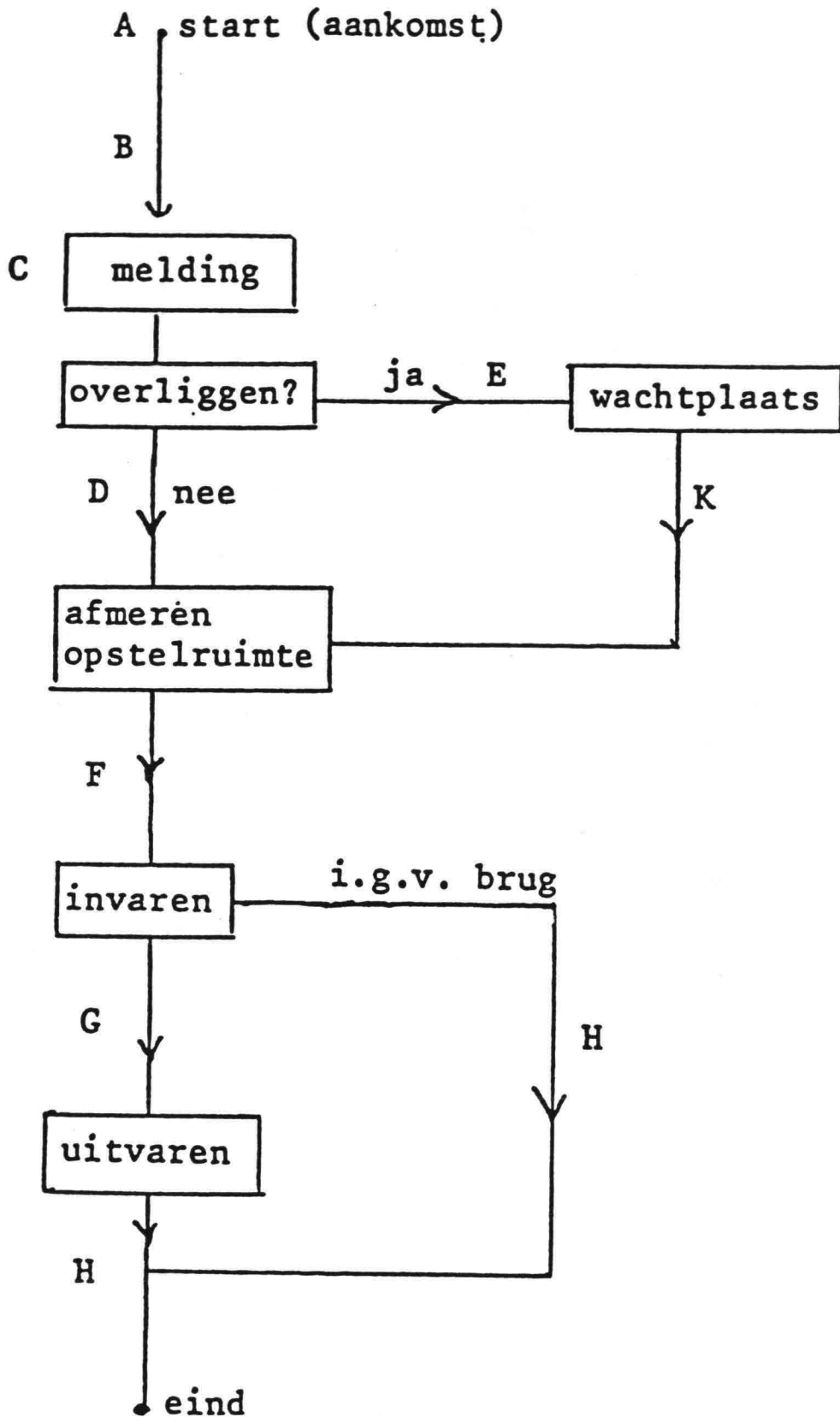
- Een vierde belangrijke component in het systeem is de schepengenerator, welke onafhankelijk van de andere componenten werkt. Deze component bepaalt aan de hand van de verstrekte invoergegevens, de scheepsafmeting, de vaarsnelheid, de vaarrichting, de route, de beladingsgraad en de aankomsttijd van elk schip aan de grenzen van het model.

3.3.7 Informatieverwerkend systeem op schutsluizen

In het zuidelijk deltagebied is in 1983 een informatieverwerkend systeem in gebruik gesteld waarbij gebruik gemaakt wordt van de computer. Het systeem beoogt primair een vermindering van de inspanning, nodig voor het bepalen en het afhandelen van het scheepsaanbod. Daarnaast zijn de ingewonnen gegevens van belang uit statistisch oogpunt en kunnen ze bijdragen tot een verbetering van de verkeersverbetering op de op de sluisen aansluitende vaarwegen.

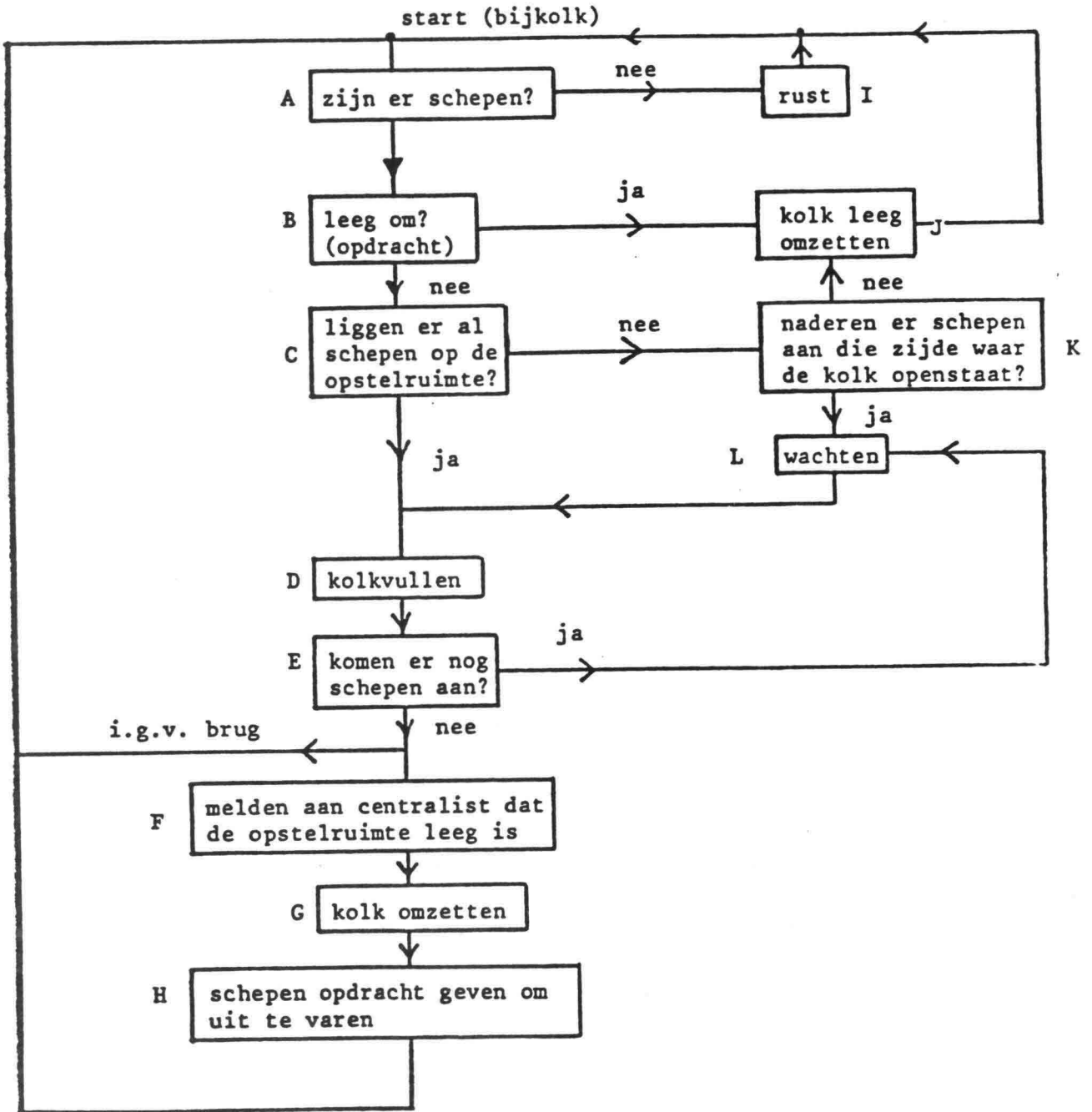
In de huidige situatie moet een schipper die bij een sluis aankomt telkens opnieuw een zestiental gegevens doorgeven, die dan opgetekend worden in een sluisboek. Een aantal gegevens komt binnen via de marifoon, andere gegevens worden door het sluispersoneel ingewonnen door gebruik te maken van sluisbriefjes die vanaf de sluiswand ingenomen worden. Deze arbeidsintensieve handeling kan niet via de marifoon afgehandeld worden omdat het kanaal van het marifoonverkeer dan overbelast zou raken.

De doelstellingen van het IVS-systeem (= Informatieverwerkend systeem voor de scheepvaart) zijn besparing van personeel, verkeersbegeleiding (met name controle op het vervoer van gevaarlijke stoffen), betrouwbaarder gegevensinwinning en een betere statistische verwerking. Hiertoe is een gekoppeld informatiesysteem ontworpen, waarbij de aangesloten sluisen onderling gegevens met betrekking tot de scheepvaart uitwisselen. In de toekomst zullen niet alleen sluisen, maar ook verkeersposten en andere informatieverwerkende systemen kunnen aantakken.



Eenvoudig stroomdiagram van het proces van het schip via een sluis/brug.

