

Navigasjon

for maritime studier

5. utgave

Norvald Kjerstad


FAGBOKFORLAGET

Navigasjon

for maritime studier

5. utgave

Norvald Kjerstad

Navigasjon

for maritime studier

5. utgave



FAGBOKFORLAGET

Copyright © 2024 by
Vigmostad & Bjørke AS
All Rights Reserved

1. utgave 2010
2. utgave 2012
3. utgave 2016
4. utgave 2020
5. utgave 2024 / 1. opplag 2024

ISBN: 978-82-450-5588-7

E-utgaven er basert på 5. trykte utgave, 1. opplag: ISBN: 978-82-450-5035-6

Grafisk produksjon: John Grieg, Bergen

Forsidedesign ved forfatteren og forlaget

Forsideillustrasjon: Hurtigruteskipet *Trollfjord* stevner mot Torghatten og
Brønnøysund en sommernatt.

Foto: Forfatteren

Formgivning: Forfatteren

Supplement for faglærere:

Alle figurer i Power Point-format (ftp-overføring)

Kontakt forlaget eller forfatteren for fri tilsendelse.

Spørsmål om denne boken kan rettes til:

Fagbokforlaget

Kanalveien 51

5068 Bergen

Tlf.: 55 38 88 00

e-post: fagbokforlaget@fagbokforlaget.no

www.fagbokforlaget.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.

Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarframstilling

bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

Vigmostad & Bjørke AS er Miljøfyrtårn-sertifisert.



Innhold

	Side:	Side:
Forord	iv	

DEL 1 – KOORDINAT- OG KARTLÆRE

1 Jordens form 1-1

1.1 Koordinater og referansesystem for navigasjon	1-1
1.1.1 Storsirkler og småsirkler	1-2
1.1.2 Parallelsirkler og meridianer	1-2
1.1.3 Vendesirkler og polarsirkler	1-2
1.1.4 Geografiske koordinater – lengde og bredde	1-3
1.1.5 Forandret lengde og bredde	1-4
1.1.6 Avvikning og forhold mellom ekvator og parallellsirkler	1-5
1.1.7 Middelbredde	1-7
1.2 Retninger og lengdemål på jorda	1-7
1.2.1 Retninger og kurser	1-7
1.2.2 Nautiske lengdemål – nautisk mil	1-8
1.2.3 Nautiske hastigheter – knop	1-9
1.3 Oppgaver fra kapittel 1	1-11
1.4 Ressursside for kapittel 1	1-13

2 Geodetiske grunnlag og datum 1-14

2.1 Jordens eksakte form	1-14
2.2 Koordinatsystemer og datum	1-16
2.3 UTM-systemet	1-18
2.4 Lokale metriske koordinatsystem	1-20
2.5 Geodetisk datum	1-21
2.6 Transformasjon mellom datum	1-23
2.7 Høydereferanse	1-24
2.8 Oppgaver fra kapittel 2	1-25
2.9 Ressurssider for kapittel 2	1-26
2.9.1 Eksempel på koordinatsystem og datum	1-27

3 Kartprojeksjoner 1-28

3.1 Målestokk	1-28
3.2 Klassifisering av projeksjoner	1-28
3.3 Noen aktuelle projeksjoner	1-30
3.4 Merkatorprojeksjon – voksende kart	1-32
3.5 Oppgaver fra kapittel 3	1-35
3.6 Ressursside for kapittel 3	1-37

4 Sjøkartet 1-38

4.1 Historikk	1-38
4.2 Kvalitet og pålitelighet	1-42
4.2.1 Vurdering av kartkvalitet	1-44
4.3 Projeksjoner, målestokk og gradnett	1-46
4.4 Symboler og terminologi	1-47
4.5 Hydrografiske originaler og kartdatabase	1-52
4.6 Tidevann og høydereferanser	1-54
4.7 Ajourhold og kartretting	1-55
4.8 Andre kartrelaterte publikasjoner	1-56
4.9 Sjøkartverkets historie og organisering	1-57
4.10 British Admiralty - BA	1-58
4.11 Elektroniske sjøkart (ENC)	1-59
4.12 Andre relevante kartprodukt	1-62
4.12.1 Uoffisielle bunnkart og «Crowd Sourcing»	1-62
4.12.2 Marine grunnkart og MAREANO	1-62
4.12.3 GEBCO databasen	1-63
4.13 International Hydrographic Organization, IHO	1-63
4.14 Case: Forliset av MS Gudrun Gisladdottir	1-64
4.15 Oppgaver fra kapittel 4	1-65
4.16 Ressursside for kapittel 4	1-66

5 Hjelpemidler og symbolbruk i kartarbeid 1-67

5.1 Symbolbruk ved føring av bestikk	1-68
5.2 Bruken av kartet	1-68
5.3 Navigasjonskikkerten	1-72
5.4 Oppgaver fra kapittel 5	1-73
5.5 Ressurssider for kapittel 5	1-74
5.5.1 Ressurser fra andre nordiske land	1-78

DEL 2 – MERKESYSTEM OG INFRASTRUKTUR

1 Internasjonale merkesystem 2-1

1.1 Ansvar og organisering	2-1
1.2 IALA Maritime Buoyage System	2-4
1.3 Lateralmerker	2-5
1.4 Kardinalmerker	2-7
1.5 Spesialmerker	2-9
1.6 Farledsnormalen	2-10

1.7 Virtuelle merker / V-AtoN/ V-AIS	2-11
1.8 Oppgaver fra kapittel 1	2-13
1.9 Ressursside for kapittel 1	2-14
2 Fyr- og merketeknologi	2-15
2.1 Historikk	2-15
2.2 Fyrsystemets struktur	2-18
2.3 Lyskildene, karakterer og skjerming	2-31
2.3.1 Lysvidde på fyrbelysningen	2-32
2.4 Fyrenes skjerming / sektorer	2-35
2.5 Ny lys- og merketeknologi	2-36
2.6 Landtoning og m�d – innseiling i dagslys og skumring	2-37
2.7 Utst�rsprodusenter og ny teknologi	2-40
2.8 Kystverket – nye tjenester	2-42
2.9 Oppgaver fra kapittel 2	2-43
2.10 Ressursside for kapittel 2	2-44
2.11 Kartsymboler	2-45

DEL 3 – TERRESTRISK NAVIGASJON

1 Kurser og kursrettelse	3-1
1.1 Bestikkregning og kurs	3-1
1.1.1 Retting av kurser	3-3
1.1.2 Middelbreddeseilas	3-8
1.1.3 Kurskobling og bestikkoppg�r	3-11
1.1.4 Benyttede symboler i kartarbeidet	3-12
1.1.5 Utseilt distanse – 6 minuttersregel	3-13
1.2 Avdrift og str�mkobling	3-14
1.3 Voksende seilas (merkatorseilas – loksodrom)	3-22
1.4 Storsirkelseilas og bruk av storsirkelkart	3-25
1.4.1 Sf�risk grunnlag – kurs og distanse	3-26
1.4.2 Vertexberegning	3-28
1.4.3 Storsirkelens skj�ring med ekvator	3-30
1.4.4 Storsirkel via mellompunkt	3-30
1.4.5 Sammensatt seilas	3-31
1.4.6 Bruk av gnomoniske kart (storsirkelkart)	3-32
1.4.7 Beregning av storsirkelens mellompunkter	3-34
1.4.8 Kursfor�ndring ved storsirkel- og kordeseilas	3-36
1.4.9 Eksamensoppgave – eksempel	3-37
1.5 Kurser og distanser p� ellipsoiden	3-39

1.6 Grid-navigasjon	3-39
1.7 Elektroniske hjelpemidler for beregninger	3-40
1.8 Tidsregning og datolinje	3-41
1.9 Oppgaver fra kapittel 1	3-44
1.10 Ressursside for kapittel 1	3-47

