

DE VORMING DER STEENKOOL.

DOOR

Dr. A. J. C. SNIJDERS.

De natuur levert ons zeker geene enkele stof op, die een grooteren invloed uitoefent op ons bestaan en op de geheele menschelijke samenleving, dan de steenkool. Hoe onbeteeuend zouden industrie en techniek zonder deze belangrijke brandstof zijn, hoe onvolkomen zouden onze verlichting en verwarming, hoe primitief onze middelen van verkeer zijn, indien wij de steenkool moesten missen! Behalve al deze voordeelen levert de steenkool ons echter nog talrijke nuttige bijproducten; het gas, dat men er uit stookt, vindt meer en meer toepassing als beweegkracht, terwijl eindelijk de tijd wellicht niet ver meer is, dat men ook voor verwarming algemeen het uit de steenkool verkregen lichtgas zal bezigen.

Niet ten onrechte noemde men dus de steenkool wel »het zwarte goud”. De waarde van deze stof toch is onberekenbaar en — niettegenstaande den geringen prijs — oneindig veel grooter dan die van goud of edelgesteenten. En deze waarde zal de steenkool nog gedurende eene onmetelijke periode voor den mensch blijven behouden, want, wat men ook moge voorspellen van eene nabijzijnde uitputting der steenkolenvelden, zoo wordt deze vrees niet gewettigd door de verbazende uitgestrektheden der beddingen in Rusland, China, Noord-Amerika, Oost-Indië, enz. waar het mineraal nog deels in het geheel niet ontgonnen is en

die dus de wereld nog tot in eene verre toekomst van brandstof zullen kunnen voorzien.

Het is dus niet te verwonderen, dat men aan deze stof, die voor de maatschappij van zoo groot gewicht is en dit ook in de toekomst nog eeuwenlang zal blijven, ja, dan wellicht nog eene grootere rol zal spelen dan tegenwoordig, in de laatste jaren bijzondere aandacht wijdt en de wijze van ontstaan nauwkeurig tracht op te sporen. Door het nauwe verband, waarin die vorming staat tot de vroegere geologische en klimatologische toestanden onzer aarde, heeft het onderzoek van het ontstaan der steenkool nog eene grootere aantrekkelijkheid verkregen.

In vele opzichten is men in dat onderzoek geslaagd en men heeft vooral met zekerheid kunnen uitmaken, uit welke stof de steenkool oorspronkelijk is gevormd en welke scheikundige processen daarbij hebben plaats gehad. Doch minder algemeen is men tot overeenstemming gekomen aangaande de omstandigheden, waarvan die chemische omzetting het gevolg was en die de eerste aanleiding zijn geweest tot het ontstaan der kool.

Gewoonlijk wordt hierbij, vooral in den nieuweren tijd, gewezen op de groote overeenkomst tusschen de vorming van steenkool en van turf, en ook in de meeste leerboeken van onzen tijd wordt het ontstaan van steenkool en van veen aan eene en dezelfde oorzaak toegeschreven. Toch is deze voorstelling, zooals uit nieuwere onderzoekingen gebleken is, geenszins juist. Vooreerst kan men onmogelijk van eene algemeene vormingswijze der steenkool spreken, daar zij volstrekt niet overal en altijd op dezelfde wijze is ontstaan, doch men heeft meer bepaald aangetoond, dat eene overeenkomst met onze tegenwoordige turfvorming in de meeste gevallen moet worden uitgesloten.

Hoewel nu het ontstaan der steenkoolbeddingen nog niet in alle opzichten op bevredigende wijze kan worden verklaard, heeft men toch in de laatste jaren door grondig onderzoek veel kunnen ophelderen, wat tot nog toe in het duister lag. Wij hebben dit vooral te danken aan verschillende Duitsche geleerden, als GÖPPER, BISCHOF, UNGER, B. VON COTTA e. a. en in de laatste jaren heeft ook de Fransche geoloog GRAND'EURY, door langdurige waarnemingen in de mijnen zelf, over dit onderwerp veel licht verspreid. De laatste is daarbij gedeeltelijk tot zeer bijzondere uitkomsten gekomen, die hij heeft bekend gemaakt in eene brochure, welke in 1882 werd uitgegeven en getiteld

is: *Mémoire sur la formation de la houille*. De in dit geschrift gegevene theorie wijkt in vele opzichten van de gewoonlijk gevolgde voorstellingswijze af en opent ons vele nieuwe gezichtspunten bij de belangwekkende studie van de vorming der steenkool.

Wij weten reeds sedert tal van jaren met de meeste zekerheid, dat steenkolen uit planten zijn ontstaan. Dit blijkt uit de groote menigte van afdrukken en versteeningen, die men in de steenkoollagen vindt en die onmiskenbare overblijfselen zijn van vroegere plantendeelen. Doch men heeft zelfs, door de betere hulpmiddelen van den nieuweren tijd, vooral door het mikroskopisch onderzoek, de plantaardige structuur in de kool zelf kunnen aantoonen en daarin de anatomische bestanddeelen der plant: cellen, vezels, enz. kunnen waarnemen.

Bovendien is nog door proeven bewezen, dat men op kunstmatige wijze steenkool uit planten kan voortbrengen door de werking van water, warmte en sterke drukking. GÖPPERT heeft bladen van varens verhit tusschen lagen saamgeperste klei, en hij kon op die wijze de plantenafdruksels in de steenkool zeer nauwkeurig nabootsen. VIOLETTE verkreeg door het verhitten van hout in een gesloten vat tot eene temperatuur van 300° à 400° eene soort van vette steenkool. DAUBRÉE heeft, door de omstandigheden bij zijne proeven telkens te wijzigen, hout omgezet in bruinkool, steenkool of anthraciet.

