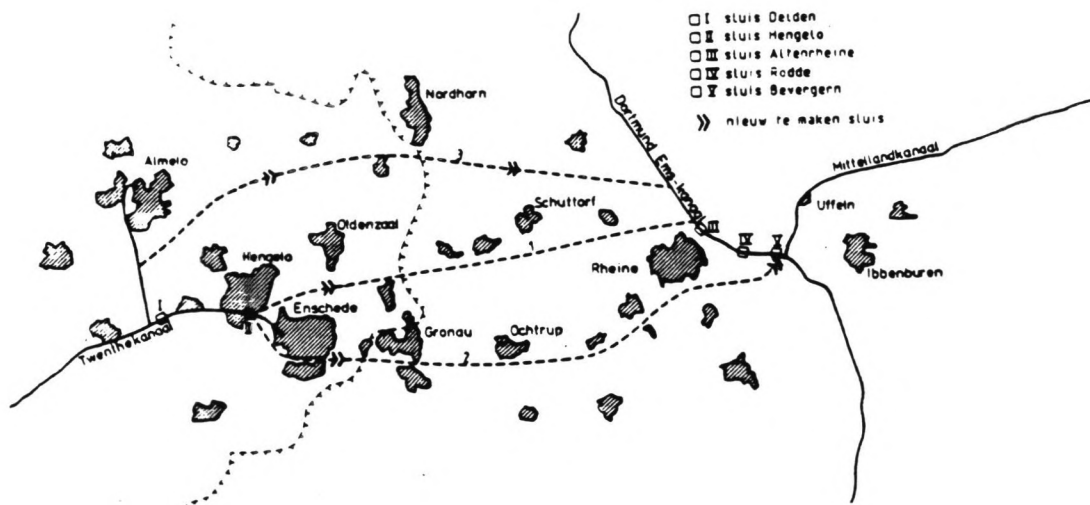


Het Twenthe-Mittelland kanaal

J.J.M. van den Berg



Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT



Het Twenthe-Mittelland kanaal

**Studie naar de haalbaarheid van een verbinding tussen
de Twenthe kanalen en het Mittelland kanaal
en de capaciteitsaspecten van
een groot verval-kunstwerk te Enschede**

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

Eindrapport van het afstudeerwerk van J.J.M. van den Berg

**Afstudeercommissie: Prof. ir. A. Glerum
ir. K. Bezuyen
ir. H. Ruijter
ir. A. de Visser**

juli 1992

INHOUD



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

bladzijde

Voorwoord

Samenvatting

Hoofdstuk 1: Planologische voorstudie

1.1.	Inleiding	1
1.2.	Huidige situatie	6
1.3.	Tracéstudie	9
1.4.	Technische uitwerking van de tracés	22
1.5.	Kostenbepaling	32
1.6.	Conclusies	41

Hoofdstuk 2: Uitwerking van de alternatieven

2.1.	Randvoorwaarden en uitgangspunten	45
2.2.	Ligging van het kunstwerk	49
2.3.	Vormgeving van de kunstwerken	51
2.4.	Voorhavens bij de kunstwerken	63

Hoofdstuk 3: Capaciteit van de kunstwerken

3.1.	Inleiding	76
3.2.	Basisgegevens	78
3.3.	Schutcyclus van de sluizen	83
3.4.	Herberekening van de vul- en ledigtijden	95
3.5.	Schutcyclus van de scheepsliften	109
3.6.	Capaciteitsbepaling	117

Hoofdstuk 4: Afweging en conclusies

4.1.	Capaciteiten	120
4.2.	Kosten van de complexen	126
4.3.	Afweging en keuze	134

Literatuurlijst

FIGUREN

Figuur 1: Vaarwegen in Noord West Europa	4
Figuur 2: Vaarwegen rond Twente	5
Figuur 3: Studiegebied Twenthe-Mittelland kanaal	7
Figuur 4: Tracés in Enschede-Zuid	17
Figuur 5: Doorsnede hydraulische lift	52
Figuur 6: Aanzicht van lift met drijvers	52
Figuur 7: Doorsnede funiculaire lift	53
Figuur 8: Voorbeeld dubbele deuren bij hefwerk	58
Figuur 9: Schema van vul- en ledigsysteem met langsriolen	59
Figuur 10: Schema van vul- en ledigsystemen met vulbatterijen	60
Figuur 11: Indeling voorhaven in lengterichting	64
Figuur 12: Indeling voorhaven in breedterichting en vormgeving fuik	65
Figuur 13: Indeling voorhaven bij sluizencomplex, met en zonder middenremming	69
Figuur 14: Schema van opbouw van de schutcyclus	77
Figuur 15: Waterspiegelhelling in het begin van de kolkvulling	99
Figuur 16: Waterspiegel bij begin kolkvulling met vulling via langsriolen en zijspruiten	99
Figuur 17: Verloop kolkvulling bij sluis zonder bekkens	101
Figuur 18: Verloop kolkvulling bij sluis met drie spaarbekkens	103
Figuur 19: Principe van vulling en lediging met spaarbekkens	104

TABELLEN

Tabel 1: Overzicht grondbalans	27
Tabel 2: Overzicht waterbalans	30
Tabel 3: Totale kosten	38
Tabel 4: Kosten en baten	40
Tabel 5: Overzicht van gevolgen	42
Tabel 6: Verwachte ladingstromen	47
Tabel 7: Verwachte verkeersstromen	48
Tabel 8: Lengte- en breedteverhoudingen	68
Tabel 9: Frequentieverdelingen	79
Tabel 10: Bepaling k	81
Tabel 11: Bepaling $n_{\max}$	82
Tabel 12: Openings- en sluitingstijden van bestaande sluizen	84
Tabel 13: Bedieningstijden van de sluizen	88
Tabel 14: Verdeling schutproces over de delen	94
Tabel 15: Bepaling van de schutcyclustijden	108
Tabel 16: Lusafstanden	109
Tabel 17: Openings- en sluitingstijden	110
Tabel 18: a_{lift} en $v_{\max}$ van bestaande liften	111
Tabel 19: Bepaling lustijden met v_{gr}	114
Tabel 20: Capaciteiten van de alternatieven	117
Tabel 21: I-C verhoudingen bij enkele sluis of lift	118
Tabel 22: I-C verhoudingen bij dubbele uitvoering	119
Tabel 23: I-C verhoudingen bij gefaseerde aanleg	122
Tabel 24: I-C verhoudingen bij groter maatgevend aanbod	124
Tabel 25: De minimale passeertijden	129
Tabel 26: De gekapitaliseerde kosten (in min)	133
Tabel 27: Beoordeling met de overige criteria	138

BIJLAGEN

Bijlage Dwarsprofiel	: Deel I - Profielen Duitse kanalen Deel II - Berekening profiel
Bijlage Routebeschrijving	: Tracés 1 t/m 3C
Bijlage Lengteprofielen	: Profielen 1 t/m 3C
Bijlage Inventarisatie van kunstwerken	: Tracés 1 t/m 3C
Bijlage Dimensies van kunstwerken	
Bijlage Kosten van kunstwerken	
Bijlage Overzicht kosten	: Varianten 1 t/m 3C
Bijlage Ligging kunstwerk	: Figuren L1 t/m L3
Bijlage Voorhavens	: Figuren V1 t/m V20
Bijlage Capaciteit	: Figuren C1 t/m C17
Bijlage Kolkomzetting	: Deel I - Sluis zonder bekkens Deel II - Sluis met spaarbekkens
Bijlage Kostenbepaling	: Deel I - Bouwkostenindex Deel II - Ligkosten in de binnenvaart Deel III - Kostenbepaling
Bijlage Berekening van constructie	: Deel I - Belastingen Deel II - Globale dimensionering staal Deel III - Globale dimensionering landhoofd Deel IV - Globale dimensionering keermuur + lift

Voorwoord

In november 1990 ben ik door toeval in contact gekomen met mensen van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Bij deze dienst bleek zojuist een projectgroep gevormd te zijn die zich bezig hield met de haalbaarheid van een Twenthe-Mittelland kanaal. Gezien de ontwikkelingen in de E.E.G. en Oost Europa zou de aanleg van zo'n kanaal zinvol kunnen zijn.

De mogelijkheid van een Twenthe-Mittelland kanaal was mij ook opgevallen. Ik had al met mijn begeleiders op de T.U. te Delft afgesproken het afstudeerwerk over dit onderwerp te houden. De projectgroep heeft mij de mogelijkheid geboden deel te nemen aan de haalbaarheidsstudie en op de Bouwdienst te Utrecht te werken aan het afstudeerwerk. Gedurende mijn afstudeerstage en daarna heb ik gebruik kunnen maken van de gegevens van de projectgroep en hebben de deelnemers van de projectgroep mij veel geholpen.

Deze studie was niet mogelijk geweest zonder de deskundige hulp van mijn begeleiders. Dit waren ir. H. Ruijter, voorzitter van de projectgroep, en Prof. ir. A. Glerum, ir. K. Bezuyen en ir. A. de Visser van de vakgroep Waterbouwkunde aan de Faculteit der Civiele Techniek. Ik wil tevens P. Hiddinga van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat bedanken voor het beschikbaar stellen en opsturen van diverse noodzakelijke gegevens.

De hulp van vrienden en familie heeft het werk een stuk gemakkelijker gemaakt, vooral Leon en Bas door middel van hun woon- en werkplek. Speciaal wil ik de familie Schaapman bedanken: Jan en Tineke voor het beschikbaarstellen van en de hulp bij de p.c. en Joke voor het typwerk. Op Sietske is al het bovenstaande van toepassing. Zonder haar hulp, van doorlezen tot opmaak, en haar steun en geduld had het vormgeven en afronden van dit afstudeerwerk veel meer moeite gekost.

J.J.M. van den Berg
Dokkum, juli 1992

Samenvatting

In het kader van mijn afstudeerwerk heb ik deelgenomen aan een projectgroep van Rijkswaterstaat. Deze projectgroep heeft de haalbaarheid onderzocht van de doortrekking van de Twenthe kanalen naar Duitsland. De haalbaarheidsstudie heeft gediend als basis voor de planologische voorstudie van dit afstudeerwerk.

In de vervolgstudie is daarna onderzoek gedaan naar de capaciteitsaspecten bij kunstwerken met een groot verval. Verscheidene alternatieven zijn uitgewerkt en tegen elkaar afgewogen.

Planologische voorstudie

De direkte aanleiding tot het doen van de haalbaarheidsstudie was het vallen van het IJzeren Gordijn. Het opengaan van de grenzen tussen Oost en West Europa, eind jaren tachtig, heeft grote politieke en economische gevolgen. Het is waarschijnlijk dat de handel van en naar Oost Europa flink zal toenemen.

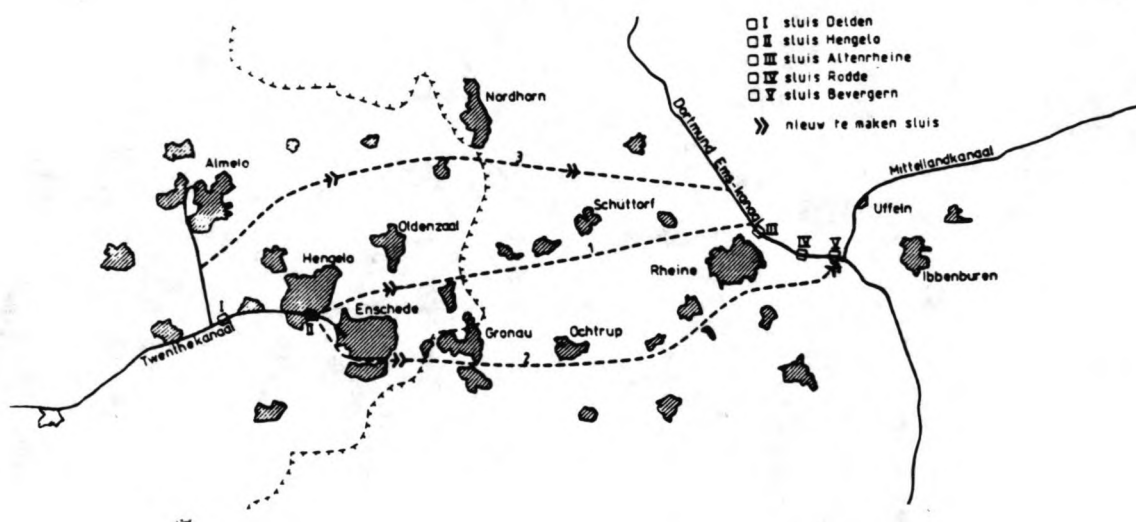
De Noordzeehavens van Rotterdam en Antwerpen zouden een belangrijke rol in deze nieuwe handel kunnen spelen. Belangrijk is dan natuurlijk wel dat de havens goede verbindingen met het achterland hebben. Dit is niet geheel het geval. Zo zijn er weinig vaarverbindingen in oost-west richting. Het noordelijk deel van Oost Europa is bereikbaar over water, zij het via een omweg. De route loopt over de Rijn, het Weseln-Datteln kanaal, het Dortmund-Ems kanaal en het Mittelland kanaal. Deze verbinding is echter niet rechtstreeks. Er moet ongeveer 100 km omgevaan worden. Een meer rechtstreekse verbinding zou gevormd kunnen worden door de Twenthe kanalen met het Mittelland kanaal te verbinden. Een vaarroute via een dergelijk Twenthe-Mittelland kanaal zou een hoogwaardige verbinding kunnen vormen, aangezien de andere kanalen in de vaarroute momenteel of in de toekomst geschikt worden gemaakt voor binnenvaartschepen van klasse V.

Ter bepaling van de haalbaarheid is eerst het studiegebied afgebakend en geïnventariseerd. Aangezien een Twenthe-Mittelland kanaal een rechtstreekse verbinding moet scheppen, is het studiegebied beperkt tot een niet te brede strook tussen de Twenthe kanalen en het Mittelland kanaal. Dit is globaal het gebied tussen Hengelo, Nordhorn, Rheine en Steinfurt. Behalve deze plaatsen zijn Enschede en Almelo nog belangrijke bevolkingskernen.

Het blijkt mogelijk het gebied op te delen in drie subgebieden, die qua reliëf en bebouwing specifiek van elkaar verschillen. Ten zuiden van Enschede en Rheine is het terrein heuvelachtig en is er vrij veel bebouwing. Ten noorden van Oldenzaal en Rheine is het gebied vrijwel vlak en weinig bebouwd. Het middengebied is gemengd van karakter.

Om de haalbaarheid te kunnen onderzoeken is een aantal tracés bepaald waarlangs het kanaal aangelegd zou kunnen worden. Voor deze tracés is bekeken wat de technische en economische haalbaarheid van de aanleg zou zijn.

Aangezien de natuurlijke gesteldheid hierbij van groot belang is, is er bij de vaststelling van de tracés uitgegaan van de drie subgebieden. Binnen elk van deze subgebieden is globaal een hoofdtracé gekozen. Op deze tracés zijn in principe meerdere varianten mogelijk. Een aantal van deze varianten zijn meegenomen in de analyse.



Hoofdtracés van Twenthe-Mittelland kanaal

Het kanaal is vervolgens voor de verschillende tracés technisch uitgewerkt.

Ten eerste is het dwarsprofiel bepaald. Hiertoe moest de maximale scheepsgrootte vastgesteld worden. De aansluitende vaarwegen zijn geschikt voor schepen tot 2000 ton (klasse V) of worden hiervoor geschikt gemaakt. Op het Mittelland kanaal worden zelfs tweebaksduweenheden tot 4000 ton toegestaan.

Er is eerst overwogen het Twenthe-Mittelland kanaal voor tweebaksduwvaart te dimensioneren. Dit blijkt echter op de IJssel grote problemen te geven. Aangezien tevens de economische voordelen van tweebaksduwvaart ten opzichte van 2000 tons schepen

gering zijn, is de maximale scheepsgrootte vastgelegd op 2000 ton. Dit heeft geresulteerd in het volgende standaardprofiel:

- breedte van waterspiegel = 53 m;
- breedte van bodem = 29 m;
- diepte = 4,0 m;
- doorvaarthoogte = 5,25 m.

Vervolgens zijn de lengteprofielen bepaald. Hierbij waren vooral drie uitgangspunten van belang:

- Ten eerste dat er zo weinig mogelijk kanaalpanden zouden komen. Om het kanaal als alternatief te laten dienen voor de huidige route, dient het aantal nieuwe sluizen tot een paar beperkt te worden.
- Ten tweede is geprobeerd de overgangen te laten plaatsvinden bij overgangen in het natuurlijk terrein.
- Tenslotte zijn de kanaalpeilen zodanig gekozen dat deze niet te veel afwijken van de hoogteligging van het omliggende maaiveld. Daar waar dit niet mogelijk is, is zoveel mogelijk voor ingraving gekozen uit het oogpunt van landschappelijke inpassing.

Langs tracé 1 heeft het kanaal twee panden, één 25,0 m en één 34,8 m boven N.A.P. Dit zijn de peilen van respectievelijk de Twenthe kanalen en van het Dortmund-Ems kanaal bij de aansluiting.

Bij tracé 2 zijn er drie kanaalpanden, namelijk 25,0 m, 45,0 m en 50,30 m boven N.A.P. Dit laatste is het peil van het Mittelland. Er is een variant op tracé 2 waarbij in één keer van N.A.P. + 16,0 naar N.A.P. + 45,0 m wordt overgegaan. Dit betekent dus een stap van 29,0 m.

Langs tracé 3 zijn er ook drie panden, namelijk 10,0 m, 25,0 en 34,8 m boven N.A.P.. Met behulp van de lengteprofielen en het standaard dwarsprofiel is voor elk tracé, ook voor de varianten, een grondbalans opgesteld. Ook is er een schatting gemaakt van de benodigde hoeveelheid water. Hierbij zijn de mogelijke voedingsbronnen ook onderzocht. Tenslotte zijn de te kruisen infrastructuur en waterlopen geïnventariseerd. Het aantal en de grootte van de benodigde kunstwerken zijn globaal bepaald.

Aan de hand van de technische uitwerking zijn de kosten bepaald, met behulp van de bekende kosten van bestaande kunstwerken en met eenheidsprijzen. Er is rekening gehouden met aanvullende werken in de bestaande Twenthe kanalen. Deze blijken nodig te zijn. De capaciteit van de bestaande sluizen is onvoldoende om de extra vervoersstroom op te kunnen vangen.

De resultaten voor de drie hoofdtracés zijn:

tracé	investeringskosten	jaarlijkse kosten
1	1,0 miljard gulden	14 miljoen gulden
2	1,3 " "	16 " "
3	1,2 " "	15 " "

Uit de resultaten blijkt dat aanleg hoe dan ook een vrij forse investering vergt. Dit is echter voor een stuk infrastructuur van deze omvang niet buitengewoon. De verschillen tussen de tracés zijn relatief niet zo groot.

Ten behoeve van de haalbaarheidsstudie zijn door het NEA de baten van aanleg bepaald. Hiervoor is een schatting gemaakt van de vervoersomvang over een Twenthe-Mittelland kanaal. Afhankelijk van de toekomstige economische groei varieert de verwachte vervoersstroom in 2030 tussen de 12 en de 21 miljoen ton per jaar. Dit zijn de uitersten. De meest waarschijnlijke waarde ligt ergens in het midden. De omvang is hoe dan ook groot te noemen.

Met behulp van deze vervoersstromen zijn de baten bepaald voor de hoofdtracés. Deze bleken bij tracé 2, het duurste tracé, het hoogst te zijn en bij tracé 3 het laagst.

Met de verkregen gegevens zijn de baten-kosten verhoudingen bepaald. Hierbij zijn gegevens gekapitaliseerd. Bij de berekening is uitgegaan van een bouwtijd van tien jaar. Na de bouw volgt een economische levensduur van 50 jaar.

De baten-kosten verhoudingen ontlopen elkaar zeer weinig. Ze liggen bij alle drie de hoofdtracés rond 0,22 bij een lage economische groei en rond 0,34 bij een hoge economische groei.

De kosten zijn dus groter dan de baten. Aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal is, puur economische gezien, niet rendabel. Het is echter de vraag of dit het enige criterium van betekenis is, bij het besluit over de aanleg. Zaken als regionale ontwikkeling, de distributiefunctie van Rotterdam en het stimuleren van milieuvriendelijke vervoerswijzen kunnen van doorslaggevend belang zijn.

Geconcludeerd kan in ieder geval wel worden dat het Twenthe-Mittelland kanaal een belangrijke verkeersader voor de binnenvaart kan worden. De aanleg is technisch zeker haalbaar. De vraag of aanleg zinvol is zal echter in grondigere vervolgstudie beantwoord moeten worden.

Welk tracé het beste is zal ook in een dergelijk studie nader bekeken moeten worden. Dit is hier slechts globaal behandeld. Tussen de tracés lijken er geen grote verschillen te zijn, ook niet wat de niet-economische gevolgen betreft. Uit de tracés kan ook nauwelijks een eenduidige keuze gedaan worden. Er lijkt echter een licht voordeel voor tracé 2 te zijn. Dit tracé is daarom in de vervolgstudie aangehouden.

Vervolgstudie

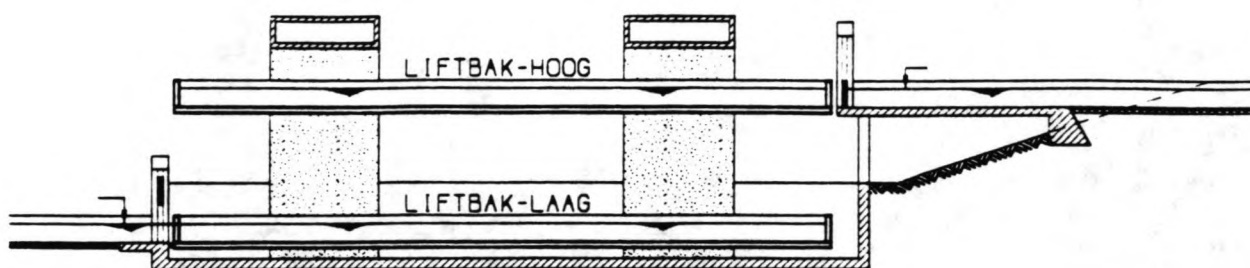
In de vervolgstudie is het tracégedeelte bij Enschede nader uitgewerkt. Met name het kunstwerk, dat in de voorstudie hier gepland was, heeft hierbij veel aandacht gekregen. Dit kunstwerk heeft een groot verval. Bij een groot verval worden de schuttijden bij een standaardsluis, zoals deze in Nederland wordt toegepast, zeer groot. Ook het grote watergebruik van een dergelijke sluis kan tot problemen leiden. Daarom komen er voor dit kunstwerk ook andere constructies in aanmerking. Er is een afweging gemaakt tussen verschillende typen kunstwerken, om te bepalen welk het meest geschikt is. Hierbij is de tracévariant aangehouden waarin het verval te Enschede 29 m bedraagt.

De volgende typen zijn meegenomen in de studie:

- de standaard schutsluis;
- de schutsluis met spaarbekkens;
- het hefwerk.

Het grote voordeel van de sluis met spaarbekkens is dat er schutwater bespaard wordt. Er worden één of meerdere bekkens naast de kolk geplaatst. De bekkens hebben verschillende waterniveau's. Bij het ledigen van de kolk wordt het water eerst naar de bekkens geleid, waarbij het ene bekken na het andere gevuld wordt. Pas als de bekkens gevuld zijn wordt het water op het benedenpand geloosd. Bij de kolkvulling wordt het water eerst uit de bekkens gehaald en pas daarna uit het bovenpand. Des te meer bekkens, des te meer er bespaard kan worden. Verder zijn er riolen nodig om de bekkens met de kolk en de aansluitende kanaalpanden te verbinden.

Behalve het water in de kolk kan de kolk zelf bewogen worden. Dit heet een hefwerk. Er zijn verschillende mogelijkheden. Er is één van de mogelijkheden meegenomen in de afweging, namelijk de scheepslift met kabels. Dit type hefwerk is het meest recent toegepast en het lijkt het meest geschikt. In de scheepslift hangt een bak gevuld met water (en schip) via een groot aantal kabels aan contra-gewichten. De gehele bak wordt tussen boven- en benedenpand op en neer bewogen.



Langsdoorsnede van scheepslift

Een groot voordeel van een scheepslift is dat er nauwelijks water verloren gaat. Er wordt immers niet gesluisd. Een ander voordeel is dat de mechanische beweging van de bak duidelijk sneller gaat dan het omzetten van een schutkolk.

Voor de drie alternatieven is de capaciteit bepaald. Hiertoe zijn eerst de alternatieven globaal uitgewerkt. De belangrijkste onderdelen hiervan zijn de voorhavens en de vul- en ledigsystemen van de schutsluizen.

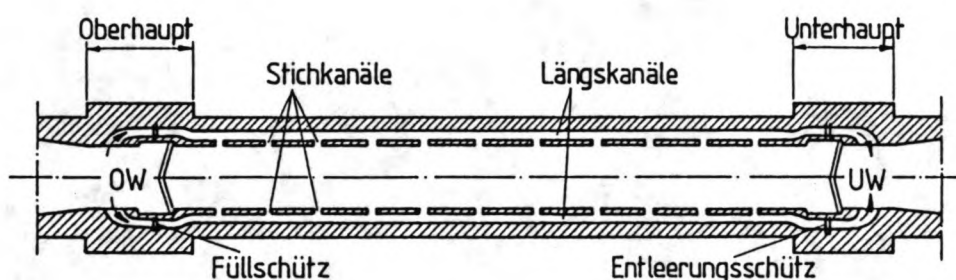
De voorhavens zijn zowel voor het geval van één kunstwerk als voor een dubbel kunstwerk gedimensioneerd. Hierbij is rekening gehouden met het type kunstwerk. Voor de grootte van de onderdelen van een voorhaven in Nederland zijn normen opgesteld. De afmetingen zijn afhankelijk van de scheepsklasse en de kolkgrootte. Deze normen zijn echter alleen geldig voor de scheepsklassen I tot en met IV. Voor klasse V zijn er nog geen normen. Daarom zijn de normen voor klasse I tot en met IV geïnterpoleerd naar klasse V. Voor alle typen zijn dezelfde kolkafmetingen aangehouden, namelijk 12 * 120 m. Dit is juist voldoende voor een klasse V schip.

Aan de hand van de verkregen waarden zijn enkele voorhavenontwerpen opgesteld. De lengte van de voorhavens, dus van het begin tot het kunstwerk, ligt tussen de 600 m en de 700 m. De lengte van het gehele complex kan tot 1,5 km lang zijn. De breedte van de ingraving kan tot 180 m oplopen.

Met deze voorhavenontwerpen is ook de precieze ligging van het kunstwerk bepaald. De nabijheid van omvangrijke bebouwing en van natuurgebieden en de grootte van het complex maken een inpassing in de omgeving lastig. Inpassing is echter ook bij maximale voorhavens mogelijk.

De in Nederland gebruikelijke vul- en ledigsystemen zijn hier, gezien het grote verval, niet toereikend. In Nederlandse sluizen wordt over het algemeen geschut via de deuren of via omloopriolen. Het water stroomt dan om of door de deuren in de langsrichting van de kolk. Als gevolg hiervan ontstaan translatiegolven in de kolk. Deze translatiegolven veroorzaken relatief grote krachten op de schepen in de kolk, omdat de kolk vanuit één kant gevuld wordt. Aangezien de krachten door de trossen opgevangen moeten is er een maximum aan deze krachten. Dit betekent bij de gebruikelijke systemen een klein debiet. Dit betekent een lange omzettingstijd en dus een lage capaciteit.

Een kortere omzettingstijd kan gehaald worden met behulp van langsriolen. Dit zijn riolen in de kolkwand die verbonden zijn met de kolk via zijspruiten. Vulling en lediging gebeurt nu op meerdere plaatsen. Ook bij dit systeem treden translatiegolven op. Door de gespreide vulling en lediging zijn deze echter, bij eenzelfde debiet, beduidend kleiner dan bij eenzijdige vulling of lediging.



Systeem met langsriolen

Het systeem met langsriolen kan uitgebreid worden met zogenaamde vulbatterijen. Hierbij wordt het water nog beter verdeeld over de kolk in- en uitgelaten. De omzettingstijd kan nog korter zijn dan bij toepassing van langsriolen.

Voor zowel het systeem met langsriolen als dat met vulbatterijen zijn de toelaatbare vul- en ledigdebeten bepaald. Hiertoe zijn vergelijkingen opgesteld waarbij de maximale troskracht gekoppeld is aan het verhang in de kolk. Dit verhang is via afvoervergelijkingen gerelateerd aan het debiet. De benodigde kentallen in de vergelijkingen zijn bepaald aan de hand van de gegevens van bestaande sluizen in Duitsland.

Bij de bepaling van de vul- en ledigtijden is ook rekening gehouden met translatiegolven in de voorhavens. Ook deze kunnen te grote troskrachten geven. Dit blijkt bij de standaard schutsluis ook het geval te zijn, indien bij dit type vulbatterijen toegepast worden. Bij de spaarsluis is dit niet het geval, aangezien hier het grootste deel van het water in en uit de bekkens stroomt en daarbij geen hinder voor de schepen veroorzaakt. Er is daarom ook gekozen voor toepassing van een systeem met langsriolen bij de standaard sluis en een systeem met vulbatterijen bij de spaarsluis.

Bij de bepaling van de capaciteiten is de sluis of lift gezien vanuit het oogpunt van de beheerder. Schuttingen volgen elkaar continu op in een schutcyclus. De cyclus is onderverdeeld in opvaart en afvaart. Elke helft bestaat uit een (gemiddelde) invaartijd, een bedieningstijd en een uitvaartijd.

De duur van elk onderdeel van de cyclus is bepaald. Hiermee kan de capaciteit berekend worden. Er geldt:

$$\text{Capaciteit} = \frac{2 * \bar{n}_{\max}}{\bar{T}_c}$$

Hierin is $n_{\max}$ het gemiddeld maximum aantal schepen dat in de kolk past en is T_c de gemiddelde cyclustijd.

Het gemiddeld maximum aantal schepen in de kolk en de gemiddelde in- en uitvaartijden zijn bepaald aan de hand van de gegevens van bestaande sluizen in Nederland. Deze gegevens zijn door Rijkswaterstaat verzameld en verwerkt tot grafieken. Met behulp van o.a. de voorhavenontwerpen zijn de te verwachten waarden afgeleid.

De bedieningstijden van de sluizen zijn bepaald met behulp van de hiervoor besproken uitwerking van de vul- en ledigsystemen.

Uit de berekening volgt bij de standaard sluis een vul- en ledigtijd van 12,7 minuten. Bij de spaarsluis duurt het vullen 14,4 minuten en het ledigen 15,4 minuten. De tijden bij de spaarsluis zijn hoger vanwege het omschakelen van het ene spaarbekken naar het andere. De heftijd van de lift is bepaald aan de hand van de gegevens van bestaande of in aanbouw zijnde liften in Duitsland en België. Hierbij zijn 2,5 minuten nodig om het verval te overwinnen.

De te verwachten intensiteit is reeds in de planologische voorstudie vastgesteld. Door de intensiteit te delen door de capaciteit wordt een verhouding gevonden die een aardige indicatie geeft of een kunstwerk voldoet.

De gemiddelde waarden voor de I-C verhouding zijn:

alternatief	enkel kunstwerk	dubbel kunstwerk
standaard sluis	1,23	0,61
spaar-sluis	1,36	0.67
lift	0,90	0,45

Voor de situatie te Enschede wordt een I-C verhouding kleiner dan 0,7 toelaatbaar geacht. Is de verhouding groter dan 0,7 dan wordt de vertraging voor de scheepvaart te groot. De uitkomsten leiden dan ook tot de conclusie dat bij elk type steeds twee kunstwerken nodig zijn. Tevens zijn er duidelijke verschillen tussen de alternatieven. De lift kan de verkeersstroom aanzienlijk beter verwerken dan de sluizen. Met name de spaarsluis heeft weinig reservecapaciteit. Een meer dan gemiddeld vervoersaanbod leidt al gauw tot verstoppingen. Er is echter bij de afweging uitgegaan van een gemiddeld verkeersaanbod. Bij dubbele uitvoering voldoen dan ook alle drie de typen.

Om tot een keuze tussen de alternatieven te komen is een kostenafweging gemaakt. Hierbij zijn vier aspecten verdisconteerd:

- de investeringskosten;
- de onderhouds- en exploitatiekosten;
- de passeerkosten;
- de kosten als gevolg van het waterverlies.

De eerste twee posten zijn geschat aan de hand van de gegevens van al uitgevoerde kunstwerken. Er zijn steeds de kosten bepaald van een complex met twee kunstwerken. De passeerkosten zijn berekend met behulp van de verkregen I-C verhoudingen. Aan de hand van deze verhoudingen is de gemiddelde vertraging per alternatief bepaald. Met behulp van samengestelde eenheidsprijzen zijn de totale passeerkosten berekend. De kostenpost voor het waterverlies is bepaald door de pompkosten te berekenen. Bij de berekening is er van uitgegaan dat al het schutwater teruggepompt moet worden.

De verschillende kosten zijn gekapitaliseerd en gesommeerd. De gekapitaliseerde kosten zijn:

alternatief	invest. kosten	exploit. en pomp- kosten	passeer- kosten	totaal
standaard sluis	86	92	28	206
spaar- sluis	105	48	34	197
lift	145	23	12	180

Een complex met liften is het duurste om te bouwen. Het verschil wordt echter meer dan gecompenseerd door de jaarlijkse kosten. Vooral de pompkosten bij de sluizen maken het alternatief met liften interessant. Alhoewel het relatieve verschil in passeerkosten groot is, hebben deze kosten weinig invloed op het totaal. De absolute waarden zijn daarvoor te klein. Dit is een gevolg van de lage kosten per uur in de binnenvaart. De verschillen tussen de alternatieven zijn klein. De kostenbepaling is tevens zo globaal dat de verschillen binnen de foutenmarge vallen. Er moet geconcludeerd worden dat de kosten vergelijkbaar groot zijn.

Er is een korte afweging uitgevoerd van de niet-economische aspecten, zoals ruimtebeslag en flexibiliteit. Een complex met liften komt dan lichtelijk als beste naar voren. Dit alternatief is dan ook gekozen. Er is een schetsontwerp van gemaakt.

Mocht besloten worden de aanleg het Twenthe-Mittelland kanaal nader af te wegen, dienen dit tracé en de besproken alternatieven zeker meegenomen te worden. Met name de milieuconsequenties dienen dan uitvoeriger onderzocht te worden. Zo kunnen de grote ingravingen en ophogingen drastische gevolgen hebben voor de waterhuishouding en het landschap. Of de ingrepen acceptabel zijn, zal in de vervolgstudie beantwoord moeten worden.

1. Planologische voorstudie

1.1. Inleiding

Opzet van het afstudeerwerk

Gezien de mogelijke nieuwe perspectieven rond het vervoer over water in oostelijke richting en tevens uit het oogpunt van de recente belangstelling voor meer milieu-vriendelijke wijzen van vervoer heeft Rijkswaterstaat Overijssel het initiatief genomen de mogelijkheden voor doortrekking van de Twenthe kanalen naar Duitsland te heroverwegen. Als eerste stap in die richting heeft Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat een oriënterend onderzoek uitgevoerd. Op basis van hiervan is aanbevolen het een en ander nader te bekijken. Hiertoe is een projectgroep samengesteld uit vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat Overijssel, de Bouwdienst en de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat. Deze groep had als doel de haalbaarheid van een Twenthe-Mittelland kanaal te onderzoeken.

In het kader van mijn afstudeerwerk heb ik deelgenomen aan dit project. Ik heb van de gegevens en de kennis die in de groep aanwezig was gebruik mogen maken. De haalbaarheidsstudie heeft hierbij gediend als basis voor de planologische voorstudie van dit afstudeerwerk.

In de haalbaarheidsstudie zijn verscheidene (technische) aspecten slechts globaal behandeld. Voor bepaalde aspecten zijn aannames gedaan. Er is voor gekozen om in de vervolgstudie van dit afstudeerwerk één van deze aspecten nader te onderzoeken, namelijk de capaciteiten van de kunstwerken in het kanaal. Deze kunstwerken kunnen een groot verval hebben. Er komen dan verschillende typen kunstwerken in aanmerking, waaronder een scheepslift. De capaciteiten van de verschillende typen kunnen grote verschillen vertonen. Voor één bepaald geval bij Enschede zijn verscheidene alternatieven uitgewerkt en afgewogen. De vervolgstudie wordt in de hoofdstukken 2, 3 en 4 behandeld.

Aanleiding tot haalbaarheidsstudie

Sinds het opengaan van de grenzen tussen Oost en West Europa zijn de contacten tussen beide gebieden snel uitgebreid. Het IJzeren Gordijn is opgetrokken en beperkende regels en wetten worden de één na de ander opgeheven. Tegelijkertijd worden de communistische economische systemen omgevormd tot kapitalistische. Ondanks de problemen bij dit omvormingsproces en de tegenwerkende krachten in met name de Sowjetunie, lijken de ontwikkelingen niet te stuiten.

Dit alles opent nieuwe perspectieven voor de handel. Enerzijds zullen Westeuropese produkten naar Oost Europa uitgevoerd worden. Anderzijds ligt het voor de hand dat er, alleen al vanwege de loonkosten, economische activiteiten van West naar Oost Europa

worden. Door deze ontwikkelingen zullen de vervoersstromen tussen Oost en West Europa waarschijnlijk sterk toenemen.

Het is de vraag in welke mate Nederland en België, als doorvoerlanden, hiervan zullen profiteren. Hierbij zijn vooral van belang de wijze waarop het vervoer plaatsvindt (en zal plaatsvinden) en de kwaliteit van de achterlandverbindingen van Nederland en België met Oost Europa.

Naar aanleiding hiervan heeft een werkgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, het economisch adviesbureau NEA, de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat en de KSV "Schuttevaer" onderzoek gedaan naar de locaties van de zwaartepunten van het vervoer tussen Nederland en Oost Europa, de rol die de binnenvaart in het vervoer ervan kan spelen en in welke staat de aanwezige infrastructuur, vaarwegen en in mindere mate spoorwegen, zich bevindt. Het doel was o.a. om de mogelijkheden van vervoer per binnenschip tussen Nederland en Oost Europa aan te geven.

Uit het onderzoek is gebleken dat een groot deel van het huidige vervoer van en naar Oost Europa uit bulkgoederen, zoals veevoeders, meststoffen en steenkool bestaat.

Met name dit soort goederen zijn aantrekkelijk om per binnenschip (of spoor) te vervoeren. De verwachting is dat ook in de toekomst een groot deel van het transport van en naar Oost Europa uit bulkgoederen zal bestaan.

De handel met Oost Duitsland is duidelijk het grootst. Zo is bijvoorbeeld de omvang van het huidige goederenvervoer tussen Oost Duitsland en West Europa bijna tien maal groter dan die met Polen (ca. 40 miljoen ton per jaar ten opzichte 4 miljoen ton per jaar).

Ongeveer 40% van deze handel met Oost Duitsland vindt plaats per binnenschip.

Het is waarschijnlijk dat door het proces van eenwording van beide Duitslanden en de daaruit volgende verschuiving van activiteiten naar het oosten, de handelsstroom van en naar Oost Duitsland dominant zal blijven ten opzichte de stromen van en naar de andere gebieden.

Uit de inventarisatie van de infrastructuur blijkt Oost Europa over een aanzienlijk vaarwegennet te beschikken dat op een aantal plaatsen goed aansluit (of na 1992 via het Rijn-Main-Donau kanaal zal aansluiten) op West Europa. Op andere plaatsen wijken de vaarwegafmetingen echter sterk af van de Westeuropese. Ook is er vaak sprake van knelpunten en/of slechte bevaarbaarheid gedurende laagwater- of ijsperioden. Met name het slechte onderhoud zorgt voor problemen. Mede gezien het feit dat het Oostduitse vaarwegennet binnen afzienbare tijd verbeterd zal worden, lijkt dit vaarwegennet van de Oosteuropese netten de meeste mogelijkheden te bieden.

Het spoorwegennet in Oost Europa is ook aanzienlijk. In de Oosteuropese landen zelf

neemt het spoor steeds ongeveer driekwart van het goederenvervoer voor haar rekening. Het vervoer per spoor naar Oost Europa kent echter ook knelpunten. In de meeste Oost-europese landen heeft het spoor zelfs haar maximum capaciteit bereikt, zeker op het punt van materieel.

Al met al kan gesteld worden dat er goede mogelijkheden zijn om een deel van de groei in de handel van en naar Oost Europa door de binnenvaart op te laten vangen. Vooral de voormalige D.D.R. kan een interessante vervoermarkt voor de binnenvaart zijn.

Berekeningen, uitgevoerd door het NEA, geven aan dat de toekomstige handel op Oost Europa niet zo spectaculair zal toenemen als vóór dit onderzoek verwacht werd.

Desondanks lijkt, ook uit dit onderzoek, de handel vanuit de Benelux in oostelijke richting ruime groeimogelijkheden te bieden voor de binnenvaart. Deze handel is dan inclusief de handel op noordelijk West Duitsland.

Verder lijkt de Benelux goede mogelijkheden te hebben als doorvoergebied voor de handel met deze oostelijke gebieden. Hierbij heeft bovendien Rotterdam als mainport het voordeel ten opzichte van de Duitse zeehavens dat grote bulkcarriers de haven als distributiecentrum voor Europa kiezen. Nu al vindt het transport van bulkgoederen vaak plaats via Rotterdam, waar ertsen en dergelijke overgeslagen worden op kleinere zeeschepen die vervolgens naar Hamburg en Bremen varen. Mogelijk zal het transport van bulkgoederen van en naar Oost Europa in de toekomst ook via Rotterdam gaan, waarbij de binnenvaart (een deel van) het natransport zou kunnen verzorgen. De geografische positie van Rotterdam stelt de Nederlandse binnenvaart in staat optimaal van de in Oost Europa aanwezige vaarwegen gebruik te maken. Hierbij zijn dan wel nog vaarwegverbeteringen nodig, zelfs in Nederland.

Een belangrijk knelpunt in het Nederlandse vaarwegennet met betrekking tot de handel in oostelijke richting is het ontbreken van een rechtstreekse verbinding tussen Nederland en Oost Duitsland. De verbinding tussen deze twee gebieden wordt nu gevormd door de Rijn, het Wesel-Datteln kanaal (of eventueel het Rhein-Herne kanaal), het Dortmund-Ems kanaal en het Mittelland kanaal (zie figuur 1).

Het Duitse beleid is erop gericht deze kanalen geschikt te maken voor tweebaksduwvaart. Begin volgende eeuw zullen de werkzaamheden beëindigd zijn en er een vaarweg voor tweebaksduwvaart tussen Nederland en Oost Duitsland bestaat. Deze vaarweg is dan echter nog steeds niet rechtstreeks te noemen. Het gedeelte over het Wesel-Datteln kanaal en het Dortmund-Ems kanaal is duidelijk een omweg. Een meer rechtstreekse verbinding tussen Nederland en het Mittelland kanaal zou gevormd kunnen worden door de Twenthe kanalen met het Mittelland kanaal te verbinden.



Figuur 1: Vaarwegen in Noord West Europa

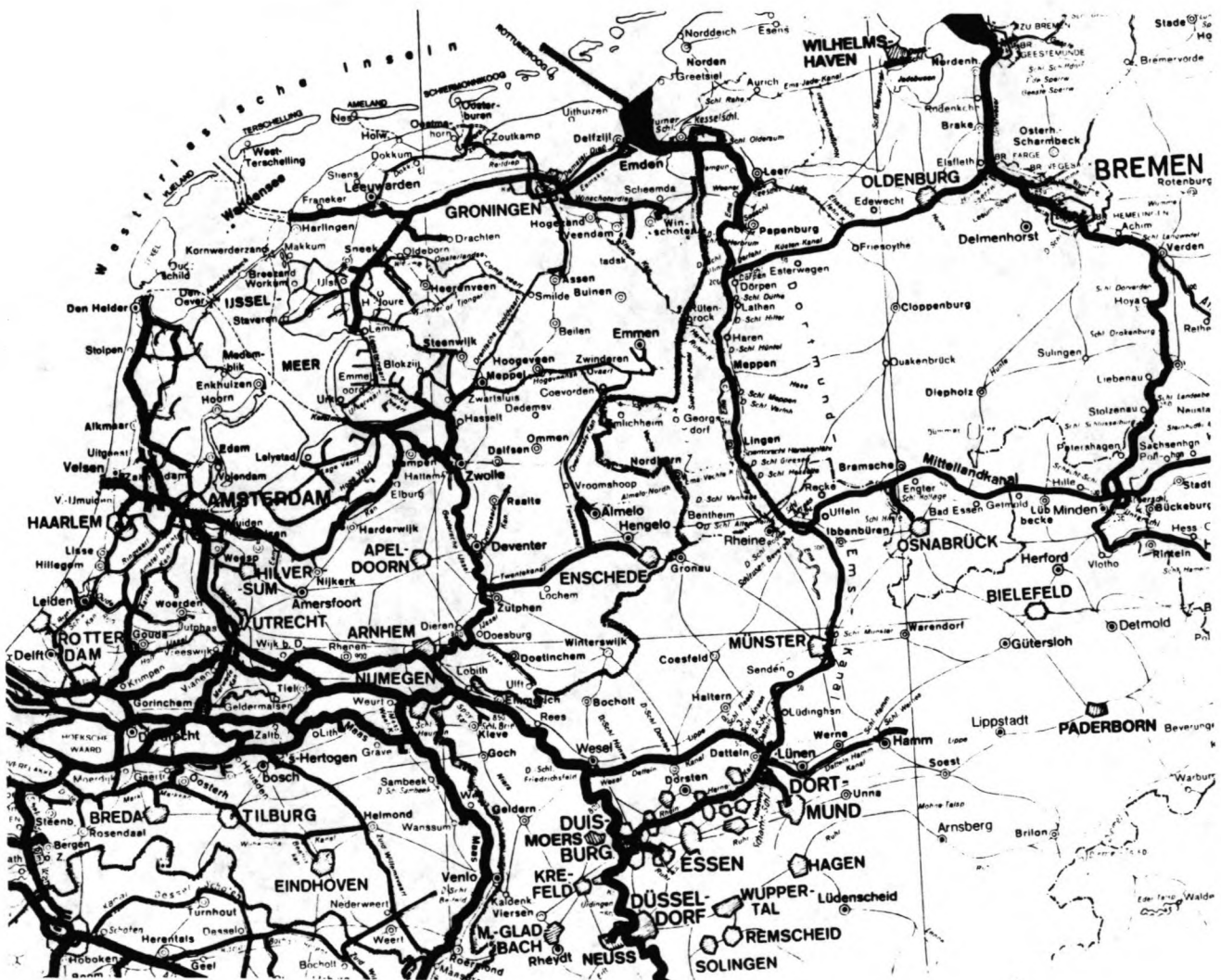
De Twenthe kanalen vormen een vaarverbinding tussen Zutphen enerzijds en Almelo en Enschede anderzijds (zie figuur 2). Afgezien van het kleinere Kanaal Almelo-De Haandrik lopen de kanalen in Twente dood. Op de kaart is echter te zien dat met name het hoofdkanaal naar Enschede en het Mittelland kanaal vrijwel elkaars verlengde liggen. Er "ontbreekt" hier een gedeelte van ca. 50 km. hemelsbreed. In het westen sluiten de kanalen aan op de IJssel waardoor Twente zowel met Amsterdam als met Rotterdam een goede vaarwegverbinding heeft. De vaarweg tussen Nederland en Oost Duitsland zou door zo'n Twenthe-Mittelland kanaal met ca. 100 km bekort worden. Tevens zou, afhankelijk van de route, het aantal sluispassages met twee á drie verminderd kunnen worden.

Zowel de binnenvaart als de regionale overheden in Nederland (zoals de Provincie Overijssel) en Duitsland staan positief ten opzichte van een Twenthe-Mittelland kanaal. Tot voor kort werd zelfs het tracé voor doortrekking van het kanaal op Nederlands

grondgebied gereserveerd. Dit tracé is echter uit de Provinciale Structuurnota verdwenen omdat men het projekt economisch niet verantwoord vond. Dit gebeurde echter op basis van oude gegevens.

Gezien de grote veranderingen in de laatste paar jaren werd er aan de juistheid van de gegevens getwijfeld. Een oriënterend onderzoek van de Dienst Verkeerskunde heeft dit bevestigd.

In de haalbaarheidsstudie is het economisch nut opnieuw onderzocht. Hierbij is rekening gehouden met de huidige stand van zaken in vervoer en techniek.



Figuur 2: Vaarwegen rond Twente

1.2. Huidige situatie

Reeds sinds enige tijd is het Duitse beleid erop gericht de vaarroute tussen het Roergebied en de Noordduitse havens te verbeteren. Hiertoe is een standaard dwarsprofiel ontwikkeld. Dit is in feite een normaal klasse IV profiel, waarop klasse V schepen worden toegelaten (zie Bijlage Dwarsprofiel). Zelfs tweebaksduwvaart wordt onder bepaalde omstandigheden toegelaten.

Door de vereniging van de beide Duitslanden zijn de in slechte toestand verkerende waterwegen in Oost Duitsland op de voorgrond getreden. Na voltooiing van het Rhein-Main-Donau kanaal zullen met name de kanalen van en naar Berlijn prioriteit krijgen. Recent is bekend geworden dat hiervoor 8 miljard DM beschikbaar komt.