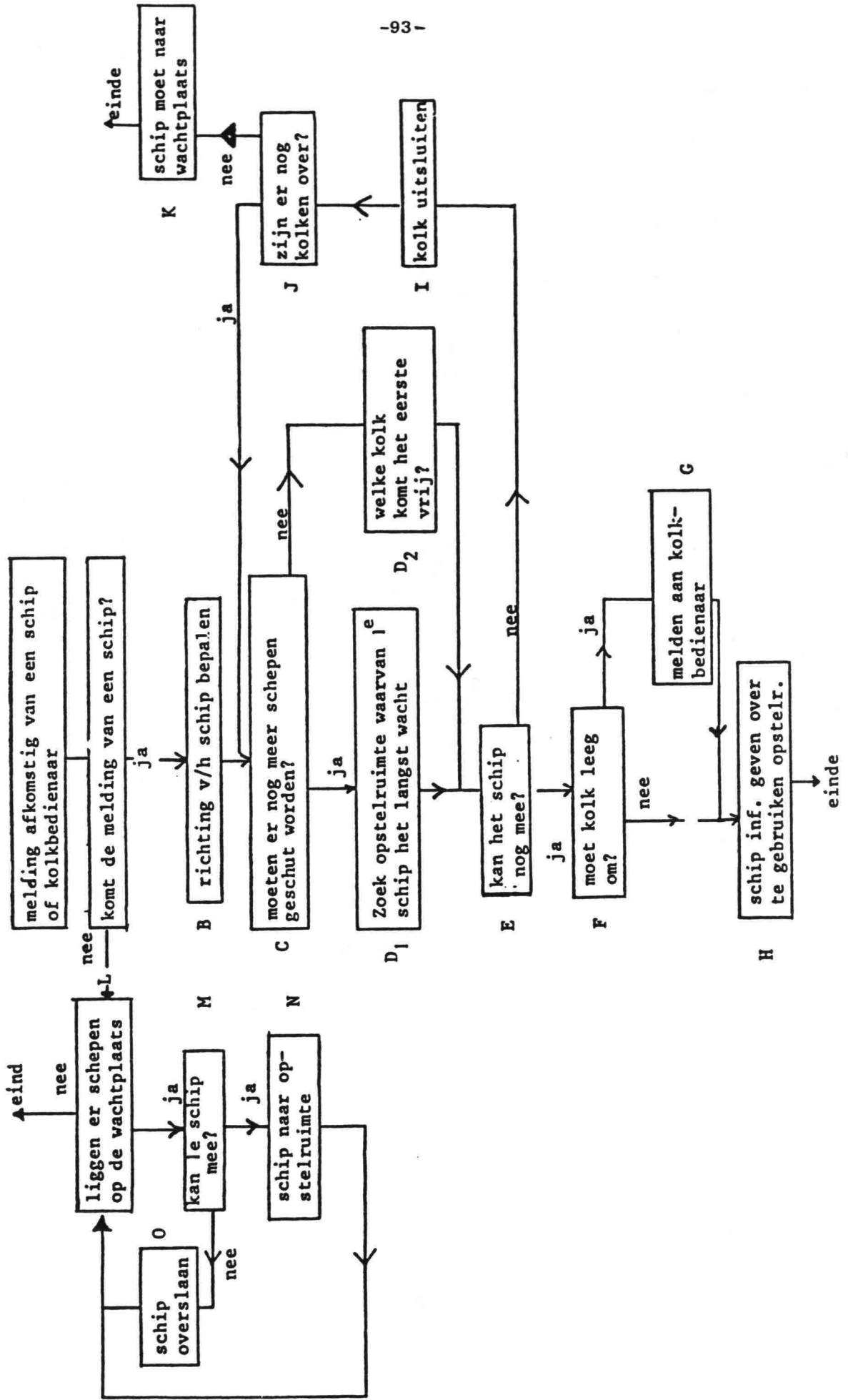
Figuur 57.



Eenvoudig stroomdiagram van het proces van de kolkbedienaar.

Figuur 58.

Start



Eenvoudig stroomdiagram van het proces van de centralist.

Figuur 59

De werking van het systeem zal beschreven worden aan de hand van figuur 60.

Een schipper meldt zich bij een sluis en geeft de naam van het schip en eventueel de tonnenmaat op. Indien het schip voorkomt op de vooraanmeldingslijst (zie scherm 1 en 2) staan gelijk al een aantal gegevens op het beeldscherm, uitgesplitst naar vaarrichting:

- naam van het schip
- laadvermogen
- gevaarlijke stoffenkodering
- lengte, breedte, diepgang
- herkomst en bestemming

Komt het schip niet voor op de vooraanmeldingslijst, dan kan gekeken worden of het schip voorkomt in het scheepsbestand van de computer, waar de gegevens betreffende het schip in staan. Komt het schip hier niet in voor, dan moeten de gegevens alsnog en op de oude wijze, dus via de sluiswand, opgevraagd worden.

Al deze gegevens komen op het scheepsdetail (zie scherm 3).

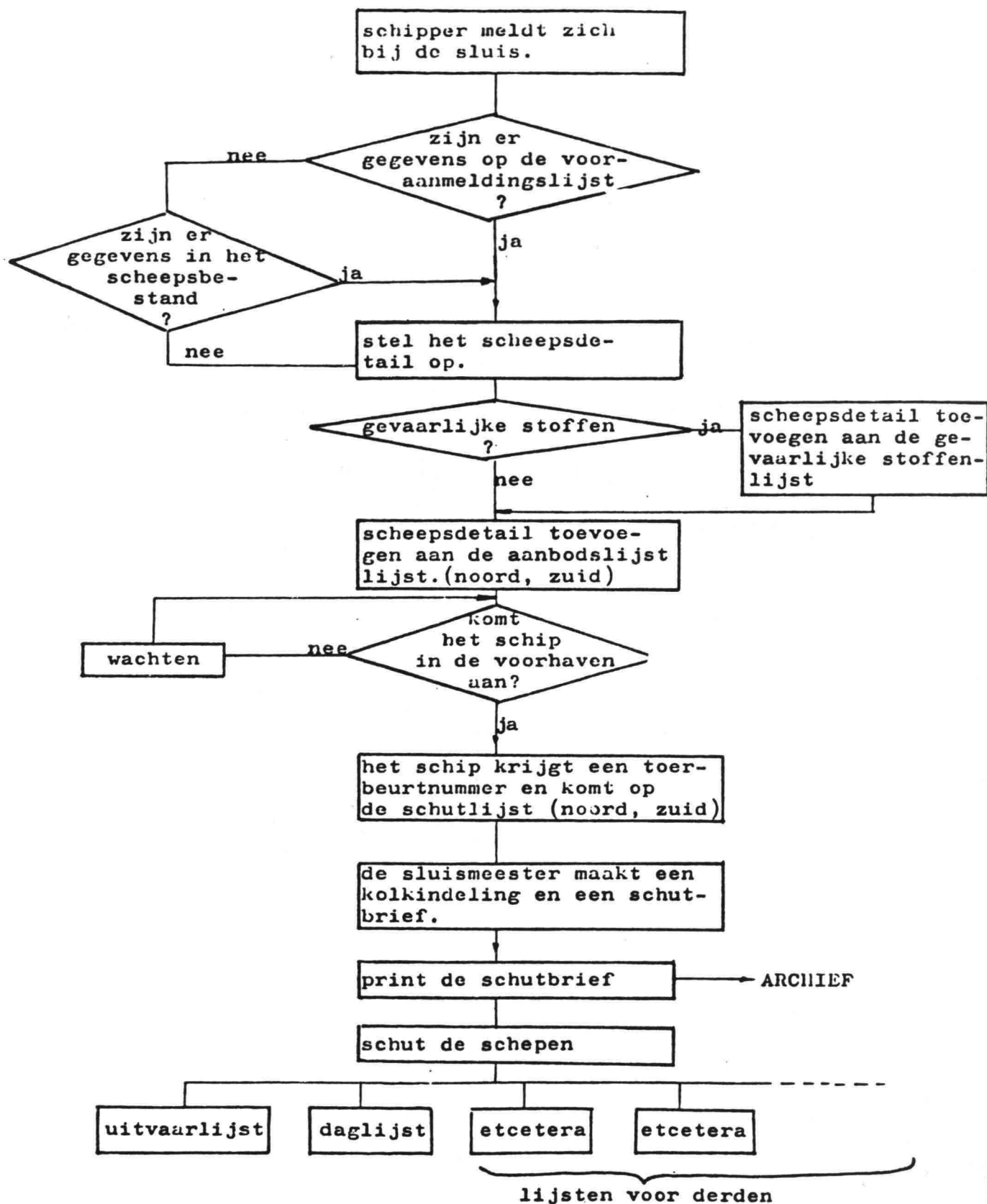
De schepen die zich gemeld hebben bij de sluis om geschut te worden komen op de aanbodslijst, die in gekomprimeerde vorm het scheepsdetail van meerdere schepen laat zien (zie scherm 4). Als de schepen in de voorhaven van de sluis aankomen wordt ze een toerbeurtnummer toegekend.

Schepen zonder marifoon kunnen zich anderszins melden in de voorhaven en alsnog toegevoegd worden aan de aanbodslijst, waarna ook zij een toerbeurtnummer krijgen.

Schepen met een toerbeurtnummer komen op de schutlijst, uitgesplitst per vaarrichting (zie scherm 5). De sluismeester kan nu een kolkindeling maken aan de hand waarvan de volgorde van binnenvaren bepaald wordt. Dit wordt de schutbrief genoemd (zie scherm 6). De bediener van het beeldscherm kan de schepen inpassen op het scherm, waarna het programma controles uitvoert op de breedte en het schutten van gevaarlijke stoffen. Een driekegelschip (munitietransport) moet afzonderlijk geschut worden. Een geluidssignaal zal klinken als de bediener van het beeldscherm een kolkindeling maakt met een ander schip erbij.

Na de schutting komen de schepen op de uitvaarlijst, waaruit door de centrale computer de vooraanmeldingslijst voor de volgende sluizen samengesteld worden.