De kennis van de plantaardige natuur der steenkool is echter betrekkelijk nog niet oud en dagteekent eerst van het laatste gedeelte der vorige eeuw. ANTOINE DE JUSSIEU, broeder van den beroemden botanicus, ontdekte voor het eerst de plantenafdruksels in de mijnen van St. Chaumont en nam reeds waar, dat daaronder overblijfselen voorkwamen van varens en andere tropische planten, die in Frankrijk onbekend waren. Doch de geologie was toen eigenlijk nog niet geschapen en de botanie verkeerde nog in hare eerste kindsheid, zoodat van eene verklaring van het verschijnsel in dien tijd nog geen sprake was, hoewel DE JUSSIEU eene poging daartoe aanwendde, door de mogelijkheid aan te nemen, dat de planten uit de warme streken door zeestroomingen waren aangevoerd.

BUFFON gaf in 1778 eene nadere verklaring, waarbij voor het eerst sprake was van eene vorming der steenkool uit vóórhistorische planten, die, volgens hem, van de eilanden, waarop zij groeiden, door waterstroomen zouden zijn weggevoerd en waarvan de overblijfselen op andere plaatsen weer werden afgezet. Doch eerst vele jaren na den dood van BUFFON, in het begin der tegenwoordige eeuw, toen de geologie lang-

zamerhand den haar toekomenden rang in de rij der wetenschappen begon in te nemen, werd dit onderzoek op meer nauwkeurige en rationeële wijze voortgezet.

De steenkoollagen rusten in het binnenste der aarde steeds op oudere aardlagen, doch deze ligging is zeer verschillend. Op zeer vele plaatsen is de steenkoolfornatie afgezet in komvormige verdiepingen, zoodat de randen het hoogst liggen en het middelste gedeelte de laagste plaats inneemt. In dit geval spreekt men van steenkolenbekkens. Doch deze wijze van ligging wordt niet overal waargenomen; de steenkoollagen vertoonen dikwijls een zeer onregelmatigen vorm, met golvingen en wendingen, die hier en daar sterk verschoven of verdraaid zijn. Ook kan de oorspronkelijke ligging door de werking van vulkanische krachten herhaaldelijk gewijzigd zijn, zoodat gangen en spleten in de koolformatie niet zeldzaam zijn en de gesmolten massa's uit het binnenste der aarde zich blijkbaar dikwijls door die beddingen een weg hebben gebaad naar de oppervlakte.

De steenkoolfornatie bestaat evenwel niet, zooals men wellicht uit den naam zou willen afleiden, uitsluitend uit de eigenlijke kool. Integendeel: deze is altijd vergezeld van verschillende andere gesteenten, die zich gelijktijdig, of ook kort vóór of na de steenkool hebben afgezet en die in den regel zelfs de hoofdmassa van deze formatie uitmaken, tusschen welke slechts hier en daar de steenkoollagen verspreid liggen. Deze begeleidende gesteenten zijn, in hoofdzaak, steeds en overal van denzelfden aard, en dit wijst ons op de waarschijnlijkheid, dat de vorming dier lagen in den regel op dezelfde wijze heeft gehad.

Wij vinden in de eerste plaats onder de eigenlijke steenkool — en dus ouder dan deze — een kalkgesteente, dat men kolenkalksteen of bergkalk noemt en dat o. a. den zoogenaamden hardsteen onzer stoepen levert. Deze kalksteen is vroeger gevormd dan de steenkool en vormt den bodem der bekkens, waarop zich later de kool heeft afgezet. De bergkalk komt o. a. zeer veel voor in de Ruhrstreek en den Harz, in België, Frankrijk en Engeland. Zij bevat vele overblijfselen van zeeschelpen en koraaldieren en is dus ontwijfelbaar eene zeevorming.

Doch ook de eigenlijke steenkoolfornatie vormt in den regel geen onafgebroken, samenhangend geheel, maar vertoont gewoonlijk eene telkens herhaalde afwisseling van steenkool, zandsteenlagen en leigesteenten. Deze begeleidende gesteenten zijn van het grootste gewicht bij het onderzoek van de vorming der steenkool, want het is juist

daarin, dat men de tallooze overblijfselen heeft gevonden van de vroegere plantenwereld.

De kleur dezer gesteenten is in den regel donkergrijs of zwart, en dit bewijst reeds, dat zij vermengd zijn geweest met allerlei organische overblijfselen, die langzamerhand ontleed en verkoold zijn. In den zandsteen vindt men zelfs, behalve vele afdrukken van plantendeelen, dikwijls nog boomstammen, die geheel versteend zijn, doch hun oorspronkelijken vorm nog volkomen hebben behouden en — wat vooral zeer merkwaardig is — dikwijls nog hun natuurlijke verticalen stand vertoonen en soms zelfs met hunne wortels in eene leemachtige laag zijn bevestigd. Deze fossiele boomstammen zijn, als zij verticaal staan, volkomen rond; de liggende stammen echter zijn, door de drukking der bovenliggende lagen, platgedrukt.

De leigesteenten, die de steenkool steeds in groote hoeveelheid vergezellen, zijn voor ons nog gewichtiger, daar zij de afdrukken van bladeren, takken, vruchten en andere plantendeelen in zoo volkomen toestand hebben bewaard, dat wij den vorm en den aard dier deelen nog tot in de kleinste bijzonderheden kunnen ontdekken en ons dus een zeer volkomen beeld kunnen vormen van de flora uit den tijd der steenkoolperiode. Deze leien waren voor het conserveeren dier fijne en teere plantenorganen bij uitnemendheid geschikt, want zij zijn niets anders dan eene opeenhooping van fijne en weeke slibdeeltjes, die later zijn verhard. In die weeke slibmassa zijn de plantendeelen bezonken; zij werden door het slib geheel omgeven en bij het verharden bleef de oorspronkelijke vorm zeer volkomen bewaard.

Bij het bespreken van de vorming der steenkool mag men vooral niet nalaten op de omstandigheid te wijzen, dat er, behalve de steenkool, nog vele andere koolsoorten in de aarde gevonden worden, die deels van ouderen, deels van jongeren oorsprong zijn dan de steenkool. Want daarin immers hebben wij een uitstekend middel om te onderzoeken, welke veranderingen de scheikundige samenstelling der fossiele koolsoorten na verloop van groote geologische tijdruimten heeft ondergaan.