Momenteel is de toestand als volgt:

- Het Wesel-Datteln kanaal is sinds 1989 verruimd en vrijgegeven voor tweebaksduwvaart. Hier is de maximum toegelaten diepgang 2,50 m en de brughoogte 5,25 m.
- Het Dortmund-Ems kanaal heeft het kleinste dwarsprofiel van de genoemde kanalen. Het profiel is gebaseerd op klasse III, hoewel met klasse IV gevaren mag worden (85 m * 9,50 m * 2,50 m). Echter ook dit kanaal zal voor tweebaksduwvaart geschikt worden gemaakt. Dit zal echter grote investeringen vergen. Gezien de grote investeringen die in Oost Duitsland gepland zijn is niet bekend wanneer hieraan wordt begonnen. Het wordt steeds minder waarschijnlijk dat de verbeteringen voor het oorspronkelijk geplande jaar 2010 klaar zullen zijn.
- Het Mittelland kanaal wordt thans verruimd tot klasse IV normaal. De werkzaamheden in West Duitsland zullen niet voor het eind van de eeuw beëindigd zijn. In Oost Duitsland komt het verbeterde kanaal waarschijnlijk beschikbaar rond 2010.
- De Twenthe kanalen zijn nu geschikt voor binnenschepen van 85 m * 9,75 m * 2,50 m, waarmee de kanalen als klasse IV vaarwegen geclassificeerd worden (1350 ton). In de praktijk worden schepen met vergunning toegelaten tot 90 m * 10 m (ca. 1500 ton). Dit is klasse V ruim.

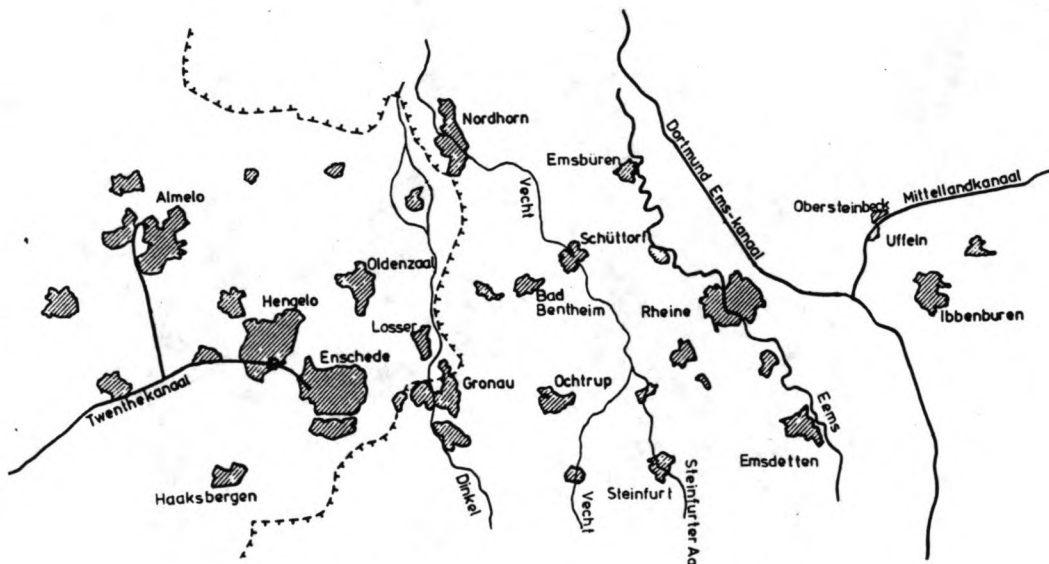
De kanalen worden echter thans verbeterd. Door verbreding van het dwarsprofiel (tot maximaal 60 m) en verdieping worden de Twenthe kanalen geschikt gemaakt voor schepen tot 2000 ton (klasse V). Door deze verbeteringen krijgen de kanalen een profiel dat vergelijkbaar is met het Duitse. Dit betekent klasse IV normaal (c.q. klasse V krap) of beter (klasse V normaal). Naar verwachting zullen de aanpassingen in 2003 klaar zijn.

De Twenthe kanalen hebben nu een belangrijke ontsluitende functie bij de grondstoffenvoorziening van de regio. Jaarlijks passeren bij Eefde ruim 13.000 schepen en ruim 4 miljoen ton. Verder hebben de kanalen een belangrijke waterhuishoudkundige functie.

De belangrijkste functie van een Twenthe-Mittelland kanaal zou zijn een doorgaande verbinding te scheppen tussen Twenthe kanalen en het Mittelland kanaal. Daarom zal zo'n kanaal niet te ver mogen liggen buiten de kortste verbindingslijn tussen de Twenthe kanalen enerzijds en het Mittelland kanaal anderzijds. Anders zou er immers nog steeds niet sprake zijn van een rechtstreekse verbinding. De grenzen van het studiegebied zijn daarom als volgt opgesteld (zie figuur 3).

- Als beginpunt van alle tracés wordt het splitsingspunt van de Twenthe kanalen genomen. Als eindpunt wordt het Mittelland kanaal bij Obersteinbeck genomen.
- De noordgrens loopt globaal over Almelo en Nordhorn naar het Dortmund-Ems kanaal ter hoogte van Emsbüren.
- Als zuidgrens wordt de lijn tussen Haaksbergen, Steinfurt, Emsdetten en het Dortmund-Ems kanaal bij Ibbenbüren genomen.

Het Duitse referentievlak is Normal Null oftewel N.N.. Dit komt vrijwel overeen met N.A.P.. In deze studie wordt daarom voor N.N. steeds N.A.P. aangehouden.



Figuur 3: Studiegebied Twenthe-Mittelland kanaal

In het studiegebied loopt het terrein op van noord naar zuid. In het noorden varieert het maaiveld van N.A.P. + 10 m bij Almelo tot N.A.P. + 30 m bij Emsbüren. In het zuiden gaat het terrein omhoog van N.A.P. + 30 m bij Haaksbergen en Enschede tot N.A.P. + 60 m bij Steinfurt. Ten zuiden van Rheine ligt het maaiveld op ongeveer N.A.P. + 40 m.

Dit hoogtepatroon wordt verstoord door de Bentheimerberg en de twee heuvelruggen in noord-zuid richting, die liggen tussen Tubbergen en Ootmarsum enerzijds en tussen Oldenzaal, Enschede en Gronau en anderzijds.

Als gevolg van dit reliëfpatroon lopen de meeste (natuurlijke) wateren van zuid naar noord. De grootste rivier in dit gebied is de Eems, gevolgd door de Vecht en de Dinkel. De Eems heeft een maximale afvoer van ongeveer 1000 m³/s, ter hoogte van Rheine. De andere twee rivieren hebben beide, ter hoogte van Bad Bentheim, een maximale afvoer van ca. 50 m³/s.

De bebouwingsdichtheid is het hoogst in het stedelijk gebied tussen Almelo en Gronau. De bebouwing is echter niet aaneengesloten. Het gebied tussen Enschede en Rheine wordt gekenmerkt door twee ketens van steden en dorpen en heeft een middelmatige bebouwingsdichtheid. De gebieden ten noorden en ten zuiden zijn vrij open met weinig bebouwing.

De aanwezige infrastructuur heeft ongeveer hetzelfde patroon.

De gebieden met hoge natuurwaarden liggen met name in het gebied tussen Tubbergen, Enschede en Nordhorn (het "Twentse landschap"). Verder zijn er een aantal beschermde gebieden zoals het Aamsveen ten zuidoosten van Enschede, het Emsdatter Venn ten westen van Emsdetten en het Gildenhauser Venn tussen Gronau en Gildenhausen.

1.3. Tracéstudie

Door de Projektgroep Twenthe-Mittelland kanaal zijn allereerst een aantal alternatieve tracés opgesteld. Het doel van de studie van de projektgroep is de haalbaarheid van een Twenthe-Mittelland kanaal te bepalen en niet een definitieve keuze voor één tracé te maken. De verschillende tracés werden dan ook bekeken op hun mogelijkheden en problemen in zoverre deze van invloed zijn op de haalbaarheid.

Voor de bepaling van het globale tracéverloop zijn door de projektgroep de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 1- Gebieden met grote hoogteverschillen worden zoveel mogelijk ontweken. Het doorkruisen van dit soort gebieden betekent óf een aantal extra kanaalpanden met bijbehorende kunstwerken ter overwinning van het verval óf een groot grondverzet voor ophogingen dan wel ingravingen. Beide consequenties brengen veel kosten met zich mee. Bovendien zijn veel kanaalpanden niet bevorderlijk voor de scheepvaart. Verder geldt als belangrijke reden voor het vermijden van deze gebieden het feit dat grote ophogingen en ingravingen (over het algemeen) ingrijpende en negatieve gevolgen voor de omgeving, en het landschap in het bijzonder, hebben.
- 2- Gebieden die aanmerkelijk hoger liggen dan de twee kanalen, waarop aangesloten moet worden, worden eveneens zoveel mogelijk ontweken. De redenen zijn gelijk aan die voor het eerste uitgangspunt. Daar waar het niet mogelijk is deze gebieden te vermijden (zoals bij Enschede) wordt voor een kanaal in ingraving gekozen. De ingraving wordt hierbij tot een minimum beperkt.
- 3- Bestaande bebouwing wordt ontweken. Hierbij is vooral getracht de gebouwen in de steden en dorpen te vermijden, aangezien dit èn extra kosten èn grote inpassingsproblemen met zich mee brengt. Tevens worden de gevolgen van zo'n ingreep in de bestaande bebouwde kom vaak als onaanvaardbaar ervaren. De aanwezigheid van een kanaal in de búúrt van bebouwing, zoals in Enschede-Zuid, wordt niet als onoverkomelijk ervaren. Gezien de globaliteit van de studie en de tracés is geen rekening gehouden met verspreid liggende bebouwing, zoals boerderijen.
- 4- Gebieden met hoge natuurwaarden worden ontweken. Een doorsnijding van een natuurgebied is tegenwoordig maatschappelijk vrijwel onaanvaardbaar, ook voor de aanleg van een milieuvriendelijk vervoersmedium als een kanaal. Aangezien de invloed van een kanaal op een in de buurt gelegen een natuurgebied niet bekend is, is hiermee geen rekening gehouden.
Doorsnijding van gebieden met hoge landschappelijke waarde is niet altijd te voorkomen, alhoewel dit wel zo veel mogelijk is geprobeerd.

- 5- Er wordt de voorkeur gegeven aan korte tracés met een zo optimaal mogelijk aantal sluizen. Dit betekent meestal een zo recht mogelijk kanaal met zo min mogelijk sluizen. Op deze manier kan de scheepvaart veiliger en sneller varen en zo maximaal profiteren van de aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal.
- 6- Indien mogelijk wordt gebruik gemaakt van de tracés van bestaande of geplande infrastructuur. Onnodige nieuwe doorsnijdingen van het gebied moeten worden voorkomen. Op deze manier kunnen de gevolgen voor natuur en landschap beperkt worden.
- 7- Plaatsen met historische waarden worden ontweken.
- 8- Er wordt geprobeerd zo min mogelijk bestaande (spoor)wegen en waterwegen te kruisen. Dit ter minimalisering van de kosten.

Bij bepaling van de haalbaarheid van een dergelijk kanaal zijn de kosten zeer belangrijk. Deze kosten worden met name bepaald door de kosten van het grondwerk en de profielbekleding en dus indirect door de hoogte van en de hoogteverschillen in het maaiveld. Vooral de mate waarin aan de eerste twee uitgangspunten is voldaan, is belangrijk. Op grond hiervan is het totale gebied ten behoeve van de tracébepaling ingedeeld in drie subgebieden. De grenzen tussen deze subgebieden worden gevormd door de in paragraaf 1.2. vermelde ketens van plaatsen. Deze ketens vallen vaak samen met de grootste hoogteverschillen in dit gebied. Binnen de subgebieden is het reliëf vrij homogeen. Dat wil zeggen dat er in het lengteprofiel weinig verschillen zijn tussen de tracés binnen één subgebied. Tussen de drie subgebieden zijn er wel duidelijke verschillen in het lengteprofiel.

De drie subgebieden zijn (zie ook figuur 3):

- Een middengebied begrensd door de plaatsen Hengelo, Oldenzaal, Bad Bentheim en Salzbergen enerzijds en de plaatsen Enschede, Gronau, Ochtrup, Wettringen en Rheine anderzijds.
Dit gebied wordt gekenmerkt door een forse heuvelrug in het westen (tot maximaal N.A.P. + 60 m) en een uitgestrekt, vrijwel vlak terrein op Duits grondgebied (ongeveer op N.A.P. + 35 m).
- Een zuidelijk gebied dat behalve door de genoemde heuvelrug door meerdere andere heuvelruggen wordt gekenmerkt, waardoor het terrein varieert tussen N.A.P. + 45 m en N.A.P. + 55 m. Naar het Dortmund-Ems kanaal toe loopt dit geleidelijk op tot ongeveer N.A.P. + 40 m.
- Een noordelijk gebied. In dit gedeelte loopt het maaiveld geleidelijk op van ongeveer N.A.P. + 10 m bij Almelo tot ongeveer N.A.P. + 35 m bij Emsbüren (c.q. Dortmund-Ems kanaal). Dit patroon wordt vrijwel niet verstoord door heuvels.

Aan de hand van de hiervoor genoemde uitgangspunten is voor elk van de subgebieden een kenmerkend hoofdtracé opgesteld. Achterin Bijlage Routebeschrijving zijn deze op een kaart ingetekend.

Naast de hoofdtracés zijn ook enkele varianten aangegeven. Deze varianten verschillen over het algemeen nauwelijks in lengteprofiel met het bijbehorende hoofdtracé. De varianten 2C en 2D zijn in feite combinaties van de hoofdtracés 1 en 2, zodat deze tracés ten opzichte van tracé 2 wel verschillen wat betreft het lengteprofiel.

De uitgangspunten zijn op bepaalde plaatsen in de tracés strijdig met elkaar. In deze gevallen is, afhankelijk van de situatie en de combinatie van strijdige uitgangspunten, voor een bepaald compromis tussen de uitgangspunten gekozen. De mate waarin al dan niet aan bepaalde uitgangspunten wordt voldaan is natuurlijk ook van belang. Hierbij moeten de tracés niet zozeer gezien worden als een vaststaande lijn maar meer als een tracéstrook. De ligging van het kanaal is binnen een bandbreedte van ongeveer 2 km niet verder bekeken.

Zoals in het begin van de paragraaf is gezegd, is de projektstudie geen tracéstudie. Niet alle (mogelijke) tracés zijn meegenomen. Gezien de beperkte tijd is dit ook niet mogelijk. Er zijn dan ook duidelijk meer tracés denkbaar. Tevens zijn de meegenomen tracés zijn niet noodzakelijkerwijs de best denkbare.

Een andere afweging van de uitgangspunten dan wel een groter nadruk op bepaalde uitgangspunten zou tot de keuze van andere tracés geleid hebben. Met name bij de tracés 1 en 3 zouden, uit het oogpunt van landschap en bundeling met bestaande infrastructuur, wellicht betere tracés mogelijk zijn. De gekozen tracés geven een vrij forse doorsnijding van nog redelijk onaangetaste landelijke gebieden. Deze gebieden vormen nu nog een eenheid. Door tracé 1 te bundelen met de spoorlijn Hengelo-Oldenzaal en de E30 aan Nederlandse zijde en tracé 3 met de E30 aan Duitse zijde, is doorsnijding van de gebieden te voorkomen. Ook is een combinatie van 1 en 3 mogelijk, zodanig dat het gehele tracé gecombineerd kan worden met dat van de genoemde spoorlijn en de E30.

Wat betreft het grondverzet zijn deze en andere alternatieven echter niet essentieel anders. Voor een haalbaarheidsstudie voegen deze extra varianten weinig toe. Daarom werden de gekozen tracés voldoende geacht.

Aangezien ik deelnam aan het projekt en mijn afstudeerwerk er tevens mee verweven is, heb ik de door de projektgroep gekozen tracés overgenomen en als gegeven beschouwd. Een complete afweging van alle tracés zal alsnog in een eventuele vervolgstudie moeten plaatsvinden.

Voor elk van de vastgestelde tracés is een verkennende studie gedaan. Hierbij is van topografische kaarten en het (ontwerp) streekplan gebruik gemaakt. De streekplankaart is bij Bijlage Routebeschrijving gevoegd. Tevens zijn gesprekken gevoerd met medewerkers van de provincie Overijssel, die bekend waren met de lokale situatie en eventuele plannen en bestemmingen met betrekking tot het studiegebied. Ook is ter plaatse een tracé-verkenning gedaan (zie Bijlage Routebeschrijving).

Aan de hand van deze studie wordt hieronder per tracé een korte beschrijving, inclusief planologische aspecten, gegeven. De gekozen kanaalpeilen worden in de volgende paragraaf onder de noemer lengteprofiel besproken (blz. 23).

De (planologische) beschrijving hieronder heeft tot doel een globale indruk te geven van de gevolgen van de aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal.

Van elk tracé worden de volgende aspecten behandeld:

- regionale (economische) ontwikkelingen
(hinder van c.q. stimulans voor geplande ontwikkelingen, inpassing in streekplan);
- natuur en milieu
(waardevolle gebieden of landschappen);
- landschap en stedenbouw
(barrièrewerking, doorsnijding van de verkaveling, versnippering van het gebied, landschappelijke en stedenbouwkundige inpassing).

Er is geen inschatting gemaakt van de gevolgen voor de lucht- en waterkwaliteit (bijvoorbeeld drinkwaterwingebieden), de landbouw, geomorfologie en de cultuur-historische archeologie. Deze zijn zeker belangrijk. Er waren echter onvoldoende gegevens voorhanden om hiervan een inschatting te geven. Tevens zijn de gevolgen voor deze aspecten waarschijnlijk te beperken door technische maatregelen. Zo wordt er bijvoorbeeld door de projectgroep van uitgegaan dat het gehele kanaal van waterdichte bekleding wordt voorzien. Hierdoor zullen de gevolgen voor de drinkwaterwingebieden minimaal zijn. Deze bekleding heeft als bijkomend voordeel dat het waterverlies gering zal zijn en er dus duidelijk minder water toegevoerd hoeft te worden.

De aspecten met betrekking tot het lengteprofiel, de (waterbouwkundige) werken en de kruisende infrastructuur worden in geld uitgedrukt en gezamenlijk besproken in de volgende paragraaf. In paragraaf 1.6. worden de planologische gevolgen en de kosten in een overzicht naast elkaar gezet.

Op de kaart achterin Bijlage Routebeschrijving zijn behalve alle tracés ook de belangrijkste plaatsen ingetekend.

Tracé 1

Dit tracé begint direkt ten oosten van de sluis bij Hengelo, waar het kanaalpeil van het bestaande kanaal op N.A.P. + 25 m ligt. Het tracé loopt naar het noordoosten en buigt om de T.U.-wijk van Enschede af naar het oosten, waarna het in een vrijwel rechte lijn door blijft lopen. Hierbij blijft het tracé ten zuiden van vliegveld Twente en ten noorden van Lonneker. Het tracé kruist hier de heuvelrug tussen Enschede en Oldenzaal, die hier tot 51 m boven N.A.P. komt. Vervolgens loopt het tracé ten noorden van Losser, ten zuiden van Bad Bentheim en de Benteimer Berg en ten zuiden van Salzbergen. Net ten oosten van Losser wordt de Dinkel gekruist. Tussen Bad Bentheim en Salzbergen wordt de Vecht en ten oosten van Salzbergen wordt de Eems gekruist.

Het gebied tussen Dinkel en Eems is een vrijwel vlak gebied op ongeveer N.A.P. + 35 m.

Tenslotte sluit het tracé ten noordoosten van Rheine aan op het Dortmund-Ems kanaal. Dit kanaal heeft hier, ten noorden van sluis Altenrheine, een kanaalpeil op N.A.P. + 34,80 m.

Hierna moet de scheepvaart nog van een gedeelte van het Dortmund-Ems kanaal gebruik maken, alvorens het bij Bevergern het Mittelland kanaal kan opvaren.

Tracé 1 geeft een goede ontsluiting voor de steden Hengelo, Enschede en Rheine, welke de meest belangrijke economische centra zijn in het studiegebied. Met name de haven van Enschede en de daarin geplande distributie- en transportlocatie komt hierdoor gunstig te liggen. De distributie- en transportlocatie in Oldenzaal-Zuid komt, in tegenstelling tot wat nu het geval is, ook min of meer aan een vaarweg te liggen.

Het tracé doorsnijdt geen enkel natuurgebied maar loopt wel vlak langs enkele. Van belang zijn het Gildenhauser Venn en 't Keienvenn die op een afstand van ca. 1 km van het tracé liggen. Het tracé snijdt echter een waardevol landelijk gebied tussen Enschede en Oldenzaal vrijwel doormidden. Het gebied vormt nu nog redelijk een eenheid waardoor de ingreep voor de natuur vrij fors is.

In het Duitse gedeelte zouden de gevolgen niet zo groot zijn. Het is voornamelijk gebied met grootschalige landbouw en produktiebos waardoor de gevolgen aanvaardbaar lijken. Verder moet nog vermeld worden dat er maatregelen genomen moeten worden om de ecologische verbindingzone te laten blijven functioneren. Deze zone loopt langs de Duits-Nederlandse grens en wordt door het kanaal gekruist.

Dit tracé wordt niet gekoppeld aan bestaande infrastructuur. Hierdoor zal er duidelijk een versnippering van het gebied optreden. In het grootschalige en vlakke gedeelte in Duitsland loopt het tracé aan de rand van het gebied. Mits het kanaalpeil op ongeveer maaiveld wordt genomen is een kanaal hier goed in te passen. In Nederland zal een diepe insnijding in de heuvelrug aldaar niet te vermijden zijn. Hierdoor zal er als het ware een

kloof in de als waardevol gekenmerkte heuvelrug ontstaan. Dit zal waarschijnlijk door de meeste mensen als een duidelijke aantasting van het landschap ervaren worden. Stedebouwkundig zijn er eventueel problemen in het gebied tussen Hengelo en Enschede. Het tracé doorsnijdt hier een gepland kantorenpark, dat gecombineerd wordt met een nieuw station. De plannen zijn echter nog in een zeer voorlopig stadium en het tracé ligt vrijwel aan de rand van het plangebied. Deze doorsnijding zal daarom waarschijnlijk in te passen zijn. Het tracé doorkruist ook het industrieterrein in Rheine-Noord. Hier lijkt echter nog voldoende ruimte aanwezig.

Tracé 1A

Het enige verschil met tracé 1 ligt in de aansluiting op het Dortmund-Ems kanaal bij Rheine. In plaats van net ten noorden van sluis Altenrheine aan te sluiten, loopt dit tracé ten westen van de wijk Altenrheine en sluit net ten zuiden van de sluis aan op het Dortmund-Ems kanaal. Hier ligt het kanaalpeil op N.A.P. + 38,40 m. Door deze aansluiting kan één sluis in het traject vermeden worden.

Door de aansluiting op een hoger kanaalpeil komt het kanaalpeil in het nieuwe kanaal, in ieder geval over een gedeelte, boven het maaiveld te liggen. Dit is nadelig voor de landschappelijke inpassing.

Tevens vormt het kanaal op deze manier een barrière tussen Rheine en Altenrheine. Deze wijk van Rheine komt als het ware op een schiereiland te liggen. Met enkele bruggen is dit euvel te compenseren.

Tracé 1B

Ook in dit geval wordt het nieuwe kanaal aangesloten op een kanaalpeil van N.A.P. + 38,40 m. Deze aansluiting geschiedt in dit geval echter noordoostelijk van Altenrheine, op vrijwel dezelfde plaats als bij tracé 1. Om deze aansluiting mogelijk te maken moet een nieuwe sluis in het Dortmund-Ems kanaal gebouwd worden, ten noorden van de huidige.

Dit tracé heeft planologisch nauwelijks extra gevolgen boven tracé 1. De landschappelijke inpassing zal, net als bij tracé 1A, moeilijker zijn dan bij tracé 1.

Tracé 1C

Dit tracé is in feite een verlengde versie van tracé 1. Het tracé loopt ten noorden van het dorp Hörstel en sluit ter hoogte van Uffeln aan op het Mittelland kanaal. Dit heeft hier een kanaalpeil op N.A.P. + 50,0 m. Het terrein loopt tussen Dortmund-Ems kanaal en

Mittelland kanaal op van N.A.P. + 35 m tot N.A.P. + 50 m, waarbij het oostelijke gedeelte het steilst is.

In de verlenging zelf is een extra sluis nodig. De drie sluizen in het Dortmund-Ems kanaal, waarvan er twee nieuw gebouwd zouden moeten worden, worden hiermee echter vermeden.

De verlenging zelf doorkruist een op zich weinig waardevol gebied, waarbij het tracé langs kavelgrenzen loopt. Er wordt echter wel een extra barrière gevormd. Het dorp Hörstel, ten oosten van Rheine, komt als het ware op een eiland te liggen.

Tracé 2

Ook dit tracé begint direkt ten oosten van sluis Hengelo. Het tracé loopt in dit geval in zuidoostelijke richting waarbij het net ten westen van het bestaande industrie- en haventerrein van Enschede blijft. Vervolgens loopt het tussen de stad en de nieuwe zuidelijke woonwijken van Enschede vlak langs het tracé van de A35.

Over dit gedeelte loopt het terrein op van N.A.P. + 22 m bij sluis Hengelo tot N.A.P. + 53 m net ten oosten van de nieuwe woonwijken (Zuid Eschmarke).

Na Zuid Eschmarke is het tracé gecombineerd met dat van de A35 en de aansluitende weg in Duitsland, de B54n. Het tracé loopt ten zuiden van Glanerbrug en Gronau naar Ochtrup. Ten oosten van Gronau en ten oosten van Ochtrup worden respectievelijk de Dinkel en de Vecht gekruist.

Vanaf Ochtrup buigt het tracé af naar het noordoosten en volgt het het tracé van de nog te bouwen B70n. De tracés lopen tussen Sankt Arnold en Neuenkirchen in en tussen Mesum en Rheine in. Bij Rheine kruist het tracé de Eems en buigt het af in oostelijke richting, waarna het net ten oosten van Bevergern aansluit op de kruising van Dortmund-Ems kanaal en Mittelland kanaal. Het kanaalpeil van deze kruising ligt op ongeveer N.A.P. + 50 m. Tussen Zuid Eschmarke en Rheine golft het landschap grotendeels tussen N.A.P. + 45 m en N.A.P. + 55 m. Na het dal van de Eems ligt een vrij vlak terrein op ongeveer N.A.P. + 40 m. Vlak voor de aansluiting met het Mittelland kanaal klimt het terrein naar N.A.P. + 50 m.

Ook dit tracé geeft een goede aansluiting voor de economische centra Hengelo-Enschede en Rheine. De distributie- en transportlocatie in Oldenzaal zal echter weinig of geen profijt hebben van zo'n tracé.

Het kanaal zou wel het uitbreidingsgebied van het industrieterrein in Enschede-West in tweeën delen. Aangezien er ook hier nog nauwelijks bebouwing staat, zal de positieve werking van het kanaal de negatieve barrière werking meer dan compenseren.

Mittelland kanaal op van N.A.P. + 35 m tot N.A.P. + 50 m, waarbij het oostelijke gedeelte het steilste is.

In de verlenging zelf is een extra sluis nodig. De drie sluizen in het Dortmund-Ems kanaal, waarvan er twee nieuw gebouwd zouden moeten worden, worden hiermee echter vermeden.

De verlenging zelf doorkruist een op zich weinig waardevol gebied, waarbij het tracé langs kavelgrenzen loopt. Er wordt echter wel een extra barrière gevormd. Het dorp Hörstel, ten oosten van Rheine, komt als het ware op een eiland te liggen.

Tracé 2

Ook dit tracé begint direct ten oosten van sluis Hengelo. Het tracé loopt in dit geval in zuidoostelijke richting waarbij het net ten westen van het bestaande industrie- en haventerrein van Enschede blijft. Vervolgens loopt het tussen de stad en de nieuwe zuidelijke woonwijken van Enschede vlak langs het tracé van de A35.

Over dit gedeelte loopt het terrein op van N.A.P. + 22 m bij sluis Hengelo tot N.A.P. + 53 m net ten oosten van de nieuwe woonwijken (Zuid Eschmarke).

Na Zuid Eschmarke is het tracé gecombineerd met dat van de A35 en de aansluitende weg in Duitsland, de B54n. Het tracé loopt ten zuiden van Glanerbrug en Gronau naar Ochtrup. Ten oosten van Gronau en ten oosten van Ochtrup worden respectievelijk de Dinkel en de Vecht gekruist.

Vanaf Ochtrup buigt het tracé af naar het noordoosten en volgt het het tracé van de nog te bouwen B70n. De tracés lopen tussen Sankt Arnold en Neuenkirchen in en tussen Mesum en Rheine in. Bij Rheine kruist het tracé de Eems en buigt het af in oostelijke richting, waarna het net ten oosten van Bevergern aansluit op de kruising van Dortmund-Ems kanaal en Mittelland kanaal. Het kanaalpeil van deze kruising ligt op N.A.P. + 50 m. Tussen Zuid Eschmarke en Rheine golft het landschap grotendeels tussen N.A.P. + 45 m en N.A.P. + 55 m. Na het dal van de Eems ligt een vrij vlak terrein op ongeveer N.A.P. + 40 m. Vlak voor de aansluiting met het Mittelland kanaal klimt het terrein naar N.A.P. + 50 m.

Ook dit tracé geeft een goede aansluiting voor de economische centra Hengelo-Enschede en Rheine. De distributie- en transportlocatie in Oldenzaal zal echter weinig of geen profijt hebben van zo'n tracé.

Het kanaal zou wel het uitbreidingsgebied van het industrie-terrein in Enschede-West in tweeën delen. Aangezien er ook hier nog nauwelijks bebouwing staat, zal de positieve werking van het kanaal de negatieve barrière werking meer dan compenseren.

Dit tracé loopt tevens langs een aantal middelgrote centra, die zo ook voordeel van een Twenthe-Mittelland kanaal kunnen hebben.

Het enige gebied met (wellicht) een grote natuurlijke waarde is het gebied van de Eems ten zuiden van Rheine. Aangezien het tracé gecombineerd is met dat van de B70n en de stadsrand van Rheine zal de schade meevallen. Door de combinatie met aanwezige dan wel geplande (grootschalige) infrastructuur zou er door een kanaal nauwelijks extra versnippering, belemmering of aantasting van de kavelstructuur optreden. Tevens zal de landschappelijke inpassing erdoor vergemakkelijkt worden. Wel zullen op enkele plaatsen redelijk grote ophogingen dan wel ingravingen moeten plaatsvinden, gezien het heuvelachtige karakter van het landschap tussen Enschede en Mesum. De toepassing van (niet te grote) ingraving zal dan de voorkeur hebben. Tussen Mesum en het Dortmund-Ems kanaal ligt een vlak en relatief open landschap. Hier is een kanaal landschappelijk alleen aanvaardbaar als het kanaalpeil niet te hoog gekozen wordt.

Als een belangrijk nadelig aspect geldt de doorsnijding van Enschede-Zuid (zie ook figuur 4). Hier loopt het tracé tussen twee bestaande woonwijken. Er was vroeger een strook gereserveerd naast de A35. Hier loopt echter nu een hoogspanningsleiding. Mits deze verplaatst dan wel ondergronds gelegd kan worden, is er een strook van ca. 80 m beschikbaar. Dit is technisch voldoende, mits de ingraving niet te groot is. Er zal wel nader bekeken moeten worden of de kleine afstand tussen kanaal en bebouwing, die dan ontstaat, aanvaardbaar is. Ook loopt het tracé op de rand van twee geplande woonwijken, één ten westen en één ten oosten van de genoemde smalle strook. Daar de gebieden niet doorsneden worden en de (waarschijnlijk) beperkte invloedssfeer van een klasse V kanaal worden hier geen grote problemen verwacht.

Het tracé loopt vlak langs de zuidelijke stadsrand van Rheine. Hier ligt echter ook een rangeerterrein van de Bundesbahn. Het tracé kruist de toevoerende spoorlijnen. Bij nadere beschouwing bleek inpassing van een kanaal hier zeer moeilijk. Verschuiving van het tracé is niet mogelijk vanwege de bebouwing van Mesum, net ten zuiden van het rangeerterrein. Dit tracé is daarom niet meer meegenomen in de verdere beschouwing. Ter hoogte van Rheine blijft dus de variant 2E over.

Tracé 2B

Hierbij loopt het tracé eerst volgens tracé 2A. Net ten westen van de nieuwe woonwijken buigt het tracé af en loopt daarna met een boog zuidelijk om de nieuwe woonwijken heen. In Zuid Eschmarke sluit het weer aan op tracé 2.

Bij dit tracé wordt de doorsnijding van Enschede-Zuid en de twee geplande woongebieden vermeden. Het tracé loopt ook hier vlak langs woonwijken, maar het is beter in te passen.

Het waardevolle gebied ten zuiden hiervan wordt echter wel (gedeeltelijk) doorlopen. Aangezien het tracé helemaal op de rand van dit gebied loopt, zullen de effecten (waarschijnlijk) gering zijn.

Tracé 2C

Tracé 2 valt samen met tracé 2 tot Zuid Eschmarke. Hier buigt het af naar het noordoosten en loopt ten noorden van Glanerbrug, ten zuiden van Losser naar tracé 1, waar het op aansluit.

Door dit tracé te kiezen wordt het hoog gelegen gebied en de bijbehorende hoogteverschillen tussen Zuid Eschmarke en Rheine vermeden. Het gedeelte tussen tracé 2 en 1 ligt, behalve bij de kruising van de Dinkel ten zuiden van Losser, tussen N.A.P. + 35 m en N.A.P. + 40 m.

Dit tracé loopt in tegenstelling tot tracé 1 aan de rand van het waardevolle gebied tussen Enschede en Oldenzaal, dat daardoor nauwelijks aangetast zou worden. Daarentegen komt het tracé vrijwel op de rand van het Gildenhauser Venn te liggen dat, zoals gezegd, beschermd is. Tevens wordt de ecologische verbindingszone doorsneden.

Het tracé doorkruist het gebied tussen Enschede en Glanerbrug. Deze twee plaatsen zijn door een nieuw industrieterrein, dat reeds wordt aangelegd, vrijwel met elkaar verbonden. Het tracé kruist het gebied daar waar het gebied het dunst bebouwd is. Dit is ter plaatse van het buurtschap Glanerveld, dat hierdoor doorsneden wordt. Bij aanleg van het kanaal zou een groot gedeelte van het buurtschap gesloopt moeten worden. Tevens is er in het streekplan sprake van uitgebreide woningbouw en verdere uitbreiding van het industrieterrein in dit gebied. Inpassing van een kanaal geeft duidelijk problemen, aangezien het tracé midden door dit gebied loopt.

De gevolgen in Duitsland komen overeen met die beschreven bij tracé 1.

Tracé 2D

Dit tracé komt overeen met tracé 2C tot aan de aansluiting met tracé 1. Hier buigt het tracé verder af naar het zuiden, kruist de Vecht ten noorden van Wettringen, loopt vlak langs de westrand van Neuenkirchen en sluit tussen Neuenkirchen en Sankt Arnold aan op het oostelijke gedeelte van tracé 2.

Ook met dit tracé wordt het hooggelegen gebied grotendeels vermeden. Het terrein ligt tussen tracé 1 en de Vecht op ongeveer N.A.P. + 40 m en stijgt tussen Vecht en aansluitpunt snel naar N.A.P. + 55 m.

De gevolgen van dit tracé zijn gelijk aan die beschreven bij tracé 2 en 2C. De ruimtelijke inpassing zal echter moeilijker zijn. Er wordt namelijk in dit geval weinig gebruik gemaakt van bestaande of geplande infrastructuur. Daarbij komt, dat dit tracé langer is dan de andere twee tracés.

Tracé 2E

Dit tracé, dat nu ter hoogte van Rheine het enige alternatief is, komt voor het overgrote gedeelte overeen met tracé 2. Vanaf Ochtrup loopt het echter rechtdoor richting oosten en buigt pas ten zuiden van Mesum af in noordoostelijke richting. Ook dit tracé sluit aan op de kruising van Dortmund-Ems kanaal en Mittelland kanaal.

Dit tracé golft tot aan de Eems, die bij Mesum gekruist wordt, tussen N.A.P. + 45 m en N.A.P. + 55 m. Daarna volgt weer het vlakke terrein op ongeveer N.A.P. + 40 m.

De gevolgen zijn ook vrijwel gelijk aan die van tracé 2. Een verschil is dat dit tracé verder van Rheine vandaan ligt. Hierdoor zal de ontsluitende werking minder zijn.

I.t.t. de vorige tracés zou het kanaal in dit geval in de buurt van het Emsdettter Venn komen te liggen (± 1 km). Gezien het karakter van een kanaal, lijkt deze afstand echter voldoende om een werkelijke invloed op dit beschermde natuurgebied te voorkomen.

Tenslotte loopt dit tracé meer door het landelijke gebied aan weerszijden van de Eems dan aan de rand ervan. Of dit grote gevolgen heeft voor de inpassing in het landschap ligt sterk aan het gekozen kanaalpeil.

Tracé 3

Dit tracé begint op het zijkanaal naar Almelo dat een kanaalpeil heeft van N.A.P. + 10 m. Het tracé loopt langs de A1 naar het noordoosten, kruist de A35 ten noorden van Zenderen en buigt bij Albergen zodanig af, dat het samenvalt met het tracé van het Kanaal Almelo-Nordhorn. Dit kanaal volgend, kruist het tracé de Dinkel ten westen van Denekamp en het omleidingskanaal ten oosten van Denekamp. Hier buigt het tracé tevens

af naar het zuidoosten. Het kruist eerst de Vecht en daarna, tussen Emsbüren en Salzbergen, de Eems. Ter hoogte van Spelle sluit het tracé tenslotte aan op het Dortmund-Ems kanaal.

Het terrein loopt heel geleidelijk op van N.A.P. + 10 m bij de zijtak naar Almelo tot N.A.P. + 35 m bij het Dortmund-Ems kanaal. Dit patroon wordt alleen ter hoogte van het dal van de Eems enigszins verstoord.

Ook bij dit tracé zal de scheepvaart gebruik moeten maken van een gedeelte van het Dortmund-Ems kanaal.

Door dit tracé zouden Enschede en Hengelo duidelijk niet op de doorgaande route komen te liggen maar op een zijtak van het kanaal. Voor Almelo zou het kanaal enigszins gunstiger komen te liggen. Dit weegt niet tegen elkaar op daar de (geplande) distributielocaties in Enschede en Oldenzaal liggen. Voor Rheine is er geen verschil. Het tracé vormt nergens een hindernis voor geplande ontwikkelingen.

Bij dit tracé wordt het kanaal gecombineerd met het Kanaal Almelo-Nordhorn. Dit laatste kanaal is kleinschalig van karakter en smal (Maximaal 26 m). Een verbreding zou de natuurlijke en cultuur-historische waarde verloren doen gaan. Aan beide zijden van het kanaal is echter over een grote lengte voldoende ruimte. Het omliggende land heeft, behalve bij Denekamp, een lage natuurlijke waarde. De aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal parallel aan het aanwezige kanaal lijkt dan ook verantwoord. Bij Denekamp doorkruist het tracé echter juist wel een waardevol gebied in lengterichting. Hier zou wel een verbreding van het Kanaal Almelo-Nordhorn het overwegen waard zijn. De ingreep blijft echter vrij fors. Het gebied ten noorden van Oldenzaal heeft trouwens als geheel ook een aanmerkelijke waarde ("Twentse Landschap"). Een grootschalig kanaal is in dit gebied hoe dan ook een verstoring.

Verder blijft het tracé minstens 1 km van het (beschermde) Syen Venn vandaan en wordt de Eems ter hoogte van de E30 gekruist. In beide gevallen zullen de gevolgen waarschijnlijk beperkt zijn.

Door de combinatie van het tracé 3 met het tracé van het Kanaal Almelo-Nordhorn en de A1, die tussen het bestaande kanaal en de A35 ligt, is de versnippering niet al te groot. De versnippering zou nog verder beperkt kunnen worden door het tracé met dat van de E30 te bundelen. Deze bundeling van infrastructuur vergemakkelijkt tevens de landschappelijke inpassing. Het kanaal grotendeels in een ingraving aanleggen heeft ook hier de voorkeur.

Stedebouwkundig zijn er nauwelijks problemen.

Tracé 3A

In plaats van een nieuw kanaal langs de A1 wordt in dit geval de hele lengte van de zijtak naar Almelo gebruikt. Vanaf Almelo wordt, door de bebouwde kom, het tracé van het kanaal naar Nordhorn gevolgd. Ter hoogte van Albergen komt dit tracé weer overeen met tracé 3.

Het Kanaal Almelo-Nordhorn is in de bebouwde kom van Almelo heel bochtig en smal. Het kanaal bleek bij de verkenning maar maximaal 20 m breed. Aangezien tevens de bebouwing dicht op het kanaal staat, betekent de noodzakelijke verbreding en recht-trekking van dit kanaal de sloop van een groot aantal gebouwen. De haalbaarheid hiervan is zeer twijfelachtig. Dit tracé wordt daarom verder niet meer meegenomen.

Tracé 3B

In plaats van dóór de bebouwde kom loopt dit tracé tussen Almelo en Aadorp door, gaat ten noorden van Almelo om de bebouwde kom heen en sluit oostelijk van Almelo aan op het kanaal naar Nordhorn.

Dit tracé loopt vrij dicht langs de bebouwde kom van Almelo. Met name bij Aadorp is de inpassing lastig, mede daar hier een uitbreiding van het industrieterrein gepland is. Ook zou een recent gebouwde sluis in het Kanaal Almelo-De Haandrik verplaatst moeten worden. Wel heeft het kanaal natuurlijk een positieve ontsluitende werking op dit industrieterrein. Aangezien de voordelen van dit tracé t.o.v. tracé 3 twijfelachtig zijn, lijkt dit tracé niet zinvol en wordt eveneens verder niet meer meegenomen.

Tracé 3C

Tot aan het Dortmund-Ems kanaal komt dit tracé overeen met tracé 3. Net als bij tracé 1C is dit tracé verlengd naar het Mittelland kanaal. Het heeft hier vrijwel hetzelfde verloop en dezelfde extra gevolgen als tracé 1C. Ook deze verlenging is meegenomen als mogelijkheid om de drie sluizen in het Dortmund-Ems kanaal te vermijden (zie ook de beschrijving bij tracé 1C).

1.4. Technische uitwerking van de tracés

Dwarsprofielen

Zoals reeds vermeld in paragraaf 1.1., worden de Westduitse kanalen op de route tussen de Benelux en Oost Duitsland verruimd. Tevens worden nu de routes naar Berlijn en Dresden aangepakt. Naar alle waarschijnlijkheid zijn deze verbeteringswerken rond het jaar 2010 gereed. Oost Duitsland is dan, in ieder geval vanaf het beginpunt van het Mittelland kanaal te Bevergern, bereikbaar voor klasse V schepen en tweebaksduwvaart. In Nederland wordt momenteel de verruiming van de Twenthe kanalen ter hand genomen. Aangezien de IJssel al geschikt is voor klasse V schepen, zal Twente in 2003 ook bereikbaar zijn voor deze schepen.

Een verbinding tussen de Twenthe kanalen en het Mittelland kanaal dient vooral als alternatief voor de bestaande verbinding via de Rijn en het Dortmund-Ems kanaal. Zo'n verbinding is vooral bedoeld als doorgaande verbinding tussen de Benelux en (met name) het noorden en oosten van het verenigde Duitsland. Het nieuwe kanaal zal daarom, globaal gesproken, voor dezelfde schepen bevaarbaar moeten zijn als de aansluitende vaarwegen. Dit betekent dus dat een Twenthe-Mittelland kanaal geschikt zal moeten zijn voor klasse V schepen.

Aangezien de bestaande verbinding op den duur voor tweebaksduwvaart geschikt wordt gemaakt, is door de Projektgroep Twenthe-Mittelland kanaal in eerste instantie overwogen ook het nieuwe kanaal voor tweebaksduwvaart te ontwerpen. Dit heeft echter niet alleen consequenties voor de nieuwbouw. De huidige sluizen in de Twenthe kanalen zijn niet geschikt om tweebaksduwstellen te schutten. Daarnaast heeft de bovenloop van de IJssel te krappe bochten om voor tweebaksduwstellen bevaarbaar te zijn. Voor de Pannerdensche Kop, die de duwstellen zouden moeten ronden, geldt hetzelfde bezwaar. Verder is de spoorbrug bij Zutphen waarschijnlijk te nauw, vooral bij hoge afvoeren. Deze Twente-route bevaarbaar maken voor tweebaksduwvaart zou dan ook grote investeringen vergen. Daarentegen geeft duwvaart weinig economisch voordeel. Dit voordeel zou naar schatting f 0,10 per kilometer per schip van 1000 ton bedragen. Dit weegt niet op tegen de benodigde investeringen. Bovendien zijn er grote landschappelijke en milieukundige bezwaren tegen een verdere normalisatie van de IJssel.

Tweebaksduwvaart lijkt daarom niet zinvol en wordt dan ook in deze studie niet meer meegenomen.

Het overgrote deel van het verkeer dat over het Twenthe-Mittelland kanaal zal varen, zal ook over het (verruimde) Mittelland varen. Het ligt voor de hand om het dwarsprofiel van dit laatste kanaal (zie Bijlage Dwarsprofiel) toe te passen voor het nieuwe kanaal. Hier

zijn echter een aantal kanttekeningen bij te plaatsen.

Ten eerste is dit Duitse klasse IV profiel geen recent ontwerp. De inzichten in Duitsland zelf zouden wel eens aan verandering onderhevig kunnen zijn. Dit schijnt al het geval te zijn met de aangehouden kruiphoogte. Hiervoor zal waarschijnlijk in de toekomst 6,40 meter aangehouden worden in plaats van de huidige 5,25 meter.

In Duitsland wordt gesteld dat klasse IV normaal overeenkomt met klasse V krap. Op grond hiervan worden dan ook klasse V schepen toegelaten op kanalen met dit dwarsprofiel. Het is de vraag of dit dwarsprofiel naar Nederlandse maatstaven voldoet. De Nederlandse normen met betrekking tot dit soort dwarsprofielen zijn over het algemeen ruimer dan de Duitse. Er zijn echter in Nederland (nog) geen normen voor klasse V dwarsprofielen en het is niet bekend wat deze zullen worden. Het is echter redelijk aan te nemen dat deze normen ongeveer overeen komen met die voor klasse I t/m IV.

Ter indicatie zijn een aantal berekeningen uitgevoerd (zie Bijlage Dwarsprofiel). Hierbij zijn de uitgangspunten voor het vaststellen van de normen voor klasse I t/m IV gehanteerd voor een klasse V vaarweg. Voor twee van de drie normen komt klasse IV normaal inderdaad overeen met klasse V krap. Voor de breedtenorm geldt dit echter niet. Het Duitse trapeziumprofiel komt dan volgens de (hypothetische) Nederlandse norm ter hoogte van de kiel 9,4 meter te kort (36,2 m in plaats van 45,6 m). De vraag of deze 9,4 m inderdaad nodig zijn valt buiten het kader van het project "Twenthe-Mittelland kanaal" en van dit afstudeerwerk. Bij de projectgroep en dit afstudeerwerk is het (minimale) Duitse profiel aangehouden (zie Bijlage Dwarsprofiel).

Gezien de functie van een Twenthe-Mittelland kanaal als een hoofdvaarweg wordt voor ruime bochtstralen gekozen. Hiertoe wordt voor de bochtstralen een minimum van 1000 m aangehouden (10 maal de scheepslengte). Bij een straal van 1000 m of meer is er namelijk geen bochtverbreding nodig. Mede gezien het globale karakter van de tracés heeft een dergelijke straal geen consequenties voor deze tracés.

De kolkafmetingen zijn in eerste instantie gesteld op $120 * 12 \text{ m}^2$. Uit berekeningen van het NEA, ten behoeve van dit project, bleek dat het aanbod aan scheepvaart zodanig hoog zou kunnen worden, dat de capaciteit van dergelijke kolken niet voldoende zou zijn. Ook een duwvaartkolk, $190 * 12 \text{ m}^2$, zou waarschijnlijk onvoldoende zijn. Er is een dubbele kolk aangehouden. Dit betekent dus 2 maal $120 * 12 \text{ m}^2$.

Lengteprofielen

Aan de hand van topografische kaarten is een hoogtekaart samengesteld. Met behulp van deze kaart is daarna van elk tracé het profiel van het maaiveld bepaald. Hierbij zijn de bekende hoogten verbonden met rechte lijnen.

Aan de hand van deze profielen en de kanaalpeilen van de aangrenzende kanalen zijn door de projectgroep de kanaalpeilen van de belangrijkste tracés bepaald. Ten behoeve van een

betere landschappelijke inpassing hebben ingravingen vaak de voorkeur gekregen boven ophogingen, ofschoon dit soms nadelig was voor de grondbalans. Ook is er, in eerste instantie, geprobeerd het aantal sluizen zo klein mogelijk te houden.

Bij een paar tracés zijn er meerdere pandindelingen voor één tracé meegenomen in de haalbaarheidsstudie. Deze alternatieve pandindelingen, met name bij tracé 2A, zijn gekozen om de mogelijkheden aan te kunnen geven. De pandindelingen worden in het vervolg als varianten aangeduid, om het verschil met de tracés aan te geven.

