

Jules Verne in het natuurkundeonderwijs

Deel 1: De reis naar de maan

Jules Verne staat bekend als een van de grootste Franse schrijvers uit de negentiende eeuw. Hij wordt tevens als een van de grondleggers van het sciencefictiongenre gezien. Vanuit een natuurkundig oogpunt zijn met name de boeken uit zijn Gunclub-trilogie erg interessant. In het eerste deel van een tweetal artikelen behandelen we de eerste twee werken uit deze trilogie. We zullen onder andere zien hoe deze twee delen interessante en bruikbare casussen voor middelbare scholieren kunnen opleveren.

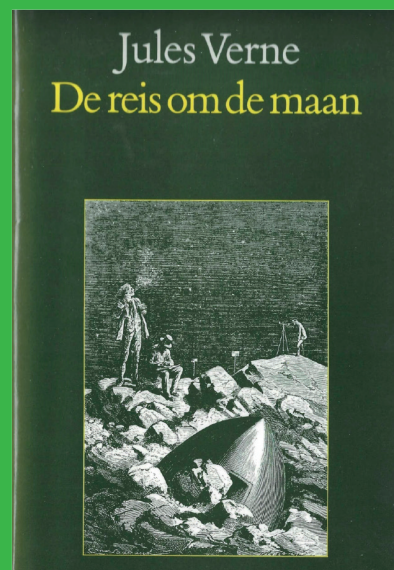
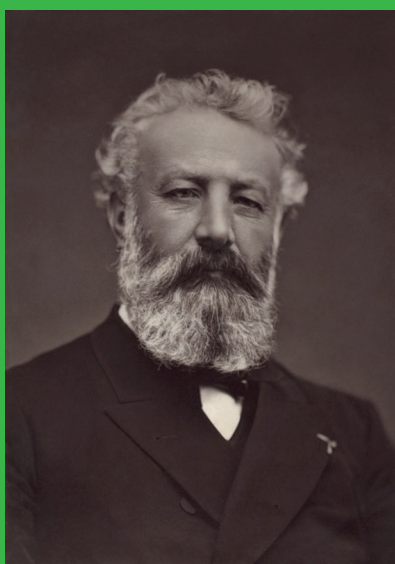
Jules Verne wordt in 1828 geboren in Nantes, Frankrijk. Tijdens zijn rechtenstudie in Parijs komt hij er al snel achter dat zijn hart bij het schrijven van verhalen ligt. Na het schrijven van wat onbekender werk komt Verne in 1862 uiteindelijk in contact met Pierre-Jules Hetzel, een uitgever waar Verne tot Hetzels dood in 1886 een zeer productieve samenwerking mee heeft. In deze periode schrijft Verne overwegend romans die zich positief uiten over wetenschap en techniek. Zelf beschrijft Verne zijn boeken als *romans scientifique*; ze bevatten dan ook veel verwijzingen naar aardrijkskundige en natuurwetenschappelijke feiten en principes. De romans van Verne hebben niet alleen als doel om jong en oud te vermaken, ze dienen bij de

lezer ook interesse op te wekken voor zaken zoals scheepvaart, geografie en natuurwetenschappen. Bekende verhalen die Verne in deze tijd schrijft zijn onder andere *Naar het middelpunt der aarde*, *20.000 mijlen onder zee*, *Vijf weken in een luchtballon* en *De reis om de wereld in 80 dagen*. Uit deze periode stammen ook de eerste twee delen uit de Gunclub-trilogie: *Van de aarde naar de maan* (1865) en *De reis om de maan* (1870) (figuur 1).

Korte samenvatting eerste twee delen

De eerste twee delen zijn ook als één boek uitgegeven onder de titel *De reis naar de maan in 28 dagen en 12 uren* [3] en vormen eigenlijk één doorlopend verhaal. In het kort: een Amerikaanse kanonnenvereniging (Gunclub) wil na

de Amerikaanse burgeroorlog een zeer groot kanon maken dat een projectiel naar de maan zal kunnen schieten. Er wordt onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van dit idee en na enige berekeningen wordt er begonnen met de bouw van het kanon, dat de naam Columbiad krijgt. Als Michel Ardan, een Franse journalist, lucht krijgt van deze plannen komt hij langs met het voorstel om zelf in het af te schieten projectiel mee te reizen. Hij krijgt uiteindelijk de voorzitter van de Gunclub, Barbicane, en diens rivaal Nicholl zover om met hem mee te gaan. Er wordt vervolgens gewerkt aan een aantal technische uitdagingen om de inzittenden zowel de lancering als de reis te laten overleven. Het eerste deel eindigt met de lancering, waarna het onzeker blijft hoe het met de inzittenden van



Figuur 1. Links: foto van Jules Verne op ongeveer vijftigjarige leeftijd, gemaakt door Étienne Carjat. Midden en rechts: de Nederlandse vertalingen uitgegeven door Loeb in 1985 [1,2].

het projectiel is afgelopen.