Apart worden een daglijst (zie scherm 7) en een gevaarlijke stoffenlijst (zie scherm 8) opgesteld. De daglijsten kunnen na bewerking en een garantie voor privacy doorgegeven worden aan derden.



figuur 60 : stroomschema ter verduidelijking van de werking van het IVS-systeem

020422

SECRET

020422

REGISTRERING	0	VERLEN LADING	1160
naam	WATER	soort lading/voluit	v 1203-voorbereiding
land/afzender	1105	Ladimateriaal	0
Inhoud van b.o.f.			
afzender	020422		
activiteit	3 = Luchtvaart		

Type ensp	3 - voorschip	inrichting	25890 - waterdicht
langte	163	bestemming	26243 - overzee
breedte	9.50	verloft 1700 gram	9 - handmatig
diepte	2.45	verloft 1700 gram	6 - geen
hoogte		o.a.	

De afzender aanvaardt de aansprakelijkheid voor de juistheid van de gegevens en de volledigheid van de afzender.

naam: WATER soort lading: 020422

3

AANBOODLIJST

0123 WATTE 1165 102 9.50 2.45 1 2 5 0
1173 1166 91243 35559 34343

0124 WATTE 2632 110 16.70 2.70 24 2 5 0
2643 91114 52533 34600

0125 WATTE 1575 75 12.70 0.00 9 87 6 0
1586 95407 34600 33800

0126 WATTE 4090 65 21.00 1.95 4 9 0
4100 3172 35348 91481

0127 WATTE 4617 100 22.00 2.30 9 71 5 0
4628 3111 44333 34300

0128 WATTE 13000 1300 22.01 4.73 772 83 0
13100 3103 33647 34600

0129 WATTE 60500 6050 22.01 4.73 41 37 0
60600 3103 33647 34600

0130 WATTE 915 915 12.70 0.00 1 1 0
916 916 12.70 0.00 1 1 0

4

VOORWAARDELIJKE VERHAARDE WAARTE 020422

WATTE	1160	102	9.50	2.45	1	2	5
WATTE 3	4617	100	22.00	2.70	9	23	2
WATTE 3	2632	110	16.70	2.70	24	2	5
WATTE 3	1161	60	6.20	2.20	6	3	5
WATTE 14	399	37	7.03	2.35	9	3	7
WATTE 10	7097	105	22.00	2.30	4	23	2
WATTE 9	935	67	6.00	1.30	2	1	4

1

VOORWAARDELIJKE VERHAARDE WAARTE 020422

WATTE 3	03723	628	21.20	2.70	2	5	0
WATTE 3	13000	1300	22.01	4.73	772	83	0
WATTE 3	6075	6050	22.01	4.73	41	37	0
WATTE 10	1575	75	12.70	0.00	9	87	6

2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	023	32.25	0.75	00	23

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

5

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

8

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

SECRETARIAT SWIDGARDE VAART

NO. BESTY	VAART	LAAN	BAAND	OPDRA	MAAT	TYPE
120	SECRET	07	0.40	1.20	2	1
120	SECRET	100	22.00	3.50	5	22
120	SECRET	102	9.00	2.45	3	2

6

LITERATUUR

- [1] Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Ontwerp-Vaarwegennota
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1975
- [2] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van
Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Struktuurschema Vaarwegen, deel a: beleidsvoornemen
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1977
- [3] Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Vaarwegennota
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1981
- [4] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van
Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Struktuurschema Vaarwegen, deel d: regeringsbeslissing
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1981
- [5] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van
Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Struktuurschema Vaarwegen, Partiële herziening inhoudende
toevoeging hoofdvaarwegen i.v.m. recreatievaart,
deel a: beleidsvoornemen
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1981
- [6] Kooman, C.
Weerstand en Capaciteit van Vaarwegen
De Ingenieur, Verkeerskunde en Vervoerstechniek 3,
29 sept. 1972
- [7] Krey, H.
Fahrt der Schiffe auf beschränktem Wasser
Schiffbau 1913, nr. 12, 13, 14, 15, 16 en 17
- [8] Schijf, J.b.
XVIIth International navigation Congress,
Lisbon 1949, Section 1, Comm. 2
- [9] Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren,
Studiedienst Verkeer te Water
Vaarsnelheden op scheepvaartwegen bij een lage
verkeersintensiteit
Nota 70.12.4 (herziene versie), 1973
- [10] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde,
Hoofdafdeling Scheepvaart
Praktijkwaarnemingen van vaarsnelheden voor een Kempenaar
op de Zuid-Willemsvaart
Nota nr. S 75.5, 1980
- [11] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde,
Hoofdafdeling Scheepvaart
Het verkeersgedrag van de scheepvaart op de Waal bij Nijmegen
Nota nr. S 74.14.2, 1977

- [12] Kooman, C.
Capaciteit van Vaarwegen
23ème Congrès International de Navigation, Section 1
Inland Navigation, Subject 1, Part 2, Ottawa, 1973
- [13] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde,
Hoofdafdeling Scheepvaart
De virtuele lengte- en breedtematen van de scheepvaart op
de Waal bij Nijmegen
Nota nr. S 74.14.3, 1976
- [14] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde,
Hoofdafdeling Scheepvaart
De toelaatbare verkeersbelasting van de Waalbocht bij Nijmegen
Nota nr. S 74.14.5, 1979
- [15] Goodwin, E.M.
A statistical study of Ship Domains
Journal of Navigation, vol. 28, no. 3, July 1975, pp 328-344
- [16] Nuhoff, H.A.
Pleziervaart op de grote vaarwegen
Symposium Pleziervaart en Verkeerskunde (KIVI en Rijkswaterstaat)
Utrecht, 24 oktober 1978
- [17] Schüle, E.
Naturgrosse, experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der
notwendigen Fahrwasserbreite in Krümmungen strömender Gewässer
Schiff & Hafen, 26. Jahrgang, Heft 8, 1974
- [18] Bekendam, A.J. en Ruiters, W. de
Capaciteit van Binnenscheepvaartwegen m.b.v. simulatiemodellen
Stichting Postacademiale Vorming Verkeerskunde,
Cursus: Binnenscheepvaart en vaarwegen, 1981
- [19] Noë, P.P. en Veldhuyzen, W.
The use of simulation techniques as a tool for vessel traffic
management
Schip en Werf, jrg. 48, no. 12, 1981, pp 195-199
- [20] Kooman, C. and Bruijn, P.A. de
Lock capacity and traffic resistance of locks
Rijkswaterstaat Communications, no. 22, 1975
- [21] Koehler, R.
Verkehrsablauf auf Binnenwasserstrassen (Untersuchungen zur
Leistungsfähigkeitsberechnung und Reisezeitverkürzung)
Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität
(TH) Karlsruhe, Heft 3, 1968
- [22] Davis, John, P.
Tonnage capacity of locks
Journal of Waterways and Harbours Division, ASCE, Vol. 95,
WW2, May 1969, pp 201-213
- [23] Kooman, C.
Navigation locks for Push Tows
Rijkswaterstaat Communications nr. 16, 1973

- [24] Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde,
Hoofdafdeling Scheepvaart
Scheepvaarttellingen Grote Rivieren
Dordrecht (verschijnt 1 x per jaar)
- [25] Bouwmeester, J.
Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen
Collegedictaat f12N
Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde,
januari 1987

VOORNAAMSTE SYMBOLEN

symbool	eenheid	omschrijving
A_C	m^2	oppervlak van het ongestoorde kanaalprofiel
A_K	m^2	natte doorsnede sluishoofd
A_R	m^2	oppervlak riooldoorsnede
A_S	m^2	oppervlak van het ondergedompelde deel van het grootspant van het schip = b.d (of schuifopening)
B	m	navigatiebreedte
B_K	m	sluiskolkbreedte
B_h	m	sluishoofdbreedte
B_O	m	waterspiegelbreedte van het ongestoorde kanaal
B_v	m	virtuele scheepsbreedte (padbreedte)
b	m	scheepsbreedte
C		capaciteit
C_S	sch/h	capaciteit in aantal schepen per uur
C_T	ton/h	capaciteit in tonnen laadvermogen per uur
D	sch/m of sch/m^2	dichtheid in aantal schepen per lengte of per oppervlak van een vaarwegvak
d	m	diepgang schip
F	N	kracht
Fr	-	Froude-getal = V_s/\sqrt{gh}
g	m/s^2	versnelling ten gevolge van de zwaartekracht
h	m	gemiddelde waterdiepte = A_C/B_O
I	sch/h of ton/h	intensiteit
I_{max}	sch/h of ton/h	maximaal toelaatbare intensiteit
K	h^{-1}	aantal schepen per uur
L	m	vaarwegvaklengte
L_K	m	sluiskolkklengte
L_v	m	virtuele navigatielengte