De gekozen pandindelingen met de kanaalpeilen zijn van de tracés weergegeven in Bijlage Lengteprofielen. De verschillende tracés zijn hierin aangegeven met een hoofdletter (bijvoorbeeld 1A). De varianten op de pandindelingen zijn niet weergegeven. De maaiveldprofielen zijn gelijk aan die van de wel weergegeven tracés. Tevens liggen de overgangen van het ene pand naar het andere op dezelfde plaats. Alleen de kanaalpeilen verschillen.

De tracés en de varianten worden hieronder beschreven en verklaard. De kanaalpeilvarianten worden aangegeven met een kleine letter (bijvoorbeeld 2a).

Gezien de beperkte tijd zijn behalve de tracés 2, 3A en 3B (zie paragraaf 1.3.) ook de tracés 2B en 2D niet meegenomen in het vervolg van deze haalbaarheidsstudie. Deze tracés lijken namelijk wat betreft ligging en lengteprofiel veel op respectievelijk tracé 2A en 2C.

Bij kanaaltracé 1 is de keuze voor de peilen grotendeels bepaald door het feit dat het maaiveldniveau over een groot gedeelte van het tracé op ongeveer N.A.P. + 35 m en het aansluitende pand van het Dortmund-Ems kanaal op N.A.P. + 34.80 m ligt. Gezien de niet al te grote lengte van de ingraving in de heuvelrug bij Enschede is er voor gekozen het hoogteverschil met het bovenpand van sluis Hengelo in één keer te overwinnen. Het gebied ten noordwesten van Lonneker (op $\pm$ N.A.P. + 40 m) lijkt uit planologische overwegingen de meeste geschikte plaats.

Aangezien bij tracé 1A het aansluitende pand in het Dortmund-Ems kanaal op N.A.P. + 38,40 m ligt, is voor het nieuwe pand dezelfde hoogte aangehouden. Bij tracé 1B is voor een tussenoplossing (met een extra sluis) gekozen voor het geval dat de ophoging, die resulteert uit de keuze bij tracé 1A, niet acceptabel is.

Bij tracé 1C wordt tot en met de kruising met het Dortmund-Ems kanaal de peilen van 1 aangehouden. Voor het extra gedeelte is er ten behoeve van de scheepvaart voor één overgang gekozen. Om de kanaaldijk niet te hoog te maken, is deze redelijk ver naar het oosten geplaatst (op N.A.P. + 44 m).

De gemiddelde hoogte van het gebied tussen Enschede en Rheine en het peil van het Dortmund-Ems kanaal ter hoogte van het aansluitpunt komen redelijk overeen (allebei ongeveer 50 m boven N.A.P.). Daarom is ook bij tracé 2 (via 2E) in eerste instantie voor één overgang gekozen en is er over het grootste gedeelte van het nieuwe pand een peil van N.A.P. + 50,30 m. Gezien de beperkte ruimte in Enschede-Zuid is deze overgang net ten oosten van de nieuwe woonwijken gekozen. Daar dit kanaalpeil op sommige plaatsen in een forse ophoging zou resulteren, is er een variant met een lager kanaalpeil meegenomen (2a).

Tracé 2A gaat van een lager peil uit, namelijk N.A.P. + 16 m. Bij dit tracé zijn er voor de kanaalpeilen enkele varianten opgesteld. Dit had tot doel de gevoeligheid van grondbalans, waterbalans en kosten voor variatie in kanaalpeil en het aantal panden te bepalen. Zo is het grond verzet geoptimaliseerd ten opzichte van het aantal sluizen. Op deze manier kan tevens, indien nodig, een inschatting gegeven worden voor de gevolgen van niet meegenomen varianten (ook van de andere twee tracés). Gezien de beperkte tijd kunnen immers niet alle varianten meegenomen worden.

Variant 2A heeft maar twee overgangen en het grootste pand op N.A.P. + 40 m, wat gunstig is voor respectievelijk de scheepvaart en de landschappelijke inpassing.

Variant 2Aa heeft het grootste pand op N.A.P. + 45 m, hetgeen gunstiger is voor de grondbalans. Tracé 2A resulteert namelijk in veel graafwerk en een groot overschot aan grond.

Bij variant 2Ab is er, mede ten behoeve van een gunstigere grondbalans, een tussenpand meegenomen. De extra overgang is uit ruimte-overwegingen net ten westen van de nieuwe woonwijken gekozen. Tevens wordt zo een nog betere inpassing mogelijk.

Tenslotte is er bij tracé 2Ac, om dezelfde redenen, zowel een tussenpand als een nog hoger peil gekozen.

Daarnaast zijn voor variant 2Aa een alternatief met een scheepslift (2AaS) en één met een spaarbekkensluis (2AaB) meegenomen. Deze alternatieven hebben, ten opzichte van 2Aa, geen gevolgen voor de grondbalans maar wel voor de waterbalans. Voor de eenvoud worden deze alternatieven (van dezelfde kanaalpeilvariant) in de volgende paragrafen ook als variant aangeduid.

Aangezien tracé 2C een combinatie is van 2 en 1, zijn ook de kanaalpeilen van 2 en 1 aangehouden. Ook hier is één overgang aangehouden, eveneens ten oosten van de nieuwe woonwijken.

Het maaiveld langs tracé 3 vertoont geen duidelijke overgangen, maar heeft over de hele lengte een lichte stijging van west naar oost. De keuze van het kanaalpeil is hier in sterke mate bepaald door enerzijds het vermijden van te grote ophogingen en anderzijds de "toelaatbare" ingravingsdiepte.

Dit heeft geresulteerd in de keuze voor 3 panden in het nieuwe gedeelte. Voor het westelijke en het oostelijke pand worden weer de kanaalpeilen van de aansluitende vaarwegen aangehouden, namelijk N.A.P. + 10 m en N.A.P. + 34,80 m. Voor het middenpand wordt N.A.P. + 20 m gekozen. De westelijke overgang wordt ter hoogte van Weerselo gekozen, waar het maaiveld 20 m boven zeeniveau ligt. De oostelijke overgang wordt ten noorden van Schüttorf genomen, met het maaiveld 30 m boven zeeniveau. Door deze keuze van peilen en overgangen is zowel in het westelijke als in het middenpand de maximale ingravingsdiepte ca. 10 m. Een ingravingsdiepte van 10 m lijkt in dit geval toelaatbaar.

Grondbalans

Na het bepalen van de kanaalpeilen is van de hierboven genoemde varianten de grondbalans bepaald.

Voor het kanaal is een trapeziumvormig dwarsprofiel aangehouden, dat aan de hand van het dwarsprofiel in Bijlage Dwarsprofiel is bepaald. De maten van dit dwarsprofiel zijn:

- bodembreedte : 29 m;
- bodemdiepte : 4,8 m beneden aangegeven kanaalpeil;
- taludhellingen : van bodem tot 1,0 m boven kanaalpeil 1:3,
van 1,0 m boven kanaalpeil tot maaiveld 1:2;
- kaden : 5 m kruinbreedte op k.p. + 2,0 m,
taludhellingen 1:2.

Vervolgens is elke variant aan de hand van de lengteprofielen ingedeeld in vakken. Elk vak wordt begrensd door twee punten met een bekende hoogte. Daarna is voor elk vak de gemiddelde hoogte van het terrein en het uit deze hoogte en het kanaalpeil volgende dwarsprofieloppervlak bepaald (ingraving dan wel ophoging). Daarna is dit oppervlak met de lengte van het vak vermenigvuldigd. Zo is voor elk vak de inhoud van de ingraving dan wel ophoging verkregen. Het voor de kanaalaanleg benodigde grondoppervlak en het oppervlak van het kanaalbed dat bekleed moet worden, zijn ook op een dergelijke manier per vak bepaald. Tenslotte zijn de gegevens voor elk variant gesommeerd, waarmee de totale hoeveelheden grond en de totale oppervlakten verkregen zijn.

Aangezien de grond in het studiegebied voornamelijk bestaat uit zand dan wel zandige grond, is gesteld dat alle af te graven grond te gebruiken is in eventuele ophogingen. Hiermee is het tekort dan wel overschot aan grond berekend. Om een indruk te geven van de grootte-orde van het kanaal en de verschillen tussen de varianten, zijn de hoeveelheden grond weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht grondbalans

Tracé c.q. variant	tracé- lengte	te ont- graven	op te hogen	hoeveelheid grond over c.q. te kort
	in m	alles in miljoenen m ³		
1	45000	21,7	0,5	21,2
1A	47500	13,8	3,4	10,4
1B	48200	22,5	0,8	21,7
1C	57000	28,4	1,1	27,3
2	60000	10,6	21,1	-10,5
2a	60000	21,3	6,9	14,4
2A	63500	47,5	1,4	46,1
2Aa	63500	29,4	6,9	22,5
2AaB	63500	29,4	6,9	22,5
2AaS	63500	29,4	6,9	22,5
2Ab	63500	21,8	7,3	14,5
2AC	63500	16,8	11,7	5,1
2C	50300	21,4	0,6	21,2
3	58200	24,8	1,9	22,9
3C	72000	21,7	4,3	17,4

Zoals in de tabel is te zien is er sprake van en grote hoeveelheden en grote verschillen tussen de tracés en de varianten. De waarden variëren van een overschot van 46 miljoen ton tot een tekort van 10 miljoen ton grond. De grote verschillen zijn mede het gevolg van het feit dat de projectgroep enkele varianten gekozen en meegenomen heeft om de mogelijkheden aan te geven. Uit de gevoeligheidsanalyse bij de tracés 2 en 2A blijkt dat niet alleen het toepassen van andere kanaalpeilen, maar ook het toepassen van één tussenpand, het overschot aan grond drastisch kan reduceren. Zo is door het toepassen van beide middelen het overschot bij variant 2Ac ten opzichte van variant 2A met bijna een factor 10 gereduceerd.

De gegevens uit de grondbalans zijn gebruikt bij de berekening van de kosten. Deze kosten worden in de volgende paragraaf besproken.

Waterbalans

Na eerst een grove inschatting gemaakt te hebben van de benodigde hoeveelheid schutwater ($\pm 5 \text{ m}^3/\text{s}$), is bekeken welke mogelijke voedingsbronnen er voor het kanaal waren. Daartoe zijn de afvoerfrequenties van de Vecht, de Eems en de Weser bekeken. Hierbij bleek de Vecht, een typische regenrivier, gedurende ongeveer 100 dagen van het (gemiddelde) jaar minder dan $5 \text{ m}^3/\text{s}$ afvoer te hebben. Een uitgangspunt is echter dat het gehele jaar door scheepvaart mogelijk moet zijn. Gezien de geschatte behoefte van het Twenthe-Mittelland kanaal, is de Vecht voor de voeding niet geschikt. De Eems heeft een grotere afvoer. Echter ook deze regenrivier heeft grote gedeelten van het jaar een kleine afvoer. De overige riviertjes in dit gebied (zoals de Dinkel) zijn kleiner dan de Vecht en zijn daarom eveneens niet geschikt.

De Weser, die buiten het studiegebied ligt is ook een regenrivier, maar heeft een beduidend grotere minimum afvoer. Er wordt nu al water uit de Weser gepompt, o.a. om het huidige Mittelland kanaal te voeden (ongeveer $17 \text{ m}^3/\text{s}$). Desondanks lijkt de minimum afvoer van $35 \text{ m}^3/\text{s}$ voldoende. Bovendien komt deze minimumafvoer slechts incidenteel voor (één maal gedurende de laatste 50 jaar). De gemiddelde afvoer is $137 \text{ m}^3/\text{s}$.

Het is ook mogelijk het water vanuit de IJssel op te pompen. Daartoe zou bij elke sluis pompen geplaatst moeten worden. Voor de kosten is niet zozeer de capaciteit maar het aantal pompen bepalend. Daar bij voeding uit de Weser maar één pompinstallatie aangebracht hoeft te worden en bij voeding uit de IJssel meerdere, heeft de projectgroep er voor gekozen het Twenthe-Mittelland kanaal geheel vanuit de Weser te voeden. Verder is men er van uitgegaan dat bestaande waterstromen onveranderd blijven. Deze zijn daarom niet in de balans meegenomen.

In eerste instantie is de projectgroep uitgegaan van een goederenstroom van ongeveer 10 miljoen ton per jaar. Bij aanname van een gemiddeld laadvermogen van 950 ton met een redelijke beladingsgraad leidt dit tot een kleine 20 schutcycli per etmaal. Een dergelijke vervoersstroom kan door één enkele sluiskolk verwerkt worden, zonder dat er te grote passeertijden ontstaan.

Door het NEA zijn berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de baten van een eventueel Twenthe-Mittelland kanaal. Hiertoe is een prognose gemaakt van de te verwachten goederenstroom door een Twenthe-Mittelland kanaal. Aan de hand van deze goederenstroom is dan de scheepvaart bepaald.

Uit de berekeningen van het NEA komt een vervoersprognose die tussen de 12 en de 21 miljoen ton per jaar ligt (voor het jaar 2030; zie paragraaf 1.5.). Wil een Twenthe-Mittelland kanaal dit vervoersaanbod kunnen verwerken, dan is één enkele sluiskolk per sluis waarschijnlijk niet meer voldoende. Uit berekeningen van de Dienst Verkeerskunde blijkt dat in geval van 16 miljoen ton bij sluis Eefde passeertijden van

enkele uren zouden ontstaan. Ook een duwvaartkolk zou in dat geval waarschijnlijk niet voldoende zijn. De projectgroep is uitgegaan van een hoeveelheid van 16 miljoen ton per jaar als gemiddelde van 12 miljoen en 21 miljoen. Daarom is men uitgegaan van 2 kolken van elk $120 \times 12 \text{ m}^2$, waarbij ongeveer 35 schutcycli van steeds één sluiskolk nodig zijn per etmaal. Hiervan is ook uitgegaan in de uiteindelijke berekening van de waterbalans.

Gezien de zandachtige ondergrond zal er bij het kanaal in ophoging zonder bekleding een zeer grote kwel naar de omgeving zijn. Het water van de Weser, dat als voeding van het kanaal gedacht wordt, is beperkt beschikbaar. In geval van een kanaal in ingraving zal er zonder bekleding een sterke verlaging van het omringende grondwater zijn. Zowel een groot kwelverlies als een sterke grondwaterontrekking is niet wenselijk. Wellicht is het water uit de Weser bij eventuele realisatie van een Twenthe-Mittelland kanaal nog steeds sterk vervuild. Eventuele indringing van deze vervuiling in de omgeving moet zeker voorkomen worden. Daar bij de meeste varianten het kanaal over grote gedeelten in ophoging dan wel ingraving ligt, heeft de projectgroep ervoor gekozen bij alle varianten het gehele kanaal als zijnde bekleed te nemen. Dit heeft geresulteerd in een aanname dat de kwel 1 liter per m^2 bedraagt, oftewel $60 \text{ m}^3/\text{km}$.

Voor verdamping is aangenomen dat deze per etmaal maximaal $450 \text{ m}^3/\text{km}$ bedraagt, hetgeen overeenkomt met respectievelijk 7,5 mm per etmaal. Deze is bij de berekening als constant kengetal gebruikt. Ook voor de waterstand op de IJssel is een constante aangenomen, namelijk N.A.P. + 3 m.

Aan de hand van het hiervoor gestelde is voor elke variant een waterbalans opgesteld om de benodigde inname uit de Weser te kunnen bepalen.

Bij de berekening zijn eerst de (mogelijke) waterstromen van en naar elk kanaalpand bepaald. Daarna zijn met behulp van de waterstromen van de kanaalpanden gekoppeld en is van elke variant het maatgevende pand bepaald. Hierbij dient de waterbalans van elk pand in evenwicht te zijn en is de spui vanuit het maatgevende pand gelijk aan 0. Zo is bij variant 2AaS het pand Eefde-Delden maatgevend, waardoor de spui bij sluis Eefde gelijk is aan 0. Rekenend vanuit het maatgevende pand zijn dan de waarden van alle waterstromen bepaald. Hiermee is een inzicht in de debieten verkregen. Deze gegevens zijn met name gebruikt om de kosten te bepalen (zie de volgende paragraaf).

In tabel 2 staat een gedeelte van deze waterstromen weergegeven. Behalve de benodigde inname uit de Weser (te Minden) is ook de resulterende spui bij de bestaande sluis te Eefde gegeven. Deze spui is zonder het schutwaterverlies te Eefde ($4,5 \text{ m}^3/\text{s}$). Het is dus de spui waarvoor extra voorzieningen, zoals spuiriolen, gemaakt moeten worden. Ook dit gegeven heeft invloed op de kosten.

Tabel 2: Overzicht waterbalans

tracé c.q. variant	inname te Minden (m ³ /s)	spui te Eefde (m ³ /s)
1	6,2	1,4
1A	8,4	3,6
1B	6,2	1,4
1C	9,5	4,7
2	15,8	10,9
2a	12,5	7,7
2A	15,0	10,1
2Aa	18,0	13,1
2AaB	7,4	2,6
2AaS	4,9	0,0
2Ab	9,5	4,6
2AC	10,7	5,8
2C	6,2	1,4
3	9,3	4,5
3C	9,5	4,6

Het blijkt dat de waterbehoefte bij de meeste varianten rond de 10 m³/s ligt, duidelijk meer dan in eerste instantie geschat werd. Bij de varianten 2, 2A en 2Aa ligt de waterbehoefte echter nog hoger (tot maximaal 18 m³/s).

Dat de waterbehoefte hoger uitvalt komt met name door het hogere scheepsaanbod en het daaruit volgende groter aantal schuttingen.

Er is in de haalbaarheidsstudie aangenomen dat het ook mogelijk is 10 m³ water uit de Weser te pompen. Dit is niet zonder meer waarschijnlijk. Enerzijds kan onttrekking van 10 m³/s uit de Weser niet toelaatbaar zijn voor de Duitse autoriteiten. Reacties op de haalbaarheidsstudie van de verantwoordelijke Duitse diensten bevestigen dit. Onttrekking van 18 m³/s, zoals bij variant 2Aa, zal zelfs waarschijnlijk ontoelaatbaar zijn. In dit geval zou er bij de minimumafvoer van 35 m³/s geen water in de Weser meer overblijven.

Anderzijds kan het opnemen van een zulke hoeveelheid sterk vervuild water uit de Weser in het Nederlandse stroomgebied wel eens onacceptabel zijn voor de waterschappen.

De watertoevoer zal in een eventuele vervolgstudie nader bekeken moeten worden. Mocht deze toevoer inderdaad problematisch zijn, dan kan het toepassen van spaarbekkens of een scheepslift een oplossing bieden. Deze alternatieven zijn meegenomen in de haalbaarheidsstudie om nu al een inschatting te kunnen geven van de voor- en nadelen.

1.5. Kostenbepaling

Een belangrijk deel van de werkzaamheden van de Projektgroep Twenthe-Mittelland kanaal bestaat uit het bepalen van de kosten voor het aanleggen van het kanaal. Hierbij zijn zowel de investeringskosten als de onderhouds- en exploitatiekosten bepaald. Tevens zijn de verschillen in de baten ingeschat om de alternatieven ook op dit punt te kunnen vergelijken. De baten voortvloeiend uit de aanleg van het kanaal zijn door NEA berekend. Tezamen met de kosten is hieruit, eveneens door het NEA, een baten-kosten analyse voor de doortrekking opgesteld.

De investeringskosten zijn opgebouwd uit de kosten voor :

- de sluizen;
- de gemalen;
- de kruisende infrastructuur;
- de grondaankoop;
- het grondwerk;
- de eigenlijke kanaalaanleg.

Voor elk van deze onderdelen zijn eerst de kale kosten ingeschat. Boven op deze kale bedragen zijn opslagpercentages verrekend voor engineering en projektmanagement, uitvoering, algemene aannemerskosten, winst en risico en onvoorziene uitgaven. Deze percentages komen in totaal neer op een toeslag van ca. 50 % van het kale bedrag.

Bij de kruisende infrastructuur is er bovendien nog een percentage berekend voor kabels en leidingen. Deze zijn namelijk in de kale kosten niet meegenomen, aangezien ze moeilijk te inventariseren zijn.

De kosten van nieuwe sluizen zijn door de projektgroep ingeschat aan de hand van kengetallen, ontleend aan recent gerealiseerde sluizen. De kosten van deze sluizen zijn grafisch uitgezet tegen het verval over de sluizen. Door intra- en extrapolatie is een verband tussen kosten en verval gevonden, waarmee de kentallen van de investeringskosten van de nieuwe sluizen zijn bepaald.

Bij sluizen in het nieuwe kanaal zijn, zoals vermeld in paragraaf 1.3., steeds twee kolken dan wel bakken genomen.

Op de route moeten schepen, naast de sluizen in het nieuwe kanaal, ook de sluizen van Eefde, Delden, Hengelo in de Twenthe kanalen, alsmede de sluizen te Altenrheine, Rodde en Bevergern in het Dortmund-Ems kanaal passeren. Voor zover relevant is er bij de kostenbepaling van uitgegaan, dat naast de bestaande sluizen steeds één nieuwe sluis gebouwd moet worden. Voor deze sluizen is een toeslagfaktor van 1,2 op de kengetallen in rekening gebracht, omdat bij de bouw rekening gehouden dient te worden met extra kosten.

Deze extra kosten komen o.a. voort uit:

- het in stand houden en laten funktionieren van bestaande infrastructuur;
- het aanpassen van de reeds bestaande geleidewerken;
- beperkte toegankelijkheid van de bouwplaats.

Het is een punt van discussie geweest (binnen de projectgroep) of de kosten voor nieuwe sluizen bij Eefde, Altenrheine, Rodde en Bevergern volledig voor rekening van dit projekt moeten komen, aangezien er al plannen voor sluizen aldaar bestaan. Er is voor gekozen bepaalde kosten wel en andere niet mee te nemen. Hierbij is uiteindelijk een verdeelsleutel gehanteerd.

De kosten voor de scheepslift (360 miljoen gulden) bij de variant 2AaS zijn gebaseerd op informatie uit Duitsland over de stichtingskosten van de scheepsliften te Henrichenburg en Lüneburg. Deze kosten zijn daarbij gecorrigeerd naar het huidige prijspeil. De kosten voor de sluis met spaarbekkens (200 miljoen gulden) bij 2AaB zijn gebaseerd op informatie, eveneens uit Duitsland, over de stichtingskosten van dergelijke sluizen bij Uelzen, Eckersmühlen en Henrichenburg.

Er dient opgemerkt te worden dat in de beschikbare gegevens een grote spreiding zit, aangezien prijzen afhankelijk zijn van de plaatselijke omstandigheden en de voorwaarden waaronder realisering heeft plaatsgevonden. Over sluizen met een klein verval zijn voldoende gegevens bekend om tot een redelijke schatting van de kosten te komen. Bij grotere vervallen zijn weinig gegevens beschikbaar, waardoor de marge in de schatting groot wordt. Dit geldt met name voor de geschatte kosten van het hefwerk en de sluis met bekkens. Zo zijn de opgegeven kosten voor het hefwerk te Henrichenburg groter dan die voor het hefwerk te Lüneburg, ondanks het feit dat het verval bij de eerste kleiner is en dat de eerste één scheepsbak heeft en de tweede twee.

Voor het bepalen van de kosten van de gemalen is er bij alle varianten van uitgegaan dat het benodigde water onttrokken zal worden aan de Weser bij Minden. Er zal daar een gemaal gerealiseerd en geëxploiteerd moeten worden, dat in de volledige behoefte van het nieuwe kanaal voorziet. Hierbij is er verondersteld dat in elk gemaal 3 pompen worden geïnstalleerd, waarvan de derde als reserve fungeert.

Evenals bij de sluizen zijn de kosten van de gemalen gebaseerd op kengetallen, op basis van nacalculatie van gemalen welke in de afgelopen decennia zijn gerealiseerd.

Uit de waterbalans volgt dat er bij diverse sluizen gespuid dient te worden. Er is aangenomen dat via de nivelleerinrichtingen van de sluizen voldoende spuicapaciteit aanwezig is. Daarom is er geen rekening gehouden met kosten voor eventuele spui-inrichtingen.

In het kader van mijn werkzaamheden zijn door mij de kosten voor de kruisende infrastructuur, grotere waterlopen uitgezonderd, afgeschat. Om te komen tot een kostenbepaling is er eerst een inventarisatie gemaakt van plaats en aantal van de kruisende infrastructuur. Dit staat beschreven in Bijlage Inventarisatie van kunstwerken. Het onderzoek is voornamelijk gedaan aan de hand van Duitse en Nederlandse topografische kaarten van het studiegebied (schaal 1:50.000). Deze informatie is aangevuld via plan- en wegenkaarten voor de toekomstige infrastructuur. Na de inventarisatie vanaf de kaart is via de eerder vermelde tracéverkenning de informatie gecontroleerd en eventueel gecorrigeerd.

Onder kruisende infrastructuur worden zowel wegen en spoorwegen verstaan als sloten, beken en rivieren. Kabels en leidingen zijn niet meegenomen in de inventarisatie, aangezien deze niet zichtbaar zijn op het gebruikte kaartmateriaal. De kosten met behulp van het kruisen van het kanaal met kabels en leidingen zijn achteraf door middel van een opslagpercentage meegenomen.

Gezien de aard en de beperktheid van de informatie is de infrastructuur ingedeeld in klassen die op het kaartmateriaal te onderscheiden zijn en ongeveer van dezelfde grootte zijn.

Vervolgens is elk tracé langsgelopen. Hierbij is tevens onderzocht bij welk soort c.q. bij welke grootte van de infrastructuur een kruising daadwerkelijk nodig is, en dus welke infrastructuur niet onderbroken dan wel omgeleid kan worden. Hierbij was niet de precieze ligging van de benodigde kruisingen van belang, maar het globale aantal benodigde kunstwerken.

Globaal gesproken blijkt dat, zowel wat betreft de wateren als de (spoor)wegen, voor de zuidelijke tracés de meeste kruisingen en voor de centrale tracés de minste kruisingen nodig zijn. De noordelijke tracés nemen een middenpositie in. Het verschil zit hierbij vooral in de kruisingen ten behoeve van kleinere infrastructuur. De oorzaken zijn voornamelijk:

- de lengte van elk tracé;
- de ligging ten opzichte van de woonkernen en de grootten daarvan;
- de ligging in al dan niet heuvelachtig terrein.

Ter bepaling van de kosten is voor de wegen en de kleinere waterlopen een gemiddelde grootte van het benodigde kunstwerk en aanvullend werk bepaald (zie Bijlage Dimensies kunstwerken). Dit lijkt gerechtvaardigd daar bij deze klassen óf de verschillen tussen de kunstwerken niet zo groot zijn óf er sprake is van een groot aantal kunstwerken in één klasse.

Bij de spoorwegen zijn de kostenverschillen tussen een tunneloplossing en een brugoplossing zodanig groot dat er per kunstwerk een afschatting is gemaakt van de aard en de grootte. Gezien de verschillen in maximum afvoer tussen de verschillende grote waterlopen, zijn ook deze apart meegenomen. Hiertoe is bij elke waterloop het benodigde

doorstroomprofiel bepaald aan de hand van bekende afvoerkrommen. Zo is er bij de Eems van een doorstroomprofiel van 500 m^2 uitgegaan. Bij een rivierafvoer van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, die 1 maal per ca. 50 jaar voorkomt, is de stroomsnelheid dan 2 m/s en bedraagt de opstuwing slechts enkele decimeters. Dit is waarschijnlijk aanvaardbaar.

Vervolgens zijn de waarden voor de kenmerkende dimensies van de kunstwerken en de aanvullende werken vastgesteld. Aan de hand van deze kengetallen en de geschatte dimensies zijn dan de kale kosten per werk en per tracé bepaald (zie Bijlage Kosten van kunstwerken).

De zuidelijke tracés komen met betrekking tot de kruisingen als duurste tevoorschijn. De kostenverschillen zijn relatief kleiner dan de verschillen in de aantallen kruisingen. Het verschil zit immers met name in de kleinere, dus goedkopere kruisingen. Verder zijn de kosten voor de kruising met de Eems, welke door elk tracé gekruist wordt, dominant. De geschatte kale kosten bedragen 100 miljoen, op een totaal van 239 á 371 miljoen.

Door de wijze van inventariseren, het afschatten van de groottes van de kunstwerken en het gebruik van kengetallen zijn ook de kosten niet exact maar indicatief.

De kosten die volgen uit de grondbalans zijn opgedeeld in de kosten voor de grond-aankoop, voor het grondwerk en de kanaalbekleding.

De kosten van de grondaankoop zijn bepaald door de uit de grondbalans verkregen oppervlakten te vermenigvuldigen met een eenheidsprijs. In deze eenheidsprijs zit de waarde van de grond zelf, het met het verlies van grond verbonden verlies aan inkomsten en de waarde van eventuele opstal.

Het grondwerk is zodanig opgesplitst in aparte bewerkingen van de grond dat voor elke bewerking een eenheidsprijs gevonden kan worden. Zo is bijvoorbeeld voor elk tracévak bekeken uit welke afgraving de grond voor een eventuele ophoging betrokken wordt.

Tevens is een plaats voor de opslag van de resterende grond gekozen, na een korte afweging tussen de mogelijkheden. Met behulp van deze gegevens zijn de transportafstanden met de daarbij behorende hoeveelheden verkregen. Hierna zijn de hoeveelheden vermenigvuldigd met de eenheidsprijs voor het transport van 1 m^3 grond over 1 km .

Hierbij is nog het verschil in prijs tussen transport over een korte afstand en transport over een lange afstand meegenomen. Andere bewerkingen zijn het graven, ophogen, verwerken en opslaan van de grondmassa's.

Om de prijs van de kanaalbekleding te kunnen bepalen is gekozen voor een laag klei, die op de taluds onder de waterspiegel aangevuld is met geotextiel, grind, stortsteen en colloïdaal beton. Deze bekleding is makkelijk toepasbaar. Verder bleek uit een grove inschatting dat de kosten van andere bekledingswijzen niet veel afwijken. De hoeveelheden van elk materiaal per strekkende meter kanaal zijn vermenigvuldigd met eenheidsprijzen. Hierin zijn de kosten voor het aanbrengen verwerkt. Ook is een inschatting gemaakt van

de kosten van twee onderhoudswegen. Aangezien er is aangenomen dat het hele kanaal bekleed wordt, zijn vervolgens de gesommeerde kosten per strekkende meter kanaal vermenigvuldigd met de totale lengte.

In Bijlage Overzicht kosten zijn de kosten per variant en per onderdeel weergegeven. De hier vermelde kosten zijn voorlopig, aangezien de haalbaarheidsstudie nog niet afgerond is. Het aandeel van de verschillende posten in de investeringskosten verschilt aanzienlijk, waarbij ook tussen de varianten duidelijke verschillen zijn. Zo bedraagt de post sluizen 256 á 505 miljoen gulden (19 á 33 % van de gesommeerde kosten), terwijl de post gemalen maar 23 á 58 miljoen gulden bedraagt (een aandeel van 1,5 á 4 %).

In tabel 3 zijn de gesommeerde kosten voor elke variant uitgezet. Alle bedragen zijn in miljoenen guldens uitgedrukt.

Naast de investeringskosten zijn ook de jaarlijkse kosten bepaald. Daarbij is rekening gehouden met de kosten voor:

- onderhoud en bediening van sluizen;
- onderhoud en energie bij gemalen;
- onderhoud van kruisingen;
- onderhoud van het kanaal zelf.

Voor de onderhoudskosten is steeds een bepaald percentage van de investeringskosten genomen. Dit percentage is bepaald aan de hand van ervaringen met reeds gebouwde kunstwerken en kanalen.

Voor de bepaling van de bedieningskosten is gerekend met continudienst en een bezetting van één persoon per sluis. Dit geldt ook voor de bestaande sluizen, welke momenteel voor ca. 50 % continu in bedrijf zijn. Verder zijn voor de energiekosten van de nieuwe sluizen, voornamelijk verlichtingskosten, de huidige energiekosten voor sluizen in de gekanaliseerde Rijn genomen.

Voor de energiekosten van het gemalen zijn de kosten opgenomen van het veronderstelde gemaal te Minden. Er is tevens rekening gehouden met een reductie in energiekosten voor bestaande gemalen, zoals bij Eefde. Aangezien het benodigde water ten gevolge van verdamping slechts marginaal is ten opzichte van de totaal benodigde hoeveelheid water, is de energiebehoefte voor de maximaal benodigde capaciteit berekend. Hierbij is men uitgegaan van een constant verval van 11,12 m. Dit komt voort uit een waterstand op de Weser van N.A.P. + 39,18 ten opzichte van een kanaalpeil van N.A.P. + 50,3 m.

Zoals eerder in deze paragraaf is vermeld, is door het NEA een prognose gemaakt van baten van aanleg. Het NEA heeft hiervoor een vervoersanalyse gemaakt. In eerste instantie zijn de huidige vervoersstromen tussen de Benelux enerzijds en Noord en Oost Duitsland en Oost Europa anderzijds onderzocht. De gegevens zijn per produktgroep en per

vervoerswijze verzameld. Daarnaast zijn potentiële bronnen voor vervoer over een Twenthe-Mittelland kanaal bekeken. Onderzocht is de mogelijke verschuiving van vervoersstromen van Hamburg en Bremen enerzijds naar Rotterdam en Antwerpen anderzijds en de wijziging van de model split tussen de Benelux en het hierboven genoemde achterland ten gunste van de binnenvaart. Tévens is bekeken of er vervoer via het kanaal ontstaat door de verbeterde ontsluiting van de regio rondom het kanaal. Vervolgens zijn prognoses opgesteld voor de van belang zijnde vervoersstromen. Gezien de grote onzekerheden die met de toekomstig groei van economie, handel en vervoer verbonden zijn, is er met twee scenario's gewerkt, een hoog en een laag. In het hoge scenario wordt van een hoge groei van economie en handel uitgegaan, in het lage van een stagnerende economie en handel. In het hoge scenario wordt de totale hoeveelheid vervoer geraamd op 16,0 miljoen ton in het jaar 2015 en 20,9 miljoen ton in 2030. De raming in het lage scenario komt duidelijk lager uit, namelijk op 9,9 miljoen ton in 2015 en 12,0 miljoen ton in 2030.

Voor beide scenario's zijn de totale financiële baten bepaald. Hiertoe zijn de vaarkosten, passeerkosten en brandstofkosten per uur bepaald. Vervolgens zijn, afhankelijk van de vervoersstroom, voor vier geselecteerde varianten (1, 1C, 2a en 3C) de besparingen in transportkosten ten opzichte van de oorspronkelijke route (via de Rijn en het Dortmund-Ems kanaal) berekend.

Om alle varianten ook op het punt van de baten te kunnen vergelijken zijn de verschillen in baten tussen de varianten globaal bepaald. Dit is met name van belang bij de optimalisatie van grondverzet ten opzichte van aantal sluizen (zie paragraaf 1.5.).

Tussen de verschillende tracés en varianten zijn er verschillen ten aanzien van de lengte en het aantal sluizen. Afhankelijk van deze verschillen zijn de verschillen in baten bepaald. Hiertoe zijn aan de hand van de gegevens van het NEA betreffende passeer- en vaarkosten per uur en de hoeveelheid scheepvaart de jaarlijkse passeerkosten per sluis op 1.000.000 gulden en de vaarkosten per km op 200.000 gulden geraamd. Hierbij is van het volgende uitgegaan:

- 16 miljoen ton lading per jaar, oftewel 16.000 scheepspassages van steeds 1000 ton. Dit is een gemiddelde van de hoge en de lage raming voor 2030.
- Passeertijden van 45 min bij elke sluis, ongeacht het verval en het sluisstype.
- Vaarsnelheden van 9 km/uur voor geladen schepen en 12 km/uur voor ongeladen schepen.

Bij de bepaling van de verschillen zijn natuurlijk de begin- en eindpunten van de varianten gelijk gekozen. De uitkomsten staan in tabel 3, in miljoenen guldens per jaar. De verschillen in baten zijn verrekend ten opzichte van de minst gunstige variant, variant 3.

De hierboven vermelde kosten zijn alleen gebruikt om de verschillen te berekenen en niet om de absolute baten te bepalen. Deze zijn voor vier voorkeurtracés op een andere wijze door het NEA bepaald.

Tabel 3: Totale kosten

tracé c.q. variant	investerings kosten	verschil t.o.v. tracé 2C	jaarlijkse kosten	verschil in baten
1	1047	20	13,6	1,2
1A	1034	7	13,8	2,2
1B	1101	74	14,3	1,2
1C	1189	162	14,6	4,2
2	1322	295	16,1	3,2
2a	1359	232	16,0	2,2
2A	1408	353	16,8	3,4
2Aa	1443	416	17,9	3,4
2AaB	1367	340	15,0	3,4
2AaS	1520	493	15,9	3,4
2Ab	1304	277	15,9	2,4
2AC	1326	299	16,3	2,4
2C	1027	0	13,4	0,2
3	1155	128	15,2	0
3C	1231	204	15,1	3,4

De varianten 1, 1A, 1B, en 2C komen als het goedkoopst naar voren. Deze tracés hebben over het algemeen bij elk van de onderdelen de laagste kosten.

De varianten 2 en 2Aa t/m 2Ac zijn het duurst. Bij deze varianten zitten de extra kosten vooral in de posten kruisende infrastructuur, grondwerk en kanaalbekleding. Bij variant 2AaS spelen tevens de als hoog geschatte kosten voor het hefwerk een rol.

De verschillen zijn absoluut genomen groot. Doordat de kosten bij alle varianten hoog zijn, zijn de verschillen relatief niet groot. Zo is het verschil tussen 1 en 2a absoluut 212 miljoen gulden. Relatief bedraagt het verschil 20 %. Dit percentage is kleiner dan dat van de geschatte onnauwkeurigheid van de kostenramingen.

Het NEA heeft aan de hand van de geraamde kosten en baten voor de vier geselecteerde varianten de baten-kosten verhouding berekend. Bij deze berekening zijn alle baten en kosten gekapitaliseerd. Geld dat nu uitgegeven wordt verliest immers, elk jaar aan waarde door rentederving. Als uitgangsjaar heeft men 1990 genomen. Een ander uitgangsjaar heeft uiteraard wel consequenties voor de gekapitaliseerde kosten en baten, echter niet voor de kosten-baten verhouding.

Bij de berekening is men er van uitgegaan het kanaal tussen de jaren 2000 en 2010 gebouwd zal worden, gezien de ervaringen met het doorlopen van bestemmingsprocedures en de bouw tijden van vergelijkbare kanalen. Voor de jaarlijkse investeringskosten (IKjaar) wordt gedurende die periode één tiende deel van de totale investeringskosten genomen.

De jaarlijkse exploitatie- en onderhoudskosten (EKjaar) en de jaarlijkse baten (Bjaar) van het kanaal worden geteld van het jaar 2010 tot 2060. Dit houdt een levensduur in van 50 jaar, hetgeen voor een civiel projekt gebruikelijk is. Bij de kapitalisatie is een reële rente van 5 % aangehouden. Dit is het officieel vastgestelde percentage waar de overheid van uit gaat bij infrastructurele projecten. De gekapitaliseerde kosten (ΣK_{kap}) zijn gelijk aan de som van de gekapitaliseerde investeringskosten en de gekapitaliseerde exploitatie- en onderhoudskosten.

Dit resulteert in de volgende formules:

$$\Sigma K_{kap} = \sum_{i=10}^{19} \frac{IK_{jaar}}{(1+r)^i} + \sum_{i=20}^{69} \frac{EK_{jaar}}{(1+r)^i}$$

$$\Sigma B_{kap} = \sum_{i=20}^{69} \frac{B_{jaar}}{(1+r)^i}$$

De baten-kosten verhouding is tenslotte gelijk aan het quotiënt van ΣB_{kap} en ΣK_{kap} , oftewel:

$$\frac{B}{K} = \frac{\Sigma B_{kap}}{\Sigma K_{kap}}$$

Voor de beschouwde varianten zijn de gekapitaliseerde resultaten (in miljoenen gulden met 1990 als basis):

Tabel 4: Kosten en baten

tracé c.q. variant	totale kosten	totale baten		baten-kosten verhouding	
		hoog	laag	hoog	laag
1	561	192	125	0,34	0,22
1C	632	230	145	0,36	0,23
2a	673	215	134	0,32	0,20
3C	654	224	133	0,34	0,20

De gekapitaliseerde investeringskosten variëren hierin van 472 tot 568 miljoen gulden en de gekapitaliseerde exploitatiekosten van 89 tot 105 miljoen gulden.

Uit de berekende baten-kosten verhoudingen blijkt dat de verschillen tussen de varianten klein zijn ten opzichte van de absolute waarde. De verschillen zijn nog kleiner dan wanneer alleen naar de kosten gekeken wordt. Bij deze varianten gaan namelijk (meestal) hogere kosten samen met hogere baten.

Tevens heeft geen van de varianten een baten-kosten verhouding boven de 1. Puur op grond van financiële kosten en baten komt het NEA dan ook tot de conclusie dat de aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal niet haalbaar is. Het is echter de vraag of het reëel is te stellen dat de baten-kosten verhouding bij dergelijk grote infrastructurele projecten gelijk of groter dan 1 moet of zelfs kan zijn. Het is mogelijk dat andere argumenten zoals de beperking van het vervoer over de weg uit milieu oogpunt, de regionale ontwikkeling en de versterking van de distributiefunctie van Rotterdam de conclusie in positieve zin beïnvloeden. Dit zal echter in een meer omvattende multicriteria analyse beantwoord dienen te worden.

1.6. Conclusies

In paragraaf 1.3. zijn de meer planologische aspecten besproken, namelijk regionale ontwikkeling, natuur en milieu en landschap en stedebouw. In deze paragraaf is geprobeerd een indruk te geven van de gevolgen van elk tracé voor de genoemde aspecten. Hieronder wordt een overzicht gegeven waarin de gevolgen zijn samengevat met een plussen en minnentabel. Tevens is tussen de varianten een verschil gemaakt indien de keuze voor een ander kanaalpeil of een andere pandindeling tot duidelijke verschillen leidt met betrekking tot de meegenomen aspecten.

Er is hierbij globaal van het volgende uitgegaan:

- Een ingraving is landschappelijk en stedebouwkundig gunstiger dan een ophoging, waarbij een kleine ingraving het gunstigst is.
- Een extra pand is gunstiger voor zowel landschap als natuur en milieu, respectievelijk omdat het kanaalpeil dan visueel beter overeenkomt met het maaiveld en omdat het benodigde oppervlak dan kleiner is.
- Het kanaalpeil en de pandindeling hebben weinig gevolgen voor het aspect regionale ontwikkeling.

In het overzicht is tevens een kwalitatieve waarde gegeven voor de kosten van elke variant. Bepaalde varianten hebben een positieve score bij de aspecten natuur + milieu en landschap + stedebouw gekregen om daarmee de verschillen tussen de tracés te kunnen weergeven. Deze positieve scores betekenen niet dat de ingreep op zich als positief gezien wordt.

De varianten 2A t/m 2AaS scoren enigszins minder op het gebied van de stedebouw dan 2, 2a, 2Ab en 2Ac. Het kanaal vormt namelijk door de lage ligging ten opzichte van het maaiveld een diepe kloof in Enschede-Zuid. Het verschil loopt op tot 20 á 25 m. Tevens is de benodigde breedte groter dan de breedte van de onbebouwde strook grond, hetgeen inpassingsproblemen kan geven. Ook zullen deze varianten 2A t/m 2AaS extra kosten met zich mee brengen. Er zullen, zelfs bij toepassing van een bakprofiel, over een grote lengte verticale wanden van 15 á 20 m nodig zijn. Deze extra kosten zijn niet verrekend.

Tabel 5: Overzicht van gevolgen

tracé c.q. variant	regionale ontwikk.	natuur + milieu	landschap + stedeb.	kosten	baten
1	+	-	-	+	-
1A	+	--	--	+	0
1B	+	-	-	+	-
1C	+	--	--	0	+
2	++	+	0	-	+
2a	++	+	+	-	0
2A	++	0	0	--	+
2Aa	++	+	0	--	+
2AaB	++	+	0	--	+
2AaS	++	+	0	--	+
2Ab	++	+	+	-	0
2AC	++	+	+	-	0
2C	+	0	-	+	--
3	0	-	-	0	--
3C	0	--	--	-	+

De verschillende aspecten zijn niet allemaal even belangrijk. In een uiteindelijke afweging van de tracés en varianten zal het ene aspect zwaarder wegen dan het andere. Het vaststellen van de gewichten van de aspecten is echter een politieke keuze. Bij deze keuze zullen alle belanghebbende maatschappelijke groepen betrokken moeten zijn. Aangezien dit noch in deze studie noch in de haalbaarheidsstudie van Rijkswaterstaat het geval is, is een dergelijke keuze niet gemaakt. Het is ook niet de bedoeling geweest tot een definitieve tracékeuze te komen, maar een indicatie te geven van de gevolgen en de haalbaarheid. De uiteindelijke tracékeuze zal moeten plaatsvinden in een eventuele vervolgstudie, waarbij wel alle belanghebbende groeperingen betrokken zijn.

Met behulp van het overzicht kunnen echter wel enkele deelconclusies getrokken worden. Als men de varianten 1, 1A, 1B en 2C vergelijkt met variant 3, dan blijkt dat variant 3 op alle gebieden gelijk of minder scoort dan de anderen. Dit blijkt eveneens te gelden voor variant 3C ten opzichte van 1C. Daarom zullen de varianten 3 en 3C, ongeacht de gewichten, niet als beste naar voren komen.

Ook bij vergelijking tussen andere varianten kunnen op deze wijze bepaalde voorkeuren uitgesproken worden. Zo komt variant 2C ten opzicht van 1 en 1B als beste naar voren, krijgt 2a een betere waardering dan 2, 2Ab en 2Ac en krijgen 2Aa, 2AaB en 2AaS een betere waardering dan 2A. In deze gevallen zijn de verschillen echter minimaal en moet een conclusie met het nodige voorbehoud genomen worden.

Een keuze tussen de overblijvende varianten is wél duidelijk afhankelijk van de gewichten voor elk aspect. Een keuze tussen de varianten 2 t/m 2Ac en de overigen is hierbij vooral een keuze tussen kosten aan de ene kant en natuur + milieu en landschap + stedenbouw aan de andere kant. De varianten 2a t/m 2Ac scoren eigenlijk op alle gebieden beter dan de anderen, behalve op het gebied van de kosten. Uit de baten-kosten analyse blijkt echter dat de relatieve verschillen kleiner zijn. Dit kostenaspect wordt over het algemeen wel als het belangrijkste ervaren. Het belang van natuurbehoud en landschappelijke inpassing moet echter niet onderschat worden. De laatste paar jaren wordt aan deze aspecten een steeds groter gewicht toegekend. De ervaring bij de uitbouw van het Mittelland kanaal leert dat weerstand bij de bevolking een dergelijk project aanzienlijk kan vertragen, zo niet tegenhouden.

In deze haalbaarheidsstudie zijn voor bepaalde belangrijke aspecten aannames gedaan. In een eventuele tracéstudie, waarin een definitieve keuze voor een tracé en variant wordt gedaan, zullen verscheidene aspecten nader onderzocht moeten worden. Er wordt voor gekozen om in de vervolgstudie van dit afstudeerwerk één van deze aspecten uit de voorstudie uit te diepen, namelijk het capaciteitsaspect bij sluizen en hefwerken met een groot verval.

Voor de passeertijden bij alle sluizen van alle varianten zijn gelijke waarden aangenomen (zie paragraaf 1.5.). Zo zijn ook de passeertijden bij een eventueel hefwerk of een eventuele schutsluis met spaarbekkens (bij variant 2Aa) gelijk gesteld aan de passeertijden bij een "standaard" schutsluis. Deze passeertijden zijn echter bovendien geschat, aangezien er in Nederland weinig ervaring is op het gebied van kunstwerken met een groot verval. Door het grote verval is wellicht een speciaal vul- en ledigstelsysteem nodig. Ook een sluis met spaarbekkens zal, in verband met deze bekkens, een speciaal vul- en ledigstelsysteem nodig hebben. Dit heeft weer gevolgen voor de schuttijd en dus de passeertijden. De "schuttijd" bij een scheepslift wordt weer door totaal andere factoren bepaald. Een grotere zekerheid kan worden verkregen door alternatieve constructies voor een specifieke geval nader te bekijken en de capaciteit te bepalen.

Daar de vervolgstudie voortbouwt op de haalbaarheidsstudie en dus op het werk van de projectgroep, is er voor gekozen een kanaalpandvariant uit de haalbaarheidsstudie te nemen. Hierbij is in eerste instantie gedacht aan de variant 2Aa. Voor deze variant zijn immers al enkele alternatieve constructies meegenomen in de projectstudie. Deze kwamen

als reële mogelijkheden naar voren. Verder komt in deze variant het grootste verval voor, namelijk 29 m. Eventuele verschillen in passeertijden tussen de mogelijke constructies komen hier het duidelijkst naar voren. Verschillen in passeertijden zijn bij deze variant belangrijker dan bij de andere varianten. Hier zal de keuze voor een bepaald type constructie de grootste invloed hebben op de waardering in een eventuele tracéstudie.