In het tweede deel worden de belevenissen van de drie mannen tijdens hun reis in de ruimte beschreven. Hoewel de inzittenden door de lancering bewusteloos zijn geraakt, komen ze toch snel weer bij. Door een ontmoeting met een onbekend hemellichaam, wat een klein tweede maantje van de aarde blijkt te zijn, verandert het projectiel onverwachts van koers. Het projectiel komt in een baan om de maan terecht, waardoor de inzittenden de kans krijgen om de achterzijde van de maan voor de allereerste keer te bestuderen. Na een volledige ronde om de maan lukt het de reizigers om, door gebruik van vuurpijlen, het projectiel weer naar de aarde te sturen. Uiteindelijk stort het projectiel neer in de Atlantische oceaan, waarna de inzittenden ongeschonden uit de drijvende capsule worden gered.

Berekeningen aan de beweging van het projectiel

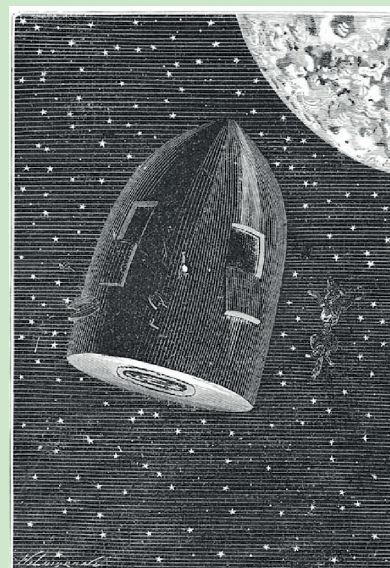
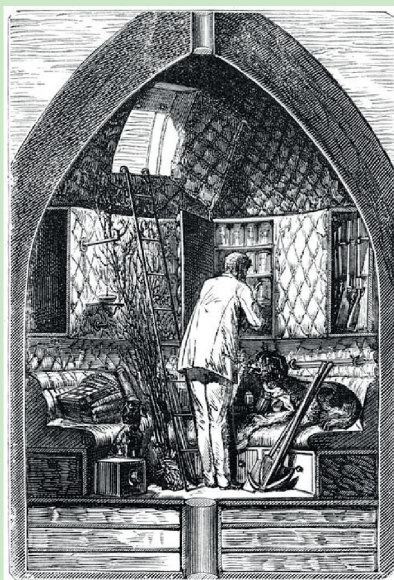
Verne beschrijft in meerdere fragmenten uitvoerig de technische en natuurwetenschappelijke details van de maanreis, waaronder de exacte dimensies van het kanon en projectiel.

Hierdoor is het in veel gevallen mogelijk om met behulp van wat eenvoudige natuurkunde meer inzicht te krijgen in de (on)mogelijkheden van het experiment. Zo wordt in *Van de aarde naar de maan* het ontwerp en de bouw van de Columbiad uitvoerig beschreven. De Columbiad is een ingegraven kanon van maar liefst 297 meter lang, waarvan de onderste 53 meter wordt gevuld met kruit. Hierdoor blijft er voor het projectiel nog 244 meter over om in te versnellen. Verne geeft aan dat de snelheid waarmee de capsule het projectiel verlaat, gelijk moet zijn aan zo'n 15.200 m/s, wat iets meer is dan de benodigde ontsnappings-snelheid in verband met de verwachte luchtwrijving. Met deze gegevens kunnen we zelf gemakkelijk de versnelling berekenen die de passagiers tijdens de lancering ondervinden. Uitgaande van een eenparig versnelde beweging in de loop, waarbij een eindsnelheid van 15.200 m/s wordt bereikt, komen we op een versnelling van maar liefst 473 g! Dat dit uiteraard niet te overleven valt, was ook voor Verne evident. Hij laat zijn personages dit probleem oplossen door aan de onderkant van het projectiel drie compartimenten

