

12. Boekbespreking: The Measure of All Things

Simon van der Salm

februari 2003

Abstract: book review of: “The measure of All Things” written by Ken Alder.

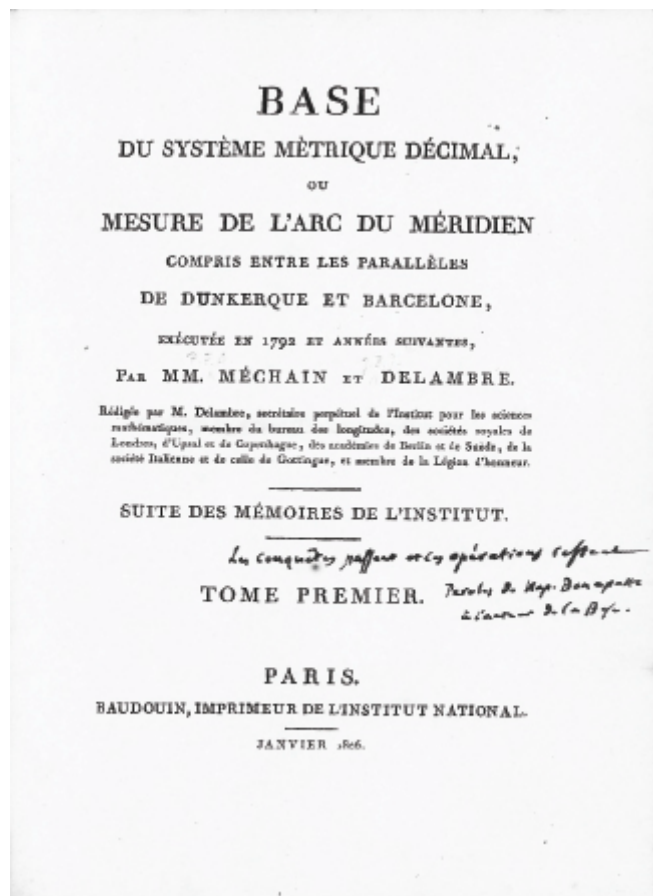
Keywords: measurement, history, meter.

De standaardmeter

Dit boek beschrijft de intrigerende geschiedenis van de standaardmeter, dat wil zeggen van de definitie van de standaardmeter, de daadwerkelijke bepaling van de lengte ervan en de geschiedenis van de acceptatie van de meter als universele eenheid.

Voor de Franse Revolutie hanteerde iedere gemeenschap – hoe klein ook - haar eigen maten en gewichten. Maten en gewichten verschilden niet alleen van streek tot streek, maar vaak ook van plaats tot plaats, of zelfs van parochie tot parochie. Deze verscheidenheid – een Babylonische toren van het meten - veroorzaakte schier onoplosbare problemen voor de handel en industrie en vormde een ernstige belemmering voor de economische ontwikkeling van de Europese landen, in het bijzonder Frankrijk. Dat er iets moest veranderen, was al lang duidelijk, maar zelfs de Franse koningen van de zestiende en zeventiende eeuw waren niet in staat hun onderdanen te overtuigen van de noodzaak van standaardmaten voor lengte en gewicht.

Wat de Franse koningen van het Ancien Régime niet bereikten, kon het nieuwe



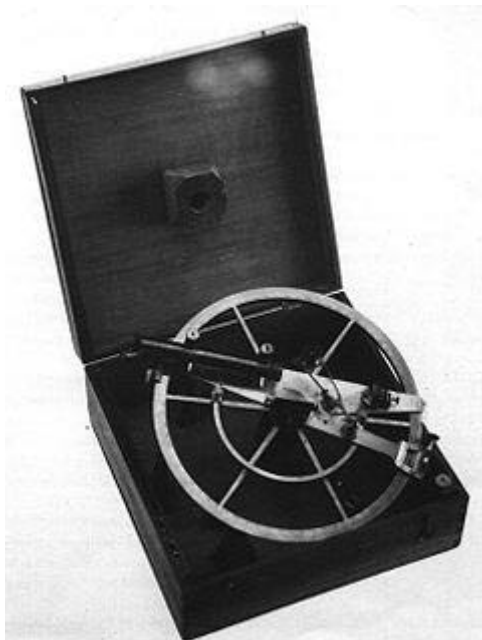
Figuur 1: de basis

democratische gelijkheidsideaal van de Franse Revolutie wel bewerkstelligen: de invoering van standaardmaten, “voor alle mensen, voor alle tijden”.

