

Navigatie

Vijfde druk

L.W. Naudts



Meer informatie over deze en andere uitgaven kunt u verkrijgen bij:
BIM Media B.V.
Postbus 16262,
2500 BG Den Haag
tel.: (070) 304 67 77
www.bimmedia.nl

Deze uitgave verscheen eerder onder dezelfde titel bij uitgeverij Smit & Wytzes, Urk.

© 2013 BIM Media BV, Den Haag
Academic Service is een imprint van BIM Media B.V.

Omslag: Studio Bassa, Culemborg
Binnenwerk: L.W. Naudts, Lienden

ISBN 978 90 395 2779 5
NUR 173 / 174

Alle rechten voorbehouden. Alle intellectuele eigendomsrechten, zoals auteurs- en databankrechten, ten aanzien van deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Deze rechten berusten bij BIM Media B.V. en de auteur.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet 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 16 h Auteurswet, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich te wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/pro). Voor het overnemen van een gedeelte van deze uitgave ten behoeve van commerciële doeleinden dient men zich te wenden tot de uitgever.

Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

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 publisher's prior consent.

While every effort has been made to ensure the reliability of the information presented in this publication, BIM Media B.V. neither guarantees the accuracy of the data contained herein nor accepts responsibility for errors or omissions or their consequences.

Voorwoord bij de vijfde druk

Al weer enige tijd geleden bekende een gepensioneerde HWTK van van Ommeren mij zijn spijt over het feit, dat hij al die jaren dat hij gevaren had op geen enkele manier met navigatie te doen had willen hebben. Dat was voor "dekhengsten". Maar toen hij verplicht een cursus volgde om met zijn jacht te mogen varen, werd hij geboeid door alles wat met het varen van het schip te maken had, de navigatie en het manoeuvreren dus. Dat was eigenlijk "toch best wel leuk". Ik kon hem natuurlijk alleen maar gelijk geven, want net als techniek is het boeiend vak, dat alleen met liefde veilig kan worden uitgeoefend.

Toen de heer W. Smit van Smit & Wytzes me in 2002 dan ook vroeg, of ik het boek "Navigatie" van van Rheenen wilde herzien, heb ik gelijk toegehoofd. Het leek me geweldig, na ruim 25 jaar lesgeven, ook op deze manier de gelegenheid te hebben het vak aan de komende generatie stuurlieden en maritiem officieren over te kunnen brengen.

In de loop der jaren is het boek in opeenvolgende drukken geëvolueerd tot hoe het nu is:

Voor zover ze niet overgenomen zijn uit officiële publicaties, werden alle illustraties vernieuwd.

De paragraaf over fouten werd aangepast, ECDIS en PI zijn toegevoegd.

Achterin werd een geheugensteuntje wiskunde opgenomen. En later, op verzoek van gebruikers, een kort hoofdstuk over cijferen zonder rekentuig.

In navigatieland is ook het één en ander veranderd aan de manier waarop informatie aan boord wordt verkregen en verwerkt.

Hydrografische diensten zijn overgegaan op informatie voorziening via websites.

Er zijn computerprogramma's te koop waarmee berekeningen, waar vroeger uren werk aan zat, in een paar minuten gereed zijn. Ze zijn ook beschikbaar als freeware, zoals het programma CNAV40 van de Nederlandse Hydrografische Dienst.

Er is daarom meer informatie over websites en te downloaden software opgenomen.

Zakcomputers hebben hun intrede gedaan en zijn weer vervangen door andere, het gebruik van tablets is gewoongood aan het worden.

Vanwege deze vaak snelle en niet te voorziene ontwikkelingen is verwijzing naar het gebruik van een specifieke zakcomputer of calculator beperkt. Dat betekent dat zowel de student als de docent daar zelf meer aandacht aan zal moeten besteden.

Aan alle ontwikkelingen is in deze nieuwe uitgave aandacht besteed.

De inhoud van het boek is aangepast aan de eisen zoals gesteld in het STCW-verdrag 2010 en andere ontwikkelingen in het vakgebied.

Deze uitgave van uitgeverij Academic Service is zonder enig probleem te gebruiken naast de uitgave van uitgeverij Smit & Wytzes onder dezelfde titel, vijfde druk.

Ieder die heeft meegewerkt aan de totstandkoming van dit werk wil ik bij deze bedanken, in het bijzonder mijn echtgenote, die mijn uitingen van stress vanwege de gevechten met vastlopende pc's en wpg, jpg, tiff en pdf- formats, toch maar weer heeft doorstaan.

Lienden, 20130724

L.W.Naudts

illustraties: L.W. Naudts

INHOUD

INLEIDING	1
Inleiding	2
HOOFDSTUK 1. MODELLEN VAN DE AARDE	3
1-0 Inleiding	4
1-1 Drie-dimensionale modellen	4
1-1.1 Geoïde	4
1-1.2 Standaard bol	4
1-1.3 Ellipsoïde	5
1-2 Twee-dimensionale modellen: kaarten	6
1-2.1 De schaal van de kaart	6
1-3 Coördinaten op de aarde	8
1-3.1 Breedte	9
1-3.2 Lengte	9
1-3.3 Nogmaals: benoeming van breedte en lengte	10
1-4 Meters, grootcirkel-minuten, zeemijlen en kleincirkel-minuten	11
1-4.1 Breedteverschil en lengteverschil	12
1-4.2 Coördinaten op ellipsoïde en geoïde	12
1-4.3 Coördinaten in een plat vlak	13
1-5 Kaartprojecties	14
1-5.1 Eisen gesteld aan de zeekaart	15
1-5.2 De koerslijn (loxodroom) in de zeekaart	15
1-5.3 Kaartconstructies	16
1-5.3.1 De (normale) Mercatorprojectie	17
1-5.3.2 De Transversale Mercator projectie	18
1-5.3.3 De gnomonische projectie	20
HOOFDSTUK 2: RICHTINGEN	21
2-1 Referentie-richtingen op aarde	22
2-1.1 Ware noorden (Nw)	22
2-1.2 Magnetische noorden (Nm)	23
2-1.3 Kompas-noorden (Nk)	23
2-1.4 Correcties magnetisch kompas	23
2-1.4.1 Variatie (var)	23
2-1.4.2 Deviatie (dev)	26
2-1.4.3 Miswijzing (misw)	28
2-1.5 Gyro-noorden (Ng)	28
2-1.5.1 Correctie op het gyrokompas: de totale correctie (tc)	28
2-1.6 Correcties voor de werking van wind en stroom	29
2-1.6.1 Drift (wraak)	29
2-1.6.2 Stroom	29
2-2 Koersen	30
2-2.1 Het berekenen van de kompas- of gyrokoers bij gegeven grondkoers	31
2-2.2 Het berekenen van de grondkoers bij gegeven kompas-koers	31
2-2.3 Cijferschema koersberekening	32
2-2.4 Berekenen van de stroomhoek (st) en de grondvaart (v_{gr})	32
2-3 Peilingen	34
2-3.1 Berekening van de WP uit KP of GP	34
2-3.2 Bepaling van de deviatie of de tc met behulp van een lichtenlijn of merklijn	37
2-3.3 Aflezen van een richting in de kaart:	37
2-4 Relatieve richtingen	41
2-4.1 Boordpeilingen	41

2-4.2	Rechter boordhoek	41
HOOFDSTUK 3: BOEKWERKEN EN KAARTEN		
3-1	Boekwerken op de kaartentafel	44
3-1.1	Kaartcatalogus HP 7, (Cat. of Admiralty Charts and Publications NP131)	44
3-1.2	Ned. Kaart 1 of B.A. Chart 5011	44
3-1.3	De lichtenlijst HP 2 (Admiralty List of Lights and Fogsignals, NP 74 - 84)	44
3-1.4	Zeemansgids HP 1 (Pilot)	44
3-1.5	Getijtafels HP 33, (ATT NP 201-204, Tidal Stream Atlases)	44
3-1.6	Admiralty List of Radio Signals (ALRS) NP 281-286	45
3-1.7	Ocean passages for the world NP136	45
3-1.8	Pilot charts	45
3-1.9	Berichten aan Zeevarenden (Notices to Mariners)	46
3-1.10	Radio Navigational Warnings (RNW)	46
3-1.11	Nautical Almanac	46
3-1.12	Zeevaartkundige Tafels	46
3-1.13	Mariners Handbook NP 100	46
3-2	Zeekaarten	47
3-2.1	Kaarten ingedeeld naar schaal en naar kaartconstructie	47
3-2.1.1	Overzeilers of routekaarten	47
3-2.1.2	Koers- of trekkaarten	48
3-2.1.3	Kustkaart	48
3-2.1.4	Detail- en plankkaarten	48
3-2.2	Netwerkkarten (Lattice charts)	48
3-2.3	Electronische zeekaarten	48
3-2.3.1	ENC's	48
3-2.3.2	RNC's	49
3-2.3.3	ECS en ECDIS	49
3-2.3.4	Voorschriften voor elektronische kaarten	49
3-3	Praktisch gebruik van de informatie in de zeekaart	50
3-3.1	Informatie in de kaart	50
3-3.2	Tekens en afkortingen in de zeekaart	50
3-3.3	Dieptegegevens - Reductievlak (CD)	51
3-3.3.1	Hoogtes, kustlijn, droogvalling	52
3-3.3.2	Droogvalling, laagwater, strandlijn	53
3-3.4	Meer tekens en afkortingen	53
3-3.4.1	Grondsoorten	53
3-3.4.2	Gevaren	54
3-3.5	Het up to date houden van het kaartenbestand	56
3-3.5.1	Berichten aan Zeevarenden (Notices to Mariners)	56
3-3.5.2	New chart	56
3-3.5.3	New edition	56
3-4	Gegevens in de lichtenlijst	57
3-4.1	Hoogte (elevation)	57
3-4.2	Dracht (range)	57
3-5	Het werken in de zeekaart (kaartpassen)	60
3-5.1	Het bepalen van de breedte en de lengte van een gegeven punt	60
3-5.2	Het in de kaart zetten van een gegeven bestek	61
3-5.3	De richting van de loxodroom, de verheid en de tijd tussen twee punten	61
3-5.4	Het bepalen van de DR, als A, de GrK en V gegeven zijn	63
3-5.5	De constructie van de WK, als GrK, vaart en stroom gegeven zijn	63
3-5.6	Kruispeilingen	64
3-5.6.1	Peiling met verzeiling	66
3-5.7	MWS-bepaling met de radar	66
3-5.8	Parallel-Index	67

