

ITRF, ETRS, EUREF89 og WGS84 - hvad er det nu lige det er?

*Anna B.O. Jensen
Informatik og Matematisk Modellering
Danmarks Tekniske Universitet*

Til praktisk brug er ITRF, ETRS, EUREF89 og WGS84 næsten det samme, og hvis man arbejder med absolut GPS, og er tilfreds med positionsnøjagtigheder på 1–2 meter, eller hvis man arbejder med fase-differentiel GPS over korte afstande (< 50 km), er der ingen grund til at bekymre sig om forskellen, men blot arbejde ud fra antagelsen om at de fire ”koordinatsystemer” er det samme.

Hvis man derimod arbejder med fase-differentiel GPS-positionering og ønsker nøjagtigheder på få cm eller mm med længere afstande mellem reference og rover, kan man have glæde af at være bevidst om forskellen mellem de fire systemer.

Baggrund

I forbindelse med introduktionen af GPS til landmåling og positionsbestemmelse med nøjagtigheder på få cm opstod behovet for et nyt referencesystem i Danmark. Det eksisterende System 34, fra 1930’erne, og ED50, fra 1950’erne, er i Danmark begge realiseret i kraft af observationer mellem fundamentalstationer i det gamle 1.ordens triangulationsnet. Observationerne er udført med den teknik, der på det tidspunkt var bedst mulig, og koordinatsystemerne levede ved deres introduktion fuldt op til datidens krav til referencesystemer.

Med GPS kom et redskab til positionering der var mere nøjagtigt over længere afstande end de eksisterende metoder, og de eksisterende referencesystemer var derfor ikke nøjagtige nok. Samtidig var der behov for et 3D referencesystem, da GPS er en tre-dimensionel observationsmetode.

Der var altså behov for dels et mere nøjagtigt referencesystem, og dels et system der var defineret i tre dimensioner. Dette behov var ikke kun tydeligt i Danmark, men også i resten af verden efterhånden som GPS blev taget i brug i de enkelte lande.

Kort & Matrikelstyrelsen (KMS) er den nationale danske myndighed, der har ansvaret for at udvikle og realisere geodætiske referencesystemer til kortlægning, opmåling og positionering i Danmark, og det var derfor også KMS’ opgave at introducere et nyt referencesystem i denne sammenhæng. I KMS begyndte arbejdet i slutningen af 1980’erne, og arbejdet i Danmark er foregået stort set samtidig med lignende tiltag i resten af Europa.

I Danmark har man indført *European Terrestrial Reference System*, ETRS89 (også kaldet EUREF89), der er en europæisk udgave af det internationale ITRS (*International Terrestrial Reference System*). I dette notat starter fortællingen derfor ”oppefra” med at beskrive ITRS inden vi bevæger os ned på europæisk plan, for til sidst at ende i Danmark. Derefter beskrives det amerikanske udviklede WGS84 og dets relation til de øvrige systemer, og til sidst kommer nogle bemærkning om praktisk anvendelse af de forskellige systemer.

Om begreberne

I herværende skrift anvendes begreberne koordinatsystem, referencesystem og referenceramme. For at lette læsning af skriftet forklares forskellen mellem de tre begreber indledningsvis.

Koordinatsystem er en generel betegnelse for et "system" der kan anvendes til angivelse af positioner. Her skelnes ikke mellem om det er globalt eller regionalt, hvilket formål der har været med definition af systemet eller hvilken definitionsnøjagtighed det har.

Begrebet referencesystem anvendes her i betydningen et geodætisk referencesystem, og begrebet kommer direkte af det engelske *reference system*. Et referencesystem består af en beskrivelse af jordens placering i verdensrummet, og i definitionen af systemet indgår yderligere definitionen af en referenceellipsoide, en global tyngdefeltsmodel samt en række fysiske parametre f.eks. jordens omdrejningshastighed og masse.

En geodætisk referenceramme er en fysisk realisering af et geodætisk referencesystem. En referenceramme gør det muligt at anvende referencesystemet i praksis. Det vil sige, at referencerammen består af en række punkter (fikspunkter), hvis positioner er bestemt i det givne referencesystem. Referencerammen er noget fysisk, man kan røre ved punkterne der indgår i referencerammen, hvorimod referencesystemet er abstrakt, og det eksisterer kun "på papiret" i kraft af definitionen.

