



RAPPORT

Ref No. : 51101600-ER-001

Rev : 1

Pagina : 1 of 55

1	21/04/05		JvD	JPP	JvD	
0	09/03/05		JvD	JPP	JvD	
Rev	Datum	Beschrijving	Door	Controle	Goedk.	Client Goedk.

PROJECT

Grijpskerk naar Workum-Wieringermeer
Leiding (GWWL)

TITLE

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING-
IJSELMEER SECTIE

CLIENT

Gasunie Gastransport Services



ZEETECH Opdracht No 51101600

This document contains information proprietary to Aker Kvaerner, and shall not be reproduced, transferred to other documents, disclosed to others or used for any purpose other than for which it is issued without the prior written permission of

ZEETECH Engineering

The Offshore and Pipeline Division of AKER KVAERNER Netherlands BV



REVISIE STATUS INDEX

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 2 of 55

Samenvatting van veranderingen	Sectie Nummer	Revisies					
		1					
Inhoud veranderd	-	*					
Inleiding aangepast voor Onbegraven Leiding	1	*					
Conclusies voor Onbegraven Leiding toegevoegd	2	*					
Basis van de beschouwing aangepast	3	*					
Titel van Sectie 4 veranderd	4	*					
Titel van Sectie 5 veranderd	5	*					
Tekst van Sectie 5 aangepast	5	*					
Referenties naar Sectie 6 verplaatst	6	*					
Referentie toegevoegd	6	*					



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 3 of 55

INHOUD

SECTIE 1	INLEIDING
SECTIE 2	SAMENVATTING EN CONCLUSIES
SECTIE 3	BASIS VAN DE BESCHOUWING
SECTIE 4	PIJPLEIDING SCHADE T.G.V. SCHEEPVAART (BEGRAVEN LEIDING)
SECTIE 5	PIJPLEIDING SCHADE T.G.V. SCHEEPVAART (ONBEGRAVEN LEIDING)
SECTIE 6	REFERENTIES
BIJLAGE: A	'BACK-UP' BEREKENINGEN

	RAPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Pagina : 1-1

SECTIE 1 INLEIDING

Figuur:

101 Pijpleiding Route

SECTIE 1 INLEIDING

Gasunie Engineering & Technology zal een pijpleiding installeren tussen Grijpskerk en Wieringermeer. De leidingaanleg behelst twee fasen: tussen Grijpskerk en Workum wordt een 42" leiding (A-652) gelegd en tussen Workum en Wieringermeer (de zogenaamde IJsselmeerleiding) wordt een 48" leiding (A-653) gelegd. In het kader van de milieu effect rapportage is een risico analyse van het beoogde tracé vereist.

Het gastransport systeem bestaat uit de volgende elementen:

1. Een overlandse pijpleiding systeem van Grijpskerk naar Workum
2. Een aanlanding nabij Workum
3. Een kruising door het IJsselmeer van Workum naar Medemblik
4. Een aanlanding nabij Medemblik
5. Een overlandse pijpleiding rond Medemblik

Voor de overlandse pijpleiding stukken i.e. 1) en 5) is een risico analyse uitgevoerd. (Referentie 2).

Gasunie E & T heeft Aker Kvaerner Netherlands BV/ ZEETECH Engineering gevraagd om een veiligheidsanalyse van het bovengenoemde pijpleiding systeem voor de elementen 2 tot en met 4 uit te voeren (Referentie 1). De leiding wordt begraven, als alternatief is de leiding als onbegraven beschouwd. De risico analyse bestaat uit de volgende te ondernemen stappen:

1. Verzamelen van gegevens
2. Bepaling van mogelijke schade scenario's. Met betrekking tot het bepalen van het faal scenario wordt uitgegaan van schade aan de leiding door derden aangebracht. Derden in deze beschouwing betekent scheepvaart, zowel beroepsvaart als recreatie vaart.
3. Berekening van de faal frequentie

	RAPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Pagina : 1-3

Figuur 101 toont de route van de leiding van Workum naar Medemblik.

Het rapport is als volgt ingedeeld:

Sectie 2 presenteert de samenvatting en conclusies van de veiligheidsbeschouwing

Sectie 3 geeft de basis van de gegevens waarop de beschouwing is gestoeld

Sectie 4 beschrijft de resultaten van de veiligheidsanalyse in relatie tot pijpleiding schade.

Sectie 5 beschrijft de risico analyse voor een onbegraven leiding

Sectie 6 geeft de gebruikte referenties

Bijlage A bevat "back-up" calculaties.

	RAPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING GWWL- IJSELMEER SECTIEP	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 2-1

SECTIE 2 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

- 2.1 Samenvatting
- 2.2 Conclusies

	RAPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING GWWL- IJSSSELMEER SECTIEP	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 2-2

SECTIE 2 **SAMENVATTING AND CONCLUSIES**

2.1 **SAMENVATTING**

Dit rapport adresseert de veiligheid van de Grijskerk-Wieringermeer pijpleiding voor het gedeelte van het leiding systeem welke het IJsselmeer kruist. De lengte van dit stuk van de leiding bedraagt ongeveer 29.6 km. De analyse is uitgevoerd voor een beschadiging van de leiding ten gevolge van de volgende externe oorzaken:

- ankeren van schepen
- zinken van schepen
- stranden van schepen
- vallende containers
- visserij activiteiten.

2.2 **CONCLUSIES**

De conclusies met betrekking tot de veiligheidsbeschouwing van een volledig begraven leiding zijn de volgende:

- De karakteristieken van een schip wat de leiding zou kunnen kruisen zijn:
 - Tonnage van 3300 ton
 - Anker massa van 750 kg.

De tonnage is bepaald uit de gegevens van scheepspassages door de Lorentzsluizen en geëxtrapoleerd over de levensduur van de leiding
- Kans op schade aan de leiding ten gevolge van recreatievaart is nihil. In de categorie recreatievaart valt ook de "Bruine Vloot"
- Kans op schade aan de leiding ten gevolge van visserij activiteiten is nihil.
- Kans op schade aan de leiding ten gevolge van ankeren is nihil. Deze conclusie geldt voor zowel op de leiding vallende ankers als tegen de leiding krabbende ankers die in contact met de leiding kunnen komen.
- Kans op schade aan de leiding tengevolge van strandende schepen is nihil, aangezien de gronddekking van de pijpleiding ter plaatse van de aanlandingen minimaal 2.0 m. zal zijn
- Kans op schade aan de leiding ten gevolge van zinkende schepen is nihil.

De conclusies met betrekking tot de veiligheidsbeschouwing voor een onbegraven leiding zijn de volgende:

- De conclusies met betrekking tot:
 - ankeren van schepen
 - stranden van schepen
 - vallende containers
 - visserij activiteitenzijn dezelfde als de conclusies voor de begraven leiding.
- Het vrachtscheepvaartverkeer zal over de leiding geleid moeten worden via passages. Gedurende de winterperiode zal het scheepvaartverkeer, wat een diepgang kan hebben van 3.5 m van de oostelijk gelegen passage gebruik moeten maken. Gedurende de zomer periode kan het scheepvaartverkeer van drie passages gebruik maken. Het zomer peil is 0.2 m hoger dan het winter peil. Er is geen rekening gehouden met het opwaaien of afwaaien van het water.
- Door concentratie van scheepvaart door de beschikbare passages zal de kans op ongelukken toenemen
- Door de geringere resterende diepte zal het recreatie vaart hinder ondervinden van de leiding op de zeebodem. Het kan niet worden uitgesloten dat t.g.v. aanvaringen van diepstekende zeiljachten met de leiding ongelukken zullen voorkomen
- Een zinkend vrachtschip op de leiding zal de leiding beschadigen. De frequentie (per km/jaar) van een zinkend schip op de leiding is vele malen hoger dan de frequentie die aanvaardbaar geacht wordt op het Nederlands Continentaal Plat.
- De kans op beschadigingen van de leiding ten gevolge van zinken van schepen kan tot bijna nul gereduceerd worden door de leiding in de scheeps passage locaties te begraven. Het begraven van de leiding op deze locaties neemt niet weg dat aanvaringen met de onbegraven leiding van diepstekende zeiljachten en buiten de passages varende schepen een reële kans zijn.

	RAPPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-1

SECTIE 3 BASIS VAN DE BESCHOUWING

- 3.1 Algemeen
- 3.2 Pijpleiding parameters
- 3.3 Grondgegevens
- 3.4 Pijpleiding route (Ref. 1)
- 3.5 Operationele gegevens
- 3.6 Toepasselijke codes
- 3.7 Scheepsvaart kruisingen

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-2

SECTIE 3 BASIS VAN DE BESCHOUWING

3.1 ALGEMEEN

Met betrekking tot de veiligheidsbeschouwing van de pijpleiding sectie door het IJsselmeer zijn de volgende gegevens gebruikt:

- pijpleiding parameters
- pijpleiding route
- veiligheids criteria
- operationele data
- toepasselijke codes
- scheepvaart verkeer.

3.2 PIJPLEIDING PARAMETERS

De pijpleiding parameters, welke gebruikt worden in deze studie, zijn hieronder samengevat. Deze parameters zijn ontleend aan Referentie 1.

