



**Opleiding Geografie en Geomatica**

**Master in de Geografie**

# **Onderzoek van historisch topografisch instrumentarium**

**Studie in het kader van de twintigste  
verjaardag van de opleiding geomatica en  
cartografie**

**Joachim Rozek**

Aantal woorden in tekst: 21526

**Academiejaar 2010 – 2011**

**Prof. Dr. Ir. A. De Wulf  
vakgroep Geografie**

**Masterproef ingediend tot het  
behalen van de graad van  
Master in de Geografie**

### **Woord Vooraf**

*Mijn dankbetuiging aan iedereen die het realiseren van deze masterscriptie heeft mogelijk gemaakt.*

*In de eerste plaats dank aan Prof. Dr. Ir. A. De Wulf voor de professionele begeleiding en opvolging.*

*Dank ook aan D. Segers, A. Jonckheere, K. Wautier en H. Mesdom., medewerkers van het museum van de geschiedenis van de wetenschappen, voor de vlotte samenwerking en feedback.*

*Graag zou ik ook enkele studenten en assistenten van de vakgroep geomatica en Prof. Dr. P. De Maeyer willen bedanken voor het aanreiken van fotomateriaal.*

*Tot slot nog een bijzonder dankwoord voor ouders, vrienden en familie.*

# **INHOUDSOPGAVE**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| WOORD VOORAF .....                                         | 1  |
| INHOUDSOPGAVE.....                                         | 2  |
| FIGURENLIJST.....                                          | 5  |
| INLEIDING .....                                            | 10 |
| HOOFDSTUK 1 : DE LANDMEETKUNDIGE WERELD .....              | 11 |
| 1.1 Wat is landmeetkunde.....                              | 11 |
| 1.2 Wie zijn landmeters .....                              | 12 |
| 1.3 Bekende landmeters.....                                | 13 |
| 1.4 Toepassingsdomeinen.....                               | 16 |
| 1.5 Projectverloop.....                                    | 18 |
| 1.6 De survey in praktijk .....                            | 21 |
| 1.7 Basisuitrusting hedendaagse landmeter .....            | 24 |
| 1.8 Het prijskaartje.....                                  | 27 |
| HOOFDSTUK 2 : LANDMETEN DOORHEEN DE TIJD .....             | 28 |
| 2.1 Hoe het begon .....                                    | 29 |
| 2.2 De Hellenistische wereld .....                         | 32 |
| 2.3 De Romeinen .....                                      | 34 |
| 2.4 De middeleeuwen .....                                  | 37 |
| 2.5 De Renaissance .....                                   | 40 |
| 2.6 17 <sup>de</sup> – 18 <sup>de</sup> eeuw .....         | 43 |
| 2.7 19 <sup>de</sup> – midden 20 <sup>ste</sup> eeuw ..... | 46 |
| 2.8 Technologische vernieuwing sinds 1970.....             | 48 |
| HOOFDSTUK 3 : WATERPASSING.....                            | 49 |
| 3.1 Referentieniveaus .....                                | 50 |
| 3.2 Uitvoeren van een waterpassing .....                   | 52 |
| 3.3 Waterpasinstrumenten .....                             | 55 |
| 3.3.1 Luchtbelwaterpas.....                                | 55 |
| 3.3.2 Instrumenten zonder kijker.....                      | 56 |
| 3.3.3 Instrumenten met kijker.....                         | 60 |
| 3.3.4 Automatische waterpastaostellen .....                | 63 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.5 Digitale waterpassing .....                             | 66  |
| 3.4 Bakens.....                                               | 67  |
| 3.5 Andere methodes van hoogtemeting .....                    | 71  |
| 3.5.1 Hydrostatische hoogtemeting .....                       | 71  |
| 3.5.2 Trigonometrische hoogtemeting.....                      | 71  |
| 3.5.3 Barometrische hoogtemeting.....                         | 72  |
| <br>HOOFDSTUK 4 : HOEKMETING .....                            | 73  |
| 4.1 Maten voor hoekmeting.....                                | 74  |
| 4.2 Instrumenten voor hoekmeting .....                        | 76  |
| 4.2.1 Instrumenten voor het uitzetten van rechte hoeken ..... | 76  |
| 3.3.2 Instrumenten voor verticale hoekmeting .....            | 79  |
| 3.3.3 Instrumenten voor horizontale hoekmeting.....           | 81  |
| 3.3.4 Theodolieten .....                                      | 88  |
| <br>HOOFDSTUK 5 : AFSTANDMETING.....                          | 93  |
| 3.1 Afstandsmeting in praktijk .....                          | 94  |
| 3.2 Instrumenten voor afstandsmeting.....                     | 95  |
| 5.2.1 Directe afstandsmeting .....                            | 95  |
| 5.2.2 Optische afstandsmeting.....                            | 98  |
| 5.2.3 Elektronische afstandsmeting.....                       | 102 |
| 5.2.4 Telemetrische afstandsmeting .....                      | 105 |
| <br>HOOFDSTUK 6 : INTEGRATIE HOEK – EN AFSTANDSMETING .....   | 107 |
| 6.1 Werking .....                                             | 108 |
| 6.2 Elektronische tachymeters .....                           | 109 |
| 6.3 Recente ontwikkelingen bij totaalstations .....           | 111 |
| <br>HOOFDSTUK 7 : RADIOPLAATSBEPALING EN GPS .....            | 113 |
| 7.1 Terrestrische Radioplaatsbepaling.....                    | 114 |
| 7.2 GPS .....                                                 | 115 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 7.3 GPS en topografie.....                            | 118 |
| 7.4 RTN - FLEPOS.....                                 | 120 |
| <br>HOOFDSTUK 8 : LASERSCANNING .....                 | 121 |
| 8.1 Werking .....                                     | 122 |
| 8.2 Instrumenten .....                                | 124 |
| 8.3 Verwerking .....                                  | 126 |
| 8.4 Applicaties .....                                 | 127 |
| CONCLUSIE .....                                       | 128 |
| REFERENTIELIJST .....                                 | 129 |
| BIJLAGEN.....                                         | 134 |
| A. De landmeter-cartograaf G. Washington .....        | 134 |
| B. Kostelijke blunders uit de sportwereld.....        | 136 |
| C. Eratosthenes berekent de omtrek van de aarde ..... | 137 |
| D. Kartering met planchet.....                        | 138 |
| E. Hoe hoog is Mount Everest ? .....                  | 139 |
| F. Oorsprong metrisch stelsel .....                   | 140 |
| G. Geheime code landmetersketting.....                | 142 |
| H. Totalstation en archeologie.....                   | 143 |
| I. Voorstel posters tentoonstelling .....             | 145 |

## **FIGURENLIJST**

**Figuur 1: landmeetkundige metingen**

**Figuur 2: Mount Rushmore Monument**

**Figuur 3: reproductie van de originele kaart Nieuw-Zeeland, opgesteld door luitenant James Cook, bevelhebber van de Endeavour, tijdens de expeditie van 1769-1770**

**Figuur 4 : zelfportret Leonardo Da Vinci uit ca. 1512-1515**

**Figuur 5 : projectverloop**

**Figuur 6 : wiskundig model van de werkelijkheid**

**Figuur 7 : lijnstuk PQ**

**Figuur 8 : schietlood**

**Figuur 9 : jalonniveau**

**Figuur 10 : totaalstation op driepikkel**

**Figuur 11 : kijker met kruisdraden**

**Figuur 12 : Egyptisch beeldje landmeter**

**Figuur 13 : muurschildering landmeter in tombe van Menna**

**Figuur 14 : Kudurru-steen**

**Figuur 15 : dioptra**

**Figuur 16 : illustratie Griekse astronoom Hipparcus**

**Figuur 17 : pagina uit Middeleeuwse kopie van het corpus Agrimensorum Romanorum**

**Figuur 18 : groma**

**Figuur 19 : chorobates en andere Romeinse meetinstrumenten**

**Figuur 20 : jacobsstaf**

**Figuur 21 : winkelkruis**

**Figuur 22 : gebruik astrolabium**

**Figuur 23 : Gemma Frisius**

**Figuur 24 : planchet**

**Figuur 25 : Ferrariskaart Gent**

**Figuur 26 : 17<sup>de</sup>-eeuws landmetersmateriaal**

**Figuur 27 : micrometer Gascoigne**

**Figuur 28 : punten triangulatiernetwerk Nederland**

**Figuur 29 : waterpassing**

**Figuur 30 : merkteken T.A.W.**

**Figuur 31 : referentieniveaus België en buurlanden**

**Figuur 32 : aflezing afstandsdraden**

**Figuur 33 : waterpassingsformulier**

**Figuur 34 : doorgaande waterpassing**

**Figuur 35 : voor- en achterbaakaflezing**

**Figuur 36 : refractiefout**

**Figuur 37 : buisniveau**

**Figuur 38 : doosniveau**

**Figuur 39 : flesjeswaterpas**

**Figuur 40 : collimatorniveau Colonel Gaulier**

**Figuur 41 : vizierwaterpasinstrument van Burel**

**Figuur 42 : waterpasinstrument met vizieren (type ponts et chaussées)**

**Figuur 43 : waterpasinstrument type alles vast**

**Figuur 44 : niveaukijker Colonel Gaulier**

**Figuur 45 : waterpasinstrument type Fennel**

**Figuur 46 : coïncidentieluchtbelaflezing**

**Figuur 47 : waterpasinstrumenten Wagner**

**Figuur 48 : waterpasinstrumenten Wild**

**Figuur 49 : compensator**

**Figuur 50 : waterpasinstrument Wild Ni 2**

**Figuur 51 : periscopisch waterpasinstrument Koni**

**Figuur 52 : waterpasinstrument SNA-1**

**Figuur 53 : waterpasinstrument Kern GK1-A**

**Figuur 54 : digitaal waterpasinstrument NA 3000**

**Figuur 55 : bordjesbaak**

**Figuur 56 : waterpasinstrument zelfleesbaak met omgekeerde graduering**

**Figuur 57 : standaardbaak**

**Figuur 58 : uitklapbare baak**

**Figuur 59 : invarbaak**

**Figuur 60 : digitale baak**

**Figuur 61 : trigonometrische hoogtemeting**

**Figuur 62 : barometrische hoogtemeting**

**Figuur 63 : relatie graden & radialen**

**Figuur 64 : rechte hoeken volgens de Egyptische methode met touw**

**Figuur 65: achthoekig landmeterskruis**

**Figuur 66 : kogelvormig landmeterskruis**

**Figuur 67 : hoekspiegel en stralengang**

**Figuur 68 : pentagoonprisma en stralengang**

**Figuur 69 : zaksextant**

**Figuur 70 : kleine sextant met spiegels**

**Figuur 71 : hydrografische cirkel**

**Figuur 72: hellingsmeter van Lefebvre**

**Figuur 73 : hellingsmeter van Chézy**

**Figuur 74 : bousole van Berget**

**Figuur 75 : bousole met clisimeter**

**Figuur 76 : bousole met hellingsmeter**

**Figuur 77 : landmeterskompas Kern Aarau**

**Figuur 78 : grafometer**

**Figuur 79 : hollandse cirkel**

**Figuur 80 : repetitiecirkel**

**Figuur 81 : pantometer**

**Figuur 82 : pantometer met kompas**

**Figuur 83 : graadcirkel met kijker**

**Figuur 84 : theodoliet assen**

**Figuur 85 : transittheodoliet**

**Figuur 86 : Wild T2**

**Figuur 87 : Wild T3**

**Figuur 88 : zaktheodoliet Wild T12**

**Figuur 89 : Wild Repetitietheodoliet**

**Figuur 90 : illustratie invoering metrisch stelsel**

**Figuur 91 : landmetersketting**

**Figuur 92 : meetpennen**

**Figuur 93: metalen meetband**

**Figuur 94 : invardraad**

**Figuur 95 : stadimetrische afstandsmeting a**

**Figuur 96: stadimetrische afstandsmeting b**

**Figuur 97 : afstandsmeter type Cleps**

**Figuur 98: contacttachymeter type Sanguet**

**Figuur 99 : Wild RDS**

**Figuur 100 : horizontale zelfleesbaak**

**Figuur 101: Wild RDH**

**Figuur 102: Wild RDH horizontale baak**

**Figuur 103 : stadimetrische kijker**

**Figuur 104 : Wild TM 0**

**Figuur 105 : Wild TM10**

**Figuur 106 : principe elektronische afstandsmeting**

**Figuur 107 : AGA Geodetic Distance Meter**

**Figuur 108 : DISTO**

**Figuur 109 : afstandsmeter van Souchier**

**Figuur 110 : afstandsmeter Quinemant**

**Figuur 111 : Wild DI 10**

**Figuur 112 : ZEISS Rec Elta totaalstation**

**Figuur 113 : robotisch totaalstation Trimble S6**

**Figuur 114 : polygonatie**

**Figuur 115 : ruimtesegment GPS**

**Figuur 116 : controlesegment GPS**

**Figuur 117 : Garmin GPS GP60**

**Figuur 118 : DGPS**

**Figuur 119 : FLEPOS stations**

**Figuur 120 : werking Laserscanner**

**Figuur 121 : puntenwolk Sint-Baafs abdij Gent**

**Figuur 122 : principe puls-round-trip scanner**

**Figuur 123 : van puntenwolk naar 3D-model**

**Figuur 124 : kartering Mount Vernon door G. Washington**

**Figuur 125 : George Washington als landmeter**

**Figuur 126 : berekening van de omtrek van de aarde volgens Eratosthenes**

**Figuur 127 : kartering met planchet**

**Figuur 128 : standaardmeter**

**Figuur 129 : standaard kilogram**

**Figuur 130 : geheime code landmetersketting**

**Figuur 131 : robotisch totaalstation bij archeologisch veldwerk**

**Figuur 132 : DTM Robotisch totaalstation versus fotogrammetrisch DTM**

## **INLEIDING**

In 2011 viert de Universiteit Gent het twintigjarig bestaan van de opleiding landmeetkunde (geomatica) en cartografie. Naar aanleiding van deze verjaardag wordt in het academiejaar 2011-2012 een tentoonstelling georganiseerd in het museum voor de geschiedenis van de wetenschappen van de Universiteit Gent. De tentoonstelling ‘U bevindt zich hier’ toont het uitgebreide patrimonium aan topografische toestellen, dat de universiteit rijk is, aan het grote publiek. De focus van de expositie ligt daarbij op de technologische evolutie van de toestellen sinds ruwweg het begin van de Renaissance tot vandaag de dag. Van eenvoudige toestellen die eendimensionale gegevens, zoals een hoek, een afstand of een hoogte opleverden, evolueerde het instrumentarium van de landmeter naar geavanceerde toestellen, die zeer precieze driedimensionale metingen toelaten.

Deze masterscriptie heeft als doelstelling aan de hand van een uitvoerige literatuurstudie, het verhaal van de technologische evolutie van dit instrumentarium, op een wetenschappelijk verantwoorde en op een voor de leek verstaanbare manier te vertellen. Naast deze technologische evolutie wordt er ook naar gestreefd om bondig, landmeetkunde in al haar facetten en de ontwikkeling van deze wetenschap doorheen de tijd, te belichten. De teksten die in deze masterscriptie zijn opgenomen zullen uiteindelijk voorgelegd worden om opgenomen te worden in de catalogus van de tentoonstelling.

In een eerste hoofdstuk maakt de lezer kennis met de wereld van de landmeter en alles wat erbij komt kijken. In een tweede hoofdstuk wordt de algemene evolutie van landmeten doorheen de tijd geschetst. Hoofdstuk 3-8 legt thematisch de nadruk op de technologische evolutie van het landmeterinstrumentarium en hoe dit van eenvoudige 1D-meettoestellen naar hoogtechnologische 3D-toestellen evolueerde. De eerste drie thema's behandelen het instrumentarium en de technieken die eendimensionale gegevens, een hoogte, een hoek of een afstand, opleveren. Een vierde thema licht instrumenten, die zowel hoeken als afstanden kunnen meten toe. Het betreft de eerste instrumenten waarmee nauwkeurig in 3D kan worden gemeten. In hoofdstuk 7-8 wordt tenslotte dieper in gegaan op de modernste technieken die hun intrede vonden in het landmeten: GPS en 3D-laserscanners. Beiden brachten ze ingrijpende veranderingen teweeg in de manier van landmeten. De hele technologische evolutie en werking die in de 6 thema's aan bod zal komen in de tentoonstellingscatalogus, worden afgewisseld met diverse weetjes, anekdotes en toepassingen, die in de bijlage van deze scriptie te vinden zijn.



## 1.2 Wie zijn landmeters?

Landmeetkunde is het domein van de landmeters of de volgens de wet correcte titel ook wel landmeters-experten genoemd. De landmeter is een onmisbare beroepsuitoefenaar met een grote waarde ten dienste van de burger, de ondernemingen en de maatschappij. Landmeters zijn vakspecialisten die openbaar of privaat onroerend eigendom, zowel boven- als ondergronds, identificeren, afpalen, opmeten en schatten. Ze doen er de registratie van en regelen de eraan verbonden zakelijke rechten. (<http://www.landmeters-experten.be>, 26 februari 2011) Ook een belangrijke taak als technische en juridische raadsman ten dienste van het gerecht, de bouwwereld, de economie, het leefmilieu en de vastgoedsector is voor hen weggelegd. (<http://www.landmeters-experten.be>, 2008) Landmeters ontwerpen en sturen de ruimtelijke ordening en planning, zowel landelijk als stedelijk en geven daartoe blijk van een uitgebreide technische, juridische, economische, landbouwkundige en sociale kennis. (<http://www.landmeters-experten.be>, 26 februari 2011) De landmeter draagt dus een zeer grote verantwoordelijkheid met zich mee en vervult een belangrijke rol in de maatschappij.

Het landmeetkundig beroep is in België dan ook bij wet geregeld en beschermd sinds mei 2003 met de ‘wet tot bescherming van de titel en van het beroep van de landmeter-expert’. Deze wet bepaalt dat enkel hooggeschoolde personen met een diploma in de landmeetkunde of aanverwanten rechtmatig als landmeter-expert aan de slag mogen. Elke landmeter is aan een strikte plichtenleer onderworpen en moet voor een rechtbank een eed afleggen waarin hij verklaart de opdrachten die hem als landmeter-expert zullen worden toevertrouwd in eer en geweten te vervullen volgens de voorschriften van de Belgische wet. Omwille van deze eedaflegging hoort men daarom ook wel eens van beëdigde landmeters spreken. (N.N., 2003) Derde vereiste om als landmeter aan de slag te gaan is dat men ingeschreven is in het tableau. Dit is een officiële lijst van alle rechtmatige landmeters-experten opgesteld door de Federale Raad van de landmeters-experten<sup>3</sup>. Landmeters worden ingezet in tal van branches. De meesten werken op zelfstandige basis of in vennootschapvorm. Ze zijn vooral werkzaam in dienst van een overheidsinstelling of een ingenieurbureau. (<http://landmeter-antwerpen.be>, 20 maart 2011)

---

<sup>3</sup> Federale Raad van landmeters-experten: wettelijk erkend controleorgaan dat toezicht houdt op de uitoefening van het beroep

### 1.3 Bekende Landmeters

Ondanks de belangrijke rol die voor de landmeter in de maatschappij is weggelegd is het niet meteen een beroep waarvan men verwacht dat het tot grote bekendheid zal leiden. Toch zijn er in de loop van de geschiedenis een aantal vermeldenswaardige bekende figuren die landmeetkundige activiteiten verrichtten. Meest opmerkelijke namen in het lijstje van bekende landmeters zijn deze van drie Amerikaanse ex-presidenten : George Washington<sup>4</sup> (1732-1799), Thomas Jefferson (1743-1826) en Abraham Lincoln (1809-1865). Alle drie waren ze voor hun politieke carrière actief als landmeter. Opvallend feit is dat ze alle drie vereeuwigd werden in de wereldberoemde sculpturen van het Mount Rushmore Monument (figuur 2). Enkel Theodore Roosevelt is daar vanuit landmeetkundig oogpunt de vreemde eend in de bijt. (Buhler, 2010)



**Figuur 2: Mount Rushmore Monument**

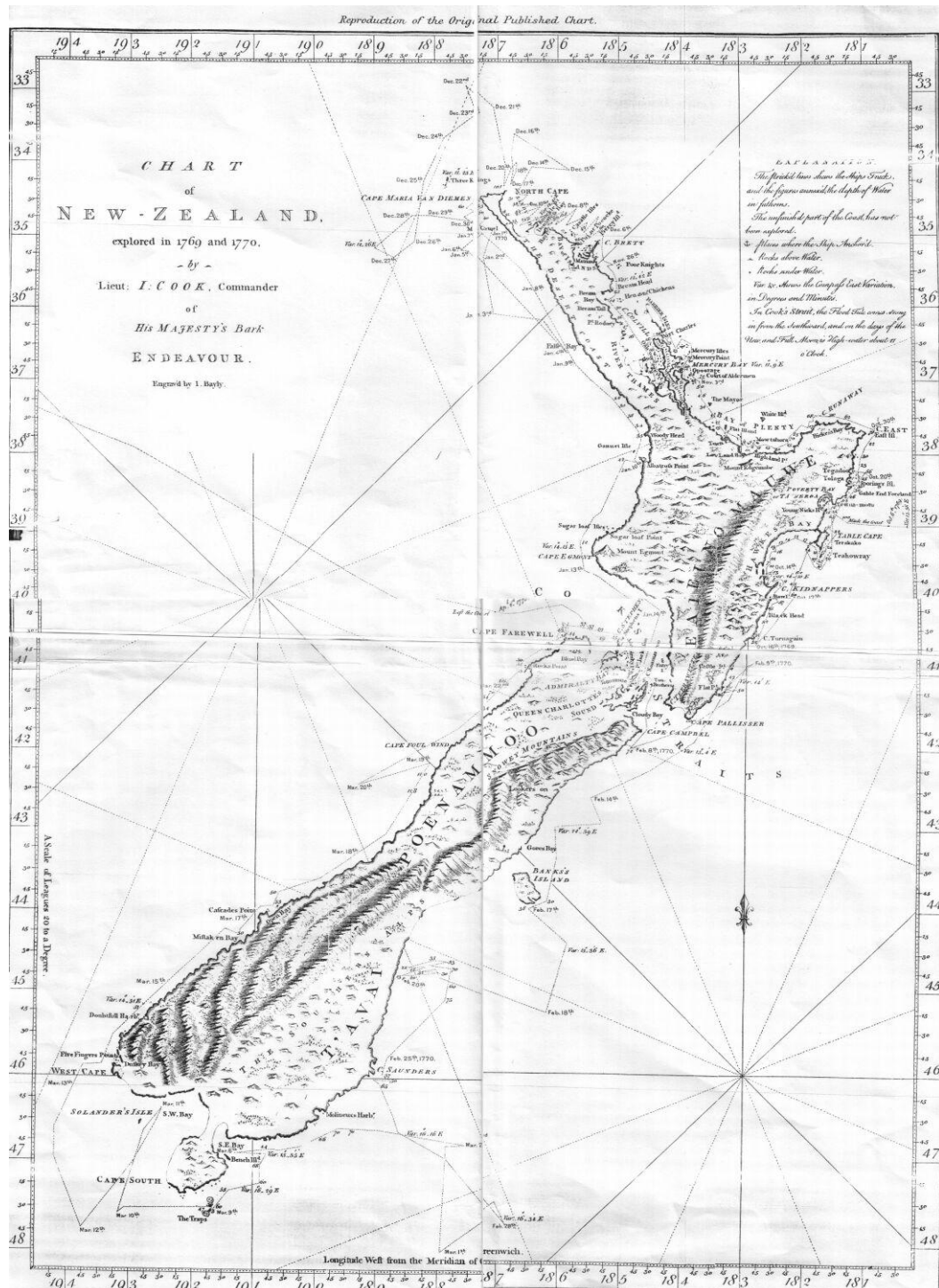
Bron : Dean Franklin, <http://nl.wikipedia.org>, 3 mei 2011

Een andere bekende landmeter vinden we bij de 18<sup>e</sup> eeuwse Britse ontdekkingsreiziger James Cook (1728-1779). Cook, bekend omwille van drie grote expedities naar de Grote Oceaan en Antarctica, was veel meer dan enkel een zeevaarders en avonturier. Hij is één van de belangrijkste ontdekkingsreizigers uit de geschiedenis aangezien hij de eerste was om contact te leggen met diverse volken uit de Stille Oceaan en een rijke schat aan informatie over de Stille Oceaan naar het Westen bracht. De zeer waardevolle informatie die Cook verzamelde was grotendeels gesteund op zijn activiteiten als landmeter tijdens de expedities.

---

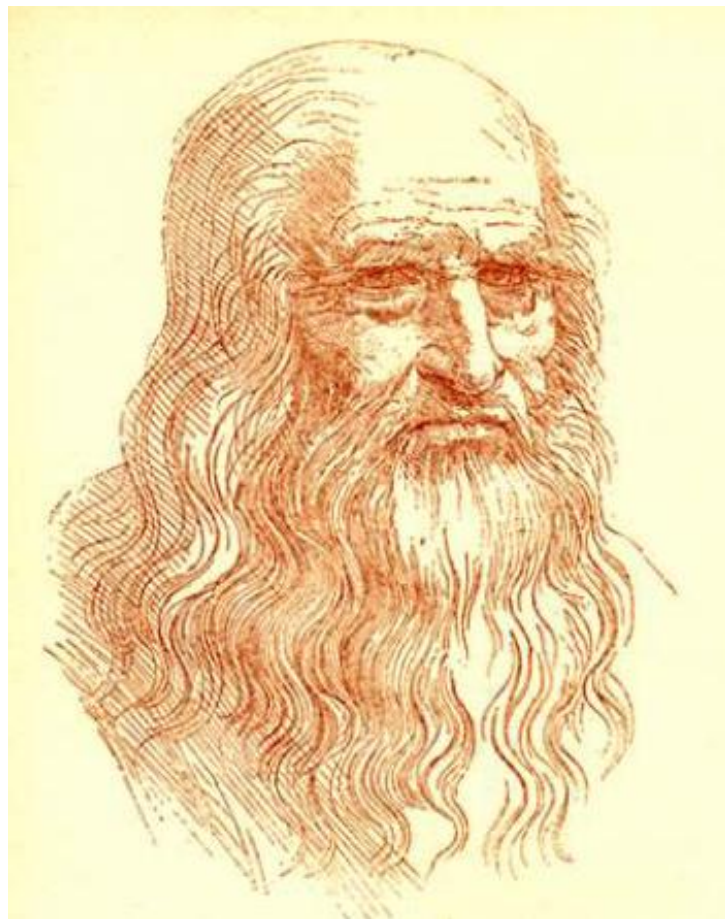
<sup>4</sup> Bijlage A : Landmeter-Cartograaf George Washington

De nieuwe gebieden die hij ontdekte, mat hij in detail op en bracht hij vervolgens gedetailleerd in kaart. Tijdens zijn expeditie van 1769-1770 was hij zo de eerste die een kaart maakte van Nieuw Zeeland (figuur 3). (N.N., 1978)



**Figuur 3: reproductie van de originele kaart Nieuw-Zeeland, opgesteld door luitenant James Cook, bevelhebber van de Endeavour, tijdens de expeditie van 1769-1770**  
Bron : <http://ebooks.adelaide.edu.au>, 26 augustus 2010

Uit het lijstje met bekende landmeters vermelden we ten slotte nog Leonardo Da Vinci (1452-1519). Deze homo Universalis (figuur 4) die vooral gekend staat als de schilder van de Mona Lisa, was ook in tal van andere branches actief. Zo was hij naast kunstenaar ook nog architect, wetenschapper, uitvinder, ingenieur en ook landmeter-cartograaf. Als landmeter is Da Vinci belangrijk omwille van de uitvinding en perfectionering van enkele instrumenten. Ook zijn inzichten rond perspectief, lenzenstelsels, de eigenschappen van licht en het belang dat hij hechtte aan precieze wetenschappelijke observatie betekenden een grote vooruitgang voor de landmeetkunde en voor de wetenschap in het algemeen. Sommige van de cartografische technieken die hij introduceerde zouden overigens tot vandaag de dag in gebruik blijven. (Blevins, 2010)



**Figuur 4 : zelfportret Leonardo Da Vinci uit ca. 1512-1515**

Bron : <http://nl.wikipedia.org>, 14 mei 2011

## 1.4 Toepassingsdomeinen

De opdrachten die aan landmeters worden voorgelegd zijn zeer uitgebreid en afkomstig uit diverse hoeken. Vooreerst zijn er 2 taken die bij wet bepaald zijn om enkel door een landmeter te mogen worden uitgevoerd : het afpalen van terreinen en het opmaken en ondertekenen van plannen die moeten dienen voor een grenserkenning voor gelijk welke akte of proces-verbaal, welk in een identificeren van grondeigendom voorzien en welke ter hypothecaire overschrijving of inschrijving kunnen worden voorgelegd. (N.N., 2003) Hiermee focust de wettekst op de activiteiten van de landmeter ten dienste van de rechtbank, advocaten en notarissen. In deze context wordt de landmeter ook ingezet voor onder meer plaatsbeschrijvingen<sup>5</sup>, bij onteigeningen, schattingen, schadegevallen, geschillen, deskundige onderzoeken, ruilingen, verdelingen bij erfenissen, verkavelingsaanvragen, stedenbouwkundige attesten, enz. (<http://www.landmeters-experten.be>, 26 februari 2011)

Buiten dit gerechtelijk kader is er echter nog een brede waaier aan toepassingen waarvoor de landmeter wordt ingezet. Zo worden landmeters onder meer ingezet ten dienste van ingenieursbureaus voor het uitvoeren van industriële metingen, technische metingen, deformatiemetingen<sup>6</sup>, werfbegeleiding, en voor het opmeten van bestaande gebouwen. Voor deze laatste twee taken doen ook architectenbureaus beroep op landmeters. Daarenboven staat de landmeter voor de architect ook in voor het opmeten van gronden ten behoeve van bouwwerken, plaatsbeschrijvingen, het uitzetten van gebouwen en voor werfbegeleiding onder de vorm van controlemetingen tijdens de uitvoering van de werken. De landmeter-expert kan ook worden ingezet door de vastgoedsector om deskundig onderzoek en expertise bij onder meer verkavelingsdossiers te doen, alsook voor het uitvoeren van marktonderzoeken en administratieve opzoekingswerken. (<http://www.obge-bole.be>, 3 maart 2011) Er zijn nog tal van andere toepassingsvelden waarbij landmeters worden ingeschakeld. Cartografie, geografische informatiesystemen<sup>7</sup>, fotogrammetrie<sup>8</sup>, remote sensing<sup>9</sup> en GPS-plaatsbepalingssystemen zijn daarvan de voornaamste. Maar ook in het kader van defensie,

---

<sup>5</sup> Plaatsbeschrijving : gedetailleerde officiële beschrijving van onroerende goederen en dit voor zowel gronden, woonhuizen, handelspanden en industriële complexen.

<sup>6</sup> Deformatiemetingen : monitoren van eventuele vervormingen aan bouwwerken. Bijvoorbeeld stabiliteit van een dam of muur nagaan.

<sup>7</sup> Geografisch informatiesysteem : afgekort GIS, Het is een softwaresysteem dat gebruikt wordt voor inventarisatie, beheer, bewerking, analyse en visualisatie van ruimtelijke gegevens.

<sup>8</sup> Fotogrammetrie : techniek die zich bezighoudt met het uitvoeren van metingen aan de hand van fotografisch materiaal

<sup>9</sup> Remote Sensing : Strikt genomen het verzamelen van informatie over een object zonder in direct contact te staan met dat object. Men doet hierbij hoofdzakelijk op satellietwaarneming.

archeologie, bathymetrie<sup>10</sup>, hydrografie, geologie en bodemkunde worden landmeters ingeschakeld. (<http://www.geod.nrcan.gc.ca>, 1 augustus 2008) Al naargelang het toepassingsdomein spreekt men dan ondermeer van een controlesurvey, topografische survey, kadastrale survey, hydrografische survey, constructiesurvey, mijnsurvey, enz. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 11-12)

---

<sup>10</sup> Bathymetrie : opmeten van de topografische hoogte van de zeebodem.

## 1.5 Projectverloop

Tijdens de projectuitvoering wordt er, ongeacht de brede waaier toepassingen waarvoor landmeters worden ingezet, vrijwel altijd een aantal vaste praktische stappen doorlopen (figuur 5). Het slagen van elk project begint zo telkens bij een goede projectomschrijving. In deze eerste fase worden de doelstellingen en verwachtingen van de opdrachtgever meegedeeld aan de landmeter. Naargelang de eisen, de aard van het terrein, het beschikbare budget, personeel, instrumentarium en de beschikbare tijd wordt dan wel overwogen beslist, welke de meeste wenselijke opmetingstechnieken zijn voor het project in kwestie. (Alberda J. E., 2003; N.N., 2008, pp. 37-42)

Eens het project duidelijk is omschreven wordt overgegaan tot de fase van Surveyplanning. In deze fase voert de landmeter een eerste grondige terreinverkenning en studie uit. Doelstelling is de eigenlijk survey zo zorgvuldig mogelijk te plannen en voor te bereiden. Eventuele moeilijkheden en obstakels die tijdens het terreinwerk kunnen voorkomen, worden in rekening gebracht en vanuit het time is money principe zal men streven naar een zo efficiënte mogelijke opmeting. Op zo kort mogelijke tijd wil men kwalitatief hoogstaande gegevens verzamelen, die voldoen aan de vooraf bepaalde doelstellingen en eisen. Indien men bijvoorbeeld als techniek laserscanning gebruikt, zal de landmeter streven naar een volledige bedekking van het in te scannen object of terrein met zo weinig mogelijk opstelpunten<sup>11</sup> en de best passende resolutie<sup>12</sup> voor de verschillende scans. (N.N., 2008, pp. 37-42)

Van zodra de planning voor de opmeting voltooid is, worden de eigenlijke voorbereidingen voor de survey getroffen. Al het benodigde materiaal van meettoestellen, randapparatuur en hulpobjecten worden naar het terrein gebracht en in positie geplaatst. Zo worden onder meer de opstelpunten duidelijk gemarkeerd. De essentie van een opmeting is dat de positie van elk punt dat de landmeter opmeet exact in de ruimte gekend is. Per opstelpunt wordt daarvoor in een lokaal coördinatenstelsel<sup>13</sup> gewerkt. Om de opgemeten punten vanuit de verschillende opstelpunten correct ten opzichte van mekaar te plaatsen worden die in een latere fase omgezet naar een absoluut coördinatenstelsel<sup>14</sup>. Om dit mogelijk te maken start vrijwel elke

---

<sup>11</sup> Opstelpunt : plaats waarboven landmeettoestel wordt opgesteld en punten worden opgemeten

<sup>12</sup> Resolutie: graad van detail. Hoe hoger de gewenste resolutie, hoe meer detail maar hoe groter de tijdsinvestering. Naargelang de eisen en doelstellingen van het project moet dit telkens goed overwogen worden.

