

# **Mechanica**

Toepassingen in de bouw en waterbouw

Ir. F. Vink

# Mechanica

Toepassingen in de bouw en waterbouw

© **VSSD**

Vierde druk 1998, 2000, 2002, 2005, 2008

paperback herdruk 2020

Uitgegeven door:

Delft Academic Press / VSSD

Leeghwaterstraat 42, 2628 CA Delft, The Netherlands

tel. +31 15 2782124

dap@vssd.nl

**[www.delftacademicpress.nl/f008.php](http://www.delftacademicpress.nl/f008.php)**

Voor docenten die dit boek in cursusverband gebruiken zijn de illustraties van het boek digitaal beschikbaar.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

*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 the prior written permission of the publisher.*

ISBN 97890-6562-4505

NUR 955

Trefw.: mechanica, constructieleer.

## Woord vooraf

De resultaten van wetenschappelijk onderzoek op het gebied van constructies worden zo ongeveer om de tien jaar toegankelijk gemaakt door herziening van de Technische Grondslagen voor de berekening van Bouwconstructies (TGB).

Mijn jarenlange ervaring, eerst als constructeur/architect, later ook als docent, heeft mij tot het inzicht gebracht dat:

- uitvoerige behandeling van de TGB in het onderwijs, van welk niveau dan ook, didactisch onverantwoord is. Het moet wel leuk blijven.
- de TGB voor het onderwijs veel te omvangrijk is geworden en niet meer in de leerplannen past.
- slechts een beperkt aantal afgestudeerden later met de TGB in aanraking komt. Zij kunnen zich autonoom of via applicatiecursussen verder bekwamen.
- voor een doeltreffend technisch-constructieve opleiding de ontwikkeling van het denkvermogen belangrijker is, dan een min of meer encyclopaedisch overzicht van de constructie-techniek.

De laatste uitspraak is van Ir .I.W. Nortier wiens leerstof aan de basis van dit boek heeft gestaan.

Waarom dan toch in deze druk een aantal wijzigingen die het gevolg zijn van de laatste herziening van de TGB ? Daarvoor zijn een aantal redenen:

- de TGB lanceert de "Unity Check". De belasting op de constructie, gedeeld door de weerstand die de constructie kan bieden, moet kleiner zijn dan 1. Dat is een andere benadering dan in de TGB 1972; zie hoofdstuk 11 van dit boek. Het begrip toelaatbare spanning is daarmee volledig weg. Voor alle materialen wordt nu op dezelfde manier gerekend.
- de sterktewaarden zijn, als gevolg van voortgaand onderzoek, nogal gewijzigd.
- een student mag geen begrippen en vaardigheden leren die later in strijd blijken te zijn met de dan geldende werkelijkheid.

Het mechanicadeel van dit boek is vanzelfsprekend onveranderd. In het constructieleer-deel wordt steeds getoetst of de berekende waarden aan de sterkte-en vervormingseisen voldoen.

De uitwerking van de vele opdrachten kan opnieuw worden getoetst, omdat ook het antwoordenboekje aangepast gaat worden.

De doelstelling was een boek dat op MBO/KOB-niveau kan worden gebruikt. Didactisch verantwoord, inhoudelijk juist, goed van omvang en door een andere uitgever leuk en goedkoper gepresenteerd. Ik meen dat die opzet is geslaagd, maar er kan over gediscussieerd worden.

Het boek is ook geschikt om HAVO/VWO-abituriënten, in bouw-en civieltechnisch opzicht, op MTS-niveau te brengen.

Moordrecht 1998-2005

Ir.F.Vink

### **Bij de herdruk van 2008**

In deze herdruk zijn nog enkele kleine correcties aangebracht ten opzichte van de versie uit 2005.

Op [www.delftacademicpress.nl/f008.php](http://www.delftacademicpress.nl/f008.php) is voorts aanvullend oefenmateriaal te vinden; in die oefeningen wordt aandacht besteed aan het constructief gebruik van gerecycled kunststof en aan het bouwen van amfibiewoningen.

