

## Coördinaattransformaties

Richard Knippers  
Afdeling Geoinformatica, Kartografie en Visualisatie  
knippers@itc.nl

Ilwis Development  
hendrikse@itc.nl Jan Hendrikse

beide auteurs zijn werkzaam bij het ITC  
Postbus 6  
7500 AA Enschede  
tel. 053-4874444

Bij het gebruik van een geografisch informatiesysteem hebben we vaak te maken met verschillende coördinatenstelsels. Coördinatenstelsels beschrijven de plaats van objecten op het aardoppervlak. We spreken van het "georefereren" van ruimtelijke objecten wanneer de objecten worden samengebracht in een gemeenschappelijk coördinatenstelsel. Deze kernkatern behandelt in het kort hoe ruimtelijke gegevens in een bepaald coördinatenstelsel getransformeerd kunnen worden naar coördinaten in een ander stelsel. Er wordt een korte beschrijving gegeven van de theorie over coördinaattransformaties, gevolgd door enkele voorbeelden van toepassingen van dergelijke transformaties. Het artikel wordt aangevuld door een engelstalige website: <http://kartoweb.itc.nl/geometrics>. De geïnteresseerde lezer kan hier achtergrondinformatie vinden over coördinatenstelsels, referentie-oppervlakken voor de vorm van de aarde, kaartprojecties en coördinaattransformaties. De website biedt bovendien een lijst met antwoorden op veelgestelde vragen.

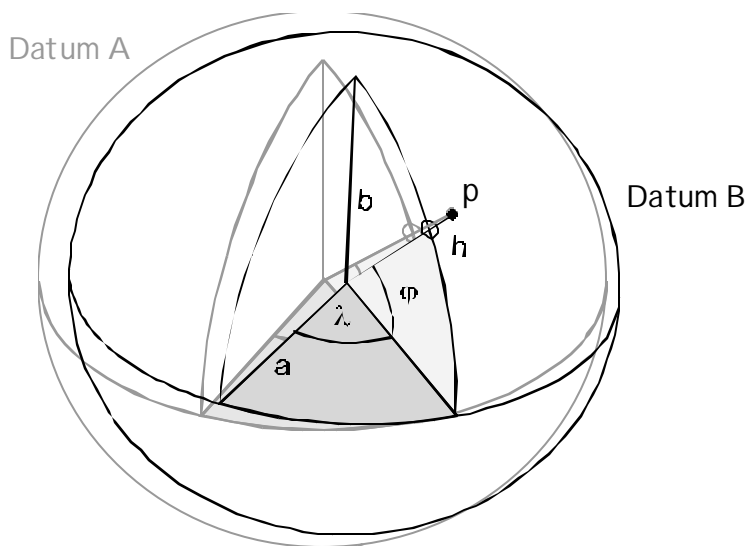
## Coördinaattransformaties

De meeste landen hebben hun eigen nationaal coördinatenstelsel. Ruimtelijke gegevens die op een ander coördinatenstelsel berusten worden met behulp van coördinaattransformaties in een gemeenschappelijk coördinatenstelsel samengebracht. Zo kunnen, als dit gewenst is, ruimtelijke gegevens die gerelateerd zijn aan de Universele Transversale Mercatorprojectie worden getransformeerd naar het Nederlandse Rijks-Driehoeksstelsel.

## Het omzetten van een kaartprojectie

Ruimtelijke gegevens met coördinaten in een bekend projectiesysteem worden doorgaans naar een andere kaartprojectie omgezet met behulp van voorwaartse en inverse projectievergelijkingen. Zoals geïllustreerd in *figuur 1 (methode I)* worden de inverse vergelijkingen van de eerste projectie gebruikt om de coördinaten in die projectie (systeem A) om te zetten naar geografische breedte- en lengtegraden. De voorwaartse vergelijkingen van de tweede projectie zetten die geografische lengte en breedte om naar de cartesische projectiecoördinaten van systeem B.