<sup>13</sup> Lokale coördinaten : x,y,z gemeten vanuit een willekeurige oorsprong, zoals in dit geval het opstelpunt

<sup>14</sup> Absolute coördinaten : Deze zijn gedefinieerd ten opzicht van een vaste oorsprong. Elke plaats op aarde heeft een unieke coördinaat binnen dergelijk systeem. Het meest gebruikte absoluut coördinatensysteem in België zijn de Lambertcoördinaten.

survey met de zogenaamde situatiemeting, waarbij de absolute coördinaten van elk opstelpunt bepaald worden. Dit kan gebeuren aan de hand van GPS of op basis van een net van geodetische punten<sup>15</sup>. Na de situatiemeting wordt overgegaan tot het tweede meest arbeidsintensieve deel van de survey, de detailmeting. Daarbij voert de landmeter de eigenlijke meting van het op te meten object of terrein in kwestie uit. (Alberda J. E., 2003; N.N., 2008, pp. 42-50)



**Figuur 5 : projectverloop**

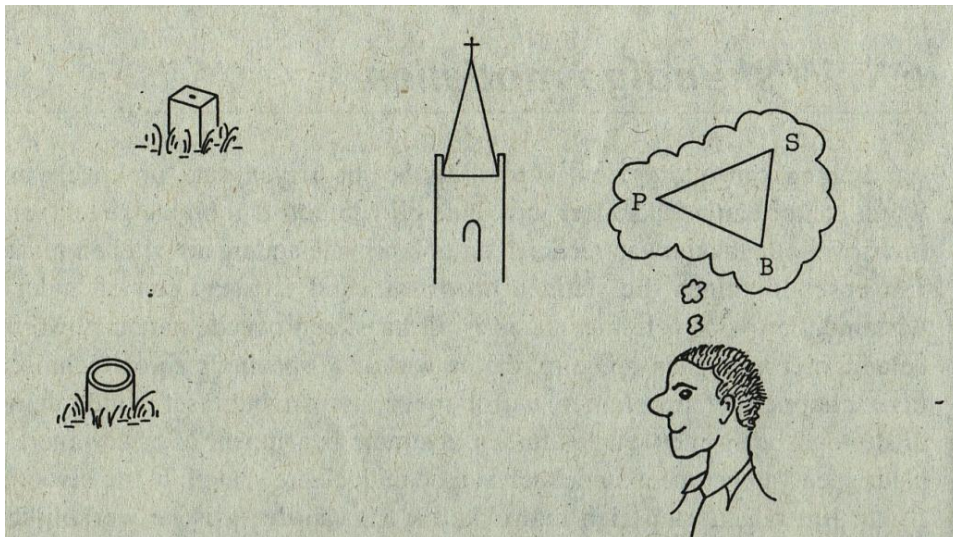
Bron : eigen bewerking

<sup>15</sup> Geodetische punten : Referentiepunten waarvan de exacte positie in absolute coördinaten gekend is

Van zodra alles is opgemeten laat de landmeter het terreinwerk achter zich en begint hij aan de meest arbeidsintensieve en tijdrovende fase van de verwerking van alle verzamelde data. In het computertijdperk waarin we ons bevinden gebeurt dit bijna uitsluitend op een PC. De eerste stap van de verwerking is het uitvoeren van een coördinaattransformatie. De lokale coördinaten van de detailmeting worden daarbij in absolute coördinaten omgezet aan de hand van de verzamelde data uit de situatiemeting. De bekomen absolute coördinaten worden in de verdere verwerking gebruikt. Afhankelijk van de aard van de gegevens gebeurt deze verdere verwerking in specifieke professionele software zoals CAD-programma's als AutoCAD of Microstation, in een GIS, of in specifieke software van de producent van het gebruikte meettoestel. Met die software worden dan plannen, kaarten, modellen gegenereerd. Bij grote langdurige projecten kan de verwerkingsfase reeds starten als de survey nog niet volledig is afgerond. Beide fases verlopen dan deels gelijktijdig. Wanneer survey en verwerking afgerond zijn vangt de laatste fase van het project aan. In die fase wordt een grondige evaluatie en kwaliteitscontrole van de geleverde gegevens, plannen en modellen uitgevoerd. (N.N., 2008, pp. 50-64)

## 1.6 De survey in praktijk

De Survey kan als de belangrijkste fase beschouwd worden van het hele project, aangezien dan de landmeter alle gegevens verzamelt. Het hele slagen van een project is van deze gegevens afhankelijk en groot vakmanschap van de landmeter is vereist. Achter de landmeter die plaatsneemt aan een meettoestel gaat veel meer schuil dan enkel het aflezen van waarden. Om tot een kwaliteitsvolle gegevensverzameling te komen wordt een hele resem aan taken uitgevoerd. Om te meten moet de landmeter in de eerste plaats ook goed waarnemen, beschrijven en registreren wat hij meet en zal meten. Een landmeetkundige opmeting bestaat uit een reeks puntsmetingen. De keuze van elk op te meten punt moet wel overwogen gebeuren en elk opgemeten punt moet eenduidig beschreven worden. Elk ingemeten punt krijgt daarvoor een uniek nummer. (Alberda J. , 1994, pp. 41-44)



**Figuur 6 : wiskundig model van de werkelijkheid**

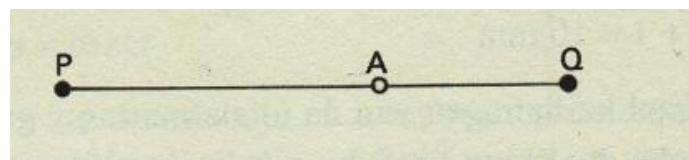
Bron : Alberda J., 1994, p66

Tijdens de survey wordt de onderlinge ligging van dergelijke punten bepaald. Men spreekt van de puntsbepaling. Daartoe voert de landmeter lengtemetingen, afstandsmetingen, richtingmetingen, hoekmetingen en/of hoogtemetingen uit. Ook recente technieken op basis van GPS-plaatsbepaling kunnen hiervoor dienst doen. Voor de eigenlijke puntsbepaling beroept de landmeter zich op de principes van driehoeksmeting, voorwaartse en achterwaartse insnijding<sup>16</sup>, veelhoeksmeting of op de meting van onderlinge afstandsverschillen tussen de

<sup>16</sup> voorwaartse en achterwaartse insnijding :vormen van driehoeksmeting die dienen om een enkel nieuw punt te bepalen gebruik makend van reeds in coördinaten bepaalde punten. Bij voorwaartse meet men vanuit de gekende punten de hoek naar het te bepalen punt. Bij achterwaartse verricht men hoekmeting vanuit het te bepalen punt naar 3 gekende punten.

punten. Hij zal dus tal van berekeningen moeten maken tijdens de survey en daarbij beroep doen op wat men kan omschrijven als ‘praktische meetkunde’. Bijvoorbeeld wanneer de punten van een rechthoekig perceel zijn ingemeten kan men op basis van driehoeksmetkunde de lengte van de diagonaal berekenen op basis van lengte en breedte van het perceel. Men kan het hele opzet van een landmeetkundige opmeting het best begrijpen als het toepassen van wiskundige grootheden en relaties op de werkelijkheid, om die werkelijkheid in een wiskundig model te beschrijven (figuur 6). (Alberda J. , 1994, pp. 41-44 & 64-66)

Elke meting streeft er naar om de werkelijkheid zo exact mogelijk te benaderen binnen een bepaalde foutenmarge. Hoe geavanceerd landmetertoestellen vandaag de dag ook geworden zijn, fouten inherent aan het toestel zelf of ten gevolge van omgevingsfactoren<sup>17</sup> zijn niet volledig te vermijden. De toegestane foutenmarge hangt af van de opdracht in kwestie. Het bepalen van de precisie en nauwkeurigheid waarmee de meting werd uitgevoerd is dan ook een essentiële taak bij elke survey. Tijdens elke survey kruipen er zonder twijfel ook fouten in de resultaten ten gevolge van menselijke blunders. Het kan bijvoorbeeld gaan om een foute aflezing of slechte omschrijvingen. Het is dan ook cruciaal dat de landmeter de resultaten aan de nodige controle onderwerpt. Dit kan gebeuren door metingen te herhalen of door meer punten in te meten dan dat voor een wiskundige bepaling strikt noodzakelijk zou zijn. Men kan bijvoorbeeld bij een lengtemeting met meetband de afstand heen en terug meten bij wijze van herhaling. Voor wat betreft de extra meetgegevens kan men het voorbeeld van een in te meten afstand van een lijnstuk PQ nemen (figuur 7). Wiskundig volstaat het de coördinaten van enkel P en Q te bepalen, maar in praktijk zal men ook de coördinaten van een derde punt A meten en de afstanden PA en QA ook bepalen. Bij wijze van controle moet de som van PA en QA gelijk zijn aan de gemeten afstand PQ, behoudens een gering verschil. (Alberda J. , 1994, pp. 71-77)



**Figuur 7 : lijnstuk PQ**  
Bron : Alberda J., 1994, p 78

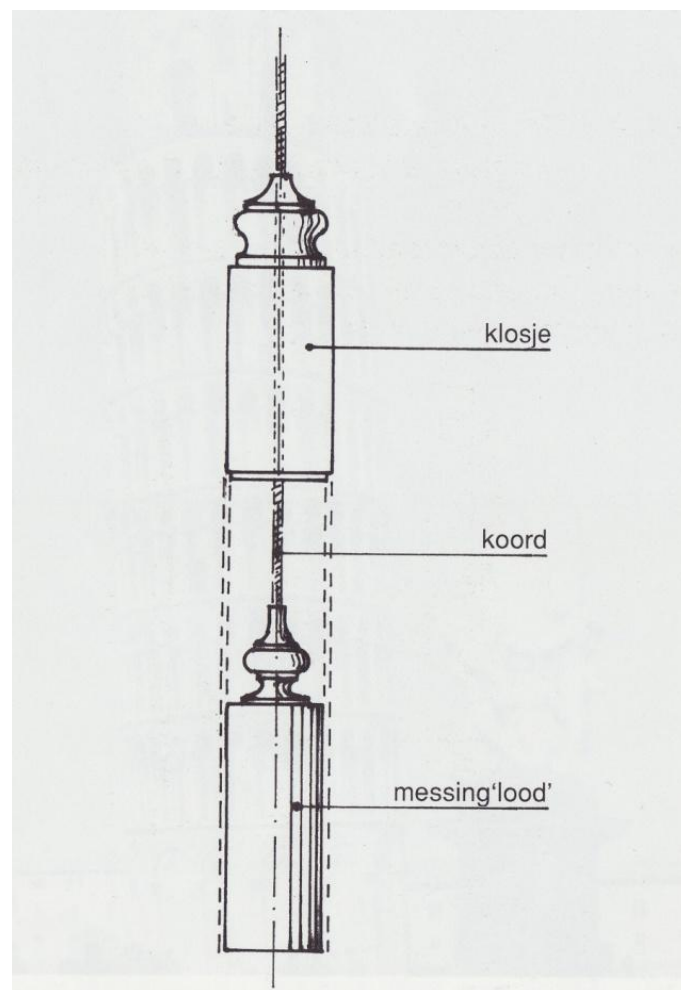
---

<sup>17</sup> Omgevingsfactoren : temperatuur, luchtvochtigheid, helderheid, reflectie-eigenschappen object, enz. bepalen mee de nauwkeurigheid van de meting.

Bij vrijwel elke survey zal men dergelijke overtollige metingen uitvoeren om controle te hebben op eventuele grove fouten. Een gevolg van deze overtollige metingen is dat men niet altijd over sluitende eenduidige uitkomsten beschikt die aan de eigenschappen van het wiskundig model voldoen. Om dit te realiseren moet de landmeter de meetresultaten vereffenen. De vereffening komt neer op het aanbrengen van kleine correcties aan de meetuitkomsten zodanig dat de gecorrigeerde meetuitkomsten aan de modelrelaties voldoen. Het eenvoudigste voorbeeld van een vereffening is het nemen van een gemiddelde van een aantal uitkomsten. Pas wanneer controle en vereffening van de gegevens voltooid zijn kan de landmeter aan de slag gaan met de gegevens om de coördinaattransformatie en verdere verwerking uit te voeren. (Alberda J. , 1994, pp. 79-81)

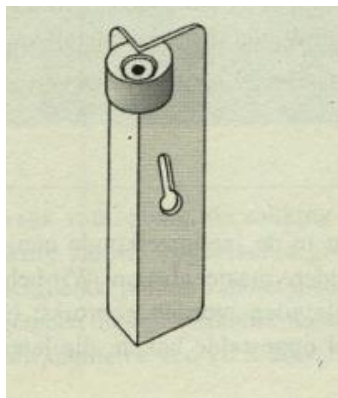
## 1.7 Basisuitrusting van de hedendaagse landmeter

Het succes van een survey begint met een goed geëquipeerde landmeter. De basisuitrusting bestaat uit een aantal eenvoudige maar essentiële objecten. De voor de hand liggende absolute basis is pen, papier en rekentoestel, die gebruikt worden om snel in het terrein aantekeningen te maken, eenvoudige schetsen te maken of enkele basisberekeningen uit te voeren. De laatste jaren worden hiervoor steeds meer laptops of veldcomputers gebruikt. Om snel en accuraat afstanden of lengtes te bepalen beschikt de landmeter over enkele basismeetinstrumenten, zoals een plooiometer en een meetband. Andere basistools zijn schietlood (figuur 8), touw en een eenvoudige waterpas of een doosniveau. Ook een kompas en prisma kan soms nog van pas komen. Belangrijk aspect dat bij een meting komt kijken is de veiligheid en afbakening van het werkterrein van de landmeters. Allerhande materiaal zoals kegels, afzettinglinten en waarschuwborden kunnen hiervoor gebruikt worden.



**Figuur 8 : schietlood**  
Bron: Strijker, 1995, p. 80

Met het oog op de meting is het belangrijk dat alle punten die men inmeet, gemarkeerd zijn in het terrein. De punten voor bij de situatiemeting, waarvan men de absolute coördinaten kent of wenst te bepalen, verzekert men in het terrein met allerlei markeringsmateriaal. Afhankelijk van de ondergrond zal men daarvoor doorgaans meetnagels of piketten van hout, ijzer of kunststof gebruiken. Om punten te markeren die dienen te worden ingemeten bij de detailmeting gebruikt men allerlei signalen. Voor punten op de grond over een afstand tot ca. 1 km zal men daarvoor jalons gebruiken. Dit zijn rood-wit geschilderde stokken, om zowel tegen lichte als donkere achtergrond goed af te steken, voorzien van een punt om ze gemakkelijk in de grond te steken. Bij harde ondergrond worden ze recht gezet met jalonstatieven. Belangrijk is dat de jalon perfect verticaal staat. Men gaat daarvoor een jalonniveau (figuur 9) of schietlood gebruiken. Het eigenlijke signaal waarnaar gericht wordt, bevindt zich bovenaan de jalon. Dit kan gaan van een eenvoudige tekening van een doel tot een spiegel of reflector. (Alberda J. , 1994, pp. 106-111)



**Figuur 9 : jalonniveau**  
Bron: Alberda J. , 1994, p. 108

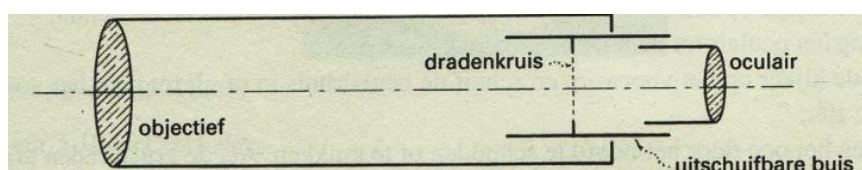
Andere punten op wanden of in de hoogte zal men doorgaans markeren met allerlei meetmerken zoals zelfklevende en reflecterende signalen.. Bij optische afstandmeting en hoogtemeting zal de landmeter dan weer gebruik maken van allerlei baken. Deze baken bestaan in verschillende vormen en maten: Men onderscheidt ondermeer uitschuifbare en uitklapbare zelfleesbaken, bordjesbaken, invarbaken en digitale baken. Voor de meting zelf gebruikt de moderne landmeter optisch-mechanische of elektronische toestellen. Het is belangrijk dat deze toestellen telkens waterpas worden opgesteld. Ze worden daarvoor op een driepikkel geplaatst (figuur 10). Het horizontaal zetten van het toestel gebeurt aan de hand van de stelschroevenblok met ingebouwd doosniveau. (Blindeman L. , 2007, pp. 247-250)



**Figuur 10 : totaalstation op driepikkel**

Bron : Goethals M., ugent

Bij moderne toestellen is de stelschroevenblok uitgerust met een optisch lood, een laserstraal die loodrecht naar de grond wijst en het mogelijk maakt het toestel gemakkelijk boven een gemarkeerd punt te positioneren. Voor de rest bestaat het toestel in essentie uit een behuizing waarbinnen alle mechanische en elektronische onderdelen zitten en een kijker. De laatste bestaat in allerlei soorten en vormen. In essentie is de kijker opgebouwd uit een stel lenzen, waarop kruisdraden zijn aangebracht (figuur 11). De kruisdraden worden als vizier gebruikt. Het beeld wordt met schroeven fijngesteld. Elektronische toestellen zijn verder uitgebouwd met een digitale display, een klavier voor het invoeren van commando's en het afstellen van het toestel, een harde schijf voor gegevensopslag en een batterij voor stroomvoorziening. (Alberda J. , 1994, pp. 84-105)



**Figuur 11 : kijker met kruisdraden**

Bron : Alberda J. , 1994, p. 88

## 1.8 Het prijskaartje

Moderne landmeettoestellen zijn hoogtechnologische gespecialiseerde apparaten. De prijs voor dergelijke toestellen kan al snel aardig oplopen. Hoe geavanceerder en hoe preciezer, hoe duurder. Voor een elektronisch waterpastoestel tel je zo al gauw 2000 euro neer. De prijzen voor totaalstations variëren tussen de 5000 en 20000 euro. Voor de laatste laserscanners is dat nog een veelvoud van wat je voor Total stations betaald. Naast de dure toestellen kunnen de kosten ook sterk oplopen om te voorzien in alle nodige randapparatuur zoals een veldcomputer, software, jalons, prisma's, e.d.. Om als landmeter aan de slag te gaan is dus een grote investering nodig die overeen komt met wat men betaalt voor een luxueuze auto. (<http://www.landmeter.be>, 8 maart 2011) Gezien deze investering en gezien de hoge scholing van een landmeter is het inhuren of tewerkstellen van een landmeter dan ook niet meteen goedkoop. Een beginnend landmeter in dienst van een ingenieursbureau of in dienst van de overheid mocht in 2010 rekenen op een gemiddeld startloon van 2376 euro bruto per maand. (<http://www.vacature.com>, 8 maart 2011) De prijs die u als particulier betaalt om een landmeter in te zetten is sterk afhankelijk van de aard en omvang van de opdracht. Richtprijzen zijn echter in barema's vastgelegd. Per uur rekent een landmeter een minimum van 64,63 euro zonder topografisch materiaal. Met topografische materiaal wordt dat 104,40 euro minimum. Meestal wordt de landmeter niet per uur uitbetaald maar worden de kosten uitbetaald in de vorm van een ereloon. Voor de eerlijke en correcte bepaling van het ereloon zijn er tabellen met richtlijnen opgesteld voor veelvuldig voorkomende opdrachten. Voor een eenvoudige opmeting bijvoorbeeld moet zo toch op een totale kostprijs van minimum 500euro gerekend worden. De richtlijnen zijn echter gezien de Europese vrije markteconomie niet bindend. (<http://www.landmeter.be>, 8 maart 2011)

## **2. LANDMETEN DOORHEEN DE TIJD**

De geschiedenis van landmeten gaat ver in de tijd terug. Vanaf het Neolithicum ca. 10000 jaar geleden ontwikkelden er zich complexe sedentaire samenlevingen. Tijdens deze ontwikkeling naar sedentaire gemeenschappen zal zich al snel het idee van landeigendom gevormd hebben en discussies rond dat eigendom zullen hierbij zeker niet lang zijn uitgebleven. De eerste landmeetkundige activiteiten zullen ongetwijfeld in deze context van eigendomsbetwisting hebben plaatsgevonden. (Isner, 2009) Men zegt soms wel eens dat landmeter het op één na oudste beroep ter wereld is. Wat er ook van zij het is onmiskenbaar een beroep met een zeer belangrijke maatschappelijke positie in eender welke beschaving. (<http://www.surveyors.com>, 20 maart 2011) De landmeter heeft immers altijd al een cruciale rol gespeeld in de ontwikkeling en vormgeving van menselijke omgevingen. Doorheen de tijd zal zijn belang verder toenemen en zal hij in een steeds groter toepassingsveld functioneren met activiteiten die al zeer snel het domein van grensbepalingen overstegen. De eerste landmeters beschikten over eenvoudige meetinstrumenten, waarmee ze grenzen bepaalden en metingen verrichtten bij het oprichten van eenvoudige gebouwen of bij het afleiden van water. Van zodra meer geavanceerde toestellen beschikbaar waren, werden landmeters ingezet bij het aanleggen van kanalen en wegen, het oprichten van grote kunsthistorische gebouwen en tijdens militaire operaties. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)

## 2.1 Hoe het begon

De oudste tastbare bewijzen van landmeetkundige activiteiten gaan terug tot het oude Egypte van ca. 3000 BCE. Een hele reeks beeldjes en muurschilderingen uit de periode beelden landmeters af. Deze oude Egyptische landmeters staan bekend als harpedonaptae of touwspanners en worden consequent afgebeeld met een bol meetkoord als herkenningssymbool (figuur 12). (Brock, 2010)



**Figuur 12 : Egyptisch beeldje landmeter**

Bron : Pouls, 2004, p. 2

Met geknoopt koord en schietlood deden ze beroep op eenvoudige geometrie om in het kader van taxatie de grenzen van de landbouwpercelen te bepalen en op te tekenen. Doordat de Nijl jaarlijks buiten haar oevers trad, veranderde de vorm van de percelen en moest de farao er elk jaar opnieuw zijn landmeters op uit sturen. (<http://www.landsurveyor.us> , 14 maart 2011) Aan het hoofd van de touwspanners stond een Koninklijke landmeter. (Brock, 2010) Deze landmeter had in het oude Egypte een belangrijke rol in de maatschappij, met hoog aanzien

zoals blijkt uit de rijk versierde graftombes die van dergelijke koninklijke landmeters zijn ontdekt. In één van de tombes van dergelijke Koninklijke landmeter, in de zogenaamde tombe van Menna, werd een muurschildering aangetroffen die de werkzaamheden van de Egyptische landmeters afbeeldt (figuur 13). (Vandenabeele *et al.*, 2009; Chapman, 2009)

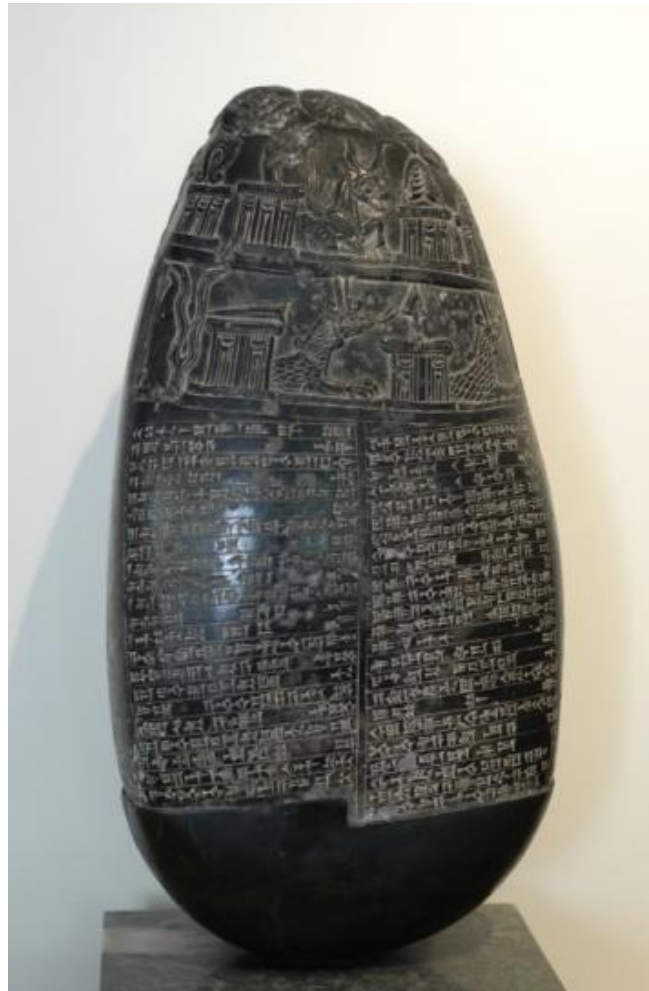


**Figuur 13 : muurschildering landmeter in tombe van Menna**

Bron : Chapman, 2009

Buiten de hier afgebeelde methode kende de oude Egyptenaren ook reeds een systeem van waterpassing. (Deumlich, 1980, pp. 9-19) De Egyptische landmeetkundige technieken waren al zeer geavanceerd zoals we kunnen afleiden uit de indrukwekkende bouwwerken die ze ons nalieten. Aan de tempels en piramiden die tot vandaag de dag bewaard bleven, ligt immers duidelijk het precisiewerk van een landmeter aan de basis. De hoge precisie die ze bereikten is bijvoorbeeld te zien aan de hoekpunten van de piramides van Gizeh, die op slechts enkele centimeter na, perfect met de vier windrichtingen samen vallen. (<http://www.landsurveyor.us> , 14 maart 2011) Ook hun waterpassingssystemen waren al zeer accuraat met een maximale foutenmarge van ongeveer 8 cm op 200m. Egypte was echter niet de enige oude beschaving met al ver gevorderde landmeetkundige technieken. In het Oude Babylonië, Sumerië, Chaldea, India en China waren gelijkaardige technieken gekend. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)

In Tweestromenland bij de Babyloniërs van ca. 1200 BCE bijvoorbeeld zijn we vrij goed gedocumenteerd over de werken van de landmeters. Verschillende archeologische vondsten houden rechtstreeks verband met hun praktijken. Zo zijn uit die periode kleitabletten gekend waarop afstanden en hoeken van stukken land worden vermeld. (Wallis, 2010) Spectaculairder echter zijn de zogenaamde Kudurru-stenen (figuur 14). Dit zijn grensstenen waarop naast een reeks religieuze symbolen in detail informatie over de kenmerken van het stuk land, de eigenaar en de ‘landmeter’ beschreven werden. (Isner, 2009)

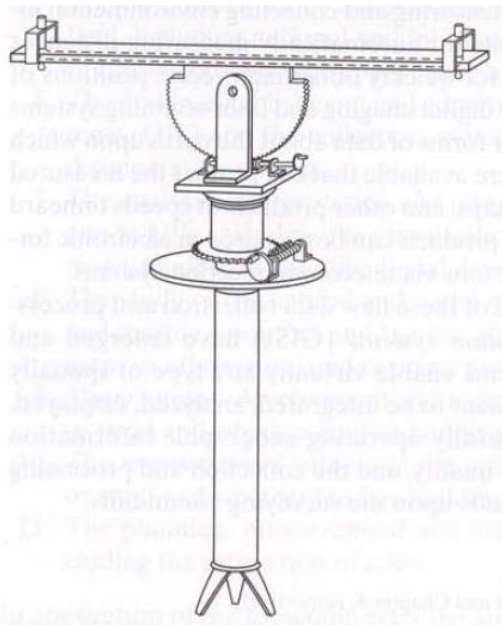


**Figuur 14 : Kudurru-steen**

Bron : <http://en.wikipedia.org>, 17 maart 2006

## 2.2 De Hellenistische wereld

Ook de Oude Grieken waren zeer bedreven landmeters. Figuren zoals Pythagoras (ca. 572 - 500 BCE), Thales (ca. 624 - 545 BCE) , Aristoteles (ca. 384 - 322 BCE) en Plato (ca. 427 – 347 BCE) gingen allen in de leer bij de Egyptenaren en brachten de kennis van landmeten en wiskunde mee naar de Griekse wereld. (Isner, 2009) Daar werden de Egyptische en Aziatische technieken verder gebruikt, geperfectioneerd en aangevuld met nieuwe technieken. De Griekse wetenschappers uit de oudheid hadden een veelzijdig studiedomein en leverden in de eerste plaats een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van de wiskunde en zijn tevens de grondleggers van de geometrie. Sommigen waren ook landmeters, technici en ontwerpers van nieuwe instrumenten. Zo introduceerde Anaximander (ca.610 - 546 BCE) in 560 BCE de gnomon<sup>18</sup> in de Griekse wereld. Dit instrument, dat werkt volgens het principe van de zonnewijzer, werd onder andere door Eratosthenes (ca. 276 - 195 BCE) in 200 BCE gebruikt om de omtrek van de aarde te meten<sup>19</sup>. Naast de gnomon was de dioptra een belangrijk nieuw instrument dat frequent gebruikt werd in de Griekse wereld. Aanvankelijk werd het door Griekse astronomen gebruikt om de positie van sterren te bepalen. De dioptra (figuur 15) vond echter al snel toepassingen voor landmeetkunde, waar het gebruikt werd om met grote precisie hoeken te meten en kan in feite als de theodoliet van de oudheid beschouwd worden.



**Figuur 15 : dioptra**

Bron : Ghilani & Wolf, 2008, p. 13

---

<sup>18</sup> gnomon : is in feite niet meer dan een verticaal in de grond geplaatste stok waarvan men de richting van de schaduw mat.

<sup>19</sup> Bijlage C

Een ander hoekmeetinstrument, het astrolabium, werd eveneens in de hellenistische wereld ontwikkeld, door Hipparcus (ca. 190 – 120 BCE) ca. 150 BCE. (Deumlich, 1980, pp. 9-19) Diezelfde Hipparcus (figuur 16) zou tevens de grondlegger van de trigonometrie zijn. (Gallo, 2004) Ook het oudste gekende handschrift over landmeten kunnen we ook aan de Hellenisten toeschrijven. (Roy S. , 1999) Heron van Alexandrië (2<sup>e</sup> eeuw BCE) zou namelijk op het einde van de 2<sup>de</sup> eeuw BCE een uitvoerig manuscript schrijven waarin de werking van de dioptra en de landmeetkundige praktijken in de Hellenistische wereld worden beschreven. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)



**Figuur 16 : illustratie Griekse astronoom Hipparcus**  
Bron : (Bentley, 2008)

## 2.3 De Romeinen

De Romeinen haalden de mosterd van het landmeten bij de Grieken. Landmeten werd zeer hoog in het vaandel gedragen en uitgeroepen tot een officieel beroep. De Romeinse landmeters stonden bekend als agrimensores. (Isner, 2009) Wiskunde en landmeten werden bij de pragmatische Romeinen overwegend aangewend in het kader van civiele en militaire werken. (Roy S. , 1999, pp. 2-4) De Romeinse landmeetactiviteiten zijn vrij goed gedocumenteerd. Enerzijds zijn dankzij de vulkaanuitbarsting van de Vesuvius in 79 CE een aantal goed bewaarde authentieke Romeinse landmeettoestellen tot ons gekomen. Anderzijds zijn verschillende geschreven documenten bewaard gebleven die de Romeinse landmeetkunde beschrijven. De Architectura van Vitruvius uit de 1<sup>e</sup> eeuw BCE (Thayer, 2010) , de geschriften van Frontinus (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 4-7) en middeleeuwse kopieën van de Corpus Agrimensorum Romanorum uit de 1<sup>e</sup> eeuw CE zijn daarvan de voornaamste. Vooral het Corpus Agrimensorum Romanorum (figuur 17), dat in feite een handleiding is voor Romeinse landmeters is zeer waardevol. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)



**Figuur 17 : pagina uit middeleeuwse kopie van het Corpus Agrimensorum Romanorum**  
Bron : <http://en.wikipedia.org> , 15 september 2005

Uit de Corpus blijkt dat de Romeinen een brede waaier aan werktuigen voor landmeetkunde hadden. Het overgrote deel van het instrumentarium en de technieken van de agrimensor waren afkomstig uit de Hellenistische wereld. (Deumlich, 1980, pp. 9-19) Gnomon en Dioptra werden zo rechtstreeks overgenomen van de Grieken. Een reeks nieuwe landmeetinstrumenten breidde echter het instrumentarium van de agrimensores uit. Om afstanden te meten beschikten ze over de pertica<sup>20</sup> en de odometer<sup>21</sup>. De groma<sup>22</sup> gebruikte men om rechte hoeken en lijnen uit te zetten (figuur 18). (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 11-12) Het is het best bestudeerde instrument uit de Romeinse tijd. (Gallo, 2004, pp. 15-19)



**Figuur 18 : groma**

Bron : <http://www.the-romans.co.uk>, 2009

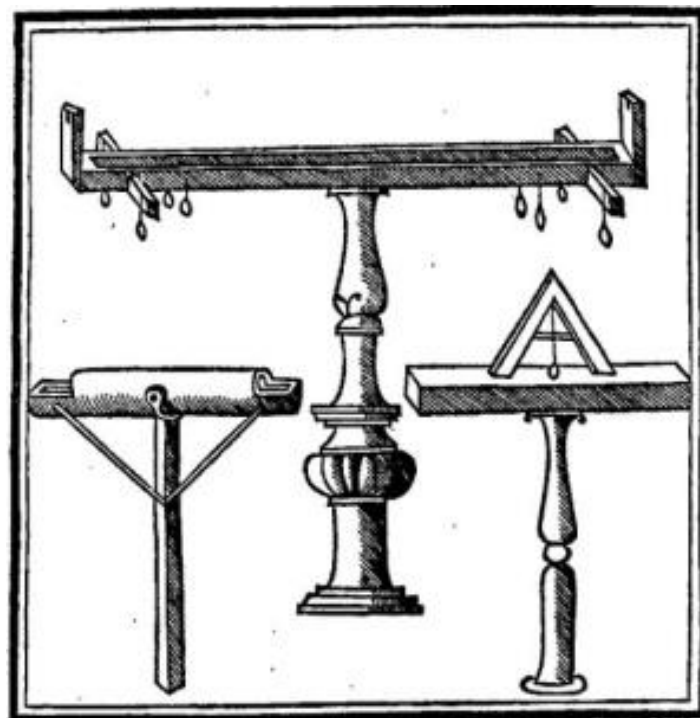
---

<sup>20</sup> Pertica : houten staaf van 3 meter lang, voor nauwkeurige afstandsmeting

<sup>21</sup> Odometer : gebruikt bij afstandsmeting waar zeer hoge nauwkeurigheid geen vereiste was, bijvoorbeeld langs wegen. Het bestond uit een tandwiel constructie dat in verbinding stond met een karrewiel en een bakje met steentjes. Nadat een bepaalde afstand werd afgelegd viel één van de steentjes in een recipiënt. De telling van het aantal steentjes leverden een ruwe indicatie van de afstand.

<sup>22</sup> Groma : Dit instrument bestond uit een draaibaar kruis dat op een verticale staf was bevestigd. Aan de hoekpunten van het kruis waren vier schietloden bevestigd. Door naar twee over elkaar staande schietloden te richten en te zorgen dat deze op één lijn lagen kon men een rechte lijn of hoek uitzetten.

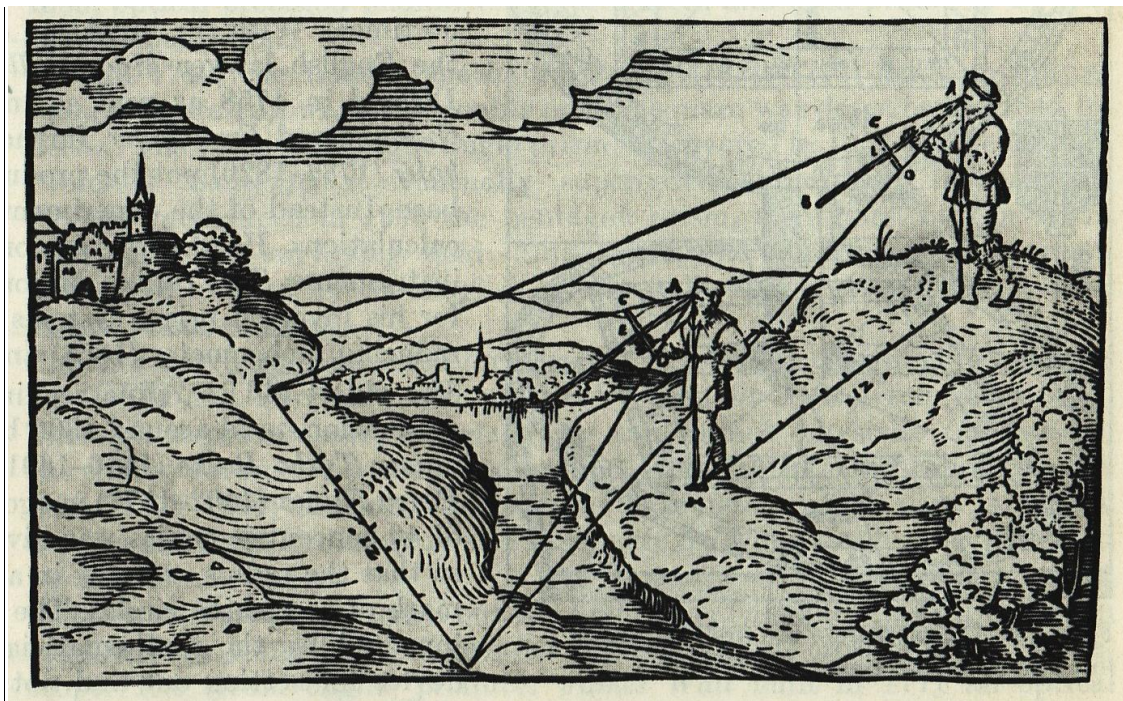
Met chorobates en libra aquaria kon men dan weer waterpassen (figuur 19). Concrete details over de gebruikte technieken van de agrimensores zijn ondanks enkele geschreven bronnen vrij schaars. Men gaat er vanuit dat ze naast eenvoudige technieken ook de basis van trigonometrie onder de knie hadden. Het feit dat de Romeinen indrukwekkende bouwwerken, zoals aqua- en viaducten oprichtten, bouwwerken die met de meest moderne technieken nog steeds een uitdaging zouden vormen voor hedendaagse ingenieurs, wijst er op dat de landmeetkundige technieken in de klassieke wereld al van een hoog niveau waren. (Gallo, 2004, pp. 37-39)



**Figuur 19 : chorobates en andere Romeinse meetinstrumenten**  
Bron : Martin & Goujon, 1547

## 2.4 De middeleeuwen

Met de val van het Romeinse rijk in 476 CE ging het hoge wetenschappelijke niveau dat in de klassieke oudheid was bereikt grotendeels verloren. De kerk<sup>23</sup> verhinderde in West-Europa zowat 1000 jaar lang de wetenschappelijke ontwikkeling. In de Arabische wereld daarentegen werd de wetenschappelijke traditie wel verder gezet. De Arabieren leverden baanbrekend werk onder meer op het gebied van wiskunde, astronomie en geodesie. Ze brachten ook enkele vernieuwingen in het instrumentarium door het astrolabium te perfectioneren en door vermoedelijk ook de zogenaamde Jacobsstaf<sup>24</sup> (figuur 20) en alhidade<sup>25</sup> te ontwikkelen. Deze laatste twee werden gebruikt voor hoekmeting en indirecte afstandsmeting. Uit de Arabische geschriften weten we overigens dat men tot het einde van de middeleeuwen vooral landmeetinstrumenten, die al eeuwen bestonden zoals de dioptra zou blijven gebruiken, zij het mits enkele kleine verbeteringen. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)



**Figuur 20 : jacobsstaf**  
Bron : Deumlich, 1980, p. 13

<sup>23</sup> Kerk : Hoewel men in de klassieke oudheid reeds overtuigd was van de bolvorm van de aarde strookte dit niet met wat in de bijbel stond. De kerk populariseerde onder meer dankzij de geschriften van de Egyptische monnik Cosmos Indicopleustes een beeld van een vlakke rechthoekige wereld die in overeenstemming was met de verhoudingen van het tabernakel uit de Bijbel.