In de aardlagen, die jonger zijn dan de steenkool, vindt men de bruinkool, die zachter en lichter van kleur is en een veel geringer gehalte aan koolstof vertoont dan de steenkool. Deze beide koolsoorten zijn de eenige, die in Midden-Europa voorkomen, terwijl de turf daarbij kan gevoegd worden als voorbeeld eener plantenstof, die eerst sedert korten tijd in ontleding is overgegaan.

Elders echter komen nog oudere koolsoorten voor, n.l. anthraciet, dat in veel oudere aardlagen gevonden wordt, dan de steenkool en veel rijker aan koolstof is dan deze, en het graphiet dat in de aller-oudste formaties voorkomt en reeds uit zuivere koolstof bestaat.

Al deze hoofdsoorten van kool, — turf, bruinkool, steenkool, anthraciet en graphiet — zijn echter door overgangstoestanden met elkaar verbonden, en er bestaan tusschen haar geene scherpe grenzen. Doch met zekerheid kunnen wij uit de samenstelling opmaken, dat het koolstofgehalte met den ouderdom der koolsoort toeneemt. De turf komt nog het meest met de normale plantenstof overeen, doch bevat reeds meer koolstof en de hoeveelheid van deze neemt in de opgegeven volgorde geregeld toe, waaruit dus volgt, dat de scheikundige omzetting der plantenstof dit gevolg heeft gehad, dat de betrekkelijke hoeveelheid koolstof meer en meer toenam, hoe langer de werking duurde.

De steenkool is onder al deze fossiele koolsoorten eene der oudste, want men vindt haar op vele plaatsen, door jongere aardlagen bedekt, op eene groote diepte onder de oppervlakte, en het gehalte aan koolstof is dus betrekkelijk reeds zeer groot. Men zal echter vragen: hoe het mogelijk is, dat de steenkoolbeddingen, die op eene zoo groote diepte gevonden worden, afkomstig kunnen zijn van planten? Planten toch kunnen alleen groeien aan de oppervlakte der aarde, daar zij lucht en licht noodig hebben om te kunnen bestaan.

Dit verschijnsel heeft echter niets raadselachtigs voor hem, die eenigszins bekend is met de geologische toestanden en verschijnselen der aardkorst. Evenals dit in den tegenwoordigen tijd feitelijk nog plaats heeft, was de bodem van het vaste land, ook in vroegere perioden, aan voortdurende niveauperanderingen onderhevig. Beurtelingsrijzende en dalende, werd eene landstreek nu eens door den oceaan bedekt en verhief zich dan weer boven de oppervlakte der zee, om dan met planten en landdieren bevolkt te worden, die echter bij eene volgende daling weer door de wateren der zee werden bedekt en hunne fossiele overblijfselen daarin achterlieten. Onmetelijke uitgestrektheden lands ondergingen gelijktijdig deze niveauperandering, doch er was ook eene onmetelijke tijdruimte toe noodig, om deze wijzigingen tot stand te brengen, want de rijzing en daling hadden, evenals tegenwoordig, verbaazend langzaam plaats.

Deze beschouwing verklaart ons op zeer eenvoudige wijze de omstandigheid, dat men binnen in de aardkorst eene voortdurende af-

wisseling ziet van op elkaar volgende land- en zeeformaties. Wij kunnen er tevens uit opmaken, hoe het mogelijk is, dat de overblijfselen der steenkoolflora, die oorspronkelijk aan de oppervlakte der aarde ontstonden, zich nu dikwijls op eene diepte van duizenden voeten daaronder bevinden.

De plantenwereld uit de steenkoolperiode droeg een geheel ander karakter dan die van den tegenwoordigen tijd, niet alleen wat de soort van planten, doch ook wat hare levenswijze en ontwikkeling betreft. Deze omstandigheid is belangrijk bij het onderzoek van het ontstaan der steenkool. Nog andere bijzondere omstandigheden hebben tot die vorming medegewerkt en daaronder moet vooral worden gelet op het in die tijden heerschende klimaat en op den lokalen toestand van den bodem op die plaatsen, waar zich de steenkool heeft afgezet. Wij zullen den invloed van elk dezer drie voorwaarden van de steenkoolvorming: de natuur der planten, het klimaat en den plaatselijken toestand, eenigszins uitvoeriger toelichten.

Men ziet in 't algemeen, als men de flora van vroegere aardperioden onderzoekt, dat de planten des te meer van de tegenwoordige vormen afwijken, hoe ouder de periode is, waarin zij zich hebben gevormd, hoe verder men dus van den tegenwoordigen tijd is verwijderd. De plantenwereld heeft zich, evenals de dierenwereld, eerst langzamerhand uit de oudste allereenvoudigste oertypen ontwikkeld tot den tegenwoordigen toestand van verscheidenheid en volmaking.

Daarom zijn dan ook de planten, die in de oudste vóórhistorische aardlagen voorkomen, de minst ontwikkelde. Het zijn slechts de eenvoudigste celplanten, waarop eerst later de laagste vaatplanten volgen en van dezen weer het eerst de vaat-cryptogamen. Deze planten zijn kenschetsend voor de oudste of primaire periode der aardgeschiedenis. In de volgende of secundaire periode nemen de cryptogamen af en treden de zoogenaamde gymnospermen, zooals cycadeeën en coniferen op, waarvan wij nog nu de vertegenwoordigers hebben in onze dennen, lariksen, enz. Daarna komen de eenzaadlobbige planten te voorschijn en in het begin vooral tropische vormen, zooals palmen, die toen zelfs ook nog over geheel Europa verspreid waren, waar toen nog een altijd groene plantengroei den bodem bedekte. Eerst in de tertiaire periode begint de flora meer en meer haar tegenwoordig karakter aan te nemen en verschijnen ook de hoogere tweezaadlobbige planten, die nu nog bestaan en daaronder ook vele, die nu vooral in het hooge Noorden groeien.