2 Stedlinjer og stedbestemmelse

2.1 Peiling	3-49
2.2 Krysspeiling (samtidig)	3-51
2.3 Avbrutt krysspeiling – medbrakt stedlinje	3-51
2.4 Firestrekspeiling	3-53
2.5 M�d, overetter og fyrsektorer	3-54
2.6 Passeringsavstand	3-58
2.7 Vinkelperiferilinj�	3-62
2.8 Dybdekoter som stedlinjer	3-62
2.9 Avstandsm�ling	3-63
2.9.1 Fyr over horisonten	3-63
2.9.2 Avstand ved hjelp av vinkelm�ling	3-63
2.9.3 Optiske avstandsm�lere og radar	3-64
2.10 Treveisfix	3-64
2.11 Usikkerhet ved optiske stedlinjer	3-65
2.12 Trange farvann	3-65
2.13 Losnavigasjon og loslekse	3-68
2.13.1 Loslekse	3-68
2.13.2 Oppbygging og format	3-68
2.13.3 Prinsipper og begrep	3-69
2.13.4 Metodikk	3-70
2.13.5 Seilasbeskrivelse	3-71
2.13.6 Friseilinger	3-71
2.13.7 Praktisk seilas	3-73
2.14 Oppgaver fra kapittel 2	3-77
2.15 Ressursside for kapittel 2	3-78

3 Feilteori på stedlinjer

3.1 Definisjoner	3-81
3.1.1 Forskjellige typer feil	3-82
3.1.2 Praktisk anvendelse av feilteori	3-87
3.2 Oppgaver fra kapittel 3	3-90

DEL 4 – ASTRONOMISK NAVIGASJON

1 Universet og astronomiske grunnbegrep	4-1
1.1 Himmellegermer for astronomisk navigasjon	4-1
1.2 Koordinatsystemet	4-3
1.3 Himmellegemets tilsynelatende bevegelse	4-7

2 Høydemåling med sekstant 4-10

2.1 Sekstanten	4-10
2.1.1 Justeringer og feil	4-10
2.2 Korreksjon av målt høyde	4-11

3 Astronomiske observasjoner 4-14

3.1 Høydeformelen	4-16
3.2 Observasjonstidspunkt	4-17
3.3 Observasjon av solen	4-18
3.3.1 Solen i meridianen	4-18
3.3.2 Solen utenfor meridianen	4-20
3.4 Observasjon av stjerner	4-23
3.4.1 En komplett observasjon med to stjerner	4-23
3.4.2 Eksempel på bruk av navigasjonskalkulator	4-25
3.4.3 Observasjon av ukjent stjerne	4-25
3.5 Observasjon av planeter	4-26
3.6 Observasjon av månen	4-27
3.7 Observasjon av Polstjerna – Polaris	4-29
3.8 Opp- / nedgang og kontroll av kompass	4-30
3.9 PC-program for astronomiske observasjoner - NavPac	4-35
3.9.1 Observasjonstidspunkt (opp- og nedgang) og kompass kontroll	4-35
3.9.2 Elektronisk stjernekart	4-36
3.9.3 Beregning av observasjoner	4-36
3.9.4 Almanakkfunksjoner	4-38
3.9.5 Forskjellige innstillinger	4-38
3.9.6 Kursberegning og ruteplanlegging med NavPac	4-38
3.10 Epilog – astronomiske navigasjonsmetoder før sekstanten og almanakken	4-39
3.11 Oppgaver fra del 4	4-42

DEL 5 – VEDLEGG a-1

1 Trigonometrisk grunnlag a-1

2 Feilteori – statistisk grunnlag a-7

3 Kjeglesnitt a-17

4 Tabeller a-21

Tab. 4.1 Utvidet forandret bredde	a-21
Tab. 4.2 Geografisk lysvidde for fyr	a-23
Tab. 4.3 Faktor for å finne avstand til peilet objekt	a-24

Tab. 4.4 Utdrag fra daglige sider i nautisk almanakk (NA)	a-25
Tab. 4.5 Utdrag fra interpolasjonstabeller for tid og korreksjoner fra NA	a-35
Tab. 4.6 Korreksjonstabell for Polaris fra NA	a-39
Tab. 4.7 Høydekorreksjoner for sol, stjerner og planeter fra NA	a-40
Tab. 4.8 Høydekorreksjon for månen fra NA	a-42
Tab. 4.9 Høydekorreksjon for atmosfæriske forhold fra NA	a-43
Fig. 4.1 Stjernekart for nordlige halvkule fra NA	a-44
Fig. 4.2 Stjernekart for sydlige halvkule fra NA	a-45

5 Andre vedlegg a-46

Fig. 5.1 Skjerm spesifisering for noen fyr og lykter	a-46
Tab. 5.1 Kompasskurser i grader og streker (norsk)	a-50
Tab. 5.2 Kompasskurser i grader og streker (engelsk)	a-51
Tab. 5.3 Deviasjonstabell	a-52
Tab. 5.4 Morsealfabetet	a-53
Fig. 5.2 Universal plotteskisse 1	a-54
Fig. 5.3 Universal plotteskisse 2	a-55
Fig. 5.4 Norske farvannsskilt	a-56
Tab. 5.5 Distansetabeller	a-57

6 STCW-referanser a-58

7 Løsningsforslag til øvingsoppgaver a-67

Litteratur og referanseliste a-85

Stikkordsregister a-87

Forord

Oppdatert og moderne litteratur som dekker alle navigasjonsmodulene i både Maritim Høgskoleutdanning (BSc) og Fagskolene, har lenge vært savnet i Norge. På feltet elektronisk navigasjon, som var det mest presserende, ble det derfor midt på 1990-tallet startet en prosess med en oppdatering. Boken *Elektroniske og Akustiske navigasjonssystemer* for maritime studier ble utarbeidet. Den 7. utgaven (2022) av denne er nå tilgjengelig (engelsk versjon kan også skaffes via NTNU). Videre ble boken *Fremføring av skip med navigasjonskontroll* (2008) utgitt for å dekke de mer operasjonelle sidene ved navigasjon. Den 5. utgaven (2021) er nå tilgjengelig. Det som da sto igjen for å dekke hele fagspekteret i navigasjon var en oppdatert bok i den mer klassiske og grunnleggende navigasjonen (inkl. kystnavigasjon), noe denne boken er tenkt å bidra til. Den første utgaven kom ut i 2010. Ved NTNU i Ålesund vil de tre bøkene i store trekk dekke de teoretiske delene av fagene Navigasjon 1, 2, 3 og 4 (STCW-kodens navigasjonsfunksjon, samt relevante kapitler i kodens B-del). I tillegg kommer egne opplegg knyttet til simulatorøvinger. Bøkens referanse til STCW er tatt med bakerst i boken. Det er videre tatt høyde for å dekke de skjerpede kravene som er skissert i EU-direktiv 2019/1159, også kalt *European Maritime Diplomas of Excellence*.



Det er lagt vekt på å gi en bred innføring og dekke kravene som er beskrevet i STCW-konvensjonen (inkl. 2012 revisjon) slik at boken også passet Teknisk Fagskole godt da denne ble toårig fra 2020. Stoffet er forsøkt tilrettelagt for de mest relevante fartøygruppene som opererer fra Norge, og har spesielt fokus på krevende kystnavigasjon. Sammen med de to tidligere bøkene vil også tema knyttet til kurs for *Kadettfarledsbevis* være dekket. I de fleste norske navigasjonsmiljø har det vært en rådende oppfatning at astronomisk navigasjon ikke lenger er relevant. Dette er også underbygget ved at det ikke lenger er påbudt å ha sekstant om bord i skipene. Sammen med Sjøfartsdirektoratet har vi derfor jobbet mot IMO for å redusere dette i den obligatoriske delen av STCW-konvensjonen. Selv om revisjoner av konvensjonen har gjort pensum i astronomisk navigasjon vesentlig mindre omfattende har det i skrivende stund ikke vært mulig å få fjernet temaet helt. Del-4 i boken er derfor tilegnet astronomisk navigasjon med et omfang som burde være godt dekkende for et minimumskrav, inkludert bruk av astronomiske metoder som redundans under oversjøiske seilaser. I en del eldre litteratur har tidevannsberegning blitt sett i sammenheng med den terrestriske delen av navigasjon. Jeg har imidlertid funnet det mest naturlig å knytte tidevannet til en mer komplett beskrivelse av havmiljøet som er å finne i del-3 i *Fremføring av skip med navigasjonskontroll*. Innimellom teksten i boken er det satt inn lyseblå tekstbokser der f.eks. kommentarer til navigasjonshistorie eller moderne navigasjonsinstrumenter kan være referert til. I denne utgaven er det videre gjort plass til en liten oppsummering bak hvert kapittel, kalt ressursider. I likhet med de andre bøkene benyttes punktum (.) som desimalskilte, mens komma (,) eller mellomrom benyttes som tusenskilte. Dette er i samsvar med det som er mest vanlig i engelsk litteratur.