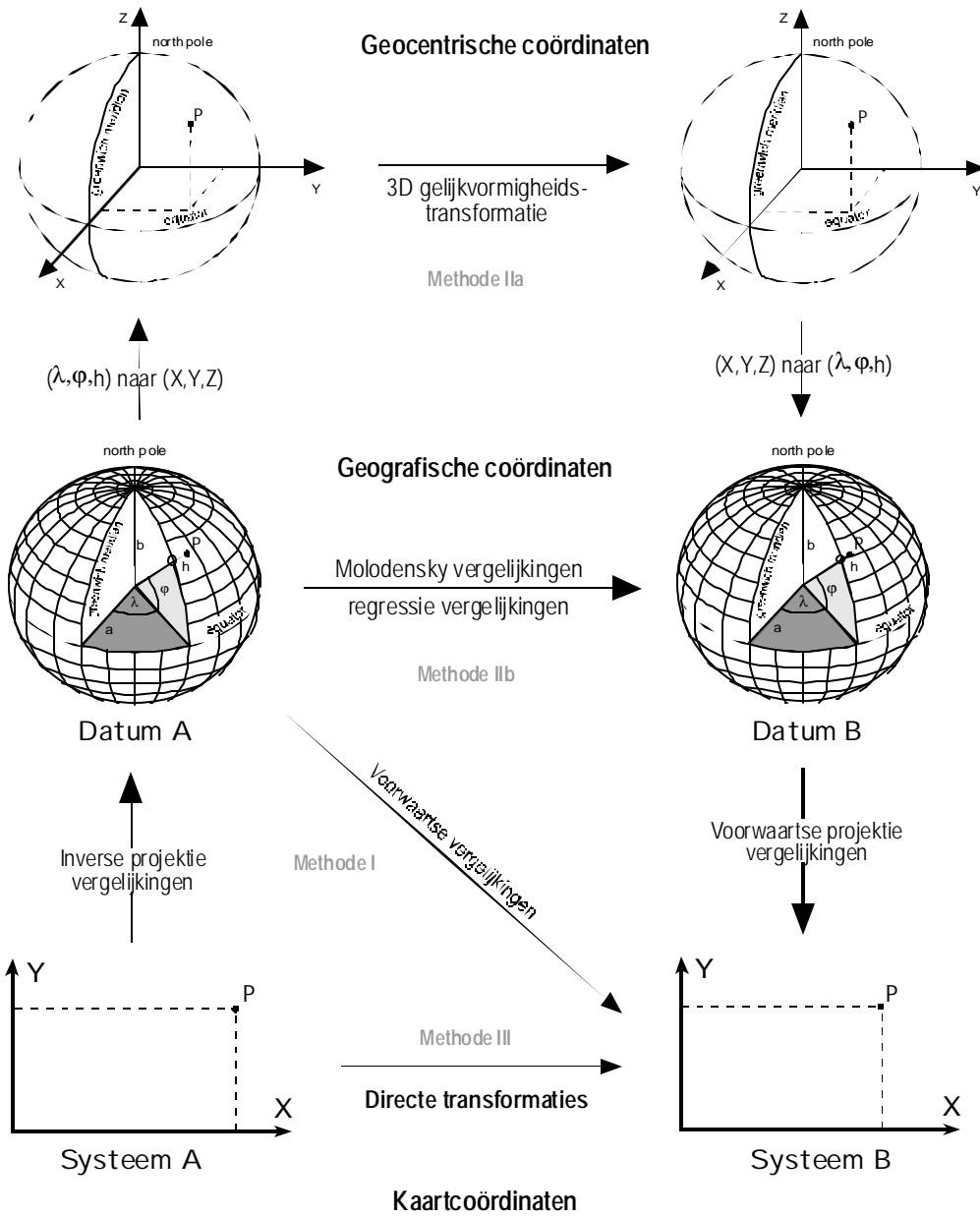
De ruimtelijke gegevens kunnen echter coördinaten hebben met verschillende onderliggende ellipsoïden, of de onderliggende ellipsoïden kunnen verschillende *datums* (geodetische referentie-oppervlakken) hebben. Dit betekent dat de ellipsoïden niet alleen kunnen verschillen in vorm en grootte, maar ook in positie (zie *figuur 2*).



*Figuur 2. Verschuiving tussen twee geodetische datums.*

Om de ruimtelijke data te combineren kan dan een zogenaamde datumtransformatie nodig zijn, bijvoorbeeld wanneer gegevens die gebaseerd zijn op de Europese datum ED 50 moeten worden omgezet naar het Nederlandse RD-stelsel, dat gebruik maakt van de Bessel 1841 ellipsoïde. De projectietransformatie wordt dan gecombineerd met een tussenliggende datumtransformatie, zoals hieronder beschreven is. De inverse vergelijkingen leveren geografische coördinaten op. Dan komt de transformatie van datum A naar datum B (zie *figuur 1, methode II*), en tenslotte volgt de omzetting naar de tweede projectie.