Reeuwijk 2008

Ir.F.Vink

# Inhoud

## I DE BELANGRIJKSTE HISTORISCHE CONSTRUCTIEVORMEN

<b>1</b>	<b>Architraafbouw</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Boogbouw</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Verdere ontwikkelingen</b>	<b>20</b>

## II STATICA EN STERKTELEER

	<b>Symbolenlijst</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Kracht, spanning, massa, gewicht, soortelijk gewicht, wrijving</b>	<b>25</b>
4.1	Kracht en beweging	25
4.1.1	Eigenschappen	28
4.1.2	Belasting	29
4.2	Opdrachten	29
4.3	Spanning	32
4.4	Massa en gewicht	33
4.5	Soortelijke massa	34
4.5.1	Vragen	34
4.6	Wrijving	34
4.6.1	Hellingen	35
4.7	Opdrachten	36
<b>5</b>	<b>Momenten, momentenstelling</b>	<b>39</b>
5.1	Momenten	39
5.1.1	Afspraken ten aanzien van momenten en koppels	41
5.2	Momentenstelling	41
5.3	Opdrachten	42
<b>6</b>	<b>Evenwichtsvoorwaarden</b>	<b>47</b>
6.1	Evenwichtsvoorwaarden	47
6.2	$\sum F_v = 0$	47
6.3	$\sum F_h = 0$	49
6.4	$\sum M = 0$	49
6.5	Opdrachten	50
<b>7</b>	<b>Opleggingen</b>	<b>52</b>
7.1	Oplegreacties	52
7.2	Soorten opleggingen	52
7.2.1	Roloplegging	52
7.2.2	Scharnierende oplegging	52
7.2.3	Inklemming	53

7.3	Berekenen van reacties	53
7.3.1	De grafische methode	53
7.3.2	De analytische methode	54
7.4	Opdrachten	56
<b>8</b>	<b>Dwarskracht en dwarskrachtenlijn</b>	<b>58</b>
8.1	Dwarskrachten	58
8.2	Dwarskrachtenlijn	60
8.3	Opdrachten	61
<b>9</b>	<b>Buigend moment en momentenlijn</b>	<b>63</b>
9.1	Inleiding	63
9.2	Buigend moment	64
9.3	Momentenlijn	65
9.4	Opdrachten	67
<b>10</b>	<b>Normaalkrachten</b>	<b>71</b>
10.1	Normaalkrachten	71
10.2	Opdrachten	71
<b>11</b>	<b>Sterkte en spanningen</b>	<b>72</b>
11.1	Inleiding	72
11.2	Drukspanning	74
11.3	Trekspanning	74
11.4	Schuifspanning	75
11.5	Opdrachten	75
<b>12</b>	<b>Elasticiteit</b>	<b>79</b>
12.1	Lengteverandering	79
12.2	Elasticiteitsmodulus	80
12.3	Spanning-rekdiagrammen	82
12.4	Opdrachten	82
<b>13</b>	<b>Lineaire uitzetting</b>	<b>83</b>
13.1	Lengteverandering	83
13.2	Lineaire-uitzettingscoëfficiënt	84
13.3	Het verband tussen lineaire-uitzettingscoëfficiënt en lengteverandering	84
13.4	Exponenten	85
13.5	Opdrachten	86
<b>14</b>	<b>Buigend moment, buigspanning</b>	<b>87</b>
14.1	Buigspanning	87
14.2	Spanningen tengevolge van M	88
14.3	De homogene rechthoekige doorsnede	88
14.4	Opdrachten	90
<b>15</b>	<b>Weerstandsmoment</b>	<b>91</b>
15.1	Weerstandsmoment	91
15.2	Opdrachten	93
<b>16</b>	<b>Traagheidsmoment</b>	<b>94</b>
16.1	Traagheidsmoment	94
16.2	Opdrachten	96
<b>17</b>	<b>Dwarskracht en schuifspanning</b>	<b>97</b>
17.1	Dwarskracht en dwarskrachtenlijn	97
17.2	Schuifspanningen tengevolge van de dwarskracht	97
17.3	Opdrachten	102

<b>18</b>	<b>Knik</b>	<b>103</b>
18.1	Knikspanning	103
18.2	Slankheid	104
18.3	Oprachten	105
<b>19</b>	<b>Bouwfysica</b>	<b>107</b>
19.1	Warmte	107
19.1.1	Warmtebalans	107
19.1.2	Warmteweerstand	108
19.1.3	Temperatuurverloop	109
19.2	Vocht	111
19.2.1	Soorten vocht	111
19.2.2	Luchtvochtigheid	111
19.2.3	Condensatie	112
19.2.4	Vermijden van condensatie	113
19.3	Geluidintensiteit en geluidsniveau	116
19.4	Toonhoogte	116
19.5	Lawaaibestrijding	116
19.5.1	Geluidsabsorptie	116
19.5.2	Geluidsisolatie	116
19.6	Licht	118
19.7	Oprachten	119