I likhet med de to foregående bøkene er det lagt opp til jevnlig oppdateringer for å åpne for faglig utvikling og modernisering. For å lette dette arbeidet er derfor innholdet ordnet i fem separate deler:

- Del 1 beskriver i hovedsak koordinat og kartlære, og teori i forbindelse med dette. Herunder kommer en grundig gjennomgang av jordens form og metoder for å avbilde denne.
- Del 2 beskriver fyr- og merkesystemet langs kysten. Selv om dette er en del av et internasjonalt IALA-regime er det først og fremst lagt vekt på norske forhold. Da det er stadig mer utvikling innen elektronisk navigasjon er det derfor viktig å relatere emner med beskrivelser i *Elektroniske og Akustiske navigasjonssystemer*.
- Del 3 omhandler i sin helhet terrestriske navigasjonsmetoder som stedbestemmelse og forskjellige former for kursberegninger.

- Del 4 er viet den astronomiske navigasjonen. Siden man her også har hatt mulighet for bruk av mer moderne metoder, samtidig som den sikkerhetsmessige betydningen er redusert, er det lagt vekt på bruk av elektroniske beregningsmetoder. Selv om det forventes en fremtidig reduksjon av betydningen i STCW-konvensjonen er omfang forsøkt tilpasset dagens krav.
- Del 5 er å betrakte som et vedlegg hvor relevante eksempel på tabeller og almanakker er tatt med. Her finnes også en del formler og matematisk grunnlagsmateriale. Dette for å lette arbeidet med oppgaver. Her er det også laget en tabell for enklere referanse til STCW-konvensjonen. Bakerst finnes også løsningsforslag til alle oppgavene i boken.

I denne 5. utgaven av boken er det blitt luket ut noen tidligere småfeil, samt at det lagt inn noen oppdateringer både i tekst, figurer, oppgaver og vedlegg.

For lærere eller andre som ønsker å benytte boken i undervisning kan filene med alle de oppdaterte figurene leveres fra forfatteren i Powerpoint format. Det er av denne grunn lagt vekt på å ha med forholdsvis mange figurer og bilder. Oppgavene som er laget etter hvert kapittel er ment som kontroll ved selvstudie eller som utkast til lærere som vil benytte boken. Jeg tar også imot innspill og eventuelle korreksjoner som kan tas med i neste utgave med takk.

Utarbeidelsen av mye av stoffet er basert på egne erfaringer og samtaler med seilende på en rekke forskjellige skip. Dette har bl.a. vært mulig ved at en del rederier har latt meg mønstre på i kortere perioder. Her vil jeg spesielt takke rederiene Murmansk Shipping Company, Fednav, Ugland Shipping, Farstad Shipping, Kystvaktskvadron Nord, Høegh LNG, Wilhelmsen Walenius, Siem Offshore, Viking Supplyships v. Andreas Kjøl, Ponant og Hurtigruten. Nær kontakt med Kystverket, Sjøkartverket, den svenske Sjøfartsstyrelsen, Statoil, Rolls-Royce (nå Kongsberg) og Ulstein Verft har også vært meget nyttig. En spesiell takk også til Guttorm Tomren, Odd-Sveinung Hareide og losdirektør Erik Blom i Kystverket bl.a. for oppdraget med å bidra til *Navigasjon for lostjenesten* (2021) – stoff som også er blitt med i denne utgaven av Navigasjon. En stor takk også til kollegaer ved Høgskolen i Ålesund (nå NTNU), Nord Universitet, Fagskolene i Møre og Romsdal og Nordland samt Sjøkrigsskolen og andre maritime skoler som har kommet med nyttige innspill. Takk også til Anne som har bidratt til korrektur og kritiske spørsmål.

Lykke til med studiene!

NTNU / Fagskolen i Ålesund, mai 2024

Norvald Kjerstad

norvald.kjerstad@kjerby.no

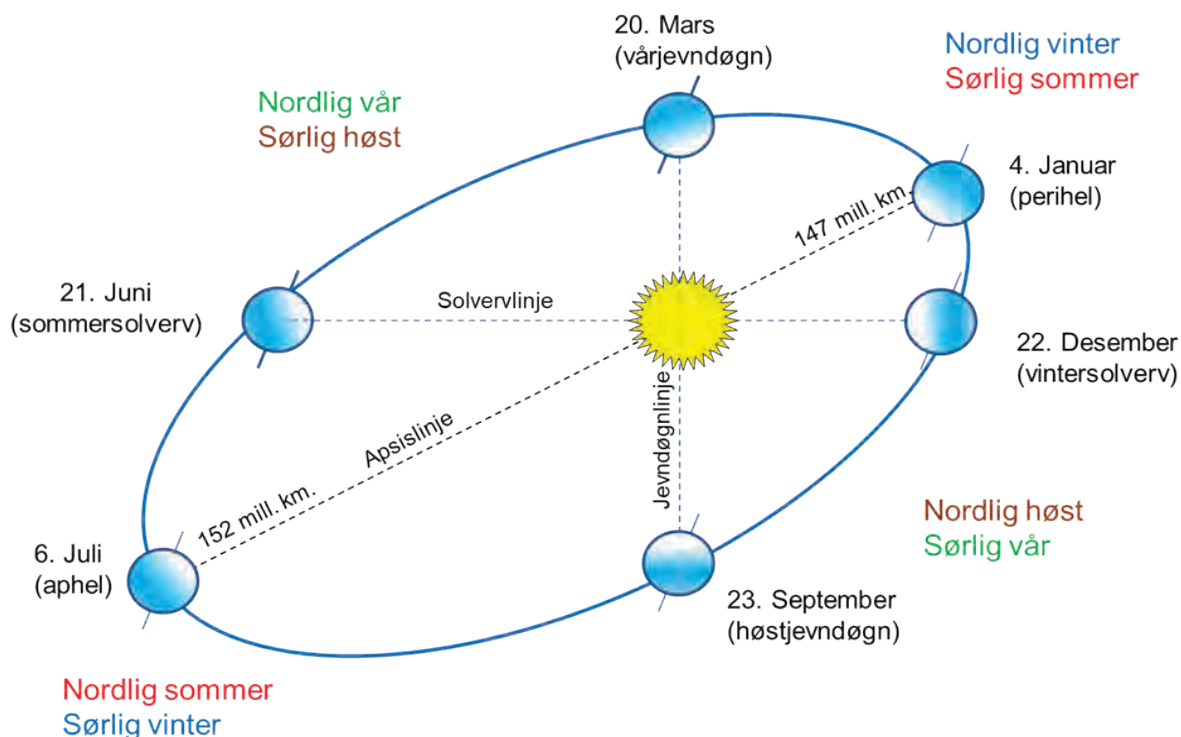
Del 1

Koordinat- og kartlære

- Jordens form
- Geodetisk grunnlag og datum
- Kartprosjeksjoner
- Sjøkartet
- Hjelpemidler og symbolbruk

Litt historikk

Det er kanskje en myte at man før trodde jorden var flat. Allerede i den norrøne læreboken i navigasjon, Rim-II, fra 1200-tallet ble det argumentert for at jorden måtte være rund / krum. Det beskrives der at et havnermerke vil synke i horisonten når man seiler bort fra havnen. Men om man klatrer opp i masten vil merke komme til syne igjen.