3-5.8.1 Voorbereiding in de kaart	68
3-5.8.2 Voorbereiding op de radar	68
3-5.8.3 Uitvoering	68
3-5.9 Ontmoetingskoers of hulpkoers	69
3-6 Fouten in waarnemingen en hun invloed op de MWS	70
3-7 Vaarwegmarkering (betonning en bebakening)	72
3-7.1 Vaarweg markeringsmiddelen	73
3-7.2 Soorten markeringen	73
3-7.3 IALA-A Cardinale markering	74
3-7.4 Nieuw gevaar	74
3-7.5 IALA-A Laterale markering	75
3-7.6 IALA-A Overige markeringen	76
3-7.7 Het SIGNI-betonningssysteem, cardinale markering	77
3-7.8 Het SIGNI-betonningssysteem, laterale markering	78
3-7.8.1 Splitsingen en kruisingen	78
3-7.9 SIGNI-markering, overig	79
HOOFDSTUK 4. KOERS- & VERHEIDS REKENING	81
4-1 Loxodromische koers- & verheidsrekening	82
4-1.1 Koersen Oost-West	83
4-1.2 Voorbeelden type 1	84
4-1.2.1 Voorbeelden schuine koersen	84
4-1.2.2 Voorbeeld koersen Noord/Zuid	84
4-1.2.3 Voorbeeld koersen Oost en West	85
4-1.3 Voorbeelden type 2	85
4-1.3.1 Voorbeeld schuine koersen	85
4-1.3.2 Voorbeelden koersen Noord/Zuid	85
4-1.2.3 Voorbeelden koersen Oost en West	86
4-2 Grootcirkelnavigatie	86
4-2.1 Koersen afvaart en aankomst, verheid	86
4-2.2 Positie vertex	87
4-2.3 Snijpunten van de grootcirkel met een parallel	88
4-2.4 Snijpunt met een meridiaan	89
4-2.5 Samengesteld traject (composite track).	89
4-2.6 Bekorting	90
4-2.7 De praktijk van het grootcirkelvaren	90
HOOFDSTUK 5. ASTRONOMISCHE NAVIGATIE	91
5-0 Inleiding	92
5-1 Hemellichamen	92
5-2 De jaarlijkse beweging van de aarde en de planeten om de zon	92
5-2.1 De eerste wet van Keppler	93
5-2.2 De tweede wet van Keppler	93
5-3 De sfeer	93
5-3.1 Schijnbare dagelijkse beweging	94
5-4 Coördinatenstelsels	96
5-4.1 Geocentrisch coördinatenstelsel	96
5-4.2 Topocentrisch coördinatenstelsel	97
5-4.3 Poolshoogte; hemelbreedte; geografische breedte	99
5-5 De parallactische driehoek	99
5-6 Sfeerstanden	100
5-7 Bepaling van de breedte zonder formules uit de parallactische driehoek	102
5-7.1 Door hoogtemeting van een willekeurig hemellichaam.	102
5-7.2 Poolsters breedte (en azimuth).	103
5-8 Het regelen van de tijd naar een vast hemellichaam. Sterrendag	103

5-9	Het regelen van de tijd naar de zon	104
5-9.1	Tijdvereffening	104
5-9.2	Het verband tussen de middelbare zon's LHA en de Local Mean Time)	106
5-9.3	Het verband tussen GHA en LHA van een hemellichaam op hetzelfde tijdstip	106
5-9.4	Het verband tussen GMT en LMT	107
5-9.5	Tijdsoorten	108
5-9.5.1	Boordtijd (BT)	108
5-9.5.2	Greenwich Mean Time (GMT)	108
5-9.5.3	Zonetijd (ZT)	108
5-9.5.4	Standaardtijd (ST)	111
5-9.5.5	Universal Time (UT)	111
5-9.5.6	Universal Time Coordinated (UTC)	111
5-9.5.7	Internationale Atoom Tijd (IAT)	111
5-10	De tijdmetr	112
5-11	Berekening van zonsdeclinatie en zons-LHA	113
5-12	Berekening van de LHA van de sfeer	116
5-13	Astronomische plaatsbepaling, inleiding	117
5-13.1	De aardse projectie	117
5-13.2	De hoogteparallel en de hoogtekromme	119
5-13.3	Het hoogtepunt en de hoogtelijn	120
5-13.4	De berekening van HP, T en WP	122
5-14	Constructie van astronomische bestekken	123
5-14.1	Afzetten van hoogtelijnen.	123
5-14.2	Bepaling breedte en lengte van de MWS	124
5-14.3	Constructie van een stersbestek	124
5-14.4	Bepaling misgissing	126
5-14.5	Verzeilen met de zakcomputer	126
5-14.6	Een bijzonder geval: dip-free LOP's	127
5-14.7	Zonsbestek	129
5-15	Hoogtecorrecties	130
5-15.1	Indexcorrectie (ic)	131
5-15.2	Kimduiking (dip)	131
5-15.3	Astronomische refractie (ar)	132
5-15.4	Horizontale parallax en parallax in hoogte	132
5-15.5	De halve middellijn (SD)	133
5-16	Toepassing van de hoogtecorrecties	134
5-16.1	Correctietabellen in de BRITISH ADMIRALTY NAUTICAL ALMANAC	134
5-16.2	Herleiding van de geschoten hoogte van de zonsonderrand	136
5-16.3	Herleiding van de geschoten hoogte van een ster	136
5-17	Tijd van zonsbovendoorgang, zonsopkomst en zonsondergang	137
5-17.1	Bovendoorgang	137
5-17.2	Opkomst en ondergang van de zon	137
5-17.3	Nautical twilight - civil twilight	138
5-18	Fouten	140
5-19	De keuze van de sterren	140
5-19.1	De starfinder	141
HOOFDSTUK 6:	GETIJBEREKENINGEN	143
6-0	Getijverschijnselen	144
6-1	Analyse van de getijverschijnselen	144
6-1.1	Type 1: Getijgolven met een periode van ongeveer 12 uur	145
6-1.2	Type 2: Getijgolven met een periode van ongeveer 24 uur	145
6-1.3	Springtij (S) en doortij (N)	145
6-2	Getijtypen	146
6-3	Niveaувlakken	148

6-4 Indeling horizontale waterbeweging	149
6-4.1 Zeestromen	149
6-4.2 Tijdelijke stromen	149
6-4.3 Getijstromen	149
6-5 Getijgegevens	149
6-5.1 Getijtafels	149
6-5.2 Data van springtij en doodtij	151
6-5.3 Enige opmerkingen bij het gebruik van getijkrommen	154
6-5.4 Berekening van de waterdiepte in een standard port op een gegeven tijdstip	154
6-5.5 Berekening tijdstip passeren ondiepte met gegeven diepgang	156
6-5.6 Herleiding van een loding tot kaartniveau	158
6-5.7 Secondary ports - seasonal changes	159
6-5.8 Getijberekeningen voor een secondary port	161
6-5.9 Berekeningen met behulp van gegevens uit de ATT volumes 2, 3 en 4	163
6-5.10 Negatieve waterstand	166
6-6 Stroomgegevens	167
6-6.1 Stroomletters	167
6-6.2 Stroomatlassen	168
6-6.3 Stroomgegevens in de ATT	169
HOOFDSTUK 7: ENIGE WISKUNDE	173
7-1 Het aangeven van de grootte van een hoek	174
7-1.1 De graad (° , degree)	174
7-1.1.1 Omrekenen van graden, min. en sec. naar het decimale stelsel en omgekeerd	174
7-1.2 De radiaal	174
7-1.3 De gradiënt	174
7-1.4 De streek	174
7-1.5 Hoekverhoudingen	175
7-2 Eenheidscirkel	176
7-3 Platte vlakken, ruimtelijke figuren en snijlijnen	178
7-3.1 De ellips	178
7-3.2 De cirkel	179
7-4 Coördinaten	180
7-4.1 Polair	180
7-4.2 Orthogonaal	180
HOOFDSTUK 8. CIJFEREN ZONDER REKENTUIG	181
8.1 Het berekenen van de ware peiling mbv tabellen	182
8.1.1 Inleiding	182
8.1.2 Opzoeken / berekening Ware Peiling mbv TAFELS 11 en 12	182
8.2 Middagbreedte	187
8.2.1 Inleiding	187
8.2.2 Werkwijze	188
BIJLAGEN	189
Het tekenen van een sfeerfiguur	190
Wiskundige formules	192
Goniometrie	192
Driehoeksmeting	192
Boldriehoeksmeting	193
Zeevaartkundige formules	193
Kustnavigatie	193
Wind- en stroominvloed	193
Diepgangseffecten	193
Invloed coriolis versnelling	194

Loxodroomnavigatie	194
Grootcirkelnavigatie	194
Astronomische navigatie	195
Standaardafwijkingen en betrouwbaarheidsintervallen	196
Gyrokompassen	196
Zeevaartkundige tekens en afkortingen	197
Literatuur en software	201
Bronvermelding	201
Websites	201
INDEX	203

INLEIDING

Inleiding

Navigatie is het proces van het verplaatsen van een voer-, vaar- of vliegtuig vanaf een bekende aanvangspositie A naar een gewenste positie B volgens vooraf vastgelegde criteria.

In dit boek gaat het over navigatie van vaartuigen op het zeeoppervlak.

Om te weten hoe je naar B moet, moet eerst worden vastgesteld waar A is. Om op het aardoppervlak posities vast te leggen en onderling te kunnen vergelijken, is een referentiesysteem nodig. Daarvoor moet eerst een model worden afgesproken dat de vorm van de aarde vastlegt. Vervolgens moet van dat model een afbeelding gemaakt worden waarin de navigator een overzicht kan krijgen van de situatie waarin hij zich bevindt: de zeekaart.

Als dan de positie moet worden vastgelegd is op die modellen een coördinaten systeem nodig. Van belang is het dat het coördinatensysteem waarin gemeten wordt, hetzelfde is als dat, wat door de kaartenmaker is gebruikt om de kaart te tekenen.

Bij een plaatsbepaling aan de hand van zicht- of radarpeilingen is dat geen probleem, de relatieve posities ten opzichte van kusten en ondiepten is, mits de metingen goed zijn, altijd correct.

Bij een plaatsbepalingssysteem dat onafhankelijk is van de aarde, zoals bij een astronomisch bestek of een bestek verkregen met een elektronisch navigatiesysteem als GPS (Global Positioning System, een systeem dat met satellieten werkt), moeten de coördinaten uitgaan van hetzelfde model van de aarde.

Bij oudere kapiteins die de kust van Oman hebben bevaren is een bekend voorbeeld de fout in weergave in de kaart van de kust bij Masira. Masira stond een mijl of drie teveel west op de kaart. Gevolg daarvan was, dat schepen die met astro-navigatie vanuit India de kust daar aanliepen, verrast konden worden. Enige wrakken op dat eiland waren het gevolg. Die stonden keurig in de kaart aangegeven, want een schip op het strand is een baken in zee.

Dat probleem doet zich bij het modernste van het modernste, de GPS, nog steeds voor. Bij gebruik van het ene model voor de kartering en een ander model voor de positiebepaling treden verschillen van wel 600 meter op, wat in een nauw vaarwater veel te veel is om veilig te navigeren.

Bij kustnavigatie wordt gebruik gemaakt van "bewegwijzering": de vaarwegmarkering. De zeeman zal de "verkeersborden van de zee" moeten kunnen begrijpen, zonder die eerst op te moeten zoeken. Parate kennis van de vaarwegmarkering is daarom noodzakelijk.