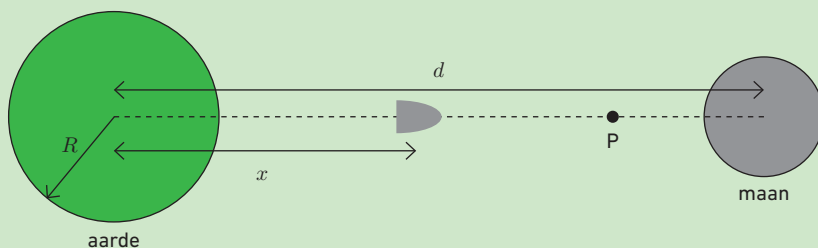
aan te brengen die met water worden gevuld. Dit water wordt tijdens de lancering eruit geperst, wat de klap zou moeten dempen (figuur 2a en 2b). Dat deze demping in werkelijkheid nauwelijks effect zal hebben, kan eenvoudig worden nagerekend. Verne zal dit zelf ook hebben beseft, maar heeft hiermee de eerste bedenkingen en tegenwerpingen van de lezer op enigszins geloofwaardige manier willen ondervangen.

Een tweede berekening kan worden uitgevoerd met een vergelijking die in *De reis om de maan* wordt beschreven. In het betreffende fragment bediscussieren de drie ruimtereizigers de minimale beginsnelheid waarmee de capsule de maan nog nèt kan bereiken. Een van de reizigers leidt vervolgens de formule hiervoor af. De afleiding is gebaseerd op behoud van energie, waarbij rekening wordt gehouden met de aantrekking van de capsule door de aarde én de maan. De correcte vergelijking is in de Franse editie ook afgedrukt in de tekst:

$$\frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) = gR\left\{\frac{R}{x} - 1 + \frac{m}{M}\left(\frac{R}{d-x} - \frac{R}{d-R}\right)\right\} \quad (1)$$



Figuur 2. Prenten uit *Van de aarde naar de maan* en *De reis om de maan* [3]. Links: doorsnede van de capsule met aan de onderkant de drie schotten met water dat als demping dient bij lancering. Midden: lancering van de capsule. Het kanon bevindt zich geheel in de aarde. Rechts: de capsule in de nabijheid van de maan.



Figuur 3. Weergave van de situatie bij vergelijking 1. Op punt P is de zwaartekracht van de aarde even sterk als die van de maan.

met g de valversnelling aan het aardoppervlak, M de massa van de aarde, m de massa van de maan, d de afstand maan-aarde (centrum tot centrum), R de straal van de aarde, x de afstand vanaf het centrum van de aarde tot de positie van de capsule, v_0 de beginsnelheid direct na lancering en v de snelheid op afstand x van de aarde (figuur 3).

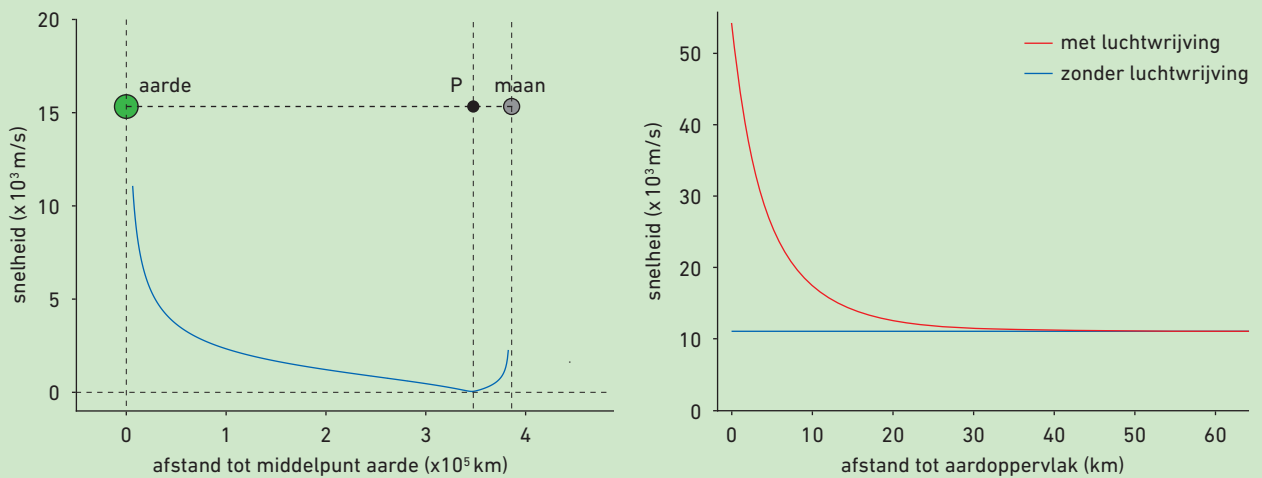
Vergelijking 1 leidt in het boek tot de juiste ontsnappingssnelheid van zo'n 11.000 m/s, indien luchtweerstand volledig kan worden verwaarloosd. Verne was heel consciëntieus bij het uitwerken van de wiskunde en vroeg zijn uitgever dan ook om niet tot publicatie over te gaan voordat hij zijn berekeningen uitvoerig had laten controleren

