

Op 1 mei 2000 besloot president Clinton dat de VS het GPS-navigatiesignaal niet meer opzettelijk zou verslechteren [7]. Tot voorkort werden deze GPS-navigatiesignalen om redenen van de nationale veiligheid opzettelijk verslechterd (Selective Availability). Het gevolg hiervan was dat de nauwkeurigheid waarmee real-time met een enkele ontvanger de horizontale positie kan worden bepaald, beperkt blijft tot zo'n 100 meter. Sinds het uitzetten van de Selective Availability kan iedereen al met een eenvoudige (handheld) GPS-ontvanger zijn of haar positie op enkele meters nauwkeurig bepalen (fig. 1). Hierbij moet echter wel worden bedacht dat de met behulp van GPS bepaalde coördinaten refereren aan het mondiale referentiesysteem WGS84 (World Geodetic System of 1984) en niet aan ons nationale referentiesysteem van de Rijksdriehoeksmeting (RD).

Benaderingsformules voor de transformatie tussen RD- en WGS84-kaartcoördinaten

ing. F.H. Schreutelkamp,
Stichting 'De Koepel', sterrenwacht
'Sonnenborgh' te Utrecht, en
ir. G.L. Strang van Hees,
voormalig universitair docent van de
afdeling Geodesie, TU Delft.

Nu eenvoudige real-time positiebepaling op meterniveau tot de mogelijkheden met GPS behoort worden ook de verschillen tussen WGS84 en RD¹) duidelijk merkbaar. Wil men de met GPS bepaalde coördinaten kunnen relateren aan de topografische of kadastrale kaart, óf andersom: de vooraf op de kaart geprikte punten terug te vinden in het veld, dan is het noodzakelijk om coördinaten van het ene referentiestelsel naar het andere te kunnen omrekenen. De bestaande omrekenings- of transformatieformules zijn erg complex [10], [11] en [12]. Het is bijna ondoenlijk om deze op een gewone zakrekenmachine uit te voeren. Daarentegen zijn er thans ook GPS-ontvangers commercieel verkrijgbaar die hun gemeten positie al direct kunnen weergeven in RD-coördinaten, maar de toegepaste conversie procedure²) wijkt in de uiterste hoeken van Nederland wel ruim twee meter af! In dit artikel, dat is gepubliceerd in het geodetische tijdschrift *Geodesia* [13], zijn (conforme) transformatieformules afgeleid waarmee de met behulp van GPS bepaalde coördinaten eenvoudig en met decimeter-nauwkeurigheid getransformeerd kunnen worden naar RD-coördinaten (en omgekeerd). De om te rekenen WGS84-coördinaten mogen zowel in de vorm van UTM als ellipsoïdische coördinaten zijn.

De nauwkeurigheid van de in dit artikel afgeleide transformaties wordt beperkt door het feit dat het driehoeksnets van de Rijksdriehoeksmeting enigszins vervormd is [3], [11] en [12], waardoor een gewone conforme transformatieformule niet geheel zal volstaan. Correcties voor deze vervorming kunnen niet afdoende met een eenvoudige reeksontwikkeling worden beschreven. In de recentelijk aangepast formele definitie van RD is hiervoor een interpolatiegrid vastgelegd [11] en [12]. De geconstateerde afwijkingen ten gevolge van deze netvervorming liggen echter op (sub)decimeter niveau en zijn bij de afleiding van de transformatiesformules daarom verder buiten beschouwing gelaten.

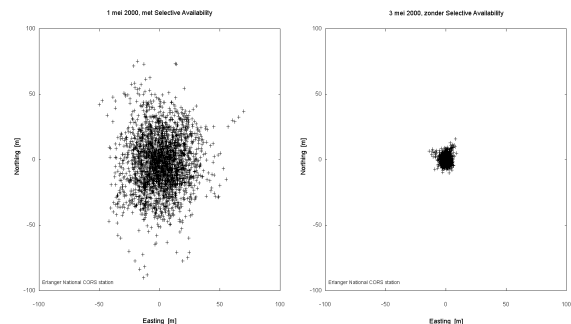


Fig. 1. De nauwkeurigheid waarmee de horizontale positie met behulp van GPS kan worden bepaald, met en zonder Selective Availability. De horizontale posities zijn geplotted ten opzichte van een aangenomen referentiepositie. De gebruikte data zijn afkomstig van [9].