<sup>24</sup> Jacobsstaf : stok met schaalverdeling van doorgaans ca. 1m lang waarop haaks een tweede stok kon worden geschoven. Men kon er de hoek tussen een hemellichaam en de horizon mee bepalen of de hoogte en breedte van een gebouw mee meten.

<sup>25</sup> Alhidade : verdraaibaar lineaal met 2 vizieren om te richten

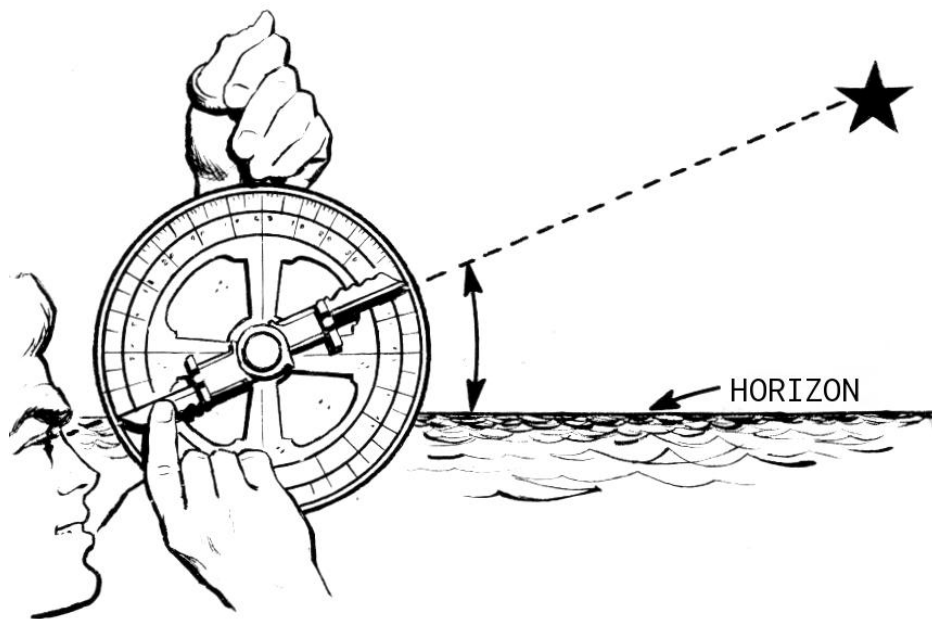
Tot en met 1500 viel er dan ook in het algemeen niet erg veel evolutie op te merken in het landmeten. (Matthys, 2011) Het belang van landmeters was in de West-Europese maatschappij ook eerder bescheiden. Ze werden onder andere ingezet bij inpolderingen, het aanleggen en onderhouden van dijken en in het kader van belastingscontroles op eigendommen. (Pouls, 2004, pp. 2-8)

Naast de traditionele meettoestellen beschikte de middeleeuwse landmeter in onze contreien over een vrij eenvoudig instrumentarium. Om afstanden te meten bestond dit instrumentarium in essentie uit een meetroede, meetkoord of misschien zelfs al een meetketting. Afstanden werden ermee in lokale maten bepaald. Bij de meting werden ook meet- of steekpennen gebruikt die een volledige koord of kettinglengte markeerden. Ook bij het markeren van grenspunten van percelen werden soortgelijke staken gebruikt. Het meest gebruikte en tevens nieuw instrument uit de middeleeuwen was het winkelkruis of meetkruis (Figuur 21). Het was een eenvoudig ijzeren, houten of koperen instrument met ronde of vierkante vorm waarop vier uitstekende pennetjes waren gemonteerd, die als vizier dienden. (Pouls, 2004, pp. 2-8) Het is goed mogelijk dat het gebaseerd werd op de Romeinse groma. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 12) Men kon er snel en efficiënt een rechte mee uitzetten. Het winkelkruis was daarvoor op een rechte staaf gemonteerd op ooghoogte. (Pouls, 2004, pp. 2-8)



**Figuur 21 : winkelkruis**  
Bron : Pouls, 2004, pp. 7

Het lijkt er op dat bij ons in de Nederlanden geen echte hoekmeetinstrumenten gebruikt werden. In de late middeleeuwen verschijnt evenwel het kompas dat daarvoor mogelijk dienst deed vanaf de 16<sup>de</sup> eeuw. Hoewel de oudste vermeldingen van het kompas reeds uit de 12<sup>de</sup> eeuw dateren, werden deze eerste kompassen vermoedelijk enkel voor navigatiedoeleinden gebruikt. Andere instrumenten om hoeken te meten, zoals het astrolabium (figuur 22) waren ook wel gekend. Nochtans werden deze echter hoofdzakelijk door astronomen en geografen gebruikt bij astronomische metingen en hadden ze geen toepassingen in de middeleeuwse landmeetkunde van de Nederlanden. (Pouls, 2004, pp. 2-8)



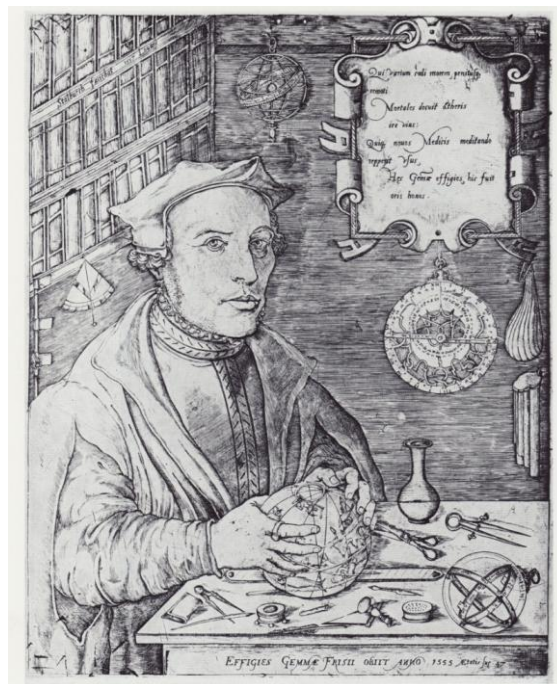
**Figuur 22 : gebruik astrolabium**

Bron : <http://commons.wikimedia.org>, 27 augustus 2007

## 2.5 De Renaissance

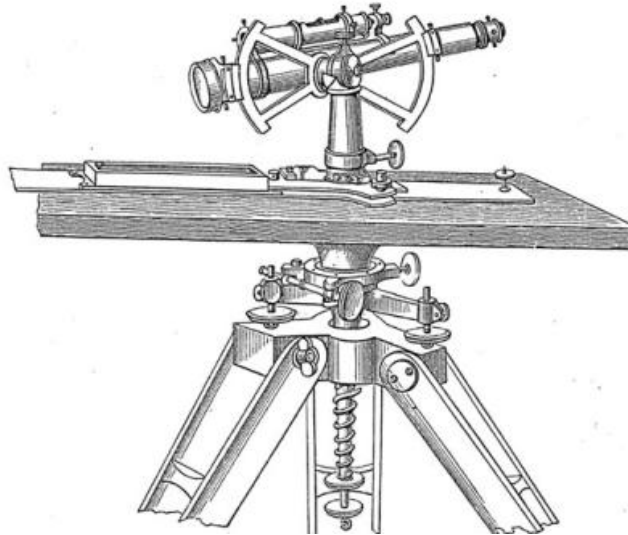
Het is pas met de Renaissance dat er geleidelijk aan in West-Europa een hernieuwde interesse kwam in navigatie, astronomie, cartografie en landmeten. Deze impuls kwam er in de eerste plaats door de herontdekking van de wetenschappelijke kennis uit de Klassieke wereld via Arabische geschriften. Daarnaast werden in de loop van de 15<sup>de</sup> eeuw de eerste grote ontdekkingsstochten ondernomen. Samen met de klassieke geschriften deed dit de vraag naar een nieuwe geografische informatie toenemen en drong zich in West-Europa een nieuw wereldbeeld op dan dat van de theologisch geïnspireerde vlakke aarde. De wetenschappelijke ontwikkeling kwam tenslotte vanaf de 16<sup>de</sup> eeuw in een stroomversnelling dankzij de boekdrukkunst die een bredere en snellere verspreiding van nieuwe ideeën toeliet.

Voor de landmeetkunde in onze contreien is in de eerste plaats het werk van Gemma Frisius (1508 – 1555), de leermeester van Gerardus Mercator (1512 – 1594), belangrijk (figuur 23). Deze wis-, sterren- en geneeskundige liet zich inspireren door Arabische kopieën van klassieke geschriften en introduceerde de principes van de trigonometrie in zijn libellus de locorum desciborum rationae, het boek van de rationele beschrijvingen van plaatsen. Dankzij deze techniek die op driehoeksmeting steunde kon men snel ten opzichte van één nauwkeurig opgemeten zijde, meerdere punten nauwkeurig karteren.



**Figuur 23 : Gemma Frisius**  
Bron : Schonaerts, 1976, p. 10

Gemma Frisius zou tevens ook de uitvinder van het planchet(figuur 24) zijn. Dit was een revolutionair karteringsmiddel<sup>26</sup>. Het bestond uit een tekentafel op een statief en een los vizierlineaal.



**Figuur 24 : planchet**

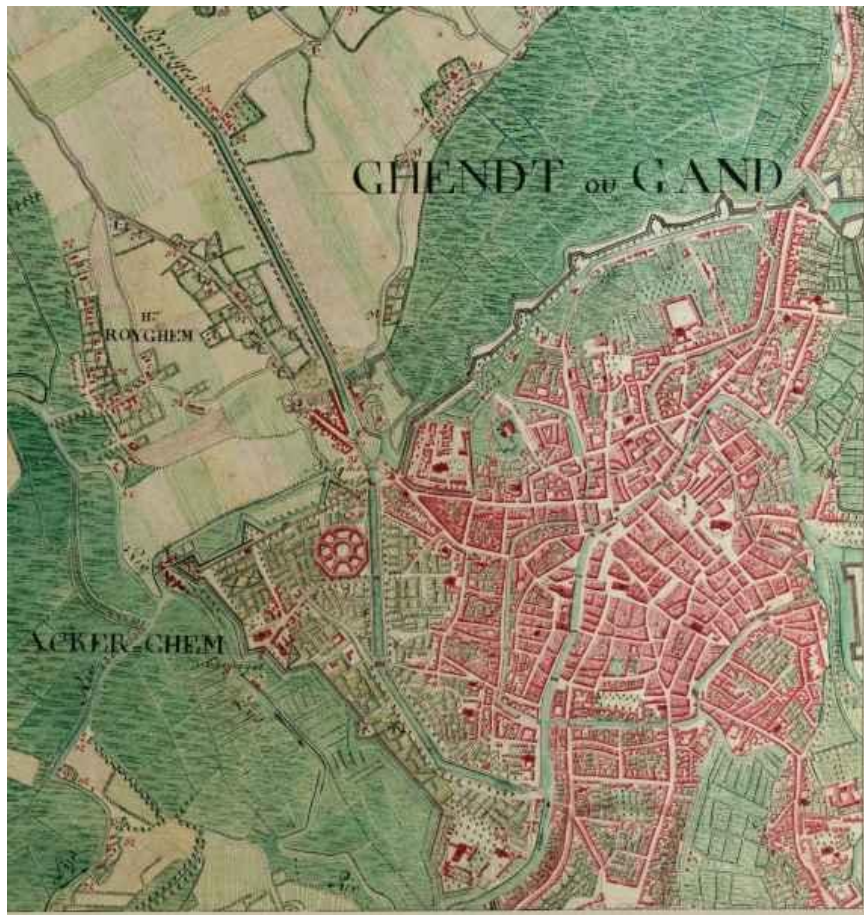
Bron : : <http://de.wikipedia.org> 26 augustus 2006

Voor oriëntatiedoeleinden werd vaak ook een kompas als aanvulling gebruikt. Met dit planchet werden de terreinmeting en het tekenen gecombineerd. Het planchet was lange tijd het meest gebruikte instrument voor grootschalige kartering. (Pouls, 2004, pp. 27-35) Het is ook gebruikt voor de eerste grootschalige topografische kaart van België, de Ferrariskaart<sup>27</sup>, op het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw (figuur 25). Andere belangrijke uitvindingen uit de 16<sup>de</sup> eeuw betreffen de meetketting, de voorloper van de meetband, de eerste driepikkels en toestellen om horizontale hoeken te meten. Deze laatste waren afgeleid van het astrolabium (Deumlich, 1980, pp. 9-19) en werden door de Engelse wiskundige Thomas Digges (1546-1595) in 1571 beschreven. Hij doopt het nieuwe topografische instrument als theodolitus. Dit hoekmeetinstrument stond echter nog zeer ver af van een moderne theodoliet en was in feite niet meer dan een vereenvoudigd astrolabium. (Roy S. , 1999, pp. 2-4)

---

<sup>26</sup> Bijlage D

<sup>27</sup> Ferrariskaart : In opdracht van keizerin Maria-Theresia van Oostenrijk (1710 – 1780) werd aan generaal Joseph-Jean-François graaf de Ferraris (1726-1814) voor het eerst de opdracht gegeven voor een systematische grootschalige topografische kartering van de Oostenrijkse Nederlanden, die ruwweg overeen komen met het huidige België en Groot-hertogdom Luxemburg. De kaart is op schaal 1 : 11.520 en bestaat in drie exemplaren. Het is een zeer waardevol document dat een beeld geeft van ons land van voor de Industriële Revolutie.

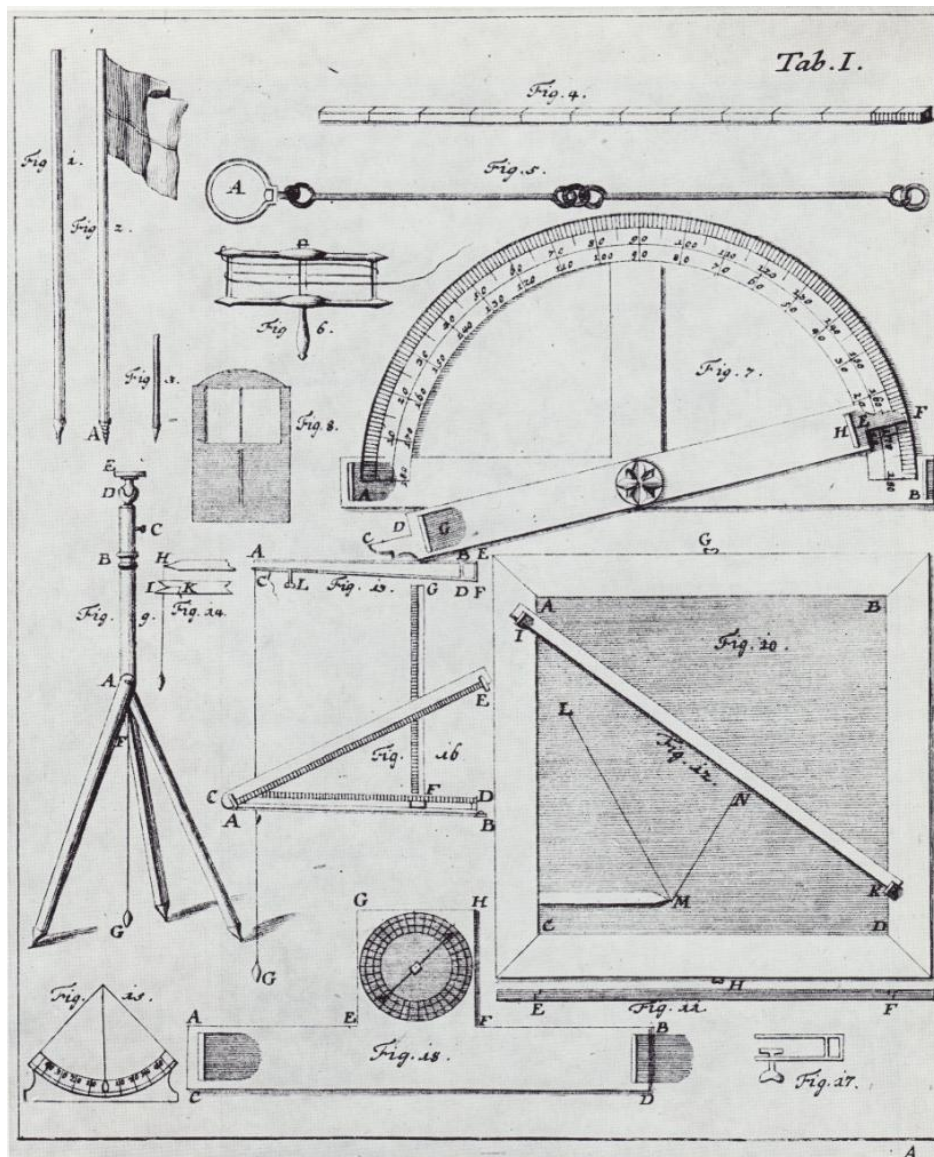


**Figuur 25 : Ferrariskaart Gent**

Bron : <http://en.wikipedia.org> 22 januari 2009

## 2.6 17<sup>de</sup> -18<sup>de</sup> eeuw

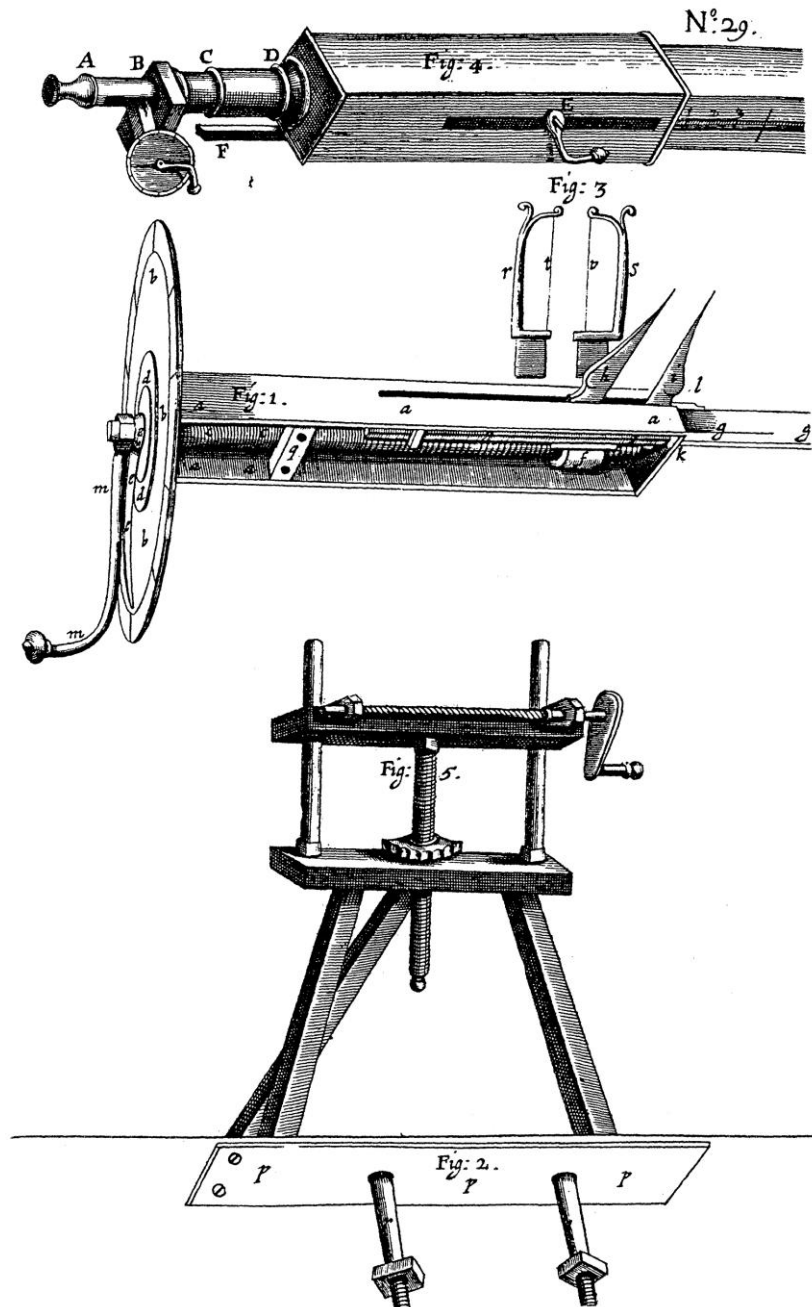
In het begin van de 17<sup>de</sup> eeuw en ook in de 18<sup>de</sup> eeuw verschijnen nog meer nieuwe uitvindingen en leiden ze tot grote veranderingen van het landmeterinstrumentarium, dat alsmaar uitgebreider en preciezer zal worden (figuur 26). Naast een steeds geavanceerder instrumentarium stellen we in deze periode ook een tendens naar meer professionalisering van de landmeters zelf vast. Vooral Frankrijk speelde hierin een belangrijke rol met de aanstelling van zogenaamde militaire ingenieurs. Naast bouwkunde waren zij ook belast met het opmeten van het terrein in het kader van grootschalige militaire cartografie. Deze trend van grootschalige detaillering zal zich vooral naar het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw sterk manifesteren en buiten de cartografie ook een ware stimulans voor de landmeetkunde zijn.



**Figuur 26 : 17<sup>de</sup>-eeuws landmetersmateriaal**

Bron : Schonaerts, 1976, p. 58

Vanuit technisch oogpunt was de 17<sup>de</sup> eeuw in de eerste plaats baanbrekend door de uitvinding van de telescoop in 1608 door Hans Lipershey (1570 - 1619) en de verbetering ervan door Galileo Gallilei (1565 - 1642) in 1609. Aanvankelijk werd deze enkel in de astronomie gebruikt. Het was wachten tot 1640 tot wanneer William Gascoigne (1612 – 1644) de micrometer (figuur 27) uitvond en er in slaagde kruisdraden aan te brengen op de telescoop, alvorens deze uitvinding geleidelijk aan ingang zou vinden in de landmeetkunde.



**Figuur 27 : micrometer Gascoigne**  
Bron : <http://en.wikipedia.org>, 12 maart 2011

De telescoop onderging nog verschillende belangrijke verbeteringen in de loop van de 17<sup>de</sup> en 18<sup>de</sup> eeuw en optische meetinstrumenten verdrongen dan ook alsmear meer de traditionele toestellen. (Deumlich, 1980, pp. 9-19) Dankzij de toevoeging van een kijker werd een veel grotere accuraatheid en snelheid bereikt tijdens de survey. (Roy S. , 1999, pp. 2-4) De eerste waterpastoestellen voor hoogtemeting met kijker werden in deze periode ontwikkeld. Reeds in 1629 werd de eerste in Rome ontwikkeld. Ook de eerste optische afstandmeting werd in 1674 uitgevoerd in Italië door Gemiano Montanari (1633 – 1687). De eerste theodoliet met kijker werd dan weer pas in 1730 ontwikkeld. Een andere belangrijke 17<sup>de</sup> eeuwse uitvinding die cruciaal was voor de verdere ontwikkeling van landmeetkundige toestellen was die van de luchtbelwaterpas door Melchisédec Thévenot (1620 – 1692) in 1666, waarmee uiteindelijk alle toestellen perfect waterpas zouden kunnen worden opgesteld. Het is echter wachten tot het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw alvorens de vorm van de luchtbelwaterpas hiervoor geoptimaliseerd werd en hiervoor geschikt raakte. Dit gebeurde min of meer gelijktijdig met de verdere ontwikkeling van de schroefmicrometer, die preciezere afstellingen van de toestellen toeliet. Al deze ontwikkelingen en uitvindingen maken dat tegen het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw de ‘prototypes’ van de tot in de jaren 1960 meest gebruikte surveyinstrumenten ontwikkeld waren. (Deumlich, 1980, pp. 9-19)

## 2.7 19<sup>de</sup> – midden 20<sup>ste</sup> eeuw

In het begin van de 19<sup>de</sup> eeuw zien we het belang van landmeetkunde verder toenemen. De nood naar grootschalige kaarten en de vraag naar de precieze lokalisatie van lands- en eigendomsgrenzen en betere infrastructuur in de vorm van kanalen, wegen en ook spoorwegen zou in deze periode namelijk meer toenemen. Dit leidde tot grootschalige surveycampagnes en een steeds belangrijker rol voor de landmeter in de maatschappij. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 4-7) Op het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw hadden de Engelsen en Fransen de trend reeds gezet tot het opmeten van grote triangulatiernetwerken (figuur 28), die als basis zouden dienen voor de grootschalige karteringen.



**Figuur 28 : punten triangulatiernetwerk Nederland**

Bron : Berkers, 2004, p. 61

Deze trend zet zich in de 19<sup>de</sup> eeuw door over de rest van Europa en de eerste geodetische surveys<sup>28</sup> zijn een feit. Vanaf de 19<sup>de</sup> eeuw zien we ook steeds meer overheidsinstellingen, die zich bezighouden met het opmeten van het land, zoals het Kadaster opduiken. Ook particuliere landmeters zullen steeds meer verschijnen. (<http://bc.ub.leidenuniv.nl>, 24 mei 2011)

<sup>28</sup> Geodetische Survey : kartering over grote gebieden waarbij een correctie voor de kromming van de aarde in rekening werd gebracht. Dergelijke survey steunt op een net van geodetische punten.

De technologische ontwikkelingen uit de 17<sup>de</sup> en 18<sup>de</sup> eeuw leverden de 19<sup>de</sup> eeuwse landmeters een zeer uitgebreid arsenaal aan landmeettoestellen op. De meeste toestellen zouden ze blijven gebruiken tot diep in de 20<sup>ste</sup> eeuw. Nieuwe lichtgewicht fabricagematerialen en verfijnde callibratietechnieken resulteerden evenwel in lichtere en preciezere toestellen, die aan de hoge eisen van de tijd voldeden voor ondermeer het precies bepalen van de trajecten van spoorlijnen, snelwegen en kanalen. Tot in de jaren 1960-1970 zal er wezenlijk niet veel vernieuwing komen in de toegepaste technieken en de gebruikte toestellen. De traditionele theodolieten, waterpastoestellen en meetbanden bleven tot dan de meetinstrumenten bij uitstek. Een belangrijke ontwikkeling echter is deze van de fotogrammetrie sinds de jaren 1920. Tegen 1950 waren de fotogrammetrische methodes al sterk geëvolueerd en revolutioneerden ze surveyprocedures en ondersteunden ze de cartografie. (Roy S. , 1999, pp. 2-4)

## **2.8 Technologische vernieuwing sinds 1970**

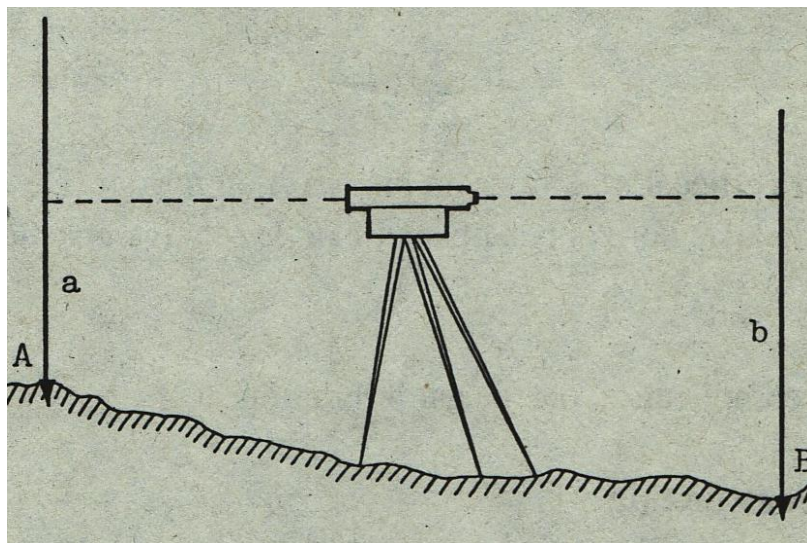
Sinds 1970 ontketende er zich een nieuwe golf van technologische vernieuwingen die ertoe geleid heeft dat het merendeel van de traditionele toestellen vandaag in onbruik zijn geraakt. De ontwikkeling van elektronica en computertechnologie betekenden een ongeziene verbetering van het gebruiksgemak en van de precisie van de toestellen. (Roy S. , 1999, pp. 2-4) Aanvankelijk werden deze elektronica en digitale toevoegingen aangebracht op de traditionele toestellen. Hoewel hierdoor de metingen zelf opmerkelijk sneller en preciezer verliepen, ging de verwerking en het tekenen van de plannen nog lange tijd door op de traditionele analoge manier. Alles werd met de hand uitgetekend op papier en vervolgens met inkt op kalkpapier overgebracht, waarvan dan een afdruk werd gemaakt. (Matthys, 2011)

Het is pas sinds de jaren 1980 dat dankzij de miniaturisatie van computers ook de verwerking steeds meer geautomatiseerd en dus eenvoudiger kon worden. Het tekenen van plannen zou alsmaar meer in specifieke softwarepakketten en tekenprogramma's, die vanaf dan op de markt kwamen, gebeuren. De toestellen zelf werden ook steeds meer afgesteld op deze nieuwe computertechnologie. Begin de jaren 1990 verscheen er bijvoorbeeld een nieuwe generatie theodolieten die rechtstreeks op computer konden worden aangesloten. Zo konden de meetgegevens van de survey rechtstreeks worden uitgelezen en verscheen het plan met alle hoogtes rechtstreeks op het scherm. (Matthys, 2011) De laatste 20 jaar evolueerden de meettoestellen alsmaar verder naar hightech apparaten zoals het elektronische totaalstation, eenmanssystemen en de 3D-laserscanner. Daarnaast kwamen alsmaar krachtigere computersystemen op de markt en betekende de ontwikkeling van GPS-plaatsbepaling, baanbrekende veranderingen voor het landmeten. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 4-7) De technologische evoluties van de laatste 2 decennia vereisen een sterke aanpassing van de landmeters zelf. De arbeidsintensiteit van het terreinwerk werd sterk terug gedrongen. Daartegenover staat dat complexiteit van de te verwerken data sterk toenam. Het directe gevolg is dat landmeters nu in een veel breder spectrum geschoold moeten zijn dan voordien. Geavanceerde wiskunde, computertechnologie en kennis van elektronica zijn slechts enkele van de nieuwe aspecten die de hedendaagse landmeter moet zien te beheersen. (Roy S. , 1999, pp. 2-4)

### **3. WATERPASSING**

Waterpassing is de landmeetkundige techniek die men gebruikt om het hoogteverschil tussen twee punten op het aardoppervlak te meten. In eerste instantie wordt het relatief hoogteverschil tussen de twee punten bepaald. Meestal zal men echter de absolute hoogte van de punten willen weten. Om tot die absolute hoogte te komen, dienen de gemeten relatieve hoogtes te worden omgerekend naar een hoogte ten opzichte van een vooraf bepaald referentieniveau. (Alberda J. , 1994, p. 45; Jones & Loodts, 1974)

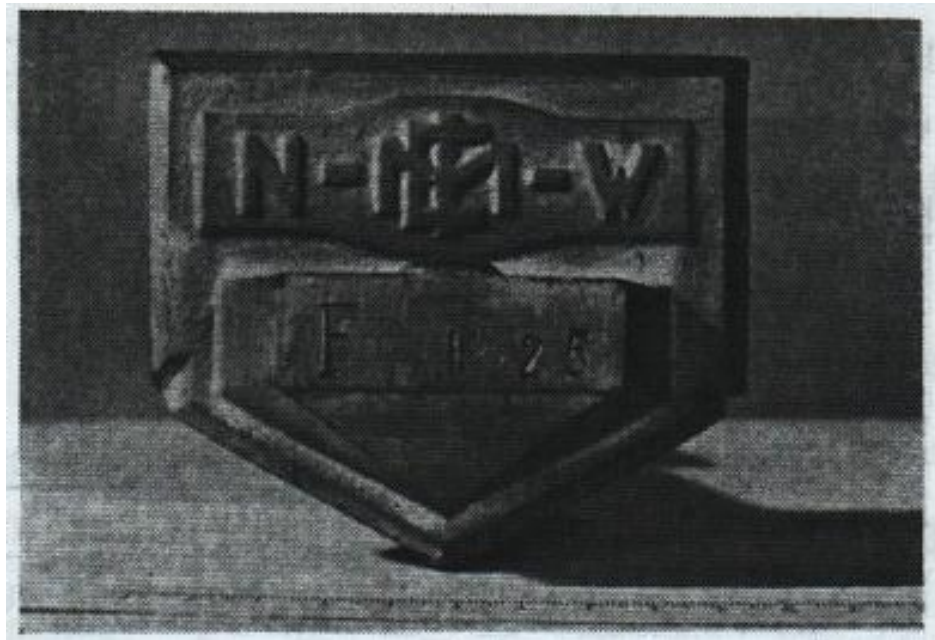
De waterpassing zelf gebeurt door volgens een horizontale lijn te meten. Doordat waterpassing doorgaans over vrij korte afstanden zal plaatsvinden, moet het effect van de aardkromming normaal gezien niet in rekening worden gebracht. Om het hoogteverschil te bepalen via waterpassing dient men te beschikken over een instrument dat volgens een horizontale lijn kan meten enerzijds, en een gegradueerde baak waarnaar gericht wordt en waarop de verticale hoogten worden afgelezen (figuur 29). Verschillende types van instrumenten en bakens zijn hiervoor beschikbaar. (Vanvinckenroye, p. 100; Bannister & Raymond, 1984 p. 33)



**Figuur 29 : waterpassing**  
Bron : (Alberda J. , 1994, p. 45)

### 3.1 Referentieniveaus

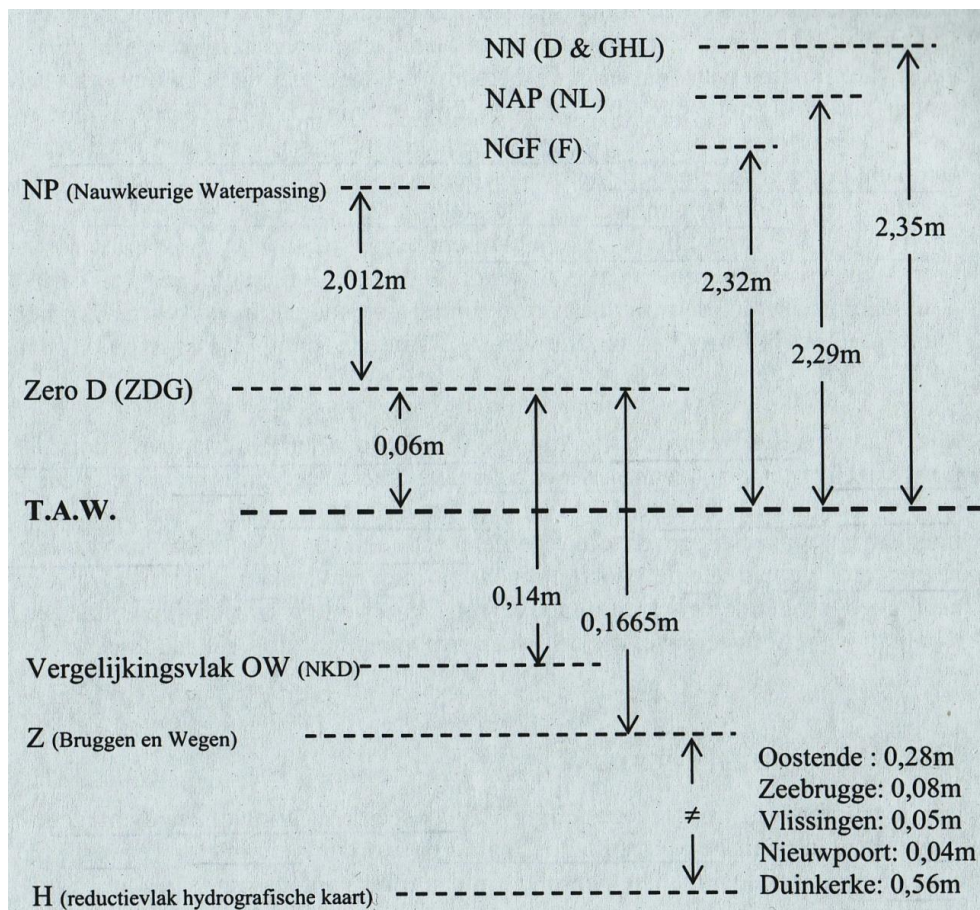
De referentieniveaus die gebruikt worden om de absolute hoogte van een punt te bepalen zijn nationaal gebonden. De meeste landen gebruiken het gemiddeld zeeniveau als referentievlak. In België echter gebruikt men het referentieniveau van de zogenaamde Tweede Algemene Waterpassing, T.A.W, die samenvalt met het gemiddeld laagwaterpeil in Oostende. Op basis van deze T.A.W. werd over het hele land een altimetrisch net uitgebouwd met gemarkeerde punten waarvan de absolute hoogte gekend is. De merktekens van die punten zijn verankerd in bestaande constructies of in betonnen waterpassingspalen (figuur 30). Over heel België is tenminste één van die merktekens te vinden binnen een straal van 3km. Het hele net in België is zeer nauwkeurig met een fout van maximum 0,7mm/km en absolute nauwkeurigheid van 5cm voor elk merkteken over heel België.



