

GEOLOGIE VAN VLAANDEREN

Geologie van Vlaanderen



© Academia Press
Eekhout 2
9000 Gent
Tel. 09/233 80 88 Fax 09/233 14 09
info@academiapress.be www.academiapress.be

Coverontwerp: Kasper Baele
Vormgeving: Press Point

Geologie van Vlaanderen
Michael Borremans, editor en coördinator
Gent, Academia Press, 2015, XII + 492 p.

ISBN 978 90 382 2433 6
U 2160
D/2015/4804/41
NUR 933

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of vermenigvuldigd door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Woord vooraf	IX
Algemene inleiding	2
1. Geologie en onze maatschappij	3
2. De geologie van onze gebieden: een samenvatting	4
2.1. De geologische evolutie van onze gebieden in een notendop	4
2.2. De geologische opbouw van onze gebieden	7
3. Opbouw van dit boek	11
Hoofdstuk 1 Het onder-Paleozoïcum en het Massief van Brabant	18
1. Inleiding	19
2. Stratigrafie en genese van Cambrium tot Siluur	20
2.1. Eerste megasequentie: Cambrium – Tremadociaan	23
2.2. Tweede megasequentie: Arenig – midden-Caradoc	24
2.3. Derde megasequentie: laat-Caradoc – Pridoli	25
3. Het magmatisme	25
3.1. Het kalkalkalijne magmatisme in het Massief van Brabant	26
3.1.1. Voorkomen en samenstelling	26
3.1.2. Geodynamische interpretatie van het kalkalkalijne magmatisme	27
3.2. De tholeïtische magmatische groep	28
4. Het metamorfisme in het Massief van Brabant	29
4.1. Relatie metamorfisme en leisplijting	30
4.2. Het regionaal metamorfisme in het Massief van Brabant	32
5. De Brabantse vervorming	33
5.1. De aard van de vervorming in het Massief van Brabant	33
5.1.2. Inverse breuken	44
5.1.3. Normale breuken	45
5.2. De ouderdom van de vervorming	47
5.2.1. Directe aanwijzingen	47
5.2.2. Indirecte aanwijzingen	48
5.2.3. Mogelijk vervormingsmodel voor het Massief van Brabant	50
5.3. De Brabantse vervorming in plaattektonische context	51
6. Nabeschouwing	52
Hoofdstuk 2 boven-Paleozoïcum tot Mesozoïcum	58
1. Algemene inleiding	59
2. De Variscische sedimentatiecyclus: Devoon en Carboon	60
2.1. Het Devoon en Carboon in Europa	60
2.2. Het Devoon en Carboon in Vlaanderen	61
2.3. Het Devoon (419,2-358,9 Ma)	63
2.3.1. Het Devoon van het Bekken van de Kempen	64

2.3.2.	Het Devoon in West-Vlaanderen	66
2.4.	Het Carboon (358,9-298,9 Ma)	66
2.4.1.	Dinantiaan van het Bekken van de Kempen	69
2.4.2.	Dinantiaan van West-Vlaanderen	72
2.4.3.	Silesiaan van het Bekken van de Kempen	73
2.5.	Tektoniek	81
3.	De postvariscische sedimentatiecyclus van Perm tot Krijt	84
3.1.	Perm-Trias-Jura	84
3.1.1.	Perm (298,9-252,17 Ma)	86
3.1.2.	Trias (252,17-201,3 Ma)	89
3.1.3.	Jura (201,3-145,0 Ma)	90
3.2.	Het Krijt (145,0-66,0 Ma)	90
3.2.1.	Inleiding	90
3.2.2.	Voorkomen en samenstelling	93
3.2.3.	Delfstoffen en waterwinning in de afzettingen van het Krijt	97
4.	Nabeschoouwing	98
Hoofdstuk 3	Cenozoïcum: Paleogeen en Neogeen	104
1.	Opmars van de zoogdieren en prelude van het heden	105
2.	Het Paleoceen	117
3.	Het vroeg-Eoceen	125
4.	Het midden-Eoceen en laat-Eoceen	136
5.	Het Oligoceen	147
5.1.	Tongeren Groep	148
5.2.	Rupel Groep	151
6.	Het Mioceen	155
6.1.	Inleiding	155
6.2.	Het onder-Mioceen en midden-Mioceen	156
6.3.	Het boven-Mioceen	161
7.	Het Pliocene	165
7.1.	Inleiding	165
7.2.	Pliocene lithostratigrafie en verspreiding van de eenheden	166
7.3.	Chronostratigrafie en sequentiestratigrafie van het Pliocene	169
8.	Geologische kaarten 1:50.000 en de Databank Ondergrond Vlaanderen	176
	Nieuwe aanpak en vernieuwde inzichten	176
Hoofdstuk 4	Cenozoïcum: het Quartair	188
1.	De klimaatschommelingen	189
2.	Chronostratigrafie	197
3.	Lithostratigrafie	207
4.	Indeling van het Quartair op basis van genese en ouderdom van de sedimenten	209
5.	De Vlaamse Vallei	211
5.1.	Kaartbeeld	211
5.2.	Genese van de Vlaamse Vallei, chrono- en lithostratigrafie	212
6.	De kustvlakte	221
6.1.	Kaartbeeld	221
6.2.	Geologische geschiedenis van de kustvlakte, chrono- en lithostratigrafie	223
7.	De Antwerpse Noorderkempen	235
7.1.	Kaartbeeld	235
7.2.	Geologische geschiedenis, chrono- en lithostratigrafie	236
8.	Het Kempisch Plateau en het Maasland	241