Bij navigatie gaat het steeds om de snelste methode om, binnen gestelde veiligheidsmarges, van de ene naar de andere plaats te komen. Eén van de veiligheidscriteria is natuurlijk: staat er voldoende water in relatie tot de diepgang van het schip. Omdat in de meeste zeegebieden getijbeweging heerst, waardoor de waterdiepte over de dag varieert, horen getij-berekeningen tot de navigatie.

Tot slot: Voor een veilige navigatie is het noodzakelijk dat de navigator een goed beeld heeft van zijn / haar omgeving: waar ben ik en waar moet ik naar toe. Daar waar in dit boek voorbeelden worden gegeven helpt het de locatie op te zoeken op een kaart of in een atlas, en natuurlijk met Google Maps.

HOOFDSTUK 1. MODELLEN VAN DE AARDE

1-0 Inleiding

Een zeekaart is een afbeelding van de bolvormige aarde op een plat vlak. Alles wat nodig is voor een veilige navigatie staat er zoveel mogelijk op getekend: waterdiepte, kustlijn, kenbare punten voor de navigatie, en alle andere noodzakelijke informatie.

Men kan er posities in plotten, koerslijnen in tekenen en aantekeningen in maken.

Tegenwoordig zijn er behalve papieren zeekaarten ook elektronische, digitaal opgeslagen, zeekaarten.

Omdat het onmogelijk is een bolvormig oppervlak zonder vervorming af te beelden op een plat vlak, moet een kaartenmaker de oppervlakte van de aardkloot eerst op een zgn ontwikkelbaar oppervlak projecteren. Dat heet kaartprojectie.

Een ontwikkelbaar oppervlak (bijvoorbeeld een cilinder of een kegel) kan uitgerold worden tot een plat vlak.

Elke projectie heeft zijn speciale voor- of nadelen, afhankelijk van de vervorming die een gevolg is van de gebruikte werkwijze. Zo zijn er kaarten, waarin grootcirkels als rechte lijnen staan getekend (bijvoorbeeld de zgn gnomonische kaarten) en kaarten waar hoeken in de kaart gelijk zijn aan de werkelijke hoeken op de globe (zoals de Mercatorkaart, ook wel wassende kaart genoemd). Voor kaarten van een klein gebied is de vervorming vaak zo klein, dat ze voor het praktische gebruik verwaarloosd kunnen worden.

Dat alles leidt ertoe, dat de keuze van de projectie afhangt van het beoogde doel. Hierover meer in het hoofdstuk over kaartprojecties.

De aarde is, helaas voor de kaartenmakers, geen zuivere bol of andere wiskundig te beschrijven figuur. In de loop van de eeuwen is, afhankelijk van de geldende kennis en de beschikbare meetapparatuur, steeds nauwkeuriger vastgesteld hoe die vorm in werkelijkheid is.

En om daar een goed beeld van te krijgen heeft men geprobeerd de vorm van de aarde in model na te bootsen in de vorm van globes en algoritmen die hem zo nauwkeurig mogelijk beschrijven.

1-1 Drie-dimensionale modellen.

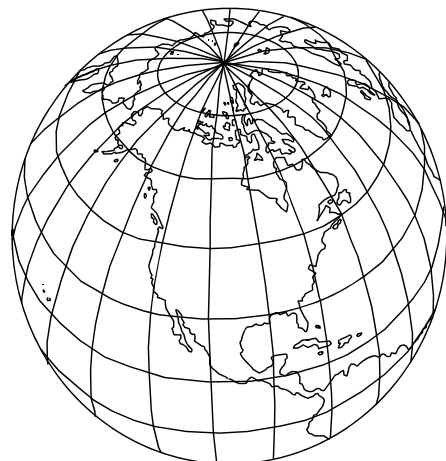
1-1.1 Geöïde

Dit is een benadering van het aardoppervlak waarbij dit is geprojecteerd op een vlak waarvan de ligging bepaald wordt door grootte en richting van de zwaartekracht. Doordat de massa van de aarde niet precies gelijk verdeeld zit, wijst de richting van de zwaartekracht niet altijd naar het middelpunt van de aarde. Dat heeft tot gevolg, dat het oppervlak van de geöïde, zeg maar, wat hobbelig is. Sommige mensen vergelijken deze vorm met een soort van aardappel. De vorm is wiskundig slechts bij benadering - en dan nog maar in gedeelten - te beschrijven. V.w.b. zeekaarten komt dit oppervlak overeen met de gemiddelde waterstand van de oceaan. Het werkelijke aardoppervlak zal dus bij bergen boven het oppervlak van de geöïde zitten, de oceanbodembodem er onder.

1-1.2 Standaard bol

straal $a = 6366707.0194$ m.

Deze maat is een gevolg van de maat van de zeemijl: die is gedefinieerd op 1852m (reken dit na). Een zeemijl is een boogminuut van een grootcirkel op aarde .



Figuur 1

1-1.3 Ellipsoïde

Dat is de ruimtelijke figuur die men krijgt als een ellips om zijn korte as wordt geroteerd.

a = straal equator

b = halve aardas

c = halve brandpuntsafstand

$c = (a^2 - b^2)$

$e = c/a$ (excentriciteit)

$f = (a - b)/a = e^2/2 + e^4/8$ (afplatting)

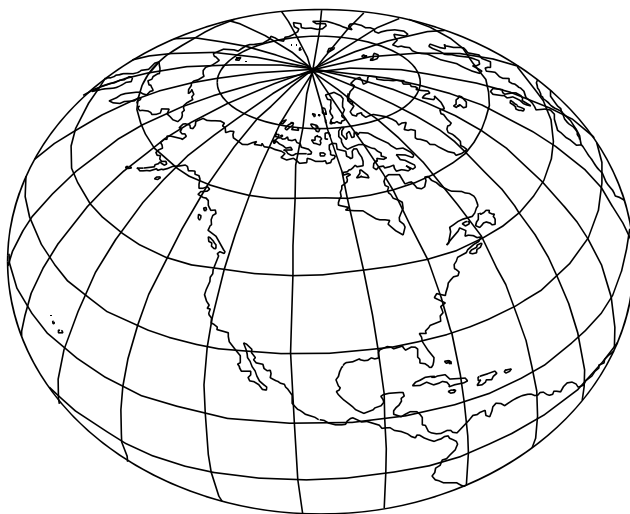
Doordat de aarde noch een zuivere bol, noch een zuivere ellipsoïde is, hangt het af van het gebied op aarde dat in kaart moet worden gebracht, welke maten voor de ellipsoïde worden gebruikt: de ene past beter in Europa, de andere in Noord Amerika of Afrika.

De op dit moment meest gebruikte ellipsoïde is de WGS84 ($a=6378137$ m, $f=1/298.26$).

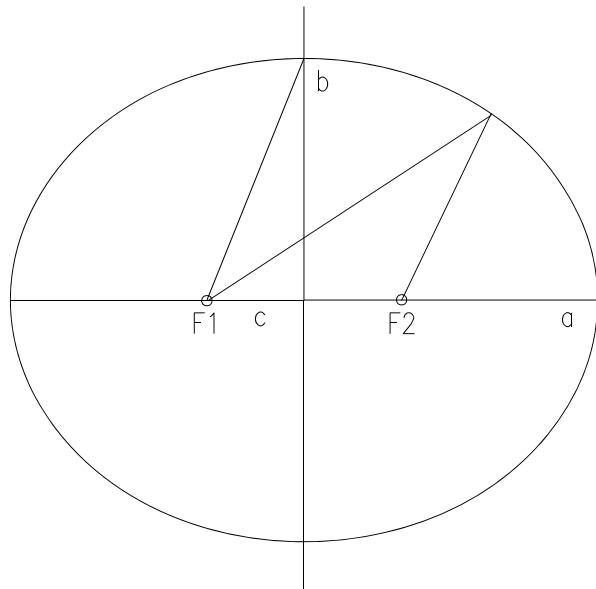
Dit houdt verband met het veelgebruikte navigatiesysteem GPS.

De verticale afstand tussen de geöïde en de ellipsoïde heet de geöïdehoogte.

Figuur 3: ellipsoïde

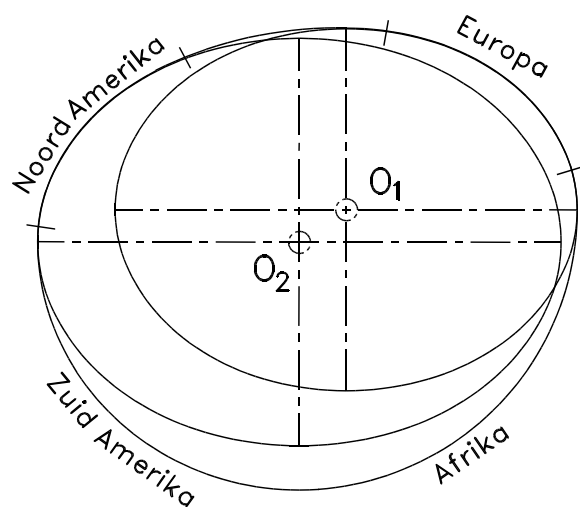


Figuur 2 ellips

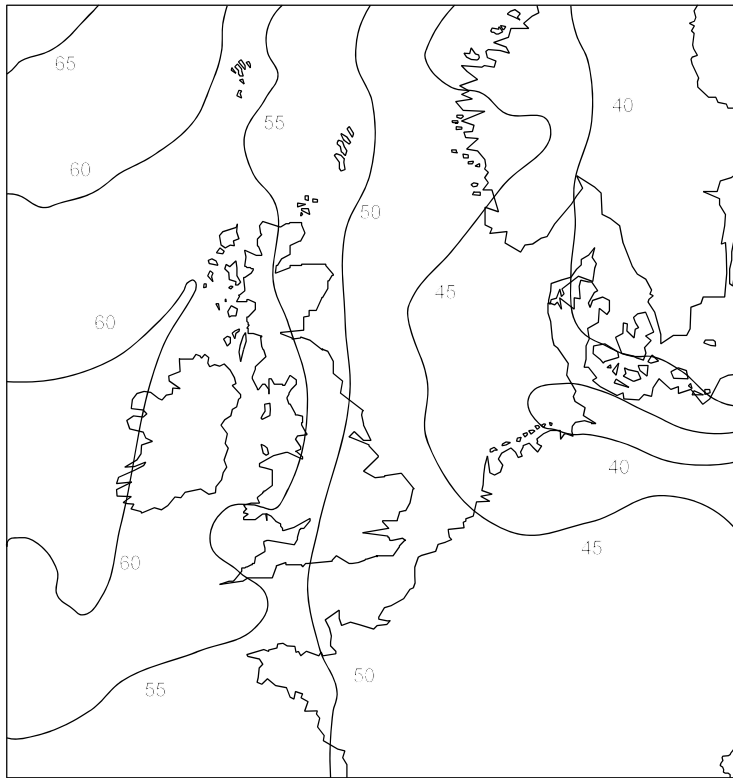


Deze afstand heeft consequenties voor de coördinaten, waarover later meer.