	<u>Gas Export</u>
Nominale diameter	48 inch (1219.2 mm)
Nominale wanddikte	15.9 mm, Dijkkruising 20.6 mm
Staal soort	API 5L Grade X70
Minimum gespecificeerde rekgrens (N/mm ²)	482
Lengte bij benadering (km) (Referentie 1)	29.6
Pijpbekleding	
- Anti- corrosie (Polyethylene)	
o dikte (mm)	3
o dichtheid (kg/m ³)	1300
- Gewichtsbekleding	
o dikte (mm)	110
o dichtheid (kg/m ³)	3400
- Levensduur voor het ontwerp	50 jaren

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-3

3.3 GRONDGEGEVENS

De grond van het leidingtracé heeft de volgende karakteristieken:

$\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ (onder water dichtheid van de grond)

$\phi = 20$ graden (hoek van inwendige wrijving)

$c = 10 \text{ kN/m}^3$ (cohesie)

De gegevens zijn conservatief aangenomen.

3.4 PIJPLEIDING ROUTE (Ref. 1)

De pijpleiding route door het IJsselmeer heeft een hoek van ongeveer 225 graden t.o.v. het noorden, gerekend in de richting van het gastransport. Gerekend vanaf de aanlanding nabij Workum is de bodem diepte na 700 m. circa 2.0 m. Diepte is herleid tot winterpeil IJsselmeer (Winterpeil is NAP-0.4 m). Na ongeveer 6.4 km., gerekend vanaf de aanlanding bij Workum, nadert de pijpleiding route de beroeps scheepvaart route (Noord-Zuid) naar Kornwerderzand. Deze scheepvaart route wordt bij 8.6 km. gerekend vanaf de aanlanding nabij Workum verlaten. Bij ongeveer 17.6 km. gerekend vanaf de aanlanding nabij Workum begint de kruising met een tweede scheepvaart route, richting Den Oever, welke na ongeveer 2.2 km. verlaten wordt door de pijpleiding route. De waterdiepte, nabij de aanlanding in Medemblik is 3.0 m. De waterdiepte van het pijpleiding tracé varieert over het algemeen tussen 3 en 4.5 m. De maximum water diepte is 6.3 m., herleid tot het winterpeil in het IJsselmeer.

De leiding zal tussen twee bestaande leidingen komen te liggen; een 36 inch leiding ten noorden en een 42 inch ten zuiden van het beoogde leidingtracé. De afstand van de bestaande leidingen ten opzichte van de nieuwe leiding zal ongeveer 100 m. bedragen.

Het ontwerp van de leiding is gebaseerd op een gemiddelde grond dekking van 0.6 m.

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-4

Als alternatief voor de begraven leiding zijn de implicaties van een onbegraven leiding beschouwd.

De gonddekking ter plaatse van de aanlandingen zal ca. 2.0 m. bedragen (Referentie 3).

3.5 OPERATIONELE GEGEVENS

Deze gegevens zijn ontleend aan Referentie 1.

Tabel 3.1 Operationele gegevens

Beschrijving	Gas
Ontwerpdruk	80 barg
Temperatuur	Omgevings temperatuur

3.6 TOEPASSELIJKE CODES

Waar noodzakelijk zal de NEN 3650 code "Eisen ten aanzien van stalen buisleiding transport systemen" en NEN 3651; "Leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken" gebruikt worden.

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJsselmeer sectie	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-5

3.7 SCHEEPVAART KRUISINGEN

Het IJsselmeer wordt gebruikt door:

- recreatie,
- visserij,
- beroepsvaart.

Al deze scheepvaart categorieën kruisen het beoogde pijpleiding tracé. In de volgend paragrafen worden de genoemde scheepvaart categorieën nader belicht.

Recreatie

Schepen, die tot de categorie recreatie behoren, zullen de integriteit van de geplande leiding niet in gevaar brengen, aangezien deze schepen ankermassa's (10 tot 40 kg.) hebben, welke de grond dekking op de leiding niet zullen penetreren. De 'bruine vloot', welke ook tot de categorie recreatie gerekend moet worden, bestaat uit schepen variërend van 50 tot 120 ton. De bijbehorende ankermassa's zijn maximaal in de orde van 50 tot 100 kg. Ook deze ankers zullen de integriteit van de leiding niet aantasten. (Referentie Tabel 4.2).

Visserij

De leiding is begraven, wat betekent dat bodem visserij activiteiten de leiding niet zullen raken. Visserij schepen voor de palingvangst zijn van een dergelijk laag tonnage dat zij ankers aan boord hebben waarvan de massa te gering is om de grond bovenop de leiding te penetreren.

Beroepsvaart

De beroepsvaart op het IJsselmeer wordt gevoed door verschillende toegangssluizen rondom dit gebied. Deze toegangssluizen zijn in het zuidoosten de Houtribsluizen, in het zuidwesten de Krabbegatssluizen, beide vormen een onderdeel van de Houtribdijk. In het Noorden zijn eveneens twee sluizen die toegang geven tot het IJsselmeer. Deze sluizen zijn onderdeel van de Afsluitdijk.

	RAPPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-IJSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 3-6

In het Noordwesten, nabij Den Oever is de Stevinsluis, in het Noordoosten, nabij Kornwerderzand is het Lorentz sluizen complex aanwezig. De aanvoer van schepen tot het IJsselmeer via de sluizen in de Houtribdijk splitst zich naar verschillende locaties en de scheepstellingen van die sluizen kunnen dus niet gebruikt worden om het aantal schepen te bepalen welke het pijpleiding tracé zullen kruisen. De schepen die gebruik maken van de sluizen in de afsluitdijk zullen, naar alle waarschijnlijkheid, wel het pijpleiding traject kruisen. Tevens zal een groot tot overgroot deel van deze schepen het IJsselmeergebied verlaten door de sluizen in de Houtribdijk. Wat betekent dat de schepen van de beroepsvaart, die gebruik maken van de Stevin sluis en het Lorentz sluizen complex het leidingtracé zullen kruisen. In het Oosten van het beschouwde gebied zijn, zoals in Makkum, Workum en Stavoren, sluizen aanwezig, echter deze bedienen voornamelijk de recreatie vaart. De sluizen in Lemmer geven vanuit het IJsselmeergebied toegang tot het Prinses Margriet Kanaal en de richting van de beroepsvaart is voornamelijk noord-zuid gaand verkeer, welke de geplande pijpleiding route niet zal kruisen.

Bovenstaand leidt tot de conclusie dat de hoeveelheid beroepsvaart schepen die het leiding tracé zullen kruisen bepaald wordt door de schepen die gebruik maken van de sluizen in de Afsluitdijk.

Referentie 4, geeft aan dat het aantal schepen wat van bovengenoemde routes gebruik maakt in de loop der tijd afneemt. Echter het gemiddelde tonnage van de schepen neemt toe.

Tabel 3.2 Scheepspassage karakteristieken

Jaar	Stevin Sluizen		Lorentz Sluizen	
	Gemiddeld Tonnage	Scheepspass	Gemiddeld Tonnage	Scheepspass
1987	863	4677	933	7456
2001	933	3531	1326	4526

Schepen met een groter tonnage gebruiken ankers met een grotere massa dan schepen met een minder tonnage. De relatie tussen scheepstonnage en ankergewicht is aangegeven in Figuur 403.

Een zwaarder anker zal bij gelijkblijvende parameters zoals valhoogte, waterdiepte etc. een hoger energie niveau hebben dan een lichter anker en dus dieper in de grond penetreren. Eventuele schade van een zwaarder anker aan een pijpleiding zal dus naar alle waarschijnlijkheid ook groter zijn. Voor de veiligheidsanalyse zijn de gegevens van de scheepspassages door de Lorentzsluizen gebruikt, aangezien deze gegevens een wat conservatiever beeld geven dan de gegevens van de sluizen bij Den Oever.

Aannemende dat een lineaire groei van de gemiddelde tonnage zal optreden gedurende de levensduur van de leiding zal het gemiddelde tonnage in het jaar 2057 rond de 2757 ton zijn. Dit is een conservatieve aanname aangezien de kunstwerken (bruggen en sluizen) in het traject Antwerpen-Harlingen, waarschijnlijk de toename van de tonnage zullen gaan beperken. Aannemende dat de tonnage verdeling een normale verdeling volgt en de standaard deviatie 500 ton zal zijn is de maximale tonnage wat de leiding kruist in de orde van 3300 ton.

Als een lineaire afname van het aantal scheepspassages wordt aangenomen en dit geëxtrapoleerd worden over de levensduur van de leiding zal het aantal scheepspassages tot nul naderen. Dit zou een onwerkelijk beeld opleveren en het is aangenomen dat er 2000 scheepspassages met een gemiddelde tonnage van 2757 ton zal optreden gedurende een jaar.

Een schip met een tonnage van rond de 3300 ton zal ankers aan boord hebben met een massa in de orde van 600 tot 750 kg.



RAPPPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 4-1

SECTION 4 PIJPLEIDING SCHADE T.G.V. SCHEEPVAART (BEGRAVEN LEIDING)

- 4.1 Algemeen
- 4.2 Schade beschouwing t.g.v. een vallend anker
- 4.3 Schade beschouwing t.g.v. het krabben van een anker
- 4.4 Schade beschouwing t.g.v. vallende containers
- 4.5 Schade beschouwing t.g.v. strandende schepen
- 4.6 Schade beschouwing t.g.v. zinkende schepen

- Figuur 401 Mechanisch model krabbend anker
- Figuur 402 Factor N_q
- Figuur 403 Relatie ankermassa en scheepstonnage
- Figuur 404 Relatie ankermassa breeksterkte ketting

	RAPPPOORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-2

SECTIE 4 PIJPLEIDING SCHADE T.G.V. SCHEEPVAART (BEGRAVEN LEIDING)

4.1 ALGEMEEN

Eventuele schade aan de leiding zal kunnen optreden t.g.v.:

- Vallende ankers
- Krabbende ankers
- Zinkende schepen
- Strandende schepen
- Vallende containers

4.2 SCHADEBESCHOUWING TEN GEVOLGE VAN EEN VALLEND ANKER

Tijdens het ankeren valt een anker door drie media. Deze zijn:

- Lucht
- Water
- Grond

Tijdens de val van het anker van het schip door lucht en water wordt kinetische energie opgeslagen in het anker. De kinetische energie van het anker is bij bepaalde snelheid gelijk aan:

$$E_k = 0.5 \cdot M_a \cdot v^2 \text{ (Nm)}$$

Waar:

M_a = massa van het anker (kg)

v = snelheid van het anker (m/s)

Om de snelheid van het anker door lucht en water bepalen is de volgende bewegingsvergelijking in de verticale richting opgesteld:

$$M_a \cdot \ddot{y} = F_y - F_b - F_f - F_d$$

Waar:

$\ddot{y}$ = versnelling (m/s²)

F_y = $m \cdot g$ (N)

F_b = Opdrijfkraft van vloeistof $\mu \cdot \rho$ (N)

μ = volume van vallend voorwerp (m³)

ρ = dichtheid van het medium (kg/m³)

F_f = Frictie kracht tussen blokken/lier en ketting (N)

F_d = weerstandskracht van het water tegen vallend voorwerp (N)

Aannemende dat de frictie geleverd wordt door een blok waar de ketting een hoek verandering ondergaat van 90 graden is de frictie kracht:

$$F_f = f \cdot m \cdot g \cdot \sqrt{2}$$

	RAPPPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-4

Waar:

f= frictie coëfficiënt (-)

m,g = zoals gedefinieerd hierboven

Bij de berekening zijn de volgende waarden voor de parameters aangenomen:

- Ankermassa varieert tussen 100 en 750 kg.
- Frictie factor tussen ketting en blokken is 0.1
- De valhoogte boven het water oppervlak is 2 m.
- De weerstandscoefficiënt is 1.2
- De water diepte is 6.0 m.

De resultaten van de vergelijking zijn gepresenteerd in Appendix A en samengevat in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ankersnelheden en kinetische energie bij nadering grond

Ankermassa (kg)	100	262.5	425	587.5	750
Snelheid lucht/water(m/s)	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
Snelheid water/grond(m/s)	8.61	6.43	5.19	4.42	3.90
Kinetische Energie (Nm)	3706	5433	5719	5728	5703

Wanneer het anker op de bodem is aangekomen zal de grondweerstand de voortgang van het anker tegengaan. Dit kan vertaald worden in termen van kinetische energie die door de grond geabsorbeerd wordt. Een en ander in een vergelijking uitgedrukt geeft:

$$E_{\text{grond}} = \int F(y) dy$$

Waar:

y = diepte vanaf de bodem (m)

F(y) = evenwichtsdraagkracht van de grond volgens Brinch-Hanssen (N)

De evenwichtsdraagkracht (F) op een bepaalde diepte kan volgens Brinch-Hanssen uitgedrukt worden als:

$$F = (c \cdot N_c \cdot S_c \cdot D_c + q_0 \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot D_\gamma) \cdot A \quad (\text{N})$$

waar:

N_c, N_q, N_γ = Draagkracht capaciteitsfactoren (-)

S_c, S_q, S_γ = Vorm factoren (-)

D_c, D_q, D_γ = Diepte factoren (-)

γ = onderwater gewicht van de grond (N/m³)

B = breedte van anker (m)

A = B * L = Frontaal oppervlak van anker (L = lengte ankerblad)

Appendix A geeft voor verschillende ankermassa's en een gronddekking van 0.6 m. de energie nodig om net door de grondlaag te kunnen penetreren. Als de aanwezige energie van het vallende anker groter is dan de energie die door de gronddekking kan worden geabsorbeerd wordt de betonlaag rondom de pijp en eventueel de pijp zelf belast.

Tabel 4.2 Kinetische energie (Eg) geabsorbeerd door grond

Ankermassa	100	262.5	425	587.5	750
kg					
Eg (Nm)	894	5725	14297	26390	42070

Wanneer een anker met 750 kg massa in vrije val op de bodem van het IJsselmeer neerkomt, zal de kinetische energie rond de 5700 Nm zijn. De grond zal, gezien de afmetingen van het anker, de gronddekking van de leiding en de grondslag, voldoende energie absorberen om het anker na plus minus 0.3 m penetratie te stoppen. De leiding zal dus niet belast worden door het anker. Zelfs al zou een anker voldoende energie hebben om met een bepaalde snelheid de leiding te raken dan zal het beton waarmee de leiding is bekleed eerst verbrijzeld moeten worden. De energie die geschat is om de 110 mm dikke beton laag te verbrijzelen is geschat op 60 kNm. Dit energieniveau is gebaseerd op gegevens die ontleend zijn aan testen uitgevoerd door bedrijven, die de betonbekleding rond pijpen aanbrengen. De testen zijn uitgevoerd op verzoek en onder supervisie van opdrachtgevers.

4.3 SCHADEBESCHOUWING TEN GEVOLGE VAN HET KRABBEN VAN EEN ANKER

Het eerste effect van een krabbend anker op de pijpleiding is een botsingsbelasting analoog aan die van een vallend anker. De snelheden van het slepen zijn in het algemeen aanzienlijk lager dan die van een vallend anker. De snelheid van het slepen wordt bepaald door windkrachten op het schip, weerstand van schip in water, weerstand van ketting in water en grondkrachten op ketting/anker. Na botsing van het anker met de pijpleiding beweegt het systeem als een één-massa-veer systeem, waarbij de ankerketting (de veer) recht getrokken wordt. De maximale belasting, die dit massa-veer-systeem op de pijpleiding kan uitoefenen,

is van dezelfde orde van grootte als die van de breukkracht van de ketting.

De botsingsbelasting zal een stuk lager zijn dan de belasting die verwacht kan worden ten gevolge van het breken van de ankerketting. Het is om deze reden dat de beschouwing van het krabben van het anker zich concentreert op het belastingsgeval waarbij de leiding belast wordt door de maximale kracht die door het systeem van anker ketting door middel van het anker op de pijpleiding kan worden uitgeoefend.

Om het gedrag van een begraven pijpleiding te beoordelen, wanneer deze belast wordt door een geconcentreerde last, zijn de volgende aannamen gemaakt:

- De pijpleiding wordt als balk beschouwd
- De balk is volledig ondersteund door grond en de grond zal tengevolge van de belasting vloeien
- De pijpleiding/balk zal op drie plaatsen gaan vloeien i. Be. In het midden en bij de uiteinden van de balk
- De maximale laterale belastingscapaciteit van de pijpleiding is bereikt wanneer het spanningsniveau in de volledig vloeiende doorsnede, gelijk is aan de breeksterkte van het staal

Figuur 401 toont een schematische presentatie van het mechanische model. Gebaseerd op bovengenoemde aannamen, de ultieme kracht capaciteit van de leiding kan berekend worden, daarbij rekening houdend met de energie balans van het totale systeem

De energie die gebruikt wordt om de grond te deformeren over het aangenomen model kan als volgt worden geschreven:

$$E_R = \frac{RL\delta}{2}$$

en de energie nodig om de pijpleiding te roteren bij de drie aangenomen plastische scharnieren is gelijk aan:

$$E_M = 4M_p \cdot \rho$$

Vervanging van, ρ gelijk aan $2\delta/L$ geeft:

$$E_M = 8M_p \frac{\delta}{L}$$

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-8

Waar:

M_p = plastisch moment.

Gelijkstelling van de energie geleverd door aangebrachte ankerkracht, F , aan de som van energie van pijp en grondvervorming geeft:

$$F \cdot \delta = E_R + E_M$$

dus,

$$F \cdot \delta = \frac{RL\delta}{2} + \frac{8M_p\delta}{L}$$

of

$$F = \frac{RL}{2} + \frac{8M_p}{L}$$

De minimale waarde van de belasting, F , kan gevonden worden door bovenstaande functie eenmaal te differentiëren met betrekking tot de lengte, L en deze afgeleide gelijk te stellen aan 0:

$$\frac{dF(L)}{dL} = \frac{R}{2} - \frac{8M_p}{L^2} = 0$$

Dit geeft,

$$L = 4 \sqrt{\frac{M_p}{R}}$$

En uiteindelijk:

$$F = 4 \sqrt{M_p R}$$

Volgens Referentie 8, kan de ultieme grond druk, q_u , geschreven worden als:

$$q_u = \gamma g z N_q$$

waar:

γ = grond dichtheid onder water (kg/m³)

g = zwaartekracht versnelling (m/s²)

z = gronddekking t.o.v. neutrale as van de pijpleiding (m)

N_q = dimensieloze draagkracht capaciteit factor (volgens Brinch Hansen).

