

# Klimaatreconstructies met het landschap van Mars



Wouter Marra en Tjalling de Haas doen hun promotieonderzoek over het landschap van Mars aan de Universiteit Utrecht. Ze bootsen landschappen na in het laboratorium en gebruiken deze kennis om het oppervlak van Mars te verklaren. Kennis over de processen die deze planeet vorm hebben gegeven is belangrijk om het vroegere klimaat te reconstrueren.

Door Wouter Marra & Tjalling de Haas van de Universiteit Utrecht

## Koud en droog

Robots op het oppervlak en satellieten in een baan om Mars hebben het huidige klimaat op Mars goed in kaart gebracht. Voor het grootste gedeelte van het jaar komt de temperatuur niet boven het vriespunt uit en het is er kurkdroog.

Dat het zo droog is op Mars is niet verwonderlijk. De luchtdruk op Mars is ongeveer 600 Pascal, minder dan een duizendste van de luchtdruk op de aarde. Met zo'n lage luchtdruk kan vloeibaar water niet bestaan. Het komt er alleen voor als ijs op de polen of als waterdamp in wolken.

Hoewel er nu geen vloeibaar water op Mars voorkomt, is dat er vroeger wel ge-

weest. Want net als op de aarde, is het klimaat op Mars niet altijd hetzelfde geweest. Variaties in de baan en oriëntatie van de rotatie-as van beide planeten zorgen voor cyclische klimaatveranderingen op tijdschalen van tienduizenden tot miljoenen jaren. Op de aarde veroorzaken variaties van 2-3° in de oriëntatie van de aardas grote verschillen in het klimaat, zoals de ijstijden. De stand van Mars ten opzichte van de zon varieert met wel 15-35°. Het effect op het klimaat van deze schommelingen is dan ook erg groot.

Op langere tijdschalen van miljarden jaren spelen andere factoren een grote rol. Mars heeft vroeger waarschijnlijk een dikkere atmosfeer gehad, maar deze

is door de beperkte zwaartekracht weggevaaid. Daarbij komt dat Mars in zijn vroege jaren heel veel vulkanisme had. Zo veel zelfs, dat de atmosfeer bij vlagen bestond uit sterke vulkanische broeikasgassen die de boel kortstondig opgewarmd kunnen hebben.

## Klimaatreconstructie

De huidige meetinstrumenten op en rond Mars meten slechts de huidige situatie. Het vroegere klimaat kan slechts gereconstrueerd worden met klimaatmodellen. Op de aarde kunnen we het klimaat reconstrueren aan de hand van kilometers diepe afzettingen in de zee, ijskappen of in gesteenten. Voor deze reconstructies zijn de aanwezigheid van biologische restanten essentieel. Op Mars is geen gesteente archief en al helemaal geen sporen van leven.

Het landschap van Mars geeft belangrijke informatie over het vroegere klimaat. Het oppervlak is in de afgelopen miljarden jaren uitzonderlijk goed bewaard gebleven. In tegenstelling tot onze eigen planeet, waar plaattektoniek en biologische activiteit het oppervlak voortdurend uitwissen.

Op Mars zien we de restanten van grote en kleine riviersystemen, overblijfselen van landijs en sporen van grondwateruitstroming en sneeuwsmelt. Als je begrijpt hoe deze landschappen zijn ontstaan, kan je ook iets zeggen over het klimaat dat daar voor nodig is geweest. Dat water een grote rol heeft gespeeld bij de vorming van Mars is duidelijk. Hoeveel en hoe lang er vloeibaar water is geweest zijn daarbij de belangrijkste vragen voor de overkoepelende vraag: 'Was er ooit leven op Mars?'