**Figuur 30 : merkteken T.A.W.**  
Bron : De Maeyer, 2004, p. 246

De T.A.W. werd echter pas in 1948 gedefinieerd en was niet altijd het referentieniveau voor de hoogtes in België. Twee andere altimetrische netten gingen de T.A.W. vooraf. Het eerste referentievlak werd door het Dépôt de la Guerre, de voorloper van het huidige NGI tussen 1840 en 1879 bepaald met de Nivellement Général of Algemene waterpassing. Dit eerste referentieniveau stond gekend als Zero D en was gebaseerd op “het peil van het middelbare lage tij bij gewoon springtij, bekomen door de waarnemingen van 1834 tot 1854 op de peilschaal van het loodswezen bij de sluis van de handelsdokken te Oostende”. Dit Zero D

wijkt 6cm af van het huidige gebruikte T.A.W. Een tweede referentievlak werd gerealiseerd met de Nivellement de Précision (N.P.) of Nauwkeurige waterpassing tussen 1889 en 1892. Als oorsprongsniveau hanteerde men “het middelbaar zeepeil te oostende, afgeleid uit de door de maregraaf opgetekende curven tussen 1878 en 1885”. Dit N.P bevindt zich 2,012m boven dat van de T.A.W. (figuur 31)



**Figuur 31 : referentieniveaus België en buurlanden**

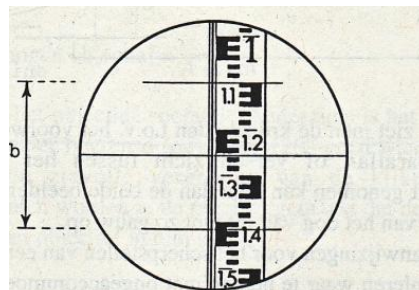
Bron : De Maeyer *et al.*, 2004, pp. 243-247

Alle hoogtes die men op huidige topografische kaarten aantreft zijn echter ten opzicht van de T.A.W. gedefinieerd. In onze buurlanden hanteert men een ander referentievlak wat impliceert dat men hiermee dient rekening te houden bij grensoverschrijdende metingen. In Nederland hanteert men zo het Normaal Amsterdams Peil, N.A.P. dat 2,29m hoger ligt dan het Belgische nulniveau. Het Duitse oorsprongsniveau bevindt zich dan weer 2,35m hoger. Dit betekent dan bijvoorbeeld dat het hoogste punt van België, het Signal de Botrange dat volgens het Belgisch net 694m hoog is op basis van het Duitse referentieniveau slechts 691,65 m hoog zou zijn. (De Maeyer *et al.*, 2004, pp. 243-247)

### 3.2 uitvoeren van een waterpassing

Om een waterpassing uit te voeren moet men steeds met minstens twee personen zijn. Terwijl de eerste het toestel opstelt en er plaats achter neemt gaat de tweede persoon zich met de baak naar een eerste op te meten punt begeven. De baak wordt boven elk in te meten punt horizontaal opgesteld. Het eerste fungeert als referentiepunt. Als bijvoorbeeld een merkteken van de T.A.W. gebruikt wordt, gaat men direct de absolute hoogte gebruiken. In andere gevallen stelt men het eerste punt doorgaans gelijk aan een hoogte met waarde 0. De afstand tussen baak en toestel mag meerdere tientallen meters bedragen. Het lenzenstelsel van de kijker van het waterpastroestel fungeert namelijk als verrekijker en maakt dat de onderverdeling van de afleesbaak goed zichtbaar is over een aanzienlijke afstand. Voor optimale resultaten wordt het waterpasinstrument best ongeveer in het midden van de twee op te meten punten opgesteld.

Van zodra toestel en baak zijn opgesteld wordt met de kijker van het toestel naar de baak gericht. Aan de hand van centrale kruisdraden wordt de waarde afgelezen op de baak. De baakaflezing van het eerste punt wordt de achterbaakaflezing genoemd. De hoogte van het referentiepunt en de achterbaakaflezing geven samen de hoogte van de vizierlijn van het waterpastroestel. Bij sommige waterpastroestellen kan men ook de afstand van het toestel tot aan het meetpunt bepalen. Daarvoor zijn naast de centrale kruisdraden nog twee horizontale afstanddraden geëet op het oculair van de kijker. De afstand wordt bepaald door eenvoudigweg het verschil tussen bovenste en onderste afstandsdraad in centimeters af te lezen als waren het meters (figuur 32). De afgelezen waarde van de twee afstanddraden dient ook ter controle van het centrale dradenkruis. De helft van de som van boven – en onderdraad komt immers overeen met de waarde van de middendraad. (Alberda J. , 1994, pp. 88-90)



**Figuur 32 : aflezing afstanddraden**  
Bron : Alberda J. , 1994, p. 90

|              |  |                   |  |
|--------------|--|-------------------|--|
| Datum: _____ |  | Blz.: _____       |  |
| Weer: _____  |  | Instrument: _____ |  |
| Wind: _____  |  | Baak: _____       |  |

| Stafjeën |      | Bekijpunt       |                   | AFSTAND       |                   |         |      |   |    |  |
|----------|------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|---------|------|---|----|--|
| Achter   | Voor | Achter-<br>beak | Afstand-<br>reden | Voor-<br>beak | Afstand-<br>reden | Zijbeak | Rand |   |    |  |
| m        | m    | mm              | mm                | mm            | mm                | cm      | 0 /  |   |    |  |
| 1        | 2    | 3               | 4                 | 5             | 6                 | 7       | 8    | 9 | 10 |  |

|                 |                          |                 |                          |              |                 |  |  |  |  |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--------------|-----------------|--|--|--|--|
| UITKOMSTEN      |                          |                 |                          |              |                 |  |  |  |  |
| Pistool of Pist |                          | Zijbeak         |                          | Hoogte       |                 |  |  |  |  |
| h=Ab-Vh<br>mm   | Hoogte: mm<br>t.o.v. NAP | h(+ of -)<br>cm | Hoogte: mm<br>t.o.v. NAP | Afstand<br>m | Vierlijks<br>cm |  |  |  |  |
| 11              | 12                       | 13              | 14                       | 15           | 16              |  |  |  |  |

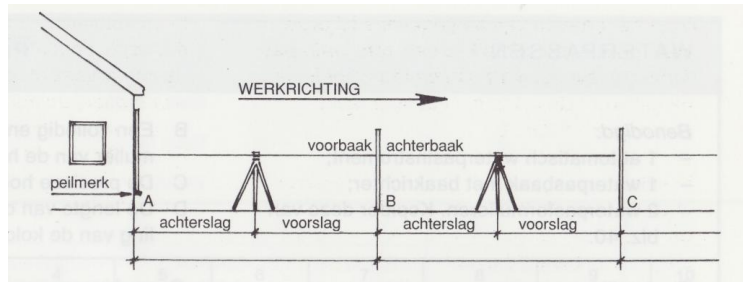
  

|              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Overgedracht |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Bron : Alberda J. , 1994, p. 130

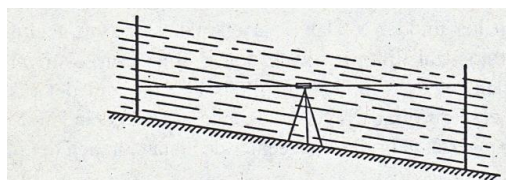
Bron : Alberda J. , 1994, p. 125

De waterpassing tussen twee baakopstellingen heet een slag. Om zo snel mogelijk op te schieten zal men een zo groot mogelijke afstand proberen te overbruggen per slag. Als controle voor een doorgaande waterpassing voert men doorgaans de waterpassing nog een tweede keer uit, ditmaal vertrekkend van het eindpunt. Het hoogteverschil van deze heen-en terugwaterpassing zou nul moeten uitkomen.



**Figuur 35 : voor- en achterbaakaflezing**  
Bron : Strijker, 1995, p. 37

In praktijk zal dit door kleine meet- en schattingsfouten nooit perfect het geval zijn. Als het verschil tussen heen- en teruggang aanvaardbaar<sup>29</sup> is zal men het hoogteverschil evenredig over de verschillende punten verdelen bij de vereffening. De fouten die bij heen-en terugwaterpassing opduiken kunnen te wijten zijn aan fouten van de waarnemer of instrumentele fouten van zowel baken als waterpasinstrument. Ook uitwendige factoren kunnen een rol spelen. Verschillende atmosferische omstandigheden tussen instrument en voor en achterbaak kunnen noemenswaardig verschil in refractie<sup>30</sup> impliceren (Figuur 36).



**Figuur 36 : refractiefout**  
Bron : Alberda J. , 1994, p. 128

Ook ongelijkmatige verwarming en belichting van het instrument kan systematische waarnemingsfouten generen. Ten slotte kan bij een slappe ondergrond het instrument en de baak deels inzakken waardoor de vizierlijn van hoogte verandert. (Alberda J. , 1994, pp. 125-140)

<sup>29</sup> Aanvaardbaar verschil : geen standaarden hiervoor. Afhankelijk van de toepassing en gewenste nauwkeurigheid zal een andere foutenmarge als aanvaardbaar worden beschouwd.

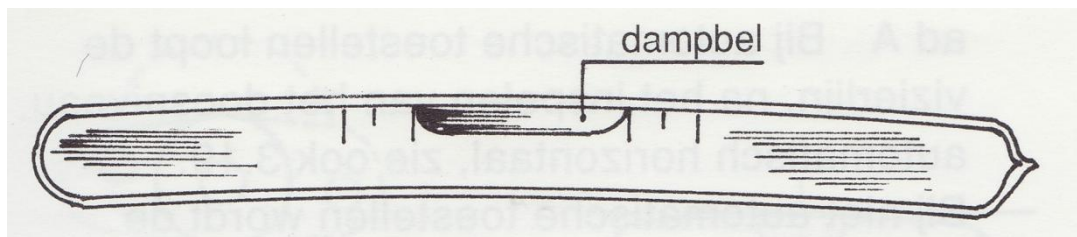
<sup>30</sup> Refractie : lichtbreking. Wanneer lichtstralen de atmosfeer binnendringen veranderen ze van richting. Op een steile helling zijn de atmosferische omstandigheden voor de voor –en achterbaakaflezing niet gelijk en verlopen de lichtstralen op verschillende hoogte boven de grond en gaan ze door verschillende luchtlagen. De resulterende fout is niet te elimineren, ook niet door het gemiddelde van heen-en teruggang.

### 3.3 Waterpasinstrumenten

Doorheen de tijd verscheen een grote variatie aan toestellen die voor waterpassing gebruikt werden. Deze toestellen kunnen geclassificeerd worden op basis van enkele algemene criteria. Afhankelijk van de gebruikte methode om het waterpastoestel horizontaal te kunnen opstellen wordt een algemeen onderscheid gemaakt tussen automatische en niet-automatische toestellen. De niet-automatische worden verder opgedeeld naargelang het instrument uitgerust is met een kijker of niet. Waterpasinstrumenten zonder kijker gaan terug tot in de oudheid en zijn in staat om snel hoogtes te meten tot op enkele centimeter nauwkeurig. Instrumenten met kijker zijn preciezer en kunnen hoogten meten tot op enkele millimeters nauwkeurig. Vanaf de 19<sup>de</sup> eeuw namen ze de dan ook de rol van de instrumenten zonder kijker quasi volledig over. Men onderscheidt enerzijds de toestellen van het type ‘alles vast’, waarbij de kijker en niveau vast hangen aan de drager en anderzijds deze met kijker en/of niveau los van de drager, zoals het zogenaamde type met reversieniveau waterpasinstrument. Sinds 1950 kwamen de waterpasinstrumenten met automatische instellingen op en geleidelijk aan verdrongen ze deze niet-automatische toestellen. De recentste ontwikkeling tenslotte zijn de digitale waterpastoestellen. De verschillende types worden aan de hand van enkele voorbeelden besproken. Speciale aandacht gaat echter eerst uit naar de ontwikkeling van luchtbelwaterpas gezien het cruciaal belang voor de verdere ontwikkeling van waterpastoestellen en andere landmeetkundige instrumenten. (Blindeman L. , 2007, p. 231)

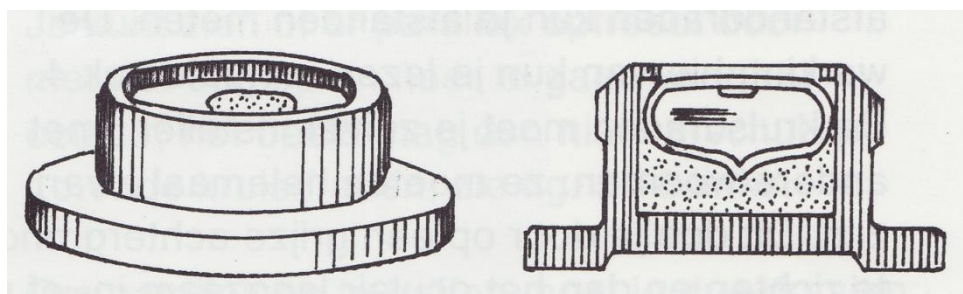
#### 3.3.1 Luchtbelwaterpas

De luchtbelwaterpas werd in 1666 ontwikkeld door de Fransman Thévenot en nog verder geperfectioneerd in de loop van de 18<sup>de</sup> eeuw door de Franse ingenieur van bruggen en wegen Antoine de Chézy (1718 – 1798). (Blindeman L. , 2007, p. 232; Ollivier, 1955, pp. 132-133) Het is een zeer klein en eenvoudig instrumentje. De traditionele luchtbelwaterpas, het buisniveau bestaat uit een gebogen glazen buisje met een streepjesmarkering dat gevuld is met een weinig viskeuze vloeistof die niet kan bevriezen (figuur 37). Vaak wordt een mengsel van alcohol en ether gebruikt dat deels vloeibaar en deels gasvormig in de buis aanwezig was. Omdat de dichtheid van gas kleiner is dan die van het vloeistofmengsel verplaatst de luchtbel onder invloed van de zwaartekracht zich steeds naar het hoogst gelegen deel van het buisje. De bel staat gecentreerd wanneer ze zich perfect tussen twee bepaalde merkstreepjes van het buisje bevindt. De richtlijn van de waterpas is dan horizontaal. (De Wulf, 2000)



**Figuur 37 : buisniveau**  
Bron : Strijker, 1995, p. 23

Het doosniveau is een variant van het hierboven beschreven buisniveau (figuur 38). Het bestaat uit een doosvormig glaslichaam dat aan de binnenkant bolvormig uitgeslepen is. In plaats van een streepjesverdeling is slechts een cirkel op het glas gegraveerd, waarbinnen de luchtbel zich moet bevinden opdat het doosniveau waterpas zou staan.



**Figuur 38 : doosniveau**  
Bron : Strijker, 1995, p. 25

De nauwkeurigheid van het doosniveau ligt wel lager dan bij een buisniveau. Het doosniveau heeft echter als voordeel dat het slechts in één stand moet worden opgesteld om het vlak horizontaal te stellen. Bij een buisniveau moet dit nog in twee onderlinge loodrechte standen gebeuren. (De Wulf, 2000)

### 3.3.2 Instrumenten zonder kijker

De Romeinse chorobates bleef tot in de Middeleeuwen het waterpasinstrument bij uitstek. Vanaf de Renaissance inspireerde men zich op het concept van dit instrument uit de oudheid om nieuwe waterpasinstrumenten te ontwikkelen. (Kiely, 1979, pp. 2-4 & 130-134) Deze evolutie leidde uiteindelijk in de 17<sup>de</sup> eeuw tot de ontwikkeling van de flesjeswaterpas (Figuur 39). Deze is opgebouwd uit een metalen buis van ongeveer 130 cm waarop aan de omgebogen uiteinden twee verticale glazen buisjes of flesjes zijn gemonteerd. De buis wordt volledig gevuld met water totdat het wateroppervlak in de glazen flesjes zichtbaar is. Indien de buis correct gevuld wordt en er zich geen luchtballen in bevinden dan zal het

wateroppervlak van de twee flesjes volgens het principe van de communicerende vaten<sup>31</sup> in een horizontale lijn komen te liggen. Met het wateroppervlak als vizierlijn kan dan naar een baak gericht worden. Om de nauwkeurigheid te waarborgen en doordat dit toestel geen kijker heeft bedraagt de afstand tot het te meten punt met een flesjeswaterpas zelden meer dan 25meter. (Blindeman L. , 2007, pp. 252-256)



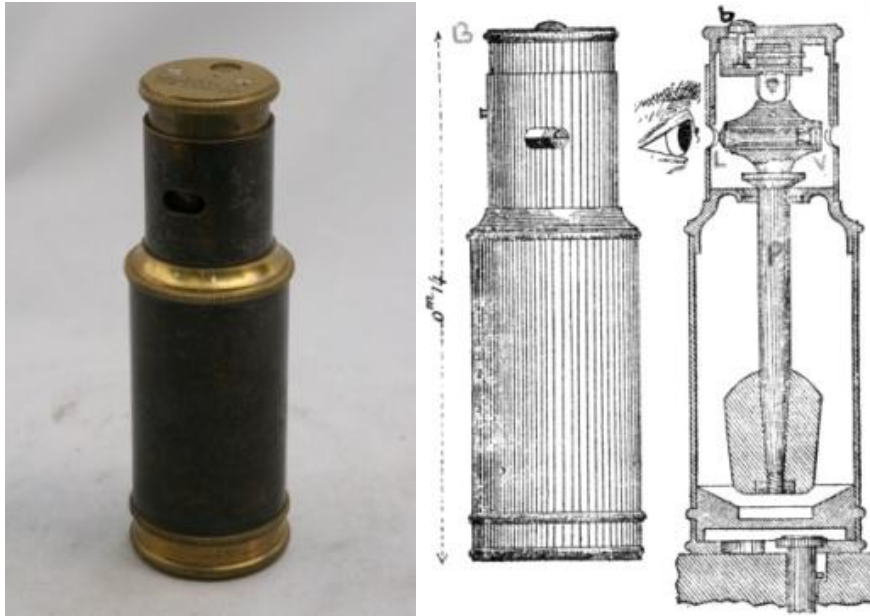
**Figuur 39 : flesjeswaterpas**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

In de 19<sup>de</sup> eeuw verschenen waterpasinstrumenten van een volledig nieuw type. Het waren kleine, compacte toestellen die uitgerust waren met een pendel. Ze werden opgehangen en door van de zwaartekracht gebruik te maken kon men er volgens een horizontale lijn mee kunnen meten. Het collimatorniveau van Colonel Gaulier (1881) en het vizierwaterpasinstrument van Burel(1886) zijn daarvan voorbeelden. Bij het collimatorniveau van Colonel Gaulier (figuur 40) kijkt de landmeter door een koperen buis, het collimatorniveau. Deze buis was onderaan verzwaard met een slinger die vrij kon bewegen en bovenaan vastgemaakt met een dubbele ophanging. Het slingeren van de pendel kon gedempt worden door een knop bovenaan het instrument ingedrukt te houden. Het toestel was zodanig opgebouwd dat wanneer de pendel in rust hing men volgens een horizontale lijn door het collimatorniveau keek. (Blindeman L. , 2007, pp. 257-258; Prévot, 1898, pp. 174-175)

---

<sup>31</sup> Wet van de communicerende vaten : Wet uit de natuurkunde die stelt dat wanneer twee vaten met een vloeistof met mekaar in verbinding staan, dat het niveau van de vloeistof in beide vaten even hoog zal zijn.



**Figuur 40 : collimatorniveau Colonel Gaulier**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Het vizierwaterpasinstrument van Burel (figuur 41) werkt volgens een vergelijkbaar mechanisme. Het bestaat uit een pendelend opgehangen spiegeltje. Het toestel werd op ooghoogte in rust opgehangen. Wanneer men met zijn één oog recht in het spiegeltje keek dan kon men met het andere oog volgens een horizontale lijn kijken naar een baak. (De Wulf, 2000)



**Figuur 41 : vizierwaterpasinstrument van Burel**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Door een luchtbelwaterpas te gebruiken bij de opstelling van een toestel om een horizontale lijn te vinden zette men een grote stap voorwaarts in de ontwikkeling van waterpastoestellen. Men kreeg in de eerste plaats veel compactere en gebruiksvriendelijkere instrumenten dan voordien. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000) De eerste waterpastoestellen die met een buisniveau werkten richtten zich naar een baak aan de hand van vizieren. Dergelijke instrumenten waren frequent in gebruik vooraleer de toestellen met kijker verschenen. Het waterpastoestel van het type ‘Pons et chaussées’(1886) is een voorbeeld van dergelijk waterpasinstrument met vizieren (figuur 42). Met buisniveau en drie stelschroeven onderaan het toestel wordt het waterpas gezet. Dit type is al iets geavanceerder dan de traditionele waterpasinstrumenten met vizieren. Het is namelijk ook uitgerust met een horizontale cirkelrand waarop inkervingen zijn aangebracht die het mogelijk maken om hoeken van 45°, 90° en 135° uit te zetten. (De Wulf, 2000)



**Figuur 42 : waterpasinstrument met vizieren (type pons et chaussées)**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 3.3.3 Instrumenten met kijker

Door een kijker de rol van de vizieren te laten overnemen werd het mogelijk om preciezer en over grotere afstanden te meten. Er bestaat geen zekerheid over de exacte periode waarin het eerste waterpasinstrument met kijker werd vervaardigd. Wellicht ging het om een langdurige evolutie die vanaf het einde van de 17<sup>de</sup> eeuw op gang kwam. Tot de oudst gekende exemplaren behoort een in 1770 door Chézy vervaardigd instrument, met kijker en luchtbelwaterpas. Het had echter nog geen stelschroeven. (Blindeman L. , 2007, p. 259) De eerste toestellen waar dit wel het geval voor is zijn deze van het type ‘alles vast’ (figuur 43). Zowel buisniveau als kijker zijn vast verbonden aan het onderstel. (Alberda J. , 1994, pp. 112-114) Er kan daarbij wel steeds rond de verticale as geroteerd worden. Bij deze oudste toestellen kunnen instrumentfouten, die voor een niet volledig accurate horizontale vizierlijn zorgen, niet worden uitgeschakeld. (De Wulf, 2000)



**Figuur 43 : waterpasinstrument type alles vast**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Deze fouten werden aangepakt door eerst de kijker en vervolgens ook het niveau los op de drager te bevestigen. De niveauijker van Colonel Gaulier (1884) (figuur 44) was één van de eerste waar dit het geval is. Naast de drie stelschroeven onderaan is dit instrument ook voorzien van een kipschroef of hellingschroef waarmee de helling van de kijker nog fijner kan worden bijgesteld.



**Figuur 44 : niveaukijker Colonel Gaulier**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

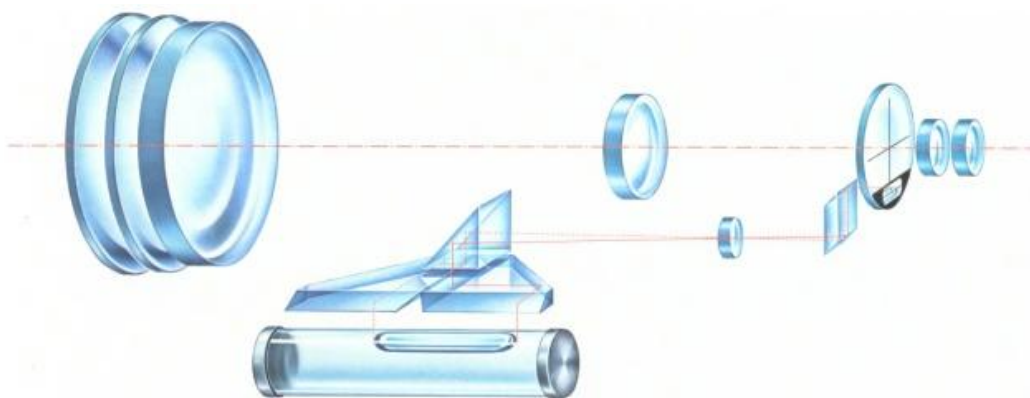
Een nog verdere verfijning kwam er door ook nog een doosniveau centraal op het toestel te plaatsen. Dit vinden we bijvoorbeeld bij het waterpasinstrument type Fennel (1914) (figuur 45). Met dit doosniveau en de drie stelschroeven werd het toestel eerst benaderend horizontaal geplaatst. Fijnere afstelling gebeurde dan met de kipschroef en het buisniveau. (De Wulf, 2000)



**Figuur 45 : waterpasinstrument type Fennel**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De hierboven beschreven waterpasinstrumenten zijn al zeer nauwkeurig, maar hebben toch nog enkele belangrijke nadelen. Bij het opstellen van deze waterpasinstrumenten is het bijna onvermijdelijk dat de kijker niet perfect horizontaal komt te staan, waardoor de aflezing op de baak net boven of net onder de horizontale lijn zal gebeuren. Men lost dit op door het instrument te draaien en de kijker en/of het buisniveau om te leggen en dan de baak een tweede keer af te lezen. Het gemiddelde van de twee metingen levert dan een nauwkeurigere waarde. Fouten ten gevolge van afslijting of oxidatie beïnvloeden bij deze werkwijze frequent de waarnemingen bij deze toestellen. Als oplossing ontwikkelde men waterpastoestellen waarbij kijker en buisniveau op een eenvoudige en solide manier kon worden omgekeerd. Het gaat om de toestellen van het type met reversieniveau<sup>32</sup>. Toestellen met een reversieniveau laten veel nauwkeurige metingen toe. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 26; Alberda J. , 1994, pp. 115-116; Blindeman L. , 2007, p. 281) Nog nauwkeuriger wordt de meting door er voor te zorgen dat het beeld van de bel van het reversieniveau in het gezichtsveld van de kijker wordt waargenomen, waardoor men directe controle heeft over de kwaliteit van de meting. Dergelijke systemen met zogenaamde coïncidentieluchtbel worden gerealiseerd door een speciale prisma-inrichting boven het buisniveau te plaatsen (figuur 46). Het reversieniveautype van Wagner (1920) (figuur 47) en het Wild waterpasinstrument (figuur 48) zijn voorbeelden van toestellen met reversieniveau en coïncidentieluchtbelaflezing.



**Figuur 46 : coïncidentieluchtbelaflezing**  
Bron : Vanvinckenroye, 2001, p. 120

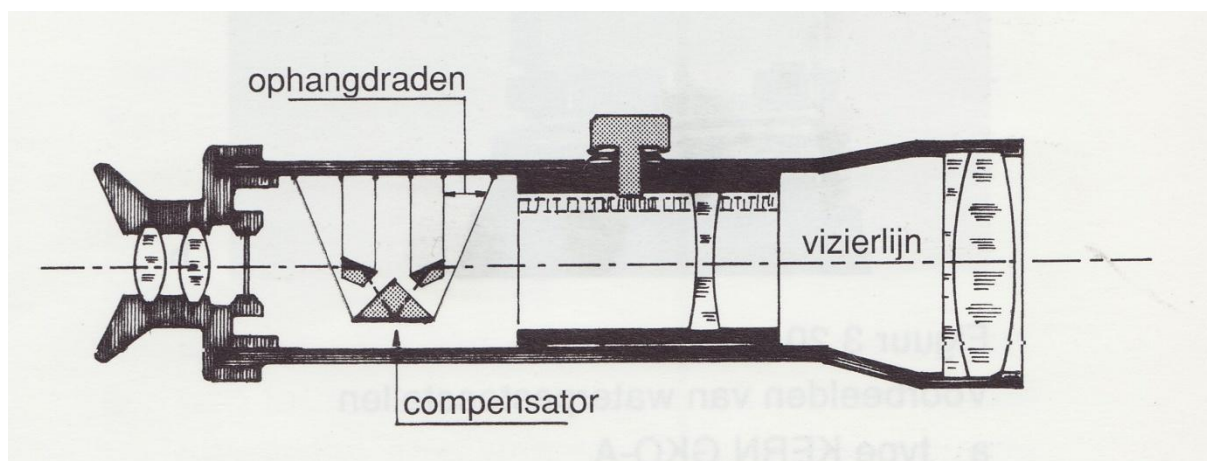
<sup>32</sup> Reversieniveau : Een reversieniveau is een inwendig tonvormig uitgeslepen niveau dat aan twee zijden voorzien is van een verdeling. Het beschikt over twee richtlijnen voor de luchtbel, die evenwijdig met elkaar moeten zijn.



**Figuur 47 & 48 : waterpasinstrumenten Wagner & Wild**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 3.3.4 Automatische waterpasoestellen

Sinds 1950 manifesteerde zich een nieuwe evolutie en brak het tijdperk van de automatische waterpasoestellen aan. Automatisch wil zeggen dat nadat men het doosniveau heeft laten inspelen, de vizierlijn automatisch gecorrigeerd wordt en altijd zo steeds horizontaal loopt. Daarvoor zijn deze toestellen uitgerust met een zogenaamde compensator<sup>33</sup> (figuur 49).



**Figuur 49 : compensator**  
Bron : Strijker, 1995, p. 27

<sup>33</sup> Compensator : Bestaat uit een vast aan de kijker verbonden optisch gedeelte en een los beweeglijk gedeelte dat onder invloed van de zwaartekracht werkt.

Van zodra het toestel grofweg horizontaal geplaatst werd met het doosniveau treedt de compensator in werking, waardoor de meetsnelheid en meetnauwkeurigheid aanzienlijk toenam. Toch verdrongen de automatische toestellen niet overal de toestellen met reversieniveau. Een compensator is immers erg gevoelig aan trillingen waardoor een deze instrumenten bijvoorbeeld niet langs drukke wegen kunnen gebruikt worden. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 27) De eerste commerciële doorbraak van automatische waterpasoestellen kwam er met de Wild Ni 2 in 1950 (figuur 50).



**Figuur 50 : waterpasinstrument Wild Ni 2**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Verskillende andere automatische waterpasoestellen met allerlei soorten compensators kwamen in de daarop volgende jaren op de markt. Zo verscheen in 1965 een periscopisch waterpasoestel van Koni (figuur 51).



**Figuur 51 : periscopisch waterpasinstrument Koni**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

In 1975 kwam met het automatisch waterpasinstrument SNA-1 een bijzonder toestel op de markt (figuur 52). Het is opmerkelijk omdat het slecht met 2 regelschroeven horizontaal wordt gesteld, daar waar vorige instrumenten steeds over drie zo'n schroeven beschikten.



**Figuur 52 : waterpasinstrument SNA-1**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Een laatste vermeldenswaardig automatisch waterpastoestel dat eveneens in 1975 verscheen is het automatisch waterpastoestel Kern GK1-A (figuur 53). Het is een compact toestel waarbij de compensator werkt met een reflectievlak dat pendelend is opgehangen in een speciale magnetische lager. (Vanvinckenroye, p. 134-152)



**Figuur 53 : waterpasinstrument Kern GK1-A**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 3.3.5 Digitale waterpassing

Begin de jaren 1990 kwam fabrikant Leica op de markt met een baanbrekende innovatie voor waterpassing. In 1992 lanceerden ze met de NA2000 het eerste digitale waterpastoestel. Een jaar later al verscheen met de NA3000 (figuur 54), een nog nauwkeuriger toestel. (De Wulf, 2000, p. 84) Door waterpassing digitaal te laten verlopen was men in staat om op een geautomatiseerde wijze de baakaflezing, de registratie van de gemeten en/of berekende waarden en de berekening van de hoogten te laten verlopen. Menselijke fouten die voordien bij alle 3 deze stappen konden voorkomen werden zo vermeden. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 28) De snelheid van de meting nam ook nog eens aanzienlijk toe. Deze digitale toestellen kunnen bovendien snel met een kabel de gemeten gegevens naar een PC verzenden voor een snelle en efficiënte verdere verwerking. (De Wulf, 2000, p. 84)



**Figuur 54 : digitaal waterpasinstrument NA 3000**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 3.4 Bakens

De hoogtes zelf worden afgelezen op een baak die boven op het te meten punt staat opgesteld. Een baak is een grote verticale gegradueerde lat waarop in gewoonlijk zwart, rood en wit een verdeling in centimeter of een andere maat is aangebracht. Net zoals de waterpasinstrumenten zelf onderscheiden we verschillende types en onderging ook de baak een hele evolutie met nieuwe materialen en technieken als drijfveer. De bordjesbaak is één van de oudste types (figuur 55). Ze worden nu vrijwel niet meer gebruikt. Bij dit type gebeurt de aflezing niet door de landmeter achter het waterpastroestel, maar door de baakhouder. Op aanwijzingen van de landmeter schoof deze laatste bordjes langs de baak op en neer tot op de hoogte van de vizierlijn. (Blindeman L. , 2007, p. 250)



**Figuur 55 : bordjesbaak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Normaal gezien is het echter de landmeter achter het waterpasinstrument die instaat voor de aflezing. De bakens die daarvoor gebruikt worden zijn de zelfleesbakken. Verschillende types bestaan. Wanneer men met oudere waterpastroestellen werkt, zal men vaak een baak gebruiken met omgekeerde graduering (figuur 56).



**Figuur 56 : waterpasinstrument zelfleesbaak met omgekeerde graduering**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De reden hiervoor is dat men in de landmeetkunde vaak astronomische kijkers of ook wel Keplerkijkers gebruikt. Deze geven een omgekeerd beeld van datgene waar er naar gericht wordt. Door toestellen met dergelijke kijkers naar deze baken met omgekeerde graduering te richten, krijgt de landmeter in het toestel een recht beeld. Indien kijkers worden gebruikt die een rechtopstaand beeld geven gebruikt men uiteraard zelfleesbaken met rechtopstaande centimerverdeling (figuur 57). (Blindeman L. , 2007, p. 245)



**Figuur 57 : standaardbaak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

De meeste precieze meting wordt bereikt met een zelfleesbaak die uit één stuk bestaat. Praktischere, maar minder nauwkeurige modellen zijn uitklapbare vouwbaken (figuur 58) en uitschuifbare baken. Doorgaans zijn deze zelfleesbaken uit aluminium vervaardigd.



**Figuur 58 : uitklapbare baak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Wanneer bij de waterpassing zeer hoge nauwkeurigheid vereist is, kan men gebruik maken van een invarbaak<sup>34</sup> (figuur 59). Een gegradueerde invarstrip is, bij dit type baak uit één stuk, over een stevig metalen frame gespannen. De gradering van de invarstrip bestaat uit twee verdelingen met een interval van 0,5 cm en laat op die manier toe twee onafhankelijke waarnemingen te verrichten. De nauwkeurigheid van een waterpassing met dit type baak kan 1,5 tot 3 maal hoger liggen. (De Wulf, 2000)



**Figuur 59 : invarbaak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

---

<sup>34</sup> *invar* : legering van nikkel en ijzer dat zeer bestendig is tegen uitzetting.