Noen hundrede år f.Kr. innså vitenskapsfolk at jorden måtte være en kule (*sfæroide*) med en gitt størrelse, og som beveget seg rundt solen. Omkrets og radius ble forbløffende godt beregnet. I mange kulturer ble himmellegemes bevegelser nøye studert, og i Norden er dansken Tycho Brahe (1546 – 1601) kjent som grunnleggeren for den moderne astronomien. Hans elev, Johannes Kepler (1571 – 1630), utviklet lovene for planetenes (og senere satellittenes) bevegelse.

I 1687 lanserte Isac Newton teorien om at jorden, på grunn av rotasjonen, måtte være litt flatklemmt ved polene. Dette ble relativt raskt påvist som riktig, og man gikk over til å betrakte jorden som en *ellipsoide* med dimensjoner gitt av store halvakse og flattrekning. I vanlig navigasjon er det oftest tilstrekkelig nøyaktig å betrakte jorden som en kule.

Med moderne satellittbaserte målemetoder har man i dag svært nøyaktige målinger av jorden. Disse viser at man har regionale avvik fra en eksakt matematisk ellipsoide på opptil +/-100m. Denne litt ujevne formen av jorden kalles *geoiden*. På havet sammenfaller denne med middelvannstanden. I avansert navigasjon, posisjonering og geodesi er det avgjørende å benytte jordens eksakte dimensjon basert på ellipsoiden og geoiden.

1 Jordens form

Menneskene som levde før de store oppdagelsenes tid hadde liten innsikt i jordens form. Dette til tross for at jordkrumningen relativt lett kunne observeres ved at skip og øyer forsvant under horisonten på lang avstand. Grekerne antok tidlig at jorden hadde kuleform (se tekstboks) men dette ble ikke bevist før på 1500-tallet. Det er dessuten godt dokumentert at også vikingene antok at jorden hadde en kuleform. I 1670 lyktes man i Frankrike ved hjelp av målinger å beregne jordradien relativt nøyaktig. Dette var samtidig som den engelske matematikeren Isaac Newton (1642–1726) arbeidet med gravitasjonsteoriene. Newton mente også at jorden måtte ha en viss flattrykning ved polene som følge av rotasjonen. Noe tidligere hadde man også observert at en pendel svingte noe saktere i Cayenne (5° nord) enn i Paris (49° nord), hvilket også var en indikasjon på en viss flattrykning ved polene. I første halvdel av det 18. århundre ble det sendt ut to måleekspedisjoner fra Frankrike for å finne ut mer om jordens form. Den ene reiste til Peru og den andre til Lappland. En fant da ut at en breddegrad er lengre i Lappland enn i Peru, noe som støttet hypotesen til Newton og var et nytt bevis for at jorden dreiet om sin egen akse.

1.1 Koordinater og referansesystem for navigasjon

I dette kapitlet vil vi først gå gjennom de viktigste begreper i forhold til konvensjonell navigasjon, nemlig å betrakte jorden som en kule. Lengre ut vil vi komme inn på mer komplekse sammenhenger som er viktig i ekstremt nøyaktig navigasjon og posisjonering av skip. Man vil da betrakte jorden som en noe flattrykt kule (ellipsoide). Legg allerede nå merke til at begrepene navigasjon og posisjonering benyttes forskjellig. Navigasjon benyttes i forhold til stedfesting under konvensjonell seilas med skip. Nøyaktigheten man da arbeider innenfor er gjerne i størrelsesorden 50 - 100 meter eller noe mer på åpent hav. Begrepet posisjonering benyttes gjerne når nøyaktigheten og marginene er fra noen cm til noen få meter, eksempelvis i DP-operasjoner, survey og kartlegging.

Som nevnt betrakter vi jorden som en kule (sfæroide) som i løpet av et døgn roterer 360° om en akse som går gjennom geografisk nordpol og geografisk sydpol. Størrelsen betraktes til å være:

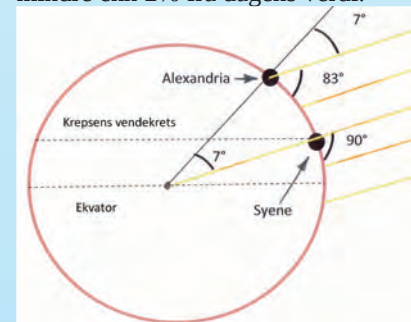
- Diameter ved ekvator: ca. 12 756km
- Polardiameter: ca. 12 714km
- Omkrets ved ekvator: ca. 40 075km

I tidligere tider var definisjonen på en meter lik 1/10 000 000 del av avstanden fra ekvator til Nordpolen langs en meridian. Følgelig skulle denne avstanden være nøyaktig 10 000 000m (omkrets = 40 000 000m). Nå betraktes dette som litt unøyaktig.

Ekvator (eng.: *equator*) er definert som skjæringslinjen til jordoverflaten til et plan som står perpendikulært på jordaksen midt mellom de to polene (fig. 1.1).

Den greske matematikeren og astronomen **Eratosthenes** (ca. 276 f.Kr. - ca. 194 f.Kr.) er kjent for sine beregninger av jordas omkrets. Han hadde opplysninger om at i Syene (ca. 23°N), syd i Egypt, sto sola slik på himmelen ved sommersolverv at en stolpe ikke kastet skygge, og sollyset ble reflektert av vannet i dype brønner. I Alexandria (ca. 31°N), hvor Eratosthenes da jobbet som bibliotekar, var det skygge midtsommers. Han konkluderte da med at jorda måtte være rund – noe Pythagoras (570–500 f.Kr.) hadde antatt 300 år tidligere.

Gjennom nøyere studier av skyggens lengde og avstanden mellom byene (han leide en mann å skritte opp), kom han frem til at jordas omkrets var 252 000 *stadier*. Tallet ble noe tilpasset for å være delelig på 60. Lengden av en stadie er ikke sikkert kjent, men en antar at den tilsvarer 600 greske fot, som tilsvarer 157 meter. Er dette riktig, er Eratosthenes' verdi for jordens omkrets 39 250km. Dagens verdi er 40 008 kilometer (over polene), og dette viser at Eratosthenes' verdi lå mindre enn 2% fra dagens verdi.



Husk! Avstanden mellom ekvator og polene er tilnærmet 10 000 000m. Lenge var definisjonen på en meter derfor 1 / 10 000 000 av polavstanden. Omkretsen blir dermed tilnærmet 40 000 000m. Altså enkle tall å huske for å kjenne til jordas dimensjoner.

Det er tallsystemet til Sumererne (3500 – 2270 f.Kr.) som ligger til grunn for jordens inndeling i 360 lengdegrader og 180 breddegrader. Systemet var basert på tallet 60 som er delelig med hele 11 tall (1, 2, 3, 4, 5, 10, 12, 15, 20, 30 og 60), noe som gjør det lett å lage mindre enheter. Grekerne astronomer beholdt systemet, noe som har bidratt til at det nyttes fortsatt (Berg, 2017).

Avstanden til de to polene vil følgelig være lik langs hele ekvator. Ekvator deler jorden i den *nordlige- og sydlige halvkule*. Ekvator danner også en såkalt storsirkel.