## Coördinaattransformaties (incl. datum transformaties)



Figuur 1. Overzicht van coördinaattransformaties.

## Datumtransformatie

Een datumtransformatie kan men wiskundig oplossen via driedimensionale geocentrische coördinaten met behulp van een driedimensionale gelijkvormigheidstransformatie. De gelijkvormigheidstransformatie wordt gedefinieerd door middel van zeven parameters (drie verschuivingen, drie rotaties en een schaalverschil), en uitgevoerd in combinatie met transformaties tussen geocentrische coördinaten en de breedte- en lengtegraden op beide ellipsoïden (zie *figuur 1, methode IIa*).

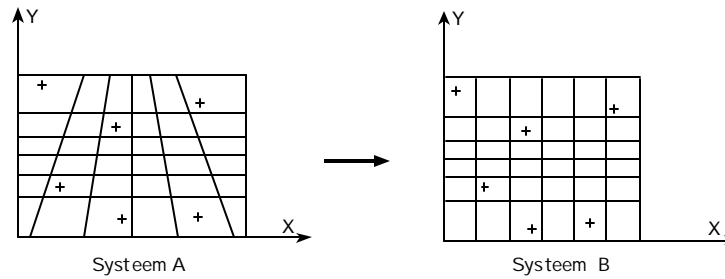
Geocentrische coördinaten zijn x-, y- en z-coördinaten uitgezet in een driedimensionaal rechthoekig coördinatenstelsel. De z-as valt samen met de korte as van de omwentelingsellipsoïde. De x- en y-as liggen in het equatorvlak: de x-as wijst naar de nulmeridiaan, en de y-as naar de meridiaan van 90 graden oosterlengte.

De transformatie van de breedte- en lengtegraden naar de geocentrische coördinaten, die relatief eenvoudig is, zet breedte ( $\varphi$ ), lengte ( $\lambda$ ) en hoogte (h) van de ellipsoïde om in x,y en z door middel van drie directe vergelijkingen. De transformatie van de geocentrische coördinaten naar de breedte- en lengtegraden zijn moeilijker. Ze vereisen een iteratieve berekening van de ellipsoïdale breedte en hoogte, of het gebruik van benaderingsformules, zoals die van Bowring. Deze laatste resulteren in millimeter nauwkeurigheid voor topografische punten die binnen 10 kilometer van het ellipsoïde oppervlak liggen (Bowring, 1976; Strang van Hees, 1997).

Goede benaderingen van de datumtransformatie zijn evenwel de *Molodensky*- en de *regressievergelijkingen*. Deze koppelen direct de breedte en lengte (Molodensky ook de hoogte) van beide datumsystemen (zie *figuur 1, methode IIb*). De standaard Molodensky-vergelijkingen leggen een verband tussen breedte, lengte en hoogte van de ellipsoïde van een *lokale* geodetische datum en die van de WGS84 datum. De regressievergelijkingen relateren breedte en lengte van de ellipsoïde van *continentale* datums aan die van de WGS84, en bevatten veeltermen in  $\varphi$  en  $\lambda$  voorlopig tot graad 9 (NIMA Report, 1997). Het grote voordeel van deze laatste methode boven Molodensky (toegepast in de meeste GIS-software) is dat voor landmassa's van continentale grootte een hogere nauwkeurigheid bereikt kan worden.

## Directe transformaties

Als de onderliggende projectie van een coördinatenstelsel onbekend is, kunnen we de coördinaten aan een bekend stelsel koppelen op basis van een hoeveelheid geselecteerde punten waarvan de coördinaten bekend zijn in beide stelsels (*in figuur 1, methode III, aangeduid als directe transformaties*). Dit kunnen gemeten terreinpunten zijn of herkenbare punten zoals hoeken van huizen of wegen.



*Figuur 3. Coördinaattransformatie uitgevoerd op basis van geselecteerde punten. Hier zijn 6 punten gekozen*

Op basis van een kleinste kwadraten benadering wordt een tweedimensionale transformatie uitgevoerd. Afhankelijk van het type geometrische vervorming in de data kan dat een conforme, affiene, projectieve, polynomiale of andere transformatie zijn (zie de website voor nadere informatie hierover). Deze tweedimensionale transformaties hebben een andere nauwkeurigheid dan de eerder besproken transformaties met projectie vergelijkingen, die rekening houden met de kromming van het aardoppervlak. Dit is van belang bij het karteren van uitgestrekte gebieden. Voor kleinere gebieden met weinig relief geldt echter dat tweedimensionale transformaties een nauwkeuriger model kunnen geven dan de kaartprojectie vergelijkingen.