De steenkoolformatie behoort tot de primaire periode, d. i. tot de oudste periode van het organisch leven op aarde. In dien tijd was de ontwikkeling der plantenwereld nog betrekkelijk weinig gevorderd en week deze in sterke mate af van de tegenwoordige flora. Toen bestonden nog alleen de cryptogamen of bedekt bloeiende planten, d. i. die afdeeling van het plantenrijk, waartoe o. a. onze tegenwoordige varens, lycopodium's, paddestoelen, enz. behooren en die vooral gekenmerkt zijn door de minder volkomene ontwikkeling van die deelen, die bestemd zijn tot grootere duurzaamheid en door de eenvoudige inrichting der voortplantingsorganen, die hier slechts bestaan uit éencellige lichaampjes, sporen genaamd, terwijl bloemen en zaden steeds ontbreken.

De overblijfselen der planten bestaan vooral, zooals reeds werd opgemerkt, in afdrukken, die zij in de lei- en zandsteenen hebben achtergelaten, welke de steenkool vergezelden. De steenkool zelf is in den regel al te zeer gewijzigd in hare structuur om den aard der samenstellende plantenorganen nog te kunnen herkennen, doch GÖPPERT heeft bewezen, dat in sommige soorten van steenkool de plantaardige structuur nog kan worden aangetoond en dat in de eigenlijke steenkool dezelfde overblijfselen worden gevonden als in de lei- en zandsteenen. Toch is het mogelijk, dat aan de vorming der steenkool nog andere planten hebben deelgenomen, die wij niet kennen.

Onder de planten, die in de steenkoolformatie gevonden zijn, nemen de varens eene eerste plaats in. Prachtige afdrukken van deze planten, met duidelijke vormen van veervormig verdeelde bladen en vertakte bladnerven, worden in de zand- en leisteenen aangetroffen. Doch deze varens komen geenszins met de ons bekende overeen; zij zijn van veel grootere afmetingen dan deze en behooren tot de zoogenaamde boomvarens, die tegenwoordig alleen onder de tropen voorkomen. En zelfs van deze tegenwoordige vormen wijken zij in vele opzichten af, zoodat slechts zeer enkele soorten kunnen vergeleken worden met eenige — overigens hoogst bijzondere — typen van de tegenwoordige boomvarens.

Verder vond men in de steenkool vele overblijfselen van lycopodiën en paardestaarten. Onder de lycopodiën of wolfsklauwen moeten vooral de *Lepidodendron's* genoemd worden, wier stammen met ruitvormige schubben waren bedekt en die insgelijks van reusachtige afmetingen waren. De organen dezer boomen, in kiezelzuur overgegaan en versteend, konden nog even nauwkeurig mikroskopisch worden

onderzocht als bij versche planten, terwijl zelfs de tweeërlei soorten van voortplantingsorganen — mannelijke en vrouwelijke — konden worden aangetoond.

Van de coniferen of pijnboomen waren nog slechts enkele soorten aanwezig, die eenige gelijkenis aanbieden met de tegenwoordig in Z. Amerika groeiende araucariën. Zoo kan men verder de in de steenkool voorkomende *Calamieten* brengen tot de tegenwoordig ook bij ons voorkomende paardestaarten en wellicht is dit ook het geval met de *Annulariën* en *Asterophyllieten*, wier bladen in stervormige bundels zijn geplaatst.

Doch behalve al deze vormen, die in de tropische flora van onzen tijd vertegenwoordigd zijn door typen, die er — hoewel somtijds slechts zeer onvolkomen — althans eenigszins mede kunnen vergeleken worden, vindt men in de steenkool nog andere planten, die zelfs in de verste verte niet zijn te rangschikken onder eenige plantengroep van den tegenwoordigen tijd.

Vooral belangrijk zijn daaronder de *Sigillariën*, boomen, die langs den stam talrijke litteekens vertoonen van de afgevallen bladeren, die in rijen gerangschikt waren en die in de steenkoolwouden eene aanzienlijke plaats moeten hebben ingenomen. Over de rangschikking van dezen boom in het plantensysteem heerscht onder de geleerden nog geene overeenstemming, daar sommigen hem tot de lycopodiën, anderen tot de gymnospermen of naaktzadigen, waartoe o. a. ook onze dennen behooren, willen brengen.

De sigillariën konden alleen op een moerassigen, veenachtigen bodem gedijen, waarin zij bevestigd waren door middel van groote, kruipende wortelstokken, die zich in den weeken bodem gemakkelijk voortplantten en met bladachtige deelen en wortelvezels bedekt waren. Men heeft deze wortelstokken *Stigmariën* genoemd, want men meende vroeger, dat het afzonderlijke planten waren, totdat later bleek, dat zij niets anders voorstellen dan de deelen, waarmee de sigillariën in den bodem waren bevestigd. Deze stigmariën hebben, zooals nog nader blijken zal, bij de vorming der steenkool eene zeer gewichtige rol gespeeld.

Hoewel vroeger algemeen werd aangenomen dat in de steenkoolperiode uitsluitend cryptogamen voorkwamen, is uit latere onderzoekingen gebleken, dat in dien tijd ook reeds, hoewel in zeer gering aantal, phanerogamen bestonden. GRAND'EURY vond in de lagen van St. Etienne de zoogenaamde *Cordaieten* en meent uit het onderzoek van de zaden dier planten te moeten opmaken, dat zij tot de gymnosperme phanerogamen behooren en een overgang vormen tus-

schen de oudere vormen en de tegenwoordige coniferen en cycadeeën.

De atmosferische toestanden, die tijdens het steenkooltijdvak op de aarde heerschten, waren zeer verschillend van de tegenwoordige en hebben insgelijks een belangrijken invloed gehad op het ontstaan der steenkool. Reeds hebben wij gewezen op het tropisch karakter, dat, in het algemeen, aan de steenkoolflora eigen was; zooals blijkt uit de talloze overblijfselen van planten, die door hare gansche organisatie bewijzen in een warm en vochtig klimaat te zijn opgegroeid.