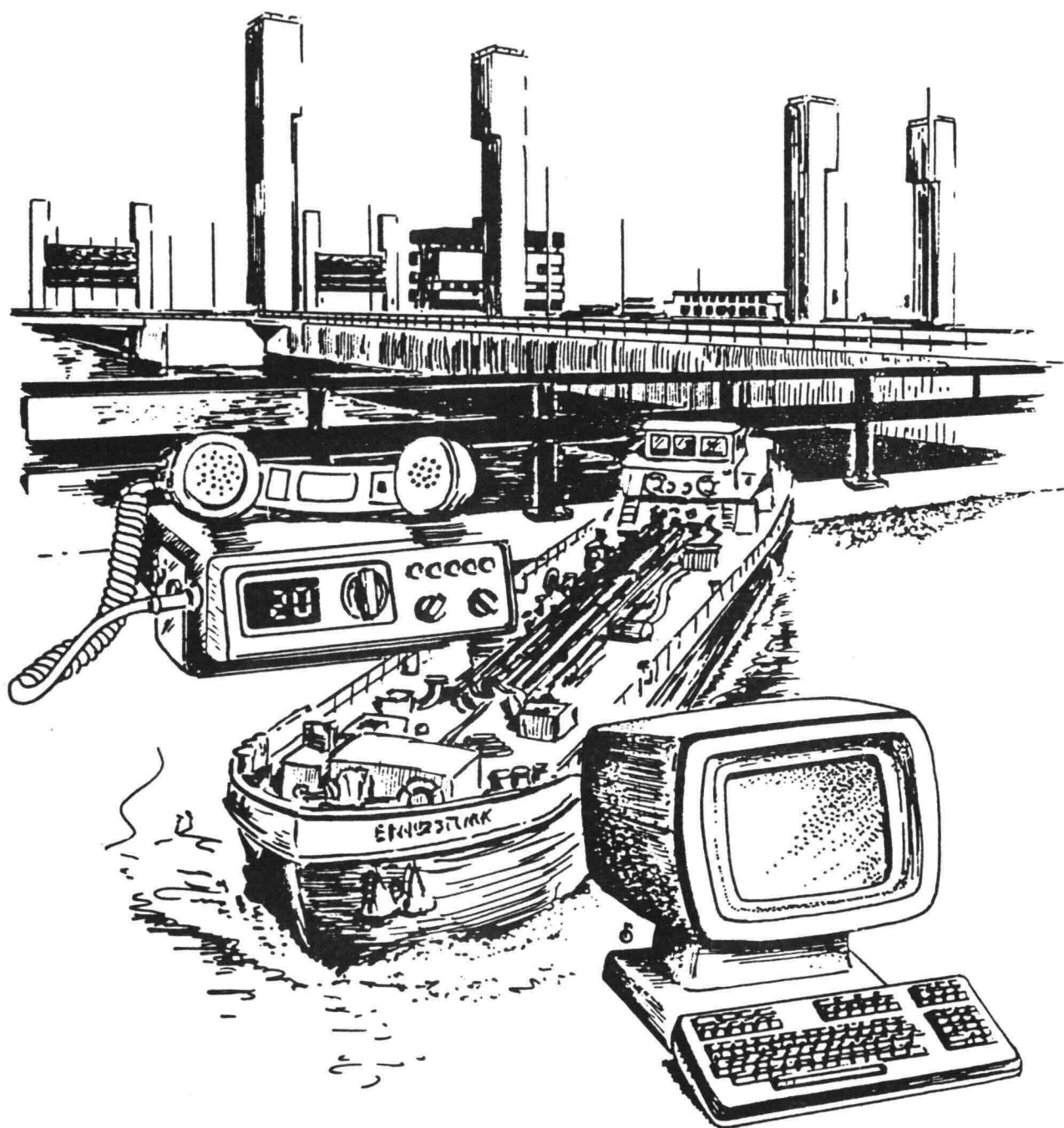
l	m	scheepslengte (achtervarend schip)
O_k	m^2	kolkoppervlak
P	W	motorvermogen
P_s	-	aandeel van de laadvermogenklasse T_s binnen de passerende vloot
Q	m^3/s	debiet
R	m	hoogstraal
S	m	minimale longitudinale afstand
S_e	m	hiaatafstand
S_l	m	lusafstand
s	m	weg
T	ton	laadvermogen (of vullingstijd in s)
T	ton	gemiddeld laadvermogen
T_c	s	cyclustijd
T_i	s	invaartijd
T_s	ton	laadvermogenklasse in ton (of heftijd schuif in s)
T_u	s	uitvaartijd
t	s	tijd
t_i	s	invaarvolgtijd
t_l	s	lustijd
t_o	s	overligtijd
t_p	s	passeertijd
t_s	s	schuttijd
t_u	s	uitvaarvolgtijd
t_w	s	wachttijd
U	m/s	maximale retourstroomsnelheid t.o.v. oever
U'	m/s	relatieve maximale retourstroomsnelheid t.o.v. waterbeweging in ongestoord kanaal
U_o	m/s	stroomsnelheid in het ongestoorde kanaal
V	m/s	snelheid

V_{gr}	m/s	grenssnelheid
V_o	m/s	maximale vaarsnelheid op de onbelaste vaarweg
V_s	m/s	vaarsnelheid van het schip t.o.v. oever
V_s'	m/s	relatieve vaarsnelheid van het schip t.o.v. waterbeweging in ongestoord kanaal
W	s	weerstand
W_k	s	constant deel van de weerstand
W_v	s	variabel deel van de weerstand
X	sch/h of ton/h	gemiddelde uurintensiteit
Z	m	maximale spiegeldaling
α	-	bochtverbredingskonstante
β	°	drifthoek
Δ	m ³	waterverplaatsing
ΔB	m	bochtbreedtetoeslag
λ	-	beladingsgraad

BIJLAGE I

INFORMATIEVERWERKEND SYSTEEM VOOR DE SCHEEPVAART
IN HET ZUIDELIJK DELTAGEBIED

**INFORMATIEVERWERKEND SYSTEEM
VOOR DE SCHEEPVAART
IN HET ZUIDELIJK DELTAGEBIED**



het informatieverwerkend systeem voor de scheepvaart in het zuidelijk deltagebied (IVS)

Inleiding

Menige schipper die van de ene Rijkswaterstaatsluis naar de volgende voer en dan bij elke sluis wéér zijn naam, de afmetingen van het schip en de aard van de lading moest opgeven, aangevuld met nog wat wisselende vragen per sluis, zal verzucht hebben: „Rare jongens, die Rijkswaterstaters!” En een beetje gelijk had hij dan wel, zeker in deze tijd.

Het is voor zo'n schipper dan ook verleidelijk, uit balorigheid wat verschillende ladingen op te geven bij de sluisen die hij passeert. Of een blauwe kegel*) te hijsen of juist te strijken. om daardoor een aparte schutting af te dwingen of niet in een latere te worden ingedeeld.

Als men voortdurend met administratie en registratie wordt lastiggevalen, roept dat irritatie op, en twijfel aan het nut ervan. Maar in die zaken gaat verbetering komen door invoering van het Informatieverwerkend Systeem voor de scheepvaart in

*) blauwe kegels zijn een gevaaraanduiding met betrekking tot de vervoerde lading; in zijn algemeenheid geldt: hoe meer kegels (max. 3) hoe gevaarlijker de lading is.

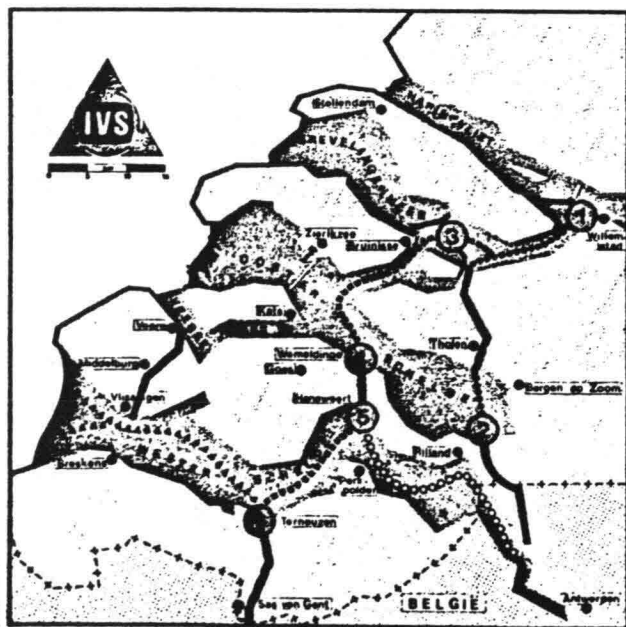


Foto 1. De grote binnenvaartroutes in Z.W.-Nederland. De „IVS”-sluisen zijn met nummers aangeduid.

ir. M. Meulblok

het Deltagebied (IVS).

Door invoering van het IVS ontstaat een datanetwerk tussen een aantal sluisen in het Deltagebied. De gegevens van een schip worden opgenomen bij de eerste sluis die aangesloten is op het IVS en worden na schutting van het schip aan de volgende sluis doorgegeven.

Op de Kreekraksluisen is al vanaf het begin gewerkt met een microcomputer, de Olivetti P 652. Deze wordt gebruikt voor communicatie tussen het personeel onderling en er wordt een opslag op ponsband mee gemaakt, die verder verwerkt wordt bij de Dienst Informatieverwerking en het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Ook worden de gegevens van de ponsband doorgezonden naar de gemeente Antwerpen.

Dit systeem heeft na ingebruikname van de Kreekraksluisen in 1975 volcontinu 8 jaar dienst gedaan en is ondanks een revisie 2 jaar geleden geheel versleten en kan nu elk moment de dienst gaan weigeren. In het najaar van 1980 is dit onderkend en is in een stafrapport hierover gerapporteerd.

Eind maart 1981 is dit rapport basis geweest voor de directieteam van Zeeland en Benedenrivieren een projectgroep opdracht te geven de aanbevelingen van het stafrapport uit te werken en voorstellen te doen voor de realisatie en uitvoering van het IVS. Het beleid wordt bepaald door de directieteam (DT's) van de directies Zeeland, Benedenrivieren en Dienst Verkeerskunde, die hiertoe een beleidsgroep hebben ingesteld.

Voor de uitwerking is een projectgroep ingesteld, waarin behalve door de directie Zeeland tevens wordt deelgenomen door de directie Benedenrivieren, de Deltadienst, de directie Bruggen, de Dienst Verkeerskunde (landelijke coördinatie en adviseur) en de Dienst Informatieverwerking (adviseur op het gebied van automatiseringsaspecten).

Ad hoc kunnen ook andere diensten of instellingen zoals DGSM, DGV, CBS, Schuttevaer en bedrijfsleven worden ingeschakeld. De coördinatie van het project wordt verzorgd door een projectleider van de directie Zeeland, terwijl het secretariaat en de planning binnen het project eveneens door deze directie verzorgd worden.