## **Projectieomzetting in de praktijk: enkele kanttekeningen**

Voorwaartse en inverse projectie vergelijkingen worden dus veelal gebruikt om ruimtelijke data om te zetten van de ene naar de andere kaartprojectie. Sommige transformatie programma's gebruiken echter geen ellipsoïde, maar alleen de bol als model van de aarde. Zo'n bolmodel is goed genoeg voor het afbeelden van grote gebieden op een kleine schaal, maar kan resulteren in onaanvaardbare coördinaatfouten bij de kartering van gebieden op grote schaal. Een ellipsoïde als model is nauwkeuriger.

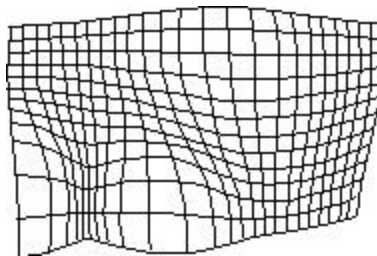
Kaartprojectie programma's voorzien niet altijd in mogelijkheden voor datumtransformatie. Als men het verschil in datum verwaarloost, is er mogelijkwerwijs geen correcte aansluiting tussen kaarten. Kaarten van naburige gebieden of kaarten die over elkaar heengelegd worden, en die gemaakt zijn vanuit verschillende projecties passen dan niet exact als de geodetische datums van de oorspronkelijke projecties verschillen. Dat kan resulteren in verschillen in coördinaten die kunnen oplopen tot honderden meters.

Om een datumtransformatie uit te voeren hebben we de ellipsoidale breedte, lengte en hoogte in een datumstelsel nodig en daarnaast de verschuiving en de rotatie van de ellipsoidale assenstelsels van beide systemen onderling. In veel GIS- en kartografische software wordt deze transformatie echter vereenvoudigd: de ellipsoïdale hoogtes blijven buiten beschouwing ( $h=0$ ) of de rotatieverschillen van de assenstelsels worden verwaarloosd.

Datumtransformaties die gebruik maken van de Molodensky-vergelijkingen (geïmplementeerd in de meeste geo-software) worden steeds belangrijker, gezien het toenemend gebruik van GPS-data. Deze data zijn vaak gebaseerd op de WGS84 ellipsoïde, en moeten worden omgezet naar coördinaten in een lokale projectie met eigen ellipsoïde en datum. Verder moeten door GPS-meting verkregen hoogtes worden getransformeerd naar hoogtes ten opzichte van het hoogterefereentiepeil (verticaal datum) zoals die voor elk land apart is vastgesteld (dit is voor Nederland het Normaal Amsterdams Peil).

## Directe transformaties in de praktijk: enkele kanttekeningen

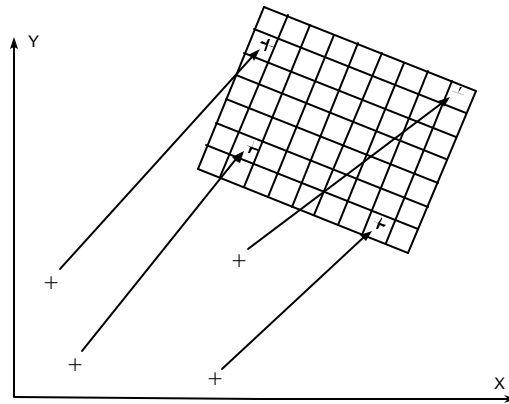
Luchtfoto's, remote sensing beelden en gescande gegevens worden veelal omgezet met behulp van directe transformaties. Lineair conforme of affiene transformaties kunnen worden gebruikt om vervormingen te corrigeren zoals een verschuiving, een rotatie of een lineair schaalverschil. Niet-lineaire transformaties moeten worden gebruikt om schaalverschillen zoals geïllustreerd in figuur 4 te corrigeren.