De variant 2Aa heeft echter uit stedenbouwkundig oogpunt tamelijk nadelige consequenties in Enschede-Zuid. Een gelijkwaardig alternatief zonder de stedenbouwkundige problemen heeft op zich de voorkeur. Een variant 2Ba kan als een dergelijk alternatief voor variant 2Aa dienen. Met variant 2Ba wordt tracé 2B met een kanaalpandindeling volgens 2Aa bedoeld.

Het tracé 2B is, zoals vermeld in paragraaf 1.4., vrijwel gelijk aan dat van 2A. Ook het lengteprofiel vergelijkbaar met dat van 2A, afgezien van het feit dat het tracé 1,5 km langer is. Gezien de beperkte tijd is dit tracé met name hierom niet meegenomen bij de technische uitwerking. Het tracé gaat zuidelijk om Enschede heen in plaats van er doorheen en vermijdt daarmee de problemen bij 2A (zie figuur 4). Tevens zou de ingreep niet midden in de bebouwde kom hoeven plaats te vinden. Een ander voordeel is dat er door de grotere beschikbare ruimte bij dit tracé natuurlijke taluds mogelijk zijn, hetgeen gunstig is voor de kosten.

Een nadeel is dat dit tracé op de rand van een waardevol gebied loopt ten zuidoosten van Enschede. Daar het gebied echter niet doorsneden wordt, en de huidige rand van het natuurgebied reeds tegen de bebouwde kom van Enschede aan ligt, zal het stedenbouwkundig voordeel (naar alle waarschijnlijkheid) opwegen tegen de verstoring.

Uit deze overwegingen wordt tracé 2B gunstiger geacht dan 2A en worden de alternatieve constructies bij de variant 2Ba vergeleken.

2. Uitwerking van de alternatieven

2.1. Randvoorwaarden en uitgangspunten

Aangezien deze studie voortbouwt op de voorstudie zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten (mede) gebaseerd op de gegevens en uitkomsten uit de voorstudie. Dit zijn in eerste instantie de gegevens met betrekking tot de afmetingen.

Zoals in de voorstudie is vermeld wordt het Twenthe-Mittelland kanaal als een klasse V vaarweg gedacht. Een dergelijke vaarweg dient geschikt te zijn voor motorschepen met een laadvermogen van 2000 ton. Eventueel kan een klasse V vaarweg geschikt gemaakt worden voor tweebaksduweenheden van 4000 ton die dezelfde maximale breedte en diepgang hebben. Tweebaksduwvaart geeft grote problemen op de IJssel en lijkt bovendien economisch niet interessant. Het wordt daarom niet meegenomen.

Voor het Twenthe-Mittelland kanaal is in verband met het bovenstaande gekozen voor een schip met de volgende maximale afmetingen:

- lengte = 110 m
- breedte = 11,4 m
- diepgang = 2,80 m
- kruiphoogte = 5,25 m

Hierbij wordt er voor geladen schepen een gemiddelde snelheid van 9 km/u en voor ongeladen schepen een gemiddelde snelheid van 12 km/u aangehouden. Dit geldt voor schepen varende in het kanaal zelf.

Voor de schutsluis of het hefwerk geldt dat de kolk of bak groter dan het maximale schip moet zijn. Er is immers enige speling tussen schip en constructie nodig om het in- en uitvaren en het nivelleren mogelijk te maken. Voor de minimale lengte, breedte en kruiphoogte zijn de maten uit de voorstudie aangehouden. Gezien de lage vaarsnelheid van schepen in de sluis of lift zelf, is er in vergelijking met de gewone vaarweg een kleinere minimale kielspeling in de kolk of bak noodzakelijk. Voor deze kielspeling wordt de waarden van de Werkgroep Sluizen van de Commissie Vaarwegbeheerders aangehouden (zie lit. [4]). Deze is na onderzoek tot de conclusie gekomen dat er bij een maximaal toegelaten diepgang van 2,80 m minimaal een kielspeling van 0,70 m gewenst is, oftewel een drempeldiepte van 3,5 m. Het kunstwerk in het Twenthe-Mittelland kanaal heeft minstens de volgende maten:

- lengte bak/kolk = 120 m;
- breedte bak/kolk = 12,0 m;
- drempeldiepte = 3,50 m;
- kruiphoogte = 5,25 m.

De hier vermelde waarden zijn de minimaal benodigde waarden. Er kan eventueel een ruimere kolk of bak toegepast worden.

De gemiddelde scheepsgrootte is niet eenvoudig te bepalen. Het is niet bekend welke schepen op de route zullen gaan varen. Dit is mede afhankelijk van kanaalgrootte, soort en hoeveelheid lading en de autonome ontwikkeling in de scheepsgrootten.

De Dienst Verkeerskunde heeft ten behoeve van de haalbaarheidsstudie van Rijkswaterstaat een schatting gemaakt van deze gemiddelde grootten aan de hand van enkele bestaande vaarwegen van ongeveer dezelfde grootte. Het gemiddelde laadvermogen blijkt te variëren van 840 ton bij de Maas te Maastricht tot 1030 ton bij het Amsterdam-Rijn kanaal te Wijk bij Duurstede. Het Amsterdam-Rijn kanaal is echter geschikt voor tweebaksduwvaart, hetgeen verhogend werkt op het gemiddeld laadvermogen. Het gemiddelde over alle bekeken kanalen ligt op ongeveer 950 ton. Dit lijkt een aannemelijke waarde voor een klasse V vaarweg. De beladingsgraad blijkt tussen 0,81 en 0,90 te liggen.

Er is reeds enige decenia een tendens naar een groter gemiddeld laadvermogen van de vloot. Deze tendens zal zich waarschijnlijk de komende tijd doorzetten. Het gemiddeld laadvermogen op een Twenthe-Mittelland kanaal zal dan ook hoger liggen dan 950 ton. Gezien de aard van de te verwachte lading op een Twenthe-Mittelland kanaal (bulkgoederen als erts en steenkool), heeft de projectgroep daarom een gemiddeld laadvermogen van 1500 ton aangehouden. Dit lijkt voor een kanaal waarop maximaal 2000 tons schepen worden toegelaten uitzonderlijk veel. Een waarde halverwege tussen 950 en 1500 ton is ook aannemelijk. Een ander gemiddeld laadvermogen heeft uiteraard gevolgen voor de hoeveelheid scheepvaart en daarmee voor de capaciteit bij de sluizen in een Twenthe-Mittelland kanaal. Daarom wordt er in dit afstudeerwerk voor gekozen met twee verschillende waarden te rekenen. Er wordt zowel met de waarde van 1500 ton als met een waarde van 1250 gerekend. Voor de beladingsgraad wordt 0,85 aangehouden. Deze waarde is ook door de projectgroep gekozen.

Het aantal schepen kan bepaald worden aan de hand van het verwachte ladingaanbod. Het NEA heeft een prognose opgesteld voor de ladingstromen aan de hand van twee economische scenario's, een hoog en een laag. De verwachte ladingstromen zijn weergegeven in tabel 6.

De gegevens zijn uitgesplitst naar invoer (Duitsland naar Nederland) en uitvoer (Nederland naar Duitsland). De uitvoerstromen zijn veruit dominant. De hoofdtransportrichting is dan ook van west naar oost.

Tabel 6: Verwachte ladingstromen (in 1000 ton)

	1990	2015	2030
hoog senario			
invoer	2.089	3.475	4.723
uitvoer	7.129	12.527	16.130
laag senario			
invoer	2.089	2.393	2.724
uitvoer	5.629	7.460	9.242

De levensduur wordt geschat op 50 jaar en de ingebruikname wordt gepland in het jaar 2010. In 2015 zou het kanaal dus net in gebruik zijn en zelfs in 2030 is het kanaal nog niet halverwege zijn geschatte levensduur. De verwachte ladingstromen voor 2030 lijken daarom het meest geschikt. De stromen in hoofdtransportrichting worden als maatgevend beschouwd waarbij wordt gesteld dat de retourstromen hiermee in balans zijn. Gezien de grote verschillen tussen de twee scenario's worden drie waarden meegenomen in de verdere beschouwing:

- de minimum waarde van 9,2 miljoen ton (in de hoofdtransportrichting);
- de maximum waarde van 16,1 miljoen ton;
- de gemiddelde waarde van maximum en minimum, namelijk 12,7 miljoen ton.

Het aantal schepen wordt als volgt bepaald:

- Eerst wordt het benodigde laadvermogen per jaar (Lh) bepaald door het ladingsaanbod in hoofdtransportrichting te delen door de beladingsgraad (= 0,85).
- Daarna wordt het aantal geladen schepen in de hoofdrichting wordt bepaald door het hiervoor verkregen laadvermogen te delen door het gemiddelde laadvermogen per schip (Tgem).
- Het totale aantal schepen in hoofdrichting per jaar (Ihj) wordt tenslotte verkregen door nog rekening te houden met de leegvaartfaktor in deze richting. De leegvaartfaktor is afhankelijk van de onbalans in de goederenstromen heen en terug. Naarmate deze onbalans groter is zullen er minder schepen leeg varen in de hoofdrichting. Bij het kanaal wordt een grote onbalans verwacht (zie tabel 6: ca. 75 % van totale goederenstroom in één richting t.o.v. 25 % retour).

Mede aan de hand van gegevens van bestaande kanalen (door DVK verzameld) wordt de leegvaartfaktor in hoofdrichting op 10 % geraamd).

Het totaal aantal schepen in hoofdtransportrichting (per jaar) is in formulevorm:

$$I_{hj} = \frac{1,1 * L_h}{0,85 * T_{gem}}$$

Het totale aantal schepen in beide richtingen is twee maal de waarde voor I_{hj} . Dit is per week:

$$I_w = \frac{2 * 1,1 * L_h}{52 * 0,85 * T_{gem}} = \frac{0,05 * L_h}{T_{gem}}$$

Dit resulteert in de volgende (afgeronde) aantallen schepen per week:

Tabel 7 : Verwachte verkeersstromen

Lading in hoofdrichting	Tgem = 1250 ton	Tgem = 1500 ton
9,2 milj. ton	370	310
12,7 milj. ton	510	420
16,1 milj. ton	640	540

2.2. Ligging van het kunstwerk

De overgang van het ene kanaalpeil naar het andere, en daarmee de ligging van het kunstwerk, wordt grotendeels bepaald door het relief. Dit komt in de eerste plaats doordat de kanaalpeilen, en dus de overgang, de grondbalans bepalen. Het is het gunstigst de overgang ter hoogte van een abrupte stijging van het maaiveld te plaatsen. Loopt het terrein geleidelijk op, dan wordt de overgang zodanig geplaatst dat de te ontgraven grond zoveel mogelijk gebruikt kan worden in de ophoging. Hierbij komt, door het benodigde vaarprofiel, bij een ingraving meer grond vrij dan er in een even grote ophoging nodig is. Als gevolg hiervan is het het beste het kanaal vóór een groot gedeelte in ophoging te leggen.

Voor de visuele inpassing van het kanaal is een ingraving juist beter. Aangezien het tracé vlak langs de bebouwde kom van Enschede loopt, is een goede landschappelijk inpassing belangrijk. Een dijklichaam wordt dan meestal als een verstoring ervaren. Een ophoging van rond de 10 m lijkt echter wel acceptabel. Het kanaal zou dan nog beneden de meeste boomtoppen blijven.

Een ander aspect bij een ingraving dan wel ophoging is het benodigde oppervlak. Des te groter het verschil tussen kanaalpeil en maaiveld, des te meer ruimte vergt het kanaal. Dit beïnvloed niet alleen de kosten maar ook de mate van aantasting van een bepaald (waardevol) gebied. Het benodigde ruimtebeslag moet natuurlijk ook planologisch inpasbaar zijn. Met betrekking tot het ruimtebeslag is de overgang het best te plaatsen midden tussen de plekken waar het terrein en de kanaalpeilen gelijk zijn. Hiermee zullen de maximale ingraving en ophoging, en daarmee het ruimtebeslag, zo klein mogelijk blijven. Los van de hoogteverschillen speelt de planologische inpassing ook bij de voorhavens van het kunstwerk. Deze kunnen een fors oppervlak beslaan. Deze voorhavens worden vaak tevens gekenmerkt door een wat grotere milieuvervuiling. Dit hangt samen met het feit dat schepen in zo'n haven moeten wachten en manoevreren. Eventueel wordt er ook geladen of gelost. Er is in ieder geval een grotere scheepsdichtheid dan in de rest van het kanaal. Het kunstwerk, met voorhavens, kan hierom beter niet in een kwetsbaar gebied aangelegd worden.

Het gebied loopt geleidelijk op van N.A.P. + 25 m bij Boekelo naar N.A.P. + 50 m bij Zuid Eschmarke (zie Bijlage Ligging van het kunstwerk). Het terrein loopt in het oostelijke gedeelte steiler op dan in het westen, maar er zijn nergens abrupte overgangen. Het tracé loopt zoals gezegd langs twee woonwijken in Enschede-Zuid, namelijk Wesselerbrink en Stroinkslanden. Ten westen van Wesselerbrink loopt het tracé tevens langs het dorp Usselo en kruist hier de A35 en de N18. Net ten zuiden van het tracé liggen het buurtschap Broekheurne en een zuiveringsinstallatie (Z.I.).

De stadsrand van Enschede heeft een lobbenstructuur, waardoor de afstand tussen deze rand en het tracé varieert van ± 100 m. tot 500 m.

Het gebied ten westen van Broekheurne heeft geen grote natuurwaarde. Het gebied ten oosten van Broekheurne wordt wel geclassificeerd als waardevol (zie de kaart "Ontwerp Streekplan Twente"). Dit gebied omvat de waardevolle landgoederen Groot Brunnink en Smalenbroek.

Vanwege de grondbalans en het ruimtebeslag zal een overgang in kanaalpeil moeten komen te liggen tussen Boekelo en Stroinkslanden. Ideaal zou een ligging ter hoogte van Usselo zijn, waar het maaiveld op ongeveer N.A.P. + 30 m ligt, midden tussen N.A.P. + 16 m en N.A.P. + 45 m in. Uit oogpunt van landschappelijke inpassing mag de ophoging eigenlijk niet hoger dan 10 m zijn. Dit houdt in dat de overgang ten oosten van Broekheurne moet komen te liggen. Een kunstwerk, met voorhavens, zou hier echter ten koste gaan van het waardevolle gebied. Verder speelt mee dat ter hoogte van de zuiveringsinstallatie weinig ruimte beschikbaar is voor de aanleg van voorhavens.

Net ten westen van Broekheurne en ten oosten van de zuiveringsinstallatie ligt het terrein tussen N.A.P. + 33 m N.A.P. + 37 m, waardoor de gevolgen voor de grondbalans aanvaardbaar zijn (zie Bijlage Ligging van het kunstwerk). De ophoging komt bij het kunstwerk ca. 12 m boven het maaiveld uit, hetgeen ook niet te veel lijkt (kanaalpeil - maaiveld + overhoogte = $45 - 35 + 2 = 12$ m). Tussen de zuiveringsinstallatie en Broekheurne is, mede door de lobbenstructuur, wel voldoende ruimte aanwezig. Een ligging hier lijkt dan ook het beste en is daarom ook gekozen.

De precieze inpassing is mede afhankelijk van de afmetingen van de voorhavens. Deze worden in paragraaf 2.4. behandeld. M.b.v. de afmetingen uit deze paragraaf is het gehele complex ingepast in Enschede-Zuid.

2.3. Vormgeving van de kunstwerken

Constructietypen

In deze vervolgstudie worden de in de planologische inleiding behandelde constructietypen meegenomen, namelijk:

- de "gewone" schutsluis, zonder waterbesparende voorzieningen;
- de schutsluis met spaarbekkens;
- de scheepslift met een verticaal bewegende bak.

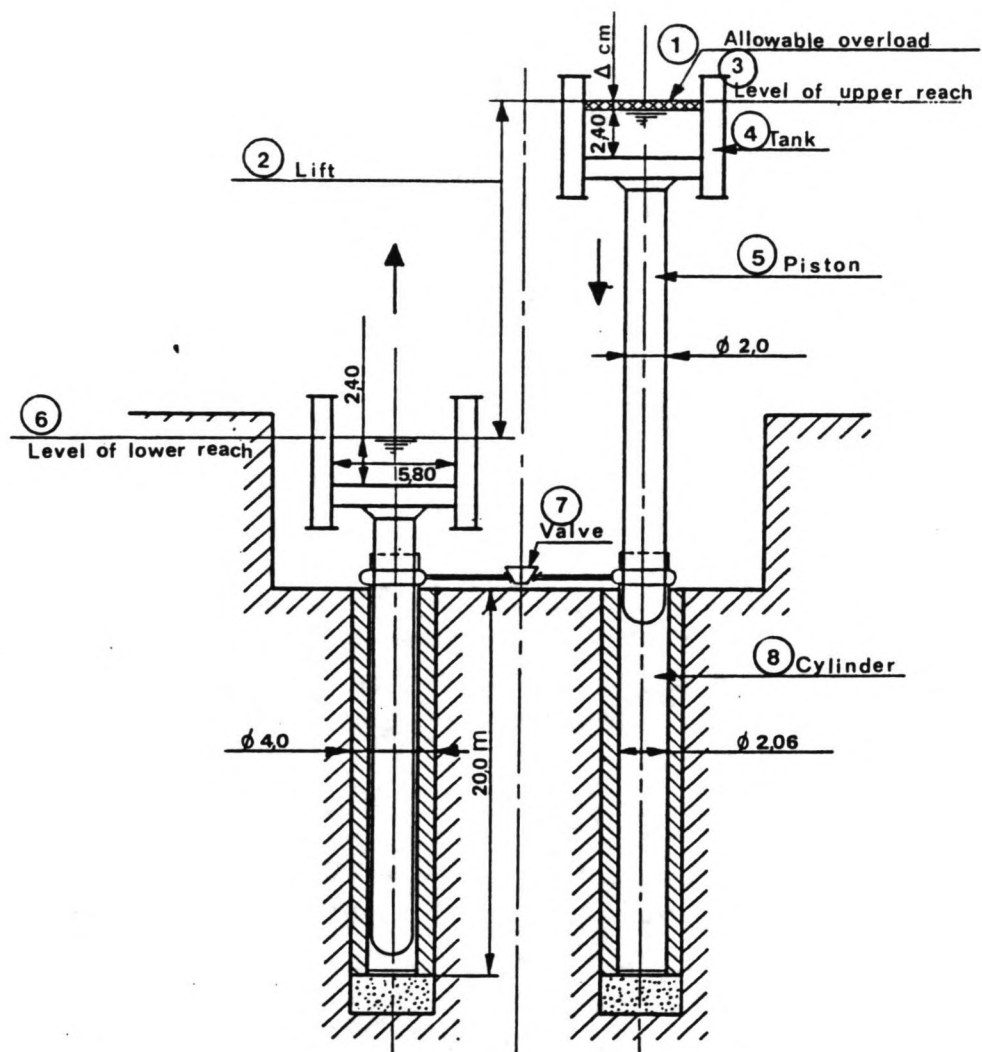
Andere mogelijke constructietypen zijn het hellend vlak, met longitudinale of transversale helling. Hierbij wordt een bak op wielen over een hellende baan op en neer gereden. Deze constructies zijn vooral geschikt als het verval zeer groot is (50 à 100 m). In zo'n geval kunnen er problemen zijn met de fundering en de technische uitvoering van een lift. Het verval is te Enschede echter niet zodanig groot dat een hellend vlak (daardoor) constructief eenvoudiger is.

Een ander mogelijk voordeel voor een hellend vlak is een goede landschappelijke inpassing. Een lift of schutsluis maken vaak grote dammen, aquaducten of ingravingen noodzakelijk. Mits de terreinhelling geschikt is kan dit bij een hellend vlak (grotendeels) voorkomen worden. Bij Enschede is de helling in het terrein zo gering dat ook dit voordeel hier vervalst. Tevens zou de lengte van de constructie de planologische inpassing bemoeilijken.

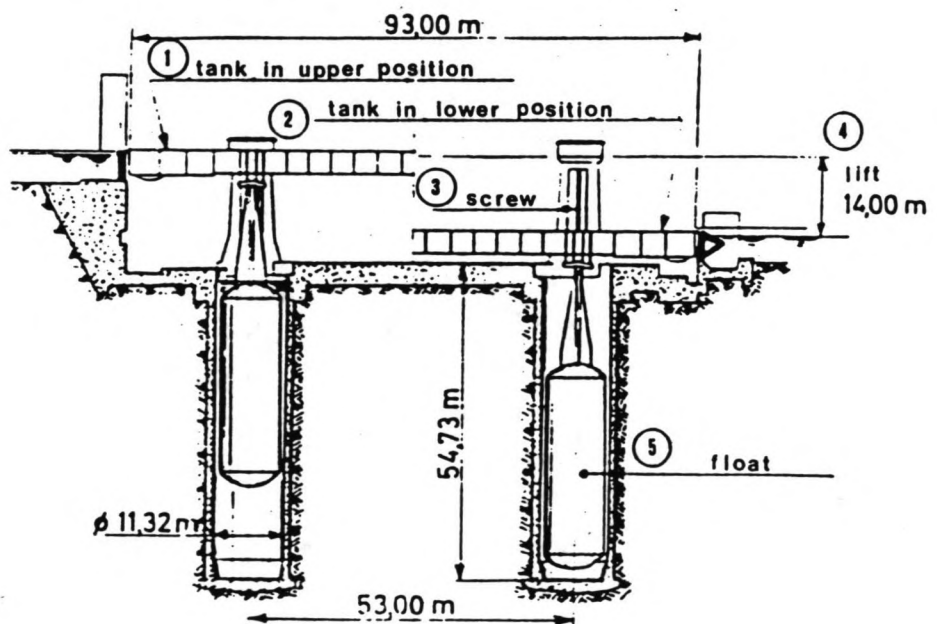
Een ander mogelijk constructietype is de "waterschuif" oftewel pente d'eau. Hierbij wordt een hoeveelheid water met een grote schuif door een goot voortgestuwd. Het is een typisch Frans produkt en er is (in Nederland) over dit type weinig informatie beschikbaar. Door de beperkte tijd konden niet alle alternatieven bekeken worden. Vanwege de genoemde nadelen zijn het hellend vlak en de pente d'eau niet meegenomen in deze studie.

Voor de scheepslift zijn er drie varianten, namelijk:

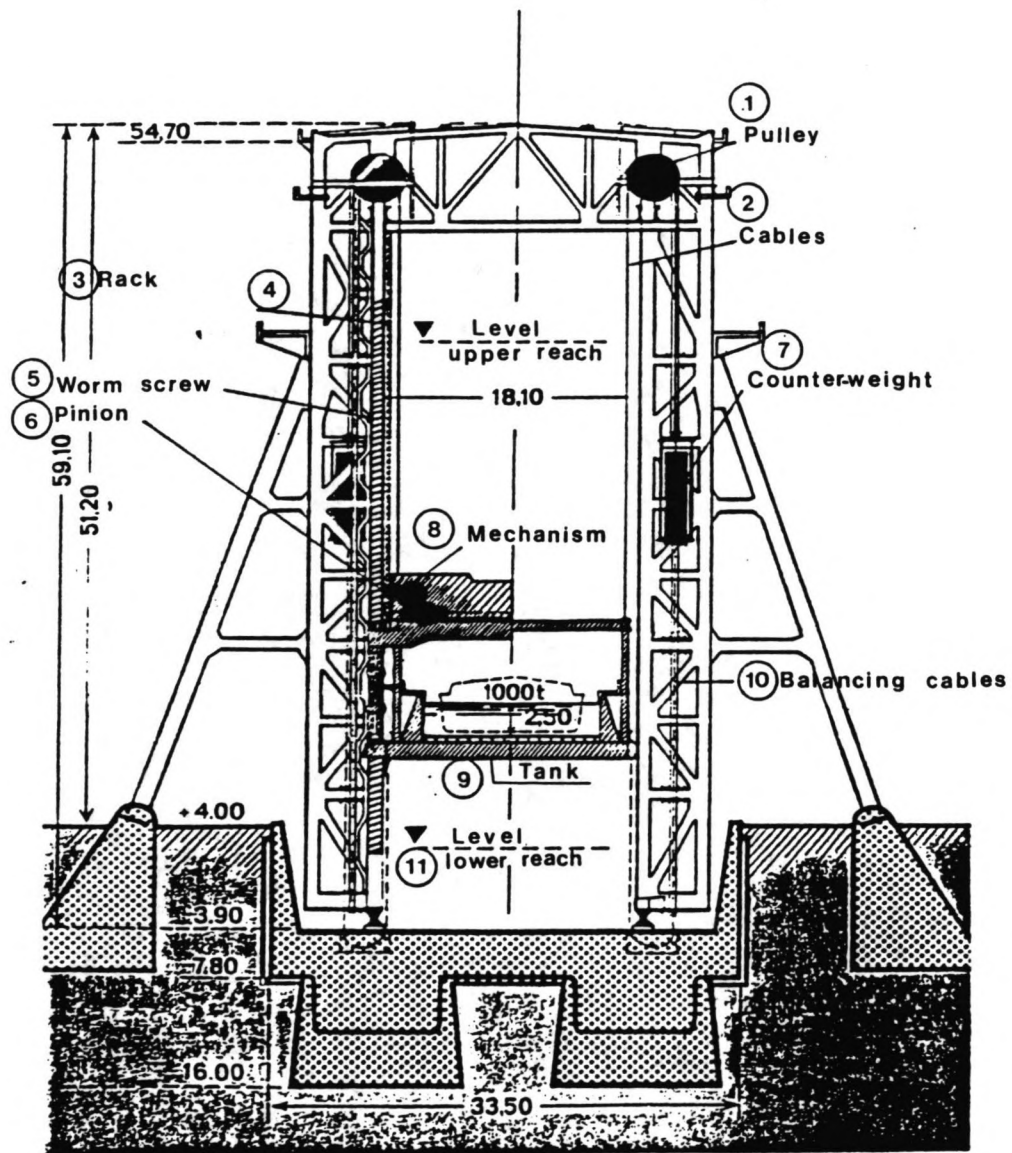
- De hydraulische lift, waarbij twee met water gevulde bakken ondersteund worden door zuigers, die in waterdichte cilinders glijden. De cilinders staan door middel van een leiding in verbinding met elkaar (zie figuur 5).
- De drijflift, waarbij één of twee bakken ondersteund worden door drijflichamen in met water gevulde kokers. Deze kokers staan, in tegenstelling tot de cilinders bij de hydraulische lift, in verbinding met de kanaalpanden aan weerszijden van de lift (zie figuur 6).
- De zogenaamde funiculaire lift, dat wil zeggen een lift die hangt aan kabels en waarbij het gewicht van de bak (gedeeltelijk) gecompenseerd wordt door contragewichten (zie figuur 7).



Figuur 5: Doorsnede hydraulische lift



Figuur 6: Aanzicht van lift met drijvers



Figuur 7: Doorsnede funiculaire lift

De eerste twee typen werken met een met water gevulde koker of cilinder. Daardoor geven deze lifttypes bij grotere vervallen (> 20 m) problemen met betrekking tot de druk in de koker (zie lit. [6]). Verder zijn er geen recente gegevens bekend over deze liften, aangezien de laatste hydraulische lift in 1917 gebouwd is (in Thieu) en de laatste drijflift in 1962 (te Henrichenburg).

De lift met contra-gewichten is het eenvoudigste type. Over dit type is meer bekend, mede doordat de twee meest recente scheepsliften van dit type zijn. De lift van Lüneburg is in 1975 in gebruik genomen en voldoet goed. Die van Strépy-Thieu is nog in aanbouw. Gezien de vervallen van respectievelijk 38 m en 73 m zal het verval in Enschede-Zuid (van 29 m) voor een kabellift ook geen probleem zijn.

Voor de scheepslift wordt daarom de lift met contra-gewichten genomen. De twee andere typen worden niet verder behandeld.

Om de alternatieven te kunnen vergelijken op capaciteit dienen er bepaalde aspecten eerst nader uitgewerkt te worden, namelijk:

- de afmetingen van de kolk;
- de keuze van de sluisdeuren;
- de keuze van het vul- en ledigstelsel bij de schutsluizen.

Al deze aspecten beïnvloeden de snelheid waarmee het schutproces kan verlopen. Het eerste aspect bepaald bovendien het aantal schepen dat met elke schutting mee kan.

Afmetingen van de kolk of bak

In paragraaf 2.1. zijn reeds de minimaal benodigde waarden voor de grootte van de kolk of bak vermeld. Er kan eventueel een ruimere kolk (of bak) toegepast worden. Dit zou een positief effect hebben op in- en uitvaartijden en waarschijnlijk een kleiner negatief effect op de schuttijd. De capaciteit kan hierdoor toenemen.

Een bezwaar van een grotere lengte of breedte is het extra verlies aan schutwater. Gezien het grote verval en de beperkte mogelijkheden voor voeding is dat in het geval van een Twente-Mittelland kanaal een belangrijk bezwaar.

Een grotere drempeldiepte heeft dit bezwaar niet. Het voordeel bij de in- en uitvaartijden is wel aanwezig, zij het in mindere mate dan bij een net zo grote verbreding van de doorvaartruimte.

Bij de drempeldiepte speelt nog iets anders een rol. Het aandeel van schepen met de maximum diepgang zal in het Twente-Mittelland kanaal hoog zijn. Bij de norm voor de drempeldiepte houdt hier geen rekening mee gehouden. Ook zullen er veel schepen zijn die dieper kunnen laden. Tegenwoordig gebouwde klasse V schepen hebben over het algemeen een diepgang van meer dan 3,0 m.

In een Twenthe-Mittelland kanaal zullen dus schepen zijn die een grotere diepgang hebben dan de maximaal toegestane van 2,8 m. Bij een diepte van 3,5 m steekt de drempel 0,5 m boven de kanaalbodem uit. Als een schip te diep ligt zal het juist in de kolk of bak aan de grond lopen. Dit zal al gauw tot grote schade leiden. Tevens zal de sluis voor enige tijd gestremd worden, hetgeen veel oponthoud zal geven. Gezien het grote aantal grote schepen dat op het kanaal te verwachten is, lijkt een enigzins grotere drempeldiepte raadzaam. Door een diepte van 4,0 m te kiezen wordt dit stremmingsrisico in ieder geval duidelijk minder.

Deze diepte moet bij een sluis zonder meer uitgevoerd kunnen worden. Bij het toepassen van een hefwerk zijn er echter beperkingen ten aanzien van maximale gewicht dat geheven kan worden. Deze beperkingen zijn niet bekend. De grootste tot nu toegepaste liftbakken zijn die van de lift te Strépy-Thieu. Deze zijn ca. $116 * 12 * 4 \text{ m}^3$ groot (binnenmaten). De maten van de bakken bij de lift te Lüneburg zijn niet veel kleiner. Een bak van ter grootte van $120 * 12 * 4,0 \text{ m}^3$ zou dus haalbaar moeten zijn. Van een duidelijk grotere bak is de haalbaarheid echter twijfelachtig. Daarom wordt de hierboven genoemde grootte aangehouden.

Ter beperking van het schutwaterverlies wordt in eerste instantie ook voor de schutsluizen uitgegaan van een kolk met deze afmetingen. Op deze wijze kunnen sluizen en lift ook beter vergeleken worden.

De afmetingen gelden zowel voor een enkele kolk of bak als voor een complex met een dubbele kolk of bak.

Na berekening van de capaciteiten zal bekeken worden of de keuze terecht was. Dan zal ook het effect van een grotere kolk beter ingeschat kunnen worden.

Keuze deuren

In Nederland zijn drie gangbare deurtypen, namelijk:

- Puntdeuren, waarbij steeds twee deuren de kolk afsluiten. Het openen en sluiten vindt plaats door draaiing om een verticale as in de kolkwand.
- De hefdeur. Het openen gebeurt door het verticaal heffen van de deur tussen twee heftorens tot deze voldoende hoog boven het sluishoofd hangt.
- De roldeur. Deze wordt horizontaal in en uit een deurkas (naast de kolk) gerold.

Er zijn ook nog andere deurtypen. Voorbeelden zijn de segmentdeur en de zogenaamde zinkdeur. Bij het eerste type draait de deur om een horizontale as. Bij het tweede type opent men de deur door deze verticaal in de drempel te laten zakken. Dit type wordt met name in Duitsland veel toegepast.

In Nederland is er echter weinig ervaring met deze deuren opgedaan. Mede daarom is er over deze in Nederland ongewone typen weinig informatie beschikbaar, met name wat de openings- en sluitingstijden betreft. Aangezien dit afstudeerwerk vooral een capaciteitsafweging van de kunstwerken betreft, wordt de keuze beperkt tot de eerstgenoemde drie. Voor de afsluiting van het bovenhoofd van de schutsluizen wordt gekozen voor puntdeuren. Deze zijn het eenvoudigst en het goedkoopst. Dit komt vooral doordat de (draag)constructie bij de andere deurtypen uitgebreider is. Een roldeur heeft een lange deurkas nodig naast de schutkolk. Deze zou 10 à 15 m boven het bestaande maaiveld gebouwd moeten worden. Dit zou een (dure) extra draagconstructie vergen, naast het gewone sluishoofd. Bij een hefdeur zijn twee heftorens bovenop het hoofd nodig. Behalve de kosten is waarschijnlijk ook het visuele ruimtebeslag een nadeel. De torens zouden immers nog ca. 10 m boven de al hoge sluis uitsteken en daarmee de omgeving domineren.

De belangrijkste nadelen van puntdeuren zijn het maar eenzijdig kunnen keren en de lekkage via de deur. Het eerste punt speelt hier geen rol. Het betreft hier namelijk een kanaal waarbij het benedenpand veel lager ligt. De deur zal altijd maar eenzijdig hoeven te keren. Het grootste bezwaar van deurlekkage is het ongemak voor de schippers in de kolk. Zij ondervinden hinder van een dergelijke "regenbui". Door middel van zogenaamde harren aan de deuren kan dit nadeel verholpen worden. De harren zijn flexibele rubberen lappen die op toekomstige lekwegen gemonteerd worden. Deze lekwegen zijn de spleten tussen de deuren onderling en tussen de deuren en de kolkwanden. De harren zorgen ervoor dat de lek verminderd en dat het water in ieder geval niet de kolk in spuit. Bij het benedenhoofd ligt een hefdeur voor de hand. Hier geldt het bezwaar van de visuele hinder niet. Een hefdeur kan geheel achter de schachtmuur gemonteerd worden zodat de deur zelfs (van buiten af) niet meer zichtbaar is. Tevens kunnen de kolkwanden benut worden om de geheven deur te dragen. De kolkwanden zouden dan wel iets zwaarder uitgevoerd moeten worden en er zouden voorzieningen tegen het aanvaren moeten komen. Op zich zijn puntdeuren of een roldeur hier ook mogelijk. Beide typen geven problemen met de waterdichtheid. Dit komt vooral door de grote waterdruk bij een gevulde kolk. Tevens is de aansluiting op de schachtmuur lastig.

In Duitsland zijn veel schachtluizen toegepast. Naar hun ervaring voldoen bij het benedenhoofd hefdeuren het beste (zie lit. [6]).

De deuren bij een scheepslift dienen steeds dubbel uitgevoerd te worden. Zowel het kanaalpand als de bak moeten immers afgesloten worden. Dit gecombineerd met de beperkte ruimte en de constructieve mogelijkheden aan en in de liftbak heeft bij liften er vrijwel altijd toe geleid dat men hefdeuren heeft toegepast. Roldeuren en puntdeuren lenen zich (naar alle waarschijnlijkheid) niet goed voor liftconstructies.

Een uitzondering vormt de lift te Henrichenburg. Deze heeft wel een hefdeur aan het bovenhoofd maar aan het benedenhoofd en in de bak zijn segmentdeuren toegepast. De keuze voor segment deuren werd uit architectonische overwegingen gedaan. Dit zou ook bij de lift te Enschede een rol kunnen spelen. Wat architectonisch de voorkeur heeft is (nog) niet bekend. Bij een kabellift zullen de heftorens echter minder ver uitsteken boven de rest dan bij een drijflift als bij Henrichenburg of een schutsluis. De kabelliftconstructie is uit zichzelf al hoger. Daar tevens de informatie over segmentdeuren beperkt is, wordt er gekozen voor het meest toegepaste type, de hefdeur.

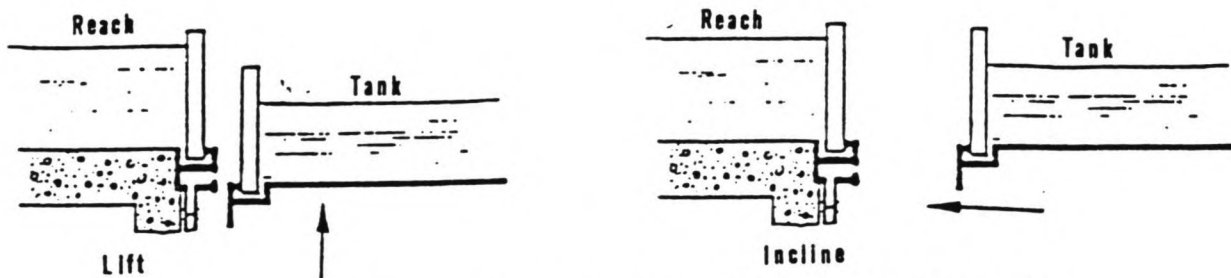
De hefdeuren bij een scheepslift zijn wel speciale deuren die in elkaar grijpen zodanig dat de kanaaldeur en bakdeur in één beweging geheven of neergelaten kunnen worden. Door dit koppelen van de twee deuren kost het heffen en neerlaten op zich nauwelijks extra tijd. Er zijn enkele andere processen die wel tijd vergen.

Zo moet na de liftbeweging de verbinding bak-lifthoofd waterdicht gemaakt worden. Er is informatie verzameld over de oplossing van dit probleem bij de bestaande hefwerken van Lüneburg, Henrichenburg en Thieu. Bij het hefwerk Lüneburg in het Elbe-Seiten kanaal wordt de afdichting verkregen door middel van een U-vormig sluitframe. Dit is aan het boven- en benedenhoofd van het bouwwerk bevestigd. Op de uiteinden van de bak zit precies tegenover elk frame een (eveneens U-vormig) rubberen profiel. Het frame wordt door een telescopische arm tegen het rubberen profiel gedrukt waardoor er vrijwel geen water meer tussen bak en hoofd uit kan lekken. Bij de liften Henrichenburg (bovenhoofd) en Thieu wordt hetzelfde principe toegepast, alhoewel de uitvoeringen enigszins verschillen met die van Lüneburg. Bij alle hefwerken functioneert het systeem naar tevredenheid.

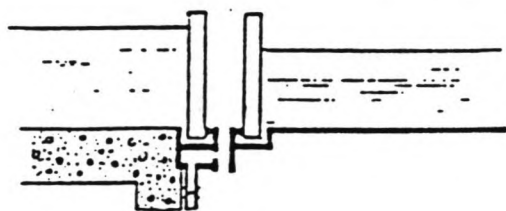
Een ander typisch probleem van dubbele deuren vormt het water tussen de deuren. Er blijft water tussen de deuren na het sluiten en dus vlak voor het intrekken van het sluitframe. Na de liftbeweging en het daarop volgende aandrukken van het sluitframe is er nog geen water tussen de deuren. Daarom dient er zowel een voorziening te zijn om het water weg te laten lopen als een om het water tussen de deuren te laten.

Verder kunnen er nog kleine peilverschillen zijn tussen bak en kanaalpand. Ook ter nivellering van dit verschil moet een voorziening aangebracht worden.

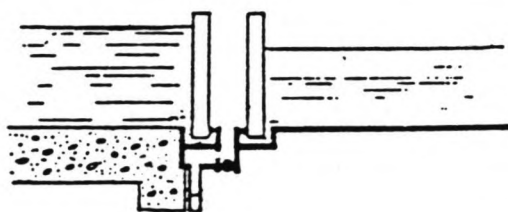
De meest gangbare oplossing met de bijbehorende procedure staat afgebeeld in figuur 8. Het weglaten van het tussenwater gebeurt via een afvoerriool tussen bak en lift en door het constructiehoofd. Het vullen van de tussenruimte en het nivelleren wordt gedaan door beide deuren enkele centimeters te heffen. Nadat het water tot rust is gekomen worden ze volledig geheven.



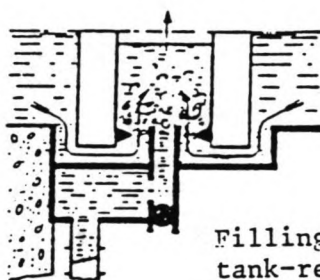
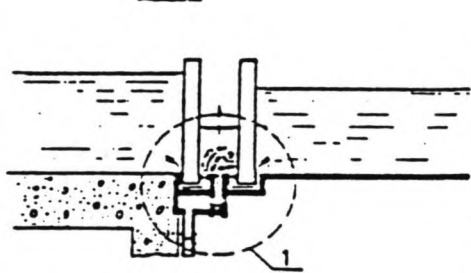
The tank approaches the head of the reach.



The tank has come to a stop in line with the head.



Operation of the tank-reach sealing system.

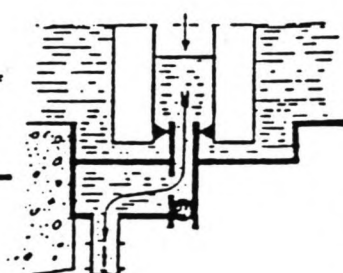
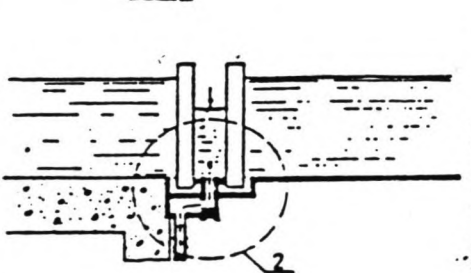


Detail 1: Initiating communication between tank and reach.

Filling the space between the tank-reach gates and equalizing of tank-reach levels.

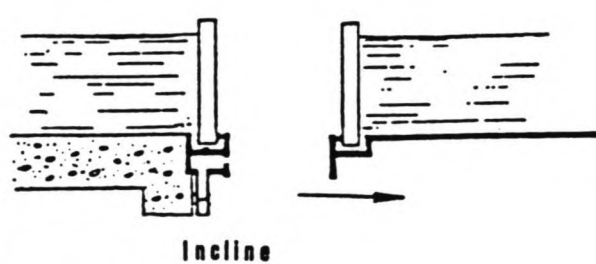
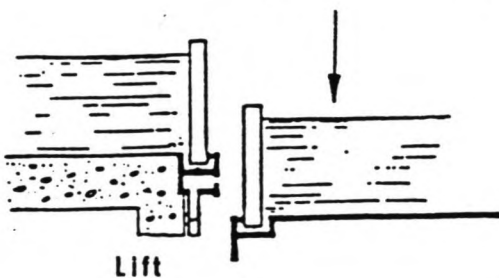


Withdrawing gates - same level in tank and reach. Manoeuvring vessels.



Detail 2: Separating tank and reach.

Discharge of water between the gates.



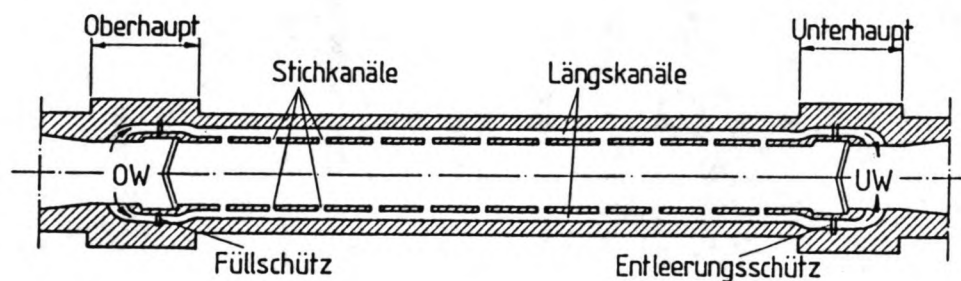
Departure of tank

Figuur 8: Voorbeeld dubbele deuren bij hefwerk

Vul- en ledigsysteem

Voor het vullen en ledigen van de kolk, de zogeheten kolkomzetting, zijn vier systemen te onderscheiden:

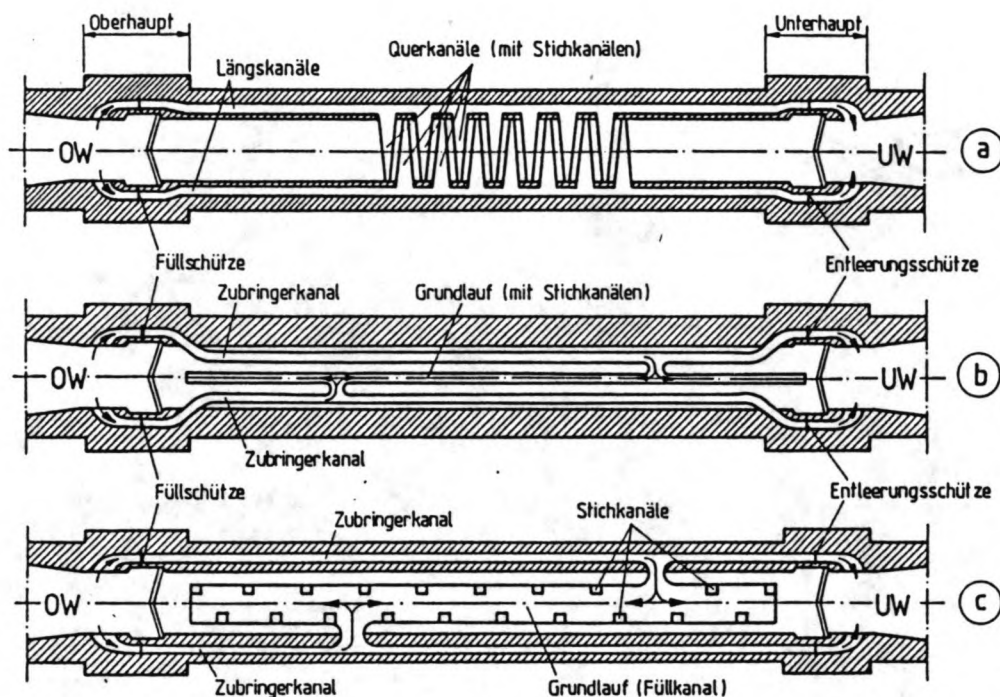
- Omzetting via de sluisdeuren. Dit kan óf door het aanbrengen van schuiven in de deuren óf door het heffen of kantelen van de deuren zelf. Het water stroomt via de kortste weg tussen kolk en voorhaven.
- Het toepassen van omloopriolen. In de sluishoofden worden riolen aangelegd, waardoor het water om de deuren heen geleid wordt. In de riolen worden afsluitmechanismen aangebracht.
- Het toepassen van langs- of bodemriolen. Dit zijn in feite verlengde omloopriolen die langs de gehele kolk liggen. De riolen zijn zowel verbonden met het boven- als het benedenpand. Aan beide uiteinden bevinden zich afsluitmiddelen. De riolen zijn met de kolk verbonden via zijspruiten die over de lengte van de kolk verdeeld zijn. In figuur 9 is het systeem schematisch weergegeven.
- Omzetting via toevoerkanalen en vulbatterijen. Ook hier is sprake van langsriolen die het water van en naar de kanaalpanden voeren. Het water stroomt echter niet direct via zijspruiten, maar gaat door een zich vertakkend net van toevoer- en verdeelriolen. Bij dit systeem vindt de aan- en afvoer van het water over de gehele kolk plaats. In figuur 10 staan enkele voorbeelden van de opzet.



Figuur 9: Schema kolkvulling via langsriolen



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft



Figuur 10: Schema's van enkele voorbeelden van kolkvulling met toevoerriolen en vulbatterijen

In Nederland is het gebruikelijk dat het vullen en ledigen van de schutkolk gebeurt via schuiven in de deur. Het is een eenvoudig en goedkoop systeem. Indien echter het verval of de afmetingen van de sluis te groot worden is dit niet meer mogelijk. Ten eerste worden de schuifafmetingen dan te groot, waardoor de deuren ontoelaatbaar verzwakt worden. Verder ontstaan er geconcentreerde stromingen (translatiegolven) in de kolk waar de schepen hinder van ondervinden. Al bij vrij kleine vuldebieten worden als gevolg hiervan de troskrachten te groot. Bij een groot verval, van bijvoorbeeld 29 m, zou het omzetten van de kolk onacceptabel lang duren. Ook het omzetten van de kolk door het bewegen van de deur heeft dit bezwaar. Beide systeem worden dan ook zelden toegepast bij vervallen groter dan 8 m.

Indien men omloopriolen toepast, zijn over het algemeen grotere vuldebieten toelaatbaar. Dit geldt met name als men zogeheten woelkelders met daarin straalbrekers en stroomgeleiders construeert. Ook kan men de uitsroomopeningen van twee riolen tegenover elkaar plaatsen. Door deze extra maatregelen verliest het vulwater al veel van zijn energie en wordt de schutstroom gedwongen zich reeds direkt over de gehele doorsnede te verdelen. Hierdoor ontstaat een regelmatige langsstroom en zullen de krachten op de schepen in de kolk kleiner zijn. Een dergelijk systeem is bijvoorbeeld toegepast bij de sluizen te Born en Maasbracht, beide met een verval van rond de 12 m.

Door het vullen vanuit het hoofd zijn de translatiegolven door de kolk toch vrij sterk. Bij veel grotere vervallen lijken omloopriolen dan ook niet geschikt.