Transformatie van RD-coördinaten naar UTM-WGS en vice versa

Zowel de stereografische projectie van RD als de UTM-projectie (zie kader op pagina 5) zijn conforme projecties, dat wil zeggen dat de projectie hoekgetrouw is. Omdat dit zo is, moet het mogelijk zijn om RD-coördinaten te transformeren naar UTM-coördinaten via een conforme transformatie in het platte vlak. In 1851 toonde de Duitse wiskundige G.F.B. Riemann (1826-1866) aan dat transformaties met complexe getallen ($i = \sqrt{-1}$) conforme transformaties zijn. Deze eigenschap kan worden gebruikt om van de ene conforme kaartprojectie (RD) over te gaan naar een andere conforme kaartprojectie (UTM) via een complexe functie zoals:

$$E + iN = f(X + iY) \quad (1)$$

waarin E en N de de Easting en Northing in UTM-WGS84 zijn en X en Y de coördinaten in RD. Deze functie kan in een Taylor-reeks worden omschreven (zie o.a. [14]):

$$(E + iN) = (E_0 + iN_0) + (A_1 + iB_1)(X + iY) + (A_2 + iB_2)(X + iY)^2 + (A_3 + iB_3)(X + iY)^3 + (A_4 + iB_4)(X + iY)^4 + \dots \quad (2)$$

Bovenstaande reeks kan worden uitgeschreven in een reëel en een imaginair deel. Gekozen is voor een vierdegraads conforme transformatieformule waarmee RD-coördinaten (X, Y) eenvoudig getransformeerd kunnen worden naar UTM-WGS84 coördinaten (E, N). Om te voorkomen dat de coëfficiënten hele kleine getalswaarden aannemen, zijn X en Y uit formule 2 vervangen door dX en dY. Hetzelfde geldt

¹: het lineaire verschil tussen WGS84 en RD bedraagt in het horizontale vlak gemiddeld zo'n 115 meter.

²: de conversie procedure die hiervoor vaak wordt gebruikt is die volgens Molodensky.

voor de inverse transformatie. De onbekende coëfficiënten $E_0, N_0, A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3, A_4, B_4$ kunnen worden bepaald met behulp van de kleinste-kwadratenmethode uit punten die in beide referentiestelsels bekend zijn. De afgeleide transformatieformule ziet er dan als volgt uit:

$$\begin{aligned} dX &= (X - X_0) 10^{-5} & (3) \\ dY &= (Y - Y_0) 10^{-5} \\ E &= E_0 + A_1 dX - B_1 dY + A_2 (dX^2 - dY^2) - B_2 (2 dX dY) + \\ & A_3 (dX^3 - 3 dX dY^2) - B_3 (3 dX^2 dY - dY^3) + \\ & A_4 (dX^4 - 6 dX^2 dY^2 + dY^4) - B_4 (4 dX^3 dY - 4 dY^3 dX) \\ N &= N_0 + B_1 dX + A_1 dY + B_2 (dX^2 - dY^2) + A_2 (2 dX dY) + \\ & B_3 (dX^3 - 3 dX dY^2) + A_3 (3 dX^2 dY - dY^3) + \\ & B_4 (dX^4 - 6 dX^2 dY^2 + dY^4) + A_4 (4 dX^3 dY - 4 dY^3 dX) \end{aligned}$$

De coëfficiënten A en B uit bovenstaande formule zijn gelijk aan:

Term	Zone 31	Zone 32
$E_0 = A_0$	663304,11	252878,65
$N_0 = B_0$	5780984,54	5784453,44
A_1	99947,539	99919,783
B_1	3290,106	-4982,166
A_2	20,008	-30,208
B_2	1,310	3,016
A_3	2,041	2,035
B_3	0,203	-0,309
A_4	0,001	-0,002
B_4	0,000	0,001

Tabel 1. Coëfficiënten voor de conforme transformatie van RD-coördinaten naar UTM-WGS84 coördinaten.