### III CONSTRUCTIELEER, THEORIE EN PRAKTIJK

<b>20</b>	<b>Hout</b>	<b>123</b>
20.1	Inleiding	124
20.2	Sterktewaarden	124
20.3	Spanningen	124
20.4	Krimpen en zwellen	125
20.4.1	Manieren van zagen	125
20.4.2	Krimpen	125
20.4.3	Zwellen	127
20.5	Elasticiteit en uitzetting	128
<b>21</b>	<b>Steen</b>	<b>129</b>
21.1	Algemeen	129
21.2	Sterktewaarden	129
21.2.1	Druksterkten en soortelijke massa	129
21.2.2	Trekspanning	131
21.2.3	Schuifsterkte	132
21.2.4	Buigspanning	132
21.2.5	Druksterkte in verband met knikgevaar	132
21.3	Elasticiteit	132
21.4	Uitzetting	132
21.5	Krimp	133
21.6	Mortels	134
21.7	Oprachten	134
<b>22</b>	<b>Staal</b>	<b>135</b>
22.1	Spanningen / sterkte	135
22.2	Sterkte	135
22.2.1	Druksterkte	135
22.2.2	Treksterkte	135
22.2.3	Schuifsterkte	135
22.2.4	Buigsterkte	135
22.2.5	Ideële spanning	135
22.2.6	Kniksterkte	135

22.3	Elasticiteit	136
22.4	Uitzetting	136
22.5	Soortelijke massa	137
22.6	Construeren in staal	137
<b>23</b>	<b>Gewapend beton</b>	<b>138</b>
23.1	Materialen	138
23.1.1	Gewapend beton = beton + staal	138
23.1.2	Wapening	138
23.1.3	Water	138
23.1.4	Mengverhouding (in maaddelen)	139
23.2	Spanningen	139
23.2.1	Principe van de krachtoverdracht	139
23.2.2	Schuifspanning	140
23.3	Oprachten	144
<b>24</b>	<b>Voorgespannen beton</b>	<b>145</b>
24.1	Materialen; sterkte	145
24.2	Principe van de krachtoverdracht	145
24.3	Verskillende systemen van verankering en voorspanning	147
24.4	Materiaalbenutting	148
24.5	Oprachten	150
<b>25</b>	<b>Grond</b>	<b>151</b>
25.1	Grondsoorten; soortelijke massa's	151
25.2	Spanningen; grondboring en sondering	152
25.3	Spanningsgebieden	152
25.4	Oprachten	155
25.5	Zetting	156
25.6	Vorstgrens	157
25.7	Toelaatbare grondspanning	157
25.8	Horizontale belasting door grond en water	157
25.8.1	Waterspanning	158
25.8.2	Gronddruk; korrelspanning	159
25.8.3	Invloed van de bovenbelasting	161
25.9	Uitlevering en inklinking	162
25.10	Oprachten	163
<b>26</b>	<b>Funderingen</b>	<b>164</b>
26.1	Funderingstypen	164
26.2	Fundering op staal	164
26.3	Fundering op palen	169
26.3.1	Algemeen	169
26.3.2	Afmetingen en draagvermogen van palen i.v.m. de sterkte	170
26.3.3	Draagvermogen en sonderweerstand	170
26.3.4	Kleef	172
26.3.5	Zettingen	173
26.4	Samenvatting	174
26.5	Vragen	175
<b>27</b>	<b>Vloeren, liggers</b>	<b>176</b>
27.1	Algemeen	176
27.2	Stijlheidseisen	176
27.2.1	Houten liggers	176
27.2.2	Stalen liggers	177
27.2.3	Gewapend-betonliggers	177
27.3	Verbindingen	178
27.3.1	Scharnierverbinding of -oplegging	178



