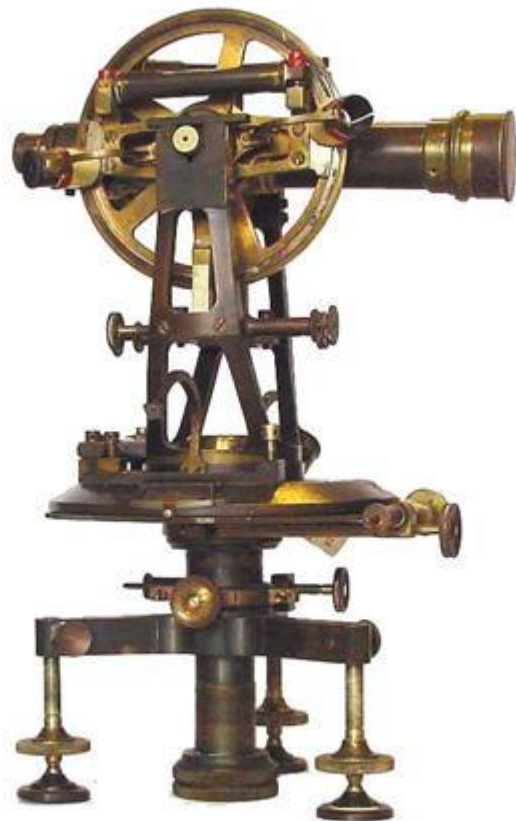


11-12-2015

De mechanische theodoliet



Vino Rondelez
1LAM

Inhoudstafel

1.	Inleiding	2
2.	Geschiedenis van de theodoliet	3
2.1	Hoekmeting voor de theodoliet.....	3
2.1.1	Tablet van Shush	3
2.1.2	De groma.....	3
2.1.3	De dioptra.....	4
1.2	De eerste theodoliet	4
2.3	The great theodolite	4
2.4	The Transit	5
2.5	Wild theodolieten	6
1.5.1	Heinrich Wild.....	6
1.5.2	voorbeelden van wild theodolieten	6
1.5.3	Leica.....	7
3.	De hedendaagse mechanische theodoliet	8
3.1	Anatomie van de theodoliet.....	8
3.1.1	Assen	8
3.1.2	Cirkelranden	8
3.1.3	Het vizier	9
3.1.4	Waterpas systeem	10
3.1.5	Overige.....	11
4.	Bibliografie.....	12

1. Inleiding

Een theodoliet is een toestel waarmee je hoekmetingen kan uitvoeren in zowel het horizontaal- als verticaal vlak. Al eeuwen lang wordt de theodoliet (of een variant) gebruikt bij bouwwerken, detailmetingen, sterrenkunde...

De theodoliet wordt tegenwoordig nog steeds veel gebruikt (vooral binnen het landmeten), maar hij wordt geleidelijk vervangen door de total stations. Die hebben het voordeel dat ze ook afstanden kunnen meten.

In deze paper bespreek ik vooral wat aan de theodoliet vooraf ging en ook de onderdelen en hun functie van de hedendaagse mechanische theodoliet.

2. Geschiedenis van de theodoliet

2.1 Hoekmeting voor de theodoliet

2.1.1. Tablet van Shush

In 1936 vonden archeologen een tablet uit klei die informatie bevat over hoekmeting rond 1500 voor Christus. Dit werd gevonden in Shush, een voormalige Iraanse stad op 350Km van het oude Babylonië. Door deze relatief kleine afstand tot de voormalige

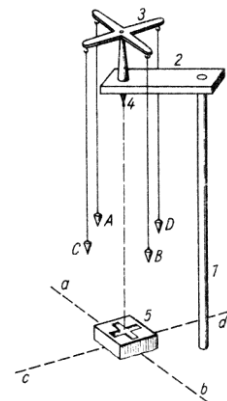


grootstad wordt verondersteld dat het tablet van daar afkomstig is. Het tablet toont de werkwijze om een cirkel te verdelen in een regelmatige hexagoon. Het vooruitstrevende hieraan is dat ze hier al met een 360-delig stelsel werkten. Deze hexagoon zorgde er dus voor dat de cirkel in 6 stukken van elk 60° verdeeld werd.