1.1.1 Storsirkler og småsirkler

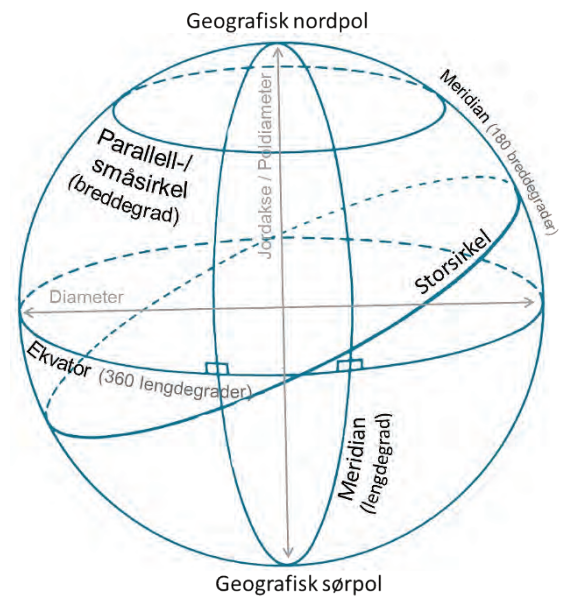
En *storsirkel* formes av skjæringslinjen på jordoverflaten av et plan som går gjennom jorden sentrum. I likhet med ekvator vil alle slike storsirkler dele jorden i to like store deler. Som vi senere vil beskrive er beregning av storsirkler av stor betydning innen navigasjon. Skjæringslinjer av plan som ikke går gjennom jordens sentrum kalles *småsirkler*. En småsirkel vil alltid være mindre enn en storsirkel og kan i enkelte tilfelle være av betydning for praktisk navigasjon (ref. fig. 1.1).

1.1.2 Parallelsirkler og meridianer

Visse storsirkler og småsirkler er av spesiell interesse for navigasjon. En *parallelsirkel* (eng.: *parallel*) er definert av et plan som er parallelt med ekvator. En gitt parallelsirkel vil derfor kunne definere hvor langt vi befinner oss nord eller syd for ekvator – altså hvilken *breddegrad* (eng.: *latitude*) vi befinner oss på. *Meridianer* eller *lengdegrader* (eng.: *meridian, longitude*) er skjæringslinjene av et plan som både går gjennom jordens sentrum og begge polene (fig. 1.1). Meridianene vil følgelig alle være storsirkler. Legg da merke til at alle parallelsirkler og meridianer vil være perpendikulære og følgelig skjære hverandre med en vinkel på 90° . Legg også merke til at parallelsirklene i motsetning til meridianene vil ha innbyrdes lik avstand. Forståelsen av dette er bl.a. av stor betydning for måling av distanser i nautiske kart.

1.1.3 Vendesirkler og polarsirkler

Innen nautikken og spesielt knyttet til astronomisk navigasjon har det betydning å kjenne solens bevegelse. Jordaksens helningsvinkel i forhold til banen rundt solen er ca. 23.5° (nærmere bestemt $23^\circ 26' 21.4''$ i år 2000) (ref. fig. 1.3, del-4). Dette vil innebære at solens høyde (og deklinasjon) vil variere med årstidene. Områder hvor man kan ha midnattssol begrenses av *polarsirklene*. Disse vil ligge på ca. 66.5° ($90^\circ - 23.5^\circ$) nord eller syd. På den nordlige halvkule vil vi om sommeren kunne se solen over horisonten hele døgnet – den er *cirkum polar*. Dette medfører f.eks. at vi på Nordpolen har et spesialtilfelle med midnattssol fra vårjevndøgn til høstjevndøgn. Resten av året er solen under horisonten. *Vendesirklene* / *vendekretsene* finner vi på ca. 23.5° nord eller syd for ekvator. De betegnes ofte som grensene for tropene og avgrenser områdene hvor solen kan ha en høyde på 90° (i senit). Ved middagstid midtsommers vil altså solen stå i senit på $N23^\circ 30'$ (23.5°). Betegnelsene Krepsens (nord) og Steinbukkens (syd) vendekrets benyttes for tilsvarende breddeparalleller på himmelkula hvor solens bane snur (fig. 1.2).

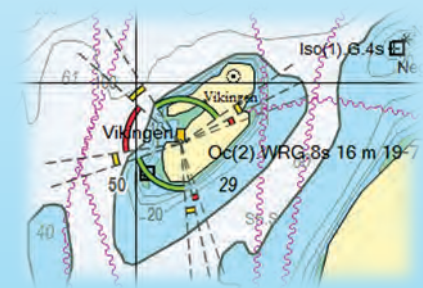


Figur 1.1

Illustrasjon av storsirkler, meridianer og parallelsirkler. Totalt er jorden inndelt i 360 lengdegrader (180° vest + 180° øst) og 180 breddegrader (90° nord + 90° syd).

Polarsirkelen

Når du passerer polarsirkelen i skipsleden like nord om Nesna vil du kunne se monumentet tydelig på den lille holmen Vikingen. Bredden er $N 66^\circ 32'$. I virkeligheten vil det eksakte stedet for polarsirkelen flytte seg litt som følge av jordaksens bevegelse (fig. 2.6). Bevegelsen nå er ca. 14m nordover pr. år.



1.1.4 Geografiske koordinater – lengde og bredde

For å kunne definere en posisjon på jordoverflaten (terrestriske koordinater) er det innen nautikken mest vanlig å benytte et rutenett eller koordinatsystem bestående av parallellsirkler og meridianer. Posisjonen vil dermed bli gitt som et vinkelmål i forhold til jordens sentrum og som vanligvis beskrives som breddegrader (eng.: *latitude*) og lengdegrader (eng.: *longitude*).

Breddegradene defineres som en vinkel mellom 0° og 90° nord eller syd for ekvator (fig. 1.3). Syd for ekvator kalles det sydlig bredde (S) og nord for ekvator kalles det nordlig bredde (N). Bredden oppgis vanligvis som grader, minutter og desimalminutter (eks. N $62^\circ 35.500'$) alternativt kan også sekunder og desimalsekunder bli brukt (eks. N $62^\circ 35' 30.0''$). Vanlige forkortelser for breddegrad er: b, br., lat. eller ϕ . Foruten elektronisk bestemmelse kan breddegraden relativt enkelt bestemmes ved hjelp av observasjon av solens høyde over horisonten, på sitt høyeste.

Lengdegradene er definert av **meridianene**, og da referert i forhold til en referansemeridian (0-meridianen) (fig. 1.3). Når man skal beskrive lengdegraden til et sted kalles denne ofte *stedets meridian*. Opp gjennom tidene har flere land benyttet lokale referansemeridianer og kartene kunne dermed ha flere lengdegradskalaer. I dag er det vanlig i alle land å benytte meridianen som går gjennom Greenwich-observatoriet i London som referanse. Denne meridianen kalles gjerne Greenwich-meridianen eller 0-meridianen (eng.: Prime Meridian). Lengdegradene blir dermed oppgitt som en vinkel øst eller vest for Greenwich. Østlig lengde går fra 0-meridianen og 180° østover, mens vestlig lengde går 180° vestover. Legg merke til at distansen mellom meridianene som representerer et vinkelmål vil avta fra å være lik en breddegrad ved ekvator til 0 ved polene. Lengden oppgis vanligvis som grader, minutter og desimalminutter (eks. E $006^\circ 35.500'$) alternativt kan også sekunder og desimalsekunder benyttes (eks. E $006^\circ 35' 30.0''$). Vanlige forkortelser for lengdegrad er: l, lgd., long. eller λ . Normalt benyttes engelske prefikser E og W for definering av øst og vest.

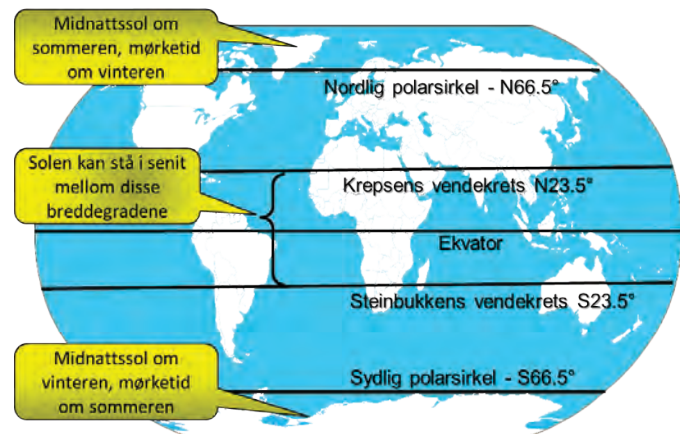
I dag kan lengdegraden relativt enkelt observeres ved hjelp av satellittnavigasjon (GNSS), men i tidligere tider var det relativt komplisert å beregne lengdegraden ved hjelp av astronomiske observasjoner. Oppfinnelsen av kronometeret revolusjonerte imidlertid beregning av lengdegraden (ref. del-4).