Bij langsriolen wordt dit probleem met translatiegolven voor een groot gedeelte ondervangen, zij het niet volledig. Het schutwater wordt nu langs de kolk geleid en gespreid over de kolk in- en uitgelaten. De stromingskrachten in de kolk zijn beduidend kleiner en de schepen liggen rustiger. Door de diameters van de riolen te variëren over de lengte en de zijspruiten goed te plaatsen zijn vrij grote schutdebieten toelaatbaar. Het systeem is echter nooit helemaal uitgebalanceerd. In het begin van de schutting zal het water nooit tegelijk door alle spruiten stromen. De spruiten worden na elkaar "benut". Daarom zullen er altijd enige translatiegolven voorkomen.

Ook op de aansluitende vaarwegen doen zijn er translatiegolven als gevolg van de in- en uitstroom van het schutwater. De doorsnede van de aansluitende vaarwegvakken is over het algemeen veel groter dan die van de sluiskolk. Bij de eenvoudige vul- en ledigsystemen zijn dan ook de krachten in de kolk maatgevend.

Bij een systeem met langsriolen, gecombineerd met een vrij smal kanaal zoals hier, zouden wel eens de translatiegolven op het kanaal bepalend kunnen zijn. Ervaringen met sluizen in Duitsland duiden hierop (zie lit. [5], [7], en [8]).

Een nog sneller systeem zou misschien niet volledig (kunnen) benut worden. De sluis zou dan onnodig duur worden.

Zo'n sneller systeem is er één met toevoerriolen en vulbatterijen. Door de vertakkingen en de bufferfunctie van riolen kan de in- en uitstroom van het water vrijwel tegelijk over de hele kolk plaatsvinden. Er treden vrijwel geen translatiegolven op en het water in de kolk blijft nagenoeg horizontaal. De troskrachten zijn daardoor gering en er kan met een grote snelheid gesluisd worden. Voorwaarde is dan wel dat het schutwater geen te grote hinder op de vaarweg veroorzaakt. Dit is bijvoorbeeld het geval als het water in en uit spaarbekkens stroomt. Hier kan de energieomzetting geen kwaad.

Een gedeelte van het schutwater wordt niet opgeslagen. Dit "restwater" stroomt wel van en naar de kanaalpanden en heeft natuurlijk invloed op de schepen. Het restwater is echter slechts 30 à 40 procent van het totaal, afhankelijk van het aantal bekkens. Een snelle in- en uitstroom van het spaarwater zal dan ook zeker een duidelijke invloed hebben op de totale omzetting.

Van de recentelijk gebouwde spaarsluizen hebben de meeste inderdaad een systeem met vulbatterijen (zie ook lit. [7]).

Gezien het bovenstaande worden voor een sluis te Enschede zowel langsriolen als vulbatterijen geschikt geacht zijn. Een systeem met vulbatterijen zal het beste werken maar is wellicht onnodig duur. De invloed op de omzettijd is ook (nog) niet bekend. Deze kan na de capaciteitsbepaling beoordeeld worden. Een goede afweging tussen de twee systemen kan dus ook pas daarna plaatsvinden.

Er wordt voor gekozen beide systemen mee te nemen. Bij het alternatief van de spaarsluis worden vulbatterijen toegepast, omdat deze hier het meest geschikt lijken. Daar bij de gewone schutsluis de kans reëel is dat vulbatterijen te veel van het goede zijn worden hier langsriolen toegepast. Na de capaciteitsberekening zal bekeken worden of de keuzes terecht waren.

2.4. Voorhavens bij de kunstwerken

Algemeen

De sluis of het hefwerk met de bijbehorende voorhavens dient geschikt te zijn voor schepen van 110 m * 11,4 m * 2,8 m, oftewel CEMT-klasse V. Voor deze klasse schepen zijn (nog) geen Nederlandse richtlijnen of normen beschikbaar voor de vormgeving van sluizen en/of voorhavens.

Door de Werkgroep Sluizen van de Commissie Vaarwegbeheerders is reeds wel een eindrapport opgesteld met voor de CEMT-klassen I t/m IV richtlijnen en aanbevelingen voor de afmetingen, vormgeving en inrichting van sluizen en de bijbehorende voorhavens [lit. 4]. Voor bepaalde aspecten zijn in dit eindrapport tevens aanbevelingen gedaan voor grotere scheepvaartklassen.

Voor de dimensionering en vormgeving van de voorhavens voor een sluis of hefwerk in Enschede-Zuid is waar mogelijk gebruik gemaakt van de richtlijnen en aanbevelingen van de Werkgroep Sluizen. Waar nodig zijn de richtlijnen uitgebreid tot klasse V.

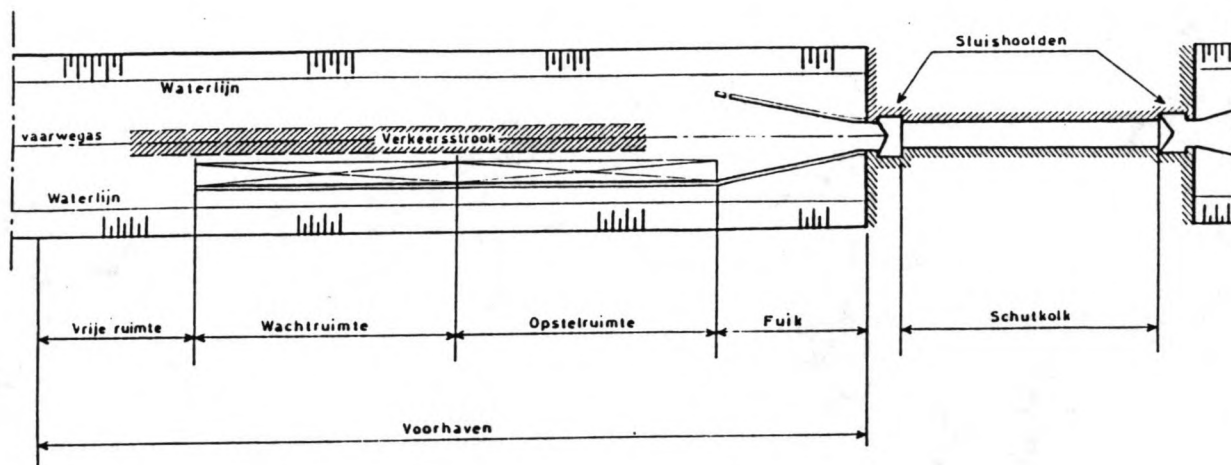
Vormgeving voorhavens

De voorhavens bij een schutsluis of scheepslift zijn de vaarweggedeelten die direct aansluiten op het sluiscomplex. In de voorhaven moeten de aankomende schepen gelegenheid hebben om vaart te minderen en zonodig af te meren aan een remmingwerk. In de voorhaven worden in lengterichting en vanaf de sluis de volgende onderdelen onderscheiden (zie figuur 11):

- de fuik;
- de opstelruimte;
- de wacht ruimte;
- de vrije ruimte.

De fuik is bedoeld om de schepen vlot en zonder schade de sluis (of lift) in te geleiden. Vanaf de opstelruimte moeten de schepen vlot de sluis (of lift) kunnen invaren. De vorm van de fuik moet dan ook daarop ontworpen zijn.

In het algemeen wordt voor een moderne sluis een fuikvorm toegepast zoals in figuur 12A. De fuik bestaat uit twee rechte fuikpoten die onder een helling van 1:4 tot 1:6 met de sluisas liggen. De aansluiting van de fuikpoten aan de kolk geschiedt met een rechtstand van ca. 3 m lengte in het verlengde van de kolkwand. Deze vorm voldoet bij sluizen waarbij de kolk- of bakbreedte groter is dan 1,25 maal de breedte van het maatgevende schip.

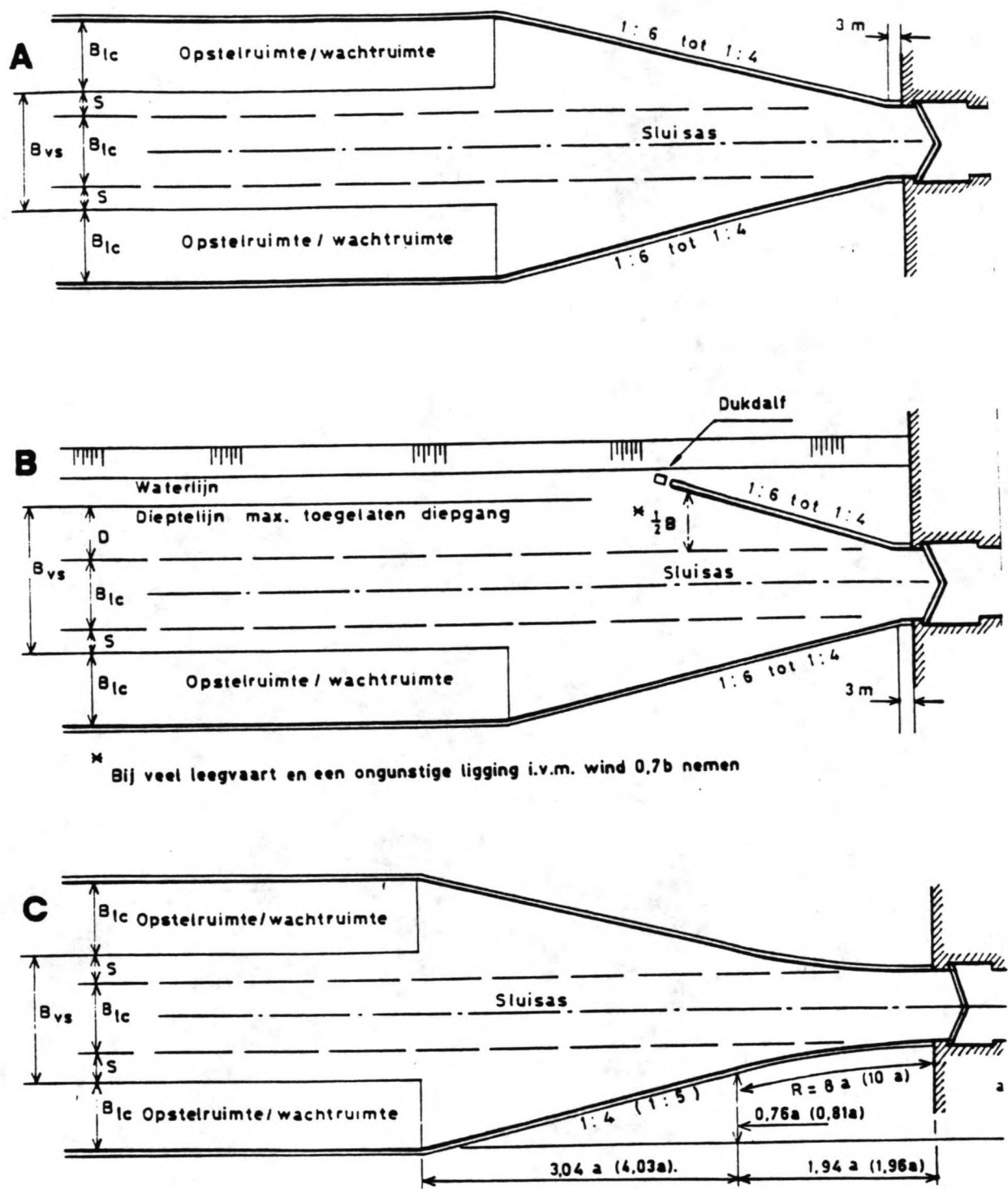


Indeling voorhaven (schematisch)

Fuik	Geleidewerk t.b.v. het invaren van de sluis
Opstelruimte	Wachtplaats voor schepen die als eerste worden gesloten
Wachtruimte	Aanvullende wachtplaats als capaciteit van de opstelruimte te klein is
Vrije ruimte	Ruimte waar aankomende schepen vaart kunnen minderen en beginnen met de manoeuvres om op de wachtruimte af te meren. Tevens bedoeld om het profiel van de vaarweg zonnodig aan te passen aan het profiel van de voorhaven.

Figuur 11: Indeling voorhaven in lengterichting

Bij een kleiner verhouding (zoals in dit geval: een verhouding van 1:1,05) dienen de rechte fuikpoten via een gebogen gedeelte op de kolkwanden aan te sluiten. Deze bogen zorgen voor een betere geleiding van de schepen. Hierdoor kunnen schepen makkelijker recht voor de sluisopening gemanoeuvreed worden en kan daarmee zoveel mogelijk het contact met de kolkwanden vermeden worden. Dit voorkomt schade aan zowel schepen als constructie en zorgt voor een vlotter invaren. Er wordt dan ook voor deze vorm gekozen. Aangezien er sprake is van een hoog aandeel van grote schepen (klasse V) die steeds vaker uitgerust zijn met een duwstevan, wordt voor de overgangsboog een straal van 10 maal a toegepast (a is hier de breedte van één fuiktak: zie figuur 12C). Om dezelfde reden wordt de rechte fuikpoten een helling van 1:5 gegeven. De totale lengte van de fuik bedraagt daarmee $4,03a + 1,96a = 6a$.



Toelichting : B_{lc} = Kolkbreedte

S = Veiligheidsstrook

D = Afstand tussen het verlengde van de kolkwand en de binnenzijde van het remmingwerk van de opstelruimte of de dieptelijn in het kielvlak van de geladen schepen. D wordt loodrecht op de sluisas gemeten

B_{vs} = Vaarstrookbreedte

B = Breedte van het maatgevende schip.

Figuur 12: Indeling voorhaven in breedterichting en vormgeving fuik

De opstelruimte is bedoeld voor de schepen die met de eerst volgende schutting meegaan. Deze ruimte moet dan ook zodanige afmetingen hebben dat een volledige kolkvulling er vlot kan afmeren. De opstelruimte is voorzien van een goede afmeergelegenheid en is buiten de vaarstrook voor de uitvarende schepen gesitueerd, zodat de gemeerd liggende schepen geen obstakel vormen.

Als breedte van de opstelruimte is, als in de richtlijnen aangegeven, gekozen voor de breedte van de kolk, dus 12 m. Gezien de grootte van de schepen is een kolk van 110 m nuttige lengte relatief kort. Er zullen dus over het algemeen weinig schepen per schutting zijn en daarmee is er weinig extra ruimte tussen de schepen nodig. De lengte van de opstelruimte wordt daarom op 1,1 maal de nuttige kolk lengte gesteld, oftewel op 122 m.

De wachtruimte is bedoeld voor zogenaamde overliggers: schepen die na aankomst niet met de eerstvolgende schutting meekunnen. De wachtruimte is eveneens voorzien van een afmeergelegenheid. Deze ruimte wordt alleen gekonstrueerd bij sluizen waar de verwachte scheepvaartintensiteit zodanig is dat de opstelruimte op drukke dagen te klein is voor alle wachtende schepen. De grootte is daarmee afhankelijk van de capaciteit van de sluis of lift. Voor één volle kolk moet dezelfde wachtruimte gereserveerd worden als voor de opstelruimte.

De vrije ruimte is in feite de overgangszone naar de gewone vaarweg. In deze overgangszone moeten schepen de gelegenheid krijgen vaart te minderen en te beginnen met de manoeuvres om in de opstelruimte of wachtruimte af te meren. Voor deze vrije ruimte wordt minimaal 2,5 maal de lengte van het maximale schip aangehouden. Over deze lengte moet de voorhaven of vaarweg vrij zijn van obstakels voor de scheepvaart.

De vrije ruimte biedt tevens de gelegenheid om, waar nodig, het profiel van de vaarweg aan te passen aan het profiel van de voorhaven. Het verloop van de oever hoeft echter niet over de gehele vrije ruimte plaats te vinden. Dit geldt zeker indien de breedte van de vaarweg en de voorhaven elkaar weinig ontlopen. De hoek tussen de as van de vaarweg en de oever moet daarentegen ook niet te groot zijn. Schippers moeten voldoende zicht hebben op voorhaven. Zeker in geval van ingraving: de oevers kunnen immers het zicht belemmeren. Verder moet er voldoende ruimte zijn om te manoevreren bij het aanleggen aan de achterste wachtruimte.

Over het verloop van de oever bieden de richtlijnen van de Werkgroep Sluizen geen uitsluitsel. In Duitse literatuur (lit. [7]) wordt voor een klasse IV á V vaarweg een helling van 1:10 aangehouden, ook als de voorhaven beduidend breder is dan de eigenlijke vaarweg. Mede daar het verkeer op het Twenthe-Mittelland kanaal van en naar Duitsland gaat, lijkt deze helling voldoende en wordt in deze studie gebruikt.

Verder dient er nog rekening te worden gehouden met schepen die gevaarlijke stoffen vervoeren (de zogenaamde kegelschepen). In verband met veiligheidsvoorschriften moeten andere schepen bij het aanmeren een bepaalde afstand van die kegelschepen verwijderd blijven. Die afstand bedraagt 10 m bij een schip dat één blauwe kegel (of één blauw licht) voert, 50 m bij twee blauwe kegels of lichten en 100 m bij drie blauwe kegels of lichten. Verder moet de afstand tussen ligplaats en bebouwde kom tenminste 100 m bij één of twee kegels en 500 m bij drie kegels bedragen.

De afstanden bij drie-kegelschepen geven grote problemen bij de vormgeving en inpassing van de voorhavens. Daar er weinig drie-kegelschepen zijn en deze schepen altijd een vóórschutting krijgen, wordt er geen rekening gehouden met een ligplaats voor deze schepen. Met wachtplaatsen voor één- en twee-kegelschepen wordt wel rekening gehouden.

De breedte van de voorhavens is dat gedeelte waar schepen met de maximaal toegelaten diepgang kunnen varen, oftewel de bevaarbare breedte. Dit gedeelte wordt, in geval van een eenzijdige opstelruimte, begrensd door de remmingwerken van de opstelruimte en de dieptelijn van de maximum diepgang aan de andere kant van de haven. De opstelruimte en de wachtruimte behoeven echter niet, zoals in figuur 11, aan één zijde aangelegd te worden. Bij voldoende breedte is het mogelijk aan weerszijden een afmeergelegenheid te maken waarbij afwisselend de ene afmeerplaats als opstelruimte (en de andere als wachtruimte) dient en omgekeerd (zie figuur 12A en 12C).

Bij één sluis of lift is de voorhaven in breedterichting als volgt opgebouwd:

- De verkeersstrook ten behoeve van de uitvarende schepen. Deze strook wordt begrensd door het verlengde van de kolkwanden en is dus in dit geval 12 m breed.
- Eén of twee opstelruimte(n) aan de rand van de voorhaven, elk even breed als de kolk (dus ook 12 m).
- Eén of twee schrikstroken (S) tussen de verkeersstrook en de opstelruimte(n) om contact tussen uitvarende en afgemeerde schepen te vermijden. De breedte van de schrikstrook hangt af van de scheepsgrootte. In de richtlijnen worden alleen de waarden gegeven voor klasse I t/m IV. De waarde voor klasse V is hieruit afgeleid. Aangezien de klasse van een schip bepaald wordt door de lengte- en breedtemaat is voor de klasse I t/m IV de verhouding tussen deze maten en de breedte van de schrikstrook bepaald (zie tabel 8).

Tabel 8: Lengte- en breedteverhoudingen

CEMT- klasse	breedte schip (Bs)	lengte schip (Ls)	breedte schrik- strook (S)	$\frac{Bs}{S}$	$\frac{Ls}{S}$
I	5,1 m	39 m	3,0 m	1,70	13,0
II	6,6 m	55 m	3,5 m	1,89	15,7
IIA	7,2 m	56 m	4,0 m	1,80	14,0
III	8,2 m	67 m	4,5 m	1,82	14,9
IIIA	8,2 m	80 m	5,0 m	1,64	16,0
IV	9,5 m	85 m	5,0 m	1,90	17,0

De verhoudingen tussen breedte van het schip en van de schrikstrook ligt tussen 1,7 en 1,9, terwijl de verhouding tussen de lengte van de schepen en de schrikstrook-breedte tussen 13 en 17 ligt. Hierbij neemt de laatste verhouding enigszins toe. Er wordt gekozen voor een schrikstrookbreedte van 6,5 m. De verhoudingen zijn respectievelijk $11,4 / 6,5 = 1,75$ en $110 / 6,5 = 16,9$. Hiermee vallen deze twee waarden tussen de uiterste waarden bij klasse I t/m IV.

- Bij eenzijdig afmeren een bufferstrook D tussen de vaarstrook en de dieptelijn van de maximum toegelaten diepgang. De minimum breedte van de bufferstrook is gelijk aan de breedte van de schrikstrook plus een zijwindtoeslag. Deze is grotendeels afhankelijk van de lengte van het maximale schip. Bij een schip van 85 m wordt in de richtlijnen met een toeslag van 3,5 m gerekend (verhouding $85 / 3,5 = 24$). Daarom wordt in dit geval een toeslag van 4,5 m ($\approx 110 / 24$) aangehouden.

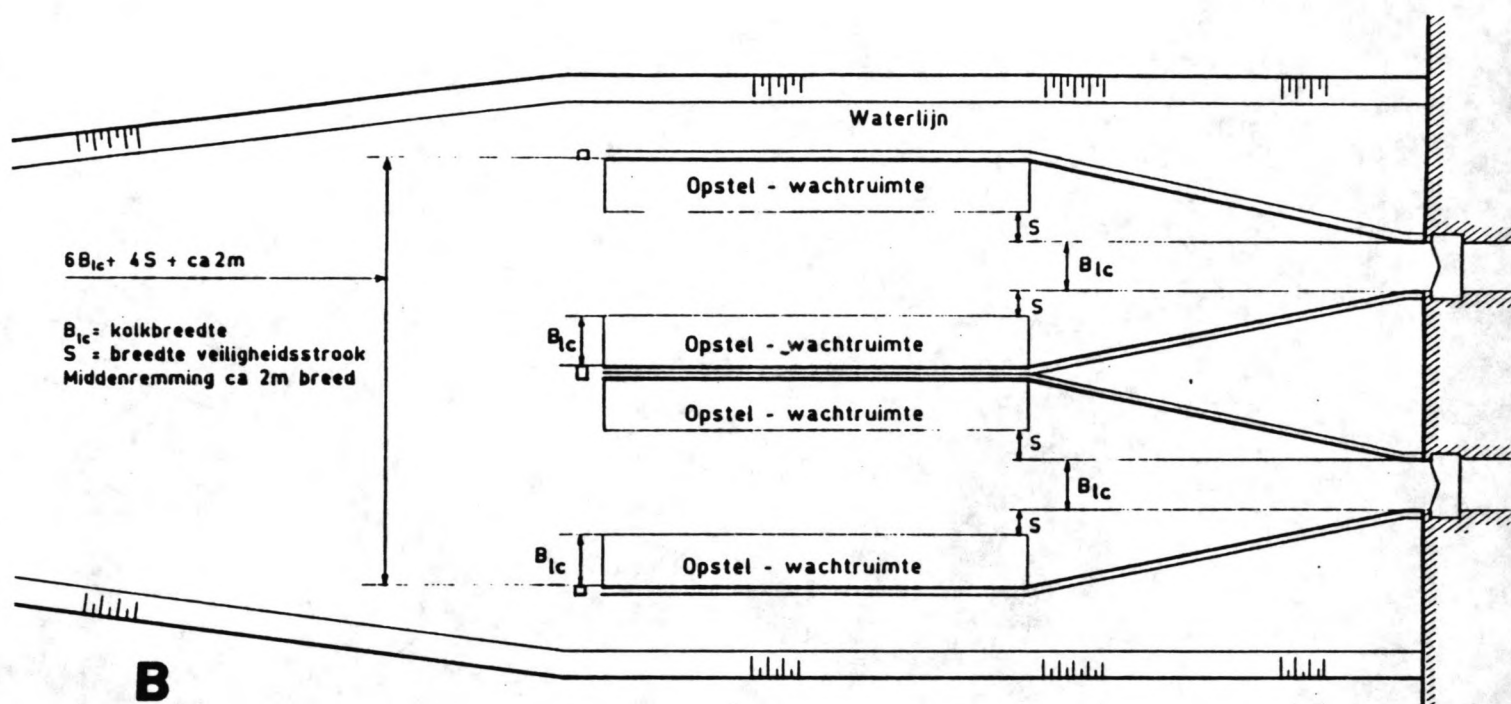
Bovenstaande beschrijving geldt in eerste instantie voor een situatie met één sluis of lift. In geval van een complex met twee identieke sluizen c.q. liften zijn er twee verkeers-stroken en een middenstrook (zie figuur 13). In deze strook kan met en zonder middenremming ontworpen worden. Bij voldoende breedte en een groot scheepsaanbod kan een lange middenremming overwogen worden, zodat er voor elke sluis een tweezijdige opstel en wachtruimte mogelijk is.

De middenstrook moet uit scheepvaartkundig oogpunt minstens even breed zijn als de breedte van het maatgevende schip plus de afrondingsstraal. Dit komt neer op $11,4 \text{ m} + \text{minstens } 2 \text{ m} = 13,4 \text{ m}$ (ca. 14 m). Mocht de constructie meer ruimte vergen dan zijn de constructie-eisen maatgevend.

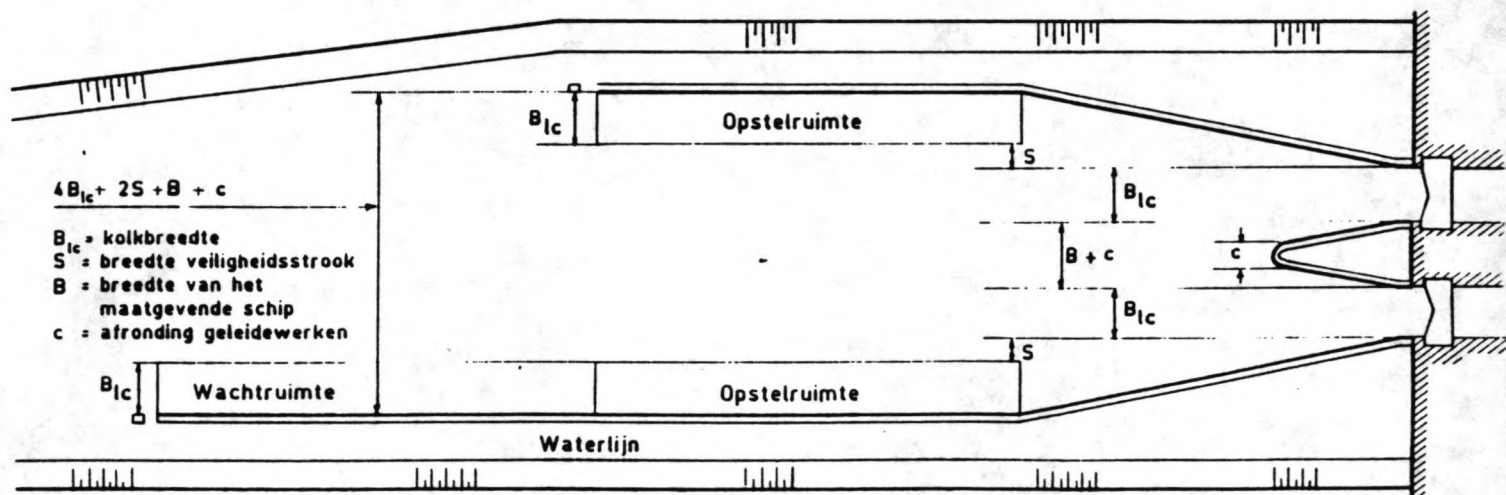
Voorhavenontwerpen

Hieronder worden verschillende voorhavenvarianten behandeld aan de hand van de in de vorige paragraaf behandelde constructietypen. Wat betreft de voorhavens is er geen onderscheid gemaakt tussen een sluis met en een zonder spaarbekkens. Er wordt van uitgegaan dat er zijdelings van de sluis voldoende plaats is voor de bekkens en bijbehorende aan- en afvoerriolen.

A



B



**Figuur 13: Indeling voorhaven bij sluizencomplex,
met en zonder middenremming**

Voor de voorhavens worden nu achtereenvolgens behandeld:

- één enkele schutsluis;
- één enkele scheepslift;
- een complex van twee identieke schutsluizen;
- een complex van twee identieke scheepsliften.

Eén enkele schutsluis

In algemene zin kan gesteld worden dat de afwikkeling van de scheepvaart zo vlot en zo veilig mogelijk moet zijn. Indien mogelijk dient de voorhaven over de gehele lengte recht te zijn en de as van de verkeersstrook in het verlengde van de sluisas te liggen: als er geen verdubbeling gepland dient deze tevens in het verlengde van de as van het aansluitend kanaal te liggen. Aangezien er hier sprake is van een nieuwe situatie en er geen belemmeringen of tegenstrijdige eisen zijn, worden sluis, verkeersstrook en vaarweg op één as genomen.

Wat betreft de situering wordt gekozen voor tweezijdige opstelruimten. De redenen hiervoor zijn:

- Doordat de twee ruimten afwisselend dienst doen als opstel- en wachtruimte, behoeven de schepen minder vaak vanaf de wachtruimte naar voren op te schuiven, vaak zelfs helemaal niet.
- Doordat het kanaaltracé in Enschede-Zuid kort voor en na het kunstwerk afbuigt en daarbij vlak langs de bebouwing loopt, is er naar verhouding minder ruimte in lengterichting dan in breedterichting. Verder kost deze situering weinig extra ruimte t.o.v. het anders toepassen van een bufferruimte D.
- Op deze manier hebben sluiswachters een beter overzicht.

Gezien het grote aanbod (300 á 600 schepen per week) en de waarschijnlijk naar verhouding kleine capaciteit van een enkele sluis ligt het in de lijn der verwachting dat er relatief veel wachtruimte nodig is. Hiermee wordt vooruitgelopen op de capaciteitsberekening in hoofdstuk 3. Dit is echter nodig om tot een ontwerp te komen. Bij de conclusies wordt er aan de hand van de uitkomsten van de capaciteitsberekening bekeken of de aannamen juist waren.

Er is bij één sluis gekozen voor het zinvolle maximum aan wachtruimte, dat wil zeggen dat er rekening gehouden wordt met het maximum aantal schuttingen dat een schipper zal wachten alvorens hij voor een andere route kiest. Dit aantal zal op twee á drie schuttingen liggen. Er zijn dus ruimte nodig voor drie volle schuttingen. Dus 122 m voor de opstelruimte en 244 m voor de wachtruimte. Gezien de tweezijdige situering van de opstel- en wachtruimtes wordt dat in dit geval twee gecombineerde opstel- en wachtruimtes van 122 m en een aparte wachtruimte van nog eens 122 m (zie Bijlage Voorhavens).

Een extra wachtruimte tegenover deze laatste wachtruimte dient voor schepen met één kegel. Op deze manier blijft de andere wachtruimte beschikbaar voor andere schepen. Aangezien de maximale lengte van een kegelschepen gelijk is aan 110 m en een één-kegelschip 10 m bufferruimte nodig heeft, is dus een wachtruimte van minstens 120 m benodigd. Uit oogpunt van flexibiliteit wordt hiervoor 122 m genomen.

Deze wachtruimte is echter niet geschikt voor schepen met twee kegels, aangezien deze 50 m bufferruimte nodig hebben en dus niet tegenover andere schepen mogen (kunnen) liggen. Tevens kan deze wachtplaats niet tegelijk dienen voor zowel één-kegelschepen als twee-kegelschepen, aangezien deze schepen niet dezelfde veiligheidsvoorzieningen hebben. Voor twee-kegelschepen is een aparte wachtruimte van 110 m lengte aangehouden, voor de andere ruimtes (aan één zijde van de voorhaven). Daarvoor vindt dan weer de overgang van vaarweg naar voorhaven plaats.

Naast de sluis wordt na de bouw de grond weer aangevuld tot oorspronkelijke maaiveldniveau. De overgang naar de kanaalpeilen van boven- en benedenpand is zo kort mogelijk gehouden om de ingraving respectievelijk ophoging zo klein mogelijk te houden. De taludhelling is gelijk gesteld aan die bij dwarsdoorsnede, dus 1:2.

In de figuren V1 t/m V4 van Bijlage Voorhavens worden de bovenaanzichten en in de figuren V7 en V9 van dezelfde bijlage worden de dwarsdoorsnedes gegeven van zowel beneden- als bovenpand. Het maaiveld vertoont een nogal grillig golvend patroon, waarbij het bij het benedenpand gemiddeld op N.A.P. + 34 m, bij de sluis op ongeveer N.A.P. + 35 m en bij het bovenpand gemiddeld op N.A.P. + 36 m ligt. In de figuren zijn voor de hoogte van het maaiveld deze gemiddelde waarden aangehouden.

Verder is de weg van de wijk Wesselerbrink naar het recreatiegebied Het Rutbeek ingepast. Deze ligt ter hoogte van de sluis en is (waarschijnlijk) te belangrijk om afgesloten te kunnen worden. De inpassing is het makkelijkst aan de benedenpandzijde. Er is hier nog ruimte tussen bovenkant sluismuur en de vrije doorvaartruimte: respectievelijk ca. N.A.P. + 47 m en N.A.P. + 21,25 m (16 + 5,25). Dus nog ca. 25 m hoogte beschikbaar voor brugconstructie en vrije doorrijruimte. De brug kan op maaiveldniveau worden aangelegd

Eén enkele scheepslift

Aangezien de capaciteit van de scheepslift, c.q. het verschil in capaciteit met de sluis, (nog) niet bekend is, is voor de opstel- en wachtplaatsen dezelfde grootte aangehouden als bij de enkele sluis. De voorhavens zullen waarschijnlijk te groot zijn. Dit kan echter pas na de capaciteitsbepaling vastgesteld worden.

Het maaiveld kan niet zoals bij de sluis aangevuld worden tot tegen de constructie, daar deze ruimtevrij gehouden moet worden voor het bewegen van de bakken. Het niveau-verschil tussen funderingsplaat en maaiveld moet echter wel overwonnen worden. Dit kan met behulp van een keermuur of door middel van een natuurlijk talud (of een combinatie van beide). In breedterichting (noord-zuid) is op zich voldoende ruimte die toch al nodig is voor de bouwput. Ook voor het plateau, nodig om de bak in benedenpositie bereikbaar te maken, is voldoende ruimte aanwezig. Daarom wordt een (dure) keermuur niet nodig geacht en wordt er gekozen voor een natuurlijk talud (1:2).

In lengterichting is bij toepassing van een natuurlijk talud een aquaduct noodzakelijk tussen constructie en grondlichaam. Dit kan breed uitgevoerd worden zodat de fuik direct na/voor de deuren beginnen, waardoor de afstand tot de opstelplaatsen minimaal is. Dit geeft, gezien de grote belasting van 4 m water en de breedte van de voorhavens, een zeer zware (en dus dure) constructie. Een alternatief is een smal aquaduct, ter breedte van de bak. Dit is constructief gunstiger maar scheepvaartkundig niet. Het verlengt de afstand tussen lift en opstelruimte en vergroot daarmee de doorstroomtijd en verkleint daarmee de capaciteit.

Bij toepassing van een keermuur kan de fuik direct na/voor de deuren beginnen, waardoor de afstand tot de opstelplaatsen minimaal is. Ook dit is echter een zware (dus dure) constructie.

Gezien het doel van deze studie, het vergelijken de capaciteit van de alternatieven en eventueel subalternatieven, wordt er voor gekozen twee reële uitersten te nemen, namelijk de keermuur met een zo klein mogelijke afstand tussen opstelplaatsen en lift en de variant met een lang smal aquaduct. Bij deze laatste variant is er voor een volledig natuurlijk talud gekozen zodat de oplegging van het aquaduct nog net buiten het talud ligt. De fuik begint daarna pas.

Voor de overige aspecten is de vormgeving gelijk aan die bij de enkele sluis.

In figuren V5 en V6 van de Bijlage Voorhavens zijn de twee uitersten in bovenaanzicht weergegeven. De niet-zichtbare gedeelten van de voorhavens zijn gelijk aan die bij de enkele sluis.

Een complex van twee identieke schutsluizen

Ten eerste zijn de twee sluizen naast elkaar gesitueerd en niet verspringend vanwege de overzichtelijkheid van het sluisbedrijf en de totale bouwkosten (grondaankoop en grondverzet). Ten behoeve van een vlotte verkeersafwikkeling ligt de as van de voorhaven precies tussen en parallel aan de assen van de twee sluizen.

Zoals in het begin van de paragraaf reeds is vermeld zijn bij een gemeenschappelijke voorhaven twee indelingen mogelijk, namelijk één met en één zonder middenremming. De middenremming kan zodanig ontworpen worden dat daar ook schepen kunnen afmeren (zie figuur 13). Dit laatste is echter alleen zinvol als alle twee de sluizen gedurende het grootste gedeelte van de tijd gebruikt worden. De hoeveelheid scheepvaartverkeer op een Twenthe-Mittelland kanaal is allerm minst zeker (geschat op 310 á 640 schepen per week). Het is daarom eveneens niet zeker dat inderdaad beide sluizen gedurende het grootste deel van de tijd gebruikt worden. Dit impliceert een voorhaven zonder middenremming. Geen middenremming geeft hoe dan ook meer speelruimte. Zonder middenremming kan een reeds afgemeerd schip gemakkelijk naar de andere sluis gedirigeerd worden, bijvoorbeeld bij:

- uitvallen van een sluis;
- vertraging in één sluis (veel kleine schepen dus niet meer afwisselend beschikbaar zijn van sluizen);
- veel aanbod van één richting, zodat er een keer leeg geschut moet worden.

Door de duidelijk grotere capaciteit vergeleken met één enkele sluis is er (bij gelijk verkeersaanbod) minder wachtruimte nodig. Er is immers een snellere doorstroom en dus hoeven er minder vaak schepen een schutting over te slaan. Er zijn wel twee opstelruimten nodig, één voor elke sluis.

Over het algemeen zal afwisselend dan de noordelijke en dan de zuidelijke sluis beschikbaar zijn. Naar alle waarschijnlijkheid zijn daarom bij een voorhaven zonder middenremming twee gecombineerde opstel- en wachtruimten voldoende. Schepen die niet met de eerstvolgende schutting mee kunnen, meren voor de andere sluis af. Na die eerstvolgende schutting wordt de wachtplaats van deze schepen automatisch de opstelplaats. Mocht toch de tegenoverliggende sluis eerder beschikbaar komen, dan kunnen de schepen alsnog rechts invaren.

Bij een voorhaven met middenremming (zie figuur 13) is het combineren van de opstel- en de wachtplaatsen niet mogelijk. Er zouden dan twee aparte opstelplaatsen met óf twee extra opstel- en wachtruimten naast de middenremming óf één extra ruimte voor de middenremming nodig zijn. Dit zou in vergelijking met de gecombineerde opstel- en wachtruimten extra ruimte en geld kosten. Uit het oogpunt van ruimte- en geldbesparing en flexibiliteit en wordt voor een voorhaven zonder middenremming gekozen.

Om de breedte van de middenstrook te kunnen bepalen is ook de breedte van de sluismuren van belang. Gezien de hoogte van de sluismuren 35 m is (29 m verval + 4 m waterdiepte + 2 m tot sluisplateau = 35 m) en kerende hoogte van de muren 10 dan wel 19 m bedraagt ($45 - 35 = 10$ m dan wel $35 - 16 = 19$ m), zijn brede constructies noodzakelijk om moment en dwarskracht op te kunnen vangen.

Er zijn diverse mogelijkheden (bijvoorbeeld met steunberen of met massieve betonnen muur). Dit wordt voorlopig open gehouden. Bij vergelijkbare sluizen in Duitsland (te Uelzen en Eckersmühlen) zijn de muren respectievelijk 8,0 m en 13,4 m.

Verder is er tussen de muren nog een extra ruimte nodig in verband met de bouw (bekisting + werkruimte). In dit geval is een minimummaat van 18 m ($2 * 8 \text{ m} + 2 \text{ m}$) tussenruimte aangehouden. De breedte benodigd voor de constructie is dus maatgevend. Voor de middenstrook wordt deze maat genomen. Deze breedte wordt over de hele voorhaven aangehouden omdat anders de voorhaven door het manoeuvreren onrustig en onoverzichtelijk wordt.

Aan het eind van deze middenstrook dient een fuikconstructie te komen. Er is aan beide zijden een gedeelte van 0,5 maal de scheepsbreedte nodig om de schepen in de sluis te leiden. De halve scheepsbreedte wordt, net als aan de zijkanten van de voorhaven, met een boog "genomen" ($R = 10 * a = 185 \text{ m}$). Voor de afronding (in figuur 13 aangegeven als c) blijft dan een gedeelte van 6 m over ($18 - 2 * 0,5 * 12$). Dit betekent een afrondingsstraal van ongeveer 3 m.

Voor de kegelschepen is een wachtplaats gereserveerd voor de twee reguliere opstel- en wachtplaats. Deze is geschikt voor één-kegelschepen en twee-kegelschepen. Gezien de grotere capaciteit wordt de kans op het tegelijkertijd aanwezig zijn van zowel een wachtend één-kegelschip als een wachtend twee-kegelschip (met beide opstel- en wachttruimten bezet) zo klein geacht, dat een aparte wachttruimte voor één-kegelschepen niet nodig is.

Voor de overige aspecten zijn de maten aangehouden als bij de enkele sluis. In de figuren V11 en V12 van Bijlage Voorhavens wordt het bovenaanzicht van de voorhaven van het benedenpand gegeven. Op de taluds na is de voorhaven van het bovenpand hieraan gelijk. In de figuren V16 en V17 worden de dwarsdoorsneden gegeven van zowel beneden- als bovenpand.

Een complex van twee identieke scheepsliften

De benodigde breedte voor de constructie is hier waarschijnlijk groter. Er moeten hier geen muren maar echte torens gebouwd worden, waarin ruimte moet zijn voor motoren, kabels, leidingen, trappen e.d. Verder geven de wanden van de bak en de ruimte tussen bak en toren een extra ruimtebeslag. Voor de afmetingen zijn de maten van de lift te Lüneburg aangehouden aangezien deze lift vergelijkbaar is qua scheepvaartklasse en verval. Het ruimtebeslag komt (ongeveer) neer op 9 m meter voor elke toren, 2 m voor de bakconstructie en 1 m voor de tussenruimte. In totaal wordt de breedte van de middenstrook daardoor dus twee maal 12 m is 24 m.

Wat betreft de keermuur dan wel het aquaduct geldt hetzelfde als bij de enkele lift. In figuur V14 en V15 zijn de twee uitersten weergegeven.

Voor de andere aspecten komt de vormgeving overeen met die van het complex van twee sluizen. Zie hiervoor weer de figuren V11, V12, V16 en V17.

Met behulp van de ontworpen voorhavenvarianten zijn de werken ingepast in Enschede-Zuid. Dit is gedaan voor de enkele sluis met een grote totale lengte en voor de dubbele scheepslift met een grote totale breedte.

Figuur V18 geeft de plattegrond van het betreffende gebied weer. In figuur V19 wordt een mogelijkheid weergegeven om daarin een enkele sluis met voorhavens in te passen. In figuur V20 is een mogelijke inpassing van de dubbele scheepslift getekend.

Er is geprobeerd om zowel bestaande bebouwing als waardevolle gebieden (zoals Groot Brunnink en Smalenbroek) zoveel mogelijk te ontzien. De inpassingen die hier gegeven zijn, zijn niet persé optimaal. De figuren laten wel zien dat dergelijke inpassingen in principe mogelijk zijn.

3. Capaciteit van de kunstwerken

3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de capaciteiten van de verschillende alternatieven bepaald. Met de uitkomsten kan dan beoordeeld worden of de kunstwerken de vervoersstroom kunnen verwerken. Tevens kan een (globale) inschatting gemaakt worden in welke mate schepen vertraging op zullen lopen.

Bij de bepaling van de capaciteiten wordt het schutproces bekeken vanuit het oogpunt van de beheerder. De schuttingen volgen elkaar continu op; er is sprake van een zich voortdurend herhalend proces, de zogeheten schutcyclus. De schutcyclus kan worden ingedeeld in onderdelen, die na elkaar plaats vinden. De indeling staat schematisch weergegeven in figuur 14.

Deze indeling geldt bij tweerichtingsverkeer. Bij de sluizen of liften te Enschede wordt dit systeem toegepast.

Elk onderdeel neemt een bepaalde tijd in beslag. De tijd die de totale cyclus kost heet de cyclustijd (T_c). De cyclustijd bestaat dan in eerste instantie uit tweemaal een schutduur (T_d), namelijk een voor de opvaart en een voor de afvaart. De schutduur kan weer verder onderverdeeld worden in de totale invaartijd (T_i), de bedieningstijd (T_b) en de totale uitvaartijd (T_u).

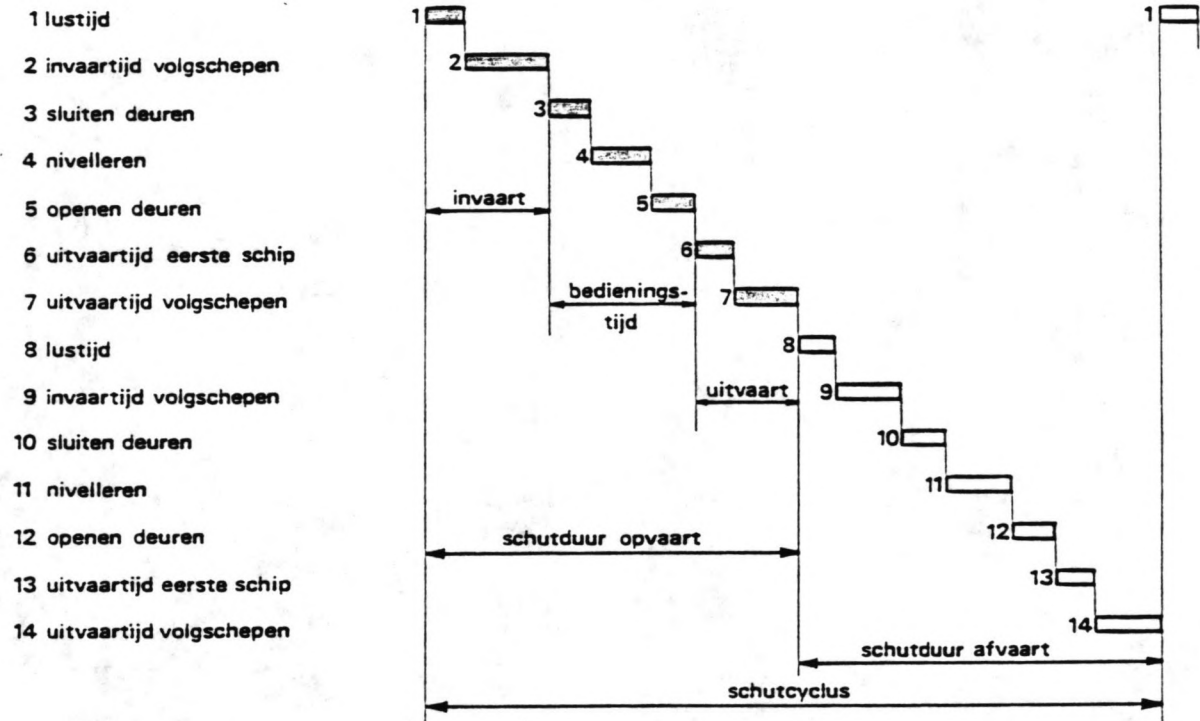
De invaartijd begint met een zogeheten lustijd (t_l), de tijd die nodig is voor het wisselen van de vaarrichting. Dit wordt gevolgd door de invaartijden van de schepen na het eerste schip in de wachtrij, de invaarvolgtijden (Σt_i). De uitvaartijd bestaat louter uit uitvaarvolgtijden (Σt_u).

In de bedieningstijd worden de deuren geopend en gesloten en wordt het verval tussen de twee kanaalpanden overwonnen. Bij de sluizen gebeurt dit door het vullen of ledigen (nivelleren) van de kolk (t_{niv}), bij de lift door de bak te heffen of neer te laten (t_{hef}).

Indien een schutkolk steeds geheel gevuld is met schepen gedurende een groot aantal achtereenvolgende schuttingen, dan kan de capaciteit als een gemiddelde van al deze schuttingen bepaald worden. Van een groot aantal sluizen in Nederland zijn meetgegevens bekend van de onderdelen van de schutcyclus. Tevens zijn computersimulaties van het schutproces uitgevoerd. Aan de hand van deze gegevens zijn gestandaardiseerde grafieken samengesteld. Voor dit afstudeerwerk is gebruik gemaakt van recente grafieken, afkomstig van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat. Uit deze grafieken zijn de gemiddelde tijden voor de schutonderdelen te halen. Die tijden worden weer gebruikt om de capaciteit te berekenen.

De bedieningstijden zijn vooral afhankelijk van de constructie. De bedieningstijden worden aan de hand van (vooral Duitse) literatuurgegevens bepaald.

Bij de capaciteitsbepaling is globaal de berekeningsvolgorde aangehouden zoals deze staat in het diktaat F13N van Bouwmeester (lit. [2], blz 77 t/m 80).



Figuur 14: Schema opbouw schutcyclus

3.2. Basisgegevens

Er wordt in de berekening uitgegaan van binnenschepen voor de beroepsvaart met een eigen aandrijving. Het aandeel van sleepschepen in de beroepsvaart is tegenwoordig immers klein en zal alleen maar kleiner worden. Sleepvaart wordt dan ook niet meegenomen.