2.1.2. De groma

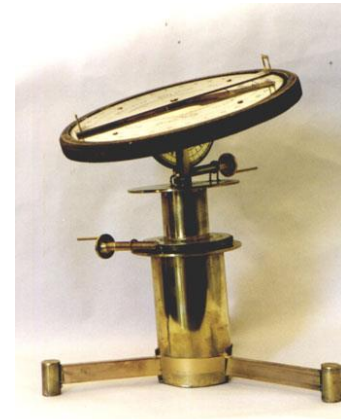
De groma is een instrument die helpt bij het uitzetten van rechte lijnen en –hoeken. We kunnen het beschouwen als de voorloper van het landmeetkruis.

Dit toestel kwam voor het eerst voor in Egypte en werd gebruikt bij het bouwen van grote constructies (vb: piramides). De groma is opgebouwd uit 2 even lange stokken die elkaar in het midden loodrecht snijden. Aan de uiteinden zijn touwtjes met gelijke gewichten vast gemaakt. Hoewel bij de Egyptenaren de oudste vormen van de groma terug gevonden werden, waren het vooral de Romeinen die er veel gebruik van maakten. Het verschil tussen de Egyptische en de Romeinse groma is dat de Egyptische bevestigd was aan een touw. Doordat het dus niet zelfstandig kon staan was er altijd 1 persoon nodig die het vast hield. De Romeinse werkte met een statief die met een pin in de grond geduwd werd. Bij de Romeinen werd onder elk schietlood een potje met olie geplaatst. Het uiteinde van het schietlood hingen in de olie zonder de bodem van het potje te raken. Zo werd het schietlood minder beïnvloed door de wind.



2.1.3. De dioptra

De dioptra is een toestel die door de Grieken werd ontwikkeld maar later ook door de Romeinen werd gebruikt. De oorspronkelijke functie van de dioptra was meer kennis verwerven over sterrenkunde en dan vooral plaats bepaling van hemellichamen. Pas later kwam het besef dat de dioptra ook voor de stedenbouw belangrijk kon zijn. De dioptra bestaat uit een horizontale cirkel waarop je hoeken kan afmeten, deze cirkel is gemonteerd op een halve cirkel die verticaal kon bewegen. Deze kon slechts 180° draaien. De horizontale as is geijkt in een 360-delig stelsel. Dit geheel staat op een statief waarin ook een waterpas systeem in verwerkt zit aan de hand van schroeven. De oudste vorm van de dioptra werd gevonden bij de archeologische site van Pompeï (1992). Naar schatting zou die dioptra dateren rond 150 v.C. Het verschil met de theodoliet is dat de verticale en horizontale as bij de dioptra gescheiden zijn. Dit zorgt ervoor dat het veel ingewikkelder is om een verticale hoekmeting uit te voeren. Ook is het niet mogelijk om door te slaan en dus een eventuele fout bij het waterpas zetten uit te sluiten. De theodoliet zoals we die vandaag kennen heeft ook een kijker met lenzen, terwijl de dioptra dit niet heeft.



2.2 De eerste theodoliet



De theodoliet word voor het eerst beschreven in 1571 in het boek "Pantometria" geschreven door Leonard Digges (Engels wiskundige en landmeter). De theodoliet van Humphrey Cole (1574) wordt gezien als de eerste theodoliet. Dit was het eerste toestel die zowel verticale als horizontale hoeken kon meten. Het wordt ook wel een "Altazimuth theodolite" genoemd. De theodoliet was volledig demonteerbaar. Vanwege zijn kleine horizontale as was het toestel niet zeer precies.

2.3 The great theodolite

Pas 2 twee eeuwen later, in de laat 18^{de} eeuw komt de eerste nauwkeurige theodoliet tot stand. In 1775 kwam de Londense instrumentmaker, Jesse Ramsden met het eerste toestel op de markt die de naam theodoliet waardig was. Voor Ramsden waren er al verschillende toestellen ontworpen waarbij de 2 geijkte cirkels los van elkaar stonden , maar die waren telkens niet nauwkeurig genoeg om

grootschalige metingen mee uit te voeren.

Ramsden werd al snel opgemerkt door zijn enorme talent voor het maken van nauwkeurige toestellen en instrumenten. Hij maakte verschillende instrumenten die betrekking hadden tot sterrenkunde en landmeten. Door zijn kennis over landmeten en eerder gemaakte toestellen kreeg hij de opdracht een toestel te bouwen die voldoende nauwkeurig was om grootschalige triangulaties uit te voeren.