*Figuur 4. Variabele schaalverschillen in een beeld.*

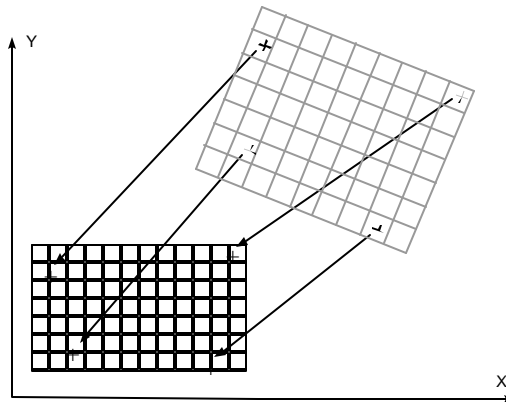
Affiene transformaties worden gebruikt voor het registreren van een papieren of een gescande kaart voorafgaand aan het digitaliseren van de kaart. Er bestaan ook andere directe transformaties (bv splines, eindige elementen) die gebruikt worden voor het zo goed mogelijk op elkaar passen van vectorlagen.

Ruwe beelden bestaan uit een rechthoekig grid van pixels met variabele waarden, maar met incorrecte geometrische posities. Er zijn verschillende werkwijzen om zo'n ruw beeld te corrigeren. Allereerst kan men aan het ongecorrigeerde beeld coördinaten toekennen door enkele pixels te relateren aan punten in een bekend coördinatenstelsel (zie figuur 5).



Figuur 5. Coördinaten toekennen: hier is het beeld niet geresampeld.

Het is daarna ook mogelijk om het ongecorrigeerde beeld te “resampelen” naar het bekende coördinatenstelsel, zoals geïllustreerd in *figuur 6*. Resampelen is het proces waarbij voor elke pixelwaarde in het nieuwe coördinatenstelsel wordt bepaald door interpolatie van de pixels die in het oorspronkelijke beeld geselecteerde pixels omringen.



Figuur 6. Coördinaten toekennen: hier is het beeld geresampeld

Een veelgebruikt GIS-pakket in het ITC is ILWIS, ontwikkeld in eigen huis (url: <http://itc.nl/ilwis> ). In ILWIS bestaat de mogelijkheid om vector- en rastergegevens over elkaar te leggen door een “on-the-fly” transformatie van de vectoren. Men kan op deze manier verschillende vectorlagen over een rasterbeeld leggen door ze naar een gemeenschappelijk venster te slepen, zonder het rasterbeeld te resampelen.

Het rasterbeeld kan een ongecorrigeerd satellietbeeld zijn, een luchtfoto (oblique of verticaal), of een gescande kaart. Om een correcte inpassing te realiseren zijn betrouwbare controlepunten in het beeld nodig die zijn verbonden met kaartcoördinaten zoals hiervoor besproken en geïllustreerd in *figuur 5*. Als de controlepunten en de geometrische transformatie zijn vastgelegd

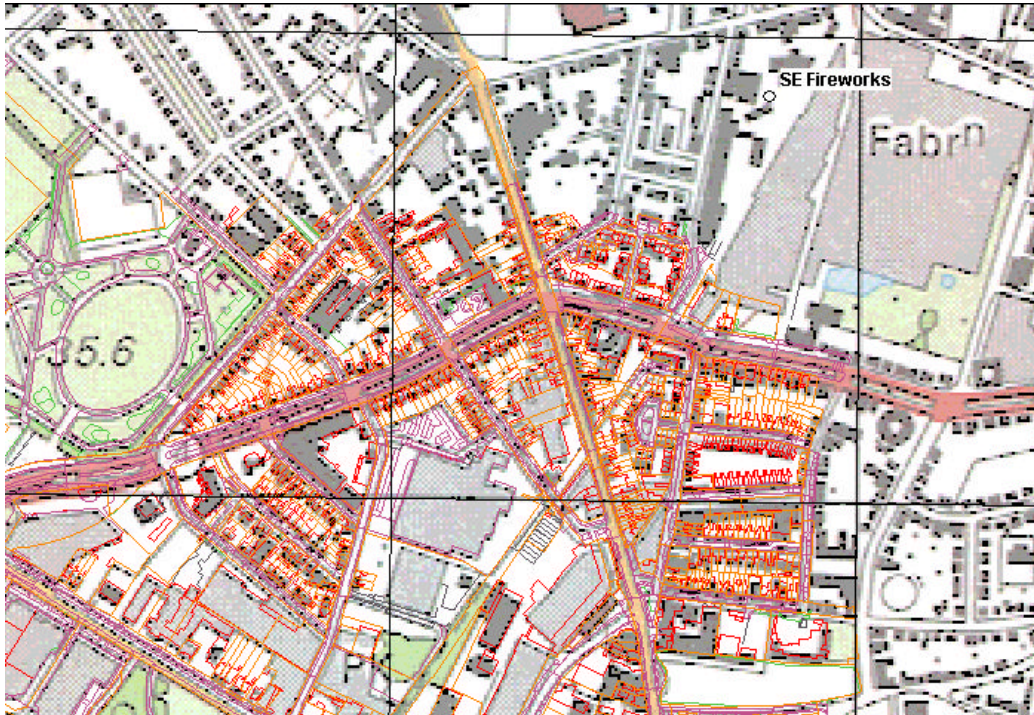
kan elke willekeurige vectorkaart, zelfs een met een andere projectie of datum, over het ongecorrigeerde beeld worden gesleept.