## Het landschap van Mars geeft belangrijke informatie over het vroegere klimaat

### Landschapssimulaties

We weten veel van het ontstaan van landschappen, maar deze kennis is beperkt tot de processen die hier op de aarde spelen. Het landschap van Mars lijkt soms wel wat op dat van de aarde, maar er zijn ook hele grote verschillen. Op Mars lijken de grootste rivieren spontaan te ontspringen uit de grond. Dit duidt op een bron van grondwater en komt op de aarde slechts in een paar kleine gevallen voor. Benedenstrooms wordt water en zand afgezet in puinwaaiers. De vorm en samenstelling van deze waaiers geven belangrijke informatie over de verhouding water en zand en over de tijdsduur van de aanwezigheid van vloeibaar water. Op de aarde kunnen we naar een

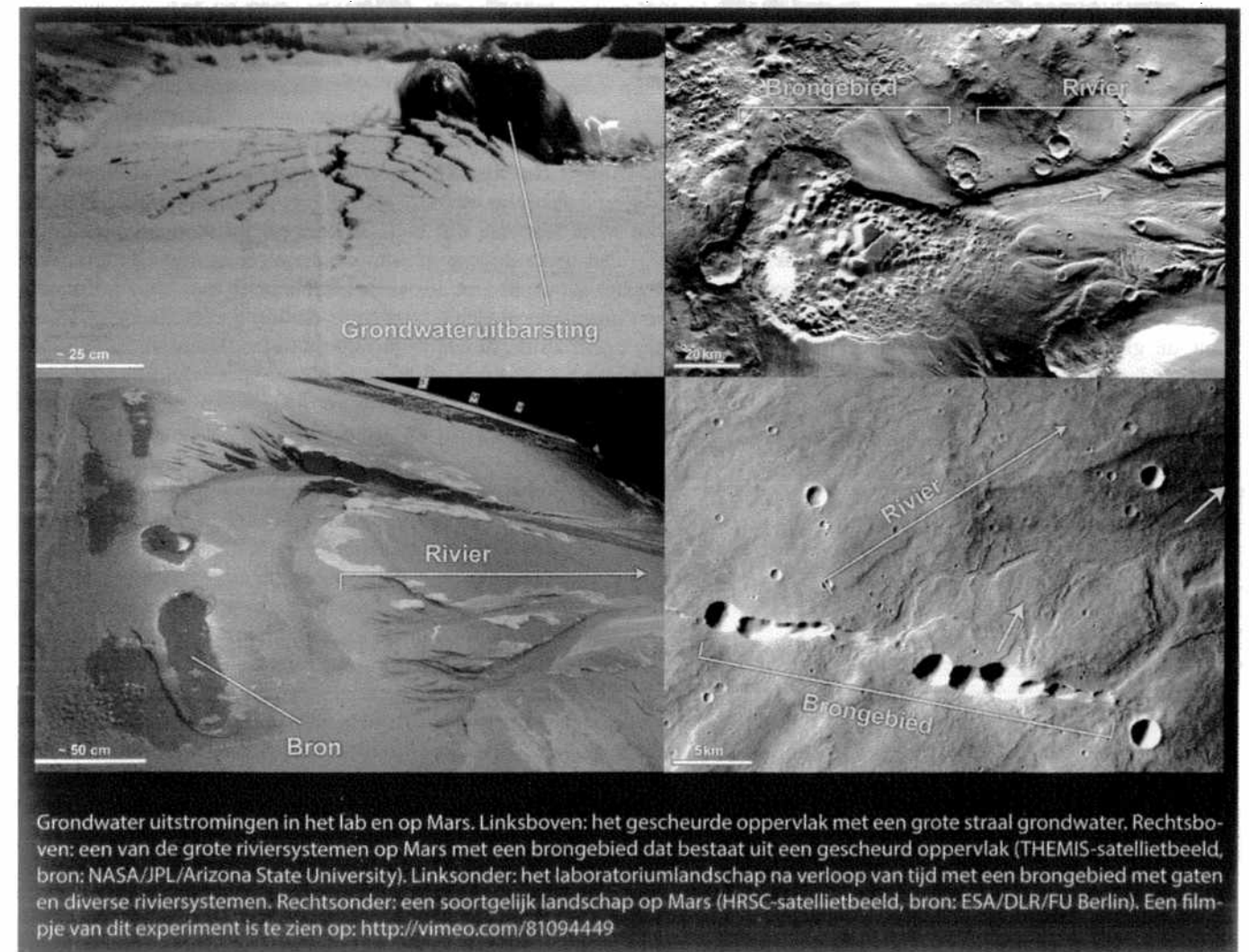
afzetting toelopen en metingen doen, op Mars moeten we het doen met satellietbeelden.