Voor de inverse transformatie van UTM-WGS84 coördinaten naar RD-coördinaten geldt:

$$\begin{aligned} dE &= (E - E_0) 10^{-5} & (4) \\ dN &= (N - N_0) 10^{-5} \\ X &= X_0 + C_1 dE - D_1 dN + C_2 (dE^2 - dN^2) - D_2 (2 dE dN) + \\ & C_3 (dE^3 - 3 dE dN^2) - D_3 (3 dE^2 dN - dN^3) + \\ & C_4 (dE^4 - 6 dE^2 dN^2 + dN^4) - D_4 (4 dE^3 dN - 4 dN^3 dE) \\ Y &= Y_0 + D_1 dE + C_1 dN + D_2 (dE^2 - dN^2) + C_2 (2 dE dN) + \\ & D_3 (dE^3 - 3 dE dN^2) + C_3 (3 dE^2 dN - dN^3) + \\ & D_4 (dE^4 - 6 dE^2 dN^2 + dN^4) + C_4 (4 dE^3 dN - 4 dN^3 dE) \end{aligned}$$

waarin de coëfficiënten C en D gelijk zijn aan:

Term	Zone 31	Zone 32
$X_0 = C_0$	155000,00	155000,00
$Y_0 = D_0$	463000,00	463000,00
C_1	99944,187	99832,079
D_1	-3289,996	4977,793
C_2	-20,039	30,280
D_2	0,668	1,514
C_3	-2,042	-2,034
D_3	0,066	-0,099
C_4	0,001	-0,001
D_4	0,000	0,000

Tabel 2. Coëfficiënten voor de conforme transformatie van UTM-WGS84 coördinaten naar rechthoekige RD-coördinaten.

Transformatie van RD-coördinaten naar ellipsoïdische WGS84-coördinaten (j, l) en vice versa

Naast transformatieformules voor de omrekening van RD-coördinaten (X, Y) naar UTM-WGS84 coördinaten (E, N), zijn tevens ook transformatieformules afgeleid voor de omrekening van rechthoekige RD-coördinaten (X, Y) naar ellipsoïdische WGS84-coördinaten (φ, λ). Gekozen is om een reeksontwikkeling af te leiden in de vorm:

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \sum_p \sum_q K_{pq} X^p Y^q & (5) \\ \lambda &= \lambda_0 + \sum_p \sum_q L_{pq} X^p Y^q \end{aligned}$$

De onbekende coëfficiënten werden wederom opgelost volgens de kleinste-kwadratenmethode, waarna de keuze van significante termen werd gedaan aan de hand van een iteratieproces. Hierbij werd telkens de term die geen significante bijdrage levert aan de transformatieformule weggelaten, waarna de overgebleven termen opnieuw werden berekend. Om te voorkomen dat de coëfficiënten K_{pq} en L_{pq} hele kleine getalswaarden aannemen zijn X en Y uit formule (5) vervangen door dX en dY. Hetzelfde geldt voor de inverse transformatie. Hierbij moet wel worden bedacht dat φ en λ uitgedrukt dienen te worden in graden. De afgeleide transformatieformule ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned} dX &= (X - X_0) 10^{-5} & (6) \\ dY &= (Y - Y_0) 10^{-5} \\ \varphi &= \varphi_0 + (\sum_p \sum_q K_{pq} dX^p dY^q) / 3600 \\ \lambda &= \lambda_0 + (\sum_p \sum_q L_{pq} dX^p dY^q) / 3600 \end{aligned}$$

waarin X_0, Y_0, φ_0 , en λ_0 de coördinaten van het basispunt Amersfoort zijn. Deze zijn gelijk aan:

$X_0 = 155000,00$	$\varphi_0 = 52^\circ,15517440$
$Y_0 = 463000,00$	$\lambda_0 = 5^\circ,38720621$

Tabel 3. De RD- en ellipsoïdische WGS84-coördinaten van het basispunt Amersfoort.

De coëfficiënten uit bovenstaande formule zijn gelijk aan:

p	q	K_{pq}	p	q	L_{pq}
0	1	3235,65389	1	0	5260,52916
2	0	-32,58297	1	1	105,94684
0	2	-0,24750	1	2	2,45656
2	1	-0,84978	3	0	-0,81885
0	3	-0,06550	1	3	0,05594
2	2	-0,01709	3	1	-0,05607
1	0	-0,00738	0	1	0,01199
4	0	0,00530	3	2	-0,00256
2	3	-0,00039	1	4	0,00128
4	1	0,00033	0	2	0,00022
1	1	-0,00012	2	0	-0,00022
			5	0	0,00026

Tabel 4. Coëfficiënten voor de transformatie van RD-coördinaten naar ellipsoïdische WGS84-coördinaten.

