



Kanalen en havens

ing. B. van Leusden
ing. J.W. van der Velden

EPN



EDUCatieve
PARTNERS
NEDERLAND

Kanalen en havens

*Midden door het groene land,
aan de waatren te onttrekken,
zal het breed kanaal zich strekken
van de zee tot d'Amstelkant.*

ONBEKEND DICHTER, 1863

Kanalen en havens

ing. B. van Leusen
ing. J.W. van der Velden

Eerste druk, derde oplage, 2009

Ontwerp omslag: RAM Vormgeving Jan van Waarden (bNo), Asperen
Omslagfoto: Bob Fleumer, aerial photography, Westzaan

© 1999 EPN, Houten, The Netherlands.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/reprorecht). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/pro).

212962

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior written permission of the publisher.

ISBN (ebook) 978-90-01-88494-9
ISBN 978-90-11-05654-1

Woord vooraf

Deze uitgave is bestemd voor studerenden aan het technisch onderwijs, afdeling civiele techniek.

Het doel van deze uitgave is de gebruiker een zo duidelijk mogelijk beeld te geven van deze tak van de waterbouwkunde.

Tevens hebben wij gestreefd naar een zo breed mogelijke opzet met veel illustraties en achtergrondinformatie. Immers, steeds meer wordt in het moderne onderwijs het accent gelegd op zelfstudie. De taak van de docent verandert daarom ook en de nadruk valt nu op studiebegeleiding en bijkomende activiteiten.

De onderwerpen kanalen en havens zijn uiterst complex en zijn qua constructievorm en uitvoering afgestemd op de gebruikseisen en de situatie ter plaatse. Standaardconstructies komen vrijwel niet voor. Bovendien hebben zich de laatste decennia grote veranderingen voltrokken in de sector 'vervoer over water'. De steeds maar voortschrijdende containerisatie en de daarmee gepaard gaande veranderingen in de civiele infrastructuur is er een voorbeeld van.

Bouwtechnieken veranderen, nieuwe scheepstypen dienen zich aan en het aanzicht van de havens verandert in een hoog tempo.

Om deze redenen is het niet mogelijk ten aanzien van dit onderwerp volledigheid na te streven. Wel hebben wij getracht om de gebruiker van dit boek een zekere hoeveelheid basiskennis en informatie te geven die inzicht verschaft in wat er in dit vakgebied omgaat. Evenals in onze vorige uitgaven zijn enige relevante grondbeginselen van onder andere hydraulica en grondmechanica met betrekking tot dit vakonderdeel in enkele hoofdstukken verwerkt.

Op grond van het bovenstaande dekt de inhoud van dit boek in ruime mate de eindtermen die in het technisch onderwijs zijn gesteld.

Wij danken de uitgever voor de correcte uitvoering en voor de goede samenwerking. Onze erkentelijkheid gaat ook uit naar degenen die in de loop der jaren adviezen hebben gegeven voor de totstandkoming van deze uitgave. Voor eventuele op- en/of aanmerkingen houden wij ons ten zeerste aanbevolen.

Alkmaar, ing. B. van Leusen

Bergen (NH), ing. J.W. van der Velden

Voorjaar 1999

Inhoud

I	Kanalen	13
1.1	Inleiding	13
1.2	Binnenvaartschepen	13
1.3	Classificatie van scheepvaartwegen	15
2	Dwarsprofielen kanalen	16
2.1	Inleiding	16
2.2	Dwarsprofielen	16
2.3	Bepaling van de afmetingen van het dwarsprofiel	17
3	Ontwerp oeververdedigingen	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Functionele eisen	21
3.3	DIPRO	22
4	Waterbewegingen in kanalen	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Scheepsweerstand	24
4.3	Waterbeweging ten gevolge van een varend schip	24
4.4	Grenssnelheid van schepen	28
4.5	Windgolven	28
4.6	Translatiegolven	28
4.7	Op- en afwaaiing 1	29
5	Grondmechanische aspecten	30
5.1	Inleiding	30
5.2	Spanningen in de grond	30
5.3	Holle ruimte	31
5.4	Grond- en waterspanningen	34
5.5	Waterdoorlatendheid	37
5.6	Stabiliteit taluds	39
5.7	Consolidatie; zetting	41