door zijn neef Henri Garcet, die als docent wiskunde werkzaam was op het Lyceum Henri IV in Parijs [4]. Veel van de hier geschetste natuurkunde komt in de bovenbouw van havo en vwo aan de orde. Hierdoor kunnen verschillende fragmenten uit Verne's boeken dienen als een fictieve context bij het domein Mechanica. Verder zou de afleiding van vergelijking 1, door een docent voorgedaan, zeker te volgen moeten zijn voor een vwo-leerling.

Conceptuele onjuistheden in het boek

Ondanks het feit dat Verne grondig te werk is gegaan bij het schrijven van deze boeken, en zich bewust

heeft getoond van de technische moeilijkheden van een dergelijke maanreis, komen er toch nog enkele natuurkundige misconcepten in het verhaal voor. Onder andere Camille Flammarion, Frans sterrenkundige, heeft Verne aangesproken op de wetenschappelijke onjuistheden in zijn werken [5]. Als Verne in 1888 aan Albert Badoureaux opdracht geeft voor een wetenschappelijke verhandeling waarop hij zijn derde deel in de Gunclub-trilogie kan baseren, krijgt hij daarmee ook de nodige feedback op de wetenschappelijke inhoud van de eerste twee delen [6]. Een aantal daarvan gaan over natuurkundige misconcepten die in het boek voorkomen. De volgende twee misconcepten zijn



Figuur 4. Snelheid van de capsule als functie van de positie wanneer deze met net voldoende snelheid wordt afgeschoten om de maan te bereiken. Links: volledig traject aarde-maan als wrijving kan worden verwaarloosd. Merk op dat de snelheid in punt P nagenoeg nul is. Rechts: de effecten van wrijving zijn met name over de eerste 50 km zichtbaar (rode lijn). Daarna overlappen beide lijnen volledig gedurende de rest van het traject. De afname in snelheid ten gevolge van zwaartekracht is gedurende dit interval te klein om waar te nemen (blauwe lijn).

met name de moeite van het vermelden waard, aangezien ze ook bij leerlingen en studenten regelmatig worden aangetroffen. Het opvallendste misconception is dat van de gewichtloosheid.

In *De reis om de maan*, bereiken de drie reizigers alleen gewichtloosheid op het moment dat de zwaartekracht van de maan die van de aarde exact opheft (punt P in figuur 3). Totdat dit punt is bereikt, neemt het gewicht van de voorwerpen en reizigers gestaag af. Aangezien de capsule na het verlaten van de dampkring in vrije val verkeert, zouden we verwachten dat de reizigers continu gewichtloosheid ervaren. Volgens Verne wordt gewicht veroorzaakt door de wrijving met de lucht. Deze onjuiste definitie van gewicht en gewichtloosheid verklaart echter niet waarom de voorwerpen in de capsule wel gewicht blijven houden. Het is duidelijk dat Verne de buitenkant van de capsule natuurkundig gezien anders behandelt dan de binnenkant [7]. Het blijft echter de vraag of Verne dit zelf verkeerd heeft begrepen of dat dit een bewuste aanpassing is geweest ten behoeve van het verhaal. Wél weten we dat Verne later door Badoureau schriftelijk op deze vergissing is gewezen.

Volgens Badoureau zou een continue durende gewichtloosheid het verhaal zelfs ten goede zijn gekomen.

Een tweede misconception doet zich voor als de capsule, na punt P te hebben bereikt, met de bodem van de aarde naar de maan toe draait. Er is echter geen enkel extern krachtmoment dat deze rotatie zou kunnen verklaren. Volgens Verne vindt de rotatie plaats omdat het zwaartepunt van de capsule, dat ongeveer bij de bodem van de capsule ligt, altijd naar de bron van de sterkste zwaartekracht gericht moet zijn. Dit onjuiste denkbeeld lijkt door Verne te zijn gekoppeld aan het vorige misconception. De reizigers, na punt P te hebben gepasseerd, krijgen volgens Verne weer gewicht in de richting van de maan. Als de capsule niet zou draaien dan zouden de reizigers op het plafond van de capsule komen te staan. Badoureau heeft Verne ook op deze denkfout opmerkzaam gemaakt. De fragmenten waarin deze (en andere) misconcepten worden beschreven, kunnen prima worden voorgelegd aan scholieren en studenten. Dat deze denkbeelden ook in de werken van Verne voorkomen, benadrukt maar weer hoe hardnekkig sommige misconcepten kunnen zijn.