27.3.2	Roloplegging	178
27.3.3	Inklemming of stijve-hoekverbinding	179
27.3.4	Slappe verbinding	180
27.4	Vloeren en liggers	181
27.4.1	Doorsneden	181
27.4.2	Vuistregels	182
27.4.3	Gewapend-betonbalken en -platen	183
27.4.4	Profielbalken	184
27.5	Scheurvorming en bouwfysische problemen	187
27.6	Samenvatting	190
27.7	Vragen	191
<b>28</b>	<b>Wanden, kolommen, stabiliteit, muuropeningen</b>	<b>192</b>
28.1	Algemeen	192
28.1.1	Massieve bouw	192
28.1.2	Skeletbouw	192
28.2	Stabiliteit	192
28.3	Dragende muren	199
28.4	Geluidsisolatie	200
28.5	Gevels	202
28.5.1	Warmteisolatie	202
28.5.2	Warmteaccumulatie	202
28.5.3	Condensatie	202
28.6	Scheurvorming in wanden	204
28.7	Overspannen van muuropeningen	206
28.7.1	Boogconstructie	206
28.7.2	Strek en rollaag	211
28.7.3	Latei	212
28.7.4	Bouwfysische en uitvoeringstechnische moeilijkheden bij lateiconstructies	213
28.8	Kruip	215
28.9	Vragen	215
<b>29</b>	<b>Daken</b>	<b>216</b>
29.1	Belasting en constructie	216
29.2	Isolatie van daken	217
29.2.1	Platte daken	217
29.2.2	Andere dakvormen	221
<b>30</b>	<b>Constructieve vormgeving</b>	<b>222</b>
30.1	Algemeen	222
30.2	Voorbeelden	222
<b>31</b>	<b>Opdrachten (algemene herhaling)</b>	<b>231</b>
TABELLEN		
I	Waarden materiaaleigenschappen	244
IIA	Profielgegevens van ongeschaafd Europese naaldhout	245
IIB	Profielgegevens van vierzijdig geschaafd Europese naaldhout	245
III	Pijpprofielen	246
IV	IPE-profielen	247
V	Breedflensbalken met parallelle flenzen, HE...A	248
VI	Breedflensbalken met parallelle flenzen, HE...B	249
<b>Index</b>		<b>250</b>

I

De belangrijkste  
historische  
constructievormen

# 1

## Architraafbouw

Tot het begin van onze jaartelling paste men voornamelijk „de balk op twee steunpunten” toe. Men noemt dit „architraafbouw”. Architraaf is het Griekse woord voor een balk die de afstand tussen twee kolommen overspant (fig. 1-1).

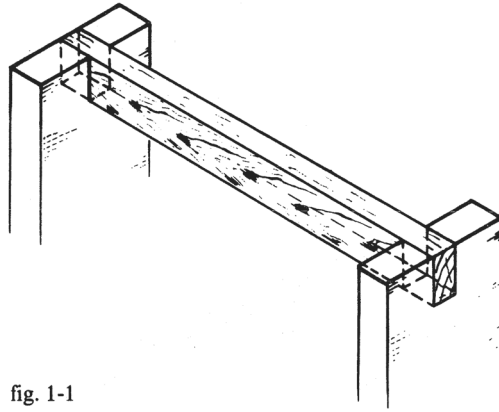


fig. 1-1

Deze constructie is bestand tegen verticale krachten ( $F_v$ ) die op de balk uitgeoefend kunnen worden (fig. 1-2).

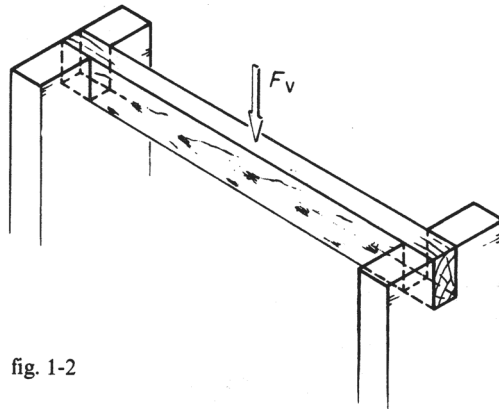


fig. 1-2

Werken er ook horizontale krachten ( $F_h$ ) (fig. 1-3) dan gaat de balk, als deze niet in bijvoorbeeld metselwerk opgenomen is, kantelen.

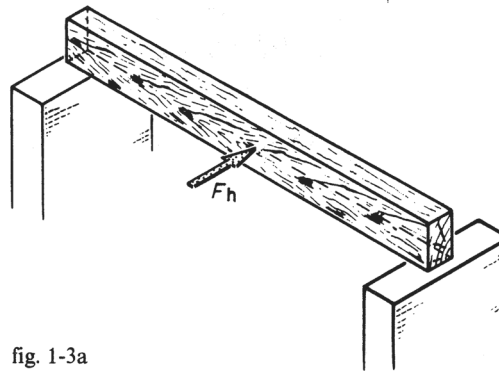


fig. 1-3a

Krachten geeft men aan met de hoofdletter  $F$  van het Engelse woord Force (= kracht). Denk hierbij aan het werkwoord *forceren* wat betekent met *krachtdadige* middelen iets tot stand brengen. Bij verticale krachten voegt men de kleine letter  $v$ , bij horizontale krachten de kleine letter  $h$  toe.