Het is wel mogelijk dat een Twenthe-Mittelland kanaal een belangrijke doorgaande route voor de pleziervaart wordt. Dientengevolge kan het zijn dat het aantal plezierboten dat door een eventuele sluis of hefwerk Enschede gaat niet verwaarloosbaar is. Daarbij komt dat plezierboten soms een meer dan evenredige invloed op de capaciteit van een kunstwerk hebben doordat de schippers vaak onervaren zijn en bovendien niet hun kost hoeven te verdienen met het varen. Het is echter vrijwel onmogelijk een betrouwbare schatting van de aantallen schepen te geven. Daarom wordt er bij de berekening alleen de beroepsvaart meegenomen. Bij de beoordeling van de alternatieven na de capaciteitsberekening dient er rekening gehouden te worden met deze pleziervaart en het feit dat deze een gedeelte van de bepaalde capaciteit in beslag zal nemen.

Gegevens met betrekking tot de vloot en de kunstwerken

Voor de bepaling van de capaciteit is allereerst het gemiddeld laadvermogen benodigd. Hiervoor zijn reeds in paragraaf 2.1 twee waarden bepaald, namelijk:

$$\bar{T} = 1250 \text{ ton}$$

$$\bar{T} = 1500 \text{ ton}$$

Dit zijn echter gemiddelden voor de gehele vloot. De afmetingen en daarmee de laadvermogens lopen over het algemeen sterk uiteen. Dit is van belang omdat het bijvoorbeeld kan voorkomen dat een klein schip dat later dan een groot schip is aangekomen toch eerder met een schutting meekan omdat de "restruimte" in de kolk of bak te klein was voor het grote schip.

Om met dit aspect in een later stadium nog rekening te kunnen houden wordt een frequentieverdeling bepaald. De schepen worden onderverdeeld in laadvermogen-categorieën. Per categorie wordt dan een standaardschip gekozen waarvan de afmetingen maatgevend zijn. Voor de categorie-indeling is de indeling volgens figuur C15 in Bijlage Capaciteit genomen. Deze is geldig voor de Nederlandse situatie (zie ook lit. [10]). De hier gegeven indeling is naar breedtecategorie, aangezien de spreiding in de breedte van binnenschepen veel geringer is dan de spreiding in de lengte. Am is in deze grafiek het natte dwarsoppervlak van het standaardschip. Hierbij moet het volgende opgemerkt worden. Op het kanaal is maar een maximale diepgang van 2,8 m toegestaan, in

tegenstelling tot de 3,0 m die in figuur C15 staat vermeld. Dit houdt een andere Am in. Daartegenover staat weer dat alle tegenwoordig gebouwde klasse V schepen 110 m lang zijn in plaats van 95 m. Gesteld wordt dat beide effecten elkaar (ongeveer) opheffen. Ter bepaling van de frequentieverdeling over de vloot wordt uitgegaan van de gestandaardiseerde vlootsamenstellingen van figuur C16b, ook weer in Bijlage Capaciteit. Volgens deze figuur kunnen, naarmate het gemiddelde laadvermogen toeneemt, steeds meer categorieën verwaarloosd worden en neemt het aandeel van de grootste categorie steeds sterker toe. De hieruit afgeleide frequentieverdelingen staan in tabel 9 (afgerond op hele procenten):

Tabel 9: Frequentieverdelingen

categorie	1	2	3	4	5	6	7	8
gemiddeld laadverm. (ton)	150	350	550	750	950	1150	1550	2250
T = 1250	0	2	8	13	16	28	17	16
T = 1500	0	0	1	5	14	29	22	29

Bij de samenstelling van de grafieken die hier gebruikt worden is men impliciet van een zogenaamde standaardfrequentieverdeling op een vaarweg klasse VII uitgegaan. Daar het Twenthe-Mittelland kanaal echter van klasse V is voldoet deze frequentieverdeling niet. Volgens Rijkswaterstaat [Communications no. 22] echter heeft een andere frequentieverdeling geen grote gevolgen voor de capaciteit. Daar er verder ook geen andere grafieken voor de berekening beschikbaar zijn, wordt gewerkt met de standaardgrafieken.

Een volgend punt is de bepaling van de gemiddelde lengte van de schepen in de vloot. In figuur C8a zijn de gemiddelde lengten en laadvermogens van een standaard vloot tegen elkaar uitgezet.

Met deze figuur worden de gemiddelde lengten bij de twee varianten in laadvermogen bepaald:

$$\bar{T} = 1250: \bar{l} = 75 \text{ m.}$$

$$\bar{T} = 1500: \bar{l} = 82 \text{ m.}$$

Vervolgens is de beladingsgraad (λ) van belang. Deze is reeds per vaarrichting bepaald in paragraaf 2.1. De beladingsgraden zijn vastgesteld op 0,90 in oostelijke richting (opvaart) en 0,26 in westelijke richting (afvaart).

Tenslotte zijn nog de afmetingen van de kolk (of bak) nodig. Deze zijn reeds in paragraaf 2.3. vastgesteld. Bij alle constructietypen wordt een grootte van $120 * 12 * 4,0 \text{ m}^3$ aangehouden.

Bepaling van het gemiddelde maximum aantal schepen in de kolk

Met de bovenstaande gegevens kan nu het gemiddeld maximum aantal schepen in de kolk ($n_{\max}$) berekend worden. Uit simulaties en waarnemingen blijkt er een verband te bestaan tussen deze $n_{\max}$ en T in de vorm van een orthogonale hyperbool:

$$\bar{T} * \bar{n}_{\max} = k$$

Eveneens blijkt er een vast verband te bestaan tussen de waarde van k en het nuttige oppervlak van de sluiskolk. Praktijkwaarnemingen en computersimulaties komen goed overeen. Het verband tussen T en $n_{\max}$ is nu voor een groot aantal sluisbreedten en -lengten bepaald. Voor $B_k = 12 \text{ m}$ is dit weergegeven in figuur C6a. De grafiek in deze figuur is gebaseerd op zowel computersimulaties als praktijkwaarnemingen.

De twee gemiddelde laadvermogens die meegenomen zijn vallen echter buiten de grafiek. De waarden voor $n_{\max}$ kunnen in beide gevallen op de volgende wijzen worden bepaald:

- Ten eerste door de lijnen bij $l = 120 \text{ m}$ en $l = 100 \text{ m}$ handmatig door te trekken tot ze de horizontale $n_{\max} = 1$ raken. $n_{\max}$ kan immers bij een toegestaan tonnage niet beneden de waarde 1 komen.
- Een andere manier om k te bepalen is met behulp van figuur C6b, afkomstig uit lit. [2].

In figuur C6b staat het verband tussen k en het nuttige oppervlak van de sluiskolk aangegeven. Dit verband is bepaald aan de hand van een groot aantal sluissimulaties. Tevens zijn in deze grafiek een aantal praktijkwaarnemingen van bestaande schutsluizen weergegeven, waaruit blijkt dat deze goed overeenkomen met de theoretisch bepaalde lijn.

Volgens deze grafiek hoort bij een kolkoppervlak van 1320 m² een waarde voor k van 1350.

De grafiek is klein en slecht afgedrukt. Betere informatie was echter niet beschikbaar. Om toch iets meer zekerheid te verkrijgen ten aanzien van de waarde van k is daarom de k eveneens bepaald aan de hand van het bekende gedeelte van figuur C6a. Door de waarden voor de T te vermenigvuldigen met de bekende waarden voor n_{max} worden k-waarden verkregen. Dit staat weergegeven in de onderstaande tabel:

Tabel 10: Bepaling k

gemiddeld laadverm. (ton)	Lk = 100 m		Lk = 120 m	
	n _{max}	k	n _{max}	k
400	3,3	1320	4,1	1640
600	2,2	1320	2,6	1560
800	-	-	1,8	1440

Dit is echter geen wetenschappelijk verantwoorde bewerking. De grafiek geeft immers niet het verband weer volgens de hyperbool $T \cdot n_{\max} = k$ maar geeft praktijk- en simulatiewaarden weer. De geldigheid van de verkregen k-waarden is dus zeer beperkt.

Dit is onder andere te zien aan het verloop van k bij Lk = 120 m. Deze neemt continu af in plaats van constant te blijven. De formule is immers een benadering.

Dit in overweging nememd blijkt uit de bewerking dat voor een kolk met Lk = 110 m de waarde voor k tussen 1320 en 1440 ligt. Dit lijkt de waarde van k = 1350 te bevestigen. Deze waarde wordt dan ook aangehouden.



**VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE**
Afd. Civiele Techniek
JH Delft

De uit de twee extrapolaties volgende waarden voor $n_{\max}$ staan in tabel 11. Hierbij geldt een $n_{\max} = 1,00$ als ondergrens.

Tabel 11: Bepaling $\bar{n}_{\max}$

gemiddeld laadverm. (ton)	eerste extrapolatie.		tweede extrapolatie.	eind waarde
	$n_{\max}$ Lk=100m	$n_{\max}$ Lk=120m	$n_{\max}$	$n_{\max}$
T = 1250	1,0	1,2	1,05	1,1
T = 1500	1,0	1,0	1,00	1,0

3.3 Schutcyclus van de sluizen

De gegevens met betrekking tot de sluizen zelf

Ten eerste dient de natte dwarsdoorsnede, de doorsnede beneden de waterspiegel, bepaald te worden. Voor zowel boven- als benedenhoofd is deze gelijk aan:

$$B_k * h = 12 * 4,0 = 48 \text{ m}^2.$$

De lusafstand S_1 is de afstand van de achtersteven van het eerste schip aan de wachtplaats tot de invaardeuren (zie figuur V21 in Bijlage Voorhavens). De afstand van het begin van de wachtplaats tot de invaardeuren ($S_1 - l$) is op te meten in de figuren V1 en V3. Deze afstand is in het benedenpand

123 m. Voor het bovenpand volgt vrijwel dezelfde afstand, namelijk 124 m. Gezien het minieme verschil wordt één waarde van 124 m gehanteerd. Bij deze afstand moet nog de lengte van het eerste schip aan de wachtplaats bij worden opgeteld. Voor deze lengte wordt de gemiddelde waarde genomen, afhankelijk van het gemiddelde laadvermogen. Aan de hand van figuur C9a zijn deze reeds in paragraaf 3.2. vastgesteld. Hieruit volgen twee lusafstanden:

$$\bar{T} = 1250: \bar{S}_1 = 199 \text{ m}$$

$$\bar{T} = 1500: \bar{S}_1 = 206 \text{ m}$$

Het volgende onderdeel is de bepaling van de bedieningstijden T_b van de schutsluizen. Bij dit onderdeel komt het verschil tussen sluizen met en zonder spaarbekkens naar voren.

De bedieningstijd valt uiteen in drie onderdelen:

- Het sluiten van de deur(en), nadat het laatste schip de deur(en) is gepasseerd.
- Het schutten van de schepen bij de sluizen dan wel het heffen van de bak bij de scheepslift.
- Het openen van de deur(en) aan het andere hoofd.

Voor de waarden van de openings- en sluitingstijden zijn de waarden van bestaande sluizen in Nederland bekeken (zie tabel 12: figuur 1 uit lit. [10]).

Er zijn bij de puntdeuren vrij grote verschillen. Deze zijn voor een groot deel te verklaren door verschillen in ouderdom en grootte. Voor een nieuwe sluis van

$120 * 12 \text{ m}^2$ worden de tijden van de sluizen van Grave, Heel en Born kenmerkend geacht. Er wordt van deze drie het gemiddelde genomen. Hieruit volgt een openingstijd van 1,3 minuten en een sluitingstijd van 1,6 minuten.

Tabel 12: Openings- en sluitingstijden van bestaande sluizen

Naam (bouwjaar)	deurtype	aantal	kolk- breedte	kolk- lengte	verval Z (m)	bedieningstijd (min)		
			Bk (m)	Lk (m)		1*	2*	3*
Oranje sluizen (± 1950)	punt- deuren	2	14,0	67	0,2	3,4	3,4	4,4
		1	18,0	90	0,2	3,5	3,1	5,4
Weurt	"	2	16,0	260	variabel	1,5	1,9	5,1
Grave	"	1	16,0	142	3,0	1,3	1,5	9,2
Heel	"	2	16,0	142	6,6	1,2	1,3	9,5
Born	"	2	16,0	142	11,0	1,3	2,1	8,5
Zandkreek sluis	"	1	20,0	140	variabel	2,0	2,2	5,8
Volkerak Sluizen	"	3	24,0	325	variabel	1,8	2,8	7,4
Lith (1934)	hef- deuren	1	13,9	110	3,4	2,3	3,3	8,6
Pr Beatrix sluizen (± 1940)	"	2	18,0	225	1,5	2,1	3,0	7,4
Pr Irene sluizen (± 1952)	"	1	18,0	350	2,4 à 3,4	2,0	3,1	7,4
Juliana sluis	rol- deuren	1	12,0	110	0,6	0,7	1,2	4,7

1* = de openigstijd

2* = de sluitingstijd

3* = de nivelleringsstijd

Bij de hefdeuren zijn de tijdsverschillen veel kleiner. Aangezien de breedten van de drie verschillende sluizen eveneens niet veel van elkaar verschillen wordt ook hier het gemiddelde genomen. Dit resulteert in een openingstijd van 2,1 minuten en een sluitings-tijd van 3,1 minuten.

Wellicht kunnen bij nieuwe sluizen de tijden korter worden dan hier vermeld. Hier zijn echter geen gegevens over beschikbaar.

Het volgende onderdeel is de bepaling van de tijden die nodig zijn om de kolk te vullen en te ledigen. Deze zijn zonder modelproeven niet precies te bepalen. Het is echter ook de vraag of dit nodig is. Mogelijk is het aandeel van de vul- en ledigtijden in de totale passeertijd klein. Ook zou kunnen blijken dat onnauwkeurigheid in de vul- en ledigtijden weinig consequenties heeft bij de afweging van de capaciteiten van de verschillende constructietypen. Als de gevonden capaciteiten ver genoeg van de kritische waarden vandaan liggen, zullen grotere of kleinere vul- en ledigtijden geen andere conclusies geven. Daarom wordt er voor gekozen de vul- en ledigtijden eerst heel globaal te bepalen. Mocht, na bepaling van de passeertijden, een nauwkeurigere berekening nodig zijn zal deze alsnog worden gedaan.

Ter eerste indicatie zijn de gegevens opgezocht van vergelijkbare sluizen. Met behulp van deze gegevens zijn dan de snelheden waarmee het water in de kolk stijgt dan wel daalt bepaald. Deze snelheden, hier nivelleersnelheden genoemd, worden vervolgens gebruikt om een schatting te maken van de vul- en ledigtijden bij een sluis te Enschede. Vanwege het verschil in vul- en ledigsysteem tussen de "gewone" schutsluis en die met spaar-bekkens worden beide sluisstypen hier apart behandeld.

Voor een sluis zonder spaarbekkens worden de vul- en ledigkarakteristieken van de sluizen bij Born in het Juliana kanaal gebruikt. Zie hiervoor de figuren C1 en C2 in Bijlage Capaciteit (bron: lit. [15]). De sluizen bij Born zijn van vergelijkbare grootte ($142 * 16 \text{ m}^2$) met een voor Nederlandse begrippen groot verval van 11,35 m. Het vullen gebeurt via omloopriolen en een woelkelder. Dit is niet het vul- en ledigsysteem dat in het vorige hoofdstuk gekozen is (zie paragraaf 2.3.). Er zijn echter geen gegevens bekend van bestaande sluizen met een systeem met langsriolen. Tevens is bij het ledigen van de sluizen te Born het maximum aflatdebiet van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ maatgevend en niet de maximum nivelleersnelheid in de kolk. Aangezien de aansluitende kanaalpanden in het Juliana kanaal vergelijkbaar zijn met die in het Twenthe-Mittelland kanaal (klasse V en geen scherpe bochten) worden de gegevens toch geschikt geacht, zij het alleen voor een eerste benadering.

Om de schuttijd van een sluis bij Enschede te bepalen worden de vul- en ledigkarakteristieken opgedeeld in drie gedeelten:

- een beginstuk, waar de nivelleersnelheid oploopt van 0 m/s tot het maximum ($v_{\max}$);
- een middenstuk, waar met constante en maximale snelheid genivelleerd wordt;
- een eindgedeelte, waar de nivelleersnelheid afneemt van $v_{\max}$ tot 0 m/s.

Het begin- en eindgedeelte wordt steeds letterlijk overgenomen. In het middenstuk wordt het resterende verval overwonnen met $v_{\max}$.

VULLEN:

$$\begin{aligned}\Delta t_{\text{begin}} &= \Delta t_{\text{begin}} = 3\frac{1}{3} \text{ min} \\ \Delta x_{\text{begin}} &= \Delta x_{\text{begin}} = 2,4 \text{ m} \\ \Delta t_{\text{eind}} &= 4\frac{2}{3} \text{ min} \\ \Delta x_{\text{eind}} &= 11,35 - 6,0 = 5,35 \text{ m} \\ v_{\max} &= \frac{11,35 - 2,4 - 6,35}{9,5 - 3\frac{1}{3} - 4\frac{2}{3}} = 2,40 \text{ m/min} \\ \Delta x_{\text{midden}} &= 29,0 - 5,35 - 4,0 = 19,65 \text{ m} \\ \Delta t_{\text{midden}} &= \Delta x_{\text{midden}} / v_{\max} = 19,65 / 2,40 \\ &= 8,2 \text{ min} \\ \text{nivelleertijd} &= t_{\text{niv}} = 3\frac{1}{3} + 8,2 + 4\frac{2}{3} \\ &= 16,2 \text{ min}\end{aligned}$$

LEDIGEN:

$$\begin{aligned}\Delta t_{\text{begin}} &= \Delta t_{\text{begin}} = 1\frac{2}{3} \text{ min} \\ \Delta x_{\text{begin}} &= \Delta x_{\text{begin}} = 1,65 \text{ m} \\ \Delta t_{\text{eind}} &= 2\frac{5}{6} \text{ min} \\ \Delta x_{\text{eind}} &= 11,35 - 8,65 = 2,7 \text{ m} \\ v_{\max} &= \frac{11,35 - 1,65 - 2,7}{7,5 - 1\frac{2}{3} - 2\frac{5}{6}} = 2,33 \text{ m/min} \\ \Delta x_{\text{midden}} &= 29,0 - 1,65 - 2,7 = 24,65 \text{ m} \\ \Delta t_{\text{midden}} &= \Delta x_{\text{midden}} / v_{\max} = 24,65 / 2,33 \\ &= 10,6 \text{ min} \\ \text{nivelleertijd} &= t_{\text{niv}} = 1\frac{2}{3} + 10,6 + 2\frac{5}{6} \\ &= 15,1 \text{ min}\end{aligned}$$

Voor een sluis met spaarbekkens zijn de vul- en ledigkarakteristieken bekeken van de sluis bij Uelzen in het Elbe-Seiten kanaal (figuur C3) en de sluis bij Leerstetten in het nog te voltooien Rhein-Main-Donau kanaal (figuur C4). Het zijn allebei spaarsluizen. Bij beide geschiedt het vullen en ledigen via de bodem door middel van toevoerriolen en

vulbatterijen, waarmee de troskrachten tot een minimum beperkt kunnen beperkt. Beide sluizen hebben dezelfde breedte als die bij Enschede. Ze zijn echter veel langer (200 m). Dit betekent bij eenzelfde nivelleersnelheid een groter aflatdebië op het aansluitende kanaalpand. Aangezien echter het grootste deel van het water in de spaarbekkens stroomt zal dit geen groot verschil opleveren. Ook de vervallen zijn van dezelfde grootte-orde, namelijk 23 m bij sluis Uelzen en 25 m bij sluis Leerstetten. Het maximaal aflatdebië is bij beide ongeveer 70 m³/s. In beide gevallen is er sprake van een kanaal van klasse IV, weer vergelijkbaar met het Twenthe-Mittelland kanaal.

De vul- en ledigkarakteristieken laten niet zo'n eenvoudige verloop zien als bij sluis Born. De krommen die het waterpeil aangeven hebben geen van allen een middengedeelte waar met een constante snelheid genivelleerd wordt. De nivelleersnelheden schommelen voortdurend, hetgeen veroorzaakt wordt door het wisselen tussen de (spaar)bekkens. Een aanpak zoals bij de sluis zonder bekkens, waarbij het vullen en ledigen in gedeelten is opgesplitst, is hier niet mogelijk.

Daarom wordt de gemiddelde nivelleersnelheid gebruikt. Hier komt echter een duidelijk verschil tussen beide sluizen naar voren. Bij Uelzen geldt een vulsnelheid van 1,95 m/min en een ledigsnelheid van 2,15 m/min. Bij Leerstetten zijn deze 1,66 m/min respectievelijk 1,55 m/min. De eerste is de meest recent gebouwde, aan de laatste is veel modelmatig onderzoek gedaan om de vul- en ledigtijden te minimaliseren. Welke van de twee gehanteerd zou moeten worden moet nog nader onderzocht worden. Voorlopig wordt het gemiddelde van de twee gebruikt als een "voorzichtige" waarde.

VULLEN:

$$v_{\text{gemiddeld}} = 1,81 \text{ m/min}$$

$$t_{\text{nivelleer}} = \Delta z / v_{\text{gem}} = 29,0 / 1,81 = 16,0 \text{ min}$$

LEDIGEN:

$$v_{\text{gemiddeld}} = 1,85 \text{ m/min}$$

$$t_{\text{nivelleer}} = 29,0 / 1,85 = 15,7 \text{ min}$$

De nivelleersnelheid is bij de sluis met spaarbekkens vrijwel gelijk aan die zonder. Bij nader onderzoek zouden er toch duidelijk grotere verschillen naar voren kunnen komen. Voor de snelheden is hier slechts een schatting gegeven. Als de vul- en ledigtijden een belangrijk onderdeel vormen van de totale schutcyclustijden moet dit onderdeel dan ook beter bekeken worden. Dit zal eventueel in een volgende paragraaf gebeuren.

Voor de bedieningstijden (T_b) volgt nu:

$$\bar{T}_b = t_{\text{sluiten}} + t_{\text{niv}} + t_{\text{openen}}$$

Tabel 13: Bedieningstijden van de sluizen

	zonder spaarbekkens		met spaarbekkens	
	opvaart	afvaart	opvaart	afvaart
T_b	20,6 min	18,8 min	20,4 min	19,4 min

De in- en uitvaartijden van de schepen

Het bepalen van de in- en uitvaartijden door middel van een theoretische benadering is niet of nauwelijks mogelijk. Daarom is er gekozen voor een empirische benadering. Er zijn bij een groot aantal sluizen uitvoerige tijdswaarnemingen verricht, zowel van de in- en uitvaarvolgtijden als van de lustijden. Eerst worden de volgtijden besproken.

Uit de metingen volgt dat de in- en uitvaarvolgtijden afhankelijk zijn van het gemiddeld laadvermogen (1250 ton en 1500 ton), het wel of niet geladen zijn van de schepen, de natte dwarsdoorsneden van de kolk ($A_k = 48 \text{ m}^2$) en de kolkbreedte (steeds 12 m). Dit staat uitgebeeld in de figuren C9 en C10. De in- en uitvaarvolgtijden worden nu bepaald aan de hand van deze figuren.

Hierbij wordt lineair geïnterpoleerd vanuit de waarden bij $T = 1200$ ton en $T = 1400$ ton. Verder wordt er nog rekening gehouden met het verschil in beladingsgraad tussen de opvaart en de afvaart. Hiervoor worden dezelfde waarden gehanteerd als bij de haalbaarheidsstudie van Rijkswaterstaat. Voor de opvaart wordt een waarde van 0,90 en voor de afvaart een van 0,26 aangehouden.

INVAART:

$$\bar{T}=1250 \text{ ton: } \bar{t}_{i(\text{geladen schepen})} = 4,32 \text{ min}$$

$$\bar{t}_{i(\text{ongeladen schepen})} = 3,22 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \text{Er geldt: } \bar{t}_{i(\text{opvaart})} &= \lambda_{\text{opv}} * \bar{t}_{i(\text{gel.sch.})} + (1-\lambda_{\text{op}}) * \bar{t}_{i(\text{ong.sch.})} \\ &= 0,90 * 4,32 + (1 - 0,90) * 3,22 \\ &= 4,2 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{t}_{i(\text{afvaart})} &= 0,26 * 4,32 + (1 - 0,26) * 3,22 \\ &= 3,5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\bar{T}=1500 \text{ ton: } \bar{t}_{i(\text{geladen schepen})} = 4,76 \text{ min}$$

$$\bar{t}_{i(\text{ongeladen schepen})} = 3,42 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \bar{t}_{i(\text{opvaart})} &= 0,90 * 4,76 + (1 - 0,90) * 3,42 \\ &= 4,6 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{t}_{i(\text{afvaart})} &= 0,26 * 4,76 + (1 - 0,26) * 3,22 \\ &= 3,8 \text{ min} \end{aligned}$$

UITVAART:

$$\bar{T}=1250 \text{ ton: } \bar{t}_{u(\text{geladen schepen})} = 2,92 \text{ min}$$

$$\bar{t}_{u(\text{ongeladen schepen})} = 1,71 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \text{Er geldt: } \bar{t}_{u(\text{opvaart})} &= \lambda_{\text{op}} * \bar{t}_{u(\text{gel.sch.})} + (1-\lambda_{\text{op}}) * \bar{t}_{u(\text{ong.sch.})} \\ &= 0,90 * 2,92 + (1 - 0,90) * 1,71 \\ &= 2,8 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{t}_{u(\text{afvaart})} &= 0,26 * 2,92 + (1 - 0,26) * 1,71 \\ &= 2,0 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{T}=1500 \text{ ton: } \bar{t}_{u(\text{geladen schepen})} &= 3,30 \text{ min} \\
\bar{t}_{u(\text{ongeladen schepen})} &= 1,80 \text{ min} \\
\bar{t}_{u(\text{opvaart})} &= 0,90 * 3,30 + (1 - 0,90) * 1,80 \\
&= 3,2 \text{ min} \\
\bar{t}_{u(\text{afvaart})} &= 0,26 * 3,30 + (1 - 0,26) * 1,80 \\
&= 2,2 \text{ min}
\end{aligned}$$

Vervolgens kunnen met deze uitkomsten en de lusafstanden de lustijden berekend worden, weer per laadvermogen en per richting. De lustijd is de tijd tussen het moment dat het laatste schip van de ene schutting de sluisdeur passeert en het moment dat het eerste schip van de volgende schutting de sluis invaart. De lustijd bestaat dan eigenlijk ook uit twee delen, namelijk een deel voor het afleggen van de lusafstand door het uitvarende schip en een deel voor het invaren van het eerste schip aan de opstelplaats. Het loskomen en versnellen van dit invarende schip verloopt echter veel langzamer dan het uitvaren. Er moet bij het invaren al direkt rekening gehouden worden met het vertragen van het schip bij het plaatsnemen in de kolk. Het invaren neemt dan ook verreweg het grootste deel van de lustijd voor zijn rekening. Daarom wordt de gemiddelde lustijd bij schuttingen met standaardschepen bij benadering bepaald door uit te gaan van de invaar(volg)tijd. Aan deze invaar(volg)tijd wordt een tijdscorrectie toegevoegd, welke afhankelijk is van de lusafstand.

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

De korrektie volgt uit de gegevens in paragraaf 2.4. en figuur C8b waarin de lusafstand S_l tegen de tijds korrektie is uitgezet. Uit de grafiek in figuur C8b blijkt een verschil tussen geladen en ongeladen schepen. Dit wordt verwerkt in de berekening. Per gemiddeld laadvermogen worden de uiteindelijke waarden bepaald.

$$\begin{aligned}
\bar{T}=1250 \text{ ton: } (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{geladen schip}} &= 1,00 \text{ min} \\
(\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{ongeladen schip}} &= 0,72 \text{ min}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{T}=1500 \text{ ton: } (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{geladen schip}} &= 1,03 \text{ min} \\
(\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{ongeladen schip}} &= 0,74 \text{ min}
\end{aligned}$$

Dit resulteert in de volgende waarde per richting:

$$\begin{aligned}\bar{T}=1250 \text{ ton: } (\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{opvaart}} &= \lambda(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{gel.sch.}} + (1-\lambda) * (\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{ong.sch.}} \\ &= 0,90 * 1,00 + 0,10 * 0,72 \\ &= 1,0 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{afvaart}} &= \lambda(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{gel.sch.}} + (1-\lambda) * (\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{ong.sch.}} \\ &= 0,26 * 1,00 + 0,74 * 0,72 \\ &= 0,8 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}=1500 \text{ ton: } (\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{opvaart}} &= 0,90 * 1,03 + 0,10 * 0,74 \\ &= 1,0 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{afvaart}} &= 0,26 * 1,03 + 0,74 * 0,74 \\ &= 0,8 \text{ min}\end{aligned}$$

Het verschil tussen de lustijden bij $T = 1250$ ton en $T = 1500$ ton is zo klein dat dit in de afronding weg valt. In het vervolg wordt er één waarde gehanteerd bij beide gemiddelde laadvermogens.

Nu kunnen de lustijden bepaald worden. Hier is wel verschil tussen beide gemiddelde laadvermogens, vanwege het verschil in invaarvolgtijd.

$$\begin{aligned}\bar{T}=1250 \text{ ton: } \bar{t}_i_{\text{opvaart}} &= \bar{t}_i_{\text{opv}} + (\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{opv}} \\ &= 4,2 + 1,0 = 5,2 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\bar{t}_i_{\text{afvaart}} = 3,5 + 0,8 = 4,3 \text{ min}$$

$$\bar{T}=1500 \text{ ton: } \bar{t}_i_{\text{opvaart}} = 4,6 + 1,0 = 5,6 \text{ min}$$

$$\bar{t}_i_{\text{afvaart}} = 3,8 + 0,8 = 4,6 \text{ min}$$

De schutduur per vaarrichting

Deze schutduur wordt bepaald volgens de formule:

$$\bar{T}_d = \bar{t}_i + (\bar{n}_{\max} - 1) * \bar{t}_i + \bar{n}_{\max} * \bar{t}_u + \bar{T}_b$$

Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar het gemiddeld laadvermogen, de aanwezigheid van spaarbekkens en de vaarrichting. Er zijn dus acht waarden.

$\bar{T} = 1250$ ton, zonder spaarbekkens:

$$\bar{T}_{d_{\text{opvaart}}} = 5,2 + 0,1 * 4,2 + 1,1 * 2,8 + 20,6 = 29,3 \text{ min}$$

$$\bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} = 4,5 + 0,1 * 3,5 + 1,1 * 2,0 + 18,8 = 25,7 \text{ min}$$

Met spaarbekkens:

$$\bar{T}_{d_{\text{opvaart}}} = 8,7 + 20,4 = 29,1 \text{ min}$$

$$\bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} = 6,85 + 19,4 = 26,3 \text{ min}$$

$\bar{T} = 1500$ ton, zonder spaarbekkens:

$$\bar{T}_{d_{\text{opvaart}}} = 5,6 + 3,2 + 20,6 = 29,4 \text{ min}$$

$$\bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} = 4,6 + 2,2 + 18,8 = 25,6 \text{ min}$$

Met spaarbekkens:

$$\bar{T}_{d_{\text{opvaart}}} = 8,8 + 20,4 = 29,2 \text{ min}$$

$$\bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} = 6,8 + 19,4 = 26,2 \text{ min}$$

De schutcyclustijd

De cyclustijden volgen uit de sommatie van de schutduren in het vorige onderdeel. In dit geval zijn er vier verschillende schutcyclustijden. Er is immers geen sprake van richtingen.

$\bar{T} = 1250$ ton, zonder spaarbekkens:

$$\bar{T}_c = 29,3 + 25,7 = 55,0 \text{ min}$$

Met spaarbekkens:

$$\bar{T}_c = 29,1 + 26,3 = 55,4 \text{ min}$$

$\bar{T} = 1500$ ton, zonder spaarbekkens:

$$\bar{T}_c = 29,4 + 25,6 = 55,0 \text{ min}$$

Met spaarbekkens:

$$\bar{T}_c = 29,2 + 26,2 = 55,4 \text{ min}$$

Nabeschouwing

In het begin van de vorige paragraaf is reeds vermeld dat de vul- en ledigtijden schattenderwijs bepaald zijn. Of dit voldoende is geweest is afhankelijk van twee zaken:

- Is het aandeel van de vul- en ledigtijden op de totale schutcyclustijden zodanig groot dat een onnauwkeurigheid duidelijk doorwerkt in de capaciteit?
- Ligt de capaciteit, die berekend is met deze vul- en ledigtijden, in de buurt van de kritische waarde? Een vrij kleine verandering in de capaciteit kan dan veel invloed hebben op het wel of niet voldoen van de constructie.

Het eerste punt kan het beste verduidelijkt worden aan de hand van een procentuele verdeling van de onderdelen van het schutproces. In tabel 14 is de verdeling bij $T = 1250$ aangegeven. De verdeling bij $T = 1500$ wijkt niet veel af.

Tabel 14: Verdeling schutproces over de delen

sluis	zonder bekkens		met bekkens	
	tijd (min)	percentage	tijd (min)	percentage
openen en sluiten	8,1	15	8,1	15
vullen en ledigen	31,3	57	31,7	57
in- en uitvaren	15,6	28	15,6	28
totaal	55,0	100	55,4	100

Het is duidelijk dat de tijd voor het vullen en ledigen niet alleen een belangrijk onderdeel vormt van het totaal, maar dat deze zelfs bepalend is voor het resultaat.

Ook de capaciteiten zijn berekend en vergeleken met de verwachte intensiteiten. Hieruit blijkt dat één sluis zeker niet voldoende zou zijn om de vervoersstroom te kunnen verwerken. Zelfs bij twee sluizen is het de vraag of de kunstwerken voldoende capaciteit bezitten. De verhouding intensiteit:capaciteit ligt dicht tegen de kritische waarde aan. Gezien de bovenstaande redenen is een nadere beschouwing van het vul- en ledigproces noodzakelijk. In de volgende paragraaf wordt dit onderdeel nauwkeuriger berekend.

3.4. Herberekening van de vul- en ledigtijden

In paragraaf 2.3. zijn de vul- en ledigsystemen besproken. Hierbij is reeds vermeld dat de snelheid waarmee geschut kan worden, beperkt wordt door golf- en stromings-verschijnselen. Met name de translatiegolven oefenen soms zulke grote krachten uit op de schepen, dat de veiligheid van de schepen in het geding komt. De krachten, en daarmee de translatiegolven, mogen dan ook niet te groot worden.

Er zijn uiteindelijk twee beperkende criteria:

- De maximale troskrachten op schepen. De translatiegolven veroorzaken onder andere een verhang over de schepen waardoor deze in de trossen gaan hangen. De trossen van de schepen mogen niet te zwaar belast worden. Dit geldt zowel voor de schepen in de kolk als voor de schepen die in de voorhaven liggen te wachten.
De troskrachten in de voorhavens zijn afhankelijk van het schutdebiet en van de vormgeving en grootte van de haven. In de sluis zijn behalve de afmetingen van de kolk en het schutdebiet óók het gekozen vul- en ledigstelsel van belang. Hierbij geldt dat een sluis met kolkvulling via langsriolen bij eenzelfde debiet grotere troskrachten geeft dan een sluis met vulling via vulbatterijen.
- De hinder voor de schepen in de aansluitende kanaalpanden en eventueel in een verderop gelegen sluis door translatiegolven. Belangrijk zijn hierbij de maximale helling van de waterspiegel en de maximum golfhoogte. De maximum golfhoogte geeft aan of schepen nog voldoende speling hebben ten opzichte van de bodem en eventuele bruggen over het kanaal. De helling geeft een indicatie over de bestuurbaarheid van een schip als deze een translatiegolf tegen komt.

Dit laatste punt is op verzoek van de Projectgroep Twenthe-Mittelland kanaal reeds onderzocht door het Waterloopkundig Lab. Met behulp van het wiskundige model WAROS heeft men de waterbewegingen in een kanaalpand berekend. Bij de berekening is men uitgegaan van een situatie op het Twenthe-Mittelland kanaal zoals deze door de projectgroep is bepaald. Waar gegevens ontbraken heeft men dit naar eigen inzicht aangevuld. De waterbewegingen zijn afhankelijk van vormgeving, dwarsdoorsnede en lengte van de kanaalpanden en natuurlijk het debiet dat aan het bovenpand onttrokken dan wel op het beneden geloosd wordt. Behalve het maximum debiet is ook de toe- en afname van het debiet belangrijk (dQ/dt). De aanvullingen komen vrij goed overeen met de vormgeving van constructie en voorhavens zoals deze in hoofdstuk 2 zijn uitgewerkt. Uit de berekeningen volgt dat de golfhoogte maximaal 21 cm bedraagt en de waterhelling nooit een waarde 0,05% overschrijdt. Deze waarden zijn niet onacceptabel groot. In een sluis aan het andere uiteinde van een kanaalpand is sprake van opstuwing. De waarden voor golfhoogte en waterspiegelhelling zijn daar duidelijk hoger, met name als

het kanaalpand kort is. De bereikte golfhoogten en -hellingen zijn echter niet onoverkomelijk groot. Er zijn in ieder geval voldoende mogelijkheden om de hinder van translatiegolven te beperken tot een aanvaardbaar niveau. Een van de mogelijkheden is het aanleggen van dempingskommen in de bochten van het kanaal. Een dergelijke kom is reeds toegepast ten oosten van sluis Hengelo.

Gezien het bovenstaande wordt er gesteld dat de hinder door translatiegolven op het kanaalpand geen extra beperkingen oplegt aan het schutproces en dat de toelaatbare troskrachten maatgevend zijn.

In de Nederlandse literatuur is weinig bekend over de troskrachten tijdens het schutten via langstriolen of vulbatterijen. Hierbij wordt de kolk gevuld vanuit de wanden en bodem, dus in dwarsrichting. In Nederland zijn sluisen vrijwel alleen uitgerust met deurschuiven of omloopstriolen. Bij dit systeem wordt de kolk in langsrichting gevuld. Hoewel de hydraulische processen in principe gelijk zijn, kan de in Nederland gebruikelijke berekeningsmethode niet toegepast worden. De kenmerkende grootheden van groot verval-sluisen verschillen te sterk met die van Nederlandse sluisen (vergelijk lit. [3] en lit. [7]). In "Schleusenanlagen" van H.-W. Partenscky (lit. [7]) is speciaal voor groot verval-sluisen met uitgebreide vul- en ledigsystemen een berekeningsmethode uitgewerkt. Deze methode is te gebruiken voor een hypothetische sluis en wordt daarom hier gebruikt. Bij deze methode wordt aan de hand van de toelaatbare troskrachten eerst een toelaatbaar verhang berekend. Daarna worden, afhankelijk van het vul- en ledigstelsel, de hydraulische grootheden bepaald. Met de daaruit volgende waarden kunnen de schuttijden bepaald worden. De kolk en de voorhaven worden apart bekeken.

In deze paragraaf zullen de methode en de principes die eraan ten grondslag liggen uitgelegd worden. De eigenlijke berekening staat in Bijlage Omzetting kolk.

De troskrachten worden vooral door de waterbewegingen in de lengterichting van kolk of kanaal bepaald. De resulterende kracht in lengterichting, de langskracht, is duidelijk groter dan de dwarskracht.

De waterbewegingen veroorzaken (in lengterichting) zowel een stromingskracht als een verhangkracht op de schepen. De eerste is het gevolg van de stroming van het schutwater langs en tegen de scheepsromp. De stromingskracht neemt toe naarmate dQ/dt groter wordt. De toename van dQ/dt wordt bepaald door de snelheid waarmee de schuiven in de langstriolen geopend worden. Een andere factor die van invloed is op de stromingskracht is de verhouding tussen de natte doorsnede van het schip en die van de kolk of voorhaven (A_s/A_k of A_s/A_v). De stromingskracht treedt vooral op aan het begin van de schutting. Doordat de stromingen sterk fluctueren wisselt ook de stromingskracht vrij sterk. Los van de stromingskracht werkt een verhangkracht. Deze is het gevolg van de helling

van de waterspiegel die ontstaat door de translatiegolf (zie figuur 15). Een schip op deze helling ondervindt een resulterende kracht "dalwaarts" doordat de zwaartekracht op het schip niet meer loodrecht op de waterspiegel staat. Aangezien het verhang relatief langzaam verandert heeft de verhangkracht een veel minder wisselend verloop dan de stromingskracht.

Uit empirisch onderzoek is gebleken dat de troskrachten voor meer dan 90% veroorzaakt worden door de verhangkracht. De stromingskrachten blijken in verhouding maar gering. De troskrachten worden daarom door Partenscky louter aan de hand van het verhang bepaald.

De maximaal optredende troskracht is groter dan de maximaal optredende langskracht. Dit komt ten eerste omdat er ook een dwarskracht optreedt. Deze is duidelijk kleiner dan de langskracht maar draagt wel bij aan de krachten in de tros. Deze zijn immers de resultante van dwars- en langskracht. De trossen hangen ook niet puur in lengterichting, maar onder een bepaalde hoek. De dwarskracht wordt meegenomen in de berekening door de maximum waarde, die deze hoek redelijkerwijs heeft, aan te houden.

De tweede reden is dat de trossen niet strak hangen en niet elastisch zijn. Hierdoor kunnen de schepen gaan bewegen. De kinetische energie die dan opgebouwd wordt zal in uittrekkingsenergie van de trossen omgezet worden. Bij dit gebeuren kunnen de krachtpieken in de trossen meerdere malen hoger zijn dan louter als gevolg van de verhangkrachten.

Partenscky heeft een formule afgeleid waarin de hiervoor genoemde factoren meegenomen zijn. Er geldt:

$$F_{\max} = G_s * I_w + \sqrt{(G_s * I_w - S_0)^2 + E * A_t * (G_s * I_w - F_0) * \frac{q t^2 * L t^2}{12 S_0^2}}$$

De maximale troskracht ($F_{\max}$) is afhankelijk van:

- het bruto scheepsgewicht (G_s);
- het verhang van de waterspiegel (I_w);
- de elasticiteitsmodulus van het trosmateriaal (E);
- de netto doorsnede van de trossen (A_t);
- een eventuele voorspankracht in de trossen (F_0);
- het gewicht van de trossen ($q t$);
- de tros lengte ($L t$).

De G_s is afhankelijk van de vloot, de I_w afhankelijk van het vullen en ledigen. De laatste vijf factoren zijn troskenmerken. Aan de hand van gegevens in lit. [8] kunnen de waarden hiervoor geschat worden.

Voor de maximale troskracht gelden beperking. De maximale grootte wordt in Nederland bepaald aan de hand van het laadvermogen van de schepen. Er geldt als norm voor schepen tot 600 ton dat de op het schip werkende troskrachten niet groter mogen worden dan 0,15% van het laadvermogen. Bij grotere schepen (tot 2000 ton) mogen de krachten niet hoger worden dan 0,10% van het laadvermogen. Het maximum laadvermogen dat op het kanaal toegestaan is ligt rond de 2000 ton. De maximale troskracht is dus 2 ton, oftewel 20 kN.

Alle factoren in de formule zijn bekend, behalve het verhang. Er kan nu een waarde voor het maximaal toelaatbare verhang berekend worden.

Er volgt: $I_{w(\text{toel})} = 0,033 \% = 3,3 \cdot 10^{-4}$

Met deze waarde kan nu de maximaal toelaatbare toename van het debiet ($dQ/dt_{(\text{toel})}$) bepaald worden.

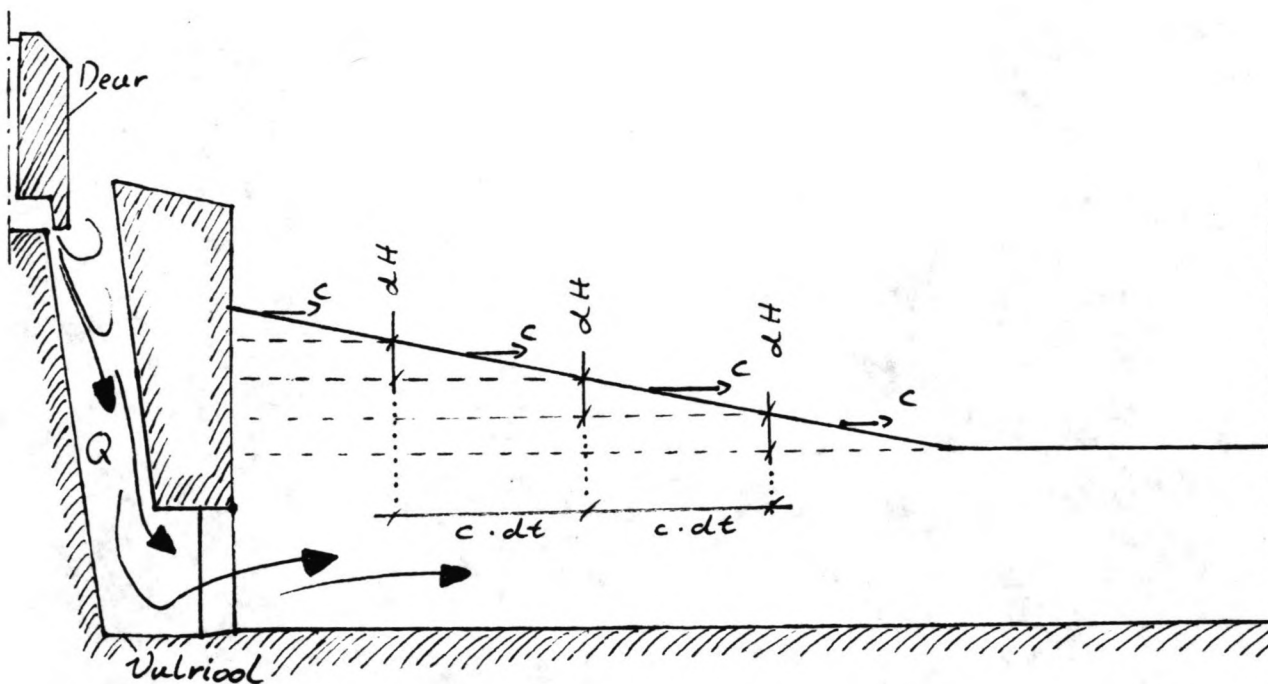
Bij de berekening van de hydraulische grootheden in de kolk wordt met de kolkvulling gerekend. Uit metingen bij bestaande (groot verval-) sluizen blijkt namelijk dat de troskrachten in de kolk bij de vulling groter zijn dan bij het ledigen. De reden hiervoor is dat de natte doorsnede van de kolk dan kleiner is. Vlak na het begin van de vulling is de waterdiepte immers gelijk aan de drempeldiepte, dus 4,0 m. Bij het begin van de lediging is de kolk geheel gevuld. De stroming kan zich nu over een grotere diepte verdelen. De metingen geven ook aan dat de krachten het grootst zijn in het begin van de vulling. Dit heeft dezelfde oorzaak.

Bij de vulling van de sluis met langsriolen stroomt het schutwater vanuit het bovenhoofd via de langsriolen. Het water wordt dringt door de zijspruiten de kolk binnen. De zijspruit die het dichtste bij het bovenhoofd ligt wordt het eerste bereikt en zal het eerste doorstroomd worden. Vervolgens worden de andere zijspruiten ná elkaar bereikt.

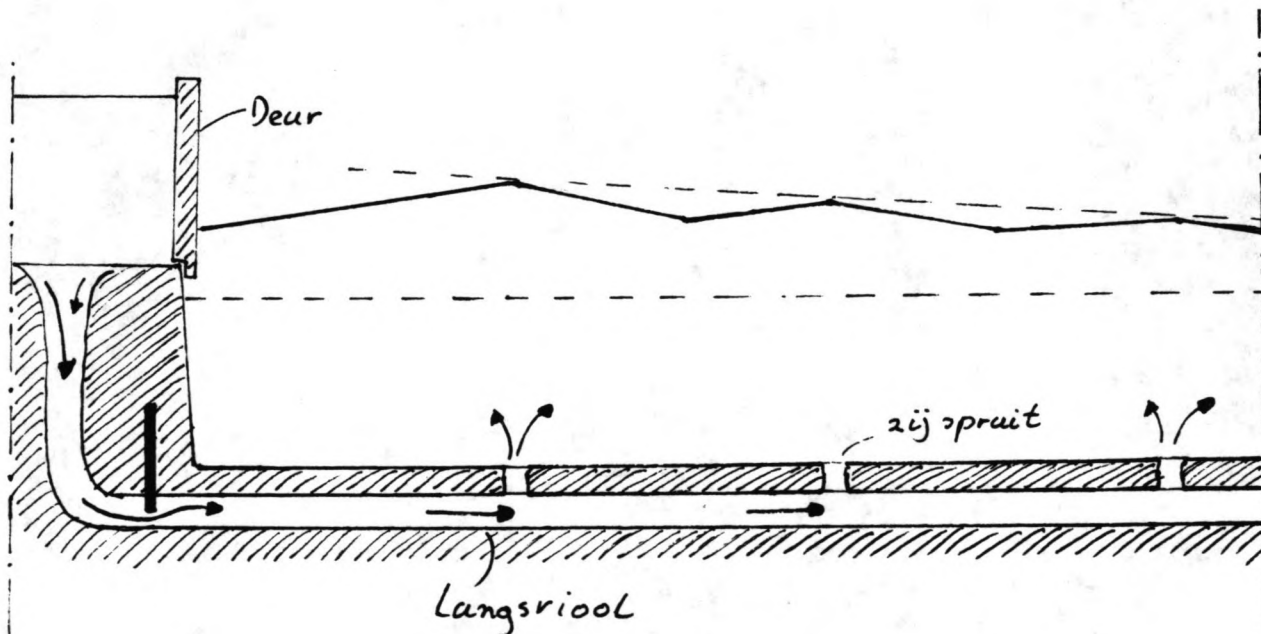
Bij elke spruit ontstaan vulgolven die als translatiegolven door de sluis lopen. De schuiven in de langsriolen worden geleidelijk geopend om de troskrachten niet te groot te laten worden. Hierdoor veroorzaakt de vulgolf een hellende waterspiegel. In figuur 15 is dit weergegeven voor het geval er één spruit zou zijn. Er kan afgeleid worden:

$$I_w = \frac{dH}{c \cdot dt} = \frac{dQ}{Bk \cdot c^2 \cdot dt} \approx \frac{1}{Bk \cdot g \cdot d} * \frac{dQ}{dt}$$

In de formule is c de golfsnelheid en d de diepte direct na begin van de kolkvulling.