Bij digitale waterpassing ten slotte zal men gebruik maken van een digitale baak (figuur 60). Op deze baak is een geel-zwarte streepjescode aangebracht. Deze streepjescode is in feite een binaire code die het digitaal waterpastoestel gebruikt om de hoogte te bepalen. Voorwaarde voor een precieze meting is uiteraard wel dat het streepjespatroon van de baak identiek is aan datgene dat in het geheugen van het waterpastoestel is opgeslagen. (De Wulf, 2000)



**Figuur 60 : digitale baak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 3.5 Andere methodes van hoogtemeting

Naast de methode met waterpasinstrument en baak bestaan er nog andere manieren om de hoogtes van punten te bepalen. Hydrostatische waterpassing, trigonometrische hoogtemeting en barometrische hoogtemeting zijn ook mogelijk. Daarnaast kan men in bijzondere gevallen zoals voor het bepalen van de waterdiepte of de diepte van mijnschachten de hoogte direct meten met lange meetbanden of met een peilstok. (Alberda J. , 1994, pp. 45-46, 359-377)

#### 3.5.1 Hydrostatische hoogtemeting

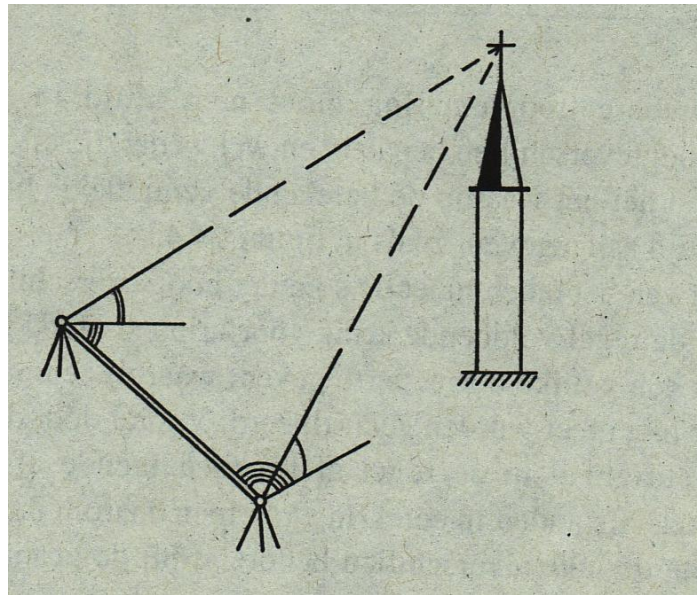
Hydrostatische hoogtemeting gebruikt het principe van de flesjeswaterpas, waarbij een horizontale vizierlijn, die ontstaat door de wet van de communicerende vaten , op een veel grotere schaal toegepast wordt. Bij hydrostatische waterpassing maakt men gebruik van een vrij stilstaand wateroppervlak, zoals een meer, om punten van gelijke hoogte te verkrijgen en met behulp van de waterspiegel als nulniveau hoogteverschillen te meten. Stromingen, engten, windopstuwing en getijwerking maken een wateroppervlak echter vaak onbruikbaar voor deze methode. (Alberda J. , 1994, pp. 45, 376-377)

#### 3.5.2 Trigonometrische hoogtemeting<sup>35</sup>

Trigonometrische hoogtemeting bepaalt het hoogteverschil tussen twee punten op basis van verticale hoekmeting (figuur 61). Daarvoor moet de afstand van het opstelpunt van waaruit de hoek gemeten wordt tot de twee desbetreffende punten gekend zijn. Op basis van goniometrie kan men dan het hoogteverschil bepalen. Er moet bij deze werkwijze echter rekening gehouden worden met verschillende beïnvloedende factoren zoals de kromming van de lichtstralen ten gevolge van de refractie. Trigonometrische hoogtemeting kan over afstanden van enkele kilometers een hoogteverschil met een nauwkeurigheid van 2 à 10cm bepalen. (Alberda J. , 1994, pp. 45, 359-365)

---

<sup>35</sup> Bijlage E

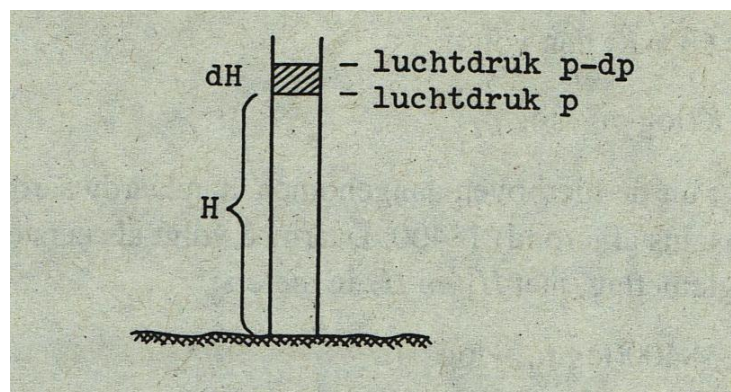


**Figuur 61 : trigonometrische hoogtemeting**

Bron : (Alberda J. , 1994, p. 364)

### 3.5.3 Barometrische hoogtemeting

Barometrische hoogtemeting tenslotte maakt gebruik van het fysisch verschijnsel waarbij de luchtdruk afneemt met de hoogte (figuur 62). Door gelijktijdig de barometrische druk op de twee in te meten punten te bepalen, kan men het verschil in druk gebruiken als maat voor het hoogteverschil, uitgaande van de veronderstelling dat vlakken met gelijke luchtdruk niveauvlakken zijn. Deze metingen zijn echter niet altijd even accuraat, aangezien naast luchtdruk ook temperatuur en luchtvochtigheid een rol spelen. Barometrisch hoogteverschillen bepalen gebeurt met een nauwkeurigheid van 1 tot enkele meters en is vooral een geschikte methode om in zeer grote gebieden het hoogteverschil te bepalen. (Alberda J. , 1994, pp. 45-46, 359-377)



**Figuur 62 : barometrische hoogtemeting**

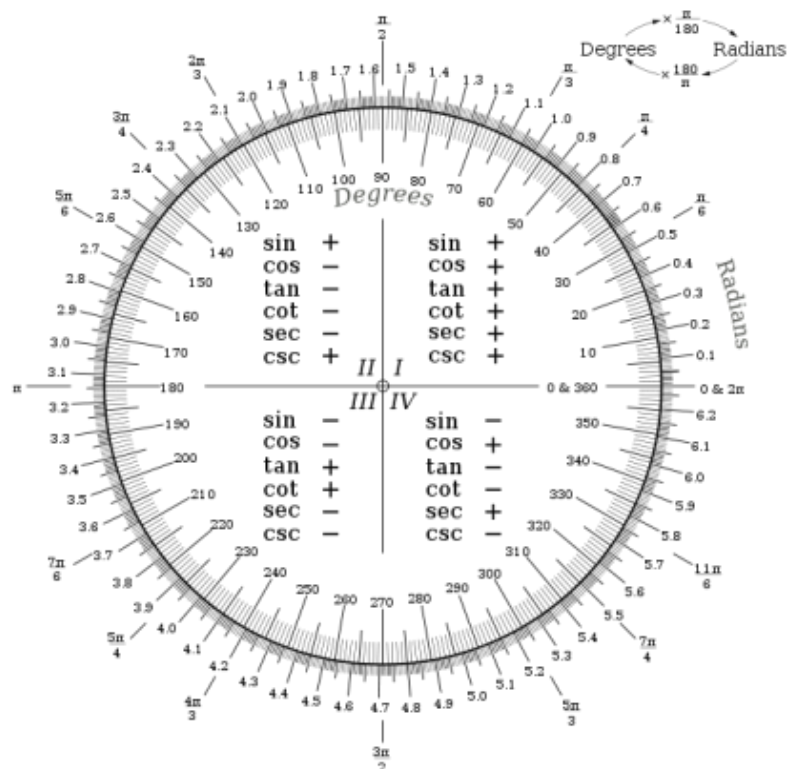
Bron : (Alberda J. , 1994, p. 366)

## **4. HOEKMETING**

Om punten in de ruimte ten opzichte van mekaar te positioneren meet de landmeter hoeken op. Wiskundig gezien is een hoek een vlak gevormd door twee halfrechten, de benen van de hoek, met een gemeenschappelijk beginpunt. In het terrein vertaalt het beginpunt van de benen van de hoek zich naar het punt van waaruit gemeten wordt. De benen van de hoek vallen samen met de richting waar er naar gemeten wordt. Men onderscheidt in de landmeetkunde horizontale en verticale hoeken. De horizontale hoek is de projectie van de twee benen van de beschouwde hoek op een horizontaal vlak. De verticale is dat op een verticaal vlak. Een willekeurig georiënteerde hoek tussen twee richtingen kan bij een hoekmeting steeds ontbonden worden in de horizontale en de verticale hoek. (Vanvinckenroye, De Wulf, & De Maeyer, 150 jaar landmeetkunde en cartografie, 2000) De grootte van een hoek kan uitgedrukt worden in verschillende maten.

## 4.1 Maten voor hoekmeting

Er bestaan verschillende eenheden om de grootte van een hoek uit te drukken. Het meest gehanteerde systeem is het sexagesimaal. Daarbij drukt men hoeken uit in graden, minuten en seconden. Een cirkel wordt er in 360 graden verdeeld waardoor een rechte hoek 90 graden is.  $1^\circ$  komt overeen met 60 minuten en één minuut zijn 60 seconden. Voor nog verdere verfijning worden seconden decimaal verder verfijnd tot op één duizendste. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 165-166) Naast de graden gebruikt men ook frequent het radiaal systeem als maat om de grootte van een hoek uit te drukken. Een radiaal is de hoek gemeten vanuit het centrum van een cirkel waarvan de lengte van de cirkelboog gelijk is aan de lengte van de straal. Een volledige cirkel heeft bij deze maatvoering een waarde van  $2\pi$  of ca. 6,283185. Radialen worden decimaal uitgedrukt en zijn vooral praktisch bij het rekenen met hoeken. Rekenen met een sexagesimaal stelsel is namelijk vrij omslachtig. De relatie tussen graden en radialen is vrij eenvoudig.  $1^\circ$  komt overeen met  $\pi/180$  radialen. Omgekeerd geldt dat 1 radiaal gelijk is aan  $180/\pi$  graden (figuur 63). (<http://www.clarku.edu>, 2006)



**Figuur 63 : relatie graden & radialen**

Bron : <http://en.wikipedia.org> , 9 februari 2009

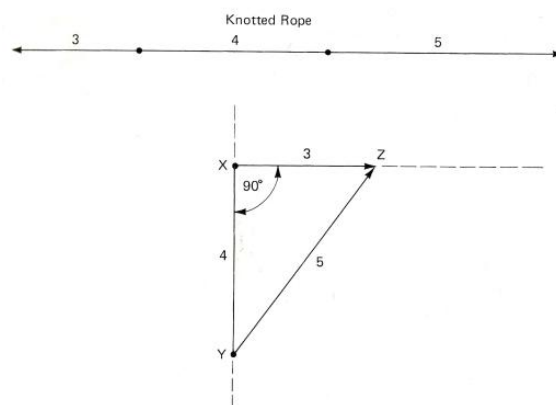
Binnen de geodesie en landmeetkunde wordt vaak gewerkt met een systeem van decimale graden of gon om een hoek uit te drukken. Een volledige cirkel komt dan overeen met 400 gon en een rechte hoek is dus 100 gon. Vooral in Europa wordt dit systeem frequent gehanteerd. Er bestaan nog andere systemen voor hoeken uit te drukken. Ze zijn echter van ondergeschikt belang voor landmeters. Zo drukt men een helling vaak uit in procenten. Dit bekomt men door de tangens of sinus van de gemeten hellingshoek met 100% te vermenigvuldigen. Militairen gebruiken dan weer een systeem dat afgeleid is van de radiaal, mil genaamd. Een volledige cirkel is daarbij opgedeeld in 6300 of 6400 eenheden. Het is een zeer praktisch systeem bij het schieten van artillerie. (Ghilani & Wolf, 2008, p. 25)

## 4.2 Instrumenten voor hoekmeting

Doorheen de tijd verscheen een grote variëteit aan instrumenten waarmee men hoeken kon meten. Het wiskundig meten en berekenen van hoeken gaat vermoedelijk terug tot 1500 BCE wanneer men in het oude Egypte aan de hand van de schaduw van een stok op gegradueerde stenen tabletten de tijd en seizoenen met enige nauwkeurigheid bepaalde. Het waren ook de Egyptenaren die het eerste instrument voor hoekmeting ontwikkelden. Van toen af werd de toon gezet voor een lange ontwikkeling van instrumenten voor hoekmeting. We kunnen de hoekmeetinstrumenten in enkele categorieën indelen. De eerste categorie is deze die specifiek ontworpen is om rechte hoeken uit te zetten. Daarnaast onderscheiden we toestellen die gebruikt worden voor horizontale hoeken te meten enerzijds en deze voor het meten van verticale hoeken anderzijds. De laatste ontwikkeling in het instrumentarium voor hoeken te meten kwam er met de theodoliet die toelaat zowel horizontale als verticale hoeken met één enkele toestel te meten. (Wallis, 2010)

### 4.2.1 Instrumenten voor het uitzetten van rechte hoeken

Bij bijvoorbeeld constructiewerken is het uitzetten van rechte hoeken zeer belangrijk. Elk instrument waarmee men hoeken kan meten, kan gebruikt worden om een rechte hoek te meten en uit te zetten. Er zijn echter een aantal specifieke methoden en instrumenten ontwikkeld die er op gericht zijn om enkel deze taak snel en efficiënt uit te voeren. De Oudste methode voor het uitzetten van een rechte hoek vinden we bij de Egyptische touwspanners (figuur 64). Ze gebruikten daarvoor een geknoopt touw met knopen in een verhouding 3:4:5. Door een driehoek te vormen met de knopen van het touw als hoekpunt creëerde men een rechte hoek. (Blindeman L. , 2007, pp. 97-98)



**Figuur 64 : rechte hoeken volgens de Egyptische methode met touw**

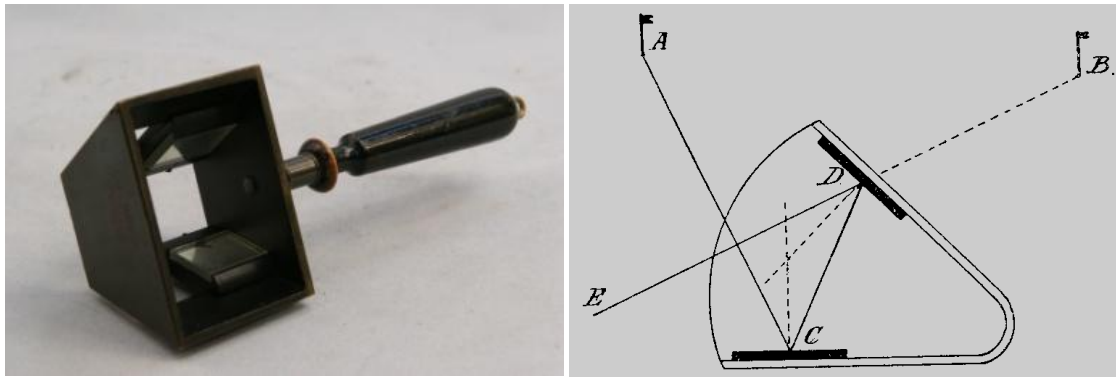
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Het eerste echte instrument om rechte hoeken uit te zetten, werd gevonden in de ruïnes van de Romeinse stad Pompeï, waar de restanten van de groma werden gevonden. Het zou geïnspireerd zijn op een Egyptisch model en zal voor verschillende duizenden jaren gebruikt worden. (Wallis, 2010) In 1600 beschreven twee Nederlandse landmeters een nieuw instrument om rechte hoeken uit te zetten, het winkelkruis. De verdere ontwikkeling van dit instrument in de daarop volgende eeuwen leidde tot het ontstaan van het landmeterskruis of ook wel équerre genoemd. Dit landmeterskruis zou in de eerste plaats vooral gebruikt worden door Franse landmeters in de 18<sup>de</sup> eeuw. Sinds de 19<sup>de</sup> eeuw zou het ook in ons land een veel gebruikt hulpmiddel worden. Het betreft een hol messing lichaam dat voorzien is van acht gleuven. Wanneer men door de gleuven kijkt kan men aan de hand van een vizeerdraad richten en naast een hoekverschil van 90° ook een verschil van 45° en 135° waarnemen. Deze landmeterskruisen verschijnen in verschillende uitvoeringen. Naast achthoekige (figuur 65) komen ook conische, cilindrische en sferische kogelvormige (figuur 66) landmeterskruisen voor.



**Figuur 65 & 66 : achthoekig & kogelvormig landmeterskruis**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

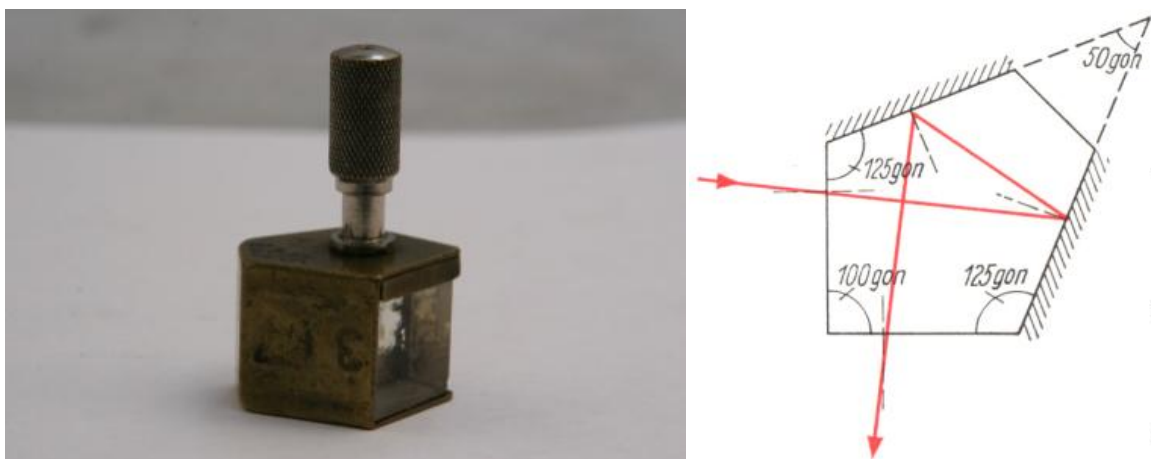
Andere instrumenten die kunnen gebruikt worden om rechte hoeken uit te zetten zijn spiegelkruisen en prisma's. Deze maken allebei gebruik van eigenschappen van de terugkaatsing van een lichtstraal. Een lichtstraal die door twee spiegels wordt gereflecteerd zal een richtingsverandering ondergaan die twee maal gelijk is aan de hoek, die ingesloten wordt door de spiegels. Bij een spiegelkruis of hoekspiegel zorgt men ervoor dat de spiegels in een hoek van 45° ten opzichte van mekaar staan om een rechte hoek te meten (Figuur 67).



**Figuur 67 : hoekspiegel en stralengang**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007; Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 12-15

Prisma's werken volgens een gelijkaardig principe, maar de gang van de lichtstralen is anders dan bij hoekspiegels. De inrichting van het prisma berust op de wetten van breking en terugkaatsing van licht. De stralengang van het pentagoonprisma wordt geïllustreerd in figuur 68. Het pentagoonprisma is vijfzijdig. Daarnaast bestaan ook driezijdige prisma's waarbij het licht langs de drie zijden van het driehoekig prisma gestuurd wordt. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 12-15)



**Figuur 68 : pentagoonprisma en stralengang**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007; Vanvinckenroye *et al.*, 2000

#### 4.2.2 Instrumenten voor verticale hoekmeting

Het meten van verticale hoeken was eerst en vooral belangrijk in het kader van astronomische waarnemingen. Het belangrijkste instrument dat uit de oudheid stamt, dat daarvoor dienst deed, is het astrolabium. Het werd vervolmaakt door de Arabieren in de 7<sup>de</sup> eeuw en zou een veel gebruikt instrument blijven tot wanneer haar rol zou worden overgenomen door de meer precieze sextant sinds 1650. (Wallis, 2010) Met beide instrumenten wordt de hoek tussen twee richtingen gemeten, in de eerste plaats tussen de horizon en een hemellichaam. Ze werden vooral gebruikt door zeelui om hun positie te bepalen en om te navigeren. Sextanten bestonden in verschillende formaten. Tot het meest compacte hoort een sextant in zakformaat, gekend uit de 19<sup>de</sup> eeuw (figuur 69).



**Figuur 69 : zaksextant**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Een instrument dat dichter aansluit bij de astronomische sextant is een kleine sextant met spiegels uit 1871, waarbij met behulp van 2 spiegels de hoek kan worden gemeten (figuur 70). Een variant van de sextant vinden we bij de hydrografische cirkel (figuur 71). Daar waar de sextant vooral op zee werd gebruikt was dit een instrument om aan wal te gebruiken.



**Figuur 70 : kleine sextant met spiegels**

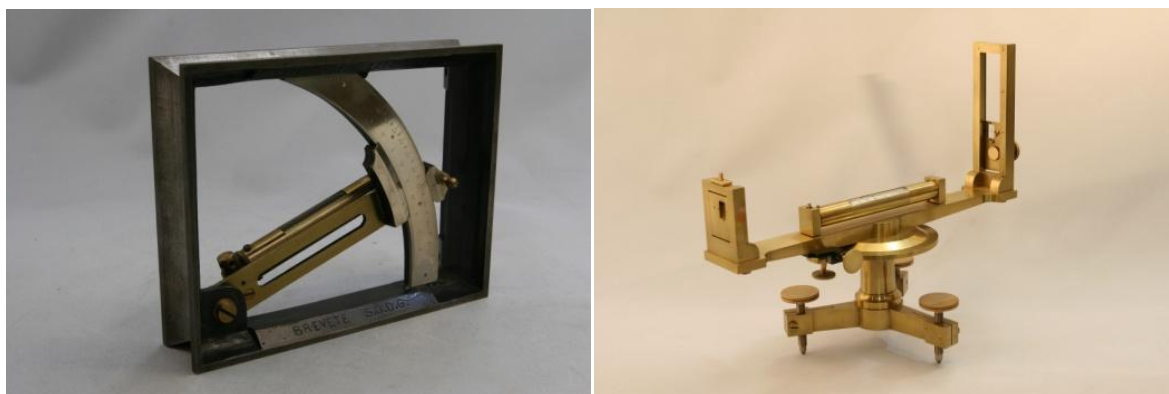
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007



**Figuur 71 : hydrografische cirkel**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Een bijzonder type instrumenten om verticale hoeken te meten zijn enkele mechanische hellingmeters zoals de hellingmeter van Lefebvre (figuur 72) en de hellingmeter van Chézy (figuur 73) die een rechtstreekse aflezing van de hellingsgraad toelaten. (Blindeman & De Wulf, 2007, pp. 11, 24 & 107)



**Figuur 72 & 73 : hellingmeters van Lefebvre & Chézy**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

#### 4.2.3 Instrumenten voor horizontale hoekmeting

Ook voor het meten van horizontale hoeken bleven tot na de middeleeuwen instrumenten uit de klassieke Oudheid in gebruik. Het oudste gekende instrument om horizontale hoeken te meten is de dioptra zoals deze in 150 BCE door Heron werd beschreven. Ook het astrolabium kon gebruikt worden om horizontale hoeken te bepalen. Het is wachten tot de 16<sup>de</sup> eeuw vooraleer er grote vernieuwingen in het instrumentarium voor horizontale hoekmeting kwamen. In de eerste plaats werd het kompas, ook wel boussole genaamd dat reeds in de 11<sup>de</sup> eeuw door de Chinezen gebruikt werd voor navigatie en kartering, een zelfstandig topografisch instrument. Wellicht was de Venetiaan Nicole Tartaglia tussen 1520 en 1560 hiervoor verantwoordelijk. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 21) Een kompas is opgebouwd uit een doos met daarin een gegradueerde cirkel met in het midden een stift waarop een magnetische naald zich vrij kan bewegen. (Blindeman L. , 2007, p. 197) Het instrument is erg gevoelig voor afwijkingen en bleek niet altijd even betrouwbaar. De mogelijke demagnetisering van de naald, de beweeglijkheid ervan en de aanwezigheid van ijzer in de buurt zijn de voornaamste oorzaken voor die afwijkingen. Bovendien moet altijd rekening gehouden worden met het effect van de declinatie<sup>36</sup> bij de meting. Het kompas kan wel

<sup>36</sup> Declinatie : Hoekverschil tussen magnetisch en geografisch noorden. Beiden vallen niet samen doordat het magnetisch noorden zich door fluctuaties van het aardmagnetisch veld niet vast ligt.

gebruikt worden voor snelle oriëntering. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 21) Een landmeter kan er een vizierlijn tot op een paar tienden van een graad na oriënteren ten opzichte van het noorden. (De Wulf, 2000, pp. 86-87) Een voorbeeld van een eenvoudig landmeterskompas met vizier is de bousole van Berget uit 1920 (figuur 74).



**Figuur 74 : boussole van Berget**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Een ander type is een boussole met clisimeter uit 1920 (figuur 75). Men richt daarbij niet met een vizier, maar aan de hand van een spiegeltje met een aangebrachte lijn in het midden en een merkteken aan de andere kant van het instrument, naar een object.



**Figuur 75 : boussole met clisimeter**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Meer geavanceerde bousoles zijn uitgerust met een hellingmeter (figuur 76). Het hier afgebeelde voorbeeld uit 1870 is uitgerust met buisniveau en drie stelschroeven voor de horizontaalstelling. Aan de zijkant is een verticale cirkelrand met optische kijker aangebracht. De kijker is ook uitgerust met afstanddraden zodat dit kompas richtingen, hellingen en afstanden kan meten. Een compactere versie van dit type kompas vinden we bij het landmeterskompas van Kern Aarau uit 1965 (figuur 77). De verticale cirkelrand wordt er afgelezen in een apart oculair dat zich iets boven het kijkeroculair bevindt. De compacte vorm ontstaat er door oculair en objectief van de kijker aan beide zijden van het kompas te monteren.



**Figuur 76 : boussole met hellingmeter**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007



**Figuur 77 : landmeterskompas Kern Aarau**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De bousole of het kompas zou tenslotte ook vaak geïntegreerd worden bij andere instrumenten die toelieten horizontale hoeken te meten. Dit was zo voor een aantal instrumenten die tegen het eind van de 16<sup>de</sup> eeuw en in het begin van de 17<sup>de</sup> eeuw verschenen en die geïnspireerd waren op het op het astrolabium. In 1597 vond de Fransman Philippe Danfrie (1532 – 1606) zo de grafometer of halve cirkel uit (figuur 78). Het bestond uit een halve cirkel met daarop een graadverdeling, waar twee alhidades of vizierlinialen waren gericht. Van deze twee was er één vast gemonteerd terwijl de andere kon gedraaid worden. Om de meting uit te voeren werd het instrument op een statief gemonteerd. De grafometer zou tot de komst van de theodoliet één van de belangrijkste hulpmiddelen van de landmeter blijven. Vooral in Frankrijk was het een populair instrument. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 20-21)



**Figuur 78 : grafometer**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Een vergelijkbaar instrument was de Hollandse cirkel (figuur 79), die voor het eerst in 1612 werd beschreven door de Nederlander Jan Dou (1573 -1635). In tegenstelling tot de halve cirkel van de grafometer bestond dit instrument uit een volledige cirkel en kon de alhidade over 360° gericht worden. Daarnaast waren ook vier vaste vizieren aangebracht op de cirkel waardoor de Hollandse Cirkel ook als landmeterskruis kon gebruikt worden. Door de alhidades te vervangen door kijkers onstond de repetitiecirkel die nog preciezere metingen toeliet (figuur 80).



**Figuur 79 : hollandse cirkel**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007



**Figuur 80 : repetitiécirkel**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Het landmeterskruis zelf zou ook aan de basis liggen van een instrument waarmee horizontale hoeken konden worden gemeten. Zo heeft de pantometer een op het eerste zicht gelijkaardige vorm en constructie (figuur 81). Het verschil bestaat er in dat er echter ook andere hoeken dan 90° of 45° gemeten kunnen worden met dit instrument. Dit werd mogelijk door de holle cilinder in twee te delen, zodat het bovenste deel draaibaar is ten opzichte van het onderste. Tussen de twee is een graadverdeling en nonius<sup>37</sup> aangebracht. In beide delen zijn vizierdraden aangebracht waarmee naar willekeurige hoeken kan worden gericht. (Blindeman L. , 2007, p. 119) Sommige pantometers zijn ook uitgerust met een kompas zoals het hier op figuur 82 afgebeelde instrument uit 1874. (Van Leusen, s.d., pp. 60-63)



**Figuur 81 & 82 : pantometer zonder en met kompas**  
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

<sup>37</sup> Nonius : secundaire schaal, die als schuifmaat over een vaste schaalverdeling schuift voor hogere precisie van de afgelezen waarde. De nonius werd door Pierre Vernier (1580 – 1637) uitgevonden in 1631. De nonius is verwant met de micrometer, die een schroefmaat is en later in de 17<sup>de</sup> eeuw werd uitgevonden.

De laatste ontwikkeling in het instrumentarium waarmee enkel horizontale hoeken konden worden gemeten, kwam er op het einde van de 19<sup>de</sup> eeuw door een kijker te monteren op een graadcirkel. Zo ontstonden de zogenaamde graadcirkels met kijker (figuur 83). De kijkers waren bij deze instrumenten vrij hoog gemonteerd en konden zowel om hun horizontale als hun verticale as draaien. De horizontale hoek kon echter worden afgelezen op de cirkelrand met twee afleesmicroscopen. (Blindeman & De Wulf, 2007, pp. 28-29)

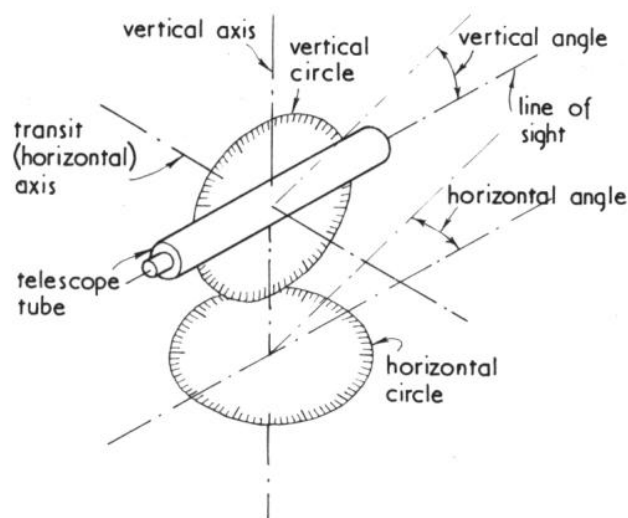


**Figuur 83 : graadcirkel met kijker**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

#### 4.3.4 Theodolieten

Theodolieten zijn instrumenten waarmee men zowel horizontale als verticale hoeken kan meten. Dit is mogelijk door het samenspel van drie assen (figuur 84). De as van de kijker is de eerste. Deze as kan in een verticaal vlak draaien rond de horizontale transitas, de welke op haar beurt rond een verticale hoofdas roteert. Het is de as van de kijker die de vizierlijn bepaalt. De hoekmeting gebeurt aan de hand van een gegradueerde horizontale en verticale cirkel. Bij een hoekmeting met theodoliet splitst men de meting steeds in haar horizontale en verticale component. (Hewitt, 1972, pp. 57-59; Blindeman L. , 2007, p. 165)



**Figuur 84 : Theodoliet assen**

Bron : Hewitt, R., 1972, p. 58

De term theodoliet werd voor het eerst in 1571 gebruikt. Het werd dan door Leonard Digges (1588 – 1635) gebruikt om een hoekmeetinstrument aan te duiden dat in feite een vereenvoudigd astrolabium was. (Roy S. , 1999) De term werd daarna nog vaak gebruikt voor allerlei toestellen om horizontale hoeken te meten en mee aan te duiden, zoals graadcirkels met kijker. Het wordt wachten tot de komst van altazimut-theodoliet, waarvan de eerste beschrijvingen uit 1725 dateren alvorens er een toestel verscheen, waarbij naast de horizontale cirkelrand ook een verticale cirkelrand werd gemonteerd. Een theodoliet met volledige verticale cirkel verschijnt pas in de loop van de 19<sup>de</sup> eeuw met de transittheodoliet (figuur 85). De kijker kan bij dit soort instrumenten een volledige omwenteling maken, waardoor snel achterwaarts kon worden geviseerd.



**Figuur 85 : Transittheodoliet**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

In het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw was de ontwikkeling van theodolieten er vooral op gericht om de instrumenten te vereenvoudigen en de horizontale en verticale cirkels te omsluiten en te beschermen tegen stof, vuil en vocht. Ook verhoogde men de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de toestellen aanzienlijk, door het invoeren van micrometer microscopen en het gebruik van lichtere sterkere legeringen. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 24)

De Zwitserse instrumentenbouwer Heinrich Wild bracht revolutionaire vernieuwingen aan in de theodolietenbouw. In 1923 bracht hij de optische theodoliet T2 met zeer hoge nauwkeurigheid en beperkt gewicht op de markt (figuur 86). Tot in de jaren 1970 zullen nog verschillende verbeterde versies van de T2 het daglicht zien.



**Figuur 86 : Wild T2**

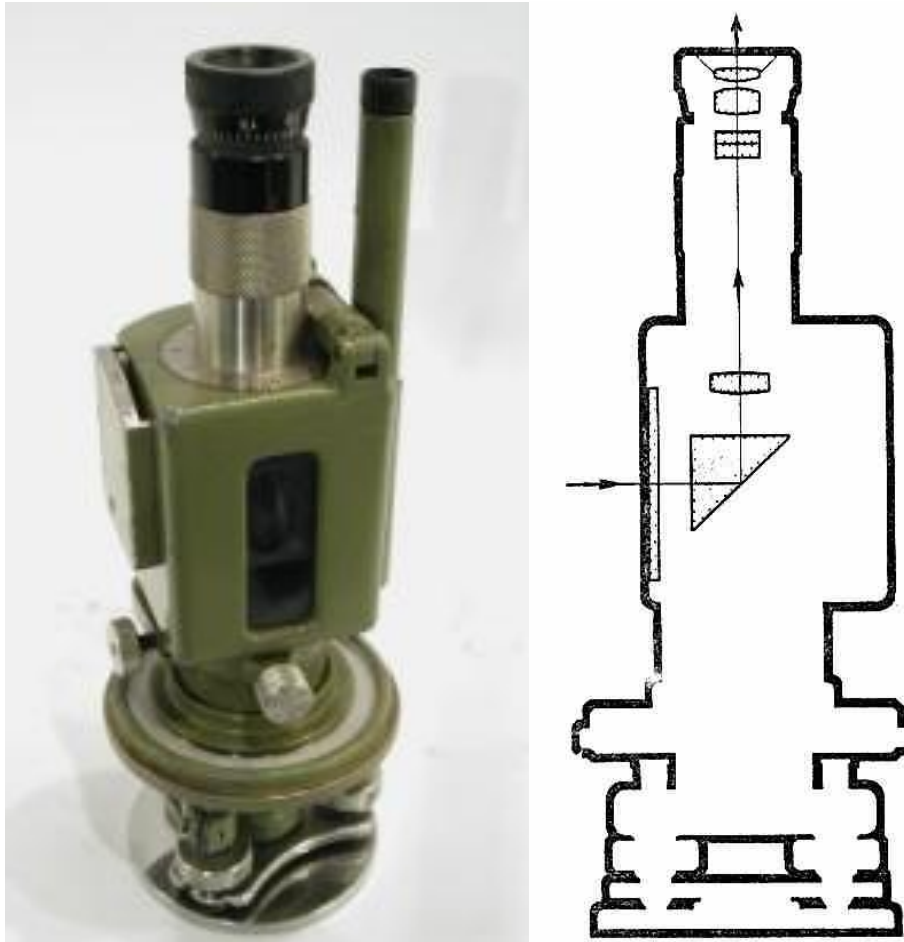
Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Sinds 1950 verscheen met de T3 een hoge precisie optische theodoliet met zeer hoge nauwkeurigheid (figuur 80). Daartegenover staat het verschijnen van de zaktheodoliet T12, een theodoliet met zeer compacte constructie (figuur 87). Deze zaktheodolieten waren vooral geschikt om te gebruiken in moeilijk toegankelijke gebieden en leverde metingen met een beperktere nauwkeurigheid. Kenmerkend voor dergelijke optische theodolieten is dat de horizontale en verticale cirkels worden afgelezen met een speciaal oculair dat zich vlak naast het kijkeroculair bevindt. (De Wulf, 2000, p. 92)



**Figuur 87 : Wild T3**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.



**Figuur 88 : zaktheodoliet Wild T12**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d. ;  
Vanvinckenroye C., 2001

In de jaren 1930 bracht Wild nog een ander type theodoliet op de markt, de T1, een repetitietheodoliet (figuur 89). Bij dit soort instrumenten kunnen hoeken tussen twee richtingen worden opgeteld bij of afgetrokken van een tweede hoek tussen twee andere richtingen. Om dit mogelijk te maken bezit de repetitietheodoliet een speciale inrichting met twee afzonderlijke klemschroeven die er voor zorgen dat de horizontale cirkel afzonderlijk aan de bovenbouw en onderbouw van de theodoliet kan worden vastgeklemd. (De Wulf, 2000, p. 91; Vanvinckenroye, 2000, p. 13)

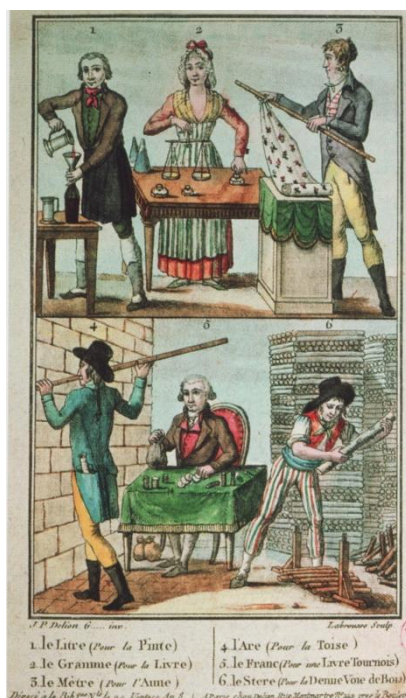


**Figuur 89 : Wild Repetitietheodoliet**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

## 5. AFSTANDSMETING

Om punten onderling ten opzichte van mekaar te positioneren is het bepalen van afstanden noodzakelijk. Een afstand wordt uitgedrukt in een bepaalde eenheid. Doorheen de tijd was er een grote variëteit aan lengtematen. Lange tijd bestond er geen uniformiteit en de mens gebruikte zichzelf en zaken uit zijn leefwereld als basismaat voor het berekenen van zijn omgeving. Zo gebruikte men de voet en de duim als lengtemaat of sprak men van boogscheuten of de telgang van een paard. Hoewel er soms een zekere systematiek in de naamgeving van deze lengtematen zat, was er zeker geen sprake van een uniforme maat over grote gebieden. Elke streek stelde zijn eigen onderverdeling en onderlinge verhoudingen vast. Een Brugse voet verschilde zo bijvoorbeeld van een Gentse voet of van een Franse 'pied'. Aan deze chaos van weinig gestandaardiseerde lengtematen kwam er een einde op het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw, onder de impuls van internationalisering van de handelsactiviteiten, een einde, met de invoering van het metrisch stelsel (figuur 90) met als eenheid de meter<sup>38</sup>. Hoewel het metrisch stelsel internationaal als standaard SI-eenheid voor afstanden geldt, maakt men in de Angelsaksische wereld nog vaak gebruik van een ander systeem gebaseerd op de mijl. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 23-25; Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 4-7)



**Figuur 90 : illustratie invoering metrisch stelsel**

Bron : (Bentley, 2008, p. 175)

<sup>38</sup> Bijlage F

## 5.1 Afstandsmeting in praktijk

Om afstanden te meten op het terrein kan de landmeter beroep doen op verschillende technieken. Er wordt een algemeen onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte meetmethoden. Bij directe afstandsmeting loopt de landmeter de te meten afstand volledig af. De eenvoudigste en oudste manier om zo de afstand te bepalen bestond er in de passen te tellen. Deze methode was weinig nauwkeurig en leverde zelden bevredigende resultaten op. Deze problemen werden opgelost door gebruik te maken van geijkte<sup>39</sup> meetinstrumenten zoals van gekende lengte. Directe afstandsmeting wordt soms ook mechanische afstandsmeting genoemd. Het is een methode die zeer nauwkeurig is in vlak terrein zonder al te grote obstakels. (Blindeman L. , 2007, p. 17; Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 7)

Bij indirecte afstandsmeting zal de opmeter de afstand tussen twee punten bepalen zonder deze zelf te moeten doorlopen. Dit levert een aanzienlijke tijdswinst op ten opzichte van de directe afstandsmeting. Ook de topografie van het terrein speelt bij deze methode nauwelijks een rol. Men maakt hoofdzakelijk een onderscheid tussen de optische en de elektronische afstandsmeting. Bij de optische gebeurt de waarneming in het algemeen met een speciaal hiervoor uitgeruste optische kijker en doet men beroep op driehoeksmetkunde om de afstand te bepalen. De elektronische afstandsmeting gebeurt aan de hand van elektromagnetische straling<sup>40</sup>. Men doet in feite beroep op een tijdsmeting van de uitgezonden en gereflecteerde straal om de afstand te bepalen. Naast de optische en elektronische afstandsmeting kan indirecte afstandsmeting tenslotte ook nog met de veel minder accurate telemetrische methode gebeuren. (Blindeman L. , 2007, pp. 17-83)

---

<sup>39</sup> IJking : het bepalen van de nauwkeurigheid van een meetinstrument of meetmethode ten opzichte van een standaard.