De standaardmaat voor lengte, de huidige meter, moest daarom universeel geldig zijn voor alle mensen op de gehele wereld en moest bijgevolg worden afgeleid van iets dat voor alle personen universeel was.

Franse geleerden van de Academie van Wetenschappen kwamen op het idee dat

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$



Figuur 2: herhalende cirkel van Borda: www.museon.nl

de aarde de gemeenschappelijke woonplaats van alle mensen was en dat alleen een van de aarde afgeleide maat de standaardmaat voor de lengte zou moeten zijn.

De Franse geleerden definieerden de standaardmeter als **één-tienmiljoenste deel** van de afstand van pool tot equator, gemeten over de meridiaan die over Parijs loopt.

Triangulatie

De lengte van een meridiaanboog kan worden bepaald door het, in beginsel, eenvoudige wiskundig procédé van de triangulatie. Ken je twee hoeken van een driehoek en de lengte van één der zijden, dan kun je de derde hoek en de lengte van de andere twee zijden, bijvoorbeeld via de *sinusregel*, eenvoudig berekenen:

Heb je een hele serie van aan elkaar grenzende driehoeken, waarbij twee driehoeken steeds tenminste één zijde gemeenschappelijk hebben, dan is het kennen van de lengte van slechts één driehoekszijde, naast het kennen van de hoeken in de serie driehoeken voldoende voor het kunnen berekenen van de lengte van alle zijden in de serie driehoeken. Die ene driehoekszijde, de *basaal* genaamd, moet je dus heel nauwkeurig meten, evenals de grootte van de verschillende hoeken, wil je uiteindelijk over een flinke afstand een bepaalde lengte kunnen bepalen, zonder dat je die lengte daadwerkelijk hoeft te meten.

Voor de punten van de driehoeken komen kerktorens, heuveltoppen en andere markante punten in het landschap in aanmerking. In de betreffende punten worden meetplatforms aangebracht met daarop geodetische en astronomische meetinstrumenten voor hoekmetingen. Nadat de metingen zijn verricht, moeten allerlei wiskundige correcties op de meetgegevens worden uitgevoerd, die noodzakelijk zijn wegens het niet plat maar bolvormig zijn van de aarde, het niet op zeeniveau liggen van de meridiaan en het geaccidenteerd zijn van het landschap.

Een Odyssee van 7 jaren

Nadat de Franse Academie van Wetenschappen besloten had tot de definitie van de standaardmeter als het één-tienmiljoenste deel van de afstand van noordpool tot evenaar, werd er een tot dan ongeëvenaard complex project gedefinieerd: het zo exact mogelijk vaststellen van die specifieke afstand door



Figuur 3: Jean-Baptiste-Joseph Delambre

het meten van de lengte van een deel van een meridiaan.

Men besloot een flink stuk van de Parijse meridiaan te gaan opmeten, namelijk het stuk tussen Duinkerken, precies ten noorden van Parijs gelegen, en Barcelona, dat nagenoeg exact ten zuiden van Parijs is gesitueerd.

Het project werd van zo'n groot belang gevonden dat de Franse Revolutie het succes ervan niet in de weg mocht staan. Ondanks de burgeroorlog werden Franse geleerden erop uitgestuurd om de noodzakelijke metingen te gaan verrichten. Dat dit niet het werk was voor "gewone" universitaire filosofen was wel duidelijk. Er waren zeer punctuele, volhoudende geleerden voor nodig, met flink wat kennis van wiskunde,

astronomie en meettechniek, die bovendien beschikten over een grote dosis onverschrokkenheid en gevoel voor avontuur. De Franse Academie van Wetenschappen vond deze kenmerken in twee astronomen: *Jean-Baptiste-Joseph Delambre en Pierre-Francois-André Méchain*.