Zoals gezegd probeert men door keuze van de ellipsoïde deze afstand zo klein mogelijk te houden, waardoor de van de ellipsoïde afgeleide zeekaart zo weinig mogelijk afwijking vertoont. Het kaartje in figuur 5 geeft een indruk van de afstand in meters van het geöïde oppervlak tot de WGS-84 in het Noordzeegebied.



Figuur 4: geöïde



Figuur 5 geoïde hoogte

1-2 Twee-dimensionale modellen: kaarten

Voor praktisch werken in de navigatie worden zeekaarten gebruikt, tegenwoordig ook in digitale vorm, op de computer-monitor dus. Deze zijn afgeleid van een ellipsoïde. Zoals eerder opgemerkt: het is onmogelijk om een gebogen vlak als een bol of ellipsoïde zonder vervorming af te beelden op een plat vlak. Daardoor is er altijd vervorming, welke manier van afbeelden ook wordt gebruikt. Zie verder de paragraaf over kaartprojecties.

1-2.1 De schaal van de kaart

Van het gebied ABCD wordt een kaart gemaakt. PQ op de bol in de kaart afgebeeld als het lijnstuk P'Q'. Onder de schaal van de kaart verstaan we de verhouding afbeelding gedeeld door werkelijkheid:

$$\text{schaal} = \frac{P'Q'}{PQ}$$

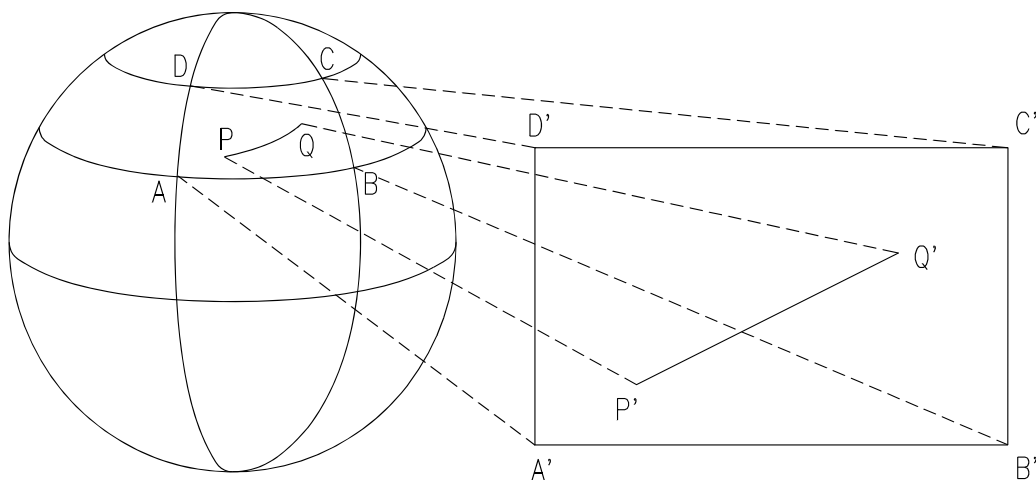
Dat is dus een breuk, waarvan de teller kleiner is dan de noemer.

Hoe GROTER de noemer, hoe KLEINER de schaal.

De schaal van de kaart kan van punt tot punt verschillen. Ook kan het, afhankelijk van de kaartprojectie, voorkomen, dat de schaal in een punt van de kaart niet in alle richtingen dezelfde is.

De juiste definitie van de schaal is daarom: $\text{schaal} = \lim_{P \rightarrow Q} \frac{P'Q'}{PQ}$

In een conforme kaart is de schaal in twee onderling loodrechte richtingen gelijk. Conform betekent dat de hoeken in de kaart gelijk zijn aan de hoeken op het aardoppervlak.



Figuur 6

Voorbeelden

schaal 1 : 100 000 betekent: 1 mm op de kaart is in werkelijkheid 100 000 mm
 maar ook: 1 cm op de kaart is in werkelijkheid 100 000 cm

Gegeven:

De schaal in een punt van de kaart is $\frac{1}{100000}$ (dat is hetzelfde als 1 : 100 000)

Gevraagd:

Bereken hoeveel mm een zeemijl in deze kaart in dit punt is.

Oplossing:

$$\frac{1}{1000000} = \frac{X}{1852000 \text{ mm}} \quad X = \frac{1852000 \text{ mm}}{100000} = 18.52 \text{ mm}$$

Gegeven:

Een zeemijl heeft ergens in een kaart een lengte van 7.408 mm.

Gevraagd:

Bereken de schaal in dit punt van de kaart.

Oplossing:

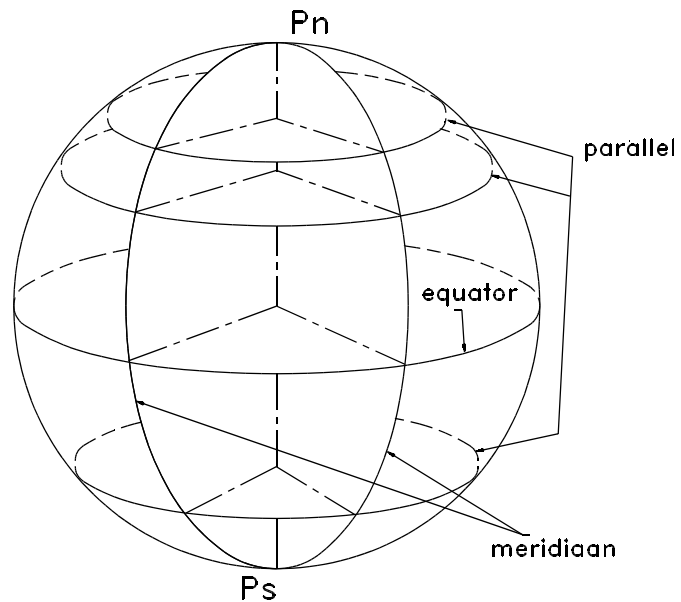
$$\text{schaal} = \frac{7.408 \text{ mm}}{1852000 \text{ mm}} = \frac{1}{1852000 / 7.408} = \frac{1}{2500000}$$

1-3 Coördinaten op de aarde

We stellen ons de aarde daarbij even voor als een zuivere bol. Die draait om een as. Het punt waar die as aan de ene zijde door het aardoppervlak prikt heet noordpool, (p_N) aan de andere kant ligt de Zuidpool (p_S).

De globe kan men zich doorsneden denken door vlakken. Zo ontstaan cirkelvormige snijlijnen. Als het snijvlak door het middelpunt van de globe gaat is de doorsnede een grootcirkel, anders een kleincirkel.

Een vlak door het middelpunt van de aarde loodrecht op de aardas snijdt de globe dus volgens een grootcirkel. Deze grootcirkel heet equator, evenaar, of ook wel linie. De laatste naam wordt tegenwoordig niet veel meer gebruikt.



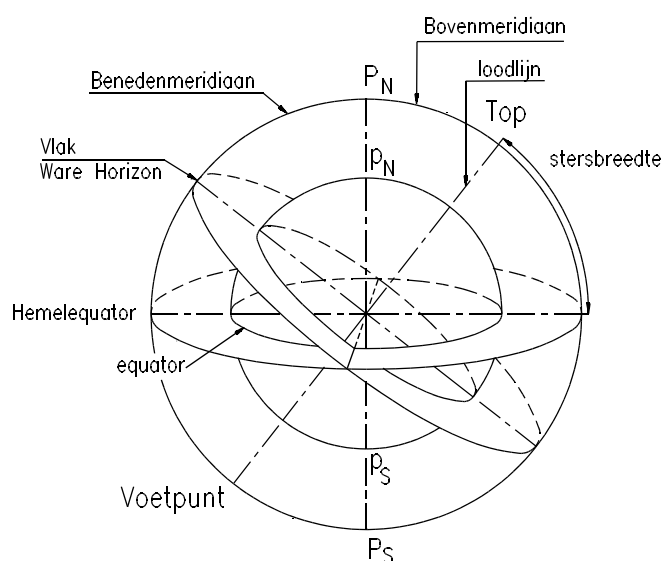
Figuur 7

Alle kleincirkels loodrecht op de aardas, dus evenwijdig aan de evenaar, heten parallellen.

Om een beter begrip te krijgen eerst een uitstapje naar de astronomie.

De sterrenhemel om ons heen kunnen we voorstellen als een enorme bol met oneindig grote straal, waarvan het middelpunt samenvalt met het middelpunt van de aarde. In de tekening naast zou de aarde dus eigenlijk kleiner moeten zijn dan een stip.

Het vlak van de equator snijdt ook deze bol volgens een grootcirkel, de Hemelequator. Verlengen we de aardas tot hij de hemelsfeer treft, krijgen we de hemelnoordpool (P_N) aan de ene kant en de hemelzuidpool (P_S) aan de andere kant. Recht boven een waarnemer is de Top (ook wel Zenith genoemd), en aan de andere kant, voor Nederland is dat recht boven Nieuw Zeeland, het voetpunt (Nadir). Loodrecht op de lijn Top-Voetpunt, dus loodrecht op de plaatselijke loodlijn, door het middelpunt van de aarde, ligt het Vlak Ware Horizon, dat evenwijdig is aan het waterpasvlak van de waarnemer. Dat vlak heet het vlak van de Locale Horizon.



Figuur 8

Om aan te kunnen geven waar een plaats op aarde ligt of hem terug te kunnen vinden worden er getallen aan verbonden: dit zijn de coördinaten.

Aan de evenaar en de meridiaan van Greenwich is het getal 0 verbonden.

Deze coördinaten geven aan hoever:

1. de parallel van een positie verwijderd is van de equator. Dat is dus de breedte;
2. de meridiaan van de positie verwijderd is van de 0° meridiaan. Dat is de lengte.

1-3.3 Nogmaals: benoeming van breedte en lengte

Eerst wordt de globe door de evenaar “horizontaal” grof ingedeeld in een noordelijk en een zuidelijk halfrond, vernoemd naar de betreffende pool. Hierop is de breedte respectievelijk noord en zuid. Van 0° op de evenaar tot 90° op de pool. De maximale breedte is dus 90°

De breedte van de Euromast in Rotterdam = N $51^\circ 54.0'$

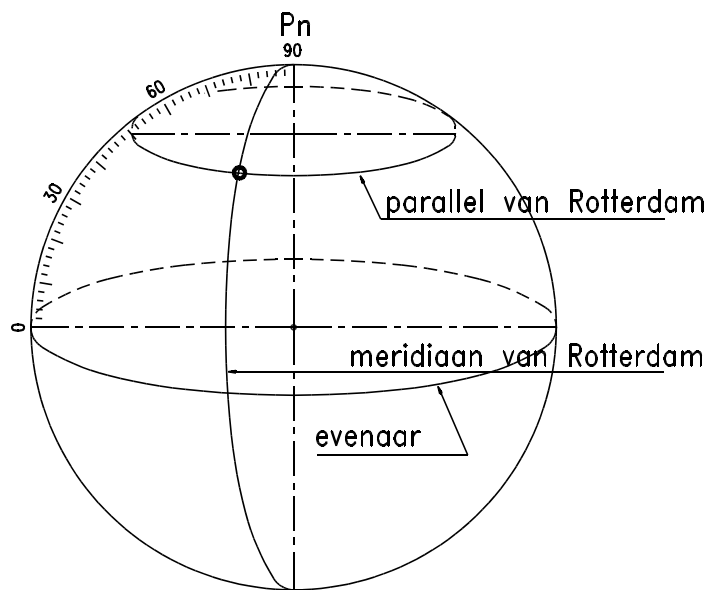
Dan verticaal door de 0° meridiaan, samen met de 180° meridiaan in een oostelijk en westelijk halfrond. Hierop zijn de lengtes oost en west, van 0° op de meridiaan van Greenwich tot 180° recht er tegenover aan de andere zijde van de globe.