6	Taluds	43
6.1	Inleiding	43
6.2	Taludhellingen algemeen	43
7	Hydraulische aspecten	45
7.1	Inleiding	45
7.2	Stroming	45
7.3	Golfaanval en golfhoogten	47
7.4	Op- en afwaaiing 2	51
8	Filters	52
8.1	Inleiding	52
8.2	Granulaire filters	54
8.3	Kunststof filters	54
8.4	Filters van organische materialen	55
8.5	Samengestelde filters	55
8.6	Notaties betreffende filters	56
8.7	Zanddichtheid	56
9	Gesloten verdedigingen (wateroverdrukken)	59
9.1	Inleiding	59
9.2	Wateroverdrukken	59
10	Basisvormen oeververdedigingsconstructies	60
10.1	Inleiding	60
10.2	Constructies	60
10.3	Uitvoeringswijze en ontwerp	63
11	Oeververdedigingsconstructies kanalen	65
11.1	Inleiding	65
11.2	Constructies (trapeziumvormig profiel)	65
11.3	Constructies (gebroken profiel)	72
11.4	Constructies (bakprofiel)	80
12	Spuikanaal	84
12.1	Inleiding	84
12.2	Spuikanaal	84
13	Kanalen in ophoging	86
13.1	Inleiding	86
13.2	Waterdichte bekledingsconstructies	86
13.3	Kanaal in ophoging met leem/kleikade	89
13.4	Kanaal met waterdichte bodem en taluds	90

14	Oeververdedigingen in recreatiegebieden	92
14.1	Inleiding	92
14.2	Algemene eisen	92
14.3	Ecologie	92
14.4	Constructies (recreatief gebruik)	93
14.5	Constructies (niet recreatief gebruik)	96
15	Vooroeververdedigingen (milieuvriendelijke oevers)	101
15.1	Inleiding	101
15.2	Vooroevers langs meren in voormalig tijgebied	102
15.3	Constructieve aspecten	102
15.4	Constructies vooroeververdedigingen kanalen	104
15.5	Constructies vooroeververdedigingen meren	109
16	Diversen	113
16.1	Waterverlies	113
16.2	Zwaaikommen	113
16.3	Bochtverbreding	114
16.4	Fauna-uitstapplaatsen	115
17	Schadebeelden en onderhoud	118
17.1	Inleiding	118
17.2	Kanalen	118
17.3	Algemeen	120
17.4	Muskus- en beverratten	121
17.5	Waterdichte bekledingen	122
17.5	Meren	122
18	Havens	124
18.1	Inleiding	124
18.2	Indeling havens	124
19	Terminals	128
19.1	Inleiding	128
19.2	Kolen en erts	130
19.3	Containers	132
19.4	Droge bulk (droog massagoed)	134
19.5	Vloeibare bulk (vloeibaar massagoed)	135
19.6	Stukgoed (non bulk)	137
19.7	Passagiers en auto's	137

20	Schepen	138
20.1	Inleiding	138
20.2	Scheepstypen	138
20.3	Diepgangmerken	139
20.4	Containervervoer	140
20.5	Tonnage, draag- en laadvermogen	142
20.6	Diepten en te keren hoogte	147
21	Invloeden op kademuren	148
21.1	Inleiding	148
21.2	Grond- en waterdruk	148
21.3	Scheepsstoten	148
21.4	Troskrachten	149
21.5	Kranen, los- en laadinstallaties	150
22	Belastingen op kademuren	155
22.1	Inleiding	155
22.2	Variabele belastingen	156
22.3	Bovenbouw en fundering	156
23	Damwandconstructies onder kademuren	158
23.1	Inleiding	158
23.2	Constructievormen	158
23.3	Nadere beschouwing combiwall	163
23.4	Paalfundering	166
23.5	Damwand	167
23.6	Drainage	167
24	Ontwikkeling kademuren sinds 1974	170
24.1	Inleiding	170
24.2	Kademuren	171
25	Kade ECT/Sealand	175
25.1	Inleiding	175
25.2	Ontwerp	176
25.3	Belastingen	177
25.4	Uitvoering	178
26	Kademuur Euroterminal	179
26.1	Inleiding	179
26.2	MV-palen	179
26.3	Grondkerende wand	179
26.4	Constructie scharnier	181