De samenstelling van het project en de organisatie staat aangegeven in het projectplan. Onderstaand schema geeft de personele invulling weer, waarmee gestart werd.

In de loop der tijd zijn enkele personen verdwenen door overplaatsing en vervangen door een opvolger.

Doel van het IVS

Met het IVS wordt een verbetering nagestreefd van:

Doelmatig sluisgebruik

Van de te verwachten schepen is een zogenaamde vooraanmeldingslijst beschikbaar zodra die schepen de vorige aangesloten sluis hebben verlaten. Hierdoor ontstaat een zeer goed inzicht hoeveel aanbod er van een bepaalde richting verwacht kan worden. Sluizen met een zout/zoet scheidingssysteem zoals Kreekrak en Krammer zullen na het gereedkomen van de compartimenteringsdammen in vergelijking met de huidige gang van zaken 15 à 20 minuten langer nodig hebben dan nu om een kolk die open staat naar de verkeerde kant, om te zetten naar de zijde waar de schepen vandaan komen. Het is van belang, tijdig en volledig geïnformeerd te zijn over het te verwachten scheepsaanbod. Doordat tevens de afmetingen van de schepen bekend zijn kan het benodigde schutkolkgebruik van het eerstkomende uur efficiënt worden gepland.

Verbetering van de onderlinge communicatie

Naast het doorgeven van de scheepsgegevens kan via het IVS ook een éénregelige boodschap worden verstuurd naar een te kiezen andere terminal of groep terminals. Langere berichten

zoals stremmingen of ongelukken kunnen door de sluismeester van elk aangesloten sluiscomplex worden opgegeven op de zogenaamde berichtenpagina. Dit bericht blijft staan totdat de inbrenger de boodschap verwijdert.

Volledigheid van de gegevens

Het systeem vraagt om een concreet aantal rubrieken. Een niet ingevulde rubriek blijft leeg staan en vraagt in feite om invulling. Dit is echter niet verplicht, het schutten kan doorgaan. Per sluis waren dat tot op heden nogal uiteenlopende gegevens. Door gemeenschappelijk overleg, ook in het Periodiek Overleg Nautische zaken (P.O.N.), is men akkoord gegaan met het aantal gegevens welke nu op een op een op het IVS aangesloten sluis, van een schip zal worden opgevraagd.

Uniformiteit in gegevens verzamelen en vastleggen

Door het IVS worden dag-, maand- en jaaroverzichten gemaakt, waarbij bij de totstandkoming hiervan steeds op identieke wijze per rubriek dezelfde gegevens bij elkaar worden opgeteld, verwerkt en gepresenteerd.

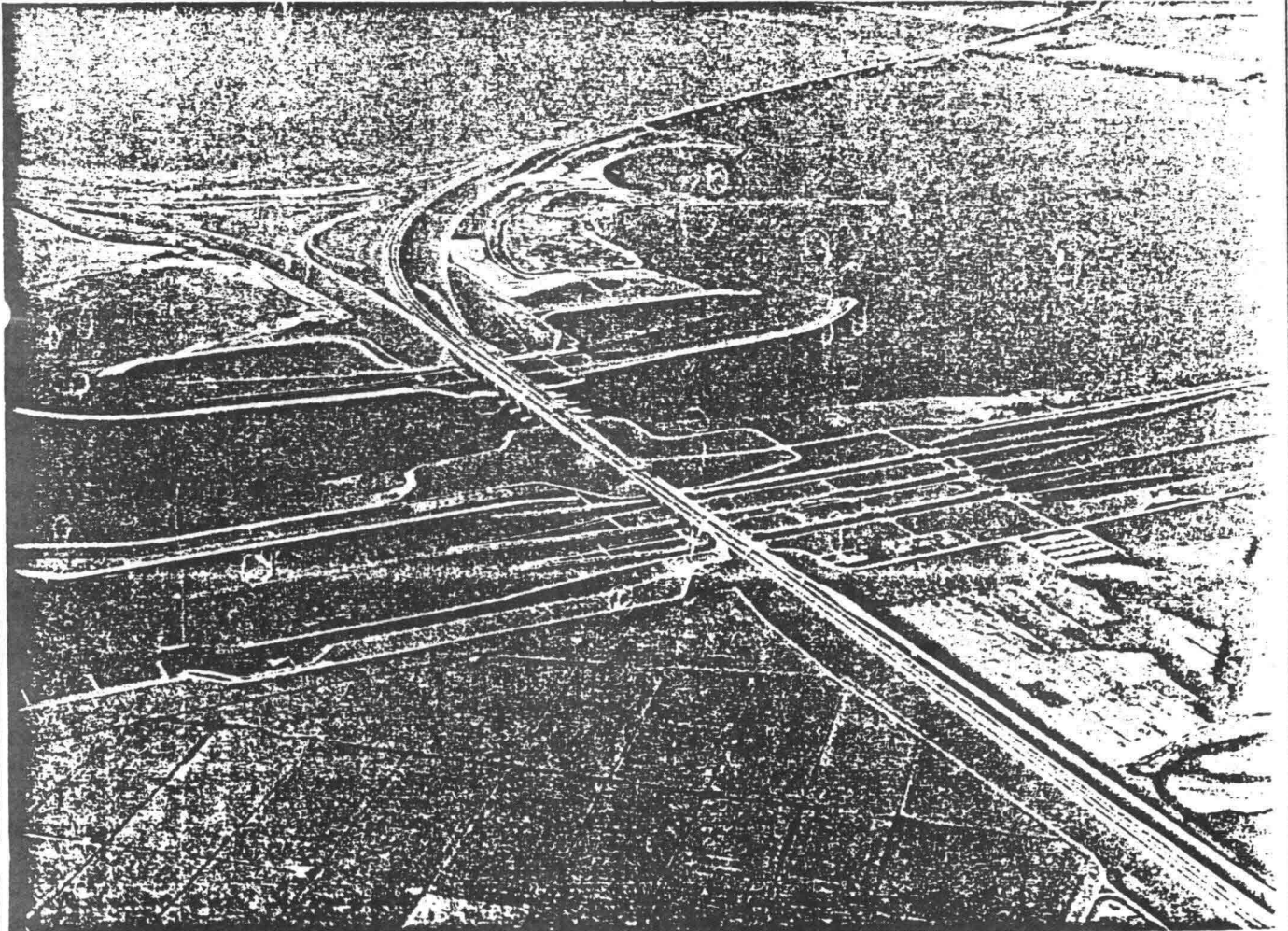


Foto 2. Volkerak-sluisen complex met Haringvlietbrug

aard/omschrijving	juridische verantwoording	primair verantwoordelijke overheidsinstanties
branden en rampen	gemeentewet	gemeente, provincie
openbare orde en delicten gevaarlijke stoffen	politiewet wet gevaarlijke stoffen	R.P. te Water Min.V&W; KCGS*)
oppervlaktewateren nautisch beheer	WVO waterstaatswetten 1900	Min.V&W; RWS Min.V&W; RWS + DGSM

Als aanbeveling komt o.a. uit het genoemde rapport van de commissie: **zoveel mogelijk preventieve maatregelen nemen om rampen met gevaarlijke stoffen te water te vermijden**, zoals:

- infrastructurele verbeteringen (bochtverbetering rivieren, vluchthavens e.d.)
- reglementering (binnenschepenwet, ten behoeve van veiligheid schip; voorschriften met betrekking tot ladingpapieren)
- informatie en volgsystemen.

Het IVS past uitstekend in deze laatste categorie. Op blz. 17 van het genoemde eindrapport wordt een opsomming gegeven, waar al scheepvaartposten zijn. Deze posten werken vrijwel geheel onafhankelijk en zonder uitwisseling van gegevens en kennis.

Een koppeling, zoals door het IVS wordt voorgestaan (door middel van een computerdatanet) kan hierin uitkomst bieden.

De globale plaats van een schip met gevaarlijke lading is dan steeds bekend. De lading is dan steeds exact bekend! Een dekking van Zuidwest-Nederland (6 sluisen en DGSM-Westerschelde kan in 1985 verkregen zijn mits hier fondsen voor worden beschikbaar gesteld. Het IVS is verder uit te bouwen tot een gekoppeld net met bijvoorbeeld:

- het HCC Rotterdam (haven-coördinatiecentrum);
- de verkeersposten te Dordrecht, Tiel, Nijmegen en Lobith (in studie);
- de sluisen in en langs de Maas;
- de hoofdvaarroute naar het noorden van Nederland;
- de Antwerpse haven.

De veiligheid is gediend met een goede kennis van de vervoerde lading. De potentieel gevaarlijke ladingen worden met extra zorg omgeven. Deze zorg bestaat uit controle bij laden en lossen en eventueel begeleiding door een patrouilleschip, dat de overige vaart uit de buurt houdt.

De voorschriften voor de binnenvaart staan in het ADNR; voor de zeevaart is de IMCO-indeling van kracht. Hierin worden de stoffen in groepen ingedeeld, zoals explosief, brandbaar + giftig, brandbaar en giftig.

Het is een vrij grove indeling, die door nadere bepalingen weer onderverdeeld kan worden. Voor het merendeel van de gevaarlijke stoffen die vervoerd worden is een code uitgegeven door de Verenigde Naties (VN-code). Deze code is in de zeevaart, bij het wegvervoer en de spoorwegen algemeen ingevoerd en men kan hem zien op spoorwagens en tankauto's. De code staat dan op een oranje bord met 4 zwarte cijfers, daarboven is dan vaak nog een 2- of 3-cijferige code aangebracht volgens de gevarencode van het ADR; zo is benzine 1203, dieselolie 1202 en LPG 1965.

De gemeenschappelijke sleutel tot deze drie systemen vormt de VN-code. Een bijkomend voordeel is dat ook de stof direct exact bekend is en niet een groep stoffen. In het IVS is de VN-code via wat rekenregels gekoppeld aan de seinvoering, die een schip moet voeren. De seinvoering is voor zeevaart en binnenvaart verschillend en ook maakt het verschil of het schip een lading in een scheepstank in bulk vervoerd of als stukgoed in bijvoorbeeld drums.