Zo kan bijvoorbeeld een gescande luchtfoto van het door vuurwerk verwoeste stadsdeel van Enschede worden voorzien van RD-coördinaten door middel van voldoende controlepunten en een affiene of projectieve transformatie (want er is praktisch geen reliëf). Vectorkaarten van het gebied (straten, leidingen, huizen, etc) kunnen direct over de foto gelegd en geanalyseerd worden. Deze vectorkaarten kunnen in elke bekende projectie gedefinieerd zijn. Ook *on-screen* digitaliseren van nieuwe lijnen op deze foto is mogelijk; het levert correcte projectiecoördinaten op in elk gewenst systeem (zie *figuur 7a en 7b*).



*Figuur 7a. Lijnenkaart (kadaster en topografie) als overlay op een oblique luchtfoto (Enschede benoorden centrum, 1997).*





*Figuur 7b. Zelfde lijnenkaart als overlay op een gescande topografische kaart uit 1995.*

Men wint tijd en geheugenruimte omdat er geen correctie (resampling) van het beeld plaats vindt in geval van een gecombineerde analyse van vector- en raster gegevens. Ook kan men de bovenliggende vectorkaarten direct wijzigingen aanbrengen. De verslechtering van beeldkwaliteit door resamplingfouten wordt ook voorkomen. Zodra het wijzigen of de analyse zijn voltooid, kan men alsnog besluiten om het beeld te resampelen naar de geometrie van het vectorcoördinatenstelsel.

## **Kanttekening**

Een veelvuldig voorkomend probleem voor gebruikers van GIS-software is het verlies van coördinaten en informatie over de projectie bij het omzetten van bestanden van het ene formaat naar het andere. Voor het uitwisselen van ruimtelijke data zonder verlies van deze informatie is een bestandsformaat nodig dat coördinaten en projectieinformatie opslaat. Rasterformaten zoals bitmaps (BMP) en de meeste Tagged Image File Formats (TIFF) bevatten bijvoorbeeld geen informatie over het coördinatenstelsel. Recentelijk is er een uitbreiding van het TIFF-formaat ontwikkeld: GeoTIFF. GeoTIFF bestanden kunnen coördinaten opslaan van tenminste twee tegenoverliggende hoekpixels en, indien van toepassing, ook de parameters van een onderliggende projectie (bv. centrale meridiaan, verschoven nulpunt, ellipsoïde, etc.).

## Referenties

Bowring, B.R. (1976). Transformation from spatial to geographical coordinates. *Survey Review* 181, juli 1976, p.323-327.

Kadaster (1996). *Handleiding voor de Technische Werkzaamheden van het Kadaster*. Apeldoorn: Kadaster.

Knippers, R.A. (1998). *Coordinate systems and Map projections*. Niet gepubliceerd dictaat. Enschede: ITC.

Kosters, A.J.M. (1993). *Coördinaattransformaties en kaartprojecties*. Delft: Afdeling MTO, Meetkundige Dienst.

Maling, D.H. (1992). *Coordinate systems and map projections*. Oxford: Pergamon Press.

NIMA (1997). *WGS 1984. It's definition and relationships with local geodetic systems*. Washington: National Image and Mapping Agency.

Snyder, J.P. (1984). Map projections used by the U.S. Geological Survey. *Geological Survey Bulletin* 1532, U.S. Geological Survey.

Strang van Hees, G.(1997). *Globale en lokale geodetische systemen*. Delft: Nederlandse Commissie voor Geodesie.