De punkter der indgår i en referenceramme er typisk fikspunkter, der indgår i et referencenet. Her er det dog vigtigt at være opmærksom på at de punkter der indgår i referencerammen er med til at definere den, mens et referencenet, der anvendes i praksis, kan være en fortætning af de punkter der indgår i referencerammen. F.eks. vil et globalt referencesystem blive realiseret i form af en global referenceramme. Denne kan så fortsættes med en række punkter i Danmark, hvorved vi opnår et dansk referencenet, der er fastlagt i forhold til den globale referenceramme. Positioner til punkterne i det danske referencenet er dermed koordineret i det globale referencesystem, selv om der ikke er punkter i Danmark, der indgår i definitionen af systemet som en del af referencerammen.

Det globale polyhedron

International Terrestrial Reference System (ITRS) er et globalt referencesystem. Inden en nærmere beskrivelse af ITRS skal vi se på et par geofysiske problemstillinger:

Jorden er i fysisk forstand ikke et stift legeme, men et elastisk legeme, hvis form ændres ved påvirkning fra indre og ydre kræfter. F.eks. deformeres jorden af månens tiltrækningskraft (tidejord). Som konsekvens heraf er jordens omdrejningsakse hele tiden i bevægelse, da jorden er påvirket af ydre kræfter mens den drejer rundt. Da jorden er elastisk og hele tiden er i bevægelse, betyder det, at jordoverfladen også hele tiden er i bevægelse, den er dynamisk.

De tektoniske plader, der udgør jordens overflade, bevæger sig i forhold til hinanden. Når de støder sammen opstår der bl.a. jordskælv, der giver en meget kraftig og pludselig ændring af jordoverfladens form, som yderligere påvirker jordoverfladens dynamik.

Formålet med en referenceramme er primært at beskrive jordens form, således at vi kan bestemme vores position i forhold til andre positioner på jorden. Når jordoverfladen er dynamisk, medfører

det, at også referencerammerne må være dynamiske for at kunne give et tilfredsstillende billede af jordoverfladen.

Princippet med den globale polyhedron, som beskrevet af Yehuda Bock (1996), kan måske hjælpe med forståelsen af dette. De punkter der indgår i en global referenceramme kan bindes sammen af linier og flader, hvorved vi får en mange sided og mange kantet figur – et polyhedron. Jo flere punkter (eller hjørner) der indgår i figuren, og jo bedre de er fordelt over jordoverfladen, des bedre bliver polyhedronet som model for jordens faktiske form. Når vi har et sæt kartesiske X, Y, Z koordinater til en række punkter, der indgår i en global referenceramme, kan vi forbinde alle disse punkter og få en tre-dimensionel figur, der giver et billede af jordens form på det tidspunkt koordinater til punkterne blev bestemt. Når jordoverfladens form efter noget tid er ændret, vil polyhedronet stemme dårligere overens med jordoverfladens faktiske form. Det vil så være nødvendigt at lave en ny referenceramme, det vil sige bestemme nye koordinater til alle punkterne i referencerammen, da punkterne flyttes, når jordens overflade ændres. Med den nye referenceramme får vi et nyt polyhedron, der stemmer bedre overens med jordens faktiske form.

ITRS og ITRF

The International Earth Rotation Service (IERS) har det overordnede ansvar for at definere internationale realiseringer af astronomiske og terrestriske referencesystemer, og IERS står bag f.eks. the International Terrestrial Reference System (ITRS), som i dag anses for at være det bedste referencesystem, der hidtil er defineret. ITRS bliver realiseret i form af en række referencerammer (ITRF – *International Terrestrial Reference Frames*), der opdateres, når det findes nødvendigt.

Karakteristika for ITRS er at der arbejdes med et retvinklet kartesisk koordinatsystem med origo i jordens massemidtpunkt. GRS80 ellipsoiden (Moritz, 2000) er valgt som referenceellipsoide, og den er placeret i koordinatsystemet så dens origo er sammenfaldende med origo for det kartesiske koordinatsystem. Enheden for alle akser er defineret ved SI-enheden meter. Den første realisering af ITRS var ITRF88 og den seneste er ITRF2000.