27	Bewerkingskade Euroterminal; Handelskade Delfzijl	183
27.1	Inleiding	183
27.2	Ontwerp	185
27.3	Grondwerk	186
27.4	Bodembescherming	186
27.5	Handelskade Delfzijl	187
28	Kademuur Eemshaven Groningen	188
28.1	Inleiding	188
28.2	Ontwerp	188
28.3	Leeuwankers	190
28.4	Uitvoering	191
28.5	Verankering buispalen	191
29	Voorbouwconstructies	194
29.1	Inleiding	194
29.2	Voorbouwconstructies	194
30	Steigers van prefab beton	198
30.1	Inleiding	198
30.2	Paalfundering	198
30.3	Prefab kespen	199
30.4	Prefab balken	199
30.5	Afwatering	202
30.6	Steiger Beneluxhaven, Europoort	202
31	Bijzondere constructies	204
31.1	Inleiding	204
31.2	Kademuur met schuimbeton	204
31.3	Kade met onderwatertalud en drijvende kraan	205
32	Beschermingsconstructies, afmeervoorzieningen	207
32.1	Inleiding	207
32.2	Materialen	208
32.3	Wrijfstijlen en gordingen	209
32.4	Vloedpalen	212
32.5	Bolders, ladders, haalkommen	213
32.6	Meerboeien	214
33	Dalven, fenders, remmingwerken	218
33.1	Inleiding	218
33.2	Arbeid en belastingen	218
33.3	Afmeersnelheden	220

33.4	Kinetische energie	220
33.5	Fenders (algemeen)	221
33.6	Cilindrische fenders	222
33.7	Fenderrollen	222
33.8	Vierkante fenders	223
33.9	Shear fenders	223
33.10	Gigant- en Jumbofenders	224
33.11	Remmingwerken, geleidewerken en meerstoelen	225
33.12	Pontons	225
34	Roll-on roll-offsteigers	229
34.1	Inleiding	229
34.2	Aanleginrichting van een veerhaven	229
34.3	Brugconstructie	230
35	Drijvende steigers	232
35.1	Inleiding	232
35.2	Constructie	232
36	Drijvend geleidewerk	237
36.1	Inleiding	237
36.2	Dobberpalen 1	238
36.3	Drijvend geleidewerk, normaaldoorsnede	239
36.3	Paalraamconstructie	243
36.5	Mantelbuizen	244
36.6	Dobberpalen 2	244
36.7	Koppeling elementen onderling	245
36.8	Conservering	245
37	Vaargeulbeheer	247
37.1	Inleiding	247
37.2	Vaargeuldiepte en getij	247
37.3	Onderhoudsbaggerwerk	247
37.4	Systemen	248
37.5	Tijpoort	248
37.6	Nautische diepte	249
37.7	Hydrografie	249
38	Verkeersbegeleiding scheepvaart	251
38.1	Inleiding	251
38.2	Scheepvaartbegeleiding	251
38.3	Informatiesysteem	251
38.4	Veiligheid	252

39	Havendammen I (algemeen)	253
39.1	Inleiding	253
39.2	Vorm en ligging	253
39.3	Stroming, wind en golven, scheepvaartbegeleiding	254
40	Havendammen 2 (constructie)	256
40.1	Inleiding	256
40.2	Golven en stroming	256
40.3	Dammen en rijswerken	258
40.4	Havendammen van gestorte steen	259
40.5	Havendammen met een steile bovenbouw	262
40.6	Havendammen van stalen damwandprofielen	265
	Geraadpleegde literatuur en bronvermelding	267
	Definities en begrippen	269
	Register	275
	Illustratieverantwoording	279