Voor de inverse transformatie van ellipsoïdische WGS84-coördinaten (φ, λ) naar RD-coördinaten (X, Y) geldt dan:

$$\begin{aligned} d\varphi &= 0,36 (\varphi - \varphi_0) \\ d\lambda &= 0,36 (\lambda - \lambda_0) \\ X &= X_0 + \sum_p \sum_q R_{pq} d\varphi^p d\lambda^q \\ Y &= Y_0 + \sum_p \sum_q S_{pq} d\varphi^p d\lambda^q \end{aligned} \quad (7)$$

waarin X_0, Y_0, φ_0 , en λ_0 eveneens de coördinaten van het basispunt Amersfoort zijn (tabel 3). De coëfficiënten R en S uit bovenstaande formule zijn gelijk aan:

p	q	R_{pq}	p	q	S_{pq}
0	1	190094,945	1	0	309056,544
1	1	-11832,228	0	2	3638,893
2	1	-114,221	2	0	73,077
0	3	-32,391	1	2	-157,984
1	0	-0,705	3	0	59,788
3	1	-2,340	0	1	0,433
1	3	-0,608	2	2	-6,439
0	2	-0,008	1	1	-0,032
2	3	0,148	0	4	0,092
			1	4	-0,054

Tabel 5. Coëfficiënten voor de transformatie van ellipsoïdische WGS84-coördinaten naar RD-coördinaten.

Berekeningswijze van de coëfficiënten

De coëfficiënten uit de formules (3), (4), (6) en (7) zijn berekend volgens de kleinste-kwadratenmethode. Voor de berekening is gekozen voor een $25 \times 25 \text{ km}^2$ grid van 168 punten tussen 5 en 280 km (west-oost) en tussen 300 en 625 km (zuid-noord). De (E, N) en (φ, λ) coördinaten van de gridpunten zijn berekend door de RD-coördinaten met behulp van de zeven-parametertransformatie uit de HTW-96 [10] te transformeren naar ETRS89. Aangezien de vijf AGRS.NL-stations en de omringende EUREF-stations zowel in ETRS89 als in ITRF96 nauwkeurig bekend zijn [2], kon aan de hand van een kleinste-kwadratenvereffening, een 3D-transformatie tussen beide referentiestelsels lokaal worden afgeleid. Aangezien het huidige WGS84 referentiesysteem, WGS84 (G873), in oriëntatie overeenkomt met ITRF96 kunnen de RD-coördinaten hierdoor, via ETRS89, naar WGS84 (G873) worden getransformeerd³. Bedacht moet worden dat, ten gevolge van de beweging van de aardeschollen, de ligging van geodetische stations in de loop der tijd enigszins verandert. Deze beweging is relatief klein doch over langere perioden niet verwaarloosbaar⁴ [8]. Daarom is gekozen om de ITRF96/WGS84-coördinaten te herleiden tot de epoche 2001.0. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het kinematische schollenmodel NNR-NUVEL1A [5]. Met andere woorden: omdat WGS84 een dynamisch referentiestelsel is, zijn de berekende coëfficiënten uit de formules (3), (4), (6) en (7) strikt alleen geldig voor de epoche 2001.0. Als uitgangspunt voor deze

³: het lineaire verschil tussen ETRS89 en WGS84 (G873) bedraagt in het horizontale vlak zo'n 3 dm.

⁴: voor Amersfoort werd, aan de hand van het kinematische schollenmodel NNR-NUVEL1A, berekend dat de jaarlijkse veranderingen in horizontale positie gelijk is aan: $dE/dt = 0,0185 \text{ m per jaar}$ en $dN/dt = 0,0144 \text{ m per jaar}$. De voor Amersfoort berekende jaarlijkse veranderingen in horizontale positie komt alleszins overeen met de gemeten jaarlijkse veranderingen in horizontale positie voor het ITRF-station Kootwijk [8].

2D-transformatieformules dient het basispunt Amersfoort. De resultaten staan vermeld in tabel 1 tot en met 5.