Figuur 15: Waterspiegelhelling in het begin van de kolkvulling



Figuur 16: Waterspiegel bij begin kolkvulling, bij vulling via langsriolen en zijspuiten

Het vuldebiet stroomt niet via één spruit maar wordt over de spruiten verdeeld. Tevens loopt de golf in de riolen sneller dan over het wateroppervlak. Het water verspreidt zich daardoor sneller over de kolk. Er ontstaat een patroon als aangegeven in figuur 16. De gemiddelde helling van de waterspiegel is kleiner dan in de bovenstaande formule is aangegeven. Er wordt een correctiefactor aan de formule toegevoegd:

$$I_w = \frac{dH}{(1+f)*c*dt} \approx \frac{1}{(1+f)*Bk*g*d} * \frac{dQ}{dt}$$

De correctiefactor f ligt volgens lit. [7] vrijwel altijd rond de waarde 1,7. De variatie als gevolg van een ander uitgevoerd riolensysteem is miniem. Deze waarde wordt dan ook bij de berekening aangehouden.

Om de toegestane debieten te kunnen berekenen is nog een afvoervergelijking nodig. Bij de afvoer (en aanvoer) via de lange riolen overheersen de wrijvingsverliezen. Het debiet is bij benadering gelijk aan:

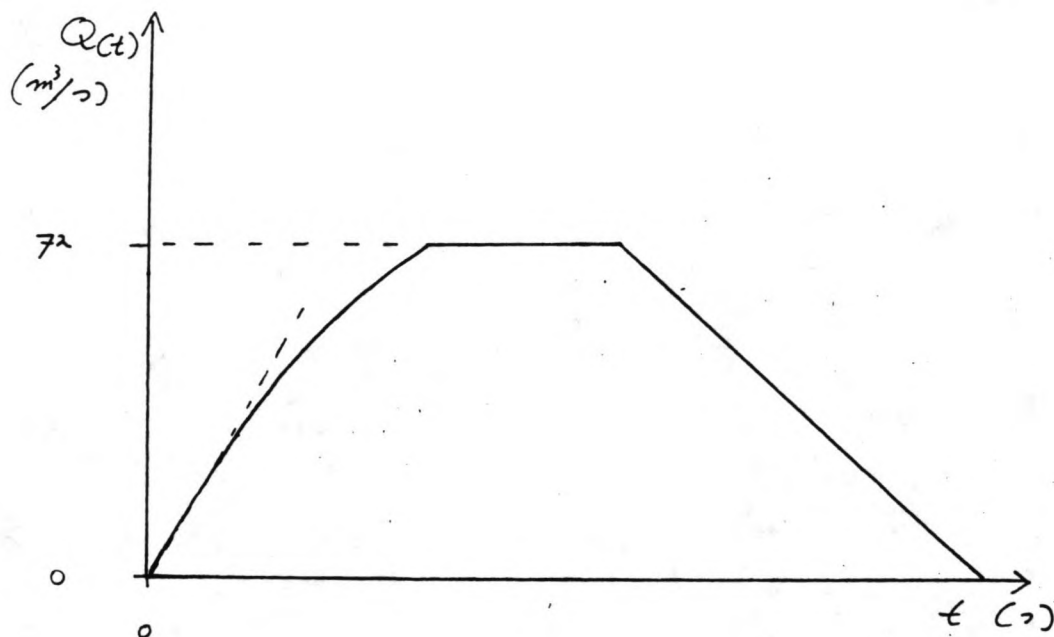
$$Q = A_r * \mu * \sqrt{2*g*H_t} = n * t * \mu * \sqrt{2*g*H_t}$$

Hierin is μ de afvoercoëfficiënt van het hele rioolstelsel. Een lage waarde voor μ betekent een grotere weerstand en daarmee een grotere omzettijd. A_r staat voor de totale doorsnede van de langsriolen. Hiervoor wordt de maximale waarde ter plaatse van de rioolschuiven genomen. Deze opening wordt tijdens het schutten geleidelijk vrijgegeven. Dit vrijgeven gebeurt met een bepaalde snelheid die n is genoemd.

Partenscky heeft de formules gecombineerd en bewerkt zodat de waarden van Q en dQ/dt over het hele schutproces berekend kunnen worden. Hiermee wordt dan weer de nivelleertijd bepaald. Vergelijkingen en berekeningen staan in Bijlage Omzetting kolk.

De waarden voor μ en A_r zijn geschat aan de hand van de gegevens van bestaande sluizen met langsriolen.

Bij de berekeningen is, net als bij de eerste schatting, van een maximaal debiet van 72 m³/s uitgegaan. Als dit debiet bereikt wordt wordt het debiet op dit maximum gehouden tot de schuiven geheel geopend zijn. Gedurende deze periode wordt de openingssnelheid n hieraan aangepast. Daarna neemt het vuldebiet eenparig af door het afnemen van het momentane verval. Het verloop van de kolkvulling staat schematisch weergegeven in figuur 17.



Figuur 17: Verloop kolkvulling bij sluis zonder bekkens

Met de huidige geautomatiseerde besturingssystemen is een dergelijk verloop mogelijk. Het wordt bij groot verval-sluizen vaak toegepast.

Uit de berekening volgt dat de vultijd ongeveer 12,7 min bedraagt. Dit is vrij kort en duidelijk minder dan in eerste instantie geschat was (16,2 min). In de schatting werden echter de gegevens van een eenvoudiger en langzamer vul- en ledigstelsel gebruikt. De nieuwe waarde lijkt dan ook aannemelijk.

De ledigtijd is bepaald aan de hand van dezelfde vergelijkingen als de vultijd. Aangezien de krachten meestal tijdens de vulling het grootst zijn zou misschien een snellere opening van de schuiven mogelijk zijn. Volgens Partenscky zou het verschil 10 tot 20% bedragen. Over het algemeen wordt van deze mogelijkheid slechts zelden gebruik gemaakt. Uit bedrijfstechnische en aandrijftechnische redenen worden de aandrijving van alle schuiven even groot gekozen. Hiervan uitgaande is de ledigtijd soms zelfs groter dan de vultijd omdat de waarde μ bij het ledigen iets lager is. Daar de waarde μ bij het vullen al laag is gekozen, wordt dit niet meegenomen. Gesteld wordt dat de ledigtijd even groot is als de vultijd.

De hier bepaalde vul- en ledigtijden zijn alleen mogelijk als er in de voorhaven niet te grote troskrachten optreden.

De waterbewegingen en de hydraulische principes zijn in de voorhaven vergelijkbaar met die in de kolk. Ook hier worden de troskrachten voornamelijk bepaald door het verhang dat door de translatiegolf optreedt. In de voorhaven treden echter andere reflecties op dan in de kolk. Ook werkt de verhangkracht langer door. De theoretische formules die voor de kolk afgeleid zijn door middel van modelonderzoekingen aangepast. Er is voor het verhang gevonden:

$$Iw_{\text{voorh}} = \frac{f_{\text{voorh}}}{g \cdot A_{\text{voorh}}}$$

A_{voorh} is de natte doorsnede van de voorhaven. Deze wisselt nauwelijks aangezien de waterstand in het kanaal vrijwel konstant is. De troskrachten zijn bij vullen en ledigen dan ook nagenoeg even groot. Ar is volgens de ontwerpen van hoofdstuk 2 bij een enkele sluis 244 m² groot en bij een dubbele uitvoering 364 m². De correctiefactor verschilt ook tussen enkele en dubbele uitvoering. f_{voorh} is gelijk aan 1,2 in het eerste geval en 1,1 in het tweede geval. Voor de toelaatbare toename van het vuldebiet is gevonden:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Iw_{\text{toel}} \cdot g \cdot A_{\text{voorh}}}{f_{\text{voorh}}}$$

Na invulling van de grootheden wordt gevonden:

$$1 \text{ sluis} \quad : dQ/dt \leq 0,66 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

$$2 \text{ sluizen} \quad : dQ/dt \leq 1,07 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Geen van beide waarden wordt overschreden bij de vastgestelde schuttijd. De troskrachten in de kolk zijn dus maatgevend.

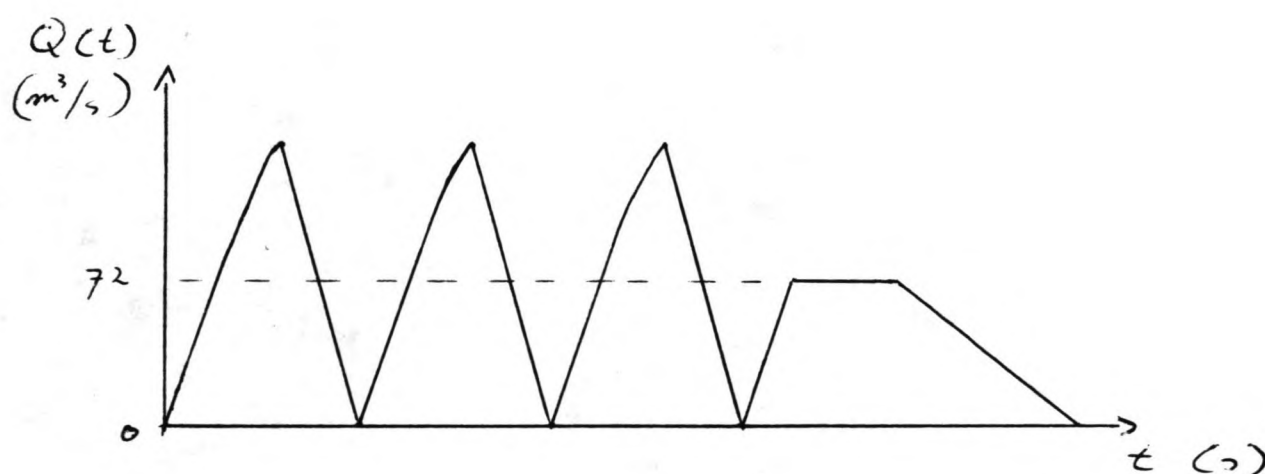
Uit de waarden blijkt wel dat een uitgekiender vul- en ledigsysteem bij één sluis niet veel zin heeft. De maximale waarde voor dQ/dt voor de voorhavens is maar weinig groter dan de waarde voor de kolk. Een beter systeem zou nauwelijks benut kunnen worden. Bij twee sluizen is de voorhaven groter. Bij sluizen met een beter systeem zijn in de praktijk waarden van $dQ/dt = 3 \text{ m}^3/\text{s}^2$ niet ongewoon. Ook in dit geval is het dus maar de vraag of de investering eruit gehaald kan worden. De keuze voor langsriolen lijkt terecht. De schuttijden van 12,7 min worden daarom aangehouden in de capaciteitsbepaling. Achterin Bijlage Omzetting kolk staat in een diagram het verloop van de kolkvulling gegeven.

Bij de vulling van de kolk door middel van toevoerriolen en vulbatterijen is het theoretisch mogelijk dat het vulwater op vele plekken tegelijk de kolk in stroomt. Hierdoor zijn de translatiegolven beperkt en blijft de waterspiegel nagenoeg horizontaal tijdens het stijgen van de waterspiegel. Elke vulbatterij neemt tijdens de vulling een deel van de kolk voor zijn rekening.

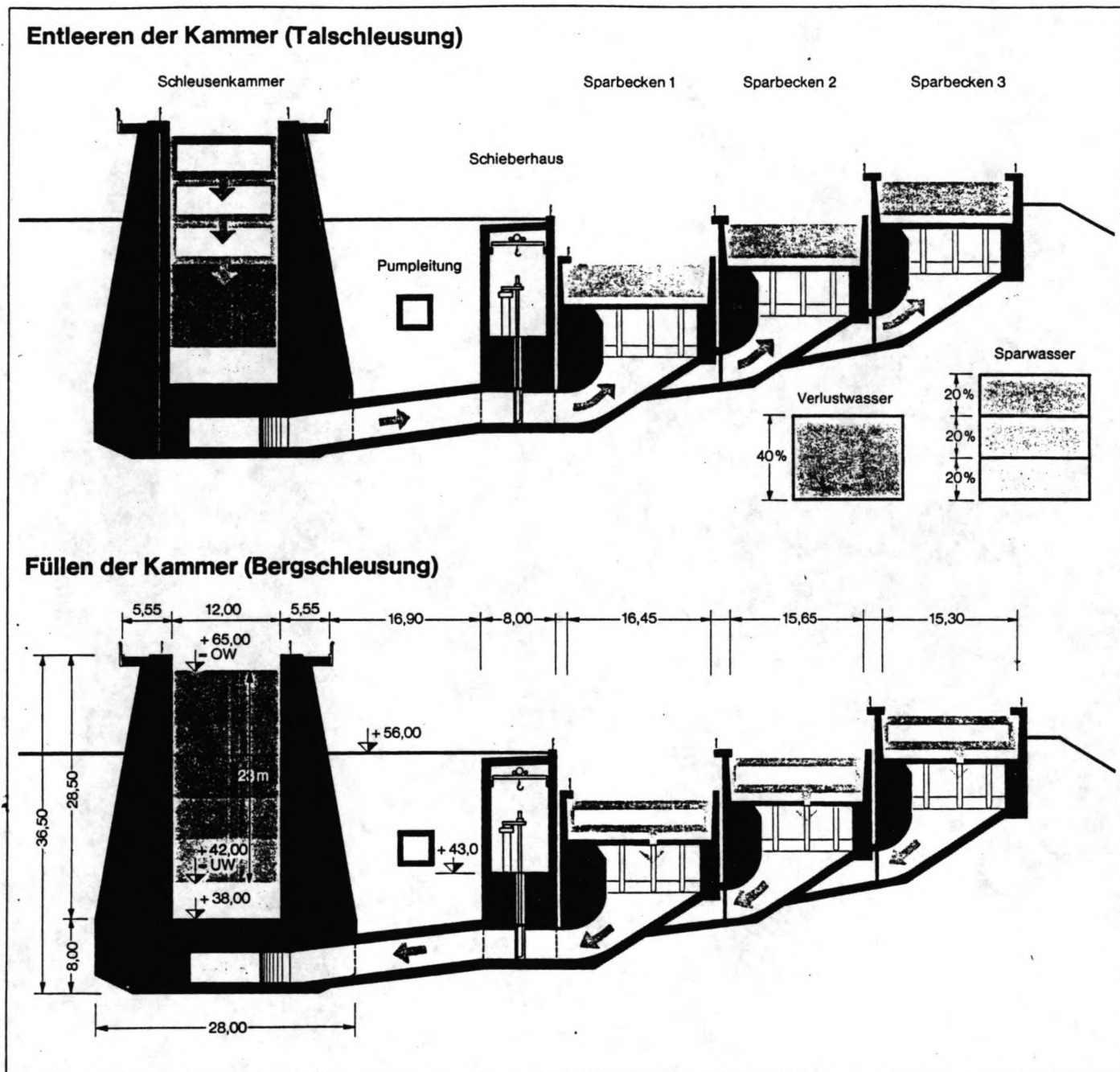
In de praktijk valt het niet te voorkomen dat in het begin van de vulling de vulbatterijen na elkaar doorstroomt worden. Het vulwater bereikt de vulbatterijen na elkaar. Tussen de vulbatterijen ontstaat daardoor een (klein) verval. De mate waarin is afhankelijk van de wijze van uitvoering, het aantal en de dimensies van de riolen en vulbatterijen (zie ook figuur 10 in paragraaf 2.3.). Als gevolg hiervan zijn er toch troskrachten die enige beperking aan het schutten opleggen. Vaak zijn er ook aandrijftechnische redenen om de openingssnelheid van de schuiven te beperken.

De waterbewegingen en de daarbij behorende vergelijkingen zijn vergelijkbaar met die bij vulling via langsriolen. De debieten en tijden kunnen dan ook op dezelfde wijze berekend worden. De toelaatbare waarden en de correctiefactoren die bij dit systeem gehanteerd worden zijn echter anders.

Een ander belangrijk verschil is de aanwezigheid van spaarbekkens. Hierdoor is het verloop van de schutting duidelijk anders dan zonder bekkens. Het vullen van de kolk valt namelijk uiteen in een aantal delen. De kolk wordt eerst gevuld vanuit het laagste bekken, daarna vanuit het op-een-na-laatste bekken en zo door tot het hoogste bekken (zie de figuren 18 en 19). Hierna volgt de zogeheten restvulling. Dit is de vulling van het nog resterende deel vanuit het bovenpand met niet gespaard water.



Figuur 18: Verloop kolkvulling bij sluis met drie spaarbekkens



Figuur 19: Principe van vulling en lediging met spaarbekkens

De restvulling heeft eenzelfde verloop als de vulling via langsriolen (zie figuur 17). Een verschil is dat het verval niet gelijk is aan het totale verval over de sluis maar gelijk is aan de resthoogte (H_r).

Het verloop van de vulling vanuit de bekkens verschilt van dat van de restvulling. Er is immers geen van buiten opgelegd maximum debiet. $Q_{\max}$ blijkt in de praktijk ook veel hoger te zijn dan bij de restvulling. Ook voor de dQ/dt worden geen beperkingen van buiten opgelegd. Het eenparig openen van de schuiven gaat door tot de schuifopening maximaal is. Hierna blijft de opening maximaal terwijl het debiet afneemt.

Het vuldebiet (en daarmee de nivelleersnelheid) neemt sterk af naarmate de drukhoogte afneemt. Daardoor vergt het laatste deel van de vulling onevenredig veel tijd. Aangezien zo'n laatste gedeelte bij elk bekken voorkomt, kost dit hier duidelijk meer tijd dan bij een systeem zonder bekkens. Daarom wordt tegen het eind van elke deelvulling het bekken-riool afgesloten voordat volledige nivellering tussen kolk en bekken plaatsvindt. Een kleine schijf water wordt niet gespaard maar gespuid op het benedenpand. Hierdoor ontstaat een duidelijke tijdswinst. Het verlies aan spaarwater is maar gering. De berekening staat in Bijlage Omzetting kolk.

Bij de bepaling van de benodigde rekenwaarden voor bijvoorbeeld de riooldoorsnede en de afvoercoëfficiënt is gebruik gemaakt van de gegevens van reeds uitgevoerde sluizen en van richtwaarden die door Partenscky zijn opgesteld. De rekenwaarden kunnen echter niet eenduidig vastgesteld worden. Er zijn weinig gegevens beschikbaar en de variatie daarin is vrij groot. Verder blijkt er ook nog variatie mogelijk in de afmetingen, de hoogte en (natuurlijk) het aantal van de bekkens. Ook deze grootheden hebben invloed op de debieten en de tijden.

Er is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Eerst zijn voor alle grootheden zoveel mogelijk de richtwaarden aangehouden. Vervolgens zijn één voor één de waarden veranderd. In de bijlage is steeds de afname van de schuttijd gegeven ten opzichte van de eerst berekende tijd.

Uit de berekening met de richtwaarden volgt een vultijd van 15,6 min en een ledigtijd van 17,3 min. Het verschil komt voort uit andere waarden voor μ . Deze tijden liggen dicht in de buurt van de tijden die in de vorige paragraaf geschat zijn.

Uit de analyse blijkt dat een verandering van het maximale uitstroomdebiet op het kanaal ($Q_{\max}$) en van de toelaatbare openingssnelheid van de schuiven (n_{toel}) weinig invloed heeft op de totale omzettijden. De reden hiervoor is dat de deze veranderingen slechts invloed hebben op bepaalde onderdelen van het schutproces.

Deze delen duren bij de eerst bepaalde omzettijden al vrij kort. De betreffende perioden maken dus maar een relatief klein deel van de totale omzettijd uit. Een verandering van de waarde heeft daarom weinig invloed op het totaal.

Het creëren van een hoogteverschil tussen de bekkens is ook mogelijk. Ook dit blijkt weinig effect te hebben.

Het vergroten van de riooldoorsnede of het veranderen van de afvoercoëfficiënt geeft wel een redelijke tijdverkorting. Het verschil is ongeveer 10%. Deze grootheden beïnvloeden de waterstromen gedurende de hele omzetting. Daardoor hebben deze een groter effect. De verkorting van de omzettijd is echter niet spectaculair te noemen.

Er is ook een variant uitgerekend waarbij alle veranderingen tesamen zijn genomen. Het blijkt dat er een duidelijk cumulatieve effect is. De tijdsbesparing bedraagt 25% bij het vullen en 31% bij het ledigen. Het is echter de vraag of al deze veranderingen tegelijk haalbaar zijn. Met name de verandering die de grootste tijdsbesparing oplevert, de μ bij het ledigen, is vrij dubieus. Welke waarden echt gehaald worden blijkt pas na modelproeven.

Dit geldt niet voor de riooldoorsneden. Deze zijn in principe zelf te kiezen. Er kunnen zich wel problemen voordoen met cavitatie maar uit de gerealiseerde constructies blijkt een riooldoorsnede van 12 m² mogelijk te zijn.

Tenslotte is nog bekeken wat het effect zou zijn van de aanleg van vier bekkens in plaats van drie (de varianten g, h en i in Bijlage Omzetting). Dit zou aantrekkelijk kunnen zijn vanwege de extra waterbesparing die dit oplevert. De vraag is of dit niet te grote omzettijden oplevert. De omzettijden worden duidelijk groter. Het verschil ligt in dezelfde grootte-orde als dat bij een verandering van de A_r .

De gevonden omzettijden zijn ook duidelijk groter dan de waarden uit de vorige paragraaf. Ook als bijvoorbeeld A_r vergroot wordt blijven de tijden bij vier bekkens groter. De in eerste instantie geschatte waarden betekenen al een vrij kritische verhouding tussen de intensiteit en de capaciteit.

Verder is de extra waterbesparing gering ($\pm 7\%$ van het totale schutwater). Het is de vraag of een vierde bekken rendabel is. Wellicht zijn de pompkosten lager dan de extra bouwkosten. Uit lit. [7] blijkt dat als een elektriciteitsprijs van fl 0,19 aangehouden wordt drie en vier bekkens ongeveer even rendabel zijn. Uit capaciteitsoverwegingen wordt daarom niet gekozen voor een vierde bekken.

Al met al lijken de richtwaarden van Partenscky vrij conservatief. Om er echter zeker van te zijn dat er niet te positieve waarden aangenomen worden, wordt ten opzichte van de eerste berekening alleen de waarde voor de riooldoorsnede veranderd. Dit is variant c in Bijlage Omzetting kolk.

De troskrachten in de voorhavens zijn echter nog niet beschouwd. De beperkingen hierdoor gelden alleen voor de restvulling. Aangezien de voorhavens hetzelfde zijn als bij de sluis zonder bekkens kunnen de reeds gevonden waarden hier ook gebruikt worden. Dit betekent dat bij één sluis dQ/dt gedurende de schutting kleiner dient te blijven dan $0,66 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Bij twee sluizen geldt dat dQ/dt beneden $1,07 \text{ m}^3/\text{s}^2$ moet blijven. Bij een kolkvulling volgens variant c wordt er waarde van $3,3 \text{ m}^3/\text{s}^2$ bereikt. Dit is dus duidelijk te veel. De snelheid waarmee de rioolschuiven geopend worden moet naar beneden bijgesteld worden.

Bij de capaciteitsbepaling worden zowel de enkele als de dubbele sluis meegenomen. Er volgen nu twee verschillende waarden voor de vultijd en twee voor de ledigtijd.

1 sluis : $t_{\text{vul}} = 14,7 \text{ min}$; $t_{\text{ledig}} = 16,2 \text{ min}$.

2 sluizen : $t_{\text{vul}} = 14,4 \text{ min}$; $t_{\text{ledig}} = 15,4 \text{ min}$.

De krachten in de voorhaven zijn maatgevend. Tijdens het ledigen zijn de krachten op de schepen in de voorhaven nauwelijks kleiner dan tijdens het vullen. Daarom zijn de maximale waarden voor dQ/dt bij vullen en ledigen gelijk. De afvoercoëfficiënten verschillen echter tussen vullen en ledigen. Als gevolg daarvan zijn de ledigtijden groter dan de vultijden.

De verkregen waarden liggen vrij dicht in de buurt van de geschatte waarden in de vorige paragraaf, alhoewel de vultijden enigzins kleiner zijn. Als de beperkingen van de voorhaven niet golden zouden de tijden nog kleiner zijn. De waarschijnlijke oorzaak van de afwijkingen is dat de "oude" tijden op een vrij ruwe manier geschat zijn. Er is een vrij grote onzekerheidsmarge. Aangezien er in de herberekening tevens vrij voorzichtige rekenwaarden gebruikt zijn, lijken de "nieuwe" resultaten betrouwbaar.

Achterin de hierbij behorende bijlage zijn enkele diagrammen opgenomen met daarop het verloop van de kolkvulling. Er zijn verscheiden varianten getekend. Het laatste diagram geeft de uiteindelijk gekozen variant aan. Hierin is zowel het verloop bij één sluis als bij twee sluizen ingetekend. De gestippelde lijn staat voor het verloop bij één sluis.

Achtereenvolgens dienen nu de bedieningstijden, de schutduren en de schutcyclustijden opnieuw bepaald te worden. Er gelden dezelfde vergelijkingen als in 3.2. In tabel 15 worden alleen de resultaten weergegeven.

Tabel 15: Bepaling van de schutcyclustijden

	zonder spaarbekkens		met spaarbekkens	
	T=1250 ton	T=1500 ton	T=1250 ton	T=1500 ton
Tb: opvaart afvaart	17,1 min 16,4 min		19,1 min (18,8 min) 19,9 min (19,1 min)	
Td: opvaart afvaart	25,8 min 23,3 min	25,9 min 23,2 min	27,8 min (27,5 min) 26,8 min (26,0 min)	27,9 min (27,6 min) 26,7 min (25,9 min)
Tc: 1 sluis 2 sluizen	49,1 min	49,1 min	54,6 min 53,5 min	54,6 min 53,5 min

3.5. Schutcyclus van de scheepsliften

Gegevens met betrekking tot de lift zelf

De natte dwarsdoorsneden zijn gelijk aan die bij de schutsluizen, namelijk 48 m^2 voor zowel het boven- als benedenhoofd.

Bij het schetsontwerp van de liften zijn twee varianten meegenomen, namelijk één variant met een aquaduct van 65 m en één met een keermuur. Hierdoor is er duidelijk verschil in de afstand tussen de deuren en het begin van de wachtplaats. Deze afstand is opgemeten uit de figuren V1, V5 en V6 in Bijlage Voorhavens. Hierin is een schets gegeven van de voorhavens bij de verschillende varianten. Deze $S_1 - l$ is 119 m in geval van een keermuur en 181 m in geval van een aquaduct.

Dit zijn de maten in het bovenpand. In het benedenpand is er één waarde voor beide varianten die gelijk is aan die bij de sluizen, namelijk $S_1 - l = 123 \text{ m}$.

De bepaling van S_1 gebeurt weer met behulp van de gemiddelde scheeps lengten, zoals in paragraaf 3.2. Hier bleek (uiteindelijk) het verschil tussen $T = 1250 \text{ ton}$ en

$T = 1500 \text{ ton}$ een nihil effect te hebben op de lustijden. Daarom wordt dat verschil hier niet meer gemaakt. Er wordt een gemiddelde genomen. Hieruit volgen drie afstanden S_i :

Tabel 16: Lusaafstanden

	T=1250 ton	T=1500 ton	gemiddeld
benedenpand	198 m	205 m	202 m
bovenpand met keermuur	194 m	201 m	198 m
bovenpand met aquaduct	256 m	263 m	260 m

Bij de scheepsliften is de bedieningstijd ook weer ingedeeld in openingstijd, nivelleertijd (heftijd) en sluitingstijd.

Zoals in paragraaf 2.3. is vermeld verloopt het sluiten en openen van de deuren bij een lift enigszins anders dan bij een schutsluis. Na aankomst van de bak wordt eerst de verbinding bak-kanaal waterdicht gemaakt door middel van het bewegen van een frame. Vervolgens wordt er water tussen de twee deuren gelaten. Pas daarna kunnen de deuren geheven worden. Voor het begin van de heffing gebeurt hetzelfde in omgekeerde volgorde.

Uit de literatuur blijkt dat de framebeweging enige doch niet veel tijd in beslag neemt. Eigen waarnemingen bij de oude scheepslift te Thieu bevestigden dit. Ook het in of uit laten stromen van het tussenwater houdt een langere bedieningstijd in. Gezien de kleine ruimte zal dit een klein tijdsverschil betekenen.

De precieze extra tijdsduur die de verschillende onderdelen in beslag nemen is niet bekend. Gezien de kleine waarden en de geringe invloed op de totaal tijd wordt een waarde aangenomen: een extra tijd van 0.5 minuten bij alle deuren.

Dit resulteert in de volgende tijden:

Tabel 17: Openings- en sluitingstijden

	bovenhoofd	benedenhoofd
openen	$2,1 + 0,5 = 2,6$ min	2,6 min
sluiten	$3,1 + 0,5 = 3,6$ min	3,6 min

Bij de bepaling van de nivelleertijd bij de scheepsliften spelen hydraulische randvoorwaarden geen rol. De bak met water en schip gaat immers als één geheel omhoog en omlaag. Er is geen sprake van schutten. Er is dus geen stroming van water en er zijn nauwelijks golfverschijnselen.

De beweging van de bak is vrij eenvoudig. Vanuit stilstand wordt de bak eenparig versneld tot de maximum snelheid ($u_{\max}$) is bereikt. Daarna volgt over het grootste deel van het traject een eenparige beweging met de maximum snelheid.

Het laatste deel is dan weer een eenparig vertraagde beweging. Versnelling en vertraging hebben vrijwel dezelfde absolute waarde (a_{lift}).

Ter bepaling van a_{lift} en $u_{\max}$ is gekeken naar de bestaande scheepslift te Lüneburg en de lift in aanbouw te Strépy-Thieu (bron lit. [13]). Dit zijn kabelliften, van hetzelfde type als dat dat gekozen is voor de scheepslift te Enschede. Daar de a_{lift} van de lift te Strépy-Thieu niet bekend is, zijn ter aanvulling de gegevens van Henrichenburg er aan toegevoegd, alhoewel deze van een ander type is.

De gevonden waarden zijn:

Tabel 18: a_{lift} en v_{max} van bestaande liften

	a_{lift} (m/s ²)	v_{max} (m/s)
Lüneburg	0,012	0,24
Strépy-Thieu	-	0,20
Henrichenburg	0,009	0,15

De a_{lift} van Henrichenburg blijkt van dezelfde orde van grootte te zijn als die van Lüneburg. Aangezien de a_{lift} al weinig invloed heeft op de totale heftijd, u_{max} wordt gauw bereikt, heeft een eventuele afwijking ten opzichte van de waarde van bijvoorbeeld 0,012 m/s² een verwaarloosbaar effect op deze heftijd. Daarom wordt voor de lift Enschede de waarde van 0,012 m/s² aangehouden.

De maximum snelheden van Lüneburg en Strépy-Thieu ontlopen elkaar weinig. De lagere waarde bij Strépy-Thieu heeft waarschijnlijk als oorzaken de grotere bak en het grotere verval. Dit is echter niet bekend. Daarom wordt een "voorzichtige" waarde genomen, namelijk het gemiddelde. Daaruit volgt een v_{max} van 0,22 m/s.

Dit betekent voor de heftijd:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{versnelling}} &= v_{\text{max}}/a_{\text{lift}} = 18,3 \text{ sec.} \\
 x_{\text{versnelling}} &= \frac{1}{2} * a_{\text{lift}} * t^2 = 2,0 \text{ m} \\
 x_{\text{middenstuk}} &= 29,0 - 2 * 2,0 = 25,0 \text{ m} \\
 t_{\text{middenstuk}} &= x_{\text{middenstuk}}/v_{\text{max}} \\
 &= 25,0/0,22 = 113,6 \text{ sec.} \\
 \text{heftijd} &= t_{\text{hef}} = 2 * 18,3 + 113,6 \\
 &= 150,2 \text{ sec.} \approx 2,5 \text{ min}
 \end{aligned}$$

Hieruit volgt de bedieningstijd (T_b). Doordat er is uitgegaan van gelijke deurtypen bij boven- en benedenhoofd geldt voor opvaart en afvaart dezelfde bedieningstijd:

$$\begin{aligned}
 \bar{T}_b &= t_{\text{openen}} + t_{\text{hef}} + t_{\text{sluiten}} \\
 &= 2,6 + 2,5 + 3,6 = 8,7 \text{ min}
 \end{aligned}$$

In- en uitvaartijden van de schepen

De in- en uitvaartijden worden op ongeveer dezelfde manier berekend als bij de schutsluizen. Net als bij de schutsluizen zijn de in- en uitvaartijden opgebouwd uit lustijden en in- en uitvaarvolgtijden. Aangezien de gemiddelde laadvermogens, de natte dwarsdoorsnede en de kolkbreedte gelijk zijn aan die bij de schutsluizen, zijn de in- en uitvaarvolgtijden zelfs volledig gelijk aan die bij de schutsluizen. Dezelfde waarden worden daarom ook hier gebruikt.

Wat betreft de lustijden zijn er echter verschillen. Ten eerste zijn de lusafstanden anders door de andere vormgeving. Met name in het geval van het toepassen van een aquaduct is er een duidelijk verschil in lusafstand.

Bij de bepaling van de lustijd in geval van een aquaduct is er nog een verschil. Het is de vraag of de figuren C8b, C9 en C10 (Bijlage Capaciteit) in dit geval wel kunnen worden toegepast. De grafieken in deze figuren zijn gebaseerd op een vormgeving waarbij er zich tussen wachtplaats en sluis alleen een fuik en een brede voorhaven bevindt. In dit geval sluit de fuik echter niet direkt aan op de liftconstructie. De vaarweg blijft zeer smal (12 m) over de lengte van het aquaduct. Schepen moeten in het aquaduct met een lage snelheid varen door de geringe manoeuvreermogelijkheden en de lage grenssnelheid. Dit geldt zowel voor de uitvarende als voor de invarende schepen en zal zich met name bij klasse IV en V schepen voordoen.

Verder geldt dat invarende schepen niet weg kunnen varen tot de uitvarende schepen geheel uit het aquaduct zijn. Wellicht is dit ook niet het geval bij een voorhaven zonder aquaduct. De literatuur is hier niet geheel duidelijk over. Er wordt in lit. [2] en [9] in elk geval gesuggereerd dat de achtersteven van het laatst uitvarende schip de achtersteven van het eerst invarende schip gepasseerd moet zijn, voordat deze laatste weg kan varen (zie figuur 29 uit lit. [2]). Mocht dit het geval zijn dan is er wat dit betreft geen verschil tussen een voorhaven met of zonder aquaduct.

Er is in eerste instantie een berekening uitgevoerd met de figuren C8b, C9 en C10. Het verschil in lustijden tussen een voorhaven met aquaduct en één met keermuur is zodanig klein, dat aan de juistheid getwijfeld kan worden. Daarom is er voor gekozen de lustijd op een andere manier te bepalen.

De lustijd wordt nu bepaald door de vaarafstand te delen door een gemiddelde snelheid, oftewel:

$$t_l = \frac{2 * S_l}{v_{gem}}$$

Het probleem hierbij is een gemiddelde snelheid te bepalen. Op het kanaal is uitgegaan van een gemiddelde snelheid van 9 km/uur voor geladen schepen en 12 km/uur voor

ongeladen schepen. Gezien de korte afstand van opstelplaats naar kunstwerk is het onwaarschijnlijk dat deze snelheden als gemiddelde gehaald worden. In het aquaduct zal de snelheid zeker niet zo hoog liggen, aangezien hier de beperking van de grenssnelheid zich doet gelden. Door het krappe natte dwarsprofiel is deze hier laag.

De gemiddelde snelheid zou nu bepaald kunnen worden aan de hand van de grenssnelheid (V_{gr}) die in het aquaduct geldt. Zo is uit metingen op o.a. de Zuid Willemsvaart gebleken dat motorschepen in een krap kanaal varen met ca. 0,85 maal de grenssnelheid (zie lit. [2]). De lustijd wordt sterk bepaald door het loskomen, versnellen en vertragen van het invarende schip. De gemiddelde vaarsnelheid over de lusafstand zal dan ook bij lange na niet gelijk zijn aan de maximum snelheid. Het gemiddelde zal ergens tussen 0 en $0,85 \cdot V_{gr}$ liggen. De waarde wordt geschat op (grofweg) $0,5 \cdot V_{gr}$.

Om de grenssnelheid te bepalen is gebruik gemaakt van de Theorie van Schijf. De grenswaarden die hieruit volgen zijn afgebeeld in figuur C17 (bron: lit. [1]).

De grenssnelheid is afhankelijk van de natte doorsnede van de schepen (A_s) en het aquaduct (A_q). Er is echter een grote variatie in scheepsafmetingen en daarmee in waarden voor A_s . Tevens is van belang of de schepen geladen zijn of niet. Zelfs met een gemiddelde waarde voor de scheepsgrootte is er nog een verschil tussen de invarende en de uitvarende schepen door verschil in leegvaartfactor.

Een redelijk indicatie voor de natte doorsnedes van zowel geladen als ongeladen schepen staat in figuur C15.

Hierin staan per gemiddeld laadvermogen de natte doorsneden gegeven. Door interpolatie tussen de scheepsklassen 6 en 7 kunnen de waarden voor $T=1250$ ton en $T=1500$ ton bepaald worden. De waarden gelden per scheepsklasse en niet voor een gehele vloot, waarin veel meer variatie in de grootten zit. De waarden zijn echter waarschijnlijk een redelijk benadering. Ter controle zijn de natte doorsnedes ook nog berekend door, uitgaande van een blokvormige scheepsromp, de gemiddelde waterverplaatsing te delen door de gemiddelde lengte. De controle waarden zijn iets lager. Dit is te verwachten, gezien het uitgangspunt van een blokvormige romp. De via figuur C15 vastgestelde grootten worden dan ook gehanteerd.

In tabel 19 staan de uitkomsten weergegeven:

Tabel 19: Bepaling lustijden met V_{gr}

	geladen		ongeladen	
	T=1250 ton	T=1500 ton	T=1250 ton	T=1500 ton
A_s (m ³)	22,6	25,9	7,6	9,2
V_{gr} (m/s)	1,4	1,1	3,3	3,0
t_l (min)	12,5	15,9	5,30	5,83

Net als in paragraaf 3.2. wordt bij de correctietijden geen verschil meer gemaakt qua laadvermogen. Deze correctietijden worden hier alleen toegepast bij het benedenpand en het bovenpand met keermuur.

Bij de bepaling van de lustijden is er wel verschil tussen beide gemiddelde laadvermogens. Door het verschil in de waarden voor A_s is er verschil in invaarvolgtijd dan wel grenssnelheid. Er volgt:

$$\text{Benedenpand: } (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{geladen schip}} = 1,01 \text{ min}$$

$$(\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{ongeladen schip}} = 0,73 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{opvaart}} &= \lambda (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{gel.sch.}} + (1-\lambda) (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{ong.sch.}} \\ &= 0,90 * 1,01 + 0,10 * 0,73 = 1,0 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{T}=1250 \text{ ton: } \bar{t}_{l \text{ opvaart}} &= \bar{t}_{i \text{ opvaart}} + (\bar{t}_l - \bar{t}_i)_{\text{opv}} \\ &= 4,2 + 1,0 = 5,2 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\bar{T}=1500 \text{ ton: } \bar{t}_{l \text{ opvaart}} = 4,6 + 1,0 = 5,6 \text{ min}$$

Bovenpand
met keermuur:

$$(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{geladen schip}} = 0,99 \text{ min}$$

$$(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{ongeladen schip}} = 0,72 \text{ min}$$

$$(\bar{t}_i - \bar{t}_i)_{\text{afvaart}} = 0,26 * 0,99 + 0,74 * 0,72 = 0,8 \text{ min}$$

$$\bar{T} = 1250 \text{ ton: } \bar{t}_{i \text{ afvaart}} = 3,5 + 0,8 = 4,3 \text{ min}$$

$$\bar{T} = 1500 \text{ ton: } \bar{t}_{i \text{ afvaart}} = 3,8 + 0,8 = 4,6 \text{ min}$$

Bovenpand
met aquaduct:

$$\bar{t}_{i \text{ afvaart}} = \lambda * \bar{t}_{i(\text{gel. sch.})} + (1-\lambda) * \bar{t}_{i(\text{ong. sch.})}$$

$$\begin{aligned} \bar{T} = 1250 \text{ ton: } \bar{t}_{i \text{ afvaart}} &= 0,24 * 12,5 + 0,75 * 5,30 \\ &= 7,2 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{T} = 1500 \text{ ton: } \bar{t}_{i \text{ afvaart}} &= 0,24 * 15,9 + 0,75 * 5,83 \\ &= 8,4 \text{ min} \end{aligned}$$

De schutduur per vaarrichting

Deze schutduur wordt bepaald volgens de formule:

$$\bar{T}_d = \bar{t}_i + (\bar{n}_{\text{max}} - 1) * \bar{t}_i + \bar{n}_{\text{max}} * \bar{t}_u + \bar{T}_b$$

Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar het gemiddeld laadvermogen, de vaarrichting en de aanwezigheid van een keermuur dan wel aquaduct. Er zijn dus zes waarden.

$$\begin{aligned} \bar{T} = 1250 \text{ ton: } \bar{T}_{d_{\text{opvaart}}} &= 5,2 + 0,1 * 4,2 + 1,1 * 2,8 + 8,7 \\ &= 17,4 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{met keermuur: } \bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} &= 4,3 + 0,1 * 3,5 + 1,1 * 2,0 + 8,7 \\ &= 15,6 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{met aquaduct: } \bar{T}_{d_{\text{afvaart}}} &= 7,2 + 0,1 * 3,5 + 1,1 * 2,0 + 8,7 \\ &= 18,5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\bar{T}=1500 \text{ ton} \quad \bar{T}d_{\text{opvaart}} = 5,6 + 3,2 + 8,7 \\ = 17,5 \text{ min}$$

$$\text{met keermuur: } \bar{T}d_{\text{afvaart}} = 4,6 + 2,2 + 8,7 \\ = 15,5 \text{ min}$$

$$\text{met aquaduct: } \bar{T}d_{\text{afvaart}} = 8,4 + 2,2 + 8,7 \\ = 19,3 \text{ min}$$

De schutcyclustijd

De cyclustijden volgen uit de sommatie van de schutduren uit de vorige paragraaf. In dit geval zijn er vier verschillende schutduren. Er is immers geen sprake van richtingen.

$\bar{T}=1250 \text{ ton:}$

$$\text{Met keermuur: } \bar{T}c = 17,4 + 15,6 = 33,0 \text{ min}$$

$$\text{Met aquaduct: } \bar{T}c = 17,4 + 18,5 = 35,9 \text{ min}$$

$\bar{T}=1500 \text{ ton:}$

$$\text{Met keermuur: } \bar{T}c = 17,5 + 15,5 = 33,0 \text{ min}$$

$$\text{Met aquaduct: } \bar{T}c = 17,5 + 19,3 = 36,8 \text{ min}$$

Het verschil tussen de tijden bij $T = 1250 \text{ ton}$ en $T = 1500 \text{ ton}$ is met een keermuur nihil. Het ligt in de orde van 0,05 minuten. Bij de afronding valt het verschil geheel weg.

3.6. Capaciteitsbepaling

De capaciteitsberekening geschiedt met de formule:

$$C_s = 60 * (2 * \bar{n}_{\max}) / \bar{T}_c$$

Met deze formule wordt de uurcapaciteit berekend. Hierna wordt de weekcapaciteit (C_w) bepaald. Aangezien er van continuïdient wordt uitgegaan (zeven dagen per week) en er dus ook 's nachts schepen doorgevoerd worden, moet er rekening gehouden worden met de lagere capaciteit 's nachts van 5%. Verder wordt er gerekend met een etmaalreductie van 10%. In formulevorm wordt dit:

$$C_w = 7 * 0,9 * (12 * C_s + 12 * 0,95 * C_s) = 147,42 * C_s$$

In tabel 20 staan de C_s - en C_w -waarden voor alle varianten vermeld, uitgedrukt in schepen per uur respectievelijk per week.

Tabel 20: Capaciteiten van de alternatieven

	C_s (sch./uur)	C_w (sch./uur)
schutsluis		
T=1250: zonder bekkens	2,69	396
met bekkens	2,42 (2,47)	356 (364)
T=1500: zonder bekkens	2,44	360
met bekkens	2,17 (2,24)	324 (331)
scheepslift		
T=1250: met keermuur	4,99	590
met aquaduct	3,68	542
T=1500: met keermuur	3,64	536
met aquaduct	3,26	481

Bij de sluis met bekkens is er een verschil in schutcyclustijd tussen één enkele sluis en een complex van twee sluizen. De toelaatbare schutdebieten hebben als gevolg van de verschillend grote voorhavens niet dezelfde waarde. Als gevolg hiervan zijn er verschillen in capaciteit. De waarden voor een dubbele sluis staan tussen haakjes.

De capaciteiten bij de dubbele uitvoering zijn voor de sluizen zonder bekkens en de scheepslift steeds twee maal zo groot als bij de enkele uitvoering. Er zou een verschil kunnen zijn, omdat de vormgeving van de voorhavens verschilt. Dit blijkt echter een verwaarloosbare invloed te hebben.

Met de in paragraaf twee vastgestelde verkeersstromen per week kan nu de intensiteits-capaciteitsverhouding bepaald worden voor alle varianten. Zo kan bekeken worden of de verschillende oplossingen voldoen.

Er zijn drie scenario's aangehouden: een laag, een gemiddeld en een hoog. Deze houden, voor de opvaart en voor 2030, een vervoersstroom in van respectievelijk 9,2 miljoen ton/jaar, 12,7 miljoen ton/jaar en 16,1 miljoen ton/jaar.

De resultaten staan weergegeven in de tabellen 21 en 22.

Tabel 21: I-C verhoudingen bij enkele sluis of lift

	vervoersscenario		
	laag	middel	hoog
schutsluis			
T=1250: zonder bekkens	0,93	1,29	1,62
met bekkens	1,04	1,43	1,80
T=1500: zonder bekkens	0,86	1,17	1,50
met bekkens	0,96	1,30	1,67
scheepslift			
T=1250: met keermuur	0,63	0,86	1,08
met aquaduct	0,68	0,94	1,18
T=1500: met keermuur	0,58	0,78	1,01
met aquaduct	0,64	0,87	1,12

Tabel 22: I-C verhoudingen bij dubbele uitvoering

	vervoersscenario		
	laag	middel	hoog
schutsluis			
T=1250: zonder bekkens	0,47	0,64	0,81
met bekkens	0,51	0,70	0,88
T=1500: zonder bekkens	0,43	0,58	0,75
met bekkens	0,47	0,63	0,82
scheepslift			
T=1250: met keermuur	0,31	0,43	0,54
met aquaduct	0,34	0,47	0,59
T=1500: met keermuur	0,29	0,39	0,50
met aquaduct	0,32	0,44	0,56

4. Afweging en conclusies

4.1. Capaciteiten

Algemeen

Het Twenthe-Mittelland kanaal is bedoeld om een snellere vaarroute te creëren tussen Rotterdam en Antwerpen enerzijds en Noord Duitsland en Oost Europa anderzijds. Eventuele sluizen of liften in het kanaal dienen de scheepvaart vlot te kunnen verwerken. Anders schiet men met de aanleg van het kanaal het doel voorbij. Deze kunstwerken zijn over het algemeen de zwakste schakel in de ketting. Daar het kunstwerk te Enschede veruit het grootste verval heeft is een gevaar dat Enschede de flessehals van het Twenthe-Mittelland kanaal wordt. De passeertijden zullen hier niet veel groter mogen zijn dan bij de overige sluizen in het kanaal.

Om aan te geven of en in welke mate de alternatieven de vervoersstroom kunnen verwerken zijn de capaciteiten bepaald.

Als dit bekend is kunnen de constructies worden vergeleken en kan er een keuze gemaakt worden. Er kan ook aangegeven worden of de in eerste instantie aangenomen kolkafmetingen voldoen. Vooral bij de sluizen zou er voor gekozen kunnen worden de kolkafmetingen te veranderen in plaats van een extra sluis of een andere constructie aan te leggen. Met name als de capaciteit maar net te weinig is kan dit een aantrekkelijk alternatief zijn.