I Kanalen

I.1 Inleiding

Een kanaal is een gegraven waterweg. Men onderscheidt de volgende soorten kanalen:

- Scheepvaartkanalen, voor het vervoer en transport te water.
- Afwaterings- en toevoerkanalen, voor de af- en aanvoer van water.
Afwateringskanalen worden ook wel spuikanalen genoemd.
- Laterale kanalen, die een riviervak of een kanaalpand afsnijden omdat de desbetreffende waterweg ter plaatse onbevaarbaar is door bijvoorbeeld de aanwezigheid van ondieptes of stuwen.
- De combinatie van scheepvaartkanaal en toe- of afvoerkanaal.

Kanalen en havens zijn van groot belang voor de economie van Nederland. Om een indruk te krijgen van het goederenvervoer door en in Nederland (exclusief luchtvaart) per vervoerswijze zijn in tabel 1.0 enige cijfers opgenomen die ontleend zijn aan het jaarbericht Rijkswaterstaat 1996.

Tabel 1.0

Vervoerswijze	Vervoer	
	× miljoen ton	%
wegvervoer	560	46,5
binnenvaart	230	19,1
railvervoer	15	1,2
zeevaart	340	28,2
pijpleiding*	60	5

* exclusief vervoer van water en uitvoer van aardgas

I.2 Binnenvaartschepen

Hieronder worden de meest voorkomende typen binnenvaartschepen genoemd met enkele karakteristieken.

- Spitsen zijn afgestemd op de vele smalle vaarwegen en de kleine sluizen in Frankrijk. De spits komt tot in Zuid-Frankrijk en bedient vooral de bedrijven aan de kleinere vaarwegen.
- Kempenaars werden oorspronkelijk gebouwd voor de vaart in de Kempense kanalen in Zuid-Nederland en België. Kempenaars worden, net als spitsen, vaak ingezet voor het vervoer van bouwmaterialen, granen, veevoer en dergelijke.
- Dortmunders werden aanvankelijk gebouwd voor goederenvervoer op de kanalen in Noord-Duitsland. Inmiddels is hun vaargebied uitgebreid tot België, Noord-Frankrijk, Zwitserland en Oost-Europa.

- Rijn-Hernekanaalschepen zijn qua afmetingen afgestemd op het Rijn-Hernekanaal in Duitsland. Veel van deze schepen zijn inmiddels verbouwd of verlengd en wijken daardoor af van de standaardafmetingen.
- Europaschepen zijn speciaal ontworpen voor het bevaren van grotere rivieren en kanalen in Europa. Dit type schip is een standaard voor het toekomstige Europese vaarwegennet.
- Rijnschepen bevaren de Rijn van Rotterdam tot Basel. De ruimen van veel Rijnschepen zijn speciaal geschikt voor het vervoer van containers. Een hydraulisch omhoog te brengen stuurhut zorgt ervoor dat er altijd over de lading heen gekeken kan worden.
- Tankschepen vervoeren vloeibare en gasvormige petrochemische producten, vloeibare voedingsmiddelen, plantaardige en dierlijke oliën en vetten, en poederstoffen in schepen met afgesloten compartimenten (siloschepen).
- Autoschepen of Ro-Roschepen zijn speciaal ingericht voor het vervoer van grote aantallen auto's. Dergelijke schepen hebben meerdere dekken en transporteren hun lading van de zeehavens naar het achterland of vice versa.
- Duwstellen bestaan uit combinaties van maximaal zes duwbakken. Met hun enorme laadvermogen verzorgen zij onder andere een continue stroom van grondstoffen van de zeehavens naar de in het Ruhrgebied gelegen industrieën.

In tabel 1.1 zijn diverse gegevens van de meest gangbare binnenvaartschepen samengevat.

Tabel 1.2 verschaft informatie over de moderne standaard duwbak en de hiermee samen te stellen combinaties.