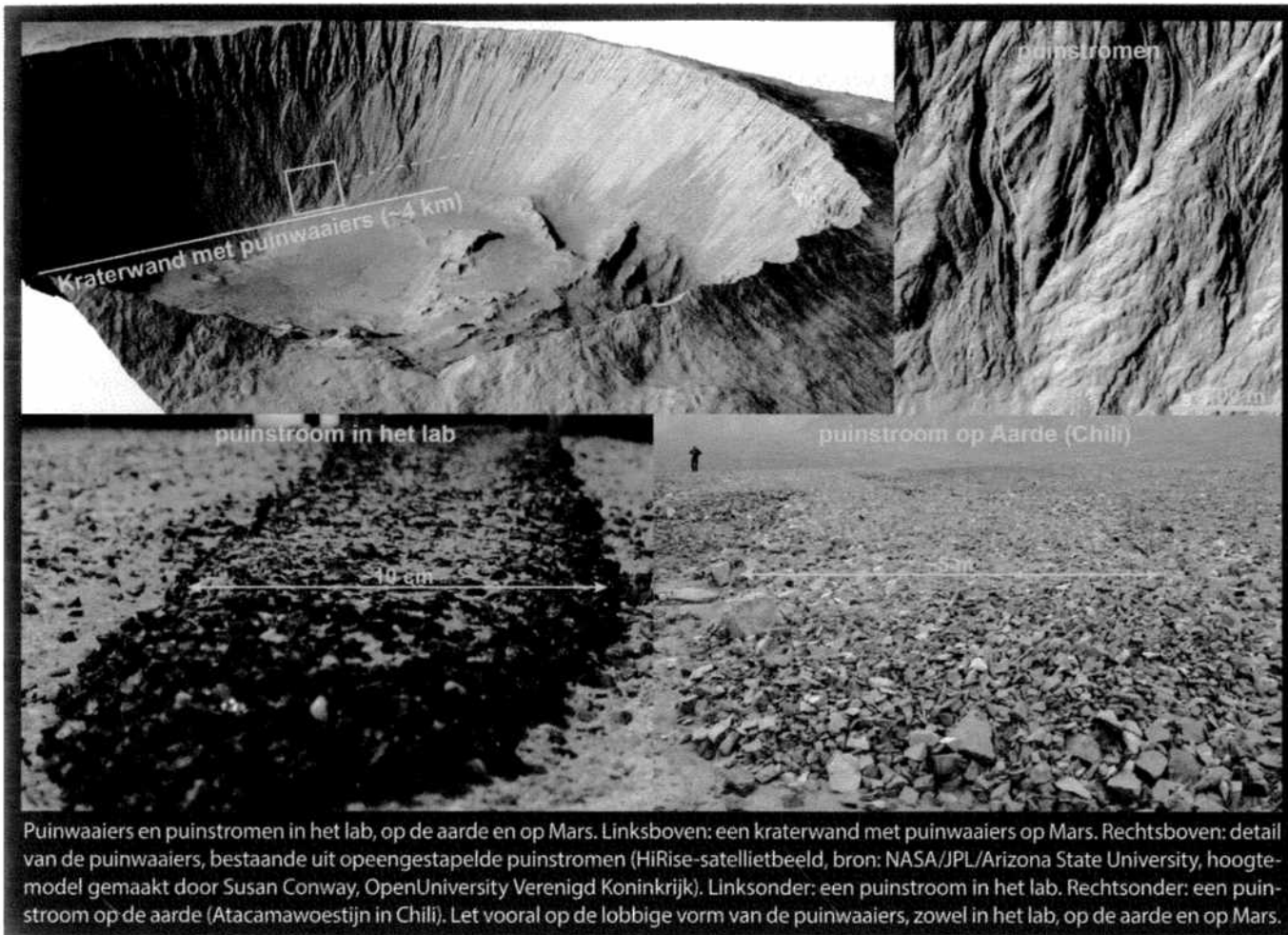
Om toch zinnige uitspraken te kunnen doen over landschappen die we niet kennen of zonder veldwaarnemingen, bootsen we ze na in ons laboratorium. In deze experimenten kunnen we bijvoorbeeld grondwater een rivier laten maken en puinwaaiers met verschillende samenstellingen maken. De elementen in deze mini-landschappen gebruiken we om het landschap op Mars te interpreteren.