De in hoofdstuk 3 berekende waarden geven aan hoeveel schepen er per week maximaal een sluis kunnen passeren. Het is echter niet voldoende dat het aanbod kleiner is dan de capaciteit. Bij een schutcapaciteit die veel groter is dan de intensiteit zullen de schepen meteen met de volgende schutting meegenomen kunnen worden. De passeertijden zullen gelijk zijn aan de minimumwaarde, oftewel gelijk aan de wachttijd plus de schutduur. De overligtijd, de tijd dat men moet wachten tot men aan de beurt is, zal gelijk aan nul zijn. Een schutcapaciteit, die op weekbasis maar net voldoende is, kan voor een groot aantal individuele schepen tot heel lange overligtijden en dus lange passeertijden leiden. Dit is onaanvaardbaar. De passeertijd dient binnen redelijke grenzen te liggen. Of dit het geval is bij een bepaalde I-C verhouding hangt sterk af van de variatie in de verkeersintensiteit, oftewel het intensiteitspatroon. Dit patroon is hier niet bekend. Er kunnen echter wel een paar algemene opmerkingen over gemaakt worden.

De variatie kan puur stochastisch van karakter zijn. Vaak vertoont de intensiteit echter een systematisch patroon. Dit wordt meestal veroorzaakt door etmaal- en weekcycli. s'Nachts en in het weekeinde is er een veel geringere intensiteit aanwezig dan op de overige tijden.

Aangezien er in het Twenthe-Mittelland kanaal van een continudienst wordt uitgegaan zullen beide cycli invloed uitoefenen op de variatie.

De nabijheid van andere sluizen kan de stochastische variatie verder reduceren. Deze "buursluizen" kunnen de verkeersstroom structureren. Dit is vooral het geval als er geen aansluitende vaarwegen of havens zijn in de tussenliggende kanaalpanden en deze panden tevens niet al te lang zijn. De lage stochastische variatie kan dan leiden tot een duidelijke vermindering van de passeertijden bij een gelijkblijvend verkeersvolume. De schutduren en de kolkafmetingen bij de "buursluizen" zullen dan echter ook vergelijkbaar groot moeten zijn. Is dit duidelijk niet het geval dan kan de structurering zelfs een negatief effect hebben op de passeertijden.

In het hier onderzochte geval zal er wel enige structurering zijn door de sluizen te Delden en Bevergern (nieuw). Bevergern ligt echter op een vrij grote afstand (± 50 km) en op het pand naar Delden is er de aftakking naar Hengelo. Van de schutkarakteristieken is weinig bekend. Of de structurering die er is een positief effect zal hebben is dus maar de vraag.

Passeertijden kunnen berekend worden d.m.v. sluissimulaties. Als men een aantal sluis-simulaties uitvoert en deze vergelijkt blijkt dat beneden een bepaalde kritische waarde voor de I-C verhouding de overligtijden heel laag zijn en nauwelijks toenemen als de verhouding groter wordt. Boven deze waarde betekent een toenemende waarde voor de I-C verhouding een steeds sterker toenemende overligtijd.

In lit [9] is aan de hand van sluissimulaties en praktijkmetingen een (ruwe) indicatie gegeven welke I-C verhouding nog acceptabel is. In geval van een continudienst ligt de kritische waarde tussen 0,65 bij een willekeurig verkeersaanbod en 0,75 bij een gestructureerde verkeersstroom. Er wordt gesteld dat het kunstwerk niet voldoet als de I/C waarde bij het gemiddelde scenario boven de 0,70 komt. Globaal gesproken is er dan 50% kans dat het vervoersaanbod groter is en dat de passeertijden dus te groot worden.

De enkele sluis of lift

Uit de berekende I/C waarden blijkt duidelijk dat de enkel uitgevoerde sluizen niet voldoende capaciteit hebben om de vervoersstroom te kunnen verwerken. Bij een midden of hoog scenario is de capaciteit absoluut onvoldoende. De intensiteit is in alle gevallen groter dan de capaciteit. Zelfs als de intensiteit laag blijft kan de vervoersstroom eigenlijk niet verwerkt worden. De I-C verhouding is bijna gelijk aan 1. Een dergelijke verhouding betekent een vrijwel oneindig lange wachtrij. De passeertijden zouden enorme waarden aannemen, wat niet acceptabel is. Zeer waarschijnlijk zou de scheepvaart het kanaal gaan mijden en zou de vervoersstroom nooit een dergelijke grootte bereiken.

De verhoudingen liggen bij de lift gunstiger. In het lage scenario kan één lift het aanbod redelijk goed verwerken. Het criterium van 0,70 wordt echter bij het gemiddelde scenario duidelijk overschreden.

In 2030 zijn dus in ieder geval twee sluizen of liften nodig. Direct na ingebruikname van het kanaal is het scheepsaanbod kleiner dan in 2030. In het begin is de benodigde capaciteit dus ook kleiner. Een mogelijkheid om de kosten te beperken is dat er eerst één kunstwerk aangelegd wordt. Bij de bouw wordt reeds rekening gehouden met de mogelijke aanleg van een tweede kunstwerk. Na ingebruikname wordt dan aan de hand van de werkelijk optredende vervoersstroom (en de ontwikkeling daarvan) bekeken of een tweede kunstwerk nodig is.

De bouw van het tweede kunstwerk kan dan uitgesteld worden tot het aanbod te groot wordt voor één sluis of lift. Dit levert in ieder geval een besparing op door de verminderde rentederving. Er bestaat de mogelijkheid dat de hoeveelheid scheepvaart direct na ingebruikstelling zo groot is dat er meteen met de bouw van de tweede constructie begonnen moet worden. Aangezien dit enige tijd vergt ($\pm$ vijf jaar) zal de ene sluis of lift het werk in ieder geval in het begin in z'n eentje moeten kunnen klaren. Wordt de sluis/lift hier niet op gedimensioneerd dan bestaat er de kans dat er gedurende een aantal jaren een ongewenste situatie bestaat van (te) grote vertragingen en opstoppingen bij Enschede. In andere woorden: het kunstwerk zal de hoogst verwachte hoeveelheid scheepvaart moeten kunnen verwerken.

In het hoge scenario wordt er in 2015, net na ingebruikname, een transport van 12,5 miljoen ton in oostelijke richting verwacht. De hieruit volgende I/C waarden staan in tabel 23. Aangezien er verwacht mag worden dat het gemiddelde laadvermogen in 2015 lager ligt dan in 2030, wordt er alleen gerekend met $T = 1250$ ton.

Tabel 23: I-C verhouding bij gefaseerde aanleg

T = 1250 ton	vervoersscenario	
	gemidd.	hoog
één sluis zonder bekkens	1,02	1,27
één spaarsluis	1,13	1,41
één lift met keermuur	0,68	0,85
één lift met aquaduct	0,74	0,93

De intensiteit mag maximaal 70% van de capaciteit bedragen. Zelfs bij het gemiddelde scenario wordt dit alleen bij de lift met keermuur gehaald en dan ook nog maar net. Bij het hoge scenario zou het complex vanaf de eerste week verstopt zijn. Dit is onacceptabel. Geconcludeerd moet dus worden dat gefaseerde aanleg met geen van de alternatieven mogelijk is.

De dubbele sluis of lift

Bij een dubbele uitvoering voldoet elk van de alternatieven aan het gestelde criterium. Bij een gemiddelde vervoersstroom zullen er voor de liften nauwelijks schepen zijn die een schutting moeten overslaan. Bij alle varianten blijft de I/C waarde beneden 0,50. De overligtijden zijn verwaarloosbaar. Bij een sluis met spaarbekkens zullen de passeertijden vrij hoog worden maar waarschijnlijk nog acceptabel zijn. De sluis zonder bekkens neemt een middenpositie in.

Als men naar het hoge scenario kijkt wordt duidelijk dat de sluizen weinig reserve in hun capaciteit hebben. In alle gevallen zijn de I/C waarden te hoog.

Bij de sluizen zonder bekkens zal de kritische waarde echter pas bij relatief grote intensiteiten overschreden worden. De kans dat dit gebeurt is duidelijk kleiner dan 0,5. Bij de spaarsluizen is er vrijwel geen reserve.

Gezien de kleine reserves in de capaciteit is het belangrijk welke onnauwkeurigheden er in de berekening zitten. De belangrijkste zit bij de maatgevende weekintensiteit. Bij de bepaling van de capaciteiten is er van een grote spreiding van de scheepvaart over het jaar uitgegaan. Het aanbod van de maatgevende week zou 1/52 ste deel van het jaaraanbod zijn. Het onderzoek van het NEA heeft dit uitgewezen. Dit is echter een verwachting. Bij de meeste Nederlandse vaarwegen is het aanbod in de maatgevende week groter, meestal in de orde van 2,15% ($\approx 1/46$ ste) van het jaaraanbod (zie lit.[9]).

Dit wordt bevestigd door de capaciteitsbepaling die men voor de sluis Uelzen in het Elbe-Seiten kanaal heeft uitgevoerd (zie ook lit. [7]). Bij de berekening is men uitgegaan dat de sluis effectief 330 dagen in bedrijf is (continudienst). Omgerekend komt dit neer op een maatgevend weekaanbod ter grootte van 2,13% van de jaarhoeveelheid.

Er wordt nu een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te kijken of dit uitmaakt bij de keuze uit de alternatieven. Hierbij wordt de maatgevende intensiteit op 1/46 ste van de jaarintensiteit gesteld.

De resultaten staan in tabel 24:

Tabel 24: I-C bij groter maatgevend aanbod

	vervoersscenario		
	laag	middel	hoog
schutsluis			
T=1250: zonder bekkens	0,53	0,72	0,92
met bekkens	0,58	0,79	0,99
T=1500: zonder bekkens	0,49	0,66	0,85
met bekkens	0,53	0,71	0,93
scheepslift			
T=1250: met keermuur	0,35	0,49	0,61
met aquaduct	0,38	0,53	0,67
T=1500: met keermuur	0,33	0,44	0,57
met aquaduct	0,30	0,55	0,63

Bij de sluizen met bekkens liggen de middelste I/C waarden nu boven de kritische waarde. Globaal gesproken is er met deze intensiteiten meer dan 50% kans dat de capaciteit onvoldoende is. Bij een hoger dan gemiddeld scenario raken de sluizen geheel verstopt. Bij de sluizen zonder bekkens wordt het goed functioneren nu ook twijfelachtig. Al bij een gemiddeld scenario liggen de I-C verhoudingen rond de kritische waarde. Bij het hoge scheepsaanbod is ook dit complex verstopt.

Een heel andere situatie doet zich voor bij de liften. Bij het gemiddelde scenario liggen de waarden rond 0.5. Dit houdt heel lage overligtijden in. Bij het hoge scenario is de capaciteit steeds voldoende, zelfs als men aquaducten toepast en het gemiddeld laadvermogen klein is.

De aanleg van aquaducten is qua intensiteit geen groot probleem. De reserve is groot en het effect van aquaducten is relatief gering. Alleen bij de hoogst te verwachten intensiteit en met een laag laadvermogen zouden aquaducten duidelijk effect hebben op de passeertijden. De keuze voor óf keermuren óf aquaducten dient dan ook eigenlijk op andere gronden dan capaciteit te gebeuren. Het esthetische aspect zal dan belangrijk zijn.

Grotere kolkafmetingen bij de sluizen zouden hier zeker overwogen moeten worden. Volgens lit. [9] zal de capaciteit 30 à 40 % toenemen als de kolk lengte verdubbeld wordt. Verdubbeling van één kolk zou ruim voldoende reserve creëren (15 à 20% erbij). Natuurlijk nemen de kosten ook toe. Er zou een nadere afweging van de kolkafmetingen gedaan kunnen worden. Hierbij zou de kans op overschrijden van de kritische waarde bij de verschillende afmetingen en de bijbehorende kosten (van investering en vertraging) meegenomen moeten worden. Dit valt echter buiten het kader van dit afstudeerwerk. Aangezien de dubbele uitvoeringen van de sluizen, met de gehanteerde afmetingen, voldoen aan het gestelde criterium, worden deze afmetingen in dit verslag gehandhaafd. De vrij grote passeertijden en de kleine reserve worden wel meegenomen in de verdere afweging.

4.2. Kosten van de complexen

Drie aspecten zijn min of meer uit te drukken in geld.

Dit zijn:

- de kosten van bouw en exploitatie;
- de capaciteit;
- het waterbezwaar.

Het kostenaspect bij de bouw- en exploitatie van de kunstwerken ligt voor de hand. Deze kosten kunnen (globaal) bepaald worden aan de hand van de kosten van bestaande kunstwerken.

Een vlotte doorvaart is echter ook voornamelijk een economisch belang. Een (extra) investering in het kunstwerk moet economisch ook zin hebben. Er is een schatting gemaakt van kosten die schippers gemiddeld zouden maken bij het passeren van de verschillende kunstwerken. Door de kosten voor de schippers bij die voor de beheerder op te tellen wordt een totaal kostenplaatje verkregen.

Bij het waterbezwaar geldt de regel dat al het water dat aan de omgeving onttrokken wordt, gecompenseerd moet worden. In concreto: al het water dat via het kunstwerk wegvloeit, moet weer omhoog gepompt worden. Hier is een kostenschatting van te maken.

De kosten zijn bepaald voor een complex van twee gewone schutsluizen, een complex van twee schutsluizen met spaarbekkens en een complex van twee scheepsliften. Dit zijn de overgebleven alternatieven na beschouwing van de capaciteiten. Er wordt geen onderscheid in investeringskosten gemaakt tussen de varianten bij de liften. De kosten van de afzonderlijke keermuur of de aquaducten zijn niet bekend. Er wordt er van uitgegaan dat het verschil tussen de twee varianten klein is vergeleken met de totale investeringskosten. Per complex wordt, analoog aan paragraaf 1.5., onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en jaarlijkse kosten.

Bij de investeringskosten zijn twee posten meegenomen. Behalve de kosten voor het kunstwerk zelf zijn er de investeringskosten voor de gemalen die het waterverlies door het schutten moeten compenseren.

De investeringskosten van nieuwe sluizen zonder bekkens zijn door de Projektgroep Twenthe-Mittelland kanaal ingeschat aan de hand van kengetallen, ontleend aan recent gerealiseerde sluizen. De kosten van deze sluizen zijn grafisch uitgezet tegen het verval over de sluizen. Door inter- en extrapolatie is een verband tussen kosten en verval gevonden, waarmee de kentallen van de investeringskosten van de nieuwe sluizen zijn bepaald. Op een vergelijkbare manier zijn de investeringskosten van de gemalen bepaald. De investeringskosten voor de spaarsluizen en voor de liften zijn geschat aan de hand van de kosten van reeds uitgevoerde kunstwerken in Duitsland. Voor de spaarsluizen is met

name gekeken naar de kosten van de sluizen te Eckersmühlen, Uelzen en Henrichenburg. Van deze redelijk recent gebouwde sluizen waren voldoende gegevens beschikbaar. Voor de kosten van twee liften is de kostprijs van het complex te Lüneburg aangehouden. Hier staan de enige recent gebouwde liften die vergelijkbaar zijn met die voor het complex te Enschede. De liften zijn van hetzelfde type, het zijn namelijk allebei kabelliften. Bij beide complexen gelden vergelijkbare grondcondities. De ondergrond is opgebouwd uit glaciale zand- en grindafzettingen. Het verval over de liften is bij Enschede kleiner (29 m) dan bij Lüneburg (38 m). De kosten kunnen te Enschede wellicht wat lager uitvallen. De vervallen zijn echter vergelijkbaar en er is te weinig bekend over de invloed van het verval op de kosten om daarop een onderscheid te kunnen maken.

Er zijn nog twee andere recente scheepsliften, namelijk die te Henrichenburg en die te Strépy-Thieu. De eerste is echter van een heel ander type. Voor het ontwerp waren verzakkingen in de ondergrond, door mijnbouw ter plaatse, bepalend. Bij Enschede hoeft echter met dit soort verzakkingen geen rekening gehouden te worden.

Het andere kunstwerk is nog in aanbouw. Het is een veel groter bouwwerk dan het kunstwerk te Enschede. Het heeft een verval van 73 m. Ook hebben bij het ontwerp en de bouw (Belgische) politieke omstandigheden en problemen een grote rol gespeeld. De zeer hoge kostprijs van dit bouwwerk kan dan ook nauwelijks een richtlijn zijn voor de kosten van scheepsliften te Enschede. Daarom wordt voor deze kosten de kostprijs van het bouwwerk te Lüneburg genomen, omgerekend naar huidig prijspeil.

Bij de jaarlijkse kosten wordt, net als in paragraaf 1.5., rekening gehouden met de onderhoudskosten van de kunstwerken en de gemalen. De bedieningskosten zijn niet meegenomen omdat deze voor de verschillende alternatieven gelijk zijn.

Bij alle kunstwerken is er uitgegaan van eenzelfde percentage van de investeringskosten, namelijk 1%. Dit is voor civiel-technische werken een gebruikelijk percentage. De scheepslift is echter voor een belangrijk deel een werktuigbouwkundige constructie. In de werktuigbouw zijn de onderhoudskosten relatief hoger. Vaak wordt een percentage van 3% toegepast. Bij de lift zal het percentage waarschijnlijk tussen 1% en 3% in liggen. Welk percentage juist is, is niet bekend.

Er zijn, vergeleken bij paragraaf 1.5., twee kostenposten bijgekomen. Dit zijn de kosten die samenhangen met de capaciteit en het waterbezwaar. Deze posten, de passeerkosten en de energiekosten worden nu nader besproken.

De passeerkosten zijn afhankelijk van de tijd die de schepen (gemiddeld) extra nodig hebben om het complex te passeren. Deze gemiddelde passeertijd (t_p) is opgebouwd uit drie onderdelen, namelijk de gemiddelde schuttijd (t_s), de gemiddelde wachttijd (t_w) en de gemiddelde overligtijd.

De gemiddelde schuttijden zijn te berekenen aan de hand van de resultaten in hoofdstuk 3. De schuttijd is gelijk aan de bedieningstijd (T_b) plus de uitvaartijden (t_u). De bedieningstijden zijn in de vorige paragraaf berekend. Bij de uitvaartijden moeten alleen de opgetelde uitvaarvolgtijden in rekening worden gebracht. Ook de uitvaartijd van sluisdeur naar opstelplaats moet meegenomen worden. Deze uitvaartijd zit bij de capaciteitsberekening opgesloten in de lustijd. Aangezien dit weinig tijd in beslag neemt en de lusafstanden weinig variëren wordt deze uitvaartijd als volgt geschat:

gemiddelde afstand	= 200 m
gemiddelde vaarsnelheid	= 10 km/uur = 2,8 m/s
gemiddelde uitvaartijd	= $200/2,8 = 71 \text{ s} = 1,2 \text{ min.}$

De liften met aquaducten vormen een uitzondering:

gemiddelde afstand	= 260 m
gemiddelde snelheid	= 1,8 m/s
gemiddelde uitvaartijd	= $260/1,8 = 144 \text{ s} = 2,4 \text{ min.}$

Bij berekening van de gemiddelde schuttijden (t_s) moet rekening gehouden worden met het aantal schepen in de kolk. Dit wordt op 1,1 geschat. Aangezien de variatie in het aantal schepen niet meegenomen wordt is deze bepaling van t_s een benadering.

De resultaten staan in tabel 25.

De wachttijd (t_w) is vrij eenvoudig te bepalen. Bij benadering geldt dat de gemiddelde wachttijd gelijk is aan de gemiddelde schutcyclustijd gedeeld door het aantal kolken plus één. Bij alle drie de alternatieven betekent dat een gemiddelde wachttijd ter grootte van een derde deel van de schutcyclustijd.

De schuttijd en de wachttijd samen zijn de minimale passeertijd (t_{pmin}), dat wil zeggen de passeertijd als de I-C verhouding klein is.

Deze minimale passeertijden zijn eveneens in tabel 25 weergegeven. De waarden voor de opvaart staan steeds bovenaan, terwijl de waarden voor de afvaart tussen haakjes staan.

Tabel 25: De minimale passeertijden (in min)

	Tb	t _u	t _s	t _w	t _{pmin}
standaard sluizen	17,1 (16,4)	4,5 (3,5)	21,6 (19,9)	18,3 (18,3)	40 (38)
spaar- sluizen	18,8 (19,1)	4,5 (3,5)	23,3 (22,6)	18,5 (18,5)	42 (41)
liften met keermuur	8,7 (8,7)	4,5 (3,5)	13,2 (12,2)	11,0 (11,0)	24 (23)
liften met aquaduct	8,7 (8,7)	5,8 (3,5)	14,5 (12,2)	12,1 (12,1)	27 (24)

Aangezien bepaalde factoren geschat zijn is er bij de laatste waarden een onnauwkeurigheds­marge van enkele minuten.

De overligtijden zijn niet bekend. Beneden een I/C waarde van 0,4 à 0,6 zal de overligtijd te verwaarlozen zijn ten opzichte van de minimale passeertijd en daarboven niet. Verder valt er zeer moeilijk een schatting van te maken, puur aan de hand van de I-C verhoudingen.

In lit. [2] en [9] wordt toch een grove indicatie gegeven van de grootte van de overligtijd als de I/C waarde de kritische waarde heeft. De passeertijd zou te groot worden als de overligtijd boven de 0,5 à 1,0 uur zou liggen. Dit is nog steeds vrij vaag.

De I/C waarden bij de liftten (gemiddeld scenario) liggen echter allemaal onder 0,5, die met keermuur zelfs rond 0,4. Er kan bij deze waarden er redelijk van uit gegaan worden dat de overligtijden klein zullen zijn, waarschijnlijk zelfs verwaarloosbaar zullen zijn.

De I-C verhoudingen bij de spaarsluizen (gemiddeld scenario) liggen rond de kritische waarde. De overligtijd zal hier dus (waarschijnlijk) tussen 0,5 en 1,0 uur liggen. De standaard sluizen hebben I/C waarden die juist in het helemaal onbekende gedeelte liggen, dat wil zeggen de overligtijden liggen tussen de waarden 0 en 1,0 uur.

Om toch de passeerkosten te kunnen bepalen worden bij de sluizen steeds twee passeertijden berekend. Zo kan de invloed van de onnauwkeurigheid op de uitkomst bekeken worden. Bij de liftten wordt er vanuit gegaan dat de overligtijden verwaarloosbaar zijn.

Gezien de kleine verschillen worden bij de berekening voor opvaart en afvaart dezelfde waarden genomen. Er worden de volgende passeertijden (t_p) gehanteerd:

standaardsluizen	: $t_p = 0,9$ à $1,4$ uur
spaarluizen	: $t_p = 1,2$ à $1,7$ uur
liften met keermuur	: $t_p = 0,4$ uur
liften met aquaduct	: $t_p = 0,5$ uur

Uit de reactie op het rapport van de projectgroep van de betreffende Duitse instanties bleek dat het water uit de Weser niet gebruikt kan worden ten behoeve van een Twenthe-Mittelland kanaal. Er is al een te grote vraag naar het Weserwater waardoor er vrijwel niets overschiet voor dit kanaal. Ook is het water van een dusdanig slechte kwaliteit dat het voor de Duitse instanties niet acceptabel zou zijn het water via het Mittelland kanaal naar Nederland te laten stromen. Daarom is bij deze kostenafweging aangenomen dat al het schutwater terug omhoog gepompt moet worden.

Bij de sluizen zonder spaarbekkens is de hoeveelheid schutwater (bij benadering) gelijk aan het aantal schutcycli maal de inhoud van de waterkolom die in het benedenpand gelaten wordt.

Er is geen rekening gehouden met eventuele kostenbesparende maatregelen. Zo zou het schutwater direkt uit de kolk naar het bovenpand gepompt kunnen worden. Er wordt dan door middel van pompen geschut. Het gemiddelde verval bij het pompen bedraagt dan ongeveer de helft van het totale verval van 29 m. Dit betekent een fikse besparing op de pompkosten. De capaciteit van de pompen zou wel beduidend hoger moeten liggen dan hier is aangenomen. Anders zou het schutten te lang duren. Een hogere capaciteit betekent hogere investeringskosten. Ook zal het rendement bij een dergelijk snel pompen lager liggen, hetgeen de kosten weer nadelig beïnvloed. Het is ook de vraag wat de capaciteit van de sluizen zou zijn. Naar alle waarschijnlijkheid zou deze lager zijn dan hier is berekend.

Een andere manier om op de pompkosten te besparen, is het koppelen van de twee kolken. Het water in de ene kolk stroomt dan in de andere, totdat beide kolken half gevuld zijn. Hierbij is maar 50% van het schutwater nodig, vergeleken bij gewone kolken. Een gevolg van dit systeem is dat beide kolken altijd tegelijk en tegengesteld aan elkaar omgezet moeten worden. Dit heeft echter duidelijke consequenties voor de passeertijden.

Vertragingen in de ene kolk werken nu immers door naar de andere kolk. Wat de consequenties zijn en hoe groot de I-C verhouding mag worden, is zonder simulatie zeer moeilijk te bepalen.

Bij beide genoemde systemen zijn de (capaciteits)consequenties moeilijk in te schatten. Deze alternatieven zijn daarom niet in de afweging meegenomen. Bij een eventuele vervolgstudie zullen deze alternatieven echter zeker nader onderzocht moeten worden. De pompkosten zijn beduidend lager bij de sluis met spaarbekkens. In het geval van drie spaarbekkens is de hoeveelheid schutwater maar 40% van die bij de standaard sluis. 60% wordt immers in de bekkens opgeslagen.

Bij de liften is het schutwaterverlies vrijwel gelijk aan 0. Alleen door variaties in de kanaalpeilen kan er eventueel water van het ene pand naar het andere vervoerd worden. Deze variaties zullen maximaal enkele decimeters bedragen. Het watertransport per cyclus zal dus maximaal enkele procenten van het schutverlies van de sluizen bedragen. Per saldo zal het watertransport echter nog kleiner zijn. Het water kan immers zowel omhoog als omlaag verplaatst worden.

Er is een schutverlies ter grootte van 2% van het verlies bij de sluizen zonder bekkens aangehouden. Dit lijkt een veilige bovengrens. Aan de hand van deze bovengrens kan tevens de kostprijs van het gemaal bepaald worden. Een dergelijk gemaal is ook hier nodig, al is de benodigde capaciteit klein.

Het hierboven geschetste beeld van de schutverliezen is niet compleet. Het schutverlies is bij alle drie de constructies iets groter. Door het verschil in leegvaartfactor tussen opvaart en afvaart is er namelijk een verschil in gemiddelde waterverplaatsing van de schepen. Door dit verschil in waterverplaatsing zal er, elke keer bij het wisselen van de schutrichting, een extra hoeveelheid water meegeschut worden. Daar het aandeel geladen schepen, en dus de gemiddelde waterverplaatsing, in de opvaart groter is dan in de afvaart, zal er per saldo meer water door het schutten wegstromen. De hoeveelheid (per schutting) ligt ergens tussen 0 en het maximale verschil in gemiddelde waterverplaatsing. Dit maximum is gelijk aan het gemiddelde laadvermogen, oftewel 1250 à 1500 ton. Een verschil in waterverplaatsing ter grootte van de helft van dit laadvermogen ($\pm 700 \text{ ton} = 700 \text{ m}^3$) komt overeen met $\pm 0,5 \text{ m}$ peilverschil in de kolk. Dit is vrij gering ten opzichte van de totale hoeveelheid waterverlies bij de schutsluizen. Bovendien is deze hoeveelheid bij alle alternatieven gelijk. Het verlies wordt immers bepaald door de scheepvaart en niet door de constructie. Bij een vergelijking tussen de alternatieven heeft dit dan ook nauwelijks invloed. Dit extra verlies is daarom niet meegenomen in de kostenbepaling.

Tevens is het water dat via de deuren weglekt niet meegenomen. Ook hiervoor geldt dat de hoeveelheden relatief gering zijn. Voor de verschillen tussen de alternatieven is moeilijk een schatting te geven. Enerzijds zullen de puntdeuren die bij de schutsluizen gekozen zijn meer lekken dan de hefdeuren bij de liften. Anderzijds is er bij de liften een extra verlies door de ruimte tussen de twee deuren aan elke kant van de bak

(zie paragraaf 2.3. en figuur 8). Deze ruimte is echter klein. Het verschil tussen de hoeveelheden water door deurlekage is niet bekend. Het zal naar alle waarschijnlijkheid gering zijn ten opzichte van het schutverlies van de sluizen. Daarom is ook dit lekkage-water niet meegenomen in de afweging.

De kosten zijn berekend uitgaande van een eenheidsprijs van electriciteit, een geschat rendement van de pompen en de toename van de zwaartekrachtenergie van het opgepompte water. De berekening is uitgebreid weergegeven in deel III van Bijlage Kostenbepaling.

Er zijn natuurlijk ook energiekosten die samenhangen met het exploiteren van het kunstwerk. Dit zijn bij gewone sluizen voornamelijk verlichtingskosten. De verlichtingskosten zullen tussen de alternatieven niet veel verschillen. Er moet immers een vergelijkbare ruimte verlicht worden.

Bij de lift is er echter nog een andere energiepost, namelijk de aandrijving van de bak(ken). Het gewicht van de bak is gekompenseerd via contra-gewichten maar de interne wrijving moet wel overwonnen worden.

Ten behoeve van de afweging tussen de alternatieven (sluizen dan wel hefwerken), is voor het kunstwerk bij Lüneburg (Elbe-Seiten kanaal) is een kostenvergelijking gemaakt.

Hierbij kwam onder andere naar voren dat de bedieningskosten van schutsluizen vele malen hoger zijn dan die bij de liften. In deze bedieningskosten zijn alle energiekosten verwerkt. Het verschil komt vrijwel geheel door de pompkosten bij de schutsluizen. Het schutverlies moet ook hier volledig teruggepompt worden. Buiten de pompkosten om zijn de kosten bij de lift hoger, echter niet noemenswaardig. Blijkbaar zijn dus de energiekosten verbonden met het pompen veel groter dan de energiekosten bij het hefbedrijf. Omdat de situatie bij Enschede vergelijkbaar is met die te Lüneburg worden de energiekosten van het heffen c.q. schutten verwaarloosd ten opzichte van de energiekosten van het pompbedrijf.

Om alle kosten te kunnen vergelijken worden ze weer gekapitaliseerd. Dit wordt op dezelfde wijze gedaan als in paragraaf 1.5.. Voor de investeringskosten (IK) wordt uitgegaan van een gelijkmatige spreiding over de periode 2000 tot 2010, voor de jaarlijkse kosten (JK) wordt gerekend met de periode 2010 tot 2060. Als uitgangsjaar wordt nog steeds 1990 gehanteerd. De reële rente (r) wordt op 5% gesteld. Onder de jaarlijkse kosten vallen niet de jaarlijkse passeerkosten (PK). Deze kostenpost is veel minder nauwkeurig bekend dan de andere kostenposten.

Er volgt de formule:

$$\Sigma K_{kap} = \sum_{i=10}^{19} \frac{IK/10}{(1+r)^i} + \sum_{i=20}^{69} \frac{JK}{(1+r)^i} + \sum_{i=20}^{69} \frac{PK}{(1+r)^i}$$

Uit de berekening volgen de volgende gekapitaliseerde kosten.

In de Bijlage Kostenbepaling is nog onderscheid gemaakt naar gemiddeld laadvermogen. De waarden voor T = 1250 ton staan bovenaan, de waarden voor T = 1500 ton staan eronder tussen haakjes. Bij de meeste posten ontlopen de waarden elkaar weinig. Bij een gelijke waarde is dit maar één keer weergegeven.

Tabel 26: De gekapitaliseerde kosten (in milj. guldens)

	investerings- kosten	jaarlijkse kosten	passeer- kosten	totale kosten
standaard sluizen	86 (85)	92 (81)	21 à 34 (19 à 30)	198 à 212 (185 à 196)
spaar- sluizen	105	48 (43)	28 à 39 (26 à 37)	180 à 192 (174 à 185)
liften met keermuur	145	23	9 (9)	177 (177)
liften met aquaduct	145	23	12 (11)	180 (179)

4.3. Afweging en keuze

Algemeen

Voor het maken van een keuze uit de behandelde alternatieven dient een variatie aan criteria opgesteld te worden. De alternatieven kunnen dan op deze criteria onderzocht waarna er een gewogen afweging plaats moet vinden. De moeilijkheid hierbij is de verscheidenheid aan eenheden en het gewicht dat aan elk der criteria moet gegeven worden.

In de loop van het afstudeeronderzoek kwamen steeds drie belangrijke aspecten naar voren, namelijk:

- de kosten van bouw en exploitatie;
- de capaciteit;
- het waterbezwaar.

Deze aspecten bepalen voor een groot deel welk complex het meest aantrekkelijke is. De bouw- en exploitatiekosten, omdat deze aangeven of er genoeg financiële middelen zijn om het geheel überhaupt te bouwen. De capaciteit, omdat dit uitdrukt in welke mate een complex goed functioneert. Het waterbezwaar, omdat tijdens het onderzoek bleek dat er op dit punt grote problemen kunnen ontstaan. Deze drie vormen de hoofdcriteria van deze afweging. De overige criteria worden alleen meegenomen als er bij de hoofdcriteria weinig verschil is.

De drie aspecten zijn min of meer uit te drukken in geld. Dit is reeds in de vorige paragraaf behandeld. De aspecten kunnen dus in één eenheid uitgedrukt worden, waardoor ze eenvoudiger vergeleken kunnen worden.

Afweging kosten

Als men de totale kosten vergelijkt valt allereerst op dat de verschillen klein zijn. Het grootste verschil tussen twee alternatieven is 35 miljoen gulden. Dit verschil is nog geen 20% van de totale kosten van de goedkoopste van de twee. Dit percentage is ongeveer gelijk aan de marge van onnauwkeurigheid. Alle verschillen vallen dus binnen deze marge. Er kan dus geconcludeerd worden dat de verschillende mogelijkheden gelijke kosten hebben.

Bij beschouwing van de (kleine) verschillen blijkt dat de scheepsliften per saldo het minste kosten, gevolgd door de spaarsluizen. Dit ondanks het feit dat bij de bouwkosten de volgorde precies andersom is. De variatie in passeertijden verandert hier niets aan. Zelfs als de passeertijden bij de sluizen sterk meevallen blijven de liften goedkoper dan zowel de standaard sluis als de spaarsluis.

Als men nader gaat kijken naar de verschillende kostenposten blijkt dan ook dat de passeerkosten niet de doorslag geven. Hoewel de relatieve verschillen bij de passeerkosten net zo groot zijn als bij de jaarlijkse kosten, zijn de absolute verschillen bij de tweede veel groter. De pompkosten zijn hier de belangrijkste oorzaak. Uit de berekening in Bijlage Kostenbepaling blijkt dat de energiekosten het verschil in investeringskosten zelfs volledig kunnen compenseren.

De grote invloed van de pompkosten maakt ook de spaarsluizen voordeliger. Zowel de investeringskosten als de passeerkosten zijn bij de standaardsluizen lager.

Opgemerkt zij dat een reductie van de pompkosten, door bijvoorbeeld de kolken te koppelen, een grote invloed heeft op de totale kosten. Een reductie van $\pm 50\%$ betekent dat de totale (gekapitaliseerde) kosten met ongeveer 35 miljoen omlaag gaan. De standaard sluizen zouden dan net goedkoper worden dan de liften.

Ook een ander percentage voor de onderhoudskosten is voordelig voor de standaard sluizen. De liften zouden ongeveer 30 miljoen gulden duurder worden.

Anderzijds moet opgemerkt worden dat de passeerkosten per uur laag zijn. Dit komt doordat de schippers veel uren maken en zich daarmee per uur een laag loon kunnen veroorloven. Ook de lage brandstofkosten van de laatste paar jaren spelen een rol. Hogere loon- en brandstofkosten zijn weer in het voordeel van de liften.

Uit de passeerkosten valt af te leiden dat grotere kolkafmetingen bij de sluizen niet aantrekkelijk zijn. Deze zouden een positief effect hebben op de passeerkosten maar een negatief effect op de energiekosten. De laatsten hebben een grotere invloed. Daar eveneens de investeringskosten omhoog zouden gaan, lijken de gekozen afmetingen de juiste. Ook dit zal echter in een vervolgstudie nader bekeken moeten worden

De aanleg van aquaducten of keermuren heeft enigzins effect op de passeerkosten, maar dit is te verwaarlozen op het totaal. Het verschil in bouwkosten is niet meegenomen. Een keuze tussen de twee varianten is op grond van de kosten niet te maken.

De grootte van het laadvermogen blijkt weinig gevolgen te hebben voor de keuze van de alternatieven. Als het gemiddeld laadvermogen toeneemt, lopen de kosten bij de sluizen sterker terug dan die bij de liften. Ook dit wordt vooral veroorzaakt door geringere pompkosten. Er zijn namelijk minder schuttingen nodig. Op de overige punten zijn de verschillen klein.

Hierbij kan nog opgemerkt worden dat de verschillen bij de passeerkosten veroorzaakt worden door het prijsverschil per ton-kilometer. Grotere schepen zijn goedkoper bij het transport. De verschillen in passeertijd tussen $T = 1250$ en $T = 1500$ ton waren verwaarloosbaar.

Welke van de alternatieven in de toekomst het aantrekkelijkste is, kan in belangrijke mate bepaald worden door politieke en maatschappelijk ontwikkelingen. Zo zou een ecotax duidelijk in het voordeel van de liften werken. Aangezien zo'n ecotax de pompkosten sterk zou beïnvloeden zouden de kosten bij de sluizen meer stijgen dan bij de liften. Ook de passeerkosten werkt dit in het voordeel van de liften.

Een hoger laadvermogen of zelfs tweebaksduwvaart zouden weer in het voordeel van de sluizen kunnen werken.

Al met al lijkt er een lichte voorkeur voor de scheepsliften. Gezien de kleine verschillen moet er ook naar andere criteria gekeken worden om een keuze beter te kunnen onderbouwen.

Overige criteria

De overige criteria zijn meer de criteria die (nog) niet in geld uit te drukken zijn, alhoewel men bij bijvoorbeeld de milieubelasting dit aan het ontwikkelen is. Deze aspecten zullen dan ook kwalitatief behandeld worden. Er wordt onderscheid gemaakt naar:

- ruimtebeslag;
- planologische inpassing;
- landschap en stedenbouw;
- milieubelasting, met name de luchtverontreiniging.

De bekkens bij de spaarsluizen kunnen, afhankelijk van de uitvoering, een redelijke hoeveelheid ruimte in nemen. De totale constructie wordt enkele malen breder.

Het grootste deel van het landgebruik bij een kunstwerk als een sluis, komt echter voort uit de aanleg van de voorhavens. In hoofdstuk 2 is dit voor alle complexen uitgewerkt. Vergeleken met het ruimtebeslag van het gehele kanaal nemen de voorhavens een klein oppervlak in. De voorhavens liggen daarentegen bij Enschede op een gevoelige plek. Enerzijds liggen ze tegen de rand van de stad aan, anderzijds dichtbij natuurgebieden als Groot Brunnink en Smalenbroek. De ruimte wordt intensief gebruikt en heeft grote waarde.

Bij het ontwerp van de voorhavens is er enigszins rekening gehouden met de wacht- en overligtijden maar niet sterk. Die tijden waren nog niet bekend. Nabeschouwend kan gesteld worden dat de voorhavens bij de liften duidelijk kleiner kunnen zijn dan bij de sluizen.

De voorzichtige aannames ten aanzien van de voorhavens bij de sluizen (in hoofdstuk 2) blijken terecht te zijn. Bij met name de spaarsluizen zullen er vaak schepen zijn die de eerstvolgende schutting moeten overslaan. Op drukke uren moeten sommige schepen wellicht twee schuttingen overslaan. Er dienen dus voldoende wachtplaatsen te zijn.

De I-C verhoudingen bij de liften zijn dusdanig laag, dat er van uitgegaan kan worden dat er alleen opstelplaatsen benodigd zijn. De aangenomen voorhavengrootte is in dit geval niet juist. De voorhavens kunnen bij dit alternatief anderhalf à twee keer zo klein worden. De voorhavens bij de liften hoeven daarom minder beslag te leggen op kostbare grond.

Kleinere voorhavens houden waarschijnlijk ook een kostenbesparing in. Er hoeft minder uitgegraven te worden, er hoeft minder kanaalbodem beschermd te worden en er zijn minder aanlegsteigers e.d. nodig. Wat dit kwantitatief inhoudt is moeilijk te bepalen. Het zal naar alle waarschijnlijkheid slechts een verschil van enkele miljoenen betekenen en is daarom niet meegenomen.

Kleinere voorhavens geven ook een planologisch voordeel. De voorhavens dienen namelijk min of meer in het verlengde van de kolk of bak te liggen. Dit beperkt de mogelijkheden om het tracé aan weerszijden van de kustwerken goed in het gebied in te passen. De grote bebouwingsdichtheid in het gebied maakt dit belangrijk. Bij het ontwerpen van de voorhavens (paragraaf 2.4.) bleek dit in principe mogelijk. De grote voorhavens in combinatie met de kanaalbochten aan weerszijden ervan maakten dit echter lastig. Een verkorting van de voorhavens zou de speling duidelijk vergroten.

Een ander planologisch voordeel van de liften is dat ze een grote capaciteitsreserve hebben. Uitbreiding tot meer dan twee liften zal gedurende een zeer lange tijd niet nodig zijn. Met name de spaarsluizen hebben zo weinig reserve dat er bij de bouw eigenlijk al rekening mee gehouden moet worden dat het complex in de toekomst uitgebreid moet kunnen worden. Voor een derde sluis en grotere voorhavens is weinig ruimte beschikbaar. In plaats van een derde sluis zou kolkverlenging eerder in aanmerking komen. Echter ook kolkverlenging geeft planologische problemen. Met name de grotere wachtruimtes en dus de grotere voorhavens zullen moeilijk inpasbaar zijn.

De landschappelijke en stedenbouwkundige inpassing wordt voor een groot deel bepaald door de grootte, hoogte en het aanzien van de constructies. Bij de sluizen zijn er meer mogelijkheden om de constructie door middel van grondaanvullingen te camoufleren. De scheepsliften moeten vrij gehouden worden. Bovendien is de constructie hoger door de noodzakelijke machinehal.

De liften blijven dus beter zichtbaar. Dit wordt niet altijd als een nadeel ervaren. Het bemoeilijkt wel de inpassing.

Bij alle alternatieven zal de grote ophoging voor het bovenpand een sterke ingreep in het landschap zijn. Over een grote lengte zal een dijklichaam van ongeveer 10 m hoogte te zien zijn. Gezien de nabijheid van de bebouwde kom zou dit tot grote, misschien zelfs onoverkomelijke bezwaren kunnen leiden. Dit bezwaar geldt echter voor alle alternatieven even sterk. Het is tevens een politieke kwestie en valt buiten het kader van dit afstudeerwerk.

Als laatste punt wordt de milieubelasting behandeld. Bij een sluis of lift is de milieubelasting sowieso sterker dan op de rest van het kanaal omdat er hier een grotere scheepsdichtheid is. De schepen moeten meer manoeuvreren. Vooral het water zal belast worden. De verschillen tussen de alternatieven zullen echter gering zijn.

Van een heel andere aard is de luchtvervuiling. Dit zal ook gedeeltelijk veroorzaakt worden door de scheepvaart. De constructie levert indirect ook een luchtverontreiniging op. Met name het energieverbruik van de pompen kost veel energie en zal (bij de electriciteitscentrale) leiden tot uitstoot van luchtverontreinigende gassen. Dit aspect komt bovenop de energiekosten. De liften scoren hier dus beter dan de sluizen.

De alternatieven zijn aan de hand van het bovenstaande beoordeeld. Het resultaat staat samengevat in tabel 27. De tabel geeft de verschillen tussen de alternatieven weer.

Tabel 27: Beoordeling met de overige criteria

	ruimte- beslag	planolog. inpassing	landschap + stedb.	milieu- belast.	saldo
standaard sluizen	-	-	0	--	4-
spaar- sluizen	--	--	0	-	5-
liften met keermuur	0	0	-	0	-
liften met aquaduct	0	0	-	0	-

De tabel geeft natuurlijk maar een indicatie. Het ene onderdeel kan belangrijker zijn dan het andere.

De liften komen hier echter duidelijk als beste alternatief naar voren. Op drie van de vier punten scoren ze beter. Tussen de twee varianten van de lift is er weinig verschil.

In de kostenafweging was eveneens een (lichte) voorkeur voor de liften. Er wordt dan ook voorlopig geconcludeerd dat een complex met twee scheepsliften de beste oplossing is voor het overwinnen van het hoogteverschil.

Mocht de aanleg van een Twenthe-Mittelland kanaal nader onderzocht worden dan mag de scheepslift bij behandeling van de kunstwerken niet ontbreken.

Een Twenthe-Mittelland kanaal moet de verwachte goederenstroom goed kunnen verwerken als men een aantrekkelijke alternatieve vaarroute wil creëren. Met behulp van scheepsliften zal dit het beste lukken.

Literatuur

- [1] ir. J. Bouwmeester
"Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen".
Collegediktaat f12N.
TU Delft, Fakulteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Waterbouwkunde.
januari 1987.
- [2] ir. J. Bouwmeester
"Weerstand en capaciteit van scheepvaartwegen".
Collegediktaat f13N.
TU Delft, Fakulteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Waterbouwkunde.
augustus 1988.
- [3] Prof.ir. A. Glerum, dr.ir. P.A. Kolkman
"Waterbouwkundige kunstwerken b.o.."
Collegediktaat f9C,
deel: vul- en ledigingssystemen van schutsluizen.
TU Delft, Fakulteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Waterbouwkunde.
februari 1986.
- [4] "Richtlijnen en aanbevelingen voor de afmetingen,
vormgeving en inrichting van sluizen van de
CEMT-klassen I t/m IV".
Koncept-eindrapport van de Werkgroep Sluizen van de
Commissie Vaarwegbeheerders.
Dordrecht, januari 1989.
- [5] Dr-Ing H.W. Partenscky
"Der Einfluss der Schleusenfüllungen auf den Wasserstand
und die Schifffahrt in eiver Kanalhaltung".
144 Arbeit aus dem Theodor-Rehbock-Flusslaboratorium.
Karlsruhe, Dezember 1957.
- [6] Dr-Ing H.W. Partenscky
"Binnenverkehrswasserbau: Schiffshebewerke".
Springer-Verlag.
Berlijn, Heidelberg, 1984.
- [7] Dr-Ing H.W. Partenscky
"Binnenverkehrswasserbau: Schleusenanlagen".
Springer-Verlag.
Berlijn, Heidelberg.
- [8] R. Muser
"Die Entwicklung der Sparschleusen des Main-Donau-
Verbindungskanaals mit besonderer Betrachtung der
Sparschleuse Leerstetten".
Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau und
Kulturtechnik, heft 162, blz 179-295.
Theodor-Rehbock-Flusslaboratorium.
Karlsruhe, 1974.

- [9] ir. C. Kooman, P.A. Bruijn
"Lock capacity and traffic resistance of locks".
Rijkswaterstaat Communications no. 22.
Den Haag, 1975.
- [10] ir. A de Visser
"Kunstwerken in vaarwegen, navigare necesse est".
Cursus: Binnenscheepvaartverkeer en vaarwegen 1981.
Orgaan voor Postacademisch Onderwijs in de
vervoerswetenschappen en de verkeerskunde.
Deel 2 vk.bv 10.
Dordrecht, oktober 1981.
- [11] ir. A. de Visser
"Kunstwerken in vaarwegen".
Cursus: Binnenscheepvaartverkeer en vaarwegen 1986.
P.A.O.V.V., BV6, 1986.
- [12] ir. P.H. Hiddinga
"Kunstwerken in vaarwegen".
Cursus: Binnenscheepvaart en vaarwegen 1989.
P.A.O.V.V., BV7, 1989.
- [13] "Ship lifts".
Study Commision within the framework of Permanent
Technical Commitee 1, P.I.A.N.C..
Supplement to bulletin no. 65, 1989.
- [14] "Het Twenthe-Mittelland kanaal".
Eindrapport van de studie naar de haalbaarheid van een
kanaalverbinding tussen de Twenthekanalen en
het Mittellandkanaal.
Rijkswaterstaat Directie Overijssel, Bouwdienst
Rijkswaterstaat, Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde.
Utrecht, mei 1991.
- [15] "Het Twenthe-Mittelland kanaal,
een analyse van de effecten van aanleg.
NEA.
Rijswijk, 29 mei 1991.
- [16] "Overzicht van modelonderzoeken van vul-en ledigsystemen
van Nederlandse sluizen na 1955".
Waterloopkundig Laboratorium.
Delft.

Overige literatuur:

- "Elbe-Seitenkanal".
Natur und Technik.
Hans Christian Verlag Hamburg.
Hamburg, 1976.
- "Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen".
Hoofdstuk III, Dwarsprofielen.
Commissie R.O.A.
januari 1975.
- "Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen".
Concept voorlopige richtlijn.
Dwarsprofielen
Commissie R.O.N.A.
maart 1975.
- "Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen".
Voorlopige richtlijn voor de aanleg van fietspaden langs
wegvakken buiten de bebouwde kom.
Commissie R.O.N.A.
december 1986.
- L. Guyt, J.H. Papendrecht.
"Verkeerstechniek en exploitatie".
Collegediktaat E23N.
T.U. Delft, Fakulteit der Civiele Techniek,
Vakgroep Verkeerskunde.
januari 1987.
- "Voorschriften voor Ontwerp van SpoorwegTunnels".
Concept rapport, Deel VI.
Nederlandse Spoorwegen.
1973.
- "V.O.S.B. 1963, N.E.N. 1008".
Ned. Nij voor Nijverheid en Handel, K.I.V.I.
augustus 1963