De nauwkeurigheid van de afgeleide 2D-transformaties werd getoetst door de transformaties daadwerkelijk uit te voeren en de resultaten (indirect) te vergelijken met de resultaten verkregen volgens de officiële RDNAPTRANS™ conversie procedure [11] en [12]. Directe vergelijking is niet mogelijk aangezien deze conversie procedure enkel de transformatie naar ETRS89 (en omgekeerd) beschrijft. Voor deze toetsing is een andere set punten gebruikt dan die waarmee de coëfficiënten uit de tabellen 1 tot en met 5 zijn berekend. De eerder gebruikte gridpunten zouden een niet realistisch beeld schetsen. Uit deze vergelijking volgt dat de standaardafwijking van de verschillen tussen de officiële RDNAPTRANS™-conversie procedure en de hier gepresenteerde reeksen, lineair uitgedrukt, slechts 9 cm bedraagt. De maximale afwijking tussen beide transformaties blijft binnen Nederland beperkt tot zo'n 25 cm. Deze verschillen zijn nagenoeg geheel toe te schrijven aan vervormingen binnen het klassieke driehoeksnets van de Rijksdriehoeksmeting [3], [11] en [12]. Aangezien er bij de afleiding van de 2D-transformatieformules géén rekening is gehouden met deze netvervormingen, betekent dit dat de hier gepresenteerde 2D-transformatie niet exact is maar een benadering. De nauwkeurigheid (95% percentiel) in horizontale positie (2D) waarmee coördinaten getransformeerd kunnen worden bedraagt gemiddeld 15 cm. In het midden van Nederland zal dit iets beter zijn en aan de randen iets slechter. Als wordt bedacht dat met behulp van een eenvoudige GPS-ontvanger de horizontale positie op gemiddeld 10 meter nauwkeurig (95% percentiel) kan worden bepaald en dat de nauwkeurigheid van de topografische kaart 1:25.000 ongeveer 5 meter bedraagt, zullen de hier gepresenteerde (benaderings)formules voor gebruikers van bijvoorbeeld handheld GPS-ontvangers en voor kartografen ruimschoots volstaan. Echter voor het nauwkeurige geodetische GPS-werk, waarbij differentieel wordt gemeten ten opzichte van in ETRS89 bekend zijnde geodetische stations (bijvoorbeeld RD-kernetpunten of de AGRS.NL stations), dient men gebruik te maken van de officiële RDNAPTRANS™-conversie procedure. Deze procedure wordt beschreven in [11] en [12]. Met behulp van het vrij verkrijgbare softwareprogramma *PCTrans* van de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine kunnen RD-coördinaten conform de officiële RDNAPTRANS™ conversie procedure worden getransformeerd naar onder meer ETRS89- en WGS84-coördinaten [6].

Tot slot moet worden opgemerkt dat transformatieformules zoals in dit artikel zijn afgeleid, slechts mogen worden gebruikt binnen het domein waarvoor de coëfficiënten uit deze transformatieformules zijn opgelost. Deze formules geven binnen Nederland goede resultaten, maar mogen niet worden gebruikt voor extrapolatie buiten Nederland.

Summary

Co-ordinate transformation between WGS84 and national datum RD

In this paper accurate polynomials have been derived for the transformation of geodetic co-ordinates between the national datum of the Rijksdriehoeksmeting (RD) and WGS84 (G873), and vice versa. The derived 4th degree polynomials for the transformation between RD and UTM-WGS84 are based on the Riemann theorem (1851) and the coefficients, listed in table 1 and 2, are determined using least squares for the UTM-zone 31 as well as for zone 32. For the transformation between rectangular RD co-ordinates and geodetic WGS84 co-ordinates (j, l) Multiple Regression Equations are derived. The coefficients are determined using least squares and are listed in table 3 through 5. The horizontal accuracy (95%) of the derived 2D-transformation formulae is estimated at 15 cm.