De maximale lengte dus 180° Oost als de plaats ten oosten van de meridiaan van Greenwich ligt, of West ten westen van Greenwich.

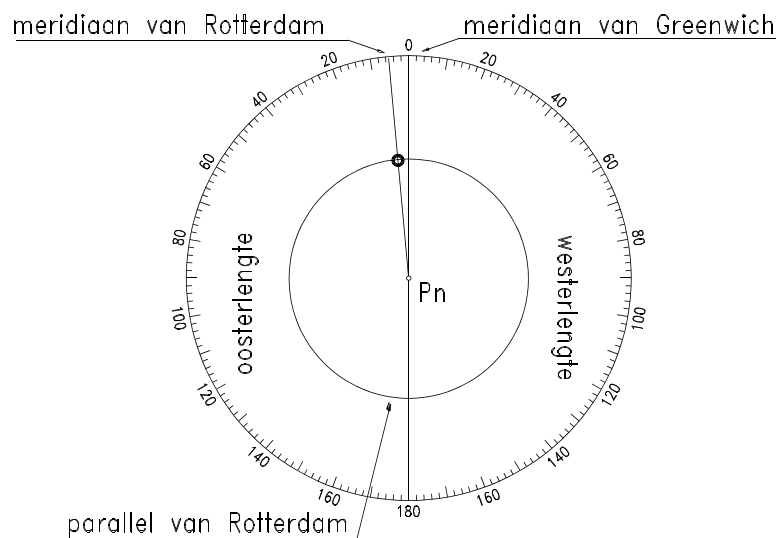
De lengte van de Euromast in Rotterdam = E $004^\circ 28.0'$

Voor berekeningen met calculator of zakcomputer is in Nederland de afspraak dat Noorderbreedte en Oosterlengte positief (+) worden gerekend, Zuidebreedte en Westerlengte negatief (-).

NB! In sommige Amerikaanse programma's worden west + (plus) en oost - (min) genomen.



Figuur 11



Figuur 12

DEFINITIE	BREEDTE VAN EEN PLAATS IS DE BOOG VAN DE MERIDIAAN, GEREKEND VANAF DE EQUATOR TOT DE PARALLEL VAN DIE PLAATS
DEFINITIE	DE LENGTE VAN EEN PLAATS IS DE KLEINSTE BOOG VAN DE EQUATOR VANAF DE MERIDIAAN VAN GREENWICH TOT DE MERIDIAAN VAN DIE PLAATS

Waarom heet de Noord-Zuid coördinaat lengte en de oost-West coördinaat lengte?

De Romeinen navigeerden op een kaart van de Middellandse Zee. Die is lang in de E-W richting en breed in de N-Z richting. Kijk maar in een atlas of in Google-Maps. De coördinaten noemden ze naar de vorm van de kaart. De latijnse namen zijn in de engelse namen (latitude voor breedte en longitude voor lengte) nog te herkennen

1-4 Meters, grootcirkel-minuten, zeemijlen en kleincirkel-minuten

In het begin van de 19e eeuw bedacht men dat een rechte hoek in 100 verdeeld moest kunnen worden. Dat levert 400 stukjes in een cirkel. Behalve in graden van 360 in een cirkel kunnen we de grootte van een hoek ook aangeven in die eenheid: grads. Op de zakcomputer is dat de mode GRA. Vooral landmeters werken hiermee.

Deze eenheid voor hoeken is de basis van de eenheid van afstand die we gebruiken: de **meter**. Als we de equator (40.000 km) verdelen in 400 stukken en daar 1/100.000 van nemen, hebben we de meter (uitgaande van de stand van kennis in het begin van de 19e eeuw).

In de zeevaart gebruiken we 360° . Één minuut van een grootcirkel (de evenaar is immers een grootcirkel) uitgedrukt in meters komt dan aan $\frac{40.000.000}{360 * 60} \approx 1852$.

Deze afstand heet zeemijl. De afkorting en de lengte daarvan zijn afgesproken: M en 1852 m. Er gaan 60 zeemijlen in een graad.

Op de evenaar liggen de snijpunten van de meridianen met een hele graad verschil dus 60M uit elkaar. Maar aangezien de meridianen in de polen samen komen, wordt de afstand er tussen steeds kleiner naarmate we verder van de evenaar verwijderd raken.

$$\begin{aligned}
 1 \text{ parallel graad} &= 1/360 * \text{omtrek par} \\
 &= 2\pi r/360 \\
 1 \text{ meridiaan graad} &= 1/360 * \text{omtrek mer} \\
 &= 2\pi R/360
 \end{aligned}$$

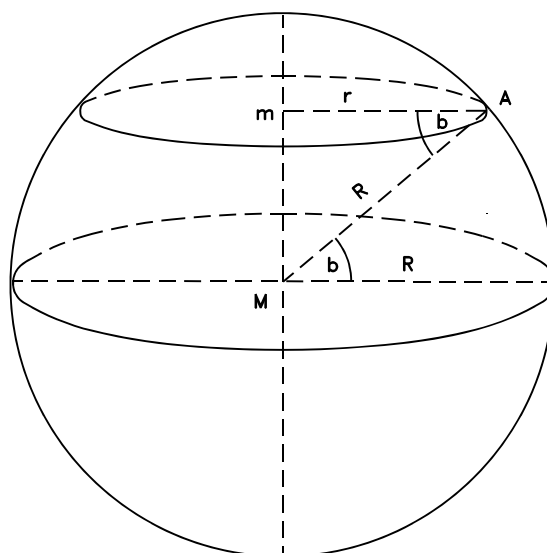
zie driehoek MAm in figuur 13

$$r = R \cos b \text{ dus}$$

$$1 \text{ par. graad} = 2\pi R \cos b / 360 \text{ ofwel}$$

$$1 \text{ par. graad} = 2\pi R / 360 * \cos b$$

$$1 \text{ parallel graad} = 1 \text{ meridiaan graad} * \cos \text{ breedte}$$



Figuur 13

1-4.1 Breedteverschil en lengteverschil

DEFINITIE	HET BREEDTE VERSCHIL TUSSEN TWEE PLAATSEN IS DE BOOG VAN EEN MERIDIAAN TUSSEN DE PARALLELEN VAN DIE PLAATSEN
DEFINITIE	HET LENGTEVERSCHIL TUSSEN TWEE PLAATSEN IS DE KLEINSTE BOOG VAN DE EQUATOR TUSSEN DE MERIDIANEN VAN DIE PLAATSEN.

Breedte en lengte verschil worden benoemd naar de richting van de afgevaren plaats (altijd A genoemd) en de bekomen plaats (altijd B).

Ligt B noordelijk van A, dan is het breedteverschil noord (+)

Ligt B zuidelijk van A, dan is het breedteverschil zuid (-)

Ligt B oostelijk van A, dan is het lengteverschil oost (+)

Ligt B westelijk van A, dan is het lengteverschil west (-)

Breedte- en lengteverschil tussen twee plaatsen worden, net als breedte en lengte, standaard uitgedrukt in graden en minuten, eventueel tot in tienden van minuten nauwkeurig.

De formules, waar breedte- en lengteverschil kunnen worden uitgerekend zijn, als eerder reeds vermeld:

$$\Delta b = b_B - b_A$$

$$\Delta l = l_B - l_A$$

Δl is maximaal 180° E of W. Als de betreffende tekens, + en - worden gebruikt, zijn de uitkomsten automatisch goed

Als er als uitkomst van de berekening een lengte of lengteverschil is groter dan 180° , dan vindt men het juiste bedrag door de berekende lengte af te trekken van 360° . Oost wordt dan West, en West wordt Oost

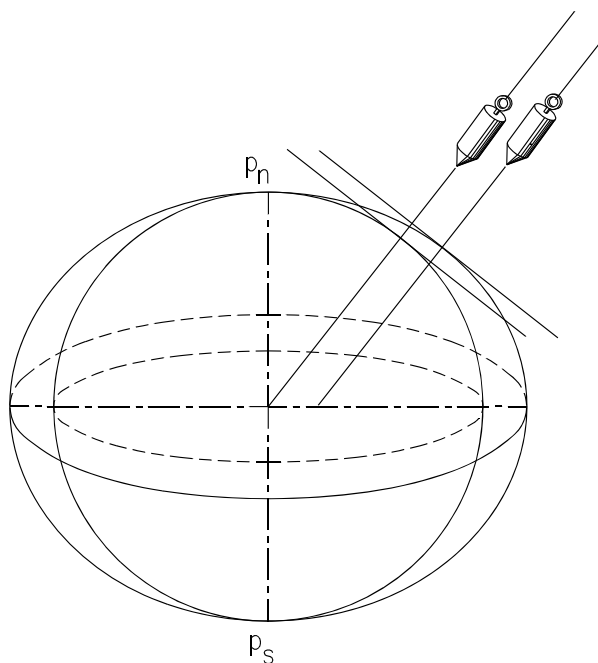
Voorbeeld

$$\text{lengte}_B = E 210^\circ = 360^\circ - 210^\circ = W 150^\circ$$

1-4.2 Coördinaten op ellipsoïde en geoïde

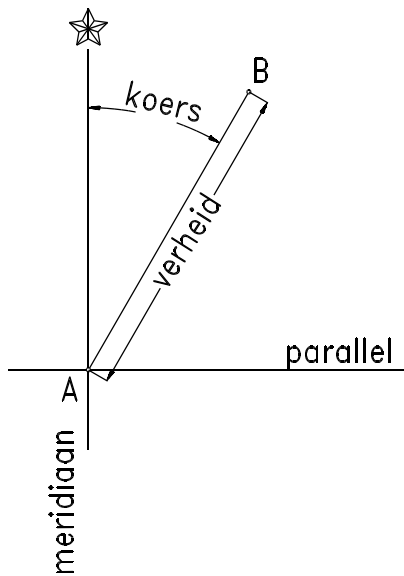
Als we de ellipsoïde of geoïde als model van de aarde nemen is er natuurlijk ook sprake van coördinaten. Voor de lengte is er geen verschil: de lengte op de ellipsoïde (geodetische lengte) en de lengte op de geoïde (geoïde-lengte) zijn de kleinste hoek tussen de meridiaan van Greenwich en de meridiaan van de positie.