Omregning mellem koordinater givet i forskellige versioner af ITRF foretages ved anvendelse af en lighednethedstransformation (også kaldet en 3D Helmert transformation). De syv transformationsparametre, og deres hastighedskomponenter, bestemmes af IERS ved at sammenholde de forskellige ITRF-løsninger. Omregningsproceduren er beskrevet bl.a. i Boucher og Altamini (2001) og i Boucher og Altamini (1996). Koordinater kan omregnes mellem de forskellige referencerammer f.eks. fra ITRF2000 til ITRF94, men der kan også via transformations-parametrenes hastigheder omregnes fra den oprindelige tidsepoke (det tidspunkt hvor referencerammen blev defineret) til et aktuelt tidspunkt. Koordinater kan således omregnes fra for eksempel ITRF2000 epoke 1. september 2001 til ITRF94 epoke 1. januar 1994.

Transformationsparametrenes hastigheder giver et billede af, hvor meget jordoverfladen har bevæget sig, siden referencerammen blev defineret. Nogle af punkterne i referencerammen flytter sig med op til 10 cm om året (Boucher og Altamini, 1996). Ønsker man få cm's nøjagtighed i transformationen, skal hastighederne således tages i betragtning, når man arbejder med differentiell GPS og de to modtagere er placeret så langt fra hinanden, at de ikke bevæger sig med samme hastighed (typisk hvis de er placeret på to forskellige kontinentalplader).

Eventuelle lokale bevægelser indgår ikke i de globale hastighedsmodeller, og en fast monteret GPS-referencestation, f.eks. i et dansk havneområde hvor undergrunden typisk er blød og ustabil, vil have en vis egenbevægelse, som man selv må holde øje med og korrigere for, for at undgå, at fejl i referencestationens koordinater forplanter sig til roveren.

ETRS89

I 1987 vedtog man under et møde i den internationale geodætiske organisation, at indføre et nyt referencesystem i Europa til afløsning for ED50 (European Datum af 1950). ITRS var på dette tidspunkt beskrevet, og man besluttede at det nye europæiske system skulle tage udgangspunkt i ITRS. Derfor er ETRS defineret med udgangspunkt i den samme placering af koordinatsystemets origo og de samme fysiske størrelser som ITRS. Men realiseringerne af ETRS adskiller sig fra ITRF som beskrevet i det følgende.

Den første realisering af ETRS blev introduceret i 1990, og blev kaldt *European Terrestrial Reference Frame*, ETRF. Denne realisering tog udgangspunkt i ITRF89-koordinater til alle de ITRF-punkter der lå i Europa, og derfor kan ETRF89 ses som en mindre del af ITRF89, og koordinater bestemt med udgangspunkt i de to referencerammer er identiske (Adam et al. 1999).

ETRS er fastlåst til den europæiske kontinentalplade, og da den europæiske kontinentalplade bevæger sig med ca. 2,5 cm/år, bevæger ETRF sig væk fra den globale ITRF løsning i takt med kontinentalpladen (Adam et al. 1999).

ETRS er blevet realiseret et antal gange via forskellige forbindelser til ITRF. Den første realisering var som nævnt ETRF89 og den sidste er ETRF2000.

Nye referencerammer med få års mellemrum er meget uhensigtsmæssigt til opmåling, kortlægning og anden form for geoinformatik, og man har derfor på europæisk plan lagt sig fast på at anvende ETRS, realiseret ved de koordinater som punkterne i ETRF89 havde den 1. januar 1989. For at understrege tidspunktet for definitionen anvendes ofte betegnelsen ETRS89.

Gennem 1990'erne er ETRS89 med udgangspunkt i en anbefaling fra EUREF-kommissionen, blevet introduceret i de fleste europæiske lande, som det referencesystem der anvendes til kortlægning og opmåling.

På et tidspunkt vil de interne deformationer på den europæiske kontinentalplade være blevet så store, at det vil være nødvendigt at indføre en ny referenceramme, men der vil gå adskillige år før det sker.

ETRS89 i Danmark

I Danmark blev ETRS89 introduceret med udgangspunkt i en opmålingskampagne i 1994 hvor seks punkter i Danmark blev koordineret i forhold til stationer der indgår i ETRF. Disse seks danske stationer er siden blevet fortættet til ca. 100 stationer, det såkaldte REFDK-net. Introduktionen af ETRS89 og REFDK i Danmark er beskrevet af Bo Madsen (2001).

Beregningsteknisk set er ETRS89 introduceret i Danmark via ETRF92. Den oprindelig opmåling, der blev foretaget i 1994, blev regnet med præcise satellit positioner og koordinater til de internationale referencestationerne, der var givet i ITRF92. Dermed blev koordinaterne for de danske stationer oprindelig beregnet i ITRF92, hvorefter de blev omregnet til ETRF92 med

hensyntagen til hvordan den europæiske kontinental-plade havde bevæget sig siden 1989, hvor ITRF og ETRF var identiske. Afslutningsvis blev koordinaterne til de danske stationer tilbageført til epoke 1989,0 med hensyntagen til bevægelser i jordoverfladen der har fundet sted fra 1. januar 1989 til observationstidspunktet i september 1994 (Fankhauser og Gurtner, 1995).