Utsetting av posisjon i kartet er vist på figur 1.4. Eksempel på en posisjonsangivelse med geografiske koordinater kan være:

N $62^\circ 38.123'$ / E $006^\circ 18.789'$ (vanligste format i sjøkart)

Med grader, minutter, sekunder og desimalsekunder blir dette:

N $62^\circ 38' 07.38''$ / E $006^\circ 18' 47.34''$



Figur 1.2
Vendesirkler og polarsirkler
gitt av jordaksens helning og
solens bevegelse på
himmelskula.

Satellitnavigasjon (GNSS / GPS)

Bredde- og lengdegrader kan leses direkte ut fra en GNSS-mottager. Mest kjent er det amerikanske GPS-systemet, men russiske GLONASS, europeiske Galileo og kinesiske BeiDou virker på samme måte og er kompatible. Etter IMO-terminologi benyttes WWRNS (World Wide-Radionavigation System). Alle systemene beregner sin posisjon ut fra signaler fra minst fire satellitter. Satellitten sender informasjon om sin egen posisjon, samt informasjon om svært nøyaktig tid. Mottageren på skipet måler tiden signalet bruker fra satellitten til mottageren. Når man så vet nøyaktig hastighet på signalet (ca. 300 000 km/s) kan man beregne avstanden til satellitten. Følgelig har man da minst fire kjente avstander til kjente punkt i rommet (satellittene), og man kan beregne vår posisjon på jorden. Selv med relativt rimelige mottagere kan vi dermed kjenne vår posisjon med noen få meters nøyaktighet. Posisjon kan settes ut i kartet eller overføres direkte til et elektronisk kart (ECDIS). For detaljer se *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer* (Kjerstad, 2022).



Overgangen fra desimalminutter til sekund og desimalsekund kan beregnes ved å sette opp forholdet:

$$123/100 = X/60 \text{); } X = (123 \times 60)/100 = 7.38''$$

Selv om formatet blir lite benyttet i nautiske sammenhenger kunne også samme posisjon skrives som desimalgrader (ofte benyttet i mobiltelefoner etc.):

N 62.6353° / E 006.3132°

Forholdene er da:

$$1^\circ = 60' = 3600''$$

1' (breddeminutt) = 1nm = 1852m (tilnærmet ett lengdeminutt på ekvator)

$$0.1' = 185.2\text{m}$$

$$0.01' = 18.52\text{m}$$

$$0.001' = 1.852\text{m}$$

$$0.0001' = 18.52\text{cm}$$

$$1' = 1/60 \text{ grad); } 0.1^\circ = 0^\circ 06'$$

Legg merke til at vi må benytte N, S, E eller W for å gjøre koordinatangivelsen entydig. I stedet for bokstaver vil kalkulatorer og dataprogram normalt bruke minus (-) for S og W. Relevante taster på kalkulator er vist på figur 1.11)

1.1.5 Forandret lengde og bredde

Når vi skal beregne avstand og retning mellom to steder på jorden må vi kjenne forandret lengde og bredde (fig. 1.5). **Forandret lengde** (l_f , eng.: *difference of longitude*) betraktes som lengdeforskjellen mellom de to stedene, eller stykket av ekvator mellom de to steders meridianer. Begrepet måles i grader og minutter og regnes alltid korteste vei. Er det ene stedet på øst og det andre stedet på vest lengde får vi forandret lengde ved å legge lengdene sammen. Blir summen da over 180° må vi trekke denne fra 360°. Er begge stedene på øst eller vest lengde får vi forandret lengde ved å trekke dem fra hverandre. Vi sier gjerne at den forandrede lengde er østlig når vi seiler østover og vestlig når vi seiler vestover. Stedet vi seiler fra kalles **avfarende lengde** (l_a) og stedet vi seiler til kalles **påkommende lengde** (l_p).

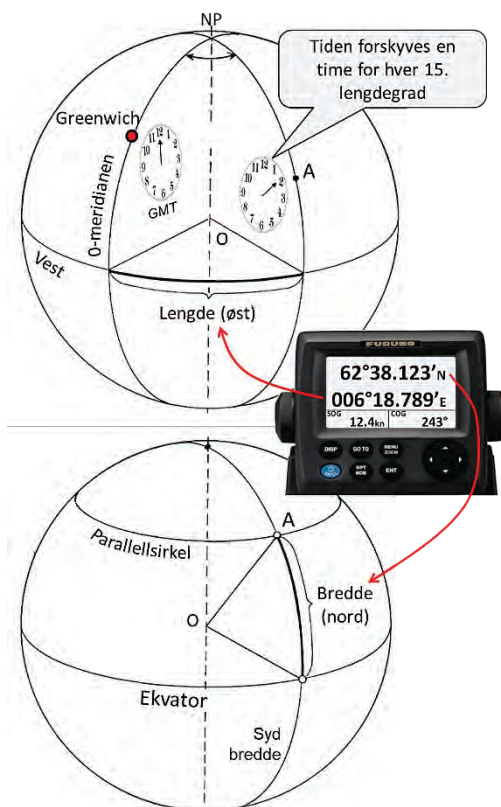
Eksempel:

Seiler vi for eksempel fra Færøyene (N61°21.0' / W 006°40.0') til Lofoten (N67°38.0' / E 012°35.0') får vi følgende (fig. 1.5):

$$\begin{aligned} l_a &= W006^\circ 40.0' \\ +l_p &= E012^\circ 35.0' \\ =l_f &= E019^\circ 15.0' \quad (18^\circ 75') \end{aligned}$$



Legg her merke til at når vi summerer bueminuttene til mer en 60' så trekker vi fra 60 og legger til en hel grad. Hadde vi i eksemplet heller seilt vestover til Island (W 020°19.0') hadde regnestykket blitt:



Figur 1.3

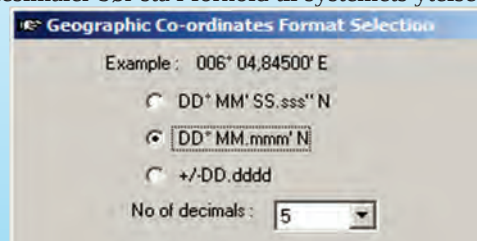
Lengdegrader og breddegrader. A's bredde er gitt ved vinkel langs meridianen fra ekvator til stedets parallelsirkel. Lengden er gitt av vinkel mellom 0-meridianen og stedets meridian. Posisjon kan eksempelvis være gitt på en GPS som vist i figuren, eller bli tatt ut fra et sjøkart. Formatet på posisjonen kan oftest velges i egne menyer i mottageren.

Format på posisjon

kan på mange systemer velges av operatøren:

- Desimalgrader
- Desimalminutter (vanligst i sjøkart)
- Desimalsekunder

Det kan også være valg for hvor mange desimaler som skal vises. Vær bevisst på at antall desimaler bør stå i forhold til systemets ytelse.



$$\begin{aligned}
 l_p &= W020^{\circ}20.0' \text{ (W019}^{\circ}80') \\
 - l_a &= \underline{W006^{\circ}40.0'} \\
 = l_f &= \underline{W013^{\circ}40.0' \text{ (-)}}
 \end{aligned}$$

Tips: For å lette beregningen av minutter og grader kunne man her i stedet for W 020°20' forhøyet til W 019°80' som er akkurat samme vinkel (lengde). Det er praktisk å sette det største tallet øvers, uavhengig av om det er avfarende eller påkommende, men da må man holde greie på om man seiler østover eller vestover.