Men vindt nu echter deze tropische steenkoolplanten zoowel in de beddingen van Duitschland, Frankrijk en Noord-Amerika, als in die van Zuid-Amerika en Australië, ja zelfs in Siberië en andere streken, die tegenwoordig een zeer koud klimaat hebben. De flora der steenkoolformatie, biedt overal de grootste gelijkvormigheid aan, zoodat zelfs NEWBERRY onlangs in de beddingen van China dezelfde planten kon aantoonen, als in de Europeesche lagen. Het is dus zoo goed als zeker, dat de temperatuur in die tijden over de geheele aarde veel hooger was en de meteorologische toestanden overal meer gelijkvormig waren.

Er waren echter nog andere omstandigheden, die aanleiding gaven tot een uiterst weelderigen plantengroei. Niet alleen de warmte der atmosfeer werkte daartoe mede, doch ook de vochtigheid van den dampkring, die toen veel grooter was dan tegenwoordig. Ook was het koolzuurgehalte der lucht in die tijden waarschijnlijk veel grooter, dan thans het geval is. Want de koolgesteenten, die tegenwoordig in den schoot der aarde begraven liggen, hebben eenmaal deel uitgemaakt van de plantenwereld, en deze moet al de koolstof van hare organische bestanddeelen aan het koolzuur van den toenmaligen dampkring hebben ontleend.

De aanzienlijke hoeveelheden waterdamp, die toen in den dampkring bevat waren, dankten haar ontstaan aan de omstandigheid, dat de aarde nog grootendeels door water was bedekt en slechts hier en daar groote eilanden zich boven de oppervlakte van het water verhieven. Dit water verdampte snel door de hooge temperatuur van den dampkring en vormde dichte nevels, die tevens het licht der zon eenigszins temperden en daardoor de ontwikkeling mogelijk maakten van varens en lycopodiën, die ook tegenwoordig nog het licht schuwen.

GRAND' EURY heeft ons in zijn geschrift nog andere gegevens aan de hand gedaan, waaruit de toestand van het klimaat in die tijden kan worden afgeleid. Hij wijst op het feit, dat in al de steenkoolplanten, zoowel in de bladeren als de stammen, de harde, houtige

deelen ontbreken en bijna alleen het parenchymweefsel, uit cellen bestaande, de hoofdmassa uitmaakt. Zelfs de meest reusachtige stammen bezitten slechts onbeteekenende houtringen en ook de schors was zeer poreus en week.

Zulke planten kunnen in een dampkring als de onze niet bestaan; zij zouden dadelijk, door het afgeven van waterdamp in onze droge atmosfeer, verwelken en verslappen, zooals blijkt uit sommige onzer tegenwoordige waterplanten, die alleen in het water haar normalen toestand behouden. De steenkoolplanten, met stammen zonder hout en bestaande uit een week en slap weefsel, zouden eveneens in onzen dampkring verwelken, door afgeven van waterdamp in korten tijd zijn uitgeput en onmogelijk tot boomen van zoo aanzienlijke afmetingen hebben kunnen opgroeien. Dit verschijnsel kan alleen verklaard worden door het aannemen van eene sterk met waterdamp bezwangerde atmosfeer, waardoor eene al te snelle verdamping van het water uit de cellen werd belet.

De groei der steenkoolplanten had bovendien ook buitengewoon snel plaats door de sterke tropische hitte, door de groote mate van vochtigheid en door het aanzienlijke koolzuurgehalte, terwijl hij tevens zeer regelmatig en onafgebroken voortging, daar eene afwisseling der jaargetijden destijds vermoedelijk nog niet bestond. De planten bereikten dus in uiterst korten tijd haar vollen wasdom, en de volwassen organen stierven dus ook betrekkelijk weer spoedig af en werden weer snel door nieuwe deelen vervangen. Dit was juist de oorzaak van eene snelle opeenhooping der plantenstof, terwijl spoedig op die afgestorven overblijfselen weer nieuwe planten opgroeiden. Slechts in zoo verre was er eenige afwisseling in het klimaat, dat er periodieke, hevige regens optraden, telkens als door de voortdurende verwarming zoo-veel water was verdampt, dat de dampkring oververzadigd was. Deze regens hebben dan weer, zooals nog nader blijken zal, bij de verspreiding en uitbreiding der plantenresten eene belangrijke rol gespeeld.

De opgehoopte plantenoverblijfselen ondergingen nu langzamerhand eene aanmerkelijke wijziging in hare scheikundige samenstelling, eene omzetting trouwens, die ook tegenwoordig de afgestorven en van de lucht afgesloten plantendeelen ondergaan.

Overal, waar plantenstoffen zich onder water bevinden, heeft in hoofdzaak dezelfde scheikundige verandering plaats van de organische stof der plant, daarin bestaande, dat de elementen koolstof, waterstof en zuurstof, die de hoofdmassa der plantenstof uitmaken, zich

onderling twee aan twee gaan verbinden. Zoo ontstaat uit koolstof en zuurstof koolzuur, uit waterstof en zuurstof water en uit koolstof en waterstof vormen zich verschillende koolwaterstoffen, hoofdzakelijk echter het zoogenaamde moerasgas, dat ook tegenwoordig nog in poelen en moerassen, uit de plantenresten op den bodem, ontwijkt. De genoemde verbindingen, die uit de plantenstof ontwijken, onttrekken daaraan dus eene zekere hoeveelheid koolstof, waterstof en zuurstof. Schijnbaar zou hieruit dus volgen, dat het koolstofgehalte der plantenstof moet afnemen. Toch is juist het omgekeerde het geval, want hoewel de absolute hoeveelheid koolstof inderdaad vermindert, neemt betrekkelijk het gehalte aan kool toe, omdat in de genoemde verbindingen veel meer waterstof en zuurstof dan koolstof uit de plant ontwijkt. Het gevolg van deze omstandigheid zal dus zijn, dat, hoe langer deze ontleding duurt, de stof ook des te rijker aan koolstof zal worden. Daarom zien wij dus, dat de koolsoorten in den bodem, zooals reeds boven werd opgemerkt, des te rijker aan koolstof zijn, hoe ouder zij zijn, d. i. hoe ouder en dieper de aardlagen zijn, waaruit zij worden verkregen. In de oudste formaties is de plantenstof zelfs in zuivere koolstof overgegaan, die daar als diamant en graphiet wordt gevonden.