### Grondwater uitbarstingen

In één van de experimenten hebben we uitstroming van grondwater onder druk, dat vrijkomt doordat een afsluitende laag breekt. Het oppervlak begint te breken en te scheuren totdat plotseling een grote stroom water uitbarst. Na de uitbarsting worden er lobben van zand afgezet en vervolgens snijdt een vallei zich in het landschap.

Dit experiment toont een uniek landschap en op Mars zijn diverse elementen hieruit terug te vinden. Diverse lobben van zand en modder lijken hun oorsprong te vinden uit scheuren en spleten en zijn vermoedelijk veroorzaakt door uitstromend grondwater. Maar er zijn ook diverse grote gaten te vinden waar het oppervlak lijkt te zijn opengebarsten. Deze gaten zijn vaak de bron van enorme valleien waar heel lang geleden grote hoeveelheden water doorheen stroomden. Deze valleien hebben zich waarschijnlijk in slechts een paar weken gevormd, maar zijn veel groter dan de grootste rivieren op de aarde.





Puinwaaiers en puinstromen in het lab, op de aarde en op Mars. Linksboven: een kraterwand met puinwaaiers op Mars. Rechtsboven: detail van de puinwaaiers, bestaande uit opeengestapelde puinstromen (HiRISE-satellietbeeld, bron: NASA/JPL/Arizona State University, hoogtemodel gemaakt door Susan Conway, OpenUniversity Verenigd Koninkrijk). Linksonder: een puinstroom in het lab. Rechtsonder: een puinstroom op de aarde (Atacamawoestijn in Chili). Let vooral op de lobbige vorm van de puinwaaiers, zowel in het lab, op de aarde en op Mars.

### Puinstromen

De jongste aanwijzingen voor vloeibaar water op Mars komen van kleine puinwaaiers onder aan de wanden van inslagkraters. Op sommige van deze puinwaaiers heeft minder dan een miljoen jaar geleden nog water gestroomd, toen de stand van Mars optimaal stond voor maximale instraling van de zon. Dit is relatief kort geleden voor Mars want de grote riviersystemen die het grootste deel van het oppervlak domineren zijn miljarden jaren oud.

Een groot deel van deze puinwaaiers is gevormd door puinstromen en modderstromen. Dit zijn mengsels van water, zand, klei, grind en rotsblokken. Water vormt hierin slechts een klein deel van het geheel. Je kunt deze mixen daarom ruwweg vergelijken met nat beton in een betonmolen. In het laboratorium hebben we bijna alle denkbare samenstellingen nagebootst. Aan de vorm van de afzettingen is de samenstelling van deze puinstroom af te leiden, waaronder de hoeveelheid water.

Deze experimenten hebben we vergeleken met de afzettingen op Mars. Uit deze vergelijking hebben we kunnen concluderen dat er minder dan een miljoen jaar geleden regelmatig minimaal

10-20 centimeter sneeuw moet zijn gevallen en gesmolten voor de vorming van de puinwaaiers.

### Een beetje nat, maar nog steeds erg koud

Het landschap van Mars laat zien dat zelfs de grootste geulen gevormd kunnen worden door water dat uit de grond komt. Deze uitbarstingen zijn mogelijk als het grondwater onder druk, in een

### De grootste geulen op Mars zijn gevormd door uitbarstingen van grondwater

afgesloten ondergrond reservoir heeft gezeten. Een mogelijke verklaring voor zo'n systeem is dat de bovenste laag van het grondwater bevroren was. Dit duidt op een heel koud klimaat en aan het oppervlak was het dan, op de enkele uitbarstingen na, erg droog. Voor dit grondwater systeem op Mars is geen klimaat nodig dat zo'n waterkringloop in stand houdt. Dit in tegenstelling tot op de aarde waar het water in rivieren en

zeeën doormiddel van regen en verdamping in een eeuwige cyclus wordt rondgepompt.