Delambre kreeg de opdracht de lengte van het noordelijke deel van de meridiaanboog te meten, van Duinkerken tot Parijs, en indien nodig ten zuiden van Parijs verder te gaan. Méchain moest de zuidelijke portie, van Barcelona tot Parijs gaan opmeten.

In de zomer van 1792 begonnen de twee wetenschappers, ieder met een team van instrumentmakers en landmeters, aan de uitvoering van het project. Het opzetten en meten van de triangulatie, een serie driehoeken die zich rond de Parijse meridiaan slingerde, zou meer dan



Figuur 4: Pierre-Francois-André Méchain

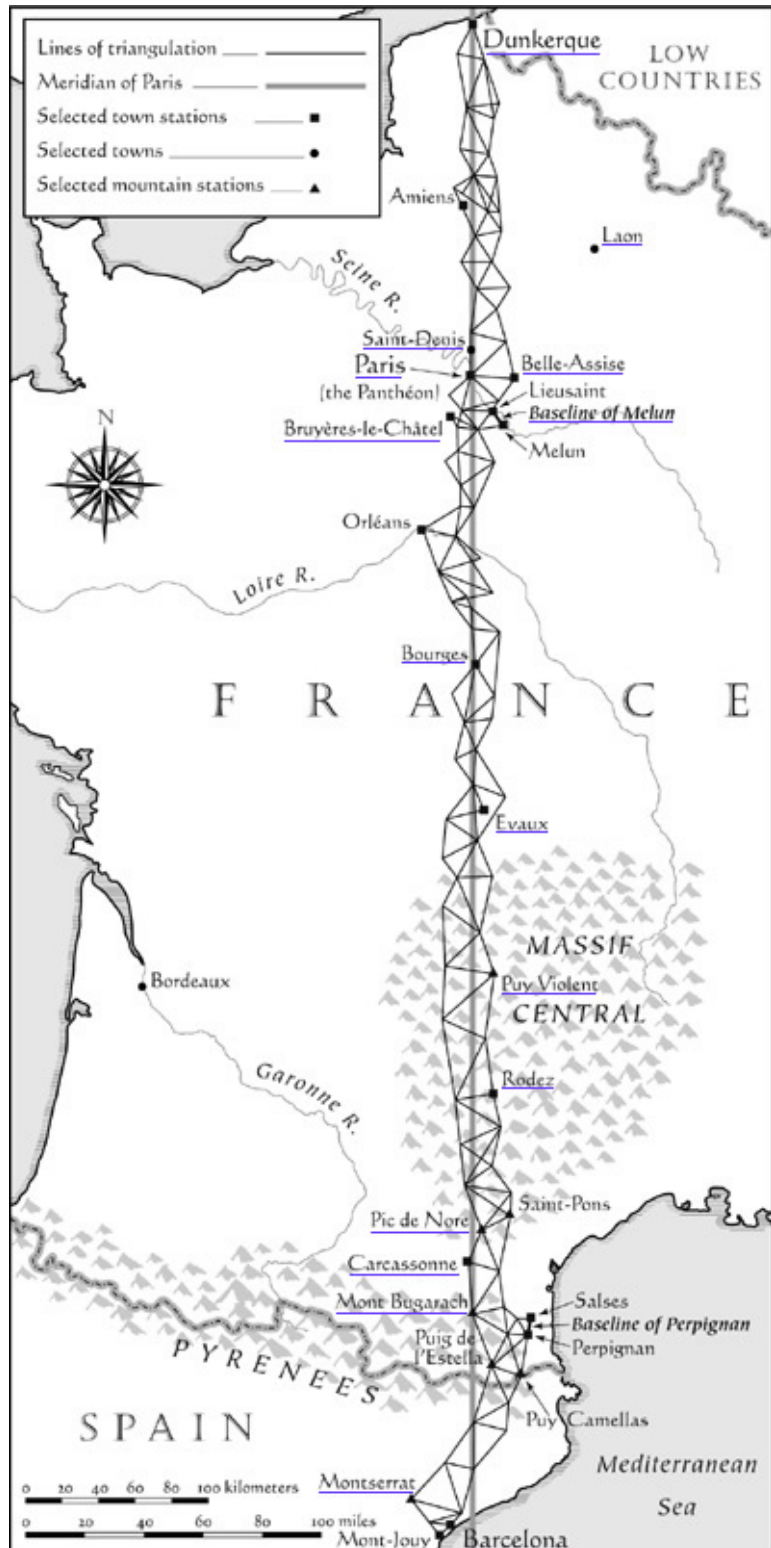
zes jaar in beslag nemen.