Hij begon in 1782 met bouwen van wat later de eerste nauwkeurige theodoliet zou zijn (the great theodolite). Deze theodoliet bleef in gebruik tot 1853, waarna het overgebracht werd naar "Ordnance Survey Office" te Southampton waar het tijdens WO2 vernield zou worden. De theodoliet van Ramsden werd gebouwd om de observatoria van Greenwich en Parijs te gaan verbinden via triangulatie. In 1785 begon generaal William Roy aan deze opdracht. Doordat het de eerste grootschalige opdracht was werden er veel fouten gemaakt.



Ook het feit dat er over zee moest gegaan worden zorgde ervoor dat het project werd vertraagd. Pas begin 19^{de} eeuw kwam dit project op zijn einde.

2.4 The Transit

Tijdens de triangulatie van Greenwich naar Parijs kregen de landmeters vaak problemen met niet juist gemeten hoeken, en dus het maken van verkeerde berekeningen. In het jaar 1831 kwam William Young met The Transit op de markt. Dit was een theodoliet die de mogelijkheid had om zijn vizierlens 180° te draaien op zijn verticale as om zo fouten te vermijden. Dit heten we "doorslaan". Het werd al snel een zeer populair toestel binnen het landmeten, enerzijds door zijn fout correctie, anderzijds was hij ook een stuk lichter dan The Great Theodolite. Er zijn verschillende modellen uitgebracht van de transit. Zo waren er veel modellen die wel konden draaien rond hun verticale as, maar geen verticale hoeken konden meten omdat ze geen geijkte schijf bevatten. Ook voor sterrenkunde en mijnbouw zijn er aangepaste modellen verschenen.



2.5 Wild theodolieten

2.5.1. Heinrich Wild

Heinrich Wild (1871-1951) was Zwitser die zich bezig hield met het ontwerpen van geodetische en astronomische werktuigen. Al vroeg werd duidelijk dat hij talent had voor het ontwerpen van hoogkwalitatieve optische toestellen. In 1908 ontwierp hij plannen voor militaire doeleinden. De firma die hem hierin steunde was Zeiss gelegen in Jena (Duitsland). Wild naar verhuisde kort daarna naar Jena. Na WO1 keerde hij terug naar Zwitserland om daar het bedrijf "Heinrich Wild, Werkstätte für Feinmechanik und Optik" in Heerbrugg te starten. Hier werden de eerste Wild theodolieten ontwikkeld. Dit werd later Wild Heerbrugg AG.

2.5.2. voorbeelden van wild theodolieten

Wild T0 (1932-1990)



Model		T0
magnification	(x)	20
Image: (U=inverted; E=erect)		E
Field of view at 1000m	(m)	35
Shortest focusing distance	(m)	1.0
Multiplications constant		100

Additive constant	(cm)	0
Sensitivity of plate level	per 2mm	4'
Direct reading	360°Hz V	20" 5'
	400°Hz V	1c
Reading by estimation	360°Hz V	- 1'
	400°Hz V	2c 2c

Wild T1 (1933-1938)



Model		T1
magnification	(x)	30
Image: (U=inverted; E=erect)		E
Field of view at 1000m	(m)	27
Shortest focusing distance	(m)	1.7
Multiplications constant		100

Additive constant	(cm)	0
Sensitivity of plate level	per 2mm	30"
Direct reading	360°Hz V	6" 6"
	400°Hz V	0.2c 0.2c
Reading by estimation	360°Hz V	3" 3"
	400°Hz V	0.1c 0.1c

Wild T2 (mod) (1973-1996)



Model		T3
magnification	(x)	24 30 40
Image: (U=inverted; E=erect)		U
Field of view at 1000m	(m)	28
Shortest focusing distance	(m)	4.6
Multiplications constant		-

Additive constant	(cm)	-
Sensitivity of plate level	per 2mm	6.5"
Direct reading	360°Hz	0.2"
	V	0.2"
	400°Hz	1cc
Reading by estimation	V	1cc
	360°Hz	0.1"
	V	0.1"
	400°Hz	0.5c
	V	0.5c

2.5.3. Leica

In 1972 ging de firma Heerburgg AG gaan samenwerken met het familie bedrijf: "Leitz". Dit bedrijf produceerde zowel optische toestellen als camera's die de merknaam leica droegen. Het nieuwe bedrijf heette dan Wild Leitz AG. Toen in 1989 het bedrijf met financiële problemen kampte veranderde Dr. Stephan Schmidheiny (grootste aandeelhouder van Wild Leitz AG) de naam van het hele bedrijf in Leica. Later werd Leica nogmaals verdeeld in Leica Microsystems en Leica Geosystems. Leica Geosystems is vandaag de dag nog steeds bekend voor nauwkeurigheid.