8.1. Kaartbeeld	241
8.2. Geologische geschiedenis, chrono- en lithostratigrafie	242
9. De Leemstreek	247
9.1. Kaartbeeld	247
9.2. Geologische geschiedenis en chrono- en lithostratigrafie	248
Hoofdstuk 5 Bodem	260
1. Wat is 'Bodem'?	261
2. Bouwstenen van de bodem	267
2.1. Minerale bodemfractie	267
2.1.1. Korrelgrootte	267
2.1.2. Chemische en mineralogische samenstelling van het moedermateriaal	268
2.2. Organische bodemfractie	274
2.3. Poriën	276
2.4. Lucht in de bodem	277
2.5. Water in de bodem	277
2.5.1. De cyclus van water ter hoogte van het bodemlandschap	277
2.5.2. Bodemwater en planten	280
3. De bodemkaart van Vlaanderen	281
3.1. Historiek	281
3.2. Legende	284
3.3. Digitale bodemkaart	286
4. Bodemassociaties – kenmerken en ontstaan van de huidige bodemlandschappen	288
4.1. De Kuststreek	288
4.2. De Zandstreek	296
4.3. De Zandleem- en Leemstreek	308
4.4. Speciale bodemtypes	318
5. Nieuwe prospectietechnieken in de bodemkunde	328
5.1. Opportuniteiten en beperkingen van de digitale bodemkaart	328
5.2. Gebruiksrisico's en remedies	328
5.3. Nieuwe prospectiemethoden	329
5.4. De toekomst van de bodemprospectie	332
Hoofdstuk 6 Kust en zee	340
1. Inleiding	341
2. Hydrodynamica	343
3. Geologische opbouw	345
3.1. Het Paleogeen substraat	345
3.2. Top-Paleogeen oppervlak	351
3.3. Quartaire afzettingen	352
3.4. Quartaire evolutiegeschiedenis	354
3.4.1. Pleistoceen	354
3.4.2. Holoceen	356
4. Morfologie	365
4.1. Morfologische karakterisatie van duinen en strand	365
4.2. Morfologische karakterisatie van de vooroever	367
4.3. Morfologische karakterisatie van het BDNZ	367
5. Sedimentologie	371
5.1. Strand en duinen	371
5.2. Belgische deel van de Noordzee	372
5.2.1. Zandvoorkomens	372

5.2.2. Grind	375
5.2.3. Slibvoorkomens	376
6. Dynamische processen en evolutie	378
6.1. Inleiding	378
6.2. Duinen, strand en vooroever: processen	378
6.3. Morfologische evolutie van de duinen	380
6.4. Morfologische evolutie van strand en vooroever	380
6.5. Grootschalig sedimenttransport op het BDNZ	383
6.6. Fijnkorrelig sedimenttransport op het BDNZ	383
6.7. Zandtransport op het BDNZ	385
7. Toepassingen	390
7.1. Inleiding	390
7.2. Delfstoffen	391
7.3. Baggerwerken	394
7.4. Windmolens	395
7.5. Kustverdediging	398
8. Nabeschouwing	403