In 1799, min of meer gelijktijdig met het einde van de Franse Revolutie, werden alle Franse en internationale leden van de Academie van Wetenschappen naar Parijs ontboden. De knappe koppen berekenden de lengte van de meridiaanboog tussen het noordelijke Duinkerken en het zuidelijk gelegen Barcelona, op grond van de waarnemingen van Delambre en Méchain.

Een buitengewoon nauwkeurig resultaat

Het resultaat van deze verbluffende geschiedenis is al even verbluffend: de werkelijke afstand van noordpool tot equator over de Parijse meridiaan, gemeten met moderne satellieten, is 10.002.290 meter. Dus slechts 2.290 meter meer dan de 10.000 km van Delambre en Méchain. We kunnen natuurlijk ook zeggen dat de standaardmeter ongeveer $2,3 \cdot 10^{-4}$ [m] te klein is, althans als je uitgaat van de definitie van de Franse Academie van Wetenschappen.

Méchain besepte al in een vroeg stadium, als gevolg van zijn eigen controleberekeningen, dat



Figuur 5: de triangulatie over de Parijse meridiaan

hij ergens een meetfoutje had gemaakt, maar hield dat zo lang mogelijk geheim, net zoals hij heel lang zijn logboeken met de oorspronkelijke meetresultaten geheimhield. Door middelen van meetresultaten wist hij dit foutje voor de wiskundigen van de Academie te verdoezelen. Zoals we tegenwoordig in de statistiek leren, levert deze middeling uiteindelijk een beter resultaat, iets dat in de tijd van Méchain nog niet algemeen geaccepteerd was in de wetenschappelijke wereld. Méchain heeft eindelijk gezocht naar de oorzaken van zijn meetfout en beweerde tegenover de Academie dat de afwijking mogelijk een gevolg was van een loszittend schroefje op zijn *Borda-cirkel*, het geodetische instrument waarmee hij heel nauwkeurig hoeken kon meten.

Méchain deed veel van zijn driehoeksmetingen over, maar werd uiteindelijk door het ongeduld van de Frans Academie gedwongen zijn meetresultaten te overhandigen. Volledige correctie zou een enorme vertraging van het project tot gevolg hebben gehad. Het voorhanden zijn van een bruikbare standaardmaat voor de lengte vond men belangrijker dan de hyperexacte bepaling ervan, uitgaande van een tamelijk willekeurige definitie die is gebaseerd op zo iets aards als de lengte van een specifieke meridiaan.

Dat er ergens iets fout was gegaan, bleek ook tijdens het uitvoeren van de enorme aantallen controleberekeningen door een internationaal gezelschap van topwetenschappers, die in 1799 door de Academie voor het uitvoeren van de laatste berekeningen waren uitgenodigd. Doordat Méchain meer driehoeken had gebruikt dan strikt noodzakelijk, kon het meetfoutje gemakkelijk worden

gecompenseerd. Het overdoen van de metingen bleek helemaal niet noodzakelijk, iets dat de obsessieve Méchain maar moeilijk kon accepteren.

Alder laat zien dat de oorspronkelijke meetresultaten zelfs zo nauwkeurig waren dat de data van Delambre en Méchain tot een nauwkeuriger standaardmeter hadden kunnen leiden.