Aan bevrachters en schippersverenigingen is gevraagd om voor de gevaarlijke stoffen het codenummer volgens de classificatie van de Verenigde Naties op te geven en de naam. Na het intikken van dit VN-nummer verschijnt op het scherm de naam van de stof, zodat visuele controle plaatsvindt.

De naam van een chemische stof is vaak erg ingewikkeld en moeilijk uitspreekbaar. Voor het sluispersoneel is het ook moeilijk om dit moeilijke woord goed op papier te krijgen, te meer daar ook de uitspraak niet altijd even goed door de marifoon komt en buitenlanders vaak een andere naam hebben voor dezelfde stof.

Om het voor de schippers makkelijker te maken, is gevraagd op de vrachtbrief voortaan ook het VN-nummer te vermelden. Met het directoraat-generaal van het Verkeer is contact opgenomen om dit ook internationaal in de reglementen op te nemen.

*)KCGS = Korps Controleurs Gevaarlijke Stoffen

schrift in december 1981 ten behoeve van het personeel op de sluis overhandigd.

Na vragen van de dienstcommissie van Benedenrivieren in juli 1982, is in augustus-oktober een typecursus gegeven op de Volkeraksluizen en in oktober-december voor het personeel in Terneuzen. Deze cursussen hebben de drempel voor het machineschrijven verlaagd. Nu het sluispersoneel niet meer direct contact heeft met de schipper en kan zien wat een schip vervoert wordt mondeling contact via marifoon belangrijker. Vooral met frans sprekende schippers leidt dit nog weleens tot communicatieproblemen. In september zal in Terneuzen en op de Kreekraksluizen een speciale cursus frans worden gegeven op de sluis.

Contacten buiten de Rijkswaterstaat

Het IVS is ook buiten de Rijkswaterstaat van belang voor de scheepvaart. In januari 1982 is een eerste voorlichting aan de schippersvereniging Schuttevaer gegeven en zijn enkele suggesties van hun kant in het project verwerkt. Niet alleen de overheid had belangstelling voor de gegevensverwerking, zodat het nodig werd via het inbouwen van een toegangscode bepaalde gegevens die de schippers en verladere verstrekken af te schermten uit concurrentie-overwegingen met betrekking tot lading e.d. (privacy-bescherming).

De Comex (combinatie van douane-expediteurs) op de Kreekraksluizen wil graag een aansluiting, zodat zij de formulieren van hun cliënten reeds gedeeltelijk kunnen invullen, voordat deze bij hen op kantoor op de sluis zijn. Een vlotte verwerking brengt de schipper ook weer sneller aan boord terug, zodat ook het sluisbedrijf hier de vruchten van plukt. Bovendien kunnen veel vragen en boodschappen van rederijen nu door de Comex worden afgedaan, hetgeen voor het sluispersoneel verlichting van de taak betekent.

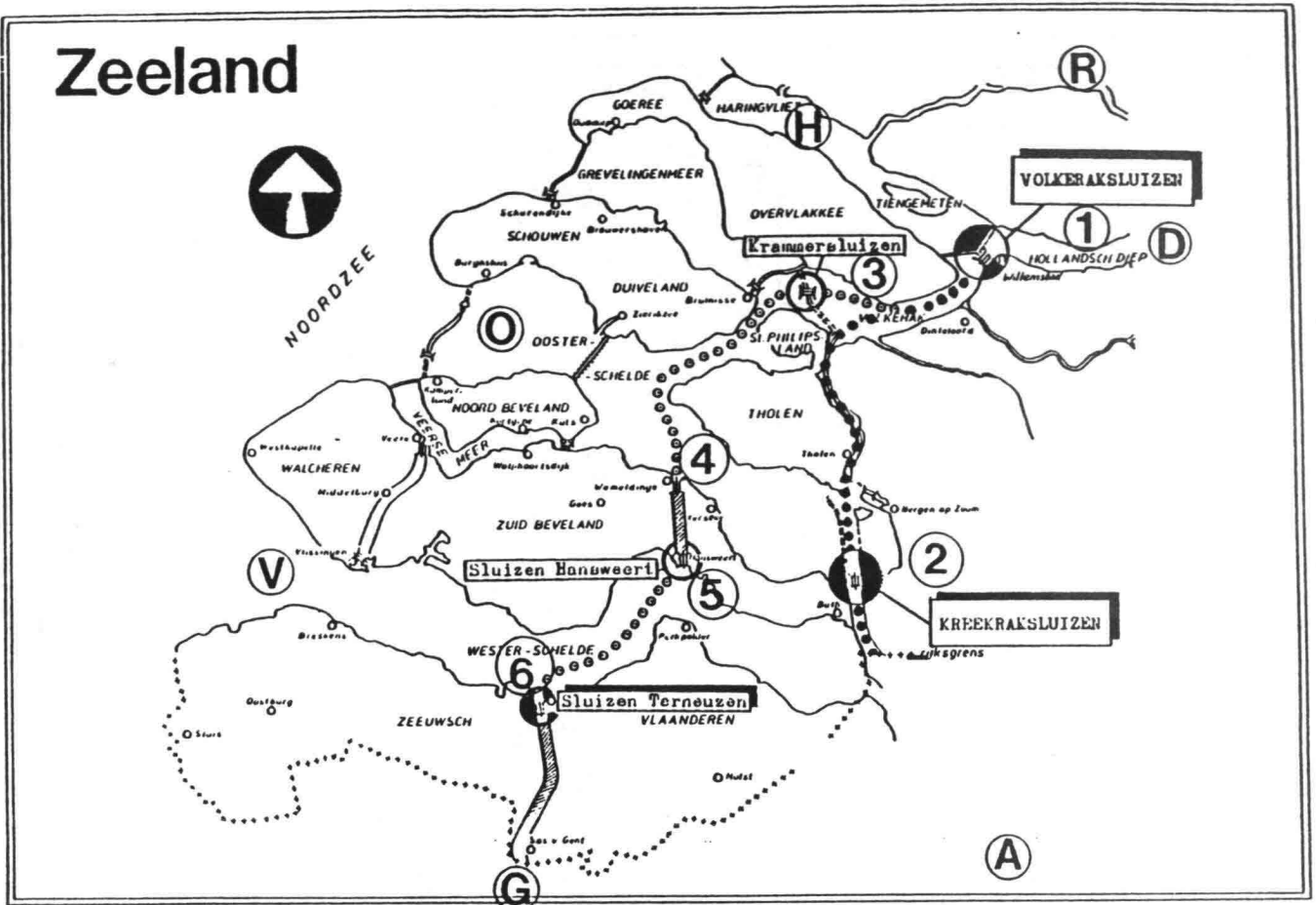
De Verenigde Bootlieden te Terneuzen willen eveneens een aansluiting, om de juiste ploeg met de juiste gereedschappen tijdig op een kade van een sluis te hebben, onder andere om de meerdraden van een zeeschip aan te pakken en daarmee het schip vast te leggen, of een „wielman" te leveren aan de loods. Zowel aan de Comex als Verenigde Bootlieden wordt de apparatuur en de informatie vrijwel tegen kostprijs ter beschikking gesteld, vanwege het belang, dat het sluisbedrijf heeft bij een goed functioneren van beide.

Tussen de Kreekraksluizen en het gemeentelijk havenbedrijf Antwerpen werden al gegevens doorgegeven. Dit wordt nu verder geautomatiseerd en wanneer de gemeente Antwerpen over 2 à 3 jaar zover gereed is, kan een wederzijdse uitwisseling van gegevens worden gerealiseerd, een principe-overeenkomst is hierover reeds bereikt.

Met het IVS-walradarken Westerschelde van DGSM zal het nu beschreven IVS-Deltagebied in de nabije toekomst worden geïntegreerd, zodat een optimale actuele kennis van de zee- en binnenscheepvaart bij DGSM en RWS aanwezig zal zijn. In eerste instantie zal het IVS-Deltagebied enkele terminals ter

beschikking stellen van DGSM-personeel. Na vervanging door hun eigen IVS zullen deze op andere sluisen in het Deltagebied worden ingezet.

Zeeland



Figuur 2. De grote vaarroutes in ZW-Nederland en omcirkeld de IVS-codes voor het door „sluizen” van de scheepsinformatie.

ling voor dezelfde categorie schepen.

Per sluiscomplex is een vooraanmeldingslijst aanwezig. Voor schepen die zich per marifoon gemeld hebben om te schutten zijn de gegevens oproepbaar in de vorm van een aanbodlijst of een schutlijst. Voor schepen die ingedeeld zijn voor een bepaalde schutting zijn de gegevens en de positie van het schip in de kolk oproepbaar in de vorm van een schutbrief. De posities van de schepen in de kolk worden weergegeven in een schematisch kolkplaatje. Deze schutbrieven worden gemaakt met behulp van een procedure „Kolkindelen”.

Voor het invoeren of wijzigen van scheepsgegevens is een invul- en raadpleeg-menu aanwezig, het zogeheten „Scheepsdetail”. Hierin worden de gegevens van één schip zichtbaar gemaakt.