<sup>40</sup> Elektromagnetische straling : energievorm die in de vorm van trillingsgolven met bepaalde frequentie door zich door de ruimte voortplanten tegen de lichtsnelheid. Het elektromagnetisch spectrum omvat het hele spectrum van elektromagnetische stralen.

## 5.2 Instrumenten voor afstandsmeting

### 5.2.1 directe afstandsmeting

De antieke geschriften vermelden dat de Romeinen afstanden maten met pertica, odometer, touw en mogelijk zelfs al kettingen om afstanden te meten. (Gallo, 2004) Er is echter geen enkel van deze Romeinse afstandinstrumenten bewaard gebleven, waardoor we voor de eerste tastbare bewijzen van directe afstandsmeting moeten wachten tot de 16<sup>de</sup> eeuw wanneer de landmetersketting<sup>41</sup> (figuur 91) voor het eerst vermeld wordt. Wellicht was dit een uitvinding uit de Lage landen. De ketting bestond uit twee handvaten met daar tussen een reeks schakels met vaste lengte.



**Figuur 91 : landmetersketting**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De lengte van één van deze schakels stemde aanvankelijk overeen met één lokale voet. Later ging men over tot gestandaardiseerde maten met de meter als referentiemaat. Om de ketting juist te gebruiken werd de meting telkens door twee mensen uitgevoerd : een voorman en een achterman. Wanneer men grotere afstanden dan één totale kettinglengte moest meten maakte men gebruik van meetpennen (figuur 92), die één totale kettinglengte materialiseerden. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 7-8)

---

<sup>41</sup> Bijlage G



**Figuur 92 : meetpennen**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

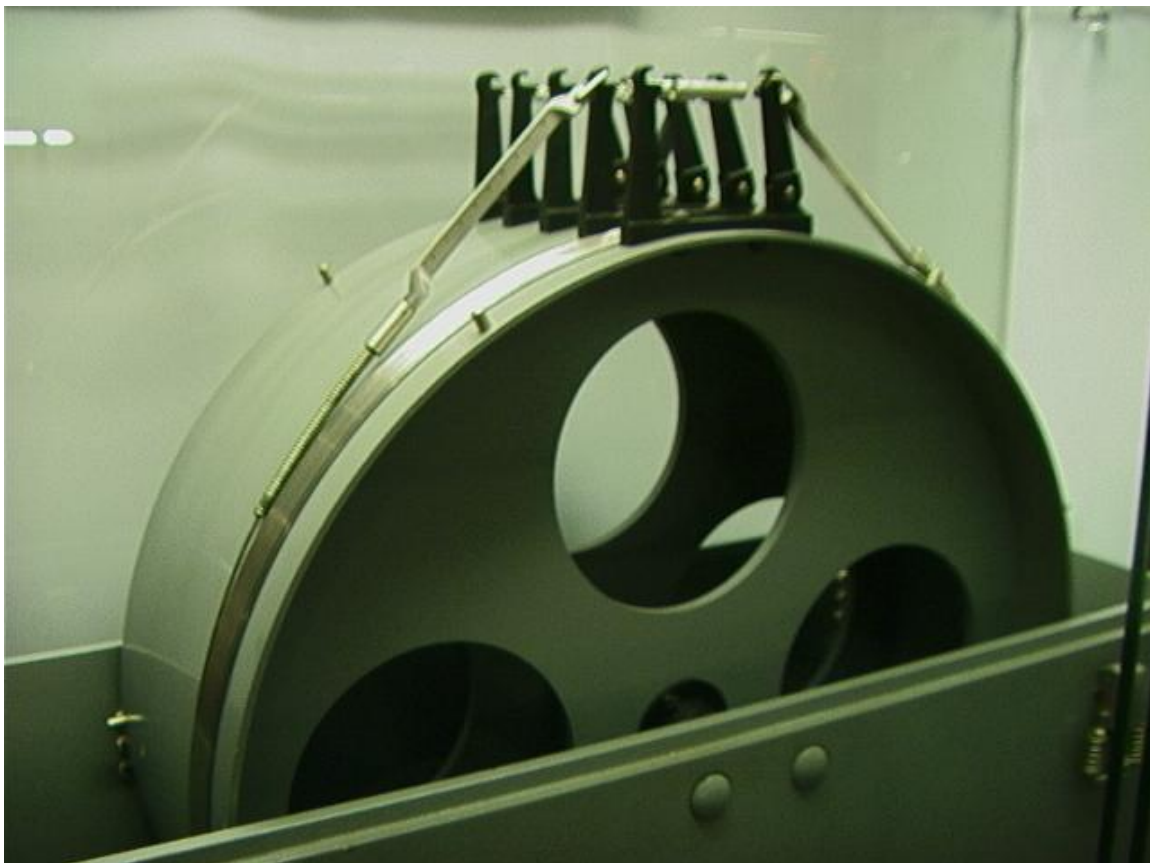
De landmetersketting was de voorloper van de latere meetband. Aanvankelijk waren deze meetbanden uit metaal (figuur 93) vervaardigd en was de maatverdeling aangebracht met gaatjes of koperen cirkeltjes.



**Figuur 93: metalen meetband**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Recentere uitvoeringen bestaan uit kunststof, met soms een stalen kern. Meetbanden uit linnen waarin koperdraad geweven is bestaan ook, maar zijn voor landmeters ongeschikt. Ze verslijten immers te snel, omdat ze weinig bestand zijn tegen vocht en sterk onderhevig zijn aan rek en krimp. De meest nauwkeurige directe afstandmeting wordt bereikt met een invardraad (figuur 94), waarmee tot op 0,2 mm nauwkeurig kan worden gemeten. Bij gewone meetbanden varieert dit van 1 -10 cm afhankelijk van de aard van het terrein. Invardraden hebben meestal een cirkelvormige diameter en zijn 24 meter lang. Invardraad wordt voor opslag en transport gerold op een cilindrische trommel van 50 cm diameter. Om een meting uit te voeren wordt de invardraad op een statief, dat van een wiel of katrol voorzien is, gerold en opgespannen door gewichten van 10 kg aan de uiteinden te hangen. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 10; Blindeman L. , 2007, pp. 22-28)

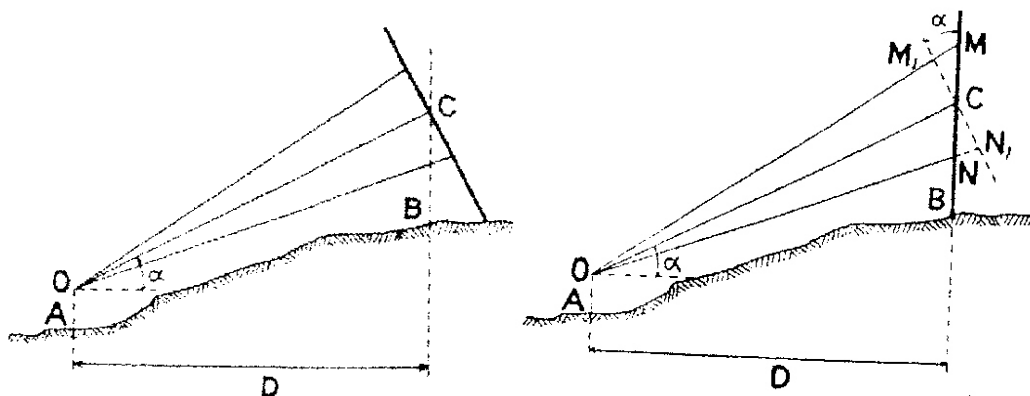


**Figuur 94 : invardraad**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

### 5.2.2 Optische afstandsmeting

Er bestaan verschillende methodes van optische afstandsmeting. De meest gebruikte is afstandsmeting met stadimetrische kijker. Deze methode werd reeds vermeld bij de waterpasinstrumenten, waarbij men de afstand tot aan de baak kan bepalen aan de hand van de twee afstandsdraden, die op kijker zijn ingebouwd. Niet alleen waterpasinstrumenten kunnen op die methode beroep doen. Ook tal van andere instrumenten kunnen uitgerust zijn met een zogenaamde stadimetrische kijker, waarbij op gelijke afstand van het middelpunt twee evenwijdige afstandsdraden gegrift zijn. Terwijl bij waterpasinstrumenten steeds de afstand op basis van een horizontale vizierlijn bepaald wordt, kunnen deze andere toestellen ook de afstand volgens een hellende vizierlijn bepalen. Daarvoor kunnen twee methodes gebruikt worden. Men kan de afstand enerzijds bepalen door de baak schuin te plaatsten, zodat de baak loodrecht op de vizierlijn staat en de situatie van een horizontale vizierlijn wordt gecreëerd (figuur 95). Anderzijds kan men naar een verticaal staande baak richten en op basis van enkele ingewikkelde berekeningen de schuine afstand bepalen (figuur 96). De tacheometer van het type Cleps (figuur 97) is een optische afstandsmeter, waarbij deze laatste methode moet worden toegepast. (Blindeman L. , 2007, pp. 31-40; Blindeman & De Wulf, 2007, p. 69)



**Figuur 95 & 96: stadimetrische afstandsmeting**

Bron : (Blindeman L. , 2007, pp. 34-35)



**Figuur 97 : afstandsmeter type Cleps**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Meer geavanceerde toestellen, zogenaamde zelfreducerende tachymeters<sup>42</sup>, zijn in staat om de schuine afstand te bepalen zonder dat er omslachtige berekeningen moeten worden uitgevoerd. Dergelijke zelfreducerende tachymeters werken op basis van gelijkvormige driehoeken en zetten de afstand volgens een hellende vizierlijn automatisch om naar de corresponderende afstand in het horizontaal vlak. De zelfreducerende contacttachymeter type Sanguet (figuur 98) is daarvan een voorbeeld. De afstand wordt er bepaald op basis van drie instrumentgebonden constanten.



**Figuur 98: contacttachymeter type Sanguet**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

---

<sup>42</sup> tachymeters :Dit type wordt meer in detail besproken in hoofdstuk 6. Algemeen gaat het om instrumenten die met eenzelfde graad van nauwkeurigheid afstanden, verticale hoeken en richtingen bepalen.

Naast dit laatste type optische afstandmeters kan men ook enkele theodolieten gebruiken om snel en accuraat afstanden te meten. De Wild RDS (figuur 99) is bijvoorbeeld een theodoliet die met een stadimetrische kijker is uitgerust. (Vanvinckenroye, Onderzoek van historisch topografisch instrumentarium, 2001, pp. 64-68)



**Figuur 99 : Wild RDS**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

De tot hier toe beschreven instrumenten hebben telkens gebruik gemaakt van een baak. Naast de bakens die ook voor waterpassing gebruikt worden, zoals de bordjesbaak en de verticale zelfleesbaak, kan men voor afstandsmeting ook beroep doen op een horizontale zelfsleesbaak (figuur 100) voor zeer nauwkeurige metingen.



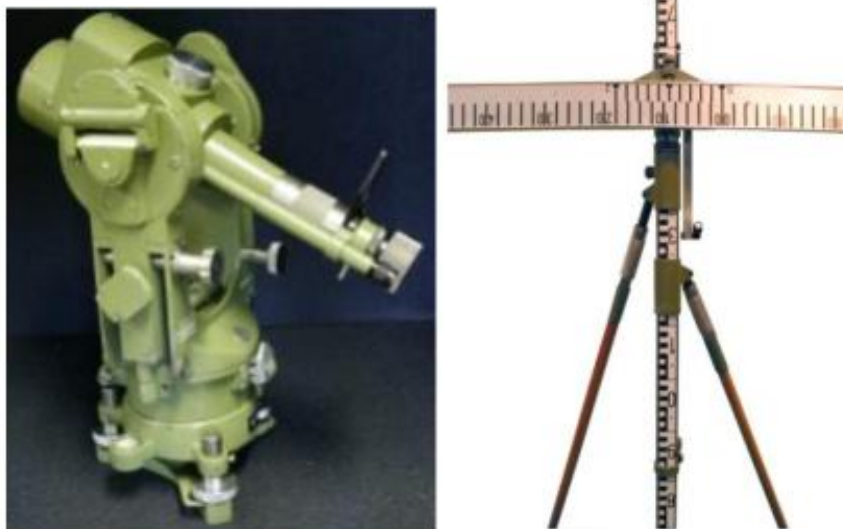
**Figuur 100 : horizontale zelfsleesbaak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Afstandsmeting met de Wild RDH (figuur 101) theodoliet doet bijvoorbeeld beroep op zo'n horizontale baak (figuur 102). Door dit type baak te gebruiken komt men tegemoet aan vervormingen die ontstaan ten gevolge van een verschillende lichtbrekingscoëfficiënt<sup>43</sup> aan de bovenste en onderste delen van een verticale baak. (Vanvinckenroye, 2001, pp. 72-78)

---

<sup>43</sup> Lichtbrekingscoëfficiënt : zie refractie



**Figuur 101 & 102: Wild RDH en horizontale baak**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Er bestaan ook optische afstandsmeters, die niet naar een baak moeten worden gericht om de afstand te bepalen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een compacte prismatische terrestrische kijker met drie horizontale draden, die rechtstreeks op het glas zijn gegraveerd (figuur 103). (Blindeman & De Wulf, 2007, pp. 146-147)



**Figuur 103 : stadimetrische kijker**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

Dit klein handheld instrument werd voornamelijk door het leger gebruikt om snel en zonder grote nauwkeurigheid afstanden te bepalen. (De Wulf, 2000, p. 69) Men gebruikte een schatting van de grootte van het object, waarnaar gericht werd, om de afstand te bepalen. (Blindeman & De Wulf, 2007, pp. 146-147) Veel preciezere optische afstandsmeters, die naar een willekeurig object kunnen gericht worden en de afstand bepalen zonder baak, zijn deze van de WILD TM serie (figuur 104 & 105).



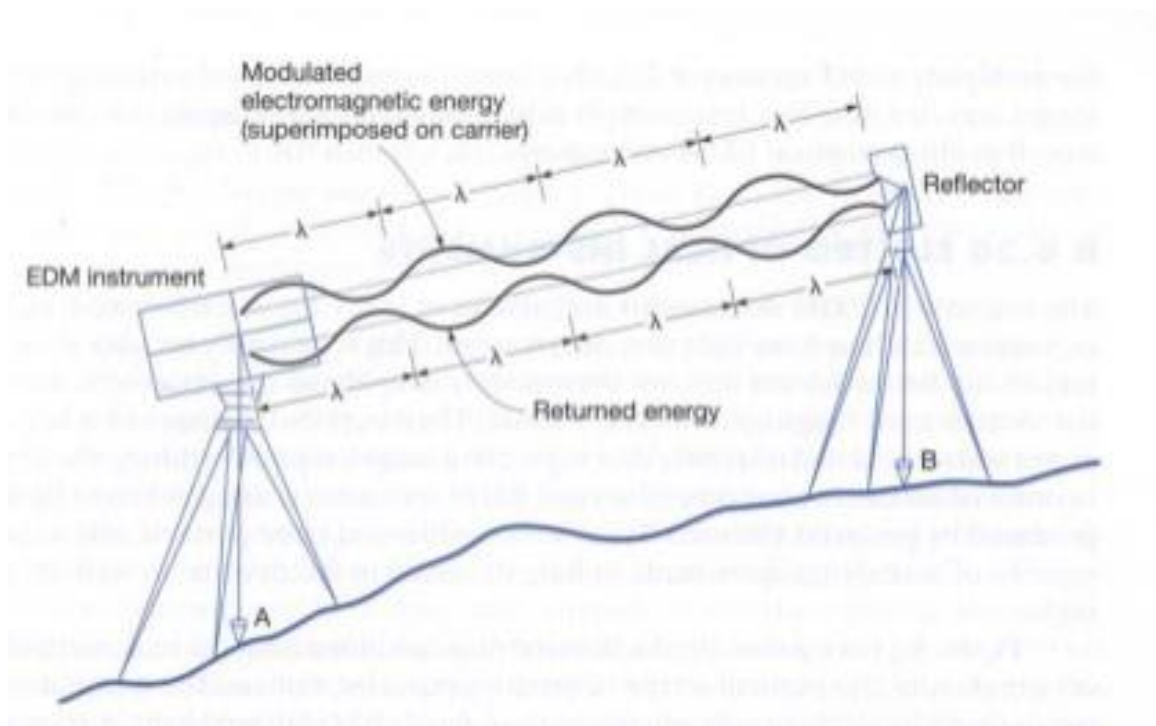
**Figuur 104 & 105 : Wild TM 0 & TM10**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

Het zijn afstandsmeters, die opgebouwd zijn uit twee telescopische systemen, die aan de uiteinden van een vaste basis zijn gemonteerd. De twee lenzensystemen nemen het object waar er naar gericht wordt onder een bepaalde hoek waar. Doordat de toestellen een vaste basis hebben, varieert de hoek tussen deze twee lenzen onderling naargelang de afstand tot het object waar er naar gericht wordt. Die hoek wordt dan gebruikt om de afstand te bepalen. (Vanvinckenroye, 2001, pp. 57-60)

### 5.2.3 Elektronische afstandsmeting

Elektronische afstandsmeters bepalen afstanden aan de hand van elektromagnetische straling. Dit is een vorm van energie, die kan gekarakteriseerd worden door een bijhorende frequentie en golflengte. Alle voorkomende frequenties en golflengtes samen vormen het elektromagnetisch spectrum. De elektronische afstandsmeters maken slechts gebruik van zichtbaar licht, infrarood licht of microgolven, wat slechts een klein deel van dit elektromagnetisch spectrum is. Deze toestellen zenden één van deze frequenties uit en bepalen de afstand door de snelheid van de golf te vermenigvuldigen met de tijd die deze golf onderweg is van het toestel tot het gemeten object en terug (figuur 106). (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 148-150) De ontwikkeling van instrumenten die afstanden aan de hand van elektromagnetische straling bepalen is nauw verbonden met de zoektocht naar het nauwkeurig bepalen van de lichtsnelheid. (Vanvinckenroye, 2001, p. 79)



**Figuur 106 : principe elektronische afstandsmeting**

Bron : (Ghilani & Wolf, 2008, p. 149)

De sleutelfiguur in de ontwikkeling van elektronische afstandsmeters was de Zweed E. Bergstrand. Na enkele jaren te experimenteren met de lichtsnelheid ontwikkelde hij een toestel dat lichtpulsen met een berekende frequentie en variabele intensiteit uitzond en terug opving na reflectie. In 1948 leverde het Zweedse bedrijf AGA Bergstrand financiële steun om zijn apparaat te verbeteren. Met die steun werd de Geodetic Distance Meter of Geodimeter model 3 ontwikkeld (figuur 107). Hiermee werd de toon gezet voor de ontwikkeling van een hele reeks elektronische afstandsmeters. Dit toestel uit 1956 bestond uit twee delen. Enerzijds is er de geodimeter zelf, anderzijds is er de reflector. Het toestel dient om rechtstreeks met grote nauwkeurigheid grote afstanden tot 30 km te meten. Deze geodimeter werkt op basis van zichtbaar licht. (Blindeman L. , 2007, pp. 67-75) De eerste elektronische afstandsmeter met microgolven kwam er in 1957 met de tellurometer van Wadley. Met infrarood licht werd pas in de jaren 1960 geëxperimenteerd. Tegen het eind van de jaren 1960 verschenen uiteindelijk ook de eerste elektronische afstandsmeters met laserlicht<sup>44</sup>. (Deumlich, 1980)

<sup>44</sup> *laser* : Laser stond oorspronkelijk voor de afkorting van Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, of de lichtversterking door gestimuleerde uitzending van straling. Lasers brengen een smalle coherente bundel licht voort, het laserlicht. Hierdoor verschilt laserlicht van andere lichtbronnen die het licht in allerlei richtingen uitzenden.



**Figuur 107 : AGA Geodetic Distance Meter**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De volgende mijlpaal in de ontwikkeling van de elektronische afstandsmeting kwam er in 1986 met de Wild Dior, waarmee afstanden zonder reflector konden worden gemeten. Verdere ontwikkeling van dit type reflectorloze afstandsmeters leidde tot de ontwikkeling van de DISTO (figuur 108) draagbare afstandsmeter in 1993. Dit compacte toestel heeft zich sindsdien geprofileerd als de hedendaagse vervanger van de meetband. Men kan er afstanden tot 100 m met een nauwkeurigheid van 5mm in ca. 1 seconde mee bepalen. De afstand wordt berekend uit het faseverschil van een uitgestuurde gemoduleerde zichtbare laserstraal, die na reflectie, terug wordt ontvangen. (De Wulf, 2000, p. 72)



**Figuur 108 : DISTO**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

#### 5.2.4 Telemetrische afstandsmeting

Afstandsmeters die de telemetrische methode gebruiken, laten toe om vrij snel afstanden te bepalen in het terrein, aan de hand van driehoeksmetkunde. De nauwkeurigheid die met deze instrumenten bereikt wordt, is echter ruim onvoldoende om binnen de landmeetkunde te worden gebruikt. We vinden ze vooral in militaire context. Voorbeelden zijn de Prisma afstandsmeter van Souchier (figuur 109) en de afstandsmeter van Quinemant. De eerste is voorzien van een prisma in glas, waarmee men een hoek van  $90^\circ$  of  $91,5^\circ$  kon construeren op het terrein. De afstand werd op basis van deze hoeken bepaald met een gemiddelde fout van 2,5m op 100m. (De Wulf, 2000, p. 71)



**Figuur 109 : afstandsmeter van Souchier**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De afstandsmeter van Quinemant (figuur 103) heeft een andere werking en constructie. Het instrument bestaat uit 3 spiegeltjes, twee kleine en een grotere. De afstandsmeting gebeurt door het oplossen van een gelijkbenige driehoek, waarvan de hoeken aan de basis gekend zijn en de richtingen van waaruit naar een punt gevisieerd wordt met de spiegels. Door de basis te meten en te vermenigvuldigen met een bepaalde coëfficiënt berekent men de gezochte afstand. (Blindeman & De Wulf, 2007, pp. 251-252)



**Figuur 110 : afstandsmeter Quinemant**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

## **6. INTEGRATIE VAN HOEK – EN AFSTANDSMETING**

De technieken en instrumenten die tot nu toe aan bod zijn gekomen werden besproken in de optiek dat ze gebruikt worden om één welbepaald type eendimensionale gegevens, zoals een verticale of een horizontale hoek, een hoogte of een afstand te leveren. Sommige van de besproken instrumenten kunnen echter gebruikt worden om meerdere soorten gegevens te verzamelen en zijn in staat om in twee of drie dimensies te meten. Waterpastoestellen met stadimetrische kijker en theodolieten kunnen zo bijvoorbeeld in 2D meten. Een verdere ontwikkeling van de theodoliet zou de basis vormen voor de eerste toestellen, die met grote nauwkeurigheid in 3D, metingen konden verrichten. Om van volwaardige 3D-meettoestellen te spreken moet aan de voorwaarde worden voldaan dat de verschillende gegevens met een hoge en gelijke nauwkeurigheidsgraad kunnen worden verzameld. Toestellen die aan deze voorwaarde voldoen worden tachymeters genoemd. Een toestel zoals de Wild T2 bijvoorbeeld wordt nog steeds als theodoliet beschouwd en niet als tachymeter erkend, omdat afstanden van 100m maar tot op 10cm nauwkeurig kunnen worden bepaald. Tachymeters ontstonden door de nauwkeurige eigenschappen van theodolieten te combineren met die van hoge precisie afstandsmeters. Dat het volwaardige 3D-meettoestellen zijn betekent dat deze instrumenten met grote nauwkeurigheid een richting, een afstand en een verticale hoek kunnen bepalen. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 32-33)

## 6.1 Werking

Om hoeken te bepalen geldt bij tachymeters een min of meer gelijkaardige werkwijze als voor theodolieten. Voor afstandsmeting zijn er verschillende mogelijkheden. Op basis waarop een tachymeter een afstand bepaalt kan men verschillende types onderscheiden. Een eerste type, de niet-reducerende tachymeters, kunnen enkel de schuine afstand rechtstreeks bepalen. De overeenkomstige horizontale afstand wordt bij dit type aan de hand van speciaal daarvoor opgestelde tabellen bepaald. Met meer geavanceerde tachymeters, de zelfreducerende tachymeters, kan men onmiddellijk de overeenkomstige horizontale afstand aflezen. Voorbeelden van dit laatste type zijn de Wild RDS en Wild RDH die reeds, bij de optische afstandsmeting werden besproken. De meest geavanceerde tachymeters bepalen alle meetgegevens elektronisch. De ontwikkeling van elektronische 3D-meetinstrumenten begon op het einde van de jaren 1960. Aanvankelijk werd een analoge theodoliet voorzien van een infraroodafstandsmeter als opbouwmodule. Verdere ontwikkeling leidde tot elektronische digitale theodolieten en totaal stations. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 32-33)

## 6.2 elektronische tachymeters

In 1969 verscheen met de WILD-DI 10 voor het eerst een theodoliet die uitgerust was met een elektronische afstandsmeter (figuur 111). Dit instrument bestaat uit een mechanische theodoliet van het type WILD T2, waarmee precies horizontale en verticale hoeken worden gemeten en uit een infrarood afstandsmeter die als opbouwmodule op de theodoliet is gemonteerd. Deze opbouwmodule zendt een gemoduleerd infraroodsignaal uit in de vorm van een sinusgolf. Deze golf wordt opgevangen en teruggestuurd door een reflector en op basis van de faseverandering van deze gereflecteerde straal bepaalt men de afstand. (Vanvinckenroye, 2001, pp. 91-99)



**Figuur 111 : Wild DI 10**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, s.d.

In de jaren 1970 evolueerde dit naar een volledig elektronische theodoliet. Door de cirkelranden binair te coderen slaagde men er dan ook in hoeken elektronisch te meten. De hoeken worden daarbij automatisch afgelezen en op een extern digitaal registreerapparaat opgeslagen. Een infrarood afstandsmeter is daarbij ingebouwd in het toestel. Deze toestellen verhoogden zo, niet alleen de snelheid van de meting, maar ook de nauwkeurigheid. De coördinaten werden op een lijst afgedrukt door het registreerapparaat op een elektrische schrijfmachine aan te sluiten. Automatisch uittekenen van de coördinaten in speciale software was tot het begin van de jaren 1980 nog niet aan de orde. (Matthys, 2011, p. 10)

Aan deze vrij omslachtige werkwijze kwam verandering met het totaalstation. Een totaalstation combineert een elektronische afstandsmeter, een elektronische digitale theodoliet en een computereenheid in één toestel. Afstanden, horizontale en verticale hoeken worden automatisch bepaald en in realtime doorgezonden naar de computereenheid en opgeslagen in een geheugenmodule. (Ghilani & Wolf, 2008, p. 153) De microprocessor van de computereenheid staat in voor de besturing van diverse functies, die bij het meetproces een rol spelen. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 32-33) Deze microprocessor staat zo onder meer in voor de uitvoering van de meetprocessen voor hoek en afstandsmeting, voor de besturing van in- en uitvoer, voor de correctie van instrumentele fouten, voor meteorologische correcties en voor het instellen van de sterkte van de afstandsmeter. Deze processor is doorgaans ook voorzien van een aantal programma's, voor bijvoorbeeld de reductie van afstanden of de bepaling van coördinaten en hoogte van detailpunten, die gemakkelijk kunnen worden opgeroepen door de gebruiker, via de gebruikersinterface en een klavier. (Alberda J. , 1994, p. 289) De metingen zelf kunnen met een totaalstation al dan niet reflectorloos gebeuren. Het grote voordeel van reflectorloos meten is dat één persoon een volledige meting kan uitvoeren, daar waar daarvoor telkens een tweede persoon een reflector of prisma moest opstellen boven het op te meten punt. De vele voordelen van het totaalstation zijn duidelijk en het spreekt dan ook voor zich dat het totaalstation snel zou uitgroeien tot het belangrijkste surveyinstrument. Het merendeel van de instrumenten die tot de jaren 1970 gebruikt werden, raakten bijna volledig in onbruik door de komst van het totaalstation. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 185-195)

### 6.3 Recente ontwikkelingen bij totaal stations

In de loop van de jaren 1980-1990 zouden de totaalstations verder ontwikkelen naar nog krachtigere, preciezere en gesofisticeerdere toestellen. De Rec Elta van ZEISS (figuur 112) uit 1993 bijvoorbeeld bereikte zeer hoge nauwkeurigheden tot op 2mm voor afstandsmeting en tot op 0,5 seconden voor een hoekmeting. Het toestel heeft daarvoor een maximum bereik tot 6000m. Het is verder uitgerust met een barometer en thermometer. De verwerking bij dit soort toestellen gebeurde ook voor een groot deel automatisch. Door het totaalstation met een kabel aan te sluiten op een PC met specifieke topografische CAD-software kon men de opgeslagen coördinaten in het geheugen van het toestel rechtstreeks uitlezen om automatisch een topografisch plan te tekenen.



**Figuur 112 : ZEISS Rec Elta totaalstation**

Bron : ugent, s.d.

Totaalstations hadden zich tegen het midden van de jaren 1990 ontwikkeld tot instrumenten die zeer kwaliteitsvolle metingen toelieten in de moeilijkste terreinomstandigheden. Een probleem waar men echter nog steeds mee kampte, was dat men in open terrein niet reflectorloos kon meten en dus in dergelijke omgeving nog steeds met twee personen op het terrein moest gaan om te meten. Aan deze laatste ‘zwakte’ van de Total stations werd tegemoet gekomen met de ontwikkeling van het robotisch totaalstation<sup>45</sup>. Deze eenmanssystemen waren revolutionair, doordat ze de landmeter in staat stelden zelf rond te gaan op het terrein, daar waar hij voordien altijd achter het meettoestel gepositioneerd bleef.

---

<sup>45</sup> Bijlage H

Via een afstandsbediening en een radiolink staat de landmeter in verbinding met het toestel terwijl hij rondgaat op het terrein met een reflector in de hand. Op basis van automatische doelherkenning volgt het toestel de reflector automatisch en dit met zeer hoge nauwkeurigheid. Deze eenmanssystemen evolueerden in de eerste jaren van het nieuwe millennium nog verder naar toestellen met een ingebouwde GPS antenne en kleurenweergave van de opmeting. Het Robotisch totaalstation Trimble S6 (figuur 113) is daarvan een voorbeeld. Met deze GPS kunnen de wereldcoördinaten van de standplaats van het totaalstation en deze van de meetpunten rechtstreeks bepaald worden. (Matthys, 2011)



**Figuur 113 : robotisch totaalstation Trimble S6**

Bron : ugent, s.d.

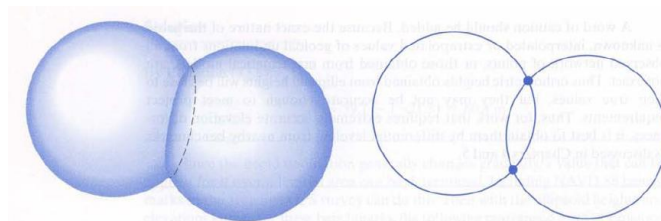
Ook nu staat de evolutie van het totaalstation niet stil. De laatste nieuwe snuffjes, die nu worden geïmplementeerd, zijn ingebouwde camera's, die er voor zorgen dat van de gemeten punten ook foto's kunnen worden genomen. Bij de verwerking kunnen deze foto's in een CAD-software ruimtelijk op de plaats van de punten gepast worden, om te achterhalen waar de meetpunten zich precies bevonden. Dit is een techniek die vooral bij de opmeting architectuur erg handig is. (Van hooreweghe, voorstel 1D-3D, 2010)

## **7. RADIOPLAATSBEPALING EN GPS**

In de loop van 20<sup>e</sup> eeuw ontwikkelde men nieuwe methoden van plaatsbepaling, waarbij er geen optische instrumenten meer aan te pas kwamen. Het zijn systemen die opgebouwd zijn uit zenders en ontvangers. Plaatsbepaling aan de hand van radiogolven ontwikkelde zich in de jaren 1920. De ontwikkeling van satellietplaatsbepaling startte in 1958 met het Navy Navigation Satellite System, NNSS. Voor de eerste operationele GPS satellieten is het echter wachten tot 1978. Het Amerikaanse GPS-systeem zou overigens pas in 1993 zijn volledige operationaliteit zijn. Radio en satellietplaatsbepaling ontwikkelden zich aanvankelijk als militaire toepassing voor navigatie. Ze zouden echter ook snel in civiele context worden gebruikt. Voor de landmeetkunde is vooral het gebruik van GPS belangrijk. Het betekende een baanbrekende doorbraak die de manier van landmeten grondig veranderde. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 323-326)

## 7.1 Terrestrische radioplaatsbepaling

Voor de plaatsbepaling gebruikt men de radiogolven, die worden uitgezonden door zenders die op gekende vaste locaties op aarde staan opgesteld. De positie wordt bepaald door een mobiele ontvanger ten op zichte van één of meerdere van deze zenders. Daarvoor wordt een eenvoudig principe gebruikt. De uitgezonden golven verplaatsen zich met een constante snelheid. Aangezien deze snelheid gekend is, kan de looptijd van de golven tussen zender en ontvanger gebruikt worden, om de afstand te bepalen vanuit een willekeurig onbekend punt tot aan de zender. Op basis van één zender kan men echter nog niet de exacte positie bepalen. Wanneer men het signaal van één zender ontvangt weet men enkel dat men zich ergens op de cirkel met bepaalde afstand rond de zender bevindt. Om de exacte positie te bepalen moet de ontvanger zich positioneren ten opzichte van minstens drie zenders. De positie wordt dan gegeven door het snijpunt van de drie cirkels rond de ontvangen zenders. Bij twee zenders zijn er altijd nog twee posities mogelijk (figuur 114).