Niet alleen de scheikundige werking echter heeft aan de steenkool haren tegenwoordigen vorm gegeven, doch ook mechanische oorzaken hebben het hare daartoe bijgedragen. De jongere aardlagen, die zich boven de plantenresten later hebben afgezet, brachten eene sterke drukking teweeg, waardoor de deeltjes, als het ware, op elkaar werden geperst en in eene harde massa overgingen, zoodat de plantaardige structuur bijna algemeen verloren ging. Tevens werden ook de zandleisteenen, die de kool vergezellen, tot harde massa's samengedrukt.

Terwijl nu reeds sedert langen tijd niet de minste twijfel meer bestaat omtrent de plantaardige natuur der steenkool en de chemische processen; die tot de omzetting der oorspronkelijke plantenstof hebben medegewerkt, zoo is men nog geenszins zeker omtrent de oorzaken, waaraan de groote oopenhoopingen van plantenresten moeten worden toegeschreven.

Vroeger meende men, dat de steenkool ontstaan was bij zeer hooge temperatuur door eene snelle verkoling, dus, als het ware, door droge destillatie. Dit denkbeeld is echter reeds sedert lang opgegeven, hoewel onlangs een schrijver, Dr. J. WEINBERG te Warschau, in een geschrift, getiteld: *La Génèse*, deze reeds lang begraven theorie opnieuw uit de vergetelheid heeft opgerakeld, zonder evenwel afdoende

bewijzen voor zijne meening te geven. Uit de verschijnselen, die de steenkool en hare nevangesteenten aanbieden, blijkt juist ten stelligste, dat het water bij die vorming eene groote rol heeft gespeeld en dat zij niet bij eene hooge temperatuur kan hebben plaats gehad.

Het is echter de vraag, hoe zulke aanzienlijke opeenhoopingen van plantenstof zich hebben kunnen vormen en, om zich daarvan eene voorstelling te maken, heeft men de oorzaken opgespoord, die nog tegenwoordig tot dergelijke opeenhoopingen aanleiding geven.

Sommigen meenen, dat steenkoollagen zich hebben kunnen vormen uit de zoogenaamde fucoiden-banken in den oceaan. Deze planten, tot de familie der wieren behorende, kunnen inderdaad zich tot verbazende massa's ophoopen, die zelfs de scheepvaart belemmeren, zooals o. a. in den Atlantischen Oceaan de Sargasso-zee duidelijk bewijst. Indien zulke zeeplanten afsterven en op den zeebodem bezinken, kan daardoor later eene koollaag gevormd worden en FORCHHAMMER meent, dat de koolhoudende aluinlei op die wijze gevormd is. Doch eene belangrijke oorzaak van opeenhooping van plantenstof kan in dit verschijnsel niet worden gezocht; het moge zich hier en daar plaatselijk hebben voorgedaan — de eigenlijke steen- en bruinkoollagen zijn, zooals met zekerheid is bewezen, niet uit zeeplanten, doch uit landplanten ontstaan.

Men heeft verder de vorming der steenkool willen verklaren uit den plantengroei in onmetelijke oerwouden. Doch ook op die wijze kunnen zich slechts zeer dunne koollagen en dat slechts op enkele plaatsen, gevormd hebben. B. VON COTTA heeft aangetoond, dat zelfs de weelderigste plantengroei in een oerwoud nooit toereikend zou zijn om de bouwstoffen te leveren voor eene koollaag van eenige beteekenis. In een bosch kan zich op den bodem slechts eene uiterst dunne laag van vergame plantendeelen vormen, daar, als dezen niet van de lucht zijn afgesloten, de koolstof van de plantenstof telkens weer nieuwe vluchtige verbindingen vormt, die in de lucht ontwijken.

Van meer gewicht en van veel grooteren invloed kan een derde oorzaak geweest zijn, n.l. het wegspoelen van plantendeelen op verre afstand door rivieren of door zeestroomingen. Men heeft bij deze verklaring het voorbeeld voor oogen gehad, dat de groote stroomen van Amerika en van andere weinig bebouwde streken ons aanbieden. Werkelijk ziet men dikwijls aan de monden dier reuzenstroomen zich eilandjes vormen, die alleen bestaan uit de opeengehoopte stammen van boomen of andere planten, die aan de oevers groeiden, door den hevigen stroom werden medegesleept, doch later, nadat zij door het ingedrongen

water zwaarder waren geworden en toen de stroom minder sterk werd, zijn bezonken. Dat op die wijze lagen van aanzienlijke dikte zich kunnen vormen, is dus zeker en het lijdt geen twijfel, dat daardoor ook dikwijls steenkolenlagen zullen gevormd zijn. Reeds DE JUSSIEU trachtte op die wijze het ontstaan der steenkool te verklaren.

Men gaat echter weer te ver, als men ook in dit verschijnsel eene algemeene oorzaak van de steenkoolvorming wil zien. Slechts op enkele plaatsen, waar de omstandigheden daartoe gunstig waren, heeft de steenkool zich door het transport van planten over grooten afstand gevormd en men zal daarbij moeten zien, dat de steenkool voornamelijk uit houtige planten bestaat, terwijl de plantenresten dan steeds sporen zullen vertoonen van beschadiging door het water. Dit is echter slechts bij hooge uitzondering het geval. Zooals reeds opgemerkt werd, komen in de steenkoollagen slechts zeer weinig houtige planten voor en de overblijfselen van bladeren en vruchten zijn in den regel volkomen onbeschadigd en de organen tot in de kleinste bijzonderheden bewaard.