De lijst met de in te winnen gegevens is weergegeven in figuur 3. De gegevens van alle geschutte schepen op alle sluiscomplexen blijven gedurende een bepaalde tijd in het systeem opgeslagen voor statistische doeleinden. Hieruit wordt de volgende uitvoer afgeleid:


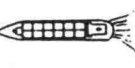
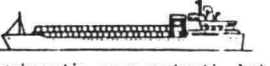
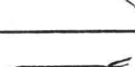



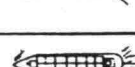

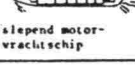
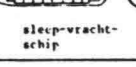
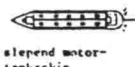

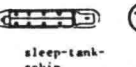





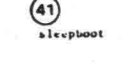


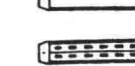


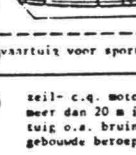



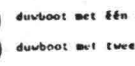
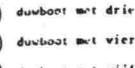

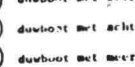
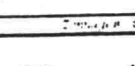
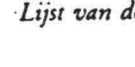

- ten behoeve van de sluisbeheerder; dit gebeurt in de vorm van gedetailleerde dag-, maand- en jaaroverzichten per sluiscomplex;
- ten behoeve van het CBS en studiedoeleinden in de vorm van een compleet databestand, dat dagelijks naar de DIV-computer (UNIVAC) wordt overgeleid via een telefoonlijn.

De gegevens van alle schepen welke de Kreekraksluizen passeren worden dagelijks via de telefoonlijn overgeleid naar de IBM-computer van de stad Antwerpen. Dit gebeurt reeds sinds de ingebruikname van de Kreekraksluizen met een daar opgesteld Olivetti P652 computersysteem.

Het IVS-systeem vervangt dit Olivetti systeem dat ruim 7 jaar 24 uur per dag continu dienst heeft gedaan. Om een dergelijke continuïteit te garanderen is een reservecomputer aanwezig. Het IVS-systeem moet aan dezelfde eisen voldoen, dat wil zeggen, het moet een zeer geringe uitvalskans hebben te meer daar het zijn diensten moet verlenen voor meerdere sluiscomplexen.

Het computersysteem is dan ook dubbel uitgevoerd. Twee gelijke computers van het type HP3000/44 met dezelfde randapparatuur zijn met elkaar verbonden voor het uitwisselen van gegevenswijzigingen. De ene computer kan „in reserve” staan, terwijl op de andere computer alle terminals zijn aangesloten via schakelaars. Ook is het mogelijk dat de terminals van bijvoorbeeld de Kreekraksluizen en Volkeraksluizen zijn aangesloten op de ene computer en dat de terminals van het sluiscomplex in Terneuzen zijn aangesloten op het andere computersysteem. Door de communicatie tussen de twee computers blijven de gegevensbestanden van de twee computers gelijk.

Op deze manier wordt aan lastenverdeling gedaan, terwijl in geval van storing één computer direct alles kan overnemen.

BINNENVAART		ZEEVAART	
VRACHT- EN TANKVAART		VRACHT- EN TANKVAART	
00	Scheepstype niet te bepalen (b.v. bij mist)	50	 vrachtschip voor stukgoed
01	 motorvrachtschip	51	 containerschip, ro-ro vrachtschip, lash-schip
03	 containerschip	52	 bulkcarrier
02	 motortankschip	53	 tankers voor olie en andere vloeibare lading
04	 gas-tankschip	54	 tankers voor samengeperste gasen
05	 slepend motorvrachtschip	60	zeesleepboot, bevoorradingsschip: losvarend
11	 sleep-vrachtschip	61	zeesleepboot, bevoorradingsschip: slepend
06	 slepend motortankschip	62	 vissersvaartuig (geen binnenvisser, geen mosselvisser)
12	 sleep-tank-schip	63	veerboot, ro-ro schip (niet uitsluitend vrachtovervredd).
07	 motorvrachtschip, met één vrachtautog langsrij	64	 passagierschip
08	kombinatie als 07, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.	65	zeegaand dienstvaartuig: patrouilleboot, loods-dienst, peil en meetvaartuig, andere tenders e.d.
09	 motorvrachtschip één vrachtautog duwend	66	 zeegaand werkvaartuig: bok, zuiger, kabellegger, bergingsvaartuig, betonningsvaartuig etc.
10	kombinatie als 09, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.	67	geslept zeegaand objekt: boor-, kraaneland, dood schip e.d.
11	sleep-vrachtschip	68	marinevaartuig (ook Kon. landsacht).
12	sleep-tank-schip	69	overige zeegaand vaartuigen en drijvende objecten: weerschip, opleidingsvaartuig e.d.
13	 13	REKREATIEVAART	
41	 41 sleepboot gekoppelde sleepvrachtschepen	80	 motorjacht, ook snelvarend
14	kombinatie als 13, waarbij tenminste één van de schepen een tankschip is.	81	 speedboot
15	 Vrachtdubak	82	 zeiljacht varend op (hulp) motor
16	 Tankdubak	83	 zeilend jacht
17	Vrachtdubak geladen met containers	84	vaartuig voor sportvissers
18	Gas-tankdubak	85	zeil- c.q. motorschepen met een lengte van meer dan 20 m in gebruik als recreatievaartuig o.a. bruine vloot, charterschepen, omgebouwde beroepsvaartuigen e.d.
21	 21 DUBBEHEDEN duwboot met één vrachtdubak	89	 overige recreatievaartuigen: roeiboort, kano, rubberboot, zeilplank e.d.
22	 22 duwboot met twee vrachtdubakken	23	duwboot met drie vrachtdubakken
23	 23	24	duwboot met vier ..
24	 24	25	duwboot met vijf ..
25	 25	26	duwboot met zes ..
26	 26	27	duwboot met zeven ..
27	 27	28	duwboot met acht ..
28	 28	29	duwboot met meer dan acht vrachtdubakken
29	 29		
31	duwboot met één tankdubak c.q. gas-tankdubak		
32	duwboot met twee dubakken v.v. tenminste één (gas) tankdubak		
33	duwboot met drie		
34	duwboot met vier		
35	duwboot met vijf		
36	duwboot met zes		
37	duwboot met zeven		
38	duwboot met acht		
39	duwboot met meer dan acht bakken v.v. tenminste één (gas) tankdubak		

Figuur 4. Lijst van de DVK-scheepstype coderingen

de gebruiker duidelijk gemaakt door de benamingen van de eerste categorie in kleine letters weer te geven en de tweede categorie in hoofdletters.

Functionele beschrijving

Algemeen

Het operationele gebeuren binnen het IVS-systeem en het bijwerken van scheepsgegevens kan worden beschreven door de veranderingen binnen het IVS-systeem op een aantal significante tijdstippen (mijlpalen) te beschrijven. Deze beschrijving is uniform voor het gehele IVS-systeem en is niet afhankelijk van het sluiscomplex.

De belangrijkste parameters van het IVS-systeem zijn de gegevens van de schepen. De significante tijdstippen hebben dan ook in het algemeen direct betrekking op een schip. Voor een eenvoudige beschrijving van het operationele gebeuren is het gezien het bovenstaande zinvol om aan een schip dat zich binnen het IVS-systeem bevindt een status (toestand) toe te kennen. Zodra een schip één van de mijlpalen in de tijd passeert, verandert de status van het schip en eventueel één of meerdere scheepsgegevens. Deze status kan als extra gegeven van een schip worden beschouwd en wordt bij de andere gegevens in een bestand opgeslagen. Dit zogenaamde „vaarbestand” bevat dus de gegevens van alle schepen welke op een bepaald tijdstip onderweg zijn op de „IVS-routes”.

De status van een schip is een directe afbeelding van de laatst gepasseerde mijlpaal. Deze mijlpalen kunnen als volgt worden beschreven.

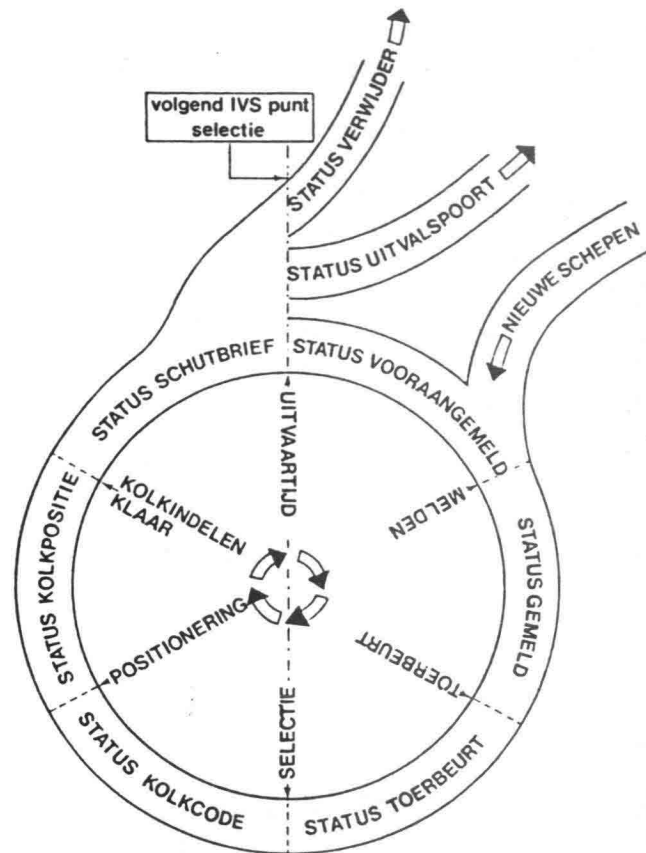
In de eerste plaats meldt de schipper zich (bijvoorbeeld per marifoon) om te kennen te geven dat hij geschut wil worden. Afhankelijk van de organisatie van een sluiscomplex worden of alle gegevens in één keer opgevraagd, of alleen de belangrijkste schutgegevens. In een later stadium worden dan de gegevens gecompleteerd.

Op een later tijdstip passeert het schip de toerbeurtlijn en moet het schip een toerbeurtnummer krijgen om de beurtvolgorde voor het schutten vast te leggen. Het toerbeurtnummer is een olopend nummer dat elke dag na middernacht bij 1 begint.

Het is mogelijk dat na het opnemen van de scheepsgegevens tijdens het melden, het schip gelijk een toerbeurtnummer krijgt. Het meldtijdstip en het toerbeurttijdstip vallen dan nagenoeg samen. Hierna dienen de schepen ingedeeld te worden voor een schutting met een bepaalde kolk. Dit gebeurt in het IVS-systeem met behulp van het proces kolkindelen.