Recente activiteit van water komt sterk overeen met periodieke klimaatvariëaties. In korte perioden, waarin de as van Mars sterk gekanteld stond richting de zon was er stromend water op kraterwanden. De polen van Mars waren dan richting de zon gericht, en de poolkappen verdampen. Hierdoor ontstonden meer wolken en een korte waterkringloop, werd de atmosfeer dikker en de luchtdruk hoger. Echt geregend heeft het waarschijnlijk niet. Maar wel gesneeuwd, wat vervolgens af en toe kon smelten en waaruit de puinstromen ontstonden. De hoeveelheid water die hiervoor nodig was is erg klein.

Vandaag de dag is Mars koud en droog. De extreme situaties zoals die van miljarden jaren geleden met uitbarstingen van grondwater zijn het gevolg van een unieke samenkomst van omstandigheden en deze komen waarschijnlijk niet meer voor. Maar, recente, korte periodes met kleine hoeveelheden vloeibaar water hangen samen met periodieke klimaatvariëaties. De kans is dan ook groot dat er binnen nu en een paar honderd jaar opnieuw stromend water zal voorkomen op Mars.

# Herdruk van bijzondere atlas

## Nieuwe 'Neuester Himmels-Atlas' uit 1799 (Fascimile)

C.F. Goldbach, Neuester Himmels-Atlas von 1799  
ISBN 978-3-9816040-0-9  
Albireo Verlag, Köln [www.albireo-verlag.org](http://www.albireo-verlag.org)  
Prijs: €119

De 'Gouden Eeuw' van de sterrenatlassen beslaat pakweg de periode van 1729, toen John Flamsteed's *Atlas Coelestis* verscheen, tot 1822, met de uitgave van Alexander Jamieson's *A Star Atlas*. Deze periode begon en eindigde in Engeland, maar in de tussentijd waren het Frankrijk en Duitsland die de dienst uitmaakten met Johann Elert Bode en Jean Fortin als de grote namen. In die 'Gouden Eeuw' is er één atlas die er op een bijzonder manier uitspringt: de in 1799 verschenen *Neuester Himmels-Atlas* van Christian Friedrich Goldbach (1763-1811), die als volledige titel *Neuester Himmels-Atlas zum Gebrauche für Schul- und Academischen Unterricht* meekreeg.

Door Henk Brill

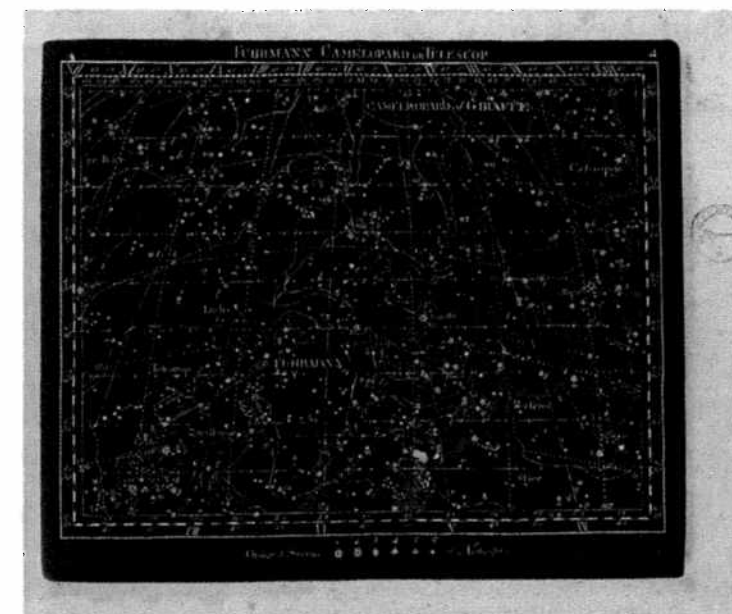
Wat maakte deze sterrenatlas zo bijzonder? Om te beginnen bevatte de atlas een enorme hoeveelheid sterren, ongeveer 10.570, en dat was twee keer zoveel als de atlas van Bode uit 1782. Beeldbepalender echter was de wijze waarop de hemel werd afgebeeld: witte sterren op een zwarte hemelachtergrond. Dat lijkt simpel - gewoon in negatief drukken zou je kunnen denken - maar zo simpel was dat niet. De kaarten waren namelijk kopergravures, dus de koperplaten die daarvoor gebruikt werden moesten heel anders gemaakt worden dan bij de gangbare atlanten. Normale atlanten werden gedrukt in *intaglio*, hier werd de inkt aangebracht in de uitgegraven plekken en het oppervlak werd schoongeveegd. Deze wijze van drukken in de *Neuester Himmels-Atlas* was echter in *relief*, dat betekent dat de inkt op de oppervlakte van de plaat werd aangebracht. Een bijzonder lastig procedé bij een atlas met zoveel detaillering. Iets wat zich eenvoudig laat zien als je een kaart inscant en vervolgens negatief maakt (waardoor zwarte sterren op een witte achtergrond ontstaan). De beelden zijn dan veel minder scherp, *crisp*, dan die uit de andere atlanten. Deze wijze van weergave stelde hoge eisen aan de maker, en Goldbach mag dan ook als een groot vakman beschouwd worden. Waarom voor deze werkwijze is gekozen wordt duidelijk uit de laatste bijzonderheid van deze sterrenatlas: alle kaarten zijn dubbel uitgevoerd: traditioneel, de sterrenbeelden in hun context, dus met aanduidingen en de mythologische figuren mee ingetekend (dit bezorgt oude atlanten hun grote charme), én zonder hun context, alleen de sterren. Dat kan maar één ding betekenen: deze atlas was gemaakt met als doel hem 's nachts achter de telescoop te gebruiken. En dan niet alleen door professionele astronomen, maar ook door amateurs en studenten. Dat was althans de visie van de koopman en uitgever Friedrich Justin Bertuch die daarvoor gehoor vond bij de directeur van de sterrenwacht in Gotha, Frans Xavier von Zach.