REFDK-nettet er siden blevet fortættet, så der er i dag er ca. 900 punkter der er koordineret i ETRS89. Hermed er ETRS89 blevet introduceret og udbredt i Danmark, så det overalt i landet er muligt at placere en GPS-referencestation i et punkt, der er koordineret i ETRS89 i nærheden af det område, hvor man skal arbejde.

Begrebet EUREF89 (European Reference) ses ofte anvendt som betegnelse for ETRS89. Begrebet kommer fra den oprindelige opmålingskampagne som EUREF-kommissionen igangsatte i 1989 for at få fastlagt ETRS. Det anbefales i dag at man primært anvender begrebet ETRS89, da det tydeligt angiver, hvilket system der er tale om.

WGS84

World Geodetic System 1984 (WGS84) er et konventionelt referencesystem, der blev defineret sammen med GPS, således at positioner for GPS-satellitter og GPS-modtagere kunne angives i det samme koordinatsystem. Definitionen og realiseringen af systemet er beskrevet af *National Imagery and Mapping Agency*, NIMA (2000).

WGS84 blev oprindeligt realiseret, ved hjælp af TRANSIT¹ i 1987, således at koordinater for fem fysiske stationer blev bestemt i systemet. På daværende tidspunkt var WGS84 et meget nøjagtigt referencesystem, men det blev overgået af ITRS, da det blev introduceret i 1988.

Den første realisering af WGS84, kaldet WGS84 (G730), blev anvendt frem til 1994, hvor en ny GPS-baseret realisering blev introduceret. Denne var baseret på data fra et antal permanente GPS-stationer, inklusive en række IGS-stationer², og koordinater til IGS-stationerne blev fastholdt til deres ITRF92 koordinater i beregningen. Herved blev WGS84 stort set identisk med ITRF92. I 1996 blev en ny realisering af WGS84 indført. Den fik navnet WGS84 (G873), og blev defineret ved samme fremgangsmåde som nævnt ovenfor. Denne gang blev IGS-stationerne dog fastholdt til deres ITRF94 koordinater.

I januar 2002 kom den seneste realisering af WGS84 (G1150), bestemt efter samme princip som ovenfor, men med fastholdelse af IGS stationerne i ITRF2000. En serie transformationer udført af Merrigan et al. (2002) viser at: "WGS84 stort set er identisk med ITRF2000".

Hvis man anvender de officielle omregningsparametre er forskellen mellem ETRS89 i Danmark og ITRF2000 (epoke 2001.0), der således svarer til WGS84, ca. 30 cm.

¹ TRANSIT, *the Navy Navigation Satellite System*, var det første egentlige satellitnavigationssystem. TRANSIT var operationelt fra 1964 til 1996 (Misra og Enge, 2001).

² IGS – *International GNSS Service* er en service organisation under den internationale geodætiske organisation. IGS står bl.a. bag et globalt net af permanente GPS-stationer af meget høj kvalitet. Se IGS' web site for yderligere oplysninger: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>

I praksis

WGS84 blev defineret som en referenceramme der skulle anvendes i forbindelse med GPS, og derfor er de satellit koordinater, der bestemmes ud fra broadcast efemeriderne, som udgangspunkt angivet i WGS84. Når der udføres absolut positionering med GPS ved hjælp af broadcast efemerider vil positionen derfor blive givet i WGS84. Da positionsnøjagtigheden ved absolut GPS er meget ringere end nøjagtigheden af referencesystemet er det dog uden betydning om man i denne sammenhæng ønsker positioner i WGS84 eller ETRS89.

Ved differentiell GPS er det mere vigtigt at være opmærksom på, at valg af koordinatsystem for reference og rover skal foretages i relation til hvilket koordinatsystem, der er anvendt til satelliternes positioner.

Hvornår er det så vigtigt at tænke over hvilket koordinatsystem man bruger?