De sluismeester selecteert schepen uit het scheepsaanbod met een bepaalde vaarrichting om elk schip een positie in de kolk toe te kennen. Wanneer er geen aanbod van schepen meer is, of de kolk vol is, is het proces kolkindelen klaar.

De gegevens komen dan in een schutbrief om de schepen in de juiste volgorde op te roepen, de kolk binnen te varen, en de vastgelegde positie in de kolk aan te geven. De sluisdeuren



Figuur 5. Schematische weergave van het statusverloop van een schip dat door één of meer sluiscomplexen van het IVS-systeem geschut wordt.

worden gesloten en de schepen worden geschut.

Door de uitvaarlampen op groen te zetten geeft de sluiswachter aan dat de schepen de kolk (het sluiscomplex) kunnen verlaten.

Het tijdstip van invaren en van uitvaren wordt door de sluiswachter ingetoetst bij de schutbrief. Het eerste tijdstip heeft alleen statistische waarde. Het tweede tijdstip, uitvaarlampen groen, is daarentegen een belangrijke mijlpaal bij de gegevensverwerking.

In principe kunnen de gegevens van alle schepen welke deze mijlpaal nog niet gepasseerd zijn nog gewijzigd worden. Hieraan zijn echter restricties verbonden.

Zo kan bijvoorbeeld van een schip dat ingedeeld is in een kolk niet meer de naam, vaarrichting, lengte of breedte gewijzigd worden.

In figuur B is deze cyclus schematisch weergegeven. In de binnenste cirkel staan de mijlpalen weergegeven. In de rand staan de statussen vermeld welke aan de scheepsgegevens zijn toegevoegd tussen 2 mijlpalen. Zo heeft een schip met een toerbeurtnummer de status „toerbeurt” totdat dat schip geselecteerd wordt door de sluisfunctionaris om ingedeeld te worden voor een schutting. Op dat moment verandert de status van

Wanneer de gegevens met behulp van het scheepsdetail zijn ingevoerd, dient nog de status van het schip aangegeven te worden. Hiervoor dienen functietoetsen (zie foto 2) voor respectievelijk de status „vooraangemeld”, „gemeld” en „toerbeurt”.

Van een schip moeten minimaal de naam en de vaarrichting bekend zijn, wil men aan dat schip een status kunnen toekennen. Op een later tijdstip worden de gegevens dan gecompleet met het scheepsdetail.

In een oningevuld detail moet de naam van het schip ingetoetst worden.

Het systeem zoekt met de naam en de sluiscomplexcode de gegevens in het vaarbestand en presenteert deze in het detail tezamen met de status in de bovenste regel tussen de ronde haken.

De gegevens kunnen vervolgens aangevuld of gewijzigd worden en met of zonder statusverandering opgeslagen worden in het vaarbestand.

Lijsten

Om het sluispersoneel een overzicht te geven van de schepen, die een bepaalde mijlpaal zijn gepasseerd, zijn lijsten met scheepsgegevens oproepbaar.

Deze lijsten zijn achtereenvolgens:

- de Vooraanmeldingslijst voor alle schepen met de status „vooraangemeld”;
- de Aanbodlijst voor alle schepen die niet de status „vooraangemeld” hebben;
- de Schutlijst voor alle schepen die de status „gemeld” of „toerbeurt” hebben;
- de Schutbrief voor alle schepen die de status „schutbrief” hebben;
- de Daglijst; overzicht van alle geschutte schepen vanaf middernacht;
- de gevaarlijke stoffenlijst; overzicht per vaarroute of complex van de schepen die gevaarlijke stoffen vervoeren.

De gegevens van de Daglijst of de Gevaarlijke stoffenlijst zijn niet meer te wijzigen door de terminalgebruikers. Alle gegevens van de eerste vier lijsten wel.

De wijzigingen van de scheepsgegevens dienen te gebeuren met het scheepsdetail. Om dit op een eenvoudige wijze te kunnen doen, kan bij de presentatie van elke lijst een schip „aangegeven” worden, door op het beeldscherm de cursor voor de regel scheepsinformatie van het gewenste schip te plaatsen en

```

113000 SCHEEPSDETAIL ( ) KREEKRAK 29 SEP 14:57
taal
vaarrichting: N
naam : TOUL laadvern.: 9800 brt.:
eigenaar : C.F.N.R. nat. : 001 FRANKRIJK

type schip lang breed diep hoog
24 DUMBOOT 4 VRDB 172 22.80 2.50

vorig IVS punt volg. IVS punt eta laatste passage
A ANTWERPEN 1 VOLKERAK

LADING GEGEVENS:
bak/lad gew. soort lading plaats van herkomst plaats van bestemming
SAR 260 1300 02110 STEENKOLEN 0571521 SLUISKIL 03559900 ROTTERDAM
SAR 220 1500 07230 CHLDOORKALIUM 09572300 ANTWERPEN DOK 03559900 ROTTERDAM
LERH150 1200 05220 BRAMEN ED 09553000 ANTWERPEN DOK 08101000 DUISBURG
LERH210 1500 05120 RUM IJZER 09553000 ANTWERPEN DOK 09505000 KEULEN

invoering controle toerbeurt corr. toerbeurt
MEER NAAR NAAR TOER- 3 20 terug LEEG tabel ANDERE
LADING VOORAAN ANBODSL BEURT lijst SCHERM keuze KEUZES
  
```

Foto 2. Compleet ingevuld en vertaald scheepsdetail voor een duwvaart-convooi met 4 bakken.

schip neemt één regel in beslag.

Deze lijst wordt eveneens gebruikt bij het proces kolk indelen. Zodra een schip de status „kolkpositie” heeft worden het schip niet meer in de schutlijst weergegeven.

De *Schutbrief* kan onderverdeeld worden in drie delen welke gezamenlijk gepresenteerd worden op het beeldscherm. De drie delen zijn:

- 1) de kolkgegevens- welke kolk of deelkolk;
 - schutrichting (noord of zuid);
 - invaartijd;
 - uitvaartijd;

de scheepsgegevens van de ingedeelde schepen; voor elk schip één regel;

- 3) het schematische kolkplaatje dat de positie van elk ingedeeld schip weergeeft.

Voor de lijst met scheepsgegevens zijn negen regels beschikbaar. Indien meer schepen in de kolk liggen kan met behulp van de functietoetsen „gebladerd” worden, waardoor de andere informatie zichtbaar wordt, terwijl het kolkplaatje op het beeldscherm blijft staan.

Wijziging van de positie van een schip in de kolk kan alleen met behulp van het proces kolk indelen gebeuren. Door de uitvaartijd in te toetsen wordt een schutbrief afgesloten.

Alle schepen van die schutting krijgen dan een andere status en dus is de schutbrief niet meer oproepbaar. Automatisch wordt er echter een afdruk op papier gemaakt op de printer, die op elk sluiscomplex staat opgesteld. Tevens wordt een kopie van de gegevens, zonder kolkplaatje en zonder kolkpositie, opgeslagen in een apart bestand ten behoeve van de daglijst.

Er kunnen met het proces „kolk indeling” meerdere schutbrieven voor dezelfde kolk gemaakt worden. Elke schutbrief bevat andere schepen.

Dit kan vooral handig zijn, wanneer er, bijvoorbeeld na een mistperiode, een groot scheepsaanbod is.

De *Daglijst* is een lijst van gegevens van alle schepen die een sluiscomplex gepasseerd zijn. De gegevens zijn gegroepeerd naar schutting.

Ook schuttingen zonder schepen (het omzetten van de kolk) worden hierin opgenomen. De lijst begint met de eerste schutting die na middernacht uitgevoerd is en eindigt met de laatste schutting die in die periode van 24 uur is uitgevoerd. Om 00.00 uur wordt het bestand met de daglijstgegevens automatisch afgesloten en er wordt een nieuw bestand gecreëerd voor de volgende 24 uur. Tevens wordt na het afsluiten van het bestand automatisch een afdruk van de daglijst gemaakt met de printer. Elk sluiscomplex bezit op deze wijze een complete lijst van alle gegevens van de gepasseerde schepen met de schutgegevens van de afgelopen 24 uur. De gegevens van een schip

worden in twee of meer regels weergegevens op dezelfde wijze als de regels van de aanbodlijst.

De daglijst van de dag zelf kan op de terminal zichtbaar gemaakt worden.

Tenslotte de *Gevaarlijke stoffenlijst*. Deze lijst geeft een overzicht van schepen die een gevaarlijke lading vervoeren en wel in twee vormen: per vaarroute of per sluiscomplex. Op de vaarroutelijst komen de schepen voor welke de status „vooraangemeld” en de codes van de opgegeven sluiscomplexen hebben. In plaats van twee sluiscomplexen kan ook één sluiscomplex en een uitvalspoort opgegeven worden. Schepen die van een sluis wegvaren naar de uitvalspoort Rotterdam bijvoorbeeld, behouden twee uur na uitvaren van de Volkeraksluis de status „uitvalspoort” (R). Na die periode krijgen die schepen de status „verwijderd”. In de lijst staan de schepen gegroepeerd naar vaarrichting.

De gevaarlijke stoffenlijst van een sluiscomplex is feitelijk een andere presentatievorm van de aanbodlijst met alleen schepen die gevaarlijke lading vervoeren. Ook in deze lijst worden de schepen naar vaarrichting gesorteerd. Op het beeldscherm wordt in de regel met scheepsinformatie de VN-stoffencode van de vervoerde lading weergegeven.

Literatuur

- [1] Programma van eisen - IVS Proefstelsel tussen Kreekraksluizen en Volkeraksluizen
Directie Zeeland, IVBS 112, november 1981.

Programma van eisen - IVS Deelsysteem Sluiscomplex
Terneuzen
Directie Zeeland, IVS 171, mei 1982