Voor de geodetische breedte en de geoïde-breedte ligt dat wat anders: die zijn beide de hoek die de richting van het schietlood in de positie maakt met het vlak van de equator. Let wel: voor een ellipsoïde is die dus anders dan bij de geoïde, voor dezelfde plaats. En voor verschillende ellipsoïden ook. We zien in figuur 14 dat dezelfde breedte op de bol een andere positie oplevert dan op de ellipsoïde.

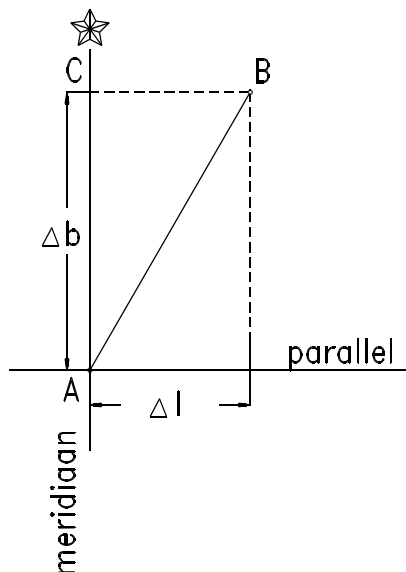


Wanneer er een positie in de kaart wordt geplot moet het model van de aarde dat gebruikt is voor het bepalen van die positie (bijvoorbeeld WGS 84) hetzelfde zijn als het model dat gebruikt is voor het tekenen van de kaart.

Figuur 14



Figuur 15



Figuur 16

1-4.3 Coördinaten in een plat vlak

Om een positie op een plat vlak, zoals een zeekaart, vast te stellen, of twee posities met elkaar te kunnen vergelijken, kunnen twee manieren worden gebruikt:

- Richting (in een kaart peiling of koers) en afstand vanaf een gegeven punt, dit is het **polaire coördinaten systeem**. Hierbij gaat men uit van een hoek t.o.v. de referentierichting Noord en een afstand (verheid). De hoek is in graden - rechtsom doorgeteld tot 360 - de afstand is in zeemijlen. Een zeemijl is gelijk aan 1/60 van de lengte van een meridiaan-graad en meet 1852 meter.

Tekenafpraak:

Een - teken voor de hoek betekent dat de hoek linksom draaiend is genomen t.o.v. de Noordrichting.

Een negatieve afstand betekent dat bij de richting 180° opgeteld moet worden.

- de plaats in een assenstelsel met x- en y-as, meestal loodrecht op elkaar (orthogonaal). In een zeekaart zijn die assen de meridiaan en parallel door A.

Verticaal is dat dus de N/S richting, horizontaal de E/W richting.

De N/S afstand heet Δb (delta b) en is in staande randdelen, de E/W afstand heet Δl (delta l) en is in liggende randdelen. Als voor de oorsprong het snijpunt van de 0 graden (Greenwich-) meridiaan en de equator wordt genomen, is Δb = breedte en Δl = lengte.

Staande randdelen zijn meridiaanminuten, liggende randdelen parallelminuten

Formules: $\Delta b = b_B - b_A$

$\Delta l = l_B - l_A$

Δl is maximaal 180° E of W

Tekenafpraak:

Noord en Oost (E) positief (+), Zuid (S) en West negatief (-)

NB 1! Wanneer met een calculator of zakcomputer wordt gewerkt, moet steeds de omrekenfunctie van tientallig naar sexagesimaal stelsel worden gebruikt, vóórdat wordt opgeteld of afgetrokken. Dat is voor elke calculator/zakcomputer anders. Zie gebruiksaanwijzing.

Als deze functie ontbreekt, of niet gebruikt wordt, moet het aantal minuten door 60 worden gedeeld, om het decimale gedeelte van het bedrag in graden te krijgen.

Voorbeeld

Bereken het breedteverschil (Δb) tussen Muscat (N 28° 25.0') en Rotterdam (N 51° 54.5')

Muscat	N	28	25.0'		
Rotterdam	N	51	54.5'	-	
Δb				S	23 29.5'
Muscat	N	28	25.0'	(25.0/60=0.41667)	+28.41667
Rotterdam	N	51	54.5'	(54.5/60=0.90833)	+51.90833 -
Δb				-23.49166	(0.49166x60=29.5') S 23° 29.5'

NB 2! In veel programma's voor de koers & verheidsrekening is op een andere manier voorzien in de omrekening van tientallig naar zestigtallig stelsel. Lees de gebruiksaanwijzing aandachtig. In bovenstaande alinea's is het basisprincipe van de coördinaten op aarde vastgelegd.

Tot de komst van moderne navigatiemiddelen konden die alleen maar worden vastgesteld met behulp van astronomische waarnemingen. Ze hangen daardoor ook samen met de het coördinatenstelsel van hemellichamen. Daarover meer in het hoofdstuk astronavigatie.

1-5 Kaartprojecties

Een kaart is een afbeelding van een deel van het aardoppervlak in een plat vlak.

Meer populair dan wetenschappelijk kan men zich het maken van een projectie van een kaart als volgt voorstellen:

- neem een doorzichtige perspex globe;
- teken daarop de meridianen, parallellen en omtrekken van de zee;
- houdt een heldere, puntvormige lichtbron bij, tegen of in de globe;
- houdt een stuk papier tegen, om of op de globe;
- trek de schaduw op het papier van de op de globe getrokken lijnen over;
- strijk het papier glad en klaar is de kaart.

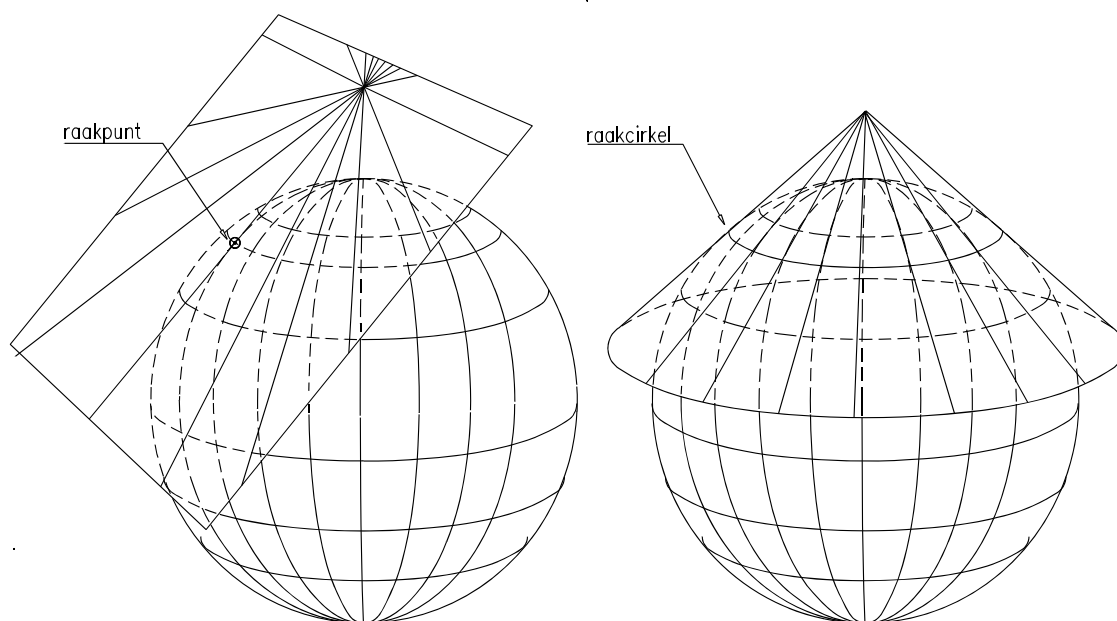
De plaats waar de lichtbron wordt gehouden en de manier waarop het papier om, op of tegen de globe wordt gehouden bepaalt natuurlijk de vorm van de schaduw op het papier en dus de vervorming die bij de projectie optreedt. Wordt het papier vlak tegen de bol gehouden, dan ontstaan bijvoorbeeld de gnomonische projectie als de lichtbron in het middelpunt van de globe wordt gehouden. Of de stereografische projectie als het lichtje in het tegenpunt van het raakpunt een de bol wordt geplaatst. (voor een kaart van Nederland is dat tegenpunt in Nieuw Zeeland.) De stereografische projectie werd vroeger gebruikt bij Nederlandse zeekaarten, het raakpunt zat onder de kerktoren van Amersfoort. Daar zit ongeveer het geografische middelpunt van Nederland

Zit het lichtpunt in het middelpunt en is het papier als een Chinese hoed om de globe gerold, dan ontstaat de kegel-projectie, deze wordt vaak gebruikt bij meteorologische kaarten.

Het patroon van meridianen en parallellen heet het kaartnet.

Gelukkig zijn dit soort projecties ook in algoritmen te beschrijven, zodat kaartenmakers ook door passen en meten, en tegenwoordig natuurlijk met behulp van computerprogramma's hun kaarten kunnen tekenen.

De vervorming is het kleinst daar, waar het projectie-vlak aan de globe raakt, vandaar dat vaak het projectie-vlak niet rakend, maar snijdend wordt aangebracht.



Figuur 17

Niet alle 2-dimensionale afbeeldingen van de aarde die projectie heten of zo genoemd worden zijn afbeeldingen die op die manier kunnen worden gemaakt. Onder andere nou juist de belangrijkste kaartprojectie in de zeevaart, de naar zijn bedenker genoemde mercator-projectie, ontstaat door berekening. Dat heeft te maken met de in de navigatiepraktijk aan de zeekaart gestelde eisen.

1-5.1 Eisen gesteld aan de zeekaart

Als een kaart wordt gebruikt voor navigatie ter zee, dan wordt gekeken naar de eisen die een navigator er aan stelt en wordt een projectie gekozen, die voor dat gebruik voordelen biedt.

De belangrijkste eisen waaraan de zeekaart moet voldoen zijn de volgende:

- De koerslijn (loxodroom) moet een rechte lijn zijn.
- De kaart moet conform (= hoekgetrouw) zijn.
- De schaalverandering moet gering zijn.

Onder het conform zijn van een kaart verstaan we dat hoeken op aarde nauwkeurig overeenkomen met de overeenkomstige hoeken in de kaart. Als de hoek tussen twee lijnen op aarde 074° is dan moet de hoek tussen de afbeeldingen van deze lijnen in de kaart ook 074° zijn.