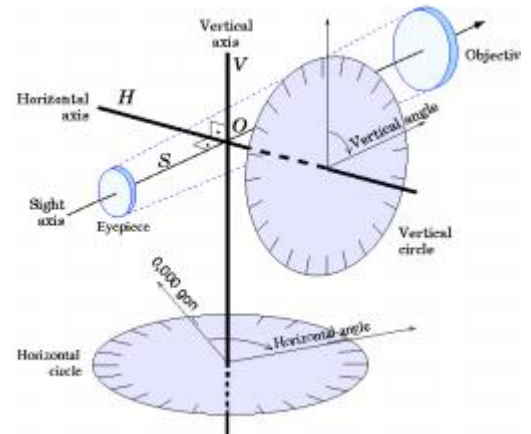
3. De hedendaagse mechanische theodoliet

3.1 Anatomie van de theodoliet

3.1.1. Assen

De theodoliet is opgesteld uit drie onderling loodrechte assen:

- De **hoofd-** of **primaire as** is de as die na het correct opstellen van de theodoliet overeen komt met de lokale verticaal.
- De **scharnier-** of **secundaire as** is na het correct opstellen van de theodoliet gelegen in het horizontaal vlak.
- De **vizierlijn** of **tertiaire as** is de as waar de kijker op gelegen is.



Doordat de secundaire- en de tertiaire as afzonderlijk van elkaar kunnen bewegen is het mogelijk om met de theodoliet zowel verticale- als horizontale as hoekmetingen uit te voeren.

3.1.2 Cirkelranden

Om nu met deze drie assen hoeken te gaan meten heb je twee geijkte cirkels nodig. De cirkel die de horizontale hoeken meet staat loodrecht op de primaire as. Ook is het noodzakelijk dat die primaire as door het middelpunt van de cirkelrand gaat, anders zullen er fouten optreden.

De cirkelrand die de horizontale meet staat loodrecht op de secundaire as .

Ook bij deze is het noodzakelijk dat de secundaire as door het middelpunt van de cirkelrand gaat. Vroeger waren deze cirkelranden te vinden aan de buitenkant van de theodoliet. Deze waren in verhouding stukken groter dan de cirkelranden bij modernere toestellen. Dit kwam omdat alles met het blote oog werd afgelezen.

Vandaag de dag bevindt de cirkelrand zich binnen het frame van de theodoliet.

Deze randen zijn zeer klein en worden via lenzen zichtbaar gemaakt.

Bij aflezing van precisietheodolieten die aflezen tot op 1" maakt men gebruik van diametrale strepen die op je cirkelrand staan.

Als je twee van die diametrale strepen tegenover elkaar zet A.D.H.V. een coïncidentie micrometer kan je waarden tot 1" aflezen.

3.1.3. Het vizier

Het vizier is samengesteld uit drie onderdelen:

- **Objectief:** Het objectief is een samenstelling van lenzen die convergerend werken. Deze heeft een grote brandpunt afstand. Vroeger was het beeld die je te zien kreeg via het objectief omgekeerd. Modernere toestellen bevatten echter een omkeerprisma zodat de waarnemer een recht opstaand beeld ziet.
- **Oculair:** Dit is ook een convergerende lens, maar in tegenstelling tot het objectief heeft het oculair een veel kleinere brandpunt afstand. Het dient als een vergrootglas voor zowel de kruisdraden als ook het beeld dat gevormd wordt door het objectief.
- **Kruisdraad:** In het vizier vind je zowel een verticale- als horizontale kruisdraad. Het snijpunt van deze draden ga je gebruiken als een richter voor wat je wilt gaan meten op het terrein.

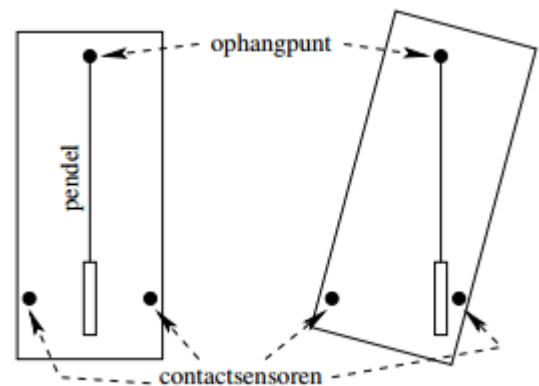
Vroeger waren de meeste vizieren met een vast objectief en beweegbare kruisdraden, die heten we de Kepler vizieren. Bij modernere versies is een deel van het objectief beweegbaar maar de kruisdraden staan vast.