Forandret bredde (b_f , eng.: *difference of latitude*) blir i prinsippet det samme, og er definert som breddeforskjellen mellom to steder målt langs en meridian mellom de to steders parallellsirkler. Her skiftes imidlertid fortegn ved ekvator, og ikke ved Greenwich-meridianen. Begrepet måles i grader og minutter og regnes alltid korteste vei. Er det ene stedet på nordlig og det andre stedet på sydlig bredde får vi forandret bredde ved å legge breddene sammen. Er begge stedene på nordlig eller sydlig bredde får vi forandret bredde ved å trekke dem fra hverandre. Vi sier gjerne at den forandrede bredden er nordlig når vi seiler nordover og sydlig når vi seiler sydover. Stedet vi seiler fra kalles *avfarende bredde* (b_a) og stedet vi seiler til kalles *påkommende bredde* (b_p).

Eksempel:

Bruker vi igjen eksemplet med seilas fra Færøyene til Lofoten får vi:

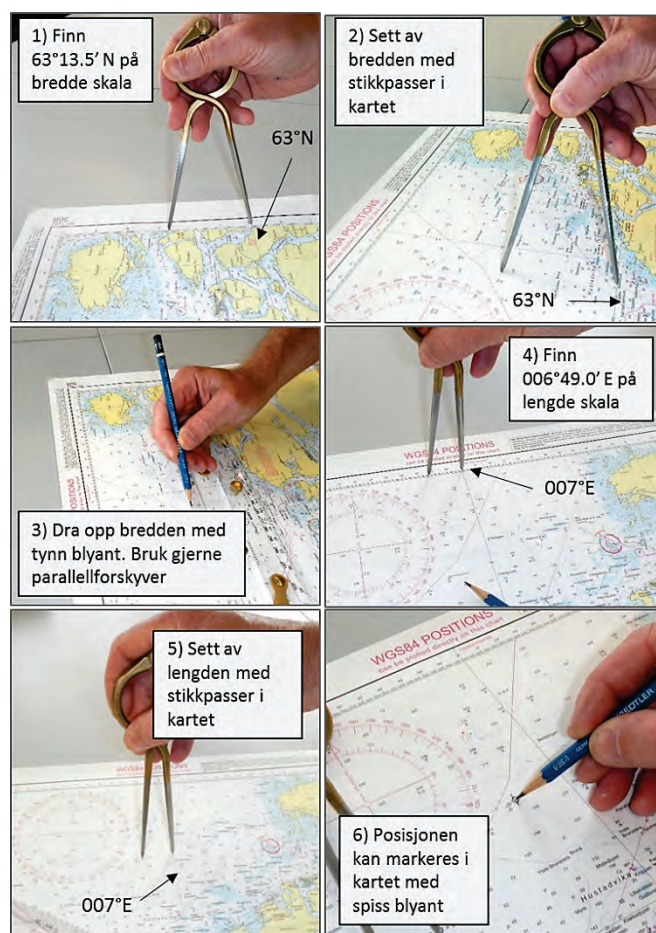
$$\begin{aligned}
 b_a &= N61^{\circ}21.0' \\
 - b_p &= \underline{N67^{\circ}28.0'} \\
 = b_f &= \underline{N 6^{\circ}07.0'}
 \end{aligned}$$

Hadde vi her heller valgt å seile til den Antarktiske Halvøy på S63°00' ville regnestykket blitt følgende:

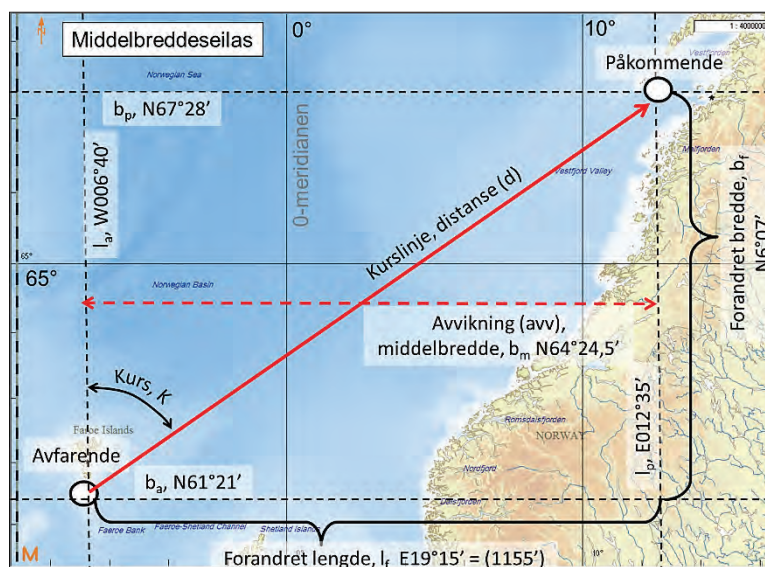
$$\begin{aligned}
 b_a &= N61^{\circ}21.0' \\
 + b_p &= \underline{S63^{\circ}00.0'} \\
 = b_f &= \underline{S124^{\circ}21.0'}
 \end{aligned}$$

1.1.6 Avvikning og forhold mellom ekvator og parallellsirkler

Avstanden i nautiske mil mellom to meridianer langs en parallellsirkel kalles **avvikning** (a, avv). Det som vi tidligere beskrev som forandret lengde (fig. 1.5) vil være konstant fra ekvator til polen, mens tilhørende avvikning gradvis vil avta. På ekvator vil avvikningen lik forandret lengde i bueminutter. Beveger vi oss bort fra ekvator vil avvikningen reduseres etter en trigonometrisk funksjon som fremkommer fra følgende (fig. 1.6):



Figur 1.4
Fremgangsmåte for utsetting av posisjon i et vanlig papirkart (eksempel N 63°13.5' – E 006°49.0').



Figur 1.5
Illustrasjon av forandret lengde og bredde på seilas fra Færøyene (avfarende) til Lofoten (påkommende). Ref. også Middelbreddeseilas i kap. 1.1.2, del-3.

Anta at vi kaller jordens omkrets ved ekvator for E og dens radius for R. Videre anta at parallellsirkelens omkrets er P med tilhørende radius, r. Vi kan da sette opp følgende proporsjon:

$$E / P = 2\pi R / 2\pi r$$

Forkortet blir dette:

$$E / P = R / r$$

Løser vi dette med hensyn på E og P får vi:

$$E = P \frac{R}{r} = P \frac{1}{\frac{r}{R}}$$

$$P = E \frac{r}{R}$$

Fra figur 1.6 ser vi at $r/R = \cos$ til bredden (b). Settes dette inn i ligningene over får vi følgende:

$$E = \frac{P}{\cos b}$$

$$P = E \cos b$$

Vi ser at parallellsirkelens omkrets forholder seg til omkrets ved ekvator dividert på $\cos$ til parallellsirkelens bredde. Samme forholdet får vi om vi tar kun deler av omkretsen med en gitt forandret lengde. Vi får da:

$$l_f = \frac{a}{\cos(\text{parallellsirkelens bredde})}$$

$$a = l_f \cdot \cos(\text{parallellsirkelens bredde})$$

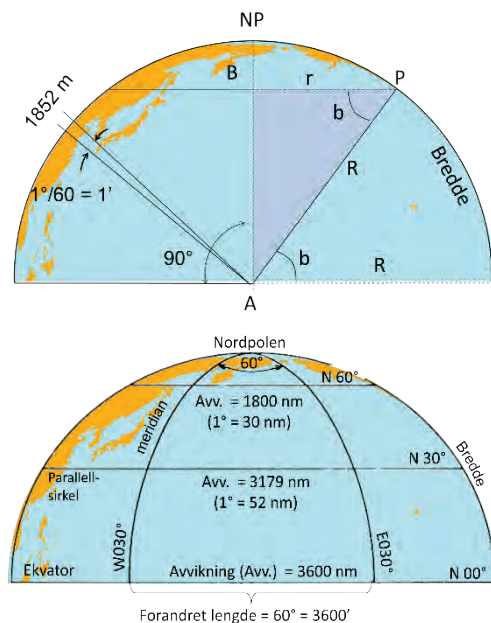
Eksempel:

Anta en forandret lengde på 20° ($1200' = 1200\text{nm}$ ved ekvator). Avvikningen på $N50^\circ30'$ blir da:

$$a = 1200 \cos 50^\circ30' = \underline{763.3\text{nm}}$$

Av dette ser vi at lengdeminuttet ved forskjellige bredder blir:

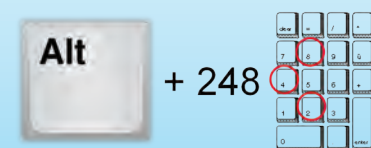
$$\begin{aligned} \text{Ekvator} &= 1852 \cos 0^\circ = 1852\text{m} \\ 30^\circ &= 1852 \cos 30^\circ = 1604\text{m} \\ 60^\circ &= 1852 \cos 60^\circ = 926\text{m} \\ 75^\circ &= 1852 \cos 75^\circ = 479\text{m} \\ 90^\circ &= 1852 \cos 90^\circ = 0\text{m} \end{aligned}$$



Figur 1.6
Sammenheng mellom avvikning og forandret lengde, samt utledningen av denne. Husk at en grad = 60 bueminutter. Ved Nordpolen er avvikningen lik 0. Øverst er også lengden på en nautisk mil vist som et bueminutt langs meridianen = 1852m (ref. kap. 1.2.2).

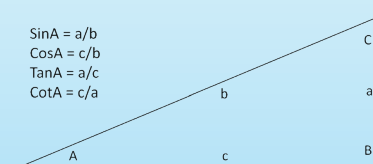
Nyttig tips:

For å skrive grad-tegnet ($^\circ$) på PC taster du Alt + 248. Dette er ASCII-koden for grad-tegnet.



Trigonometriske funksjoner

er nyttig å kunne på fingrene når man gjør nautiske beregninger. For mer detaljer om dette, se vedlegg 1.



Av og til benyttes begrepet *secans*. Dette er $1/\cos$.

1.1.7 Middelbredde

Parallelsirkelen som ligger midt mellom avfarende og påkommende bredde kalles middelparallellen eller *middelbredden* (b_m). Denne størrelsen har betydning for beregninger i det som vi senere skal komme inn på som middelbreddeseilas. Middelbredden kan enten finnes ved å legge sammen breddene og dele på to når begge steder er på samme halvkule. Er stedene på forskjellig halvkuler, kan bredden trekkes fra hverandre og forskjellen divideres med to. Alternativt kunne vi gå veien om halvparten av forandret lengde og legge til / trekke fra avfarende bredde.

Eksempel:

Bredden som fra seilasen fra Færøyene til Lofoten i kap. 1.1.5:

$$\begin{aligned} b_a &= N61^{\circ}21.0' \\ + b_p &= \underline{N67^{\circ}28.0'} \\ = \text{Sum} &= 128^{\circ}49.0' \\ b_m &= \underline{N 64^{\circ}24.5'} \quad (\text{Sum} / 2) \end{aligned}$$

For eksempelet fra Færøyene til Antarktis får vi:

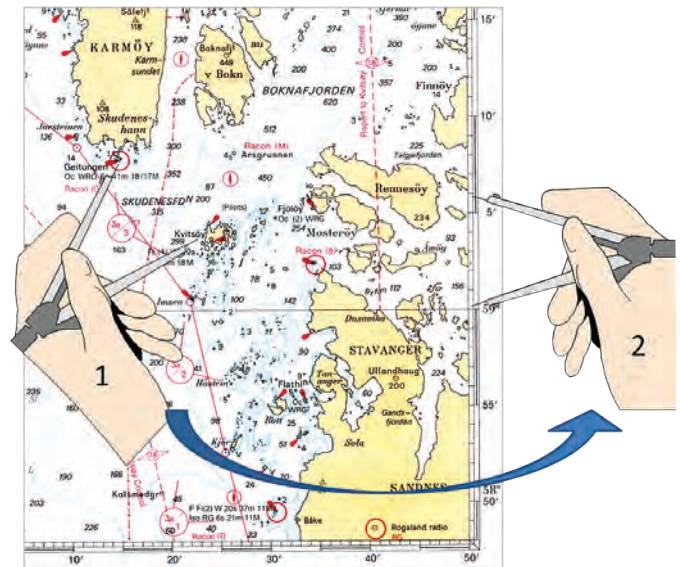
$$\begin{aligned} b_a &= N61^{\circ}21.0' \\ - b_p &= \underline{S63^{\circ}00.0'} \\ = \text{Diff.} &= 1^{\circ}39.0' \\ b_m &= \underline{S 0^{\circ}49.5'} \quad (\text{Diff.} / 2) \end{aligned}$$

1.2 Retninger og lengdemål på jorda

Under enhver form for navigasjon er det helt avgjørende å kjenne hvilken retning man seiler i, samt retning og avstand til karakteristiske punkt i farvannet. I dette kapitlet vil derfor de elementære begrepene forklares. Anvendelse innen terrestrisk navigasjon blir gjennomgått i del-3.

1.2.1 Retninger og kurser

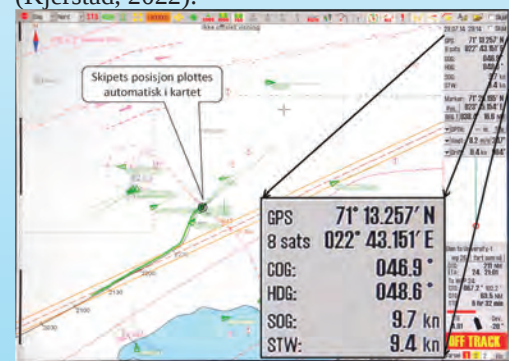
Fra et skip på åpent hav vil grenselinjen mellom den synlige og den usynlige delen av jorden representere den **naturlige horisonten**, også kalt **kimingen** (fig. 1.8). For å angi retninger på jorden deler vi horisonten inn i 360° slik vi kjenner sirkelen fra matematikken. På det punkt som peker mot nord setter vi 000° (også 360°). Linjen som går gjennom nord og syd (180°) kalles **meridianen**, som ender opp på jordens geografiske poler. Alle retninger, kurser og peilinger som refereres til geografisk nord kalles **rettvisende**. Skal vi beskrive retningen fra observatøren til et annet punkt kalles dette gjerne en **peiling**. Peilingen defineres fra den som observerer til punktet / objektet som observeres.



Figur 1.7
Metode for å måle nautiske mil i et sjøkart ved å måle antall bueminutter på breddeskala. Her måles avstand fra Kvitsoy til Karmøy til 6nm.

Elektronisk kartsystem (ECDIS)

I ECDIS settes posisjon ut i kartet automatisk og koordinatene for posisjonen vises i eget vindu. Den store fordelen med dette er at man alltid har oppdatert posisjon i kartet, og ikke litt på etterskudd, slik man alltid vil være hvis posisjonen settes ut manuelt. Fokus kan dermed flyttes mer til overvåking av instrumentenes ytelse, samt til styrket utkikk. Autorisert kartgrunnlag i et ECDIS system kalles ENC (Electronic Nautical Chart). For detaljer se *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer* (Kjerstad, 2022).



«Breddegradseilas» var en metode som ble benyttet bl.a. i vikingtiden og før man hadde gode astronomiske metoder og instrumenter (del-4). Ved å holde solhøyden i meridianen konstant viste man at man fulgte en breddegrad. Man kunne da seile nord/syd f.eks. etter landkjenning.