Als een constructie geen weerstand kan bieden aan horizontale krachten, zegt men wel dat de constructie *onvoldoende zijdelingse stabiliteit* bezit.

Onder stabiliteit wordt verstaan: het vermogen van de constructie zijn evenwicht te bewaren onder inwerking van krachten. Zie fig. 1-3a, b en c.

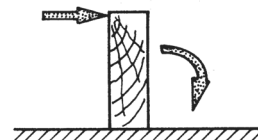


fig. 1.3b Balk kantelt gemakkelijk

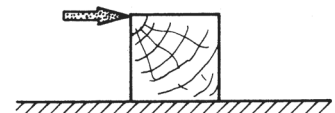


fig. 1-3c Balk is stabiel

De balk in fig. 1-4 kan een grotere zijdelingse stabiliteit krijgen door de steunpunten een *voetverbreding* te geven. Dit kan op verschillende manieren gebeuren (fig. 1-5 en fig. 1-6).

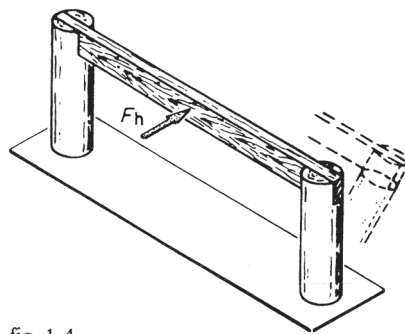


fig. 1-4

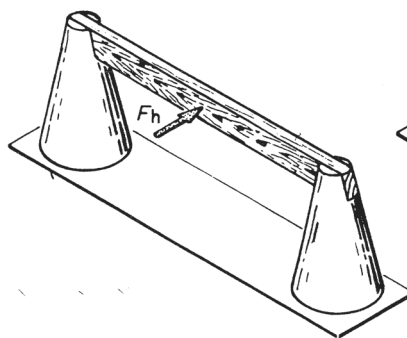


fig. 1-5

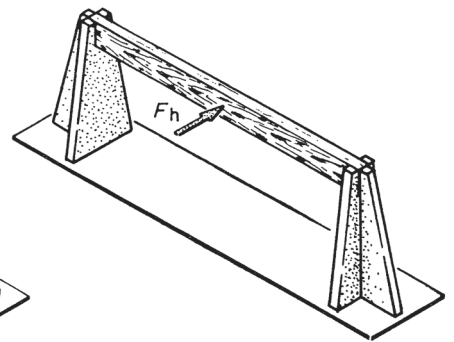


fig. 1-6

Ook in vroeger tijden trachtte men de stabiliteit van de constructie te vergroten.

In fig. 1-7 is de Leeuwenpoort van Mykene afgebeeld. Deze poort verkrijgt zijn stabiliteit door het muurwerk waarin hij is opgenomen.

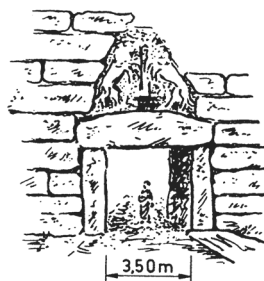


fig. 1-7 Leeuwenpoort te Mykene (ca. 1500 v. Chr.)

Een ander voorbeeld ziet men bij de hunebedden. De stabiliteit wordt hier verkregen door de zware brede voet van natuursteen (fig. 1-8).

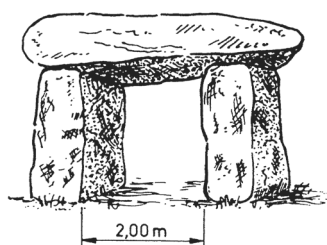


fig. 1-8 Hunebed (ca. 3000 v. Chr.)

De Egyptenaren maakten gebruik van kolommen die door hun grote diameter (groot ten opzichte van de h.o.h. afstand) het gebouw zijdelings stabiliteit gaven (fig. 1-9 en fig. 1-10).

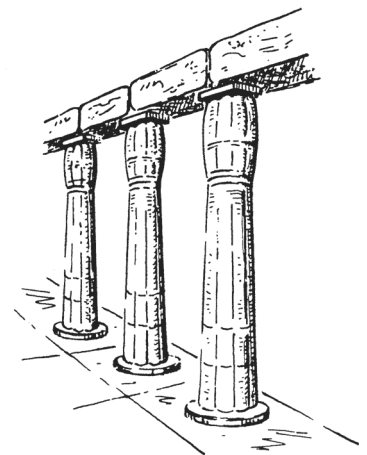


fig. 1-9 Egyptische kolommen (ca. 1200 v. Chr.)