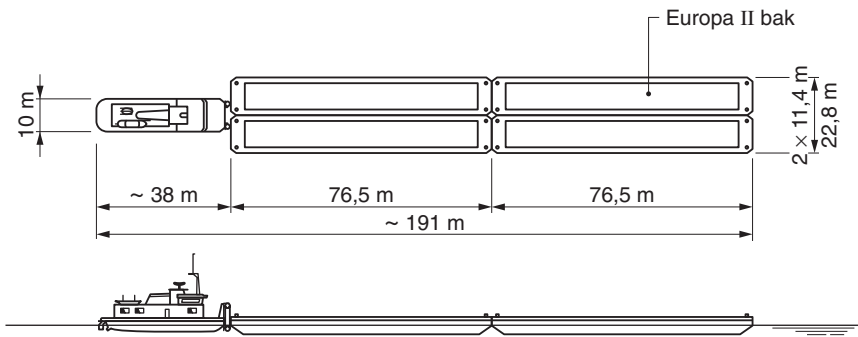
Tabel 1.1 Scheepstypen en afmetingen

Type	Laad- vermogen	Lengte	Breedte	Diepgang geladen	Hoogte ledig
	ton	m	m	m	m
Spits	350	38,5	5,05	2,2	3,55
Kempenaar	550	50	6,6	2,5	4,2
Dortmund-Eemskanaalschip	900	67	8,2	2,5	3,95
Rijn-Hernekanaalschip	1 350	80	9,5	2,5	4,4
Europaschip	1 500	85	9,5	3	–
Groot Rijnschip	3 600	110	11,4	2,7	6,7
Tankschip	500...3 000	50...100	11,4	2,2...3,5	–
Autoschip	600	110	11,4	2,5	–

Tabel 1.2 Gegevens standaardduwbak en combinaties

	Laadvermogen	Lengte	Breedte	Diepgang geladen
	ton	m	m	m
Duwbak	2 400	76,5	11,4	2,5...3,7
Duwstel	9 600	4 × (76,5 ×	11,4)	2,5...3,7
Duwstel 6	14 400	6 × (76,5 ×	11,4)	2,5...3,7

De grootste toegelaten duwvaartcombinatie op de rivier de Waal bestaat uit zes duwbakken. Een dergelijk duwstel is circa 270 m lang; 22,8 m breed en heeft een laadvermogen van circa 14 400 ton. **1.3** toont een vierbakduwstel.



1.3 Schema vierbaks duwstel

1.3 Classificatie van scheepvaartwegen

De maximale scheepsafmetingen worden bepaald door de doorvaartwijdte en hoogte van sluisen en bruggen en uiteraard door de kanaaldiepte van een vaarweg. Deze situatie is in het verleden ontstaan omdat voor de meeste kanalen beperkingen werden gesteld ten aanzien van de afmetingen van de schepen.

Tegenwoordig worden voor de klasse-indeling van een vaarweg de gegevens gehanteerd die vermeld zijn in tabel **1.4**. Bij het opstellen van deze tabel is uitgegaan van de afmetingen van standaardschepen zoals die vastgesteld zijn door de Commissie van Vaarwegbeheerders (CVB).

De klasse-indeling is gebaseerd op de overschrijdingsfrequentie van afmetingen van schepen met een veel voorkomende breedte.

Klasse IIa geldt als verouderd en is gebaseerd op een tegenwoordig nog maar weinig voorkomend scheepstype.

Tabel 1.4 Klasse-indeling van vaarwegen m.b.t. standaardschepen

Klasse	Lengte	Breedte	Strijk- hoogte	Diepgang	
				profiel	
				normaal	éénstrooks
	m	m	m	m	m
I	39	5,1	5	2,4	2,1
II	55	6,6	6	2,5	2,4
IIa	56*...67*	7,2	6,3	2,55	2,4
III	67...80*	8,2	6,3	2,6	2,5
IV	85	9,5	6,7	2,8	2,6
Va	110	11,4	6,7/8,8**	3,5	–
Vb	186,5	11,4	8,8	4	–
VI	186,5	22,8	8,8	4	–

* alleen bij de reconstructie van vaarwegen

** afhankelijk van de stapelhoogte van containers