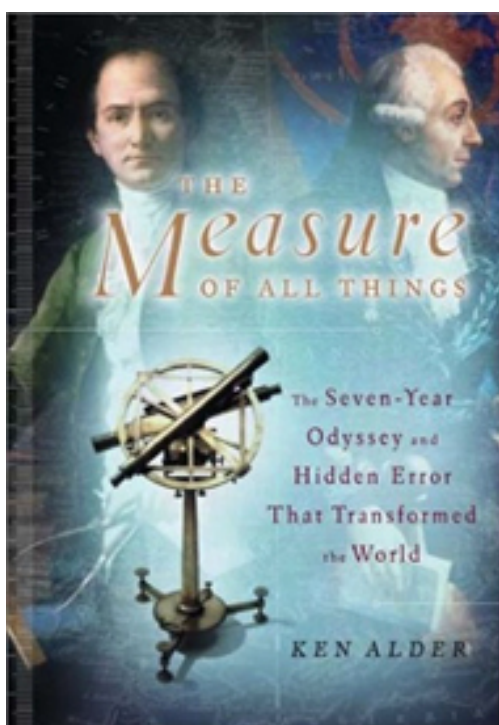


Figuur 6: een fraaie uitvoering van de Borda cirkel

Door de buitengewone nauwkeurigheid van hun metingen, lieten de twee astronomen zien dat de vorm van de aarde meer onregelmatigheden vertoont dan geleerden aanvankelijk vermoedden. De aarde kun je blijkbaar niet beschrijven als een simpele omwentelingsfiguur. De aarde is geen ingedrukte bol, met een platte top en bollende buik, maar heeft een veel onregelmatiger vorm, die uitsluitend

door grote precisiewaarnemingen kan worden opgemerkt.

De Franse Academie van Wetenschappen besloot, na felle discussies, een bekende, maar enigszins onjuiste correctie voor het niet-bolvormigzijn van de aarde, toe te passen op de meetresultaten van Delambre en Méchain, waardoor de uiteindelijke standaardmeter iets meer af



Figuur 7: titelpagina van het boek

ging wijken van het tien-miljoenste deel van de afstand tussen noordpool en evenaar, gemeten over de Parijse meridiaan.

Maatschappelijke aanvaarding van het metrieke stelsel

Het boek verhaalt, in de eerste plaats, de spannende belevenissen van de twee astronomen bij het uitvoeren van een eindeloos lijkend aantal driehoeksmetingen tijdens burgeroorlog,

hongersnood en epidemieën. Ken Alder beschrijft beeldend hoe de astronomen Delambre en Méchain te werk gingen, welke instrumenten zij gebruikten (onder andere de herhalende cirkels van Borda), welke moeilijke correcties ze moesten uitvoeren omdat het Franse landschap waarover de meridiaan loopt niet plat is, maar heuvels en zelfs bergen bevat en bovendien niet op zeeniveau ligt.

Daarnaast geeft Alder een beeld van de sociale, onderwijskundige en economische moeilijkheden, die het vervangen van de oude maten door de nieuwe standaardmaten met zich meebracht. Ook al vormden de oude maten voor gewicht en lengte een ratjetoe, ze waren vertrouwd in de hoofden van de mensen die ze dagelijks hanteerden. Ineens moesten de mensen gaan denken in andere standaardmaten, een proces dat vele jaren langer duurde dan het daadwerkelijk opmeten van de meridiaanboog van Duinkerken tot Barcelona.

Het metrieke stelsel heeft als kenmerk dat alle maten en gewichten *decimaal* zijn onderverdeeld. De wiskundigen van het continentale Europa realiseerden zich al in de achttiende eeuw dat het decimale stelsel voor het rekenen en de decimale verdeling van maten en gewichten complementair moeten zijn. Voor de Franse Revolutie waren allerlei niet-decimale verdelingen in gebruik, zoals nu nog de verdeling van Amerikaanse yards in 36 inches. Iedereen die wel eens met de Amerikaanse maten en gewichten werkt, weet hoe onhandig zo'n niet-decimale indeling van maten en gewichten is.