Modelleren van de reis

Verne geeft aan dat de snelheid van de capsule door luchtwrijving met een derde zal afnemen. Het wordt echter niet duidelijk, hoe hij aan deze afname komt. Ook Badoureau stelt deze waarde later nog ter discussie, aangezien de onderbouwing hiervan geheel ontbreekt. In eerste opzicht lijkt een reductie van de snelheid met een derde deel behoorlijk optimistisch. We weten inmiddels dat voorwerpen die met grote snelheid zonder enige bescherming door de atmosfeer bewegen, kunnen opbranden. Met de snelheid die de capsule bij lancering heeft, zou daar zeker sprake van kunnen zijn. Negeren we echter dit verschijnsel en kijken we alleen naar het effect van de luchtwrijving op de snelheid, dan kunnen we ons de vraag stellen in hoeverre de schatting van Verne juist was. Deze vraag kan worden beantwoord door de reis van de aarde naar de maan dynamisch te modelleren in bijvoorbeeld Coach of Matlab. We modelleren hiermee een rechtlijnige beweging waarbij drie krachten een rol spelen: de gravitatiekracht van de aarde, de gravitatiekracht van de maan en de kracht veroorzaakt door wrijving met de atmosfeer van de aarde. Deze



Figuur 5. Beeld van Jules Verne in Vigo, Spanje. Foto: Wikimedia - Zarateman.

laatste kracht kunnen we beschrijven met:

$$F_w = \frac{1}{2} C_w A \rho(h) v^2 \quad (2)$$

met A het frontaal oppervlak van de capsule, C_w de vormfactor (die voor een conische capsule ongeveer 0,5 zal zijn) en $\rho(h)$ de dichtheid van de lucht op hoogte h . De laatste kan worden benaderd door de hydrostatische grondvergelijking:

$$\rho(h) = \rho_0 e^{-mgh/kT} \quad (3)$$

waarbij m de gemiddelde massa van een luchtmolecuul is (28,96 atomaire massa-eenheden), h de hoogte boven het aardoppervlak en $\rho(0)$ de dichtheid van lucht aan het aardoppervlak (1,225 kg/m³). Verdere gegevens die we nodig hebben zijn het frontale oppervlak van de capsule (ongeveer 6,5 m²) en de massa van de capsule naar het uitpersen van het water (ongeveer 10.000 kg).

Maken we hiermee een eenvoudig model, dan vinden we al snel dat er een reductie in snelheid plaatsvindt van ongeveer een factor vijf (figuur 4). De benodigde snelheid om de maan te halen zonder luchtweerstand bedraagt volgens het model 11.074 m/s. Met luchtweerstand wordt die 54.281 m/s. Hieruit volgt dat de schatting van Verne inderdaad te voorzichtig was.

Tot slot

We hebben gezien dat de eerste twee boeken uit de Gunclub-trilogie op meerdere manieren in het natuurkundeonderwijs ingezet kunnen worden. De beschreven mechanica is veelal rechtlijnig van aard, waardoor er in de bovenbouw van havo/vwo het een en ander aan kan worden gerekend of gemodelleerd. Conceptueel staan er enkele fouten in die zeker de moeite waard zijn om met leerlingen of studenten te bespreken. Volgende maand, in deel twee van dit tweeluik behandelen we het laatste

boek uit de Gunclub-trilogie, *Een schot in de lucht*, dat Verne natuurkundig beter heeft onderbouwd dan zijn eerste twee delen. Het verhaal is vrijwel geheel gebaseerd op rotatiemechanica en bevat met name voor het tertiair onderwijs een interessante casus.

Roger Rikken studeerde natuurwetenschappen aan de Radboud Universiteit en promoveerde daar vervolgens op het gebied van de supramoleculaire fysica. Hij is momenteel werkzaam als leraren-opleider natuurkunde bij de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (HAN). roger.rikken@han.nl

REFERENTIES

- 1 J. Verne, *Van de aarde naar de maan* (1985).
- 2 J. Verne, *De reis om de maan* (1985).
- 3 J. Verne, *De reis naar de maan in 28 dagen en 12 uren* (1916) <https://gutenberg.org/ebooks/27309>.
- 4 Jean Jules-Verne, *Jules Verne* (1976).
- 5 E. Franquinet, *Jules Verne, zijn persoon en zijn werk* (1942).
- 6 A. Badoureaux, *Le Titan Moderne* (2005).
- 7 P. Lazos, *Around the moon. False scientific ideas in the famous book of Jules Verne, *Almagest* 10*, p 92 (2019).