Literatuur

- Asperen, P.C.M. van, *Van ED50 naar WGS84: referentiesystemen op de kaarten 1:50 000*, Geodesia 1996 no. 1, p. 33-34;
- Beckers, G.W.J., H. van der Marel, *ITRF- en ETRS-coördinaten van de AGRS-referentiestationen in Nederland*, GPS Nieuwsbrief 13, no. 1, p. 41-45 (1998);
- Buren, J. van, *Het RD-net geanalyseerd. Wat schuift dat?*, Geodesia 1998 no. 7/8, p. 333 - 334;
- Defense Mapping Agency, *THE UNIVERSAL GRIDS: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS)*, DMA Technical Manual DMATM 8358.2, Fairfax (1989);
- DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus, S.Stein, *Effect of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions*, Geophysical Research Letters 21, p. 2191-2194 (1994);
- Gillissen, H., L. Dorst, softwareprogramma *PCTrans* versie 2.3n, Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine, Den Haag (2001);
- Marel, H. van der, *VS stoppen met opzettelijk verslechteren van GPS*, Geodesia 2000 no. 6, p. 289-290;
- Marel, H. van der, *De plaats van RD en NAP in Europa*, Geodesia 2000 no. 9, p. 373-380;
- Milbert, D.G., *GPS Accuracy Before and After SA Removal*, internet: www.igeb.gov/sa/diagram.shtml (2000);
- Polman, J., M.A. Salzmann, *Handleiding voor de Technische Werkzaamheden van het Kadaster*, Apeldoorn (1996);
- Rijksdriehoeksmeting, *Het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting en het European Terrestrial Reference System 1989 - Gebruik en definitie*, Kadaster, Apeldoorn (2000);
- Salzmann, M.A., J. van Buren, G.J.I.M. Lobé, *De Rijksdriehoeksmeting sluit aan op Europa*, Geodesia 2000 no. 9, p. 395-403;
- Schreutelkamp, F.H., G.L. Strang van Hees, *Benaderingsformules voor de transformatie tussen RD-en WGS84-kaartcoördinaten*, Geodesia 2001 no. 2, p. 64-69;
- Strang van Hees, G.L., *Globale en lokale geodetische systemen*, Nederlandse Commissie voor Geodesie, publicatie 30, 3^e druk, Delft (1997).

Bijlage

Rekenvoorbeeld 1: transformatie van RD naar UTM-WGS84 en vice versa.		
UTM-zone 31 81 Amsterdam (Westertoren): X = 120700,723 Y = 487525,501 Transformatie naar UTM-WGS84 E = 628217,312 N = 5804365,552 Terug transformatie naar RD X = 120700,723 Y = 487525,501	UTM-zone 32 21 Groningen (Martinitoren): X = 233883,131 Y = 582065,167 Transformatie naar UTM-WGS84 E = 337643,235 N = 5899435,841 Terug transformatie naar RD X = 233883,131 Y = 582065,163	Gegeven Formule 3 Formule 4
Rekenvoorbeeld 2: transformatie van RD naar ellipsoidische coördinaten en vice versa.		
81 Amsterdam (Westertoren): X = 120700,723 Y = 487525,501 Transformatie naar (φ, λ) $\varphi = 52^{\circ},37453253$ $\lambda = 4^{\circ},88352559$ Terug transformatie naar RD X = 120700,723 Y = 487525,502	21 Groningen (Martinitoren): X = 233883,131 Y = 582065,167 Transformatie naar (φ, λ) $\varphi = 53^{\circ},21938317$ $\lambda = 6^{\circ},56820053$ Terug transformatie naar RD X = 233883,131 Y = 582065,168	Gegeven Formule 6 Formule 7

Kaderstuk

Universele Transversale Mercatorprojectie

De UTM kaartprojectie is een bijzondere toepassing van de in 1772 door J.H. Lambert (1728-1777) ontworpen en in de negentiende eeuw door C.F. Gauss (1777-1855) en L. Krüger (1857-1923) verder uitgewerkte transversale Mercatorprojectie. De transversale Mercatorprojectie is een conforme transversale cilinderprojectie die vooral geschikt is voor afbeeldingen van niet al te brede meridiaonale zones. Het 'universele' karakter van de UTM-projectie is gelegen in de systematische rangschikking van de projectiezones. De aardbol kan worden opgedeeld in zestig zones die ieder 6 lengtegraden breed zijn (zie fig. 2). De zones worden in oostwaartse richting genummerd van 1 tot en met 60, geteld vanaf de datumlijn. Nederland ligt zodoende in twee zones, namelijk zone 31 die begrensd wordt door de meridianen 0° en 6° OL, en zone 32 die op haar beurt wordt begrensd door de meridianen 6° en 12° OL (zie fig. 3). Om geen ongewenste sprongen te krijgen worden de UTM-coördinaten van punten in Oost-Nederland meestal ook voor zone 31 berekend. Door de convergentie van de meridianen worden de zones naar de polen toe steeds smaller. Voor de poolstreken is de UTM-projectie zodoende niet erg geschikt. UTM-coördinaten worden daarom gebruikt tussen 84° NB en 80° ZB. Voor de poolstreken wordt het zogenaamde Universele Polaire Stereografische projectie (UPS) gebruikt.