Daarbij komt nu nog eene andere omstandigheid. Men vindt in tal van steenkolenbeddingen de boomstammen, die in den zandsteen bewaard zijn gebleven, nog rechttop in hun natuurlijke stand, ja zelfs nog met de wortels bevestigd in eene aardachtige kleilaag. Te St. Etienne in Frankrijk vindt men die fossiele bosschen op vele plaatsen en GRAND' EURY heeft daarin talrijke verticale stammen van boomvarens, sigillariën, calamieten, enz. gevonden en die beschreven. Bij dezen stand van zaken, die zeer algemeen voorkomt, is dus een transport door rivieren of door de zee volkomen uitgesloten. De boomen zijn op de plaats zelve, waar men die nu aantreft, gegroeid en tijdens den groei door nieuwe lagen omhuld, zooals dit nog tegenwoordig wel bij overstromingen voorkomt.

Toen dus deze verklaring onvoldoende bleek, heeft men eene andere en betere meenen te vinden in het verschijnsel der turfvorming. Men trachtte nu het ontstaan der steenkool te verklaren door eene dergelijke werking en vervorming der plantstof, als tegenwoordig nog plaats heeft in de venen en deze theorie werd in den laatsten tijd het meest algemeen aangenomen.

Het eigenaardige der veenvorming is gelegen in twee omstandigheden: in den plantengroei en in den localen toestand van den bodem. Sommige mossoorten, onder welken vooral het veenmos eene voorname rol speelt, hebben het vermogen om in vochtige streken groote, verscheidene voeten hooge, opeenhoopingen van plantstof te vormen,

daar telkens weer nieuwe planten boven de oude, afgestorven deelen zich ontwikkelen. De onderste lagen, van de lucht afgesloten zijnde, ondergaan eene zeer langzame ontleding, waarbij, zooals boven werd uiteengezet, het koolstofgehalte voortdurend toeneemt. Tevens worden zij door de bovenliggende lagen meer en meer samengeperst, waardoor eene vaste massa, de turf, wordt gevormd.

De dikte van die veenlagen is op sommige plaatsen in Noord-Duitschland en Nederland vrij aanzienlijk en zij strekken zich dikwijls over groote uitgestrektheden uit. Het is dus zeer waarschijnlijk, dat in vroegeren tijd die veenlagen eene nog veel grootere dikte hebben bereikt en dat uit deze lagen, na verloop van langeren tijd, steenkool is ontstaan. Dit is echter slechts bij uitzondering mogelijk geweest en wellicht eerst in veel latere perioden dan het steenkoolentijdvak, omdat eerst toen de voorwaarden der veenvorming, die in het klimaat en den plantengroei zijn gelegen, meer met de tegenwoordige omstandigheden overeenkwamen. GÖPPERT heeft inderdaad voor enkele steenkoolagen, o. a. die van Silezië, den oorsprong uit veen nauwkeurig bewezen. Hij heeft echter tevens aangetoond, dat tal van andere steenkoolbeddingen op die wijze niet gevormd kunnen zijn.

Toen men de onmogelijkheid had ingezien om de vorming der steenkool alleen door rivieren of door zeestroomingen te verklaren en men de veenvorming als een gewichtige factor bij die vorming had erkend, begon men weer in anderen zin zich aan overdrijving schuldig te maken, door de vorming van alle mogelijke steenkoolagen uit de turfvorming te willen verklaren, zoodat elk transport door water zou zijn uitgesloten en al de planten op de plaats zelve moesten gegroeid zijn. Zelfs BROGNIART, overigens een uitstekend onderzoeker op dit gebied, maakte zich aan die overdrijving schuldig en op dit oogenblik nog wordt de theorie der veenvorming gewoonlijk als de eenige juiste verklaring van het ontstaan der steenkool voorgesteld.

Toch is zij in den regel onjuist en kan deze verklaring slechts in sommige gevallen, zooals GÖPPERT aantoonde, worden toegelaten. De hoofdmassa der steenkoolbeddingen moet op eene andere wijze gevormd zijn.

GRAND' EURY merkt op, dat men, door het aannemen der turfvorming tot groote moeielijkheden komt. Men moest aannemen, dat er groote, standvastige vastelanden waren, waar, in onmetelijke wouden, de overblijfselen der planten zich op de plaats zelve ophoopten en daaruit, door de werking der vochtige lucht, de reusachtige turf-lagen werden gevormd. Op deze wijze echter zouden voor de vorming

eener slechts zeer onaanzienlijke koollaag buitengewoon groote tijdruimten zijn noodig geweest en voor de steenkoollagen zouden die getallen zoo verbazend groot worden, dat deze vormingswijze onaannemelijk is.

Doch zelfs als men den tijd buiten rekening laat, kan men de turf-vorming bij het ontstaan der steenkool niet aannemen. De venen toch komen alleen voor in de gematigde luchtstreek, of, indien zij bij uitzondering in de tropische landen worden gevonden, althans op de gebergten, waar het klimaat meer overeenkomst aanbiedt met dat van de koudere landen. In de warme streken heeft de ontleding der plantensterf veel te snel plaats en droogt de stof te spoedig uit, zoodat geen veen, doch slechts teelaarde gevormd wordt. Daar nu allen het eens zijn, dat in de steenkoolperiode over de geheele aarde een tropisch klimaat heerschte, is ook daardoor de vorming van steenkool uit veen reeds zeer onwaarschijnlijk.

Ook de planten, die in de steenkoolformatie voorkomen, zijn van geheel anderen aard dan die, welke de turf vormen. Deze laatst ontstaat uit betrekkelijk kleine plantjes, waaronder vooral waterplanten en het veenmos eene voornamelijk rol spelen en de wezenlijke bestanddeelen van het veen uitmaken, terwijl de steenkool ontstaan is uit reusachtige boomvarens, paardestaarten, enz. die in hare bladeren, takken en soms ook in hare stammen, de grondstof geleverd hebben voor de steenkool. Planten, die eenige overeenkomst hebben met de gewassen, die tegenwoordig het veen vormen, zijn in de steenkool niet gevonden.