Geen wonder dus dat de atlas zich mocht verheugen in een grote populariteit. Het bracht Goldbach zelf uiteindelijk in Rusland, waar hij directeur van de Sterrenwacht van Moskou werd.

Een unieke sterrenatlas dus. Maar, zoals zoveel antieke sterrenatlassen, zeldzaam en slechts zelden in zijn geheel te koop. Het wachten was op een fascimile uitgave, en die is er dan nu eindelijk ook. En het is een échte fascimile geworden, want projectcoördinator Ralph Meijer en Dr. Karl-Peter Julius van uitgeverij Albireo Verlag uit Keulen hebben hun best gedaan zo dicht mogelijk bij de originele uitgave van atlas te blijven. Je kunt er voor kiezen je puur te richten op de platen zelf en die zo goed mogelijk weer te geven; dan richt je je op het hart van de originele atlas.

Maar Meijer en Julius zijn verder gegaan. Een exemplaar van de originele atlas is één op één herdrukt, vóór én achterkant van de platen (ca. 24 x 20 cm) - met alle gebruikssporen, ouderdomsvlekken, een potloodaantekening op de titelpagina en een stempel in cyrillisch schrift op plaat 4. Dat alles in een fabelachtige vierkleurendruk op stevig papier. Als bonus is aan het boek een selectie uit *Lehrbuch einer populären Sternkunde* van Johann Heinrich Voigt toegevoegd, dat in hetzelfde jaar verscheen bij dezelfde uitgever, *Verlage des Industrie-Comptoirs* uit Weimar. Een toelichting bij deze fascimile ontbreekt gelukkig ook niet, zo blijven de beweegredenen om deze bijzondere heruitgave in deze bijzondere vorm te gieten bewaard.

De uitgave heeft een harde kaft en is prachtig ingebonden. De originele atlas was een meesterwerk, maar deze uitgave is dat ook. Het eindresultaat is gewoon adembenemend mooi: de 'Neuester Himmels-Atlas' is tot leven gewekt, als een oude ziel in een nieuw lichaam. Je zou deze uitgave eigenlijk over 200 jaar moeten zien, want dan is ie waarschijnlijk nog mooier! Maar daar zou ik niet op wachten; de oplage is beperkt, slechts 300, genummerde, exemplaren. Een waardevolle investering.



Afbeelding 1: Plaat 4: De omgeving van de Voerman in de traditionele weergave. Rechts de stempel van het originele exemplaar.