Som udgangspunkt er det ikke relevant, hvis man arbejder med positionsnøjagtigheder på meter niveau, eller hvis afstanden mellem reference og rover er mindre end ca. 50 km, når man arbejder med differentiell fase GPS. Til gengæld er det yderst relevant hvis man arbejder med geodynamik, som f.eks. kontinentalplade-bevægelser og landhævninger, hvis man arbejder med tidsserier eller referencenet, hvor der bestemmes GPS-positioner til det samme punkt over flere år, eller hvis man arbejder med lange afstande mellem reference og rover.

Ved præcis positionsbestemmelse anvendes ikke broadcast efemerider, da deres nøjagtighed kun er ca. 3 meter. I stedet anvendes præcise efterberegnete satellit positioner (*precise orbits*), der har en nøjagtighed ned til ca. 4 cm. De præcise satellit positioner er bestemt i ITRS, og ved at anvende disse præcise satellit positioner, og koordinater til referencestationer, der også er givet i ITRS til den samme tidsepoke, undgås geometriske spændinger i positioneringen. Derved er der mulighed for at opnå de høje nøjagtigheder, da positionen ikke indeholder restfejl fra en sammenblanding af de forskellige referencesystemer. Høje nøjagtigheder opnås naturligvis kun, hvis de øvrige fejlkilder i systemet er behandlet med tilsvarende omhu.

Et bud på om det er nødvendigt at anvende ITRS og præcise satellit positioner kan fås ud fra nedenstående tommelfingerregel angivet af f.eks. Leick (1995):

$$\frac{|db|}{b} = \frac{|dR|}{\rho} \quad (1)$$

hvor db er fejl i den bestemte GPS-vektor mellem reference og rover, b er længden af vektoren, dR er samlet fejl i referencestationens og satellittens position, og ρ er afstanden fra satellit til referencestation. Da referencestationens og satelliternes koordinater fastholdes i differentielle GPS-beregninger, vil hele unøjagtigheden på vektoren, altså db , komme til udtryk som fejl i roverens position.

Leddet dR i ovenstående formel skal ses som summen af unøjagtighed i referencestationens og satellittens koordinater, herunder uoverensstemmelser mellem de koordinatsystemer, der er anvendt til angivelse af de to positioner.

Et eksempel:

Ønsket positionsnøjagtighed for roveren (db): 1 cm

Vektorlængde (b): 500 km

Gennemsnitlig afstand til satellitterne (ρ): 22000 km

Dermed bliver størrelsen af leddet $dR = 44$ cm

Hvis man i den givne situation ønsker en positionsnøjagtighed på 1 cm er det således nødvendigt at anvende præcise satellitpositioner, da positionsnøjagtigheden for broadcast baner er meget dårligere end de 44 cm. Dermed er det også implicit nødvendigt at anvende ITRS-koordinater til referencestationen, da der ellers vil opstå geometriske uoverensstemmelser i beregningen.

Et andet eksempel:

Vektorlængde (b): 500 km

Gennemsnitlig afstand til satellitterne (ρ): 22000 km

Vi anvender præcise satellitpositioner (og dermed ITRS) og referencestationens koordinater har en nøjagtighed på ca. 1 cm. Dermed bliver $dR = 4.1$ cm

Hvis alle andre fejlkilder i systemet antages at være neglige kan der herved opnås en positionsnøjagtighed (db) på 0.9 mm.

Hvis vi i stedet anvender ETRS89 til angivelse af referencestationens koordinater (men stadig bruger ITRS til satellittens koordinater) bliver dR 30.3 cm, og den opnåelige positionsnøjagtighed bliver 6.8 mm, altså en væsentlig forringelse, blot fordi der anvendes to forskellige referencesystemer.

Ofte vil der i forbindelse med GPS-positionering være andre fejlkilder, der har en langt større indflydelse, hvorved denne øvelse kan synes at være overdrevet. Men hvis man virkelig ønsker de høje positionsnøjagtigheder, må selv den mindste fejlkilde håndteres seriøst

Metadata

Metadata er data, eller information, om data, og i denne sammenhæng er det nødvendigt at understrege vigtigheden af at metadata altid følger med data, der på en eller anden måde er produceret ved hjælp af GPS.

Da der eksisterer så mange forskellige referencesystemer og referencerammer er det vigtigt altid at angive hvilket "koordinatsystem" givne positioner er angivet i. Derved mindskes risikoen for at der senere i processen opstår fejl som følge af anvendelse af forkerte referencesystemer eller sammenblanding af referencesystemer. Forskellen mellem f.eks. ETRS89 og WGS84 er så lille, at man ikke umiddelbart kan se forskellen ved blot at se på koordinatværdierne. Man må have information om koordinatsystemet af anden vej.