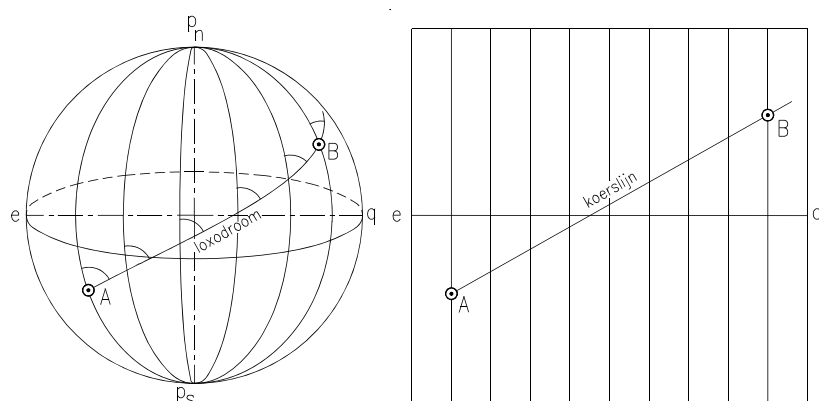
Soms voldoet een kaart slechts aan twee van de drie eisen volledig en in beperkte mate aan de derde eis. Het is mogelijk dat de kaart dan toch als zeekaart bruikbaar is. Meestal is dat dan voor een beperkt gebied.

1-5.2 De koerslijn (loxodroom) in de zeekaart

Als een schip volgens een vaste koers vaart, worden alle meridianen onder dezelfde hoek gesneden. Immers, een koers is de hoek tussen één of andere noordrichting en de richting waarin we varen.

De baan die het schip daarbij over het aardoppervlak volgt heet een *loxodroom*.

DEFINITIE EEN LOXODROOM IS EEN LIJN DIE MET ALLE MERIDIANEN GELIJKE HOEKEN MAAKT



Figuur 18

Een loxodroom nadert de pool zonder deze ooit te bereiken. De holle zijde van de loxodroom is naar de dichtstbijzijnde pool gekeerd. Aan de zeekaart wordt vaak de eis gesteld dat de afbeelding van een loxodroom van A naar B zich in de kaart een rechte lijn is.

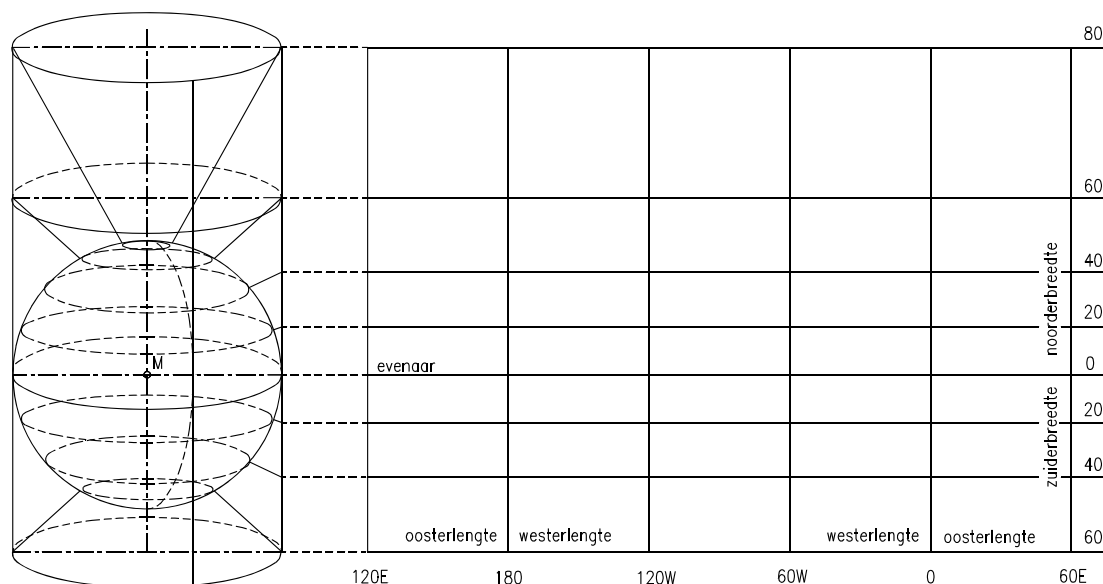
Bijzondere loxodromen zijn de evenaar, de parallellen en de meridianen.

1-5.3 Kaartconstructies

De begrippen kaartprojectie en kaartconstructie worden bij het maken van kaarten vaak door elkaar gebruikt. Een kaart ontstaat meestal niet door meetkundige projectie. Voor het werken in en met de zeekaart is dit niet van belang en daarom wordt er niet verder op ingegaan.

Voor het maken van zeekaarten worden de volgende projectiemethoden het meest gebruikt:

- Normale Mercatorprojectie (wassende kaart)
- Transversale Mercatorprojectie (UTC)
- Gnomonische projectie



Figuur 19: kaartnet normale mercatorkaart

1-5.3.1 De (normale) Mercatorprojectie

Van 1512 - 1594 leefde er een Vlaamse geleerde, Gerard de Cremere. Hij noemde zich Gerardus Mercator, omdat het in die tijd de gewoonte was onder geleerden hun naam te verlatijnsen. Hij wilde zeekaarten tekenen, waarop meridianen en parallellen evenwijdige, loodrecht op elkaar staande rechten waren en elke loxodroom als rechte lijn kon worden getekend. En hoeken in de kaart moesten even groot zijn als dezelfde hoek op de aardbol. Lekker simpel voor de zeeman dus. Wat hij verzon heet de Mercator projectie.

Bij de normale Mercatorprojectie (normaal in de zin van loodrecht) wordt de aarde afgebeeld op een cilinder, evenwijdig aan de aardas, die de globe bij de equator raakt. De punten van het aardoppervlak worden op de cilinder afgebeeld. Deze manier van afbeelden is zo, dat in elk punt van de kaart de schaal langs de meridiaan dezelfde is als de schaal langs de parallel.

Afmetingen van een mercator kaart

Op de aardbol is de afstand tussen twee meridianen met een lengte verschil van 1 minuut, op de evenaar, 1852 meter.

De meridianen komen in de polen bij elkaar. De afstand daar is dus 0,0. Een parallelminuut ook.

Op aarde worden de parallelminuten dus kleiner met het toenemen van de breedte. Op elke breedte kunnen we, zoals eerder aangetoond, de lengte van een parallel-minuut berekenen met de factor $\frac{1}{\cos b}$ (= **secb**).

Als een kaart conform moet zijn betekent dat dat, in elk punt, de schaal in twee loodrecht op elkaar staande richtingen hetzelfde moet zijn. De hoek tussen een meridiaan en een parallel is 90° , dus als de schaal langs de meridiaan gelijk is aan de schaal langs de parallel, is de kaart conform.

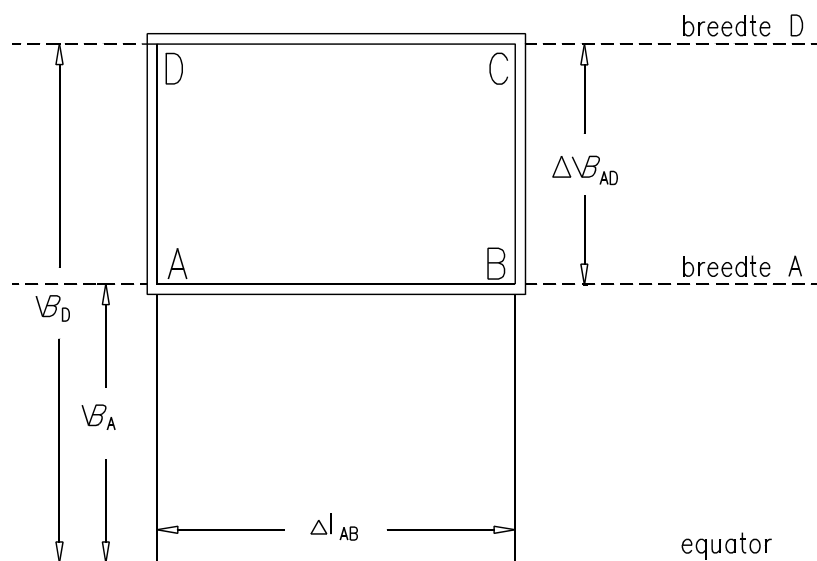
In de kaart noemen we een parallelminuut: liggend randdeel (lrd) en een meridiaanminuut: staand randdeel (srd)

Op elke breedte is:

$$1 \text{ srd} = \frac{1 \text{ lrd}}{\cos b}$$

$$(1 \text{ srd} = 1 \text{ lrd} * \text{sec } b)$$

Hoe groot de breedte ook wordt, doordat de meridianen in de mercatorkaart evenwijdige lijnen zijn, blijft de afstand er tussen gelijk. Liggende randdelen zijn dus overal op de kaart evenveel millimeters lang. Op elke breedte moeten de staande randdelen nu vermenigvuldigd worden met een factor secb, (gedeeld door factor cosb) en de kaart is conform.



Figuur 20

NB 1! Op elke breedte is de maat van een staand randdeel (= een meridiaanminuut = een zeemijl) dus anders. De schaal van de kaart dus ook. Op een mercatorkaart staat bij de schaal dan ook altijd aangegeven op welke breedte die geldt.

NB 2! Een afstand moet op de zijrand van de kaart worden afgelezen op dezelfde breedte als die afstand.

Vergrotende breedte

Op elke breedte is. 1 srd = 1 lrd * secb. Bij het tekenen van het kaartnet moet bij het bepalen van de afstand van een parallel tot de equator elke afzonderlijke srd van de breedte vermenigvuldigd worden met secb van de breedte van die srd, en vervolgens al die staande randdelen bij elkaar worden opgeteld. De afstand die zo ontstaat heet Vergrotende Breedte.

De afkorting van Vergrotende Breedte is een V en een B aan elkaar: VB

Gelukkig is er een formule bedacht, die dit werk in één keer doet.

Voor een parallel op breedteA luidt die:
$$VB_A = \frac{10800^\circ}{\pi} * \ln \left(\tan \left(45^\circ - \frac{\text{breedteA}}{2} \right) \right)$$

in graden uitgedrukt:
$$VB_A = \frac{180^\circ}{\pi} * \ln \left(\tan \left(45^\circ - \frac{\text{breedteA}}{2} \right) \right)$$

Doordat de cosinus steeds kleiner wordt bij grotere breedte, worden in de kaart de staande randdelen, dus ook meridiaan-minuten en zeemijlen, steeds groter. Op 60° breedte ($\cos 60^\circ = 0.5$) is een zeemijl in de kaart 2 maal zo groot als op de equator. De andere benaming van de kaartprojectie, "wassende kaart" komt daar vandaan: wassen betekent hier "groter worden".

Uit figuur 20 op zijn de afmetingen van een Mercator kaart te begrijpen: van de kaart ABCD heeft de onderrand een afstand tot de equator van VB_A lrd, en de bovenrand een afstand van VB_D lrd.

De hoogte van de kaart is dus ΔVB_{AD}

De breedte van de kaart is Δl lrd. Wanneer de maat van 1 liggend randdeel bekend is, kunnen de afmetingen van de zeekaart worden berekend.

Meet en reken dit na in een willekeurige beschikbare kaart.