Hoofdstuk 7 Hydrogeologie 410

1. Hydrogeologische en hydrostratigrafische opbouw van Vlaanderen	411
1.1. Het Sokkelsysteem	413
1.2. Het Centraal Vlaams Systeem	416
1.3. Het Kust- en Poldersysteem	422
1.4. Het Brulandkrijtsysteem	427
1.5. Het Maassysteem	434
1.6. Het Centraal Kempisch Systeem	440
2. Grondwatervoeding, -winning en -kwaliteit	443
2.1. Grondwatervoeding	443
2.2. Grondwaterwinningen	445
2.3. Verzilting van het grondwater	448
2.3.1. Het kustgebied	448
2.3.2. Chloride- en sulfaatconcentratie in diepe grondwaterlagen (Sokkel)	448
2.4. Bodemverontreinigingen	449
2.4.1. Vermesting	453
2.4.2. Bestrijdingsmiddelen	454
2.4.3. Zware metalen	456
3. Instrumenten van de hydrogeoloog	457
3.1. Regionale grondwaterstromingsmodellen	457
3.1.1. Inleiding	457
3.1.2. Aandachtspunten	458
3.2. Veldprospectie	458
3.2.1. Uitvoeren van boringen	459
3.2.2. Boorgatmetingen	461
3.3. Veldproeven	462
3.3.1. Slagproeven	463
3.3.2. Stapverlagingsproeven	463
3.3.3. Pompproeven	464
3.3.4. Een vergelijkende test	465
3.3.5. Tracerproeven	467
4. Geothermie	469
5. Geologische opslag van CO₂	472

Trefwoordenregister 481

Over de auteurs 489

Woord vooraf

Het in voege treden van het decreet betreffende de bodemsanering in 1995 heeft in Vlaanderen een sterke impuls gegeven aan bodem- en grondwateronderzoek. De thema's 'bodem en grondwater' zijn hierdoor maatschappelijk belangrijker en relevanter geworden. Deze tendens uit zich eveneens in het creëren en uitwerken van het Vlaams Grondwaterstromingsmodel en het ontstaan van een platform zoals dov.vlaanderen.be waar alle informatie inzake geologie en hydrogeologie ter beschikking gesteld wordt.

Intussen zijn vele duizenden mensen rechtstreeks of onrechtstreeks tewerkgesteld in de sector van het hydrogeologisch onderzoek en van het bodemonderzoek en de bodemsanering. Om de dagelijkse stroom aan gegevens, adviezen en beslissingen correct te kunnen inventariseren en interpreteren, is een algemeen referentiekader noodzakelijk. Het is essentieel dat alle data op dezelfde systematische wijze geïnterpreteerd worden, zodat iedereen die betrokken is bij geologisch en hydrogeologisch onderzoek dezelfde taal spreekt.

De *Geologie van Vlaanderen* wil aan dit referentiekader een bijdrage leveren. In acht hoofdstukken wordt niet alleen de geologische geschiedenis van onze contreien verteld, maar worden eveneens de chrono-, litho- en hydrostratigrafie die van toepassing zijn in Vlaanderen, toegelicht. Verder wordt aandacht besteed aan velerlei processen die gestalte gegeven hebben aan de 'geologie van Vlaanderen'. De toegepaste standaard is de stratigrafische nomenclatuur die door de Nationale Stratigrafische Commissie en door de 'International Commission on Stratigraphy' zijn vastgelegd.

Uit de vele honderden geraadpleegde publicaties tijdens het samenstellen van dit werk, viel een wildgroei aan allerlei stratigrafische begrippen op. Tel hierbij de periodieke wijzigingen in de formele stratigrafie op en het resultaat is een woud aan termen dat weinig toegankelijk is voor de gebruiker. Creativiteit mag niet leiden tot een 'potpourri' van stratigrafische begrippen, maar dient het creëren van een strakke en overzichtelijke systematiek voor ogen te hebben.

Met de publicatie van dit boek komt er een einde aan een odyssee. Jarenlang hebben we met een beperkt gezelschap rondgezworven op de wereldzeeën van de geologie; een reis die ons geleid heeft naar de zuidpool, de evenaar en ten slotte naar de plaats waar we nu vertoeven. Net zoals het stukje continentale korst waarop we wonen, hebben we hoogtes en laagtes gekend.

Vooreerst oprechte dank aan alle auteurs die een bijdrage geleverd hebben aan het tot stand komen van dit werk, in het bijzonder de hoofdauteurs Carole Ampe, Tim Debacker, Michiel Duser, Stephen Louwye, Vera Van Lancker en Jacques Verniers. Hulde aan Stephane Geets die ons ontvallen is tijdens deze tocht. Hij heeft een bepalende rol gespeeld in het tot stand komen van het hoofdstuk over het Neogeen en het Paleogeen.

De review door Manuel Sintubin heeft bijgedragen tot de hoge kwaliteit van het hoofdstuk over het onder-Paleozoïcum en het Massief van Brabant. De inspirerende gesprekken met Frank Mostaert en Frank Gelaude hebben bij mij een bijzondere interesse voor het Quartair losgeweekt. Voor wat