De brandpunt afstand verandert naarmate je het zoom gedeelte van het objectief aanpast. Hierdoor krijgt de waarnemer een veel helderder beeld te zien. Ook zijn dit type vizieren compacter en dus handiger voor gebruik. Het deel van het objectief die je kan aanpassen bevindt zich tussen de kruisdraden en het vaste deel van het objectief.

3.1.4 Waterpas systeem

Om een correcte hoekmeting uit te voeren moet de primaire as loodrecht staan. dit gebeurt via drie systemen:

- **Doos niveau** of **sferische nivelle** werkt als grofregeling. Het is een klein cilindervormig reservoir met een bolvormige bovenkant. Dit is opgevuld met een vloeistof met een laag vriespunt (meestal ether) en een luchtbel. Omdat de luchtbel zich altijd op het hoogste punt van de koepel bevindt kan je stellen dat wanneer de luchtbel zich in het midden van de koepel bevindt de onderkant van het reservoir horizontaal staat. Wanneer je dit systeem correct monteert op een vlak kan je zeggen dat dit vlak ook horizontaal staat.
- **Buisniveau** of **cilindrische nivelle** zorgt voor de fijnregeling. Als de theodoliet bij een meting niet perfect waterpas staat kan dit grote gevolgen hebben voor je resultaat. Daarom is enkel de grof regeling niet voldoende. Het buisniveau bestaat uit een horizontaal gelegen cilinder met opnieuw een vloeistof die een laag vriespunt heeft met daarin een luchtbel. Op die cilinder zijn twee lijntjes getekend. Wanneer de luchtbel zich tussen die twee lijntjes bevindt staat je toestel waterpas. Dit buisniveau is veel gevoeliger aan niveauverschillen dan het doosniveau, kleine aanpassingen aan de stelschroeven kun je amper zien op het doosniveau maar zijn zeer duidelijk op het buisniveau.
- **De compensator** is een mechanisme die niveauverschillen kan detecteren. Het werkt met een mechanische slinger die loodrecht tussen twee sensoren hangt. Wanneer het toestel niet loodrecht staat zal de slinger afwijken in de richting van 1 van de sensoren. Wanneer die geraakt worden wordt er een signaal uitgezonden, zo wordt het toestel licht gecompenseerd. Hierop bestaat ook een variant met vloeistof.



3.1.5 Overige

- **Stelschroeven** zorgen voor de waterpas zetting van de theodoliet, nadat je het doosniveau geregeld hebt A.D.H.V. het statief kun je het buisniveau regelen met de stelschroeven.
- **Schietlood** dient om de theodoliet te gaan centreren boven een bepaald punt. Dit is noodzakelijk omdat alle metingen vanuit dit punt gebeuren en wanneer je in een bepaald coördinaten stelsel werkt, dit van essentieel belang is.
- **Het statief** is het onderdeel waarop de theodoliet gemonteerd is. Het bestaat uit drie poten waarvan je de lengte kan aanpassen. Dit is van essentieel belang om dat je vaak op oneffen terrein metingen moet gaan uitvoeren. Ook moet je door het aanpassen van de poten het doosniveau regelen.

4. Bibliografie

- Alain Muls & Alain Dewulf (2007) "Methodologie voor de nauwkeurigheidscertificatie van totaalstations met ondersteuning voor satellietplaatsbepaling" geraadpleegd op 8 december 2015 via:
http://www.belspo.be/belspo/organisation/publ/pub_ostc/ap/rap07_nl.pdf
- David A. WALLIS (2005). History of Angle Measurement. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/papers/ws_hs_01/wshs01_02_wallis.pdf
- Egyptian survey tools. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
http://www.surveyhistory.org/egyptian_surveying_tools1.htm
- First transit. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
http://www.surveyhistory.org/first_transit.htm
- History of wild and leica. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
<http://www.meyerinst.com/html/wild/>
- J.E. Alberda & J.B. Ebbinge (2003) inleiding landmeetkunde. (7^{de} druk). Delft: Delft Academic Press.
- Jesse Ramsden (2009). Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
<http://www.ramsden.info/Ramsden/Ramsdens/JesseRamsden.htm>
- Technical Data WILD Theodolite. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
http://www.wild-heerbrugg.com/technical_data_wild_theodolite.htm
- The great theodolite. Geraadpleegd op 30 november 2015 via:
http://www.surveyhistory.org/great_theodolite.htm