Det anbefales, at man altid opgiver hvilken kortprojektion og hvilket datum eller referencesystem der anvendes. Såfremt koordinaterne er angivet i ITRS eller ETRS er det ligeledes vigtigt at angive hvilken epoke (tidspunkt) der er anvendt. Ved anvendelse af WGS84 bør man også angive tidspunkt for dataindsamling, da WGS84 er en dynamisk referenceramme, i kraft af at det med jævne mellemrum tilpasses ITRS. Ved anvendelse af ETRS89 i Danmark er det ikke nødvendigt med

yderligere information, da systemet er defineret ved koordinater til de grundlæggende fundamentalstationer.

Afslutning og diskussion

Eksemplerne i teksten viser at problemstillingen med referencesystemer er irrelevant for de fleste GPS-brugere. For mange brugere kan det til gengæld være relevant at vide, at reference-rammer der anvendes i forbindelse med moderne positioneringsmetoder ikke er noget statisk. Man bør derfor indstille sig på, at der fremover med mellemrum vil blive indført nye koordinatsystemer, og at ændringer i koordinatsystemerne vil have indflydelse på positioner bestemt med nøjagtigheder på cm-niveau.

Dette gælder f.eks. for positioner bestemt med RTK, og det er derfor vigtigt, at man som bruger gør sig klart hvilket koordinatsystem der arbejdes i, således at koordinaterne vil kunne omregnes med en tilfredsstillende nøjagtighed, når der næste gang indføres et nyt koordinatsystem.

Problemet er således kun aktuelt for meget få GPS-brugere i dag, men der kan forudses problemer den dag koordinaterne skal omregnes til et nyt koordinatsystem, da man som bruger af f.eks. RTK ikke behøver nogen fag-specifik uddannelse og derfor ikke nødvendigvis har nogen viden om koordinatsystemer og deres baggrund. De videregående uddannelsesinstitutionerne har et ansvar for formidling af dette, men de GPS-brugere der ikke har en videregående uddannelse kan ikke nås på den måde, og derfor bør både forhandlere og myndigheder også være bevidst om deres ansvar i denne sammenhæng.

Referencer

Adam, J., Augath, W., Boucher, C., Bruyninx, C., Dunkley, P., Gubler, E., Gurtner, W., Hornik, H., v.d. Marel, H., Schlueter, W., Seeger, H., Vermeer, M., Zielinski, J.B.: The European Reference System Coming of Age, Juli 1999, Presented at the *IUGG/IAG General Assembly*, Birmingham, 1999

Bock, Y. (1996). Reference Systems. I *GPS for Geodesy*. Redigeret af A. Kleusberg og P.J.G. Teunissen. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer.

Boucher, C. og Altamimi, Z. (1996) International Terrestrial Reference Frame. *GPSWorld*. Vol. 7, no. 9. Advanstar Publishing, september 1996.

Boucher, C. og Altamimi, Z. (2001) Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 5: 12-04-2001. Memo from *Observatoire de Paris*, 2001. Kan downloades fra: <http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF/memo.pdf>

Frankhauser, S. and W. Gurtner, (1995). EUREF-DK94, Denmark EUREF Densification Campaign. *Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald*. Bericht nr. 23. Druckerei der Universität Bern. 1997.

Leick, A., (1995) *GPS Satellite Surveying*. 2nd edition. Wiley Interscience.

Madsen, F.B. (2001). REFDK- fremtidens referencenet i Danmark. *Landinspektøren*, nr. 1-01. 40. bind, 110. årgang. Udgivet af Den danske Landinspektørforening, februar 2001.

Misra, P. og Enge, P. (2001). *Global Positioning System - signals, measurements and performance*. Ganga-Jamuna Press.

Merrigan, J. M., Swift, E. R., Wong, R.F., Saffel, J. T. (2002). A Refinement to the World Geodetic System 1984 Reference Frame. I Proceedings fra *the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2002)*. Portland, September 2002.

Moritz, H. (2000). Geodetic Reference System 1980. I *The Geodesist's Handbook 2000* editeret af O. B. Andersen. *Journal of Geodesy*. Vol. 74, no. 1. Springer.

National Imagery and Mapping Agency (2000). Department of Defence World Geodetic System 1984. Technical Report 8350.2, 3. edition, amendment 1, January 2000. *NIMA* Stock no. DMATR83502WGS84.