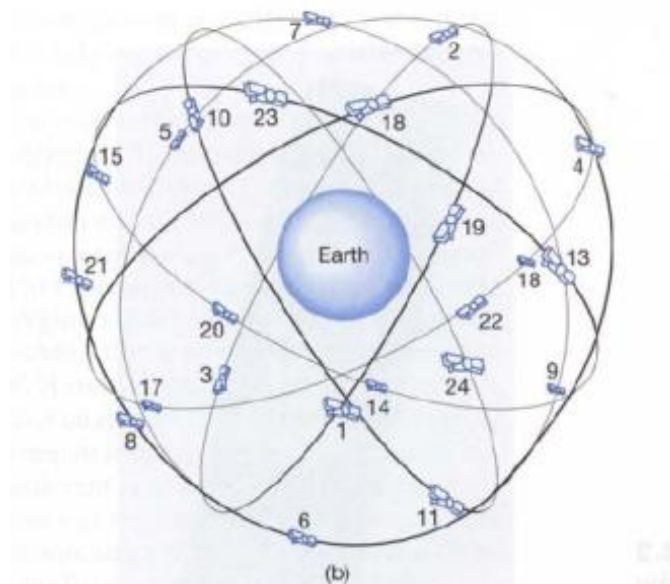
**Figuur 114 : polygonatie**

Bron : (Ghilani & Wolf, 2008, p. 338)

De hier beschreven methode geldt althans in theorie in een plat vlak. In realiteit bevindt men zich ergens in de driedimensionale ruimte en dient men met tal van andere factoren rekening te houden en gebeurt de plaatsbepaling met bepaalde fouten. De voornaamste foutenoorzaak is de zogenaamde klokfout, die er in bestaat dat de klokken van verschillende zenders nooit 100% synchroon lopen, gezien de grote afstand tussen zenders. Aangezien de looptijd tussen zenders en ontvanger de plaatsbepaling bepaalt, ligt deze klokfout aan de basis van fouten op de positionering. Doorheen de 20<sup>e</sup> eeuw is de techniek van radioplaatsbepaling echter wel verder verfijnd geworden. Het eenvoudige systeem levert over grote afstanden bevredigende resultaten en was zeer populair voor de ontwikkeling van GPS systemen. Vooral op zee werd tot voor kort frequent gebruik gemaakt van radioplaatsbepaling, gezien de hoge nauwkeurigheid tot op enkele honderden kilometers van de kust. Een voorbeeld van een instrument dat gebruik maakt van deze techniek is de Secel BPC 3 n° 37 (Best, 2004)

## 7.2 GPS

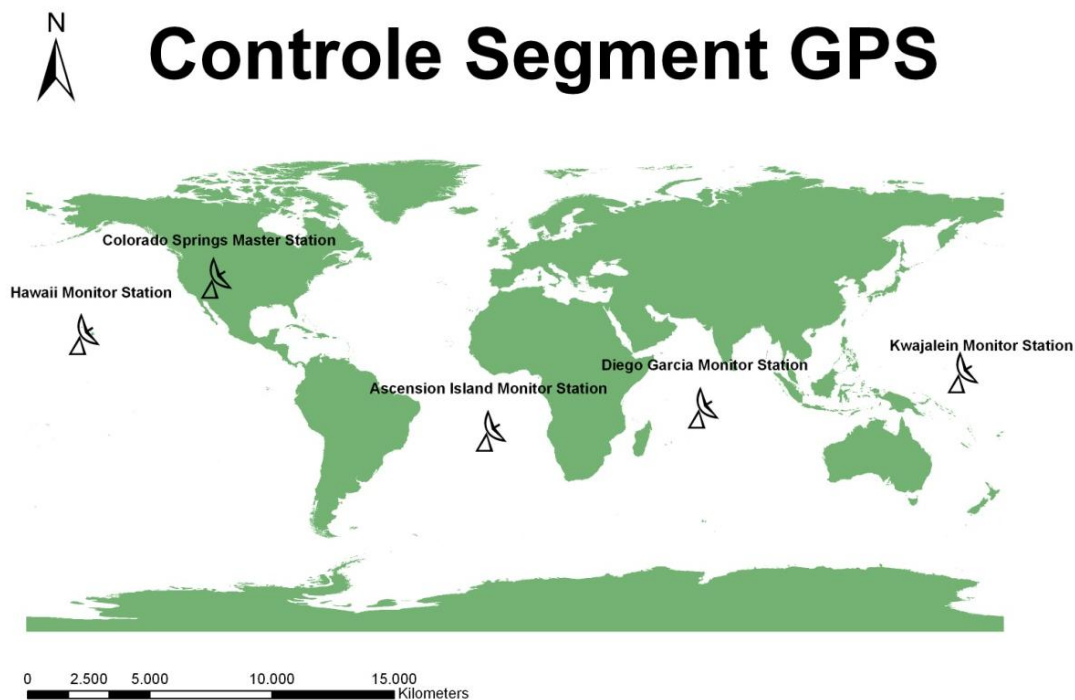
GPS staat voor Global Positioning System. Het is het Amerikaanse systeem van satellietplaatsbepaling. Naast het Amerikaanse systeem bestaat ook het Russische Glonass, het Europese Galileo en het Chinese Beidou systeem. De algemene naam die al deze verschillende systemen dekt is GNSS, Global Navigation Satellite System. Het principe van satellietplaatsbepaling is hetzelfde als voor de terrestrische plaatsbepaling met radio. Zenders sturen radiogolven uit die door mobiele ontvangers worden opgevangen. Het verschil bestaat erin dat de zenders in satellieten 20.000 km boven het aardoppervlak circuleren. Met een minimum van 24 satellieten die in vaste banen met een omlooptijd van 11uur 58minuten is een GNSS-systeem werelddekkend en zowel 's nachts als overdag beschikbaar. De hele satellietvloot wordt het ruimtesegment (figuur 115) van een GNSS-systeem genoemd. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 35-36)



**Figuur 115 : ruimtesegment GPS**  
Bron : (Ghilani & Wolf, 2008, p. 325)

Net zoals bij de terrestrische plaatsbepaling is het synchroon lopen van de klokken van de verschillende satellieten cruciaal voor een correcte plaatsbepaling. Omdat radiogolven zich, net als alle elektromagnetische stralen, met de lichtsnelheid propagieren, zijn de satellieten met hoge precisie atoomklokken uitgerust. Door de looptijd van de radiogolven tussen satelliet en ontvanger te vermenigvuldigen met de lichtsnelheid bepaalt men de afstand tot een satelliet. De vereiste hiervoor is uiteraard dat men de exacte positie van de satelliet kent. Doordat satellieten een stabiele en voorspelbare baan rond de aarde maken, is dit mogelijk. (Lechner &

Baumann, 2000) Bovendien staat de baan van de satellieten onder constante monitoring van het controlesegment van het GNSS systeem. Dit controlesegment bestaat uit een reeks grondcontrolestations die verspreid over het aardoppervlak zijn opgericht (figuur 116). Het controlesegment van GPS bestaat uit vijf volgstations, verspreid over de wereld, die de afstanden tot de satellieten meten en deze data naar één hoofdcontrolestation in Colorado Springs doorsturen. Het hoofdstation verzamelt alle data en berekent de positie van de satellieten.



**Figuur 116 : controlesegment GPS**  
Bron : eigen bewerking

Deze positie wordt dan door 3 oplaadstations naar de satellieten doorgezonden, die het op hun beurt doorsturen naar de ontvangers in het gebruikerssegment van het GNSS-systeem. Dit gebruikerssegment bestaat uit de hardware en software die de satellietsignalen ontvangen en verwerken. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 35-36) Het gebruikerssegment diende aanvankelijk enkel voor militaire toepassingen. Naarmate de satellietnavigatie zich verder ontwikkelde werd de technologie ook beschikbaar voor civiele gebruikers. Van toen af zou het gebruikerssegment van GNSS een blijvende groei kennen, dat tot vandaag de dag doorgaat. GPS is veel meer dan enkel het compacte toestel die je in je auto monteert en dat je zegt welke route je moet volgen. Systemen gebaseerd op GPS of op een ander GNSS systeem kennen zo nu honderden, zo niet duizenden toepassingen voor professioneel en alledaags

gebruik (figuur 117). Men onderscheidt de Precise Positioning systemen (PPS) voor professioneel gebruik en de standaard positioning systemen (SPS) voor meer alledaags gebruik. De populariteit van GNSS ligt hem in het feit dat we dankzij de techniek nu in staat zijn overal ter wereld met grote precisie en tegen een lage kost onze positie te bepalen. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 323-326)



**Figuur 117 : Garmin GPS GP60**  
Bron : ugent, s.d.

### 7.3 GPS en topografie

Het gebruik van GPS was baanbrekend voor de landmeetkunde en zou meer dan welke andere technologie ook fundamentele veranderingen met zich meebrengen, voor het uitvoeren van surveys. GPS is nu bij vrijwel geen enkele survey meer weg te denken. Standaard GPS ontvangers leveren een positionering, die doorgaans maar tot op 20 meter nauwkeurig is. De fout ten opzichte van de werkelijke positie is vooral een gevolg van de klokfout en de refractie van de radiogolven doorheen de atmosfeer. Een nauwkeurigheid tot op slechts 20 meter is niet voldoende voor de meeste survey. Men lost dit op door gebruik te maken van differentiële GPS, DGPS (figuur 118). Het is een methode die gebruik maakt van 2 GPS ontvangers en die een nauwkeurigheid tot op een paar meter oplevert. De eerste ontvanger, het basisstation wordt bij DGPS opgesteld op een punt waarvan de exacte coördinaten gekend zijn. De tweede ontvanger, de rover, wordt door de landmeter in het veld in de buurt van het basisstation op onbekende posities opgesteld. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 347-351) We onderscheiden enerzijds de statische meetmethode, waarbij de tweede ontvanger gedurende een lange tijd op een op te meten punt wordt opgesteld en de kinematische meetmethode anderzijds, waarbij de persoon met de rover rond loopt volgens een bepaald traject en waarbij volgens een vast tijdsinterval punten worden opgemeten. De statische methode levert wel de hoogste nauwkeurigheid op. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 36)

De functie van het basisstation bestaat er in correcties aan te brengen op de gemeten coördinaten met de rover. Doordat basisstation en de tweede ontvanger in zich in mekaars buurt bevinden, ondergaan ze namelijk allebei een gelijke foutenrange. Door tijdens de verwerking de waargenomen fouten, die op het basisstation werden geregistreerd over te brengen als een correctie naar de onbekende punten, wordt een veel hogere nauwkeurigheid gerealiseerd. Naast deze post-processing DGPS methode bestaan er ook realtime methodes waarbij het basisstation de fouten in real time doorzendt naar de rover en zo de coördinaat van het op te meten punt ogenblikkelijk corrigeert. Dit zijn de zogenaamde Real Time Kinematic systemen of RTK-systemen. De precisie van deze methode ligt lager dan de statische, maar levert een aanzienlijke tijdswinst op. RTK-surveys zijn dus erg productief en worden onder meer toegepast bij kartering-, grens- en constructiesurveys. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 347-351)



**Figuur 118 : DGPS**  
Bron : ugent, 2011

## 7.4 RTN - FLEPOS

Bij Real Time Kinematic surveys neemt de precisie van de meting af naarmate men zich verder van het basisstation begeeft. (Ghilani & Wolf, 2008) Om aan deze zwakte van de techniek tegemoet te komen werden verschillende commerciële en institutionele Real Time correctienetwerken uitgebouwd. Een RTN omvat een netwerk van basisstations dat via het internet met een centrale computer verbonden is. De processor van deze computer maakt gebruik van de reële positie van de basisstations en hun observatiedata om fouten te modelleren. Door gebruik te maken van het GSMnetwerk worden de correcties voor de positionering in real time doorgezonden naar de GPS-ontvangers in het terrein. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 401-402)

In Vlaanderen is dergelijk Real Time netwerk opgebouwd door het AGIV. Dit Vlaams RTN netwerk staat gekend als FLEPOS of Flemish positioning service. Het is een openbare dienst, die via een netwerk van permanent opgestelde GNSS-referentiestations (figuur 119), observatiedata ter beschikking stelt voor nauwkeurige plaatsbepaling. Aan de hand van dit netwerk kan men voor eender welke plaats in Vlaanderen de Europese ETRS89-coördinaten bepalen, die eenduidig naar de nationale Lambert of TAW coördinaten kunnen worden getransformeerd. De positiebepaling aan de hand van FLEPOS is tot op minder dan 1cm precies. (AGIV, 2008)



**Figuur 119 : FLEPOS stations**

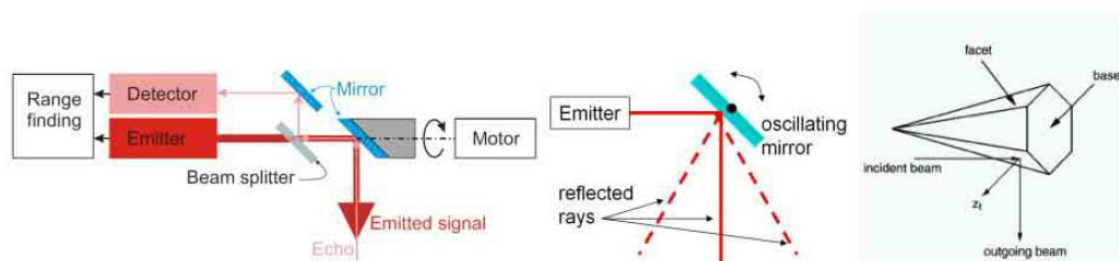
Bron : eigen bewerking

## **8. LASERSCANNING**

De laatste ontwikkeling in topografische toestellen is het verschijnen van de driedimensionale laserscanner. De techniek ontwikkelde zich in het midden van de jaren 1990 en veranderde grondig de manier van landmeten en revolutioneerde de 3D-data verzameling. Het grote verschil met klassieke technieken zoals traditionele topografische surveys en fotogrammetrie is dat bij laserscanning met zeer hoge graad van automatisatie, zeer snel data verzameld kan worden over een object. De landmeter blijft in de buurt van het toestel terwijl de scanner automatisch alle punten zichtbaar vanuit de opstelplaats meet. (Matthys, 2011) Daarvoor wordt met deze toestellen een oppervlak afgetast aan de hand van lasertechnologie. Een puntenwolk wordt zo gegeneerd van het gezichtsveld van de laserscanner. Deze puntenwolk wordt verder verwerkt naar 3D-modellen en 2D-plannen. Het toepassingsdomein van laserscanners is zeer uitgebreid en kan aangewend worden voor zowel scannen van volumes kleiner dan  $1\text{m}^3$ , tot grote gebieden van meerdere  $\text{km}^2$ . (Pfeifer & Briese, 2007)

## 8.1 Werking

De werking van laserscanners is enigszins analoog met het nemen van een foto. Een foto ontstaat eenvoudig gezegd uit het registreren van het weerkaatste zonlicht of artificieel licht van het gefotografeerd object, dat zich in het beeld van de lens van de fotocamera bevindt. Laserscanners registreren eveneens de weerkaatste straling van de objecten binnen het gezichtsveld van de scanner, net zoals een fotocamera. Het grote verschil met een fototoestel is echter dat een laserscanner niet passieve straling, zoals zonlicht registreert, maar wel dat van door de scanner zelf actief uitgezonden laserlicht. Bovendien is het ook niet de weerkaatste straling in se die geregistreerd wordt, maar wel het tijdsverschil tussen uitgezonden en weerkaatste laserstraal. Om dit mogelijk te maken is een laserscanner opgebouwd uit een roterende spiegel, die een laserstraal in een verticaal over het hele field of view van de scanner uitstuurt. (figuur 120)



**Figuur 120 : werking Laserscanner**

Bron : (Pfeifer & Briese, 2007)

Men kan zich een laserscanner in feite voorstellen als een elektronische afstandsmeter die een zeer grote hoeveelheid afstanden meet en de positie van elke gemeten afstand daarbij registreert. Het resultaat is een puntenwolk (figuur 121) met bepaalde resolutie van dat gezichtsveld van de scanner. Het gezichtsveld van een scanner is doorgaans een 360° panorama. Enkel het voorste deel vlak onder de scanner kan doorgaans niet gescand worden. De puntenwolk wordt dan gebruikt om de vorm van het gescande object te extrapoleren in specifieke software. Het grote voordeel van laserscanning ten opzichte van traditionele topografische surveymethoden is dat de metingen veel sneller verlopen en dat er op korte tijd een enorme hoeveelheid aan data wordt verzameld. De grote hoeveelheid data geldt echter tegelijkertijd ook als een nadeel. De scanner meet werkelijk alles binnen de field of view. Dus ook elementen waarvan men geen informatie wenst, worden opgemeten en opgenomen in de puntenwolk. Om het object in kwestie te extrapoleren en het gewenste resultaat te bekomen

gaat laserscanning gepaard met zeer lange verwerkingstijden. Bij de nieuwste scanners wordt deze verwerking vergemakkelijkt door betere software enerzijds en door nieuwe toevoegingen aan de laserscanners zelf. Zo worden de laatste laserscanners uitgerust met een ingebouwde camera, die kleureninformatie registreert voor de gescande punten. Voordien was een puntenwolk monochromatisch. Door de toevoeging van ware kleuren in de puntenwolk wordt de verwerking en interpretatie aanzienlijk verbeterd. (Pfeifer & Briesse, 2007)



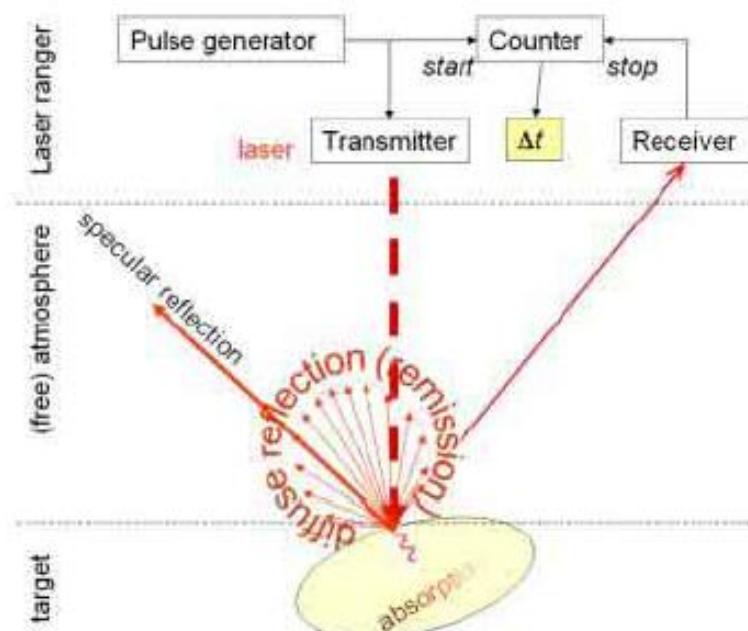
**Figuur 121 : puntenwolk Sint-Baafs abdij Gent**

Bron : ugent 2010

## 8.2 Instrumenten

Er bestaan verschillende types laserscanners, elk met hun eigen voor en nadelen. Op basis van de field of view van de scanner onderscheidt men camera-type scanners, panoramascanners en hybride scanners. De Camera-type scanner wordt zoals een fototoestel gericht naar het te scannen object en vanuit deze gefixeerde positie wordt de laserstraal in een horizontaal en verticaal vlak uitgestuurd. Deze scanners hebben een beperkt bereik, vergelijkbaar met een fototoestel. De panoramascanners draaien tijdens het nemen van de scan automatisch 360° rond hun as en sturen daarbij de laserstraal enkel in het verticale vlak uit. De hybride camera's ten slotte zijn een combinatie van de eerste twee. Hun gezichtsveld ligt tussen het panoramazicht van de panoramascanner en het enge gezichtsveld van de camera-type scanner in.

Afhankelijk van de uitgezonden laserstraal kan men ook nog 3 types van laserscanners onderscheiden. De eerste zijn de puls-round-trip scanners (figuur 122). Daarbij wordt de laserstraal in verschillende opeenvolgende pulsen van enkele nanoseconden uitgestuurd. Punt per punt wordt daarbij gemeten tegen een gemiddelde van 2000-50.000 punten per seconde. Ze leveren nauwkeurigheden tot op centimeterniveau en worden vooral gebruikt wanneer het te scannen object zich op een afstand van meer dan 100 meter van de scanpositie bevindt.



**Figuur 122: principe puls-round-trip scanner**

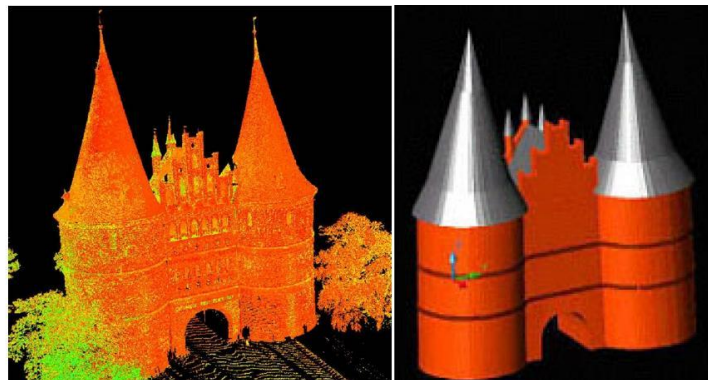
Bron : (Pfeifer & Bries, 2007)

Daarnaast staan de fase-laserscanners, die een continue, ononderbroken laserstraal uitzenden. Deze scanners bereiken hogere meetsnelheden met meer dan 500.000 punten per seconde en leveren zeer hoge nauwkeurigheden op tot ca. 1mm. Het nadeel ten opzicht van pulsscanners is dat ze een beperkter bereik hebben. Ze worden dan ook enkel in terrestrische laserscanning ingezet voor korte afstanden tot 100 m. (Pfeifer & Briese, 2007) Een laatste type laserscanners zijn de triangulatiescanners, die worden ingezet voor objecten die op een paar meter maximum van de scanner staan opgesteld om in 3D op te meten. Deze bepalen de afstand niet rechtstreeks maar indirect via hoekmeting. Triangulatiescanners gebruiken een verbrede laserstraal, als een laservlak, waarmee het object gescand wordt. Meerdere punten worden er tegelijk mee geregistreerd en het is de hoek, die het vlak maakt die bepalend is voor de ligging van een punt in de puntenwolk. Hun nauwkeurigheid ligt nog veel hoger dan de 1mm nauwkeurigheid van de fase-scanners.

### 8.3 Verwerking

De verwerking van een laserscanning is het belangrijkste en meest arbeidsintensieve aspect van een laserscan-opmeting. Deze gebeurt volledig met specifieke software<sup>46</sup> en er moet telkens aangevat worden met het voorbereiden van de data voor de verdere verwerking. Het belangrijkste aspect van deze data preparation is het opkuisen van scans door ruis<sup>47</sup> te elimineren. De meeste objecten die men met laserscanning wil opmeten zijn te groot om met één enkele instrumentopstelling volledig te scannen. Na de voorbereiding worden de puntenwolken die vanuit verschillende opstelpunten verzameld werden, aan mekaar gekoppeld en in absolute coördinaten omgezet. Het koppelen van deze puntenwolken, ook wel de registratie genoemd, gebeurt aan de hand van gemeenschappelijke scanpunten tussen de verschillende puntenwolken onderling. Van deze punten zijn de absolute coördinaten gekend.

Zodra de registratie is afgerond kan de studie van het opgemeten object aanvangen. De software waarin de verwerking gebeurt, beschikt over verschillende tools om de puntenwolk en dus het studieobject zo goed mogelijk te visualiseren. De belangrijkste taak bestaat er dan verder in deze puntenwolk te modelleren in 2D en 3D. De 2D-plannen en 3D-modellen die zo ontstaan, vormen dan de basis voor de interpretatie van de resultaten van de opmeting. (figuur 123)



**Figuur 123 : van puntenwolk naar 3D-model**  
Bron : (Sternberg *et al.*, 2004)

---

<sup>46</sup> Specifieke software :Elke fabrikant van laserscanners levert daarbij een eigen softwareprogramma. Wil men bestanden uitwisselen van verschillende fabricanten is het gebruik van standaard dataformaten belangrijk.

<sup>47</sup> Ruis : overvloedige, nutteloze informatie

## 8.4 Applicaties

Laserscanning is een techniek, die verschillende applicaties kent. Men onderscheidt dynamische en statische laserscanning. Bij de dynamische toepassingen is de laserscanner gemonteerd op een beweeglijk platform zoals, een vliegtuig, een rijdend voertuig of een boot. Bij deze systemen zijn op het mobiel platform meestal naast laserscanner, ook vaak een GPS en of andere plaatsbepalingssystemen ingebouwd om een correcte ruimtelijke positionering van de gescande puntenwolk te garanderen. De meest ontwikkelde dynamische laserscanningtoepassingen zijn de airborne laserscanning en mobile mapping. Airborne laserscanning scant een groot gebied vanuit een vliegtuig en is er vooral op gericht om ,via DSM's<sup>48</sup>, DTM's<sup>49</sup> te genereren. (Pfeifer & Briese, 2007) Bij Mobile mapping gebeurt de scanning vanuit een rijdend voertuig. Mobile mapping wordt onder meer ingezet bij het monitoren van het wegennet en verkeersborden. In Vlaanderen wordt het ook toegepast in het kader van GRB-metingen.

Statische laserscanning betreft dan weer alle toepassingen waarbij de laserscanner vanuit een vast opstelpunt zijn omgeving scant. Binnen die statische laserscanning onderscheiden we close-range, medium range en long range toepassingen, naargelang de afstand tussen scanner en object. Afhankelijk van die afstand worden andere soorten scanners gebruikt (cfr. Supra). De close range toepassingen zijn tot op de micrometer nauwkeurig en wordt onder meer ingezet in de geneeskunde met bodyscanners of als hulpmiddel bij de massaproductie van consumptiegoederen. Medium Range scanners zijn 0,5-5mm nauwkeurig en worden gebruikt bij afstanden tot 150m. Het zijn deze medium range toepassingen die in de landmeetkunde het vaakst worden aangewend. Daarnaast worden ze ook in de architectuur, industrie en in de culturele erfgoedsector gebruikt. De long range toepassingen gelden wanneer een object moet gescand worden dat zich 150-1000m van het opstelpunt bevindt. Deze toepassingen vinden we onder meer bij steden- en mijnbouw. (N.N., 2008)

---

<sup>48</sup> DSM : digital surface model, puntenwolk van een terrein bekomen via airborne laserscanning

<sup>49</sup> DTM : digital terrain model, 3D-model van het reliëf van een deel van het aardoppervlak

## **CONCLUSIE**

Gedreven door nieuwe uitvindingen, technieken, materialen en economische belangen onderging het landmetersinstrumentarium sinds de Renaissance een zeer grote evolutie. De instrumenten zullen daarbij alsmaar nauwkeurigere en snellere metingen toelaten. Sinds de tweede helft van de 20<sup>ste</sup> eeuw stellen we een trend vast naar een steeds hogere automatiseringsgraad van het meetproces. Deze trend startte met de automatische waterpasinstrumenten en leidde via digitale theodolieten en totaalstations tot de modernste high-techinstrumenten, zoals het robotisch totaalstation en de 3D-laserscanner. Een belangrijke aanvullende factor is de opkomst van GPS-technologie in de landmeetkunde sinds de jaren 1990. In de laatste 20 jaar is de manier van landmeten dan ook grondig veranderd. De meetprocedure is in feite herleid tot een druk-op-de-knop-procedure. Het blijft voor de moderne landmeter echter wel van cruciaal belang dat hij, ondanks deze hoge graad van automatisering, voldoende geschoold blijft in de achterliggende principes waarop een meetproces steunt.

Wat betreft de toelichting van landmeetkunde in al haar facetten en haar evolutie doorheen de tijd kunnen we concluderen dat deze wetenschap sinds mensenheugenis een belangrijke rol heeft ingenomen in onze leefwereld. Altijd al heeft de mens de ruimte waarin hij zich bevond, willen begrijpen en willen vormen naar zijn eigen noden en belangen. Daarbij was en is het werk van de landmeter nooit ver weg. Je kunt het zo gek niet bedenken of landmeetkunde komt er bij kijken : of het nu gaat om een eenvoudige perceelsgrens te bepalen, het in kaart brengen van een gebied, het oprichten van een wolkenkrabber of het bepalen van onze reisroute met onze GPS in de auto, bijna alles uit onze menselijke omgeving draagt de hand van de landmeter of landmeetkundige technieken met zich mee.

## **REFERENTIELIJST**

### **Literatuur**

- Alberda, J. E. (2003) *Inleiding landmeetkunde*. Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij.
- Alberda, J. (1994) *Inleiding landmeetkunde*. Delft: Delftse Uitgevers Maatschappij.
- Bannister, A., Raymond, S. (1984) *Surveying 5th edition*. London: Pitman.
- Bentley, P. (2008) *De wereld van het getal - hoe cijfers ons universum hebben gevormd*. Leuven: Davidsfonds.
- Berkers, E. (2004) *De aarde verdeeld en verbeeld, berekend en getekend*. Zutphen: WalburgPers.
- De Maeyer, P., De Vliegheer, B., Brondeel, M. (2004) *De Spiegel van de wereld : fundamente van de Cartografie*. Gent: Academia Press.
- Deumlich, F. (1980) *Surveying Instruments*. Berlin: De Gruyter.
- Ghilani, C. D., Wolf, P. R. (2008) *Elementary Surveying An introduction to Geomatics*. Upper Saddle River NJ: Pearson Education.
- Hewitt, R. (1972) *Guide to site surveying*. London: Architectural Press.
- Jones, L., & Loodts, J. (1974) *Planimetrisch net en tweede algemene waterpassing van België*. Brussel: Militair Geografisch instituut.
- Kiely, E. (1979) *Surveying instruments : their history*. Ohio: Carben Surveying reprints.
- Knaepen, R. (1999) *Geel tijdens de tweede helft van de achttiende eeuw; Achter de sleepketting van landmeter J.B. Berghmans aan*. Geel: Geels geschiedkundig venootschap.
- Martin, J., & Goujon, J. (1547) *'Architecture ou art de bien batir, de Marc Vitruve Pollion' auteur romain antique, mis de latin par Ian Martin Secrétaire de Monseigneur Cardinal de Lenoncourt*. Paris: pour la veuve et les héritiers de Jean Barbé.
- Matthys, M. (2011) *Gent in 3D*. Gent: Stad Gent.
- N.N. (2008) *3D Risk mapping - theory and practice on terrestrial laser scanning*. België: Vlaams Leonardo Da Vinci agentschap.
- Ollivier, F. (1955) *Instruments topographiques : Description - Réglage - Emploi*. edition Eyrolles.
- Pfeifer, N., & Briese, C. (2007) *Laserscanning - Principles and application summary*. Vienna University of Technology: Institute for photogrammetry and Remote sensing, Austria.

Pouls, H. (2004). *De landmeter Jan Pietersz. Dou en de Hollandse cirkel*. Delft: Nederlandse Comissie voor Geodesie.

Prévot, E. (1898) *Topographie, suivi d'un appendice relatif à la topographie expédiée par O. Roux*. Paris.

Schonaerts, R. (1976) *De Landt-meeters van de XVIe tot de XVIIIe eeuw in onze provincies*. Brussel: Koninklijke bibliotheek Albert I.

Strijker, A. (1995) *Bouwmetrologie deel 1*. Leiden: Spruyt, Van Mantegem & De Does BV.

Roy, S. (1999) *Fundamentals of surveying*. New Dehli: Prentice-Hall of India Private Limited.

Van Leusen, H. (s.d.) *Landmeten en waterpassen*.

Vanvinckenroye, C., De Wulf, A., De Maeyer, P. (2000) *150 jaar landmeetkunde en cartografie*. Gent: Museum voor de geschiedenis van de wetenschappen.

## **Artikels**

Best, S. (2004) Distance-measurement error associated with antenna phase-center displacement in time-reference radio positioning systems. *Antennas & Propagation* , 13-22.

Blevins, B. S. (2010) Leonardo Da Vinci - Land Surveyor and Cartographer. *FIG Congress 2010. Sydney, Australia*.

Brock, J. F. (2010) Surveyors of the Gods : In the xviii Dynasty of Egypt - New Kingdom c. 1400 b.c.. *FIG Congress 2010. Sydney, Australia*.

Buhler, D. (2010) USA's First President - Surveyor George Washington. *FIG Congress 2010. Sydney, Australia*.

Gallo, I. M. (2004) Roman Surveying. *Proceedings of the European congress "Las obras publicas romanas"*.

Gulatee, B. (1956) The height of Mount Everest. *The Geographical Journal* (122 (1)), 141-142.

Kvamme, K. L., Ernenwein, E. G., & Markussen, C. J. (2006) Robotic Total Station for Microtopographic mapping : an example from the Northern Great Plains. *Archeological Prospection* (13), 91-102.

Lechner, W., & Baumann, S. (2000) Global navigation satellite systems. *Computers and electronics in agriculture* (25), 67-85.

Morau, H. (1953) The genesis of the metric system and the work of the International Bureau of Weights and Measures. *Journal of Chemical Education* (30), 3-20.

N.N. (1978) James Cook (1728–1779) : pioneer of scientific exploration. *Endeavour* (2), 103.

Pauwels, R. (2008) Industrieel landmeten is landmeten. *Impuls Magazine* (3), 10-11.

Roy, R. D. (1986) The Great Trigonometrical Survey of India. *Indian Journal of History of Science* (21 (1)), 22-32.

Sternberg, H., Kersten, T., Jahn, I., & Kinzel, R. (2004). Terrestrial 3D-laserscanning - Data acquisition and modelling for industrial as-built documentation and architectural applications. *Laser scanning acquisition and modelling techniques* (17).

Vandenabeele, P., Garcia-Moreno, R., Mathis, F., Letermea, K., Van Elslande, E., Hocquet, F.-P., et al. (2009) Multi-disciplinary investigation of the tomb of Menna (TT69), Theban Necropolis, Egypt. *spectrochemica acta part A* 73 , 546-552.

Wallis, D. A. (2010) History of Angle Measurement. *FIG Congress 2010*. Sydney: FIG.

## Rapporten

N.N. (2008) *memo Algemene leveringsvoorwaarden FLEPOS*. Brussel: AGIV.

N.N. (2009) *Mount Everest and its Ascent*. London: Royal Geographical Society with the Institute of british Geographers.

## Scripties

Blindeman, L. (2007) *Wetenschappelijke inventarisatie van topografische toestellen behorend tot het patrimonium van het Mudeum voor de Geschiedenis van de wetenschappen aan de Universiteit Gent*. Gent: onuitgegeven licenciaatsverhandeling.

Vanvinckenroye, C. (2001) *Onderzoek van historisch topografisch instrumentarium*. Gent: onuitgegeven licenciaatsverhandeling.

## Catalogi

Blindeman, & De Wulf, A. (2007) *wetenschappelijke inventaris topografische toestellen "Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen*. Gent: ugent

De Wulf, A. (2000) *Catalogus 150 jaar landmeetkunde*. Gent: Museum voor de Geschiedenis van de wetenschappen.

## Wetteksten

N.N. (2003) Wet tot oprichting van federale raden van landmeters-experten. *Economie, KMO, middenstand en energie*.

N.N. (2003) *Wet tot bescherming van titel en beroep van de landmeter-expert*. Brussel: Staatsblad.

## Internet

Chapman, I. (2009) *Land administration and the surveyor's status in ancient Egyptian Society*.

[http://www.pobonline.com/Articles/Features/BNP\\_GUID\\_9-5-006\\_A\\_10000000000000535138](http://www.pobonline.com/Articles/Features/BNP_GUID_9-5-006_A_10000000000000535138). 14/03/2011

N.N. (s.d.) *De landmeter-expert*.

<http://www.obge-bole.be/nl/Het-beroep/De-landmeter-expert.aspx>. 1/03/2011

François, J. (s.d.) *De landmeter-expert*.

<http://www.landmeters-experten.be/2003%2005%2011%20wet%20bescherming%20-titel%20en%20beroep%20landmeter-expert.pdf>. 26/02/2011

Isner, C. (2009) *History of land surveys*.

<http://ezinearticles.com/?History-of-Land-Surveys&id=1879780>. 12/03/2011

Isner, C. (2009). *Land Surveying in Ancient Times - Egypt, Greece and Rome*.

<http://ezinearticles.com/?Land-Surveying-in-Ancient-Times---Egypt,-Greece-and-Rome&id=3150619>. 14/03/2011

Joyce, D. E. (2006) *Angle measurement*.

<http://www.clarku.edu/~djoyce/trig/angle.html> 28/03/2011

Kamm, A. (2009) *Anthony Kamm's The Roman Army - legion*.

<http://www.the-romans.co.uk/legion.htm> 24/05/2011

Kraijvanger, T. (2009) *Hoe hoog is de Mount Everest?*

<http://www.scientias.nl/hoe-hoog-is-de-mount-everest/7122>. 4/05/2011

N.N. (2008) *Koninklijke Confederatie de landmeters-experten*.

<http://www.kcle-crge.be>. 1/03/2011

N.N. (2008) *Surveying*.

[http://www.geod.nrcan.gc.ca/edu/geod/survey/index\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/edu/geod/survey/index_e.php). 26/02/2011

N.N. (2008) *Nieuw Zwembad van Genk is mogelijk te kort*.

<http://www.hbvl.be/limburg/genk/nieuw-zwembad-van-genk-is-mogelijk-te-kort.aspx>. 3/03/2011

- N.N. (2010) *Geen records : zwembad 2mm te kort*.  
<http://www.ad.nl/ad/nl/1014/Bizar/article/detail/510532/2010/09/07/Geen-records-zwembad-twee-millimeter-te-kort.dhtml>. 3/03/2011
- Thayer, B. (2010) *Greek and Roman Authors on LacusCurtius*.  
<http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius/home.html>. 6/03/2011
- N.N. (2011) *GPS Tutorial*.  
<http://www.trimble.com/gps/gpswork-loc.shtml>. 2/05/2011
- N.N. (2011, maart 1) *Nieuw zwembad is te kort. Kost wel 50miljoen Pond*.  
<http://www.hollandswimming.com/index.php/component/content/article/1-laatste-nieuws/3919-whoehahaha-nieuw-zwembad-is-te-kort-.html>. 1/03/2011
- N.N. (2011) *De Federale Raad*.  
<http://landmeter-antwerpen.be/?page=beroep&sid=federaleraad>. 20/03/2011
- N.N. (s.d.) *Belgische Orde van Landmeters-Experten*  
<http://www.obge-bole.be>. 3/03/2011
- N.N. (s.d.) *Ancient land surveying*.  
[http://www.landsurveyor.us/learn\\_f1a.htm](http://www.landsurveyor.us/learn_f1a.htm). 14/03/2011
- N.N. (s.d.) *De driehoeksmeting van Frankrijk door Maraldi en Cassini* .  
<http://bc.ub.leidenuniv.nl/bc/goedgezien/objectbeschrijvingen/object048.html>. 24/05/2011
- N.N. (s.d.) *Erelonen : Wat kost de landmeter?*  
<http://landmeter.be/> . 31/03/2011
- N.N. (s.d.) *land survey techniques*.  
<http://www.surveyors.com/land-surveyors/land-survey-techniques>. 20/03/2011

## **10. BIJLAGEN**

### **A. De landmeter-cartograaf George Washington**

Geboren in 1732, als zoon van een welvarende familie genoot George Washington, de eerste president van de USA, een zeer degelijke en gevarieerde opleiding, waarbij hij uitblonk in wiskunde en geometrie. Reeds op zijn vijftiende gebruikte Washington deze kennis om de landerijen van zijn familie op te meten en te karteren (figuur 124). In zijn late tienerjaren werd Washington aangesteld als 'county surveyor' in dienst van de Britse koloniale familie Fairfax, voor wie hij ruim 200 meetcampagnes leidde tussen 1749-1752 in de nog ongeëxploreerde gebieden van het Noord-Amerikaans continent (figuur 125). In deze periode deed hij belangrijke ervaring op inzake het organiseren van surveys, het uitvoeren van veldwerk, het diplomatiek omgaan met landeigenaars en het karteren van landpercelen. Bovendien stelde zijn titel als county surveyor hem in staat nauwe banden te leggen met elitaire top van de bevolking.