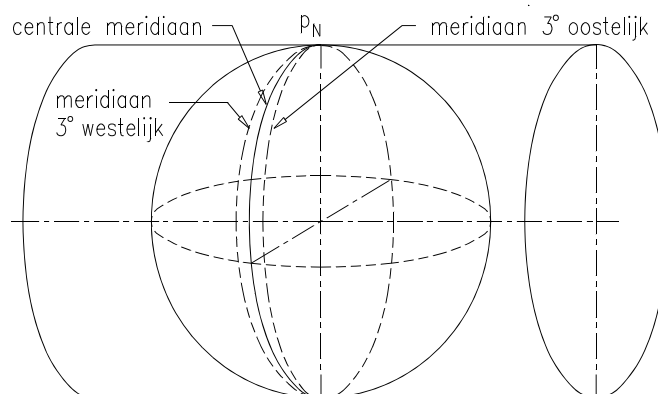
Enige eigenschappen van de mercatorkaart

- De meridianen zijn in de wassende kaart // rechte lijnen.
- De parallellen zijn in de wassende kaart // rechte lijnen, die loodrecht op de meridianen staan.
- De loxodroom in deze kaart is een rechte lijn.
- De kaart is hoekgetrouw.
- Pas op zeer hoge breedte zijn de schaalveranderingen niet klein meer. Voor normaal koopvaardijgebruik is dit geen bezwaar.
- De liggende-randdelen zijn alle onderling gelijk.
- De staande-randdelen worden groter met het toenemen van de breedte.
- De schaal van de kaart is niet constant, maar neemt toe met het toenemen van de breedte.

1-5.3.2 De Transversale Mercator projectie

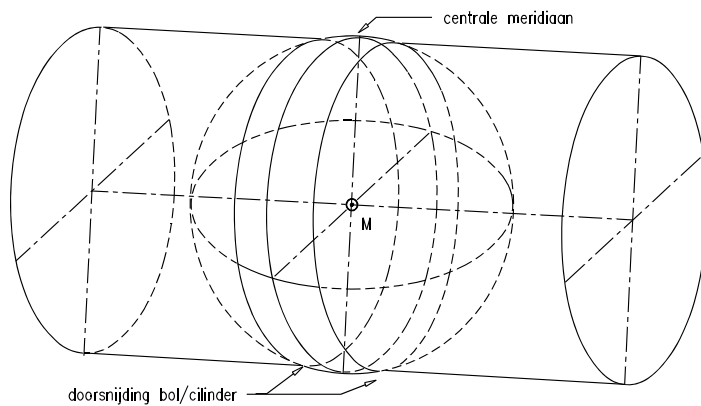
Als het aardoppervlak wordt afgebeeld op een rakende of snijdende cylinder, waarvan de as in het vlak van de evenaar ligt, loodrecht op de aardas, ontstaat de transversale mercatorprojectie.

De cylinder raakt de globe in de zgn centrale meridiaan. Op de cilinder wordt een strook van de aarde afgebeeld van 3° westelijk tot 3° oostelijk van de centrale meridiaan. Bij elkaar dus een gebied met 6° lengteverschil. 60 van deze stroken geven een beeld van de totale globe.



Figuur 21

Omdat de vervorming op de raak/snijcirkel het kleinst is, wordt meestal een snijdende cylinder gebruikt, op de snijlijnen is de vervorming weer het kleinst, en gemiddeld is de vervorming over het gehele gebied dan geringer.



Figuur 22: UTM projectie

Door met de waarden van de WGS84 te werken ontstaat de Universele Transversale Mercator projectie. (UTM).

De coördinaten zijn in meters: horizontaal meters gerekend vanaf de centrale meridiaan (de Easting), verticaal gerekend vanaf de evenaar (de Northing). Maar de centrale meridiaan heeft niet het getal 0, maar 500000, zodat er geen negatieve waarden zijn.

Bij de evenaar is dat probleem iets anders opgelost: voor noorder Northing heeft hij coördinaat 000000, voor zuider Northing de waarde 10000000.

Ook hier geen negatieve waarde.

Het kaartnet in Northing en Easting is een netwerk van horizontale en verticale rechte lijnen. Maar meridianen zijn gekromd (zie figuur 23) en parallellen ook.

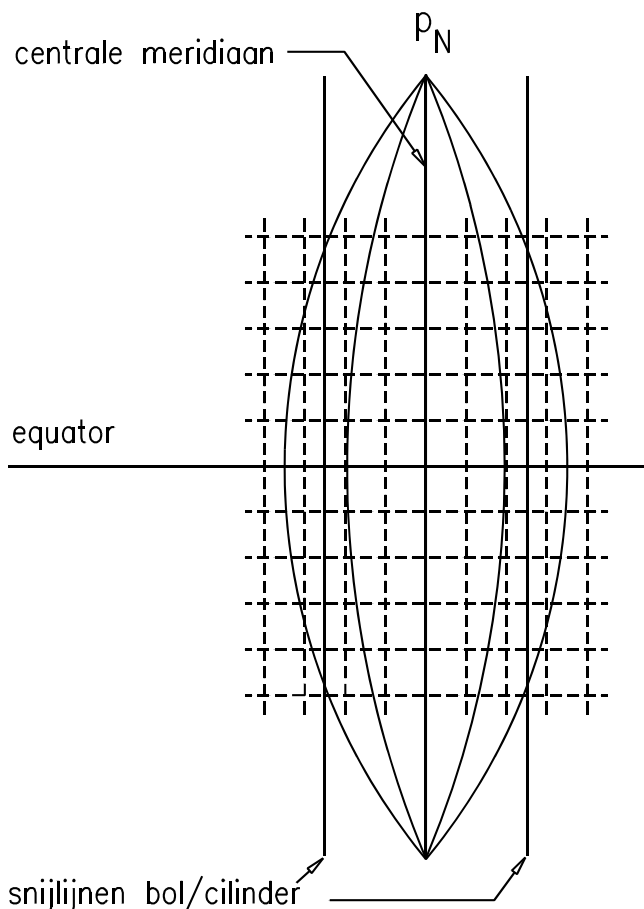
In (Normale) Mercator zeekaarten die bij de koopvaardij gebruikt worden staan de Northing en de easting vaak aangegeven op de rand van de kaart.

Omdat in de Normale Mercator kaart de meridianen en parallellen recht zijn, heeft het UTM coördinaten-net daar kromme lijnen.

Vraag: hoeveel bedragen de Northing van de Noord- en de Zuidpool?

Enkele kenmerken van de UTM-kaart:

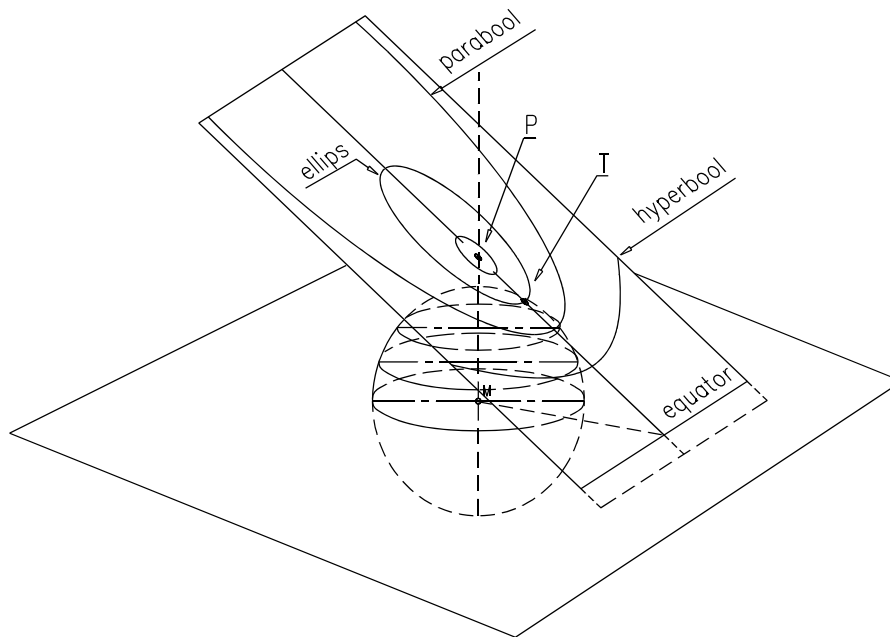
- De lengte-uitgestrektheid van een UTM-kaart is 6 graden.
- De breedte-uitgestrektheid van een UTM-kaart is 8 graden.
- De schaal van de UTM-kaart is niet constant.
- Meridianen in de UTM-kaart zijn kromme lijnen. Alleen de centrale meridiaan is in de kaart een rechte lijn.
- Parallellen zijn krommen die de meridianen loodrecht snijden.
- De equator wordt afgebeeld als een rechte.
- De kaart is conform.



Figuur 23: kaartnet UTM kaart

1-5.3.3 De gnomonische projectie

Figuur 24



Deze projectie ontstaat door het aardoppervlak vanuit het middelpunt op een rakend plat vlak te projecteren. Doordat het vlak van elke willekeurige grootcirkel ook door het middelpunt van de aarde gaat, is de afbeelding van elke grootcirkel in deze kaart een rechte lijn.

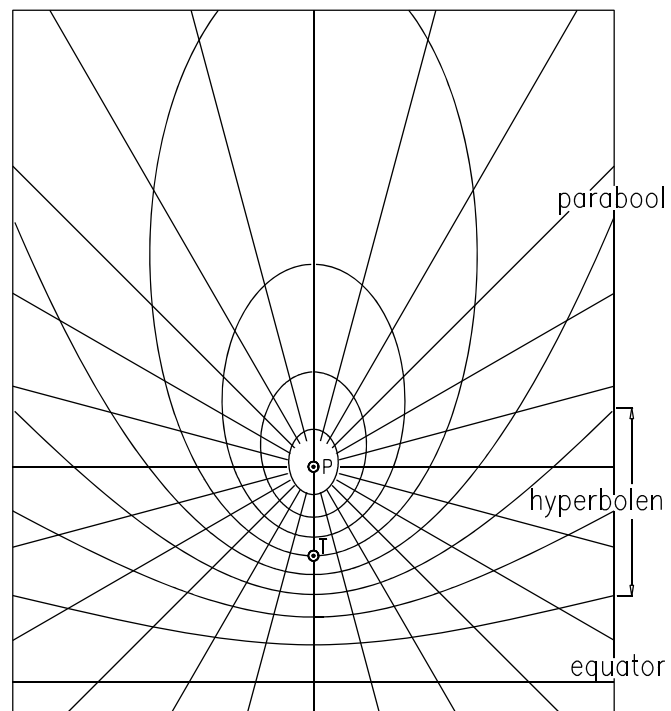
Parallellen kunnen allerlei verschillende vormen hebben, afhankelijk van de positie van het raakpunt T en de breedte van de betreffende parallel.

Eigenschappen van de gnomonische kaart:

De afbeeldingen van de parallellen zijn zgn kegelsneden.

Als b_T de breedte is van het raakpunt, zijn

- de meridianen rechte lijnen, die convergeren in de pool;
 - parallellen met een breedte $< (90^\circ - b_T)$ hyperbolen;
 - parallellen met een breedte $> (90^\circ - b_T)$ ellipsen;
- en is
- de parallel met een breedte $(90^\circ - b_T)$ een parabool



Figuur 25