Tegenwoordig hanteren de Amerikaanse wetenschappers en technici zoveel mogelijk de eenheden van het SI-stelsel,

dat gebaseerd is op het achttiende eeuwse metrieke stelsel. Zij werken echter in het leven van alledag, evenals de leek, nog steeds met inches, yards en andere, voor ons Europeanen, obscure eenheden en onderverdelingen. Tot welke rampen dat kan leiden, laat het ongeluk met de Mars Climate Orbiter in 1999 zien.

Overigens hebben diverse wetenschappers al ruim voor de Franse Revolutie gepleit voor decimale indelingen van maten en gewichten. Otto van Poelje merkt op, dat de ons aller bekende Gunter (van de Gunter-liniaal) voorstelde om de indeling van graden decimaal te maken, in plaats van de onhandige verdeling van graden in 60 minuten en van minuten in 60 seconden. Verzamelaars van rekenlinialen weten hoeveel tijd het heeft gekost voordat fabrikanten linialen gingen produceren met decimale schaalverdelingen voor graden. Opmerkelijk is dat Gunter zijn “chain” een lengte gaf van 22 yards, maar dat de ketting wel 100 knopen bevatte.

Ook Simon Stevin en Christiaan Huygens pleitten in de 17^e eeuw voor standaardmaten en –gewichten, die bovendien decimaal zouden moeten worden onderverdeeld, maar het zou nog lang duren voordat hun pleidooi gehoor vond.

Naschrift: Otto van Poelje, die de review van deze boekbespreking heeft gedaan, wees me op het feit dat de Nederlandse wetenschapper Jean-Henri van Swinden nauw betrokken was bij het bepalen van de lengte van de meridiaanboog over Parijs.

Alder noemt Van Swinden terloops. Het boek “Van Stevin tot Lorentz”, dat in 1980 door Intermediair werd uitgegeven,

Alder laat zien dat het opgeven van vertrouwde maten en gewichten veel maatschappelijke weerstand oproept. Europeanen kunnen zich de moeilijkheden voorstellen als vertrouwde maten – hoe dwaas ze misschien op het eerste gezicht ook lijken – worden vervangen door betere, maar nog niet vertrouwde. Denkt u maar aan de Euro.

Kortom, Alder beschrijft een belangrijk stukje wetenschapsgeschiedenis dat velen onbekend zal zijn, ingebed in de sociale geschiedenis van Frankrijk en het continentale Europa, tijdens en kort na de Franse Revolutie.

Titel: “The Measure of all Things, The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World”;

Aantal blz: 422;

Schrijver: Ken Alder;

Uitgever: The Free Press, New York;

ISBN:0-7432-4431-1

Prijs: 15 dollar.

De schijver van het boek, Dr. Ken Alder heeft een website die het bezoeken meer dan waard is: www.kenalder.com
De figuren 1, 3, 4, 5, 6 en 7 zijn met toestemming gekopieerd van de website van Dr. Alder.

besteedt een heel hoofdstuk (geschreven door J. Bot en R. Muijlwijk) aan Van Swinden, die werkelijk een van Nederlands grote wetenschappers van eind 18^e, begin 19^e eeuw is geweest, maar over wie merkwaardigerwijs niet veel bekend is bij het grote publiek, behalve dan dat veel grote plaatsen een Van Swinden-sstraat, laan of plein hebben.

Ook de bekende History of Mathematics website van de St-Andrews University in Schotland heeft geen verwijzing naar Van Swinden, terwijl Van Swinden toch niet onverdienstelijk voor de wiskunde is geweest.

Van Swinden was lid van alle grote Europese wetenschappelijke genootschappen. In het bijzonder was hij een zeer gewaardeerd lid van de

Académie des Sciences in Parijs. Hij werkte in 1798 en 1799 nauw samen met Delambre bij de berekening van de lengte van de meridiaanboog tussen Parijs en Barcelona.

Van Swinden is voor Nederland van groot belang geweest bij de invoering van het metrieke stelsel. Niet voor niets heet het Nationaal Standaarden Laboratorium het "Van Swinden Lab".

(Advertentie)

Zoekt u nog een uitdagende en interessante job??

Gevraagd per 1 december 2003 een

REDACTEUR

voor de MIR.

Reacties bij: Simon van der Salm:

simon.van.der.salm@planet.nl