**Figuur 124 : kartering Mount Vernon door G. Washington**

Bron : <http://en.wikipedia.org> 14 januari 2011

Zijn ervaring als landmeter zouden hem sterk helpen in zijn verdere leven als militair en politieke. Zijn militaire carrière begon hij in dienst van de Britten tijdens de oorlog met de Fransen en de lokale indianengroepen. Dankzij zijn gedetailleerde kartering van een groot deel van Noord-Amerika zijn uitvoerige accurate beschrijving van de vijandelijke legers en uitgesproken politieke mening maakte hij snel furore en kon hij opklimmen tot ontzagwekkend militair leider. Tijdens de latere Amerikaanse Revolutieoorlog waarin Washington het als leider van het Continentale leger opnam tegen de Britse koloniale heerschappij kwam zijn expertise als landmeter en cartograaf hem zeer goed van pas. Tijdens de oorlog liet Washington zich omringen door verschillende landmeter-geografen. Gedetailleerde terreinsurveys werden uitgevoerd en leverden belangrijke informatie op over de gebieden waar de oorlog gevoerd werd. Deze ruimtelijke informatie was cruciaal voor de continentale legers en leverden Washingtons troepen een onmiskenbaar voordeel op ten opzichte van de Britten. De kennis van het land lag mee aan de basis van een aantal cruciale overwinningen voor het continentale leger, wat uiteindelijk leidde tot de overwinning over de Britten in 1781, waardoor de nieuwe Amerikaanse natie stilaan vorm zou kunnen krijgen. (Buhler, 2010)



**Figuur 125 : George Washington als landmeter**  
Bron : <http://www.landsurveyor.us>, 20 februari 2011

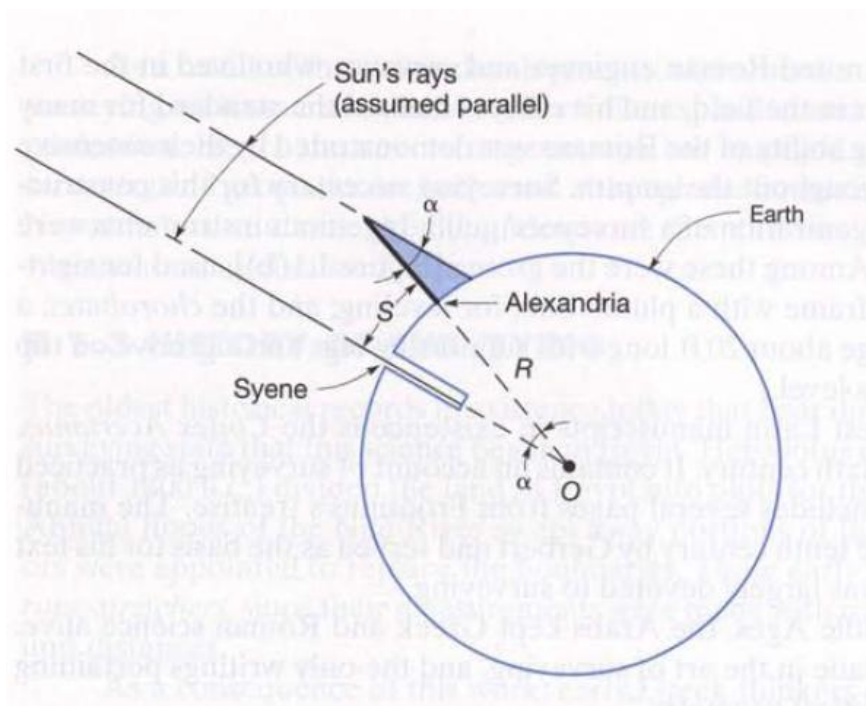
## **B. Kostbare Blunders in de sportwereld**

Dat een landmeter erg precies te werk moet gaan blijkt uit volgende voorbeelden. Toen in januari 1998 in Maastricht het Nederlands-Limburs kampioenschap atletiek de prestaties opvallend tegenvielen op de sprintnummers bleek dit achteraf het gevolg te zijn van fout uitgemeten afstanden. Oorzaak was dat de verantwoordelijke landmeter onnauwkeurig gemeten had en geen controle had uitgevoerd op de uitgezette afstanden van de verschillende banen. Dit resulteerde in verschillende afstanden voor de verschillende banen. Meerdere banen hadden een afstand ver boven de vereiste 200 meter. Zo was baan 4 van de Maastrichtse piste maar liefst 10 meter te lang. Terwijl deze blunder nog enkel maar resulteerde in slechte tijden dan vallen de blunders die gemaakt werden bij de bouw van de Olympische zwembaden in Genk, het Nederlandse Oss en het Engelse Portsmouth veel duurder uit. De drie steden investeerden in de bouw van een zwembad met Olympische afmeting om zo prestigieuze (inter-)nationale zwemwedstrijden te kunnen organiseren. Alle drie de baden bleken echter na controle te kort uitgemeten en werden bijgevolg afgekeurd. Elk gezwommen record zou in dergelijk bad immers ongeldig zijn. Terwijl in Oss de fout van 4 millimeter nog met een kleine ingreep kon gecorrigeerd worden waren ze in het Engelse Portsmouth minder fortuinlijk. Het bad is 2 cm te kort en de dure investering van meer dan 50 miljoen Britse Pond viel letterlijk in het water. Je zal maar in de schoenen staan van de landmeter die de bouw van het zwembad opvolgde. (<http://www.hollandswimming.com>, 1 maart 2011; <http://www.hbvl.be>, 6 augustus 2008; <http://www.ad.nl>, 7 september 2010)

### C. Eratosthenes meet de omtrek van de aarde

Eratosthenes bepaalde met opmerkelijke nauwkeurigheid de omtrek van de aarde (figuur 126). Hij kwam tot een omtrek van 250000 stadia<sup>50</sup> wat omgerekend op 39614 km neerkomt. Wetende dat we volgens de modernste satellietmetingen een omtrek van ca. 40008 km vast stelden waren Eratosthenes' metingen van ruim twee millennia terug al opvallend nauwkeurig met een fout die minder dan 1% bedroeg. (Gallo, 2004, p. 10)

Als vertrekpunt voor zijn meting nam hij de twee Egyptische steden Alexandrië en Syene, het huidige Aswan. Hij ging er van uit dat beide steden ongeveer op dezelfde meridiaan lagen. Daarnaast stelde hij vast dat bij het begin van de zomer de zon loodrecht boven Syene staat. De stad ligt immers op de Kreeftskeerkring. Door op hetzelfde moment in Alexandrië de schaduwlengte van een gnomon te meten wist hij de hoek waarmee de zon boven Alexandrië stond. Deze hoek was  $7^{\circ}12'$  wat  $1/50$  van een cirkel was. De omtrek bepaalde hij door de booglengte tussen beide steden te vermenigvuldigen met factor 50. De booglengte tussen beide steden leidde hij af door het aantal reisdagen tussen beide steden te vermenigvuldigen met de gemiddelde dagafstand. (Ghilani & Wolf, 2008, pp. 5-6)



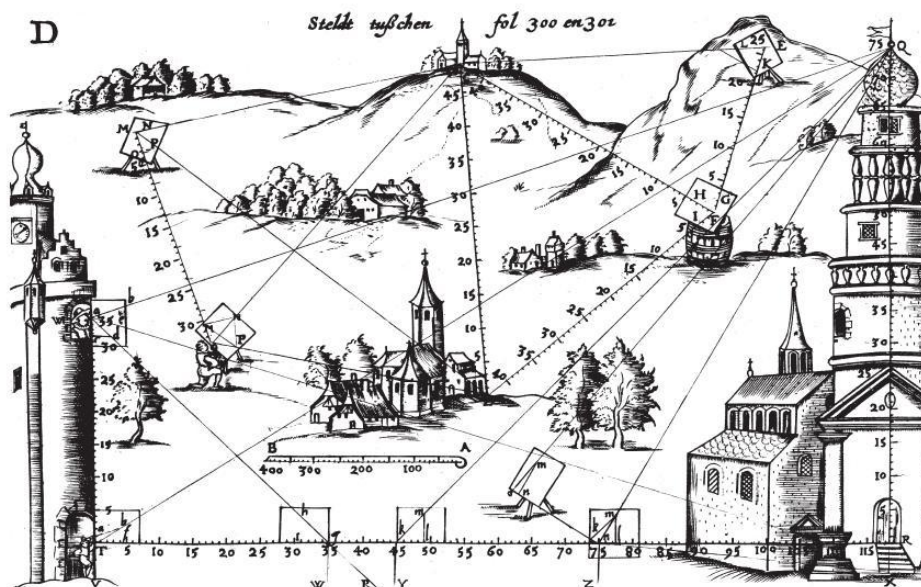
**Figuur 126 : berekening van de omtrek van de aarde volgens Eratosthenes**

Bron : Ghilani & Wolf, 2008

<sup>50</sup> Stadion : oude lengtemaat waarvan verschillende varianten gekend zijn zoals de Griekse, Egyptische en Olympische stadion

## D. kartering met planchet

Een kartering met planchet begint door het studiegebied af te bakenen en een schaal te kiezen waarmee dit zal worden gekarteerd op een blanco papier. De volgende stap bestaat er in twee basispunten te markeren. Deze basispunten vallen samen met twee grondpunten uit het gebied waarvan de onderlinge afstand en positie gekend is. Vervolgens wordt het planchet opgesteld in het eerste basispunt en richt men met het vizierlineaal naar het tweede punt zodanig dat de getekende richting tussen de twee basispunten gelijk ligt met de werkelijke richting. Vervolgens wordt vanuit het eerste basispunt naar andere punten gericht en op het papier een lijn in de richting van het vizierlineaal getekend. Eens alle vizierlijnen vanuit het eerste basispunt zijn getekend wordt het planchet opnieuw opgesteld, dit keer in het tweede basispunt. Van daaruit wordt de hele procedure herhaald. De werkelijke positie van alle punten waarnaar gericht werd komt op de juiste plaats en volgens schaal op de tekening te liggen op de snijpunten van de twee vizierlijnen.



**Figuur 127 : kartering met planchet**

Bron : Pouls, 2004, p. 33

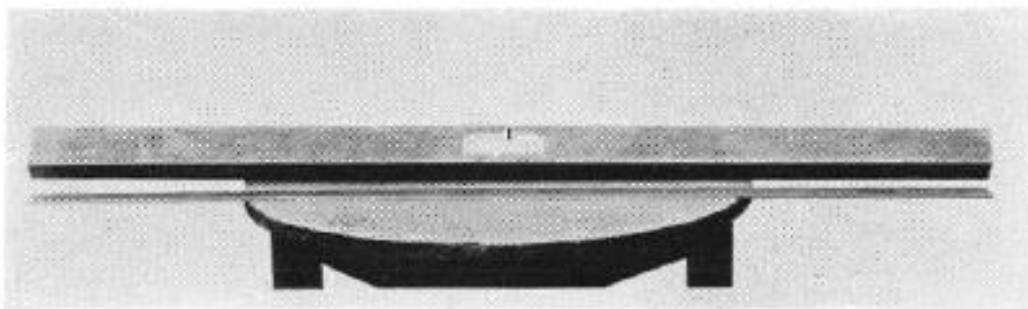
## **E. Hoe hoog is Mount Everest?**

Het bepalen van de hoogte van een berg ten opzichte van het zeeniveau was lange tijd één van de grootste uitdagingen voor een landmeter. Ondanks de hoge precisie van de methode is het praktisch gezien onmogelijk om daarvoor beroep te doen op de waterpassing. Tot voor de introductie van GPS-meting werd daarvoor de trigonometrische methode gehanteerd. Zo werden reeds in de 19<sup>de</sup> eeuw al met vrij hoge nauwkeurigheid de hoogte van enkele bergreuzen bepaald. Mount Everest, K2 en enkele andere reuzen van de Himalaya werden bijvoorbeeld voor het eerst door de Britten opgemeten tijdens “The Great trigonometrical survey of India” die in 1800 aanving en een groot deel van de 19<sup>de</sup> eeuw doorging. Mount Everest kreeg overigens zijn officiële naam in 1865, genoemd naar de Britse landmeter George Everest die tussen 1830-1843 de leiding had van deze expeditie. (Roy R. D., 1986) (N.N., Mount Everest and its Ascent, 2009) Met enkel een theodoliet, transit en trigonometrische formules kwamen de pioniers tot een hoogte van 29.002 voet, wat overeen komt met 8840 m. Deze meting was al vrij nauwkeurig, maar men had nog geen rekening gehouden met de refractie van de lichtstralen op grote afstand. (Gulatee, 1956) De hoogte van 29.002 voet zou echter wel een eeuw lang als officiële hoogte voor de berg gelden. Ze werd pas in 1958 bijgesteld tot 29.028 voet of 8848 m. (N.N., Mount Everest and its Ascent, 2009)

In de laatste 20 jaar is de trigonometrische methode zo goed als verdwenen. De hoogte van een berg wordt nu bepaald aan de hand van GPS-meting. Er wordt daarvoor een ontvanger op de top van de berg geplaatst. Daarmee kan tot op de centimeter nauwkeurig de hoogte van de ontvanger en dus de berg bepaald worden. De grootste moeilijkheid bestaat er uiteraard in om de GPS-ontvanger op de top van de berg te monteren. In 1999 werd een expeditie opgezet om zo de hoogte van Mount Everest opnieuw te bepalen. De officiële hoogte kwam daarmee op 8850 meter te staan. Het opvallendste feit daarbij is dat de pioniers 147 jaar eerder met een veel primitievere methode slechts 10 m fout waren. (N.N., GPS Tutorial, 2011) (Kraijvanger, 2009)

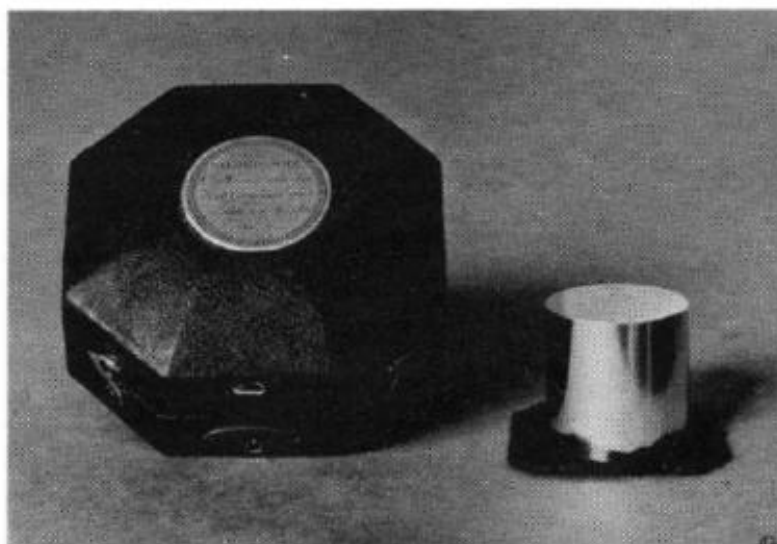
## F. Oorsprong metrisch stelsel

Voor de ontwikkeling van het metrisch stelsel moeten we terug gaan naar het Frankrijk van het einde de 18<sup>de</sup> eeuw, in de jaren na de Franse Revolutie. In 1790 werd na een eeuw van discussiëren aan de Franse Academie voor Wetenschappen beslist om komaf te maken met de lokale maten en een nieuw stelsel te definiëren. Dit nieuw stelsel zou afgeleid moeten worden van een universele natuurlijke eenheid. Als universele eenheid voor afstanden werd als maatstaf de omtrek van de aarde beschouwd. Voor die omtrek te bepalen beschouwde de Academie de omtrek over de meridiaan langs de polen als maatstaf te nemen. Door de afplatting van de aarde aan de polen verschilt de omtrek langs de polen gemeten van die langs de evenaar. Op basis van de beschouwde omtrek werd de nieuwe eenheid, de meter gedefinieerd. De meter kwam overeen met het één veertig miljoenste van de omtrek van de aarde. De bepaling van de omtrek zelf, die als referentie moest dienen voor de meter, werd in opdracht van Lodewijk XVI uitgevoerd door de Franse wetenschappers Jean Delambre (1749 – 1822) en Pierre Méchain (1744 – 1804) tussen 1792-1799. Op 20 juni 1799 boden Delambre en Méchain een platinastaaf van één meter aan tijdens een internationale wetenschappelijke conferentie. Verschillende prototypes werden gemaakt om als referentiemeter dienst te doen (figuur 128). Deze staaf werd gearhiveerd en zou van dan af als lengtestandaard dienen. Op analoge wijze werd door de Franse Académie des Sciences een standaard kilogram in platina bewaard (figuur 129).



**Figuur 128 : standaardmeter**

Bron : (Morau, 1953)



**Figuur 129 : standaard kilogram**

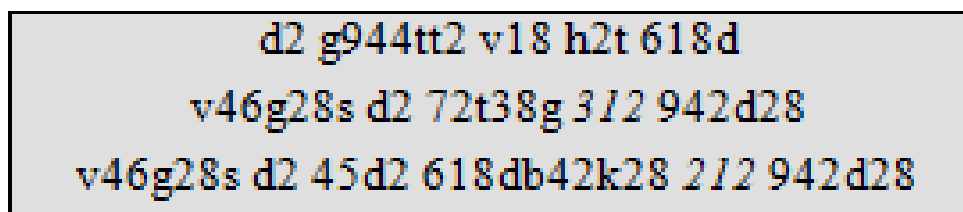
Bron : (Morau, 1953)

De bepaling van de omtrek van de aarde was echter niet perfect aangezien de twee Franse wetenschappers de effecten van de afplatting aan de polen niet genoeg in rekening hadden gebracht. In plaats van nieuwe metingen te verrichten besloot men gemakshalve enkel de definitie van de meter te herzien. De meter werd zo geherdefinieerd als de lengte van de standaardstaf die in Parijs bewaard werd. (Morau, 1953)

Om meer praktische redenen werd de meter in 1960 nog eens geherdefinieerd, zodat er in elk laboratorium ter wereld met dezelfde standaard kon gewerkt worden. De meter stond toen gelijk aan 1.650.763,73 keer de golflengte van een welbepaald soort straling. In 1983 werd ook deze definitie herzien. Sindsdien geldt dat de meter de lengte is van de weg afgelegd door licht in vacuüm gedurende een tijdsinterval van  $1/299.792.458$  seconde. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, pp. 6-7)

### G. geheime code landmetersketting

Het opmeten van percelen in het kader van belastingsinning is van oudsher een belangrijke taak van landmeters. Het bepalen van afstanden met meetketting bleef tot in de 19<sup>de</sup> eeuw daarbij een belangrijk aspect. De resultaten van opmeting van percelen werden door de landmeter beschreven met notities in een speciaal veldboek. Gegevens over lengte en breedte, de eigenaars en andere data van de opmeting werden daarbij genoteerd. Het opmeten van percelen en perceelsgrenzen waren vaak gewichtige metingen, wanneer die bijvoorbeeld zouden uitdraaien op hogere belastingen voor de eigenaars. Om zichzelf in te dekken en te beschermen hiertegen werden de notities vaak in een soort geheimschrift (figuur 130) opgetekend. Een voorbeeld is een gecodeerde aantekening uit het begin van de 19<sup>de</sup> eeuw :



d2 g944tt2 v18 h2t 618d  
v46g28s d2 72t38g 312 942d28  
v46g28s d2 45d2 618db42k28 212 942d28

**Figuur 130 : geheime code landmetersketting**

Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007

De sleutel om dit te begrijpen is dat elk cijfer overeen komt met een bepaalde letter : 1 = a ; 2 = e ; 3 = i ; 4 = o ; 5 = u ; 6 = l ; 7 = m ; 8 = n ; r = 9. Deze cryptische taal was niet direct te ontcijferen en te begrijpen door de eigenaars van het terrein. (Vanvinckenroye *et al.*, 2000, p. 9; Blindeman L. , 2007, pp. 23-24 ; Knaepen, 1999, pp. 121-192)

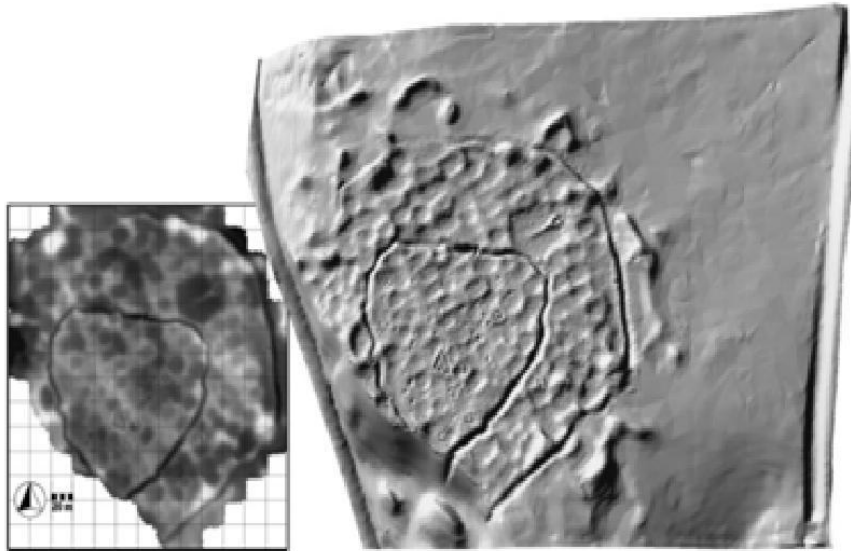
## H. Archeologie en het totaalstation

Bij archeologisch veldwerk is er een belangrijke taak weggelegd voor de landmeter. De context van elk blootgelegd spoor en elk gevonden artefact is bij elke archeologische survey essentieel voor de interpretatie. Om die context eenduidig te definiëren is een precieze lokalisatie in de ruimte van primordiaal belang. Een archeologische survey vangt dan ook telkens aan met het werk van een landmeter die een 3D-grid uitzet over het te onderzoeken studiegebied. Dit grid wordt dan gebruikt als basisnet voor de topografische kartering en voor het maken van grondplannen van de site te maken. De landmeter zal voor het uitzetten van het lokaal grid gebruik maken van totaalstation. Indien het om kleine sites gaat dan gebeurt de kartering van de grondsporen doorgaans door de archeoloog zelf. Vanuit enkele gevisualiseerde basislijnen van het grid worden met mechanische afstandsmethoden de x,y coördinaten van de te karteren elementen bepaald. Voor de hoogte-informatie maakt men dan gebruik van een eenvoudig waterpastoestel en baak.

Indien de archeologische site complexer is en zich over een grote oppervlakte uitstrekt, zoals bij archeologische prospectie is deze methode verre van praktisch en worden andere karteringsmethodes geïmplementeerd. Fotogrammetrie, Airborne laser, elektronisch of GPS-meting werden in het verleden in dergelijke gevallen vaak met succes aangewend om in detail sites in kaart te brengen. Met totaalstation is kartering tot op centimeterniveau mogelijk. De hoge precisie van totaalstations zoals de Rec Elta van Zeiss gaat wel ten koste van een snelle opmeting. De trage rate van dataverzameling maakt het eigenlijk niet erg geschikt om grote hoeveelheden data te verzamelen over een grote oppervlakte, hoewel het wel daarvoor gebruikt werd. Met de komst van het robotisch totaalstation werd aan deze tekortkoming tegemoet gekomen en was men in staat om archeologische sites op een zeer snelle manier microtopografisch in te meten met de precisie van het traditionele totaalstation. De Rover van het Robotisch totaalstation wordt daarbij uitgerust met een wiel zodat het pad dat bij de survey wordt gevolgd in realtime gevisualiseerd kan worden (figuur 131). Er wordt met deze methode één punt per seconde ingemeten. Het resultaat is een dataset die een DTM van de microtopografie tot op een subcentimeter nauwkeurig weergeeft. Op figuur 132 wordt het DTM van het Robotisch totaalstation vergeleken met een fotogrammetrisch DTM. (Kvamme *et al.*, 2006)



**Figuur 131 : Robotisch totaalstation bij archeologisch veldwerk**  
 Bron : museum voor de geschiedenis van de wetenschappen, 2007



**Figuur 132 : DTM Robotisch totaalstation versus fotogrammetrisch DTM**  
 Bron : (Kvamme *et al.*, 2006)

## **I. Voorstel posters tentoonstelling**

### Intro tentoonstelling (poster1)

Altijd al heeft de mens de ruimte waarin hij zich bevond, willen begrijpen en willen vormen naar zijn eigen noden en belangen. Een belangrijke rol bij de vormgeving van menselijke omgevingen is weggelegd voor de landmeters. Je kunt het zo gek niet bedenken of landmeetkunde komt er bij kijken : of het nu gaat om een eenvoudige perceelsgrens te bepalen, het in kaart brengen van een gebied, het oprichten van een wolkenkrabber of het bepalen van onze reisroute met onze GPS in de auto.

Aan de hand van het uitgebreide patrimonium aan topografische toestellen, dat de universiteit rijk is, wordt de evolutie van het instrumentarium, dat landmeters sinds de Renaissance tot vandaag de dag gebruikten, geschetst. De oudste eenvoudige toestellen, waarmee eendimensionale gegevens, zoals een hoek, een afstand of een hoogte, verzameld werden, evolueerden naar complexe gesofisticeerde 3D-apparatuur sinds het einde van de 20<sup>e</sup> eeuw en in het begin van het nieuwe millennium.

### Waterpassen : Kubus 1-3

#### *Waterpassen intro (Poster 2)*

Waterpassing is de landmeetkundige techniek die men gebruikt om het hoogteverschil tussen twee punten op het aardoppervlak te meten. Om dit hoogteverschil te bepalen wordt een toestel, waarmee men volgens een horizontale lijn kan meten, tussen de twee punten opgesteld. Men richt er dan mee naar een gegradueerde baak die verticaal boven de op te meten punten staat opgesteld. Het verschil tussen de twee afgelezen hoogtes geeft het relatief hoogteverschil tussen de punten.

#### *Waterpasinstrumenten (Poster 3)*

Doorheen de tijd verscheen een grote variatie aan toestellen die voor waterpassing dienst deden. Niet-automatische waterpasinstrumenten zonder kijker gaan terug tot in de oudheid. Ze zijn in staat om snel hoogtes te meten tot op enkele centimeter nauwkeurig. De Romeinse chorobates is het oudste gedocumenteerde instrument van dit type. De flesjeswaterpas en enkele instrumenten die gebruik maken van de zwaartekracht om volgens een horizontale lijn te kijken zijn recentere voorbeelden.

Cruciaal voor de ontwikkeling van een groot deel van deze en andere topografische toestellen, was de uitvinding van de luchtbelwaterpas inde 17<sup>de</sup> eeuw. Door dit klein en eenvoudig instrument met een stelschroevenblok te integreren ontstonden veel compactere en preciezere toestellen zoals waterpasinstrumenten met vizieren, die in een later stadium zouden vervangen worden door optische kijkers. Sinds 1950 verschenen waterpasinstrumenten met automatische instellingen. Automatisch wil zeggen dat de vizierlijn automatisch gecorrigeerd wordt en zo steeds horizontaal loopt, waardoor de meetsnelheid en meetnauwkeurigheid aanzienlijk toenam. Voor deze automatische correctie zijn de toestellen uitgerust met een zogenaamde compensator. Begin de jaren 1990 kwam er een laatste grote innovatie met de opkomst van de digitale waterpasinstrumenten.

### Hoekmeting (kubus 4-7)

#### *Hoekmeting intro (poster 4)*

Om punten in de ruimte ten opzichte van mekaar te positioneren meet de landmeter hoeken op. Wiskundig gezien is een hoek een vlak gevormd door twee halfrechten, de benen van de hoek, met een gemeenschappelijk beginpunt. In het terrein vertaalt het beginpunt van de benen van de hoek zich naar het punt van waaruit gemeten wordt. De benen van de hoek vallen samen met de richting waar er naar gemeten wordt. Men onderscheidt in de landmeetkunde horizontale en verticale hoeken. Het wiskundig meten en berekenen van hoeken gaat vermoedelijk terug tot 1500 BCE wanneer men in het oude Egypte aan de hand van de schaduw van een stok op gegraduateerde stenen tabletten de tijd en seizoenen met enige nauwkeurigheid bepaalde. Het waren ook de Egyptenaren die het eerste instrument voor hoekmeting ontwikkelden.

#### *Instrumenten voor hoekmeting (poster 5)*

Men onderscheidt verschillende types van Hoekmeetinstrumenten. Een eerste type betreft deze die specifiek ontworpen zijn om rechte hoeken uit te zetten. De Romeinen maakten daarvoor gebruik van de groma. Dit instrument uit de oudheid diende wellicht als inspiratie voor het rond 1600 uitgevonden winkelkruis dat op zijn beurt het landmeterskruis inspireerde. Kleine instrumenten, zoals hoekspiegels en prisma's, maken gebruik van de eigenschappen van een weerkaatste lichtstraal om rechte hoeken te bepalen.

Andere hoekmeetinstrumenten dienen specifiek om een willekeurige horizontale of een verticale hoek te meten. Instrumenten waarmee verticale hoeken werden bepaald, zoals het astrolabium, de sextant en de hydrografische cirkel waren vooral belangrijk in het kader van astronomische waarnemingen. Om horizontale hoeken te meten gebruikte men sinds de 1600 het kompas als zelfstandig topografisch instrument. Het werd ook vaak geïntegreerd in preciezere instrumenten met vizieren en gegradueerde cirkel of halve cirkel, zoals de Hollandse cirkel of de grafometer. Later zou men deze vizieren vervangen door kijkers. Ook een variant van het landmeterskruis, de pantometer deed dienst om horizontale hoeken te meten. Toestellen die in staat zijn zowel horizontale, als verticale hoeken met een grote nauwkeurigheid te bepalen zijn theodolieten. Hoewel de term theodoliet reeds in 1571 voor het eerst gebruikt werd, is het wachten tot de 18<sup>de</sup> eeuw alvorens een instrument verschijnt dat aan de hier beschreven eigenschappen voldeed.

#### Afstandsmeting (kubus 8-11) (poster 6)

Om punten onderling ten opzichte van mekaar te positioneren worden ook afstanden bepaald. Tot het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw was er een grote variëteit aan lokale maten om die afstanden uit te drukken. De mens gebruikte zichzelf en zaken uit zijn leefwereld als basismaat voor het berekenen van zijn omgeving. Men mat de afstand bijvoorbeeld in voet, duim of boogscheuten. Er was daarbij geen sprake van uniformiteit over grote gebieden. Aan deze chaos van weinig gestandaardiseerde lengtematen kwam er een einde na de Franse Revolutie, wanneer onder de impuls van internationalisering van de handelsactiviteiten, het metrisch stelsel met als eenheid de meter, werd ingevoerd.

Om afstanden te meten op het terrein kan de landmeter beroep doen op verschillende technieken. Er wordt een algemeen onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte meetmethoden. Bij directe afstandsmeting loopt de landmeter de te meten afstand volledig af met bijvoorbeeld een landmetersketting of meetband. Indirecte afstandsmeting vereist dit niet en bepaald de afstand op een optische, elektronische of telemetische manier. Optische afstandsmeters maken doorgaans gebruik van zogenaamde stadimetische kijkers, waarop 2 afstandsdraden zijn ingebouwd. Bij elektronische doet beroep op een tijdsmeting van de uitgezonden en gereflecteerde elektromagnetische stralingsgolf om de afstand te bepalen. Afstandsmeters die de telemetrische methode gebruiken, laten toe om vrij snel afstanden te bepalen in het terrein, aan de hand van driehoeksmetkunde. We vinden ze vooral in militaire context.

### Radioplaatsbepaling en GPS (kubus 12) (poster7)

In de loop van 20<sup>e</sup> eeuw ontwikkelde men nieuwe methoden van plaatsbepaling, waarbij er geen optische instrumenten meer aan te pas kwamen. Het zijn systemen die opgebouwd zijn uit zenders en ontvangers. Plaatsbepaling aan de hand van radiogolven ontwikkelde zich in de jaren 1920. De ontwikkeling van satellietplaatsbepaling startte in 1958. Het waren aanvankelijk militaire toepassing voor navigatie. Ze zouden echter ook snel in civiele context worden gebruikt. Het gebruik van GPS was baanbrekend voor de landmeetkunde en zou meer dan welke andere technologie, ook fundamentele veranderingen met zich meebrengen, voor het uitvoeren van surveys. De techniek is nu bij vrijwel geen enkele survey meer weg te denken.

Radio- en satellietplaatsbepaling maken gebruik van zenders en ontvangers. De zenders sturen signalen uit vanuit een gekende locatie. Bij radioplaatsbepaling zijn de zenders grondstations, bij GPS zijn dat de satellieten. De uitgezonden golven van de zenders verplaatsen zich met een constante snelheid. Aangezien deze snelheid gekend is, kan de looptijd van de golven tussen zender en ontvanger gebruikt worden, om de afstand te bepalen vanuit een willekeurig onbekend punt tot aan de zender. Op basis van één zender kan men echter nog niet de exacte positie bepalen. Wanneer men het signaal van één zender ontvangt, weet men enkel dat men zich ergens op de cirkel met bepaalde afstand rond de zender bevindt. Om de exacte positie te bepalen, moet de ontvanger zich positioneren ten opzichte van minstens drie zenders. De positie wordt dan gegeven door het snijpunt van de drie cirkels rond de ontvangen zenders.

### Moderne toepassingen – 3D-meettoestellen (kubus 13-15) (Poster 8)

Al vrij vroeg verschenen instrumenten die in staat waren gegevens in drie dimensies te meten en zowel afstanden als horizontale en verticale hoeken te meten. De nauwkeurigheid van de meting verschilde echter lange tijd aanzienlijk voor de verschillende meetgegevens, waardoor men bezwaarlijk van volwaardig 3D-meettoestellen kon spreken. Daarvoor is het wachten tot het einde van de jaren 1960, wanneer men bij de Wild T2 theodoliet een elektromagnetische afstandsmeter als opbouwmodule monteerte. Daarmee kon men zowel hoeken en afstanden met zeer hoge precisie bepalen.

Verdere ontwikkeling van deze volwaardige 3D meettoestellen gaf in de jaren 1970 aanleiding tot de volledig elektronische theodolieten, waarbij de afstandsmeter geïntegreerd werd in het toestel en waarbij ook de hoeken elektronisch gemeten konden worden. Door dit

toestel verder uit te rusten met een computereenheid ontstond het totaalstation. Afstanden, horizontale en verticale hoeken worden ermee met één enkel toestel automatisch bepaald en in real-time doorgezonden naar de computereenheid en opgeslagen in een geheugenmodule. De vele voordelen van het totaalstation maakte dat het snel zou uitgroeien tot het belangrijkste surveyinstrument. Recente vernieuwingen zijn de komst van het robotisch totaalstation en de integratie van ingebouwde GPS-antennes waarmee de wereld wereldcoördinaten van de standplaats van het totaalstation en deze van de meetpunten rechtstreeks bepaald worden.

### 3D laserscanners (poster 9)

De laatste ontwikkeling in topografische toestellen is het verschijnen van de driedimensionale laserscanner. De techniek ontwikkelde zich in het midden van de jaren 1990 en veranderde grondig de manier van landmeten en revolutioneerde de 3D-data verzameling. Het grote verschil met klassieke technieken, zoals traditionele topografische surveys en fotogrammetrie, is dat bij laserscanning met zeer hoge graad van automatisatie, zeer snel data verzameld kan worden over een object. De landmeter blijft in de buurt van het toestel, terwijl de scanner automatisch alle punten zichtbaar vanuit de opstelplaats meet. Daarvoor wordt met deze toestellen een oppervlak afgetast aan de hand van lasertechnologie. Een puntenwolk wordt zo gegeneerd van het gezichtsveld van de laserscanner. Deze puntenwolk wordt verder verwerkt naar 3D-modellen en 2D-plannen. Het toepassingsdomein van laserscanners is zeer uitgebreid en kan aangewend worden voor zowel scannen van volumes kleiner dan 1m<sup>3</sup> tot grote gebieden van meerdere km<sup>2</sup>. Men onderscheidt de statische terrestrische laserscanning en de dynamische laserscanning van op een mobiel platform.

### Planchet (kubus 17) (poster10)

Het planchet zou in de 16<sup>de</sup> eeuw door Gemma Frisius uitgevonden zijn. Het was een revolutionair karteringsmiddel dat bestaat uit een tekentafel op een statief en een los vizierlineaal. Voor oriëntatiedoeleinden werd vaak ook een kompas als aanvulling gebruikt. Met het planchet werden de terreinmeting en het tekenen gecombineerd. Het was lange tijd het meest gebruikte instrument voor grootschalige kartering. Het is ook gebruikt voor de eerste grootschalige topografische kaart van België, de Ferrariskaart, op het einde van de 18<sup>de</sup> eeuw.

### Bakenbos (kubus 18) (poster11)

Een baak is een grote verticale gegradueerde lat waarop een verdeling in centimeter of een andere maat is aangebracht. Bakens worden gebruikt om de hoogte af te lezen bij waterpassing of om de afstanden te bepalen bij optische afstandsmeting met stadimetrische kijkers. Men onderscheidt verschillende types van bakens. Ze ondergingen net als andere instrumenten een hele evolutie met nieuwe materialen en technieken als drijfveer. De bordjesbaak behoort tot één van de oudste types. Daartegenover staat de moderne digitale baak met streepjescode.