GRAND' EURY verwerpt geheel en al de theorie eener ontleding van de plantensterf in de vrije lucht. Voor de vorming eener aanzienlijke koollaag was integendeel juist noodig, dat de plantendeelen telkens aan den invloed der lucht werden onttrokken, daar anders door de zuurstof der lucht veel meer koolzuur zou zijn gevormd en de verkoling slechts bij uiterst geringe hoeveelheden te gelijk zou hebben plaats gehad.

De aarde was in den steenkolentijd als bezaaid met moerassige kommen of bekkens met verhevene randen. In die kommen heerschte een weelderige plantengroei en onder de planten der steenkolenflora hadden die met saprijke en weeke organen de overhand. De stigmariën hadden eene bijzondere geschiktheid om met hare wortels in den grond voort te kruipen en steeds te blijven voortleven, als de bovenaardsche deelen afstierven, terwijl zij uit hare knoppen telkens weer nieuwe bovenaardsche stengels voortbrachten. Dezen vertoonden, in de tropische hitte en in de atmosfeer, die zoo buitengewoon rijk was

aan koolzuur en waterdamp, een uiterst snellen wasdom en vormden tallooze vertakkingen en bladeren.

Deze organen, tot massa's van aanzienlijken omvang uitgebreid, waren, juist door den snellen groei, aan voortdurende uitputting onderhevig en vielen af op den bodem, doch om spoedig weer voor nieuwe organen plaats te maken. Er bestond dus eene voortdurende en snelle afwisseling van vorming en uitputting der plantendeelen en daardoor alleen kan de snelle vorming van aanzienlijke lagen verklaard worden.

De afgevallen bladeren en andere organen ondergingen in de lucht eerst eene voorafgaande gedeeltelijke ontleding, doch van tijd tot tijd ontstonden er, zooals reeds werd opgemerkt, door de aanzienlijke ophooping van waterdamp in de atmosfeer, buitengewoon hevige regens, die op de aarde neerstroomden en de plantenresten van alle zijden naar den bodem der kom wegspoelden, daar ophoopten en vlak of laagsgewijs uitbreidden. Op deze wijze konden lagen van betrekkelijk zuivere plantenstof ontstaan, die, van de lucht door het water afgesloten, in ontleding overging.

Er was echter slechts eene geringe verheffing van den bodem of eene verandering van de richting der waterstroomen noodig, om de zoeven geschetste voorwaarden van het ontstaan der steenkool op te heffen en, in plaats van plantenresten, zand, leem, verweeringsproducten van gesteenten, enz. af te zetten. In dit geval vormde zich geene kool, maar ontstonden bezinkingen van zandsteen, klei of kalk, die echter dikwijls nog met bladeren, enz. waren vermengd, waardoor in deze lagen meestal afdrukken werden gevormd.

Alleen op deze wijze kan men eene voldoende verklaring geven van het ontstaan der afwisselende lagen, die de steenkool vertoont, daar de hevige regens periodiek terugkeerden en telkens door kalme tijden werden afgewisseld. Daardoor bestond er telkens gelegenheid om de ontleding in de lucht te doen beginnen, vóór de plantendeelen werden weggespoeld, welke ontleding dan verder onder het water werd voortgezet.

Voor deze theorie van het vervoer door waterstroomen en het afzetten op den bodem der kom pleit inderdaad zeer de eigenaardige laagvormige structuur der steenkool en de horizontale ligging van al de klei en plantendeelen. Daar verder, vóór het wegspoelen, de ontleding in de lucht reeds begonnen was, ziet men ook, dat de steenkool zich verschildend voordoet, naarmate de weggestroomde overblijfselen bij het bezinken in meer of minder gevorderden staat van ontbinding verkeeren.

Somtijds ziet men echter, zooals reeds werd medegedeeld, in de steenkoolformatie ook rechtopstaande boomstammen. Vooral bij St. Etienne is dit verschijnsel waargenomen en door GRAND' EURY onderzocht. Hij verklaart het op de volgende wijze. Toen de toestroomende wateren het onderste gedeelte der kom hadden opgevuld, werd het niveau hooger en breidde zich het water ook uit buiten de grens van het oorspronkelijke kolenbed. De slib- en zanddeeltjes stegen dus nu insgelijks; de wortels en de onderste deelen der boomen werden door het water bespoeld, doch dezen groeiden niettemin voort en werden zoo langzamerhand omgeven door de slibdeeltjes, die later verhardden.

Wij kunnen dus, volgens GRAND' EURY, de steenkoolvorming geenszins vergelijken met die van de tegenwoordige turflagen of venen. Dezen vormen zich in de gematigde luchtstreek, bij eene betrekkelijk lage temperatuur en uit bepaalde soorten van kleine plantjes: Slechts in zooverre kan dit verschijnsel eenigszins met de steenkoolvorming vergeleken worden, dat bij beide de plantendeelen, door water meer of minder van de lucht afgesloten, vergaan. Van laagsgewijze uitbreiding, van vervoer der plantenstof door waterstroomen, van afwisseling der koollagen met die van zandsteen, klei, enz. kan bij de turfvorming echter geene sprake zijn en deze heeft uiterst langzaam plaats.

Dit neemt echter niet weg, dat toch de tijdruimte, waarin zich eene steenkoolbedding gevormd heeft, zeer groot moet geweest zijn. De eigenaardige toestand der steenkool, de bijna volkomene vernietiging der organische structuur, de groote vastheid en dichtheid dezer brandstof en het voorkomen op groote diepten onder de oppervlakte der aarde — al deze verschijnselen kunnen slechts verklaard worden door het aannemen van zeer lange perioden, die verlopen moeten zijn vóór de steenkool haren tegenwoordigen vorm had aangenomen.

Had dus de vorming der oorspronkelijke koollagen betrekkelijk spoedig plaats, zoo waren er toch onmetelijke tijdruimten noodig om de steenkool hare tegenwoordige structuur te doen aannemen, en in dit opzicht is ook hier, evenals bij de vorming van de meeste gesteenten der aarde, de tijd een groote factor geweest, waarmede men bij de verklaring der geologische verschijnselen steeds rekening moet houden en die daarbij eene groote rol heeft gespeeld.

Zutphen, Februari 1884.