De waarde van N_q is afhankelijk van de ratio z/D en de hoek van inwendige wrijving van de grond, ϕ . Voor waarden van N_q wordt gerefereerd naar Figuur 402.

De ultieme grond weerstand, R , kan geschreven worden als:

$$R = q_u D$$

Waar:

D = de totale uitwendige diameter van de pijp (m).

Het plastische moment, M_p , op het moment van breken kan geschreven worden als:

$$M_p = D_{st}^2 t \sigma_t$$

Waar:

D_{st} = uitwendige diameter van de stalen buis (m) (1.2192)

t = wanddikte (m) (0.0159)

σ_t = treksterkte van het staal. (N/m²) (580E6)

Volgens 'Lloyd's Register of Shipping (Referentie 7) en andere deskundige scheepsautoriteiten is het gewicht van een anker gelieërd aan de breekkracht van de ketting. De relatie tussen anker gewicht/massa en scheepstonnage is, zoals aangegeven in Figuur 403.

De maximale trekkracht in het anker ketting treedt op het schip op, waarna, in de richting van de bodem, de kracht afneemt.

Vanaf het contact punt van ketting en bodem neemt de trekkracht in de ketting nog verder af ten gevolge van wrijving tussen ketting en bodem.

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-10

Het anker zal zelf ook kracht absorberen, wat resulteert in passieve gronddruk die door het anker overwonnen moet worden om door de grond te kunnen bewegen.

Om de effecten van ketting/bodem wrijving en anker kracht in rekening te brengen kan de trekkracht op de leiding gereduceerd worden met een factor 1.3. De ingraafdiepte van ankers is zoals aangegeven in Figuur 404.

Tabel 4.3 presenteert de kritieke scheepstonnage voor verschillende gronddekking hoogtes.

Tabel 4.3 Kritische tonnages bij verschillende gronddekking

Begravings diepte m	Kritische DWT, tonnes
0.0	28,959
0.2	121,851

Gezien bovenstaande berekende resultaten en het bepaalde maximale scheepstonnage (3300 ton), wat de leiding zal kruisen, mag geconcludeerd worden dat de leiding niet beschadigd zal worden door een krabbend anker.

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-11

4.4 SCHADEBESCHOUWING TEN GEVOLGE VAN VALLENDE CONTAINERS

De containervvaart heeft het afgelopen decennium een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. Op een groot aantal locaties in het noorden en oosten van het land worden container terminals gebouwd. De containervervoerlijn in het IJsselmeergebied, relevant voor het schade risico van de pijpleiding, is de lijn van Antwerpen/Rotterdam naar Harlingen/Bremen. De containerschepen maken gebruik van het Lorentz sluizen complex nabij Kornwerderzand. De container schepen vervoeren zowel 20 ft. als 40 ft. containers. In het scenario van schade aan de leiding door vallen van een container is uitgegaan van een 20 ft. container. Dit gezien de vervoerseenheden, die aangeven dat de hoeveelheid 20 ft. container tweemaal zo groot is als de hoeveelheid 40 ft. containers. Als een container van een schip afvalt, is deze onderhevig aan een voorwaartse, laterale en mogelijk een verticale snelheid. De voorwaartse snelheid is equivalent aan die van het schip, de laterale en verticale snelheid worden geïnitieerd door het rollen en dompen van het schip. Op het moment van het verliezen van het contact met het schip vliegt de container door de lucht. Na korte tijd zal de werking van de zwaartekracht daling van de container initiëren. Hoogstwaarschijnlijk zal tijdens deze beweging de container roteren om een horizontale as. De container, zal naar alle waarschijnlijkheid, het wateroppervlak raken onder een geringe hoek. Dit omdat de valhoogte van de container relatief gering is en omdat het zwaartepunt van de massa van de container zich zal bevinden dicht bij het centrum van het basisvlak van de container. Een en ander betekent dat de container bijna horizontaal het wateroppervlak raakt. Na contact met het water, zal water, de container binnenstromen. Daarna zal de gevulde container zinken. De snelheid van het zinken is afhankelijk van de hoeveelheid water die per tijdseenheid binnenstroomt. De container, zal enigszins draaien ten opzichte van het horizontale vlak. Een en ander is afhankelijk van de locatie van het zwaartepunt van de container, wat ten gevolge van het schuiven van de lading en instroom locatie verplaatst kan zijn. De rotatie van de container in het water zal naar alle waarschijnlijkheid gering zijn, dit vanwege de geringe waterdiepte en een geringe zwaartepuntverschuiving van de container in zijn totaliteit.

	RAPPPOORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-12

De landing van de container, op de bodem, zal dus ongeveer horizontaal zijn. In het meest conservatieve geval zou de container op de bodem op zijn punt kunnen landen. De botsingsenergie zal dan opgenomen worden door:

- Grondvervorming
- Vervorming van de container zelf
- Verbrijzeling van de betoncoating
- Locale vervorming van de pijpleiding
- Globale vervorming van de pijpleiding

Aannemende dat de container volledig gevuld is met water, dan zal de massa van het geheel in de orde van 60000 kg zijn. De daalsnelheid ter hoogte van de bodem, aannemende dat de start snelheid op het water 0 m/s is, zal in de orde van 1.5 m/s zijn. De botsingsenergie met de grond zal dus ongeveer 67.5 kNm zijn. Zelfs als er aangenomen wordt dat de pijpleiding geen gronddekking heeft zal het beton rond de leiding deze energie op kunnen nemen en derhalve zal er geen schade aan de leiding optreden.

In bovenstaande beschouwing zijn de volgende parameters gebruikt:

- Container dimensies zijn: 3x3x6 m. (20ft container)
- Valhoogte boven het water oppervlak: 6.0 m.
- Massa van container: 5500 kg
- Waterdiepte: 4.5 m.

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-13

4.5 SCHADEBESCHOUWING TEN GEVOLGE VAN STRANDENDE SCHEPEN

Bij de aanlandingen nabij Workum en Medemblik bestaat de kans dat schepen stranden. De breedte van de corridor is 1.0*de scheepslengte.

Als de begravingdiepte minder dan 1.0 m. bedraagt, kan er lekkage van de leiding optreden. (Referentie 9). De begravingdiepte ter plekke van de aanlandingen zal minimaal 2.0 m. bedragen. Wat betekent dat stranding van schepen geen gevaar van schade/lekkage van de leiding zou kunnen optreden.

4.6 SCHADEBESCHOUWING TEN GEVOLGE VAN ZINKENDE SCHEPEN

Referentie 6 suggereert, in lijn met strandende schepen, dat de breedte van de corridor 1*de scheepslengte is. Verder wordt er geconcludeerd dat er minimaal 1.0 m. dekking op de leiding aanwezig moet zijn, anders zal er lekkage van de leiding optreden. Deze beschouwing is gebaseerd op het scheepvaart verkeer op de Noordzee.

Als er een meter van de leiding beschouwd wordt die belast wordt door een gezonken schip, kan aangenomen worden dat de reactiekracht van de grond gelijk is aan de bovenbelasting. Tevens kan aangenomen worden dat de belasting over de volledige uitwendige diameter van de leiding optreedt. Aannemende dat een schip van 2500 DWT gezonken is, welke de afmetingen zou kunnen hebben van 100 bij 20 m. Aannemende dat het scheepsgewicht in zijn totaliteit, welke de belasting op de leiding uitoefent in de orde ligt van 3500 ton, geeft een uniforme druk op de leiding van 17500 N/m². Het maximale moment, Ma, onder de gemaakte aanname, in een doorsnede van de leiding is:

$$Ma = 0.25 \cdot w \cdot R^2 \text{ Nm/m (Referentie 10)}$$

Substitutie van de verschillende parameters geeft:

$$Ma = 1626 \text{ Nm/m}$$

De optredende buigspanning ten gevolge van het buigende moment is:

$$\sigma_b = Ma/W$$

	RAPPOR PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 4-14

Waar:

W = weerstandsmoment van een wanddikte segment (m^3)

Het weerstandsmoment van de wanddikte is gegeven door:

$$W = \frac{1}{6} t^3$$

Waar:

t = wanddikte van de leiding (0.0159 m)

De buigspanning ten gevolge van het aangenomen gewicht en afmetingen van het van afgezonken schip is dus:

$$\sigma_b = 39 \text{ N/mm}^2$$

Het spanningsniveau van de leiding ten gevolge van de interne druk is in de orde van 308 N/mm² bij een druk van 80 bar.

Het totale spanningsniveau is dus 347 N/mm² of ongeveer 72 % van de vloeisterkte van het staal materiaal.

Bij het aangenomen belasting niveau zal de leiding geen schade ondervinden van het boven op de leiding gezonken schip.



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 5-1

SECTIE 5 PIJPLEIDING SCHADE T.G.V. SCHEEPVAART (ONBEGRAVEN LEIDING)

- 5.1 Algemeen
- 5.2 Ligging van de onbegraven Leiding
- 5.3 Krabbend Anker
- 5.4 Zinkende Schepen

Figuur 501

	ENGINEERING REPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJsselmeer Sectie	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 5-2

SECTIE 5 PIJPLEIDING SCHADE TG.V SCHEEPVAART (ONBEGRAVEN LEIDINGEN)

5.1 ALGEMEEN

Een alternatief voor het begraven van de leiding is dat de leiding op de bodem van het IJsselmeer gelegd wordt. Volledig onbegraven kan de leiding niet zijn, aangezien de leiding in de aanlandingsgebieden begraven moeten worden. Dit om redenen van veiligheid in structurele zin en vanuit het oogpunt van schade potentieel aangebracht door derden i.e. stranden van schepen, vandalisme en terrorisme. De onbegraven leiding zal, zoals de begraven leiding, schade kunnen ondervinden. Deze eventuele schade zal eveneens kunnen optreden door:

- Vallende ankers
- Strandende schepen
- Vallende containers
- Krabbende ankers
- Zinkende schepen

Vallende Ankers

Zoals beschreven in Sectie 4.2 wordt is kinetische energie van een vallend anker ter plekke van de bodem in de orde van 5730 Nm. De aanwezige betonbekleding zal ruimschoots dit energie niveau kunnen absorberen. Het energie niveau wat het beton kan absorberen is 60000 Nm. Dit betekent dat de leiding niet beschadigd wordt door een vallend anker.

Strandende Schepen

De conclusies voor gestrande schepen (Sectie 4.5) zijn ook van toepassing voor de onbegraven leiding i.e. de leiding wordt niet beschadigd.

Vallende Containers

De conclusies voor vallende containers voor de begraven leiding zijn eveneens van toepassing op de onbegraven leiding. Het energie niveau van de vallende container is te laag om de beton bekleding te beschadigen.

De leiding ligt op de zeebodem en de weerstand tegen verplaatsing t.g.v. een krabbend anker is de wrijvingskracht van pijpleiding met de zeebodem. In Sectie 5.2 wordt nader ingegaan op deze belasting situatie.

Zinkende schepen op een onbegraven pijpleiding zullen een andere belasting geven dan een gezonken schip op een begraven leiding. In Sectie 5.3 zal nader ingegaan worden op deze belasting van de leiding.

	ENGINEERING REPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 5-4

5.2 LIGGING VAN DE ONBEGRAVEN LEIDING

De onbegraven leiding ligt op de bodem, wat de maximale diepgang zou kunnen limiteren van de schepen, die het leiding tracé kruisen.

De maximale diepgang wordt bepaald door de maximaal toegestane diepgang in de sluizen, die toegang aan scheepvaart verlenen tot het beschouwde IJsselmeer gebied. Al deze sluizen (Houtrib, Stevin, Lorenz en Krabbegat) hebben een maximaal toegestane diepgang van 3.5 m afhankelijk van de waterstanden aan beide zijde van de sluizen. Aangenomen dat schepen met een diepgang van om en nabij 3.5 m gesluisd worden, houdt in dat schepen met deze diepgang de leiding zullen kruisen.

In Figuur 501 is het bodem profiel van het IJsselmeer langs het leiding tracé aangegeven. De diepte is ten opzichte van het Winterpeil van het IJsselmeer. Schepen met de aangenomen diepgang van 3.5 m kunnen ter plaatse van het leiding tracé, zonder aanwezigheid van de leiding, dit tracé over een breedte van 22.3 km kruisen, rekening houdend met het Winter Peil. Rekening houdend met het Zomerpeil van het IJsselmeer neemt de breedte toe tot 24.1 km. Een en ander is bepaald onafhankelijk van effecten van op- of afwaaien van het water als gevolg van de wind.

De leiding heeft, inclusief de beton bekleding, een buiten diameter van 1.45 m. In Figuur 501 is de diepte weergegeven die resteert als de leiding op de bodem van het IJsselmeer gelegd zou worden. Een veilige vaarbreedte van rond de 1.6 km over het tracé gedurende de winter periode zal overblijven. Gedurende de zomer periode zullen er drie veilige vaarbreedtes van respectievelijk 2.1, 2.0 en 1.7 km overblijven. De vermindering van veilige vaarbreedte is aanzienlijk 22.3 tot 1.6 km (Winterperiode) en 24.1 tot 5.8 km gedurende de zomerperiode.

Aangenomen dat de schepen met 3.5 m diepgang en minder de geïdentificeerde kruisingen zullen gebruiken, betekent dat de scheepvaart intensiteit aanzienlijk toeneemt ter plekke van de veilige kruising locaties. Dit impliceert dat de kans op calamiteiten(botsingen) toeneemt sinds het noord en zuid gaand verkeer van de zelfde kruising gebruik moeten maken.



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 5-5

Recreatie zeiljachten welke tegenwoordig een diepgang kunnen hebben van meer dan 2.2 m zullen hinder kunnen ondervinden van de leiding op de bodem. Zeker tussen KP 1.5 en 5.0, in mindere mate tussen KP 12.0-14.5 en rond KP22.5. Als de kiel van een zeiljacht met grond in aanraking komt zal het jacht relatief geleidelijk tot stilstand komen. Wanneer de kiel in contact komt met een onderzees obstakel zal het schip plots worden afgeremd en zal de kiel, afhankelijk van snelheid, vorm, ophang constructie etc beschadigd worden. Eventueel kan de kiel ervan afgeslagen worden met als gevolg waarschijnlijk zinken van het jacht. Zelfs al is het obstakel op kaarten goed aangegeven, dan zullen er ongelukken van een scenario zoals boven beschreven optreden. Dit ten gevolge van het gebruik van oude kaarten, onbekendheid met het te bevaren gebied, weersomstandigheden (mist, harde wind) etc. Een en ander zou tot calamiteiten met dodelijk gevolg kunnen leiden.

	ENGINEERING REPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 5-6

5.3 KRABBEND ANKER

De beschouwing gegeven in Sectie 4.3 kan eveneens toegepast worden voor de onbegraven leiding.

De weerstand, R, wordt in dit geval volledig bepaald door gewicht en wrijvingscoëfficiënt tussen leiding en grond.

Het gewicht van de leiding op de bodem is 3600 N/m, de wrijvingscoëfficiënt kan in de orde van 0.5 zijn, als een kleiachtige bodem wordt aangenomen. Het plastisch moment, M_p , is $13.7 \cdot 10^6$ Nm.

Volgens de formule $F = 4 \cdot (M_p \cdot R)^{0.5}$ (Sectie 4.3) wordt de kracht F gelijk aan 889 kN. Deze kracht is gelijk aan de breekkracht van de anker ketting. De ankerketting breekkracht is gekoppeld aan de anker massa en de anker massa is gekoppeld aan de scheepstonnage. Zie Figuren 403 en 404. Het scheepstonnage wat een anker gewicht draagt van rond de 2500 kg is in de orde van 15000 DWT. Dit tonnage is veel hoger dan het tonnage van schepen op het IJsselmeer en derhalve kan geconcludeerd worden dat een krabbend anker geen schade aan de pijpleiding zal geven

5.4 ZINKENDE SCHEPEN

5.4.1 Schade Beschouwing

Een op de leiding zinkend vrachtschip kan hoogstwaarschijnlijk resulteren tot schade aan de pijpleiding. Een en ander is afhankelijk van de vorm, gewichtsverdeling en tonnage van het gezonken schip. Hieronder is een indicatieve berekening uitgevoerd gebaseerd op de volgende aannamen:

Pijpleiding rust op een harde bodem

De vervorming van de bodem plaat het gezonken schip is gering

De bodem plaat van het gezonken schip is vlak

De gewichtsbekleding (beton) draagt niet bij tot de radiale buigsterkte van de leiding.

De leiding vervormt aanzienlijk als de vloeispanning in de wand doorsnede t.g.v buigen bereikt wordt

Het maximale moment, M, in de doorsnede van de leiding t.g.v de aangenomen belastingssituatie is gelijk aan:

$$M = 0.3183 \cdot F \cdot R \text{ (Referentie 10)}$$

Waar:

F = de verticale belasting (N/m)

R = de straal van de leiding (m), 0.61 m

De buigspanning, Sb, in de leiding is gelijk aan:

$$S_b = M/W$$

Waar:

W = weerstandsmoment van de doorsnede i.e $1/6 \cdot t^2$

Waar:

t = wand dikte van de leiding (m), 0.0159 m

De vloeispanning van het staal materiaal is 482 N/mm²

Vervanging van de uitdrukking voor het moment in de uitdrukking voor de buigspanning geeft:

$S_b = 0.3183 \cdot F \cdot R^6 / t^2$ (Referentie 10)

Invulling van de vloeispanning, straal en wand dikte in bovenstaande uitdrukking geeft de belasting, waarbij de leiding onder de aannames zal vervormen.

Deze belasting is gelijk aan 105 kN/m.

Een schip met gangbare afmetingen en tonnage heeft een breedte van 6 tot 7 m en een tonnage van 500 tot 700 ton. Aannemende dat het schip op twee punten ondersteund wordt, aan de voor of aan de achterkant en ergens nabij het midden geeft dat 500 ton geabsorbeerd dient te worden door de leiding. Over de aangenomen breedte geeft dit een verticale belasting van 83 ton/m of 830 kN/m. Deze belasting is ongeveer een factor 8 maal hoger dan de uitgerekende belasting, die vloeit in de leiding wand veroorzaakt. Voorzichtigheidshalve kan dus aangenomen worden dat als een schip op de leiding zinkt dat er schade aan de leiding zal optreden, zelfs als aangenomen wordt dat het schip op voor en achterkant ondersteund wordt. Dan nog is de belasting 4 maal hoger dan de belasting die vloeispanning in de wanddikte van de leiding veroorzaakt. In bovenstaande berekening zijn de spanningen t.g.v inwendige druk achterwege gelaten.

5.4.2 Kans Berekening

De kans dat een schip zinkt tijdens de vaart is afhankelijk van de vaartijd of in andere woorden de gevaren afstand. Referentie 6 geeft in Tabel 5.2 aan wat de frequentie/gevaren km van zinken is als functie van het scheepstype. De frequenties zijn in Tabel 5.1 gepresenteerd.

Tabel 5.1 Frequentie van zinken van schepen

Scheepstype	Frequentie/gevaren km *10-5
Vrachtvaart	1.846
Containervaart	0.092
Bulkvaart	0.092
Tankervaart	0
Passagiers vaart	0.092
Visserijvaart	2.332
Werkvaart	0
Recreatievaart	0

De frequenties zijn, in theorie, alleen toepasselijk voor het Nederlandse Continentaal Plat. De binnenvaart heeft dezelfde scheepstypen als de zeevaart. Aannemende dat de staat van onderhoud van schepen van binnenvaart en zeevaart van gelijke orde is en dat de oorzaak van zinken gedicteerd wordt door het innemen van water via laadruimten en schuiven van lading, leidt tot de conclusie dat de frequentie van zinken van schepen van de binnenvaart op het IJsselmeer en zeevaart op het NCP nagenoeg gelijk zal zijn. Met dien verstande dat de bijdrage van de visserij op nul gesteld is omdat er weinig tot geen visserij activiteiten op het IJsselmeer plaatsvindt.

	ENGINEERING REPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 5-10

Gedurende de winter periode zullen de schepen voornamelijk gebruik maken van de 1.6 km brede oostelijke passage. Gedurende de zomerperiode zal het scheepvaart verkeer zich spreiden over de westelijke en oostelijke passages. De verdeling over de westelijke en oostelijke passages gedurende de zomer periode zal gelijk zijn aan het aantal passages door de Stevin sluizen en Lorenz sluizen.

De kansberekening is gebaseerd op het aantal passages van schepen door de Stevin en Lorenz sluizen gedurende het jaar 2001. Het aantal passages, zoals eerder gesteld zal in de loop der tijd afnemen, de kans dat een schip zinkt op de leiding is dus conservatief ingeschat. Er is tevens aangenomen dat de verdeling van passages over het jaar uniform is.

Gedurende de winterperiode, welke een half jaar duurt, zullen dus $((4526+3531)/2)$ schepen van de oostelijke passage gebruik maken.

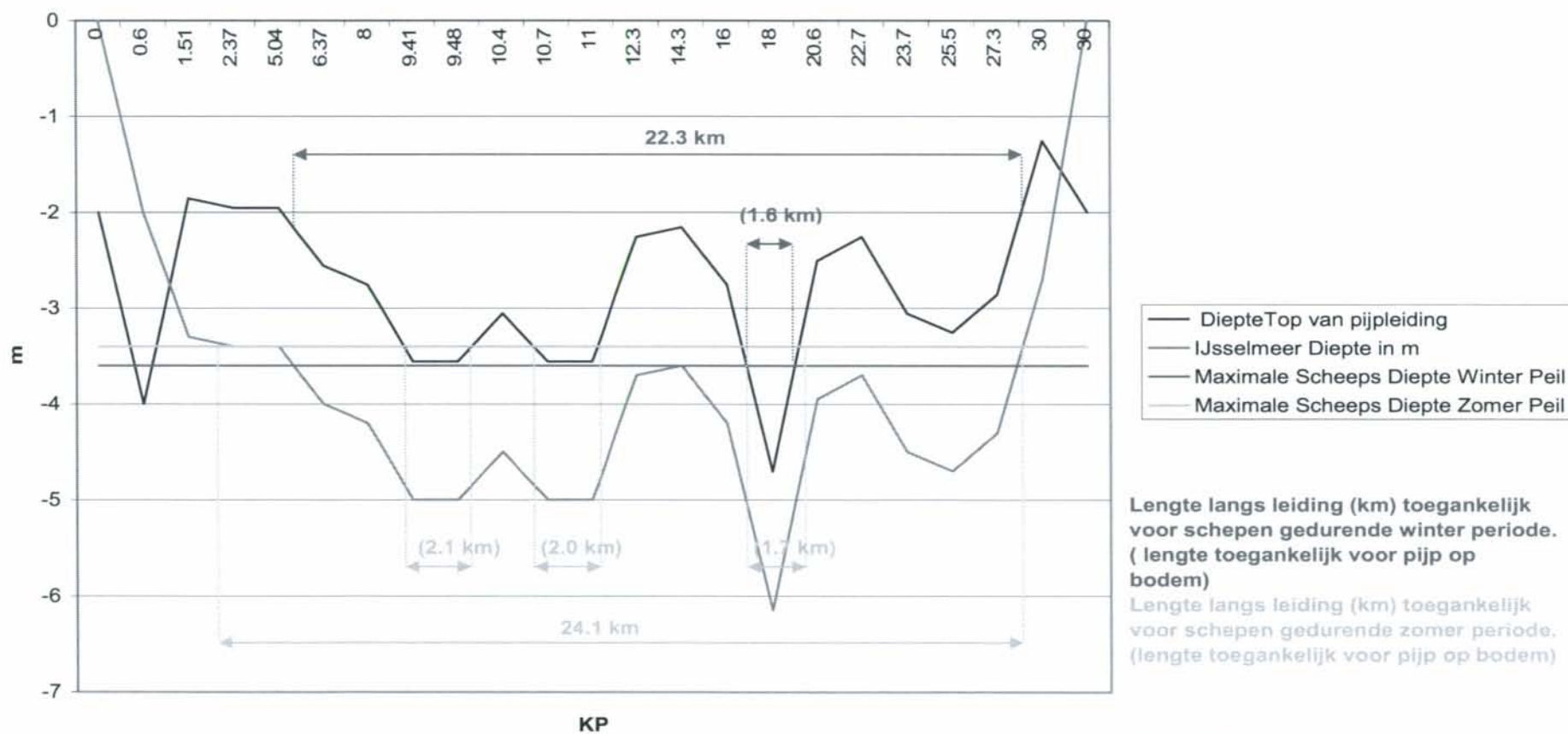
Gedurende de zomer periode zullen $(4526/2)$ schepen de oostelijke passage bevaren. In totaal, gedurende een jaar, zullen dus 6296 schepen de oostelijke passage gebruiken. In totaal zullen 1766 schepen per jaar de westelijke passage gebruiken. Aannemende dat dit in gelijke mate verdeeld is over de twee westelijke passages geeft dit 883 schepen per passage.

De frequentie van zinken zoals boven gesteld is per gevaren km, een schip zal op de leiding kunnen zinken als het schip zich boven de leiding bevindt. Aannemende dat de gemiddelde scheepslengte ongeveer 80 m, zullen er in de oostelijke passage bijna 504 km boven de leiding door schepen gevaren worden. De frequentie van zinken zal dus, onder de aangenomen data, $1.022 \cdot 10^{-2}$ per jaar in de oostelijke passage en $1.35 \cdot 10^{-3}$ per jaar in een van de westelijke passages zijn. Het moet gesteld worden dat de frequentie van het zinken van vrachtschepen zoals aangegeven in Referentie 6 erg hoog is. Het betekent namelijk dat een vrachtschip na ruw weg 50000 km varen zal zinken.

Andere bronnen vermelden dat de kans op het zinken van een schip toeneemt naarmate de leeftijd van het schip toeneemt. Als gesteld wordt dat een schip zal zinken na drie miljoen kilometer gevaren te hebben (30 jaar) zal dit eerder met de actuele feiten overeenkomen. Een en ander betekent dat de frequentie van het zinken boven op de leiding in de oostelijke doorvaart $1.15 \cdot 10^{-3}$ en in een van de westelijke geulen $1.52 \cdot 10^{-4}$ wordt. Zoals aangetoond zal een contact van de leiding met een gezonken schip uitmonden in schade van de leiding. Er mag dus gesteld worden dat de frequentie van het zinken van een schip boven op de leiding gelijk staat aan de faal frequentie van de leiding.

Op het Nederlands Continentaal Plat is een faal frequentie lager dan 10^{-6} per kilometer pijpleiding per jaar een acceptabel risico. Voor de leiding op de bodem van het IJsselmeer is dit veel hoger $1.15 \cdot 10^{-3} / 1.6 = 7.2 \cdot 10^{-4}$.

De kans op beschadigingen van de leiding ten gevolge van zinken van schepen kan tot bijna nul gereduceerd worden door de leiding in de scheep passage locaties te begraven. Het begraven van de leiding op deze locaties neemt niet weg dat aanvaringen van diepstekende zeiljachten en buiten de passages varende schepen met de onbegraven leiding een reële kans zijn.



Figuur 501



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-IJSSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 6-1

SECTIE 6 REFERENTIES

1. E-mail van P.H. Goos d.d 09/02/05 Subject: 161202/1544; GWWL; Veiligheidsstudie IJsselmeerkruising.
2. Kwantitatieve risicotoetsing Grijskerk-Wieringermeer leiding, Rapportnummer TET 04.R.0015, d.d. 31/01/05
3. Routetekeningen (GWWL)
4. Scheepvaart IJsselmeergebied Jaaroverzicht 2000 & 2001, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied
5. "Veiligheidsanalyse voor zeeleidingen", Rijkswaterstaat Directie Noordzee
6. "Mooring Anchors", The Society of Naval Architects and Marine Engineers Transactions, Vol. 67, 1959
7. Lloyd's "Register of Ships"
8. "Soil Restraint against horizontal Motion of Pipes", Journal of the Geotechnical Engineering Division, J E Audibert, K J Nyman, October 1977
9. "Verkeers Veiligheid op de Noordzee", Directoraat-Generaal Scheepvaart en Maritieme Zaken, August 1993
10. Formula's for Stress and Strain Roark, Young



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-1

APPENDIX A 'BACK-UP' BEREKENINGEN



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-2

Ankervrije Val door de Lucht

Totaal pagina's: 2

DROP VELOCITY OF ANCHOR IN AIR

Equation used:

$$m \cdot a = F_z - F_f$$

Where:

m = mass of anchor (kg)

a = acceleration of object (m/s²)

F_z = Force in the direction of object movement (N)

F_f = Friction force between winch and chain (N)

Rewriting the equation gives:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot g - f \cdot m \cdot g^{(2)^{0.5}}$$

where:

f = friction coefficient (-)

g = acceleration due to gravity (m/s²) equals: **9.81**

Integrating gives:

$$v = g \cdot t - f \cdot g^{(2)^{0.5}} \cdot t + C$$

and

$$s = 0.5 \cdot g \cdot t^2 (1 - f^{(2)^{0.5}}) + C \cdot t$$

At $t=0$, $v=0$ and $s=0$ hence $C=0$

Knowing s and f the drop velocity can be calculated

Assume the range of drop heights to be between 1.0 and 3.0 m.

Assume the range of friction coefficients between 0.05 and 0.15

		Drop Time (t)				
s in m	f (-)	1	1.5	2	2.5	3
0.05	0.05	0.459878	0.563233	0.650366	0.727131	0.796532
0.075	0.075	0.464359	0.568722	0.656703	0.734216	0.804294
0.1	0.1	0.469068	0.574488	0.663362	0.741661	0.812449
0.125	0.125	0.474025	0.580559	0.670372	0.749499	0.821035
0.15	0.15	0.479256	0.586966	0.67777	0.75777	0.830095

		Anchor velocity (v) at air/water interface (m/s)				
s in m	f (-)	1	1.5	2	2.5	3
0.05	0.05	4.1924	5.13462	5.928949	6.628766	7.26145
0.075	0.075	4.072195	4.9874	5.758954	6.438706	7.053249
0.1	0.1	3.950796	4.838717	5.587269	6.246756	6.842979
0.125	0.125	3.828139	4.688494	5.413807	6.05282	6.630532
0.15	0.15	3.704159	4.536649	5.238471	5.856789	6.415791



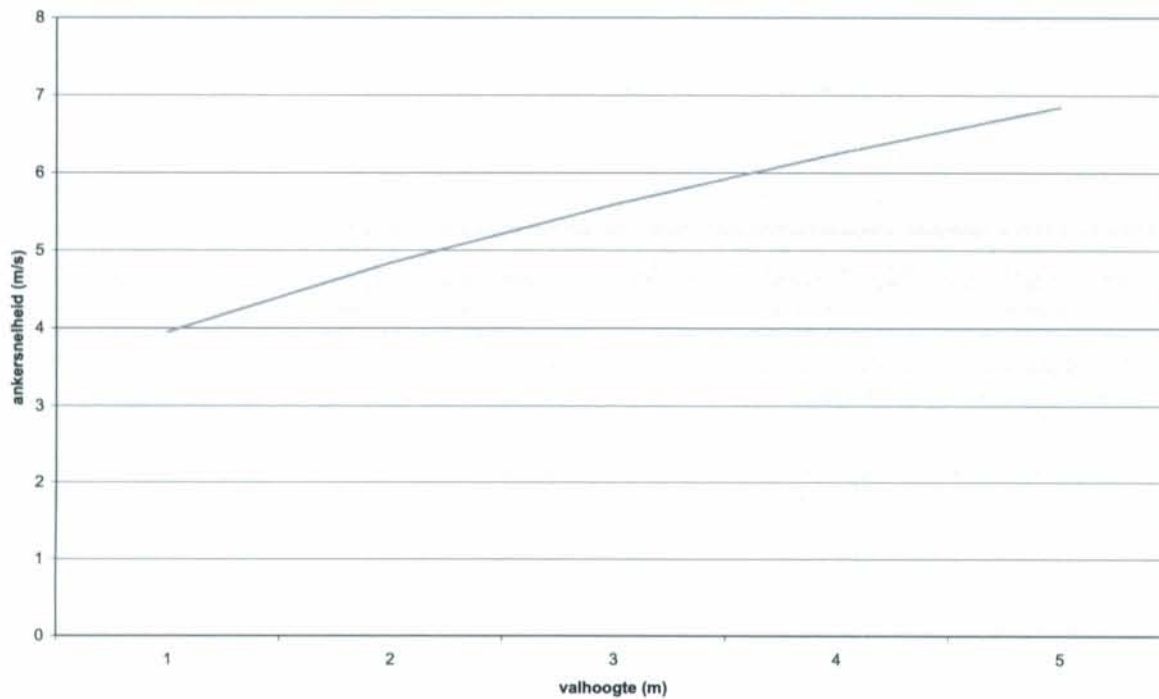
ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-4



	ENGINEERING REPORT PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE	Ref No : 51101600-ER-001
		Rev : 1
		Page : 7-5

Ankervrije Val door Water

Totaal pagina's: 4



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-IJSSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-6

DROP VELOCITY OF ANCHOR THROUGH WATER

Equation used:

$$m \cdot a = F_z - F_b - F_d - F_f$$

Where:

m= mass of anchor (kg)

a= acceleration of object

F_b= buoyancy force

F_d= Drag force

F_f= Friction force between winch and chain

Rewriting the equation gives:

$$m \cdot dv/dt = m \cdot g - \mu \cdot g \cdot \rho_{\text{water}} - 0.5 \cdot C_d \cdot \rho_{\text{water}} \cdot A \cdot v^2 - f \cdot (m \cdot g - \mu \cdot g \cdot \rho_{\text{water}} \cdot g)^{(2)^{0.5}}$$

Where:

g= acceleration due to gravity (m/s²)

μ= volume of object (m³)

ρ_{water}= density of water (kg/m³)

C_d= drag coefficient(-)

A= frontal area of anchor(m²)

v= velocity of anchor (m/s)

f= friction coefficient (-)



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-
IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-7

INPUT

	Minimum	Maximum
Mass range anchor:	100	750
Banchor	0.06	0.45
B/L	0.3333	
Number of categories:	5	
rho _w	1000	
rho _s	7850	
g	9.81	
C _d	1.2	
f	0.1	
Time increment (s)	0.05	

Anchor Mass	100	262.5	425	587.5	750
B	0.06	0.1575	0.255	0.3525	0.45
L	0.180018	0.472547	0.765077	1.057606	1.350135
Frontal Area (A)	0.010801	0.074426	0.195095	0.372806	0.607561
Volume (mu)	0.012739	0.033439	0.05414	0.074841	0.095541
Alpha	15.43056	5.878307	3.630719	2.626478	2.057407
C ₂	7.349707	7.349707	7.349707	7.349707	7.349707

Velocity (m/s)

Time	Velocity (m/s)				
0	5.59	5.59	5.59	5.59	5.59
0.05	5.85	5.68	5.54	5.40	5.28
0.1	6.09	5.77	5.49	5.25	5.03
0.15	6.33	5.84	5.45	5.12	4.83
0.2	6.56	5.91	5.41	5.01	4.67
0.25	6.78	5.98	5.38	4.91	4.54
0.3	6.99	6.04	5.35	4.84	4.43
0.35	7.19	6.09	5.33	4.77	4.34
0.4	7.38	6.14	5.31	4.71	4.26
0.45	7.56	6.18	5.29	4.67	4.20
0.5	7.73	6.22	5.28	4.63	4.15
0.55	7.90	6.25	5.26	4.59	4.11
0.6	8.06	6.28	5.25	4.56	4.07
0.65	8.21	6.31	5.24	4.54	4.04
0.7	8.35	6.34	5.23	4.52	4.02
0.75	8.48	6.36	5.22	4.50	4.00
0.8	8.61	6.38	5.21	4.48	3.98
0.85	8.73	6.40	5.21	4.47	3.97
0.9	8.84	6.42	5.20	4.46	3.95
0.95	8.95	6.43	5.20	4.45	3.94
1	9.05	6.45	5.19	4.44	3.93
1.05	9.15	6.46	5.19	4.44	3.93
1.1	9.24	6.47	5.19	4.43	3.92
1.15	9.33	6.48	5.18	4.42	3.92
1.2	9.41	6.49	5.18	4.42	3.91
1.25	9.48	6.50	5.18	4.42	3.91
1.3	9.55	6.51	5.18	4.41	3.90
1.35	9.62	6.51	5.18	4.41	3.90
1.4	9.69	6.52	5.18	4.41	3.90
1.45	9.75	6.52	5.17	4.41	3.90
1.5	9.80	6.53	5.17	4.40	3.90
1.55	9.85	6.53	5.17	4.40	3.90
1.6	9.90	6.54	5.17	4.40	3.89
1.65	9.95	6.54	5.17	4.40	3.89



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-
IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-8

	Distance				
0	0	0	0	0	0
0.05	0.2795	0.2795	0.2795	0.2795	0.2795
0.1	0.571836	0.56364	0.556275	0.549598	0.543499
0.15	0.87653	0.852008	0.830685	0.811879	0.795103
0.2	1.193103	1.144223	1.103039	1.067631	1.036709
0.25	1.521079	1.439937	1.373604	1.317908	1.270192
0.3	1.859986	1.738828	1.642612	1.56358	1.497039
0.35	2.209357	2.040601	1.910263	1.805368	1.718435
0.4	2.568732	2.344986	2.176732	2.043872	1.935338
0.45	2.937661	2.651739	2.442169	2.279594	2.148525
0.5	3.315702	2.960634	2.706706	2.512957	2.35863
0.55	3.702426	3.271467	2.970458	2.744314	2.566174
0.6	4.097413	3.584052	3.233523	2.973966	2.771583
0.65	4.500257	3.89822	3.495988	3.202165	2.975213
0.7	4.910565	4.213819	3.75793	3.429126	3.177357
0.75	5.327958	4.530709	4.019414	3.655031	3.378257
0.8	<u>5.752067</u>	4.848764	4.280498	3.880034	3.578117
0.85	6.182542	5.167871	4.541232	4.104269	3.777105
0.9	6.619043	5.487926	4.80166	4.327845	3.975363
0.95	7.061246	<u>5.808836</u>	5.061821	4.55086	4.173008
1	7.50884	6.130517	5.321747	4.773394	4.370139
1.05	7.961528	6.452892	5.581468	4.995517	4.566839
1.1	8.419026	6.775894	<u>5.841011</u>	5.217289	4.763177
1.15	8.881063	7.099459	6.100396	5.43876	4.959211
1.2	9.347382	7.423533	6.359645	5.659974	5.154989
1.25	9.817738	7.748064	6.618773	<u>5.880968</u>	5.350552
1.3	10.2919	8.073007	6.877797	6.101773	5.545935
1.35	10.76964	8.39832	7.136728	6.322416	5.741166
1.4	11.25076	8.723968	7.395579	6.542922	<u>5.93627</u>
1.45	11.73505	9.049917	7.65436	6.763309	6.131267
1.5	12.22232	9.376136	7.913079	6.983594	6.326174
1.55	12.71241	9.702598	8.171744	7.203793	6.521005
1.6	13.20514	10.02928	8.430362	7.423918	6.715772
1.65	13.70035	10.35616	8.688938	7.643978	6.910486

Energy Levels at waterdepth for selected depth

3706.17 5432.626 5718.877 5728.692 5703.563



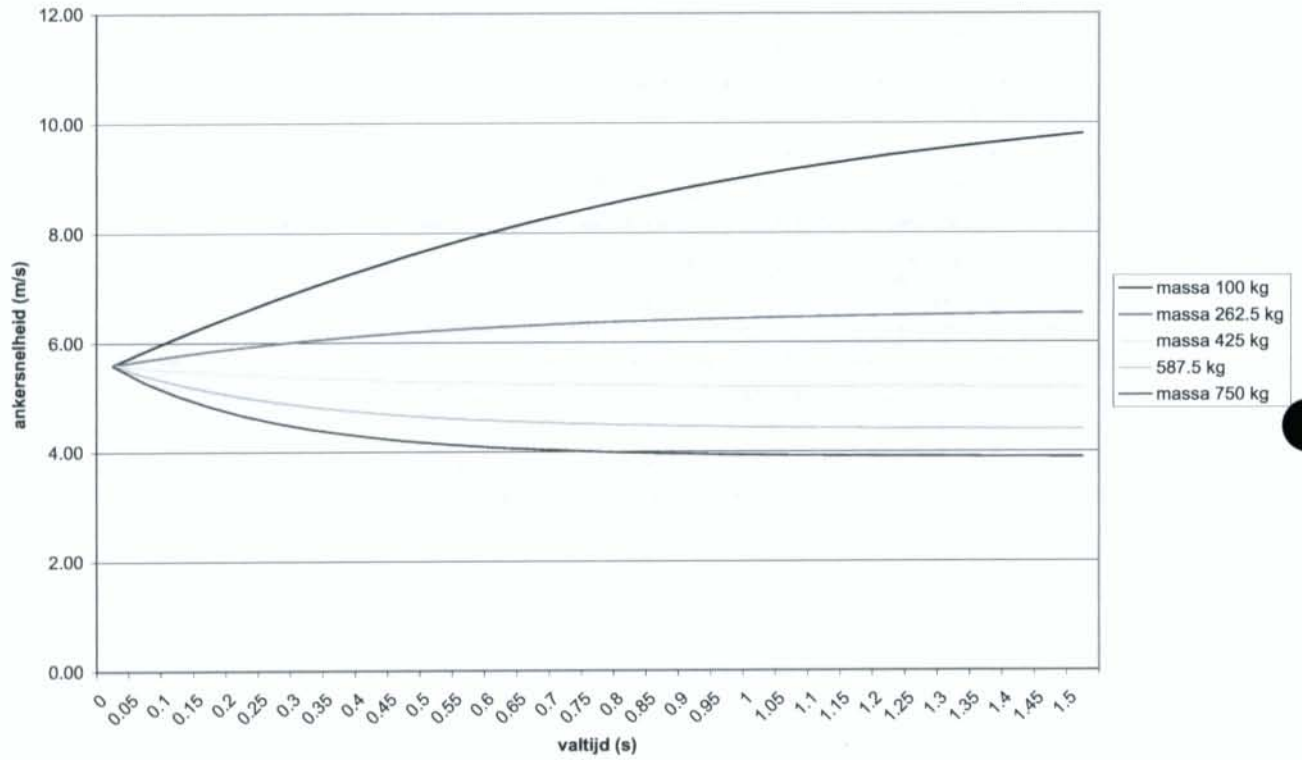
ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-9





ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL- IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-10

Ankerpenetratie Diepte

Totaal pagina's: 2



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-
IJSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-11

INPUT*Soil parameters*

c (N/m ²)	50000
phi (deg)	25
gamma (N/m ³)	6000
Cover depth (m)	0.6

Anchor parameters

Weight	Minimum	Maximum
Range (kg)	100	750
B(m)		0.45
L(m)		1.4
Number of Anchor sizes	5	
Depth Increment (m)	0.05	

	A1	A2	A3	A4	A5
Anchor Weight (kg)	100	262.5	425	587.5	750
Depth below lake bed					
0.05	61.68031	374.5753	944.1901	1772.548	2861.229
0.1	68.37992	411.3717	1016.745	1889.527	3040.399
0.15	71.68011	439.0252	1076.856	1983.547	3171.214
0.2	73.61622	459.6156	1128.092	2068.784	3293.429
0.25	74.91482	475.1418	1171.122	2144.98	3406.693
0.3	75.87183	487.1737	1207.187	2212.507	3510.701
0.35	76.62634	496.7834	1237.594	2272.163	3605.652
0.4	77.2515	504.68	1263.495	2324.914	3692.086
0.45	77.78921	511.3354	1285.822	2371.731	3770.721
0.5	78.26511	517.0693	1305.307	2413.503	3842.349
0.55	78.69576	522.104	1322.519	2451.007	3907.755
0.6	79.09229	526.5972	1337.896	2484.903	3967.676
Total Energy (Nm)	893.8634	5725.473	14296.83	26390.11	42069.9
Anchor velocity (m/s)	4.228152	6.604744	8.202389	9.478327	10.59181



ENGINEERING REPORT

PIJPLEIDING VEILIGHEIDSBESCHOUWING, GWWL-IJSSELMEER SECTIE

Ref No : 51101600-ER-001

Rev : 1

Page : 7-12

Anchor Penetration Depth

Formula used:

Bearing Capacity according to Brinch-Hanssen

$$F_v = (c \cdot N_c \cdot S_c \cdot D_c + Q_0 \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q + 0.5 \cdot B \cdot g \cdot N_g \cdot S_g \cdot D_g) \cdot A$$

Where:

c = Cohesion (N/m²)

$N_q = e^{(\pi \cdot \tan(\phi) \cdot \tan^2(45 + \phi/2))}$

$N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi)$

$N_g = 1.8(N_q - 1) \tan(\phi)$

S_c = shape factor = $1 + 0.2 \cdot B/L$

ϕ = angle of internal friction of soil (deg)

A = Anchor Frontal Area ($B \cdot L$)

B = Width of anchor front (m)

L = length of anchor front (m)

D = Penetration depth (m)

D_c = Depth factor = $1 + 0.4 \arctan(D/B)$

Q_0 = Surcharge load = $g \cdot D$

γ = submerged weight of soil

S_q = Shape factor = $1 + \sin(\phi) \cdot B/L$

D_q = Depth factor = $1 + 2 \cdot \tan(\phi) (1 - \sin(\phi))^2 \arctan(D/B)$

S_g = Shape factor = $1 - 0.4 \cdot B/L$

D_g = Depth factor = 1.0

Integration of F_v over depth gives the energy absorbed by the soil

The average soil cover of the pipeline is some 0.6m

The anchor weights will range from 50 to 500 kg for vessels ranging from 200 to 2500 tonnage