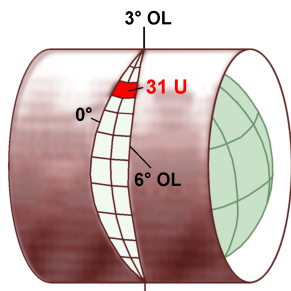


Fig. 2. De schematische voorstelling van de Universele Transversale Mercator projectie.

In UTM worden de noord-coördinaten gerekend vanaf de equator (Northing) en de oost-coördinaten vanaf de centrale meridiaan (Easting), waarbij de centrale zone-meridiaan de Easting-coördinaat 500.000 meter draagt. Dit wordt gedaan om negatieve coördinaten te vermijden. Op het zuidelijk halfrond telt men bij de Northing ook een constante op (10.000.000 meter) ter voorkoming van negatieve getallen.

Om afstandsvervalsingen aan de randen te beperken wordt de centrale meridiaan met een vergroting van 0,9996 afgebeeld. Het gevolg hiervan is dat de transversale cilinder het bol- of ellipsoidisch oppervlak snijdt in plaats van er aan te raken.

Het UTM-systeem is oorspronkelijk ontworpen voor militair gebruik, maar wordt in toenemende mate ook voor civiele doeleinde toegepast. Voor de UTM projectie werd binnen Europa tot voorkort uitgegaan van het Europese referentiesysteem ED50, in combinatie met de 'Internationale ellipsoïde van 1924'. Om de uitwisseling van kaartgegevens wereldwijd te vereenvoudigen, heeft de NAVO besloten de coördinaten te baseren op het wereldwijde WGS84-systeem in plaats van op het continentale ED50-systeem. Sinds 1995 vervaardigd de Topografische Dienst dan ook topografische kaarten die naast het vertrouwde nationale coördinatenstelsel van de Rijksdriehoeksmeting ook zijn voorzien van het bovengenoemde UTM-WGS84 coördinatenstelsel [1]. Het voordeel van topografische kaarten die zijn voorzien van een dergelijke UTM-WGS84 schaal is dat de met behulp van GPS bepaalde coördinaten meteen aan de kaart kunnen worden gerelateerd zonder dat men de transformatie tussen het mondiale en het nationale referentiesysteem behoeft te kennen.

Voor de berekening van UTM-coördinaten uit gegeven ellipsoïdische coördinaten (φ , λ) wordt verwezen naar [4] en/of [14]. Bij het gebruik van UTM coördinaten moet altijd goed worden aangegeven aan welk stelsel zij refereren, ED50 of WGS84. Het verschil tussen beide systemen bedraagt lineair ongeveer zo'n 225 meter. Formules voor de transformatie van RD-coördinaten naar UTM-ED50 worden onder andere gegeven in [14].

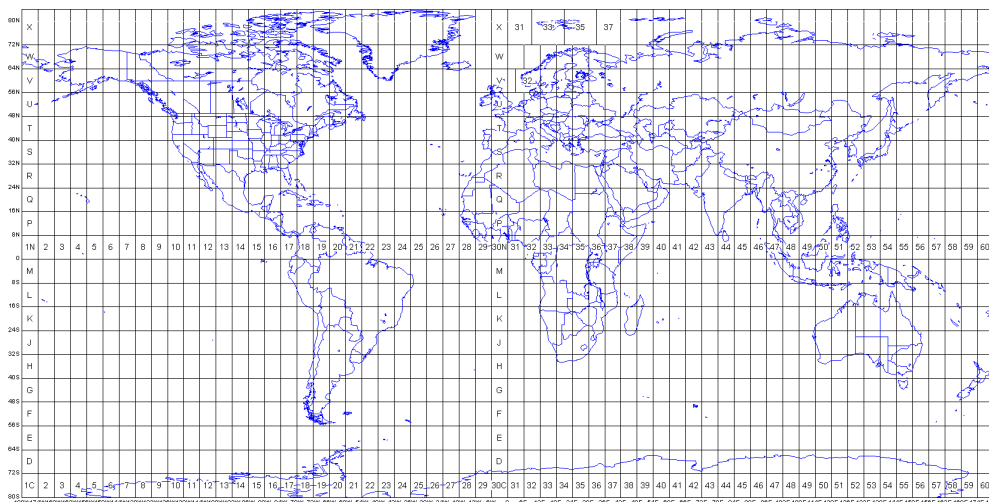


Fig. 3. Mondiale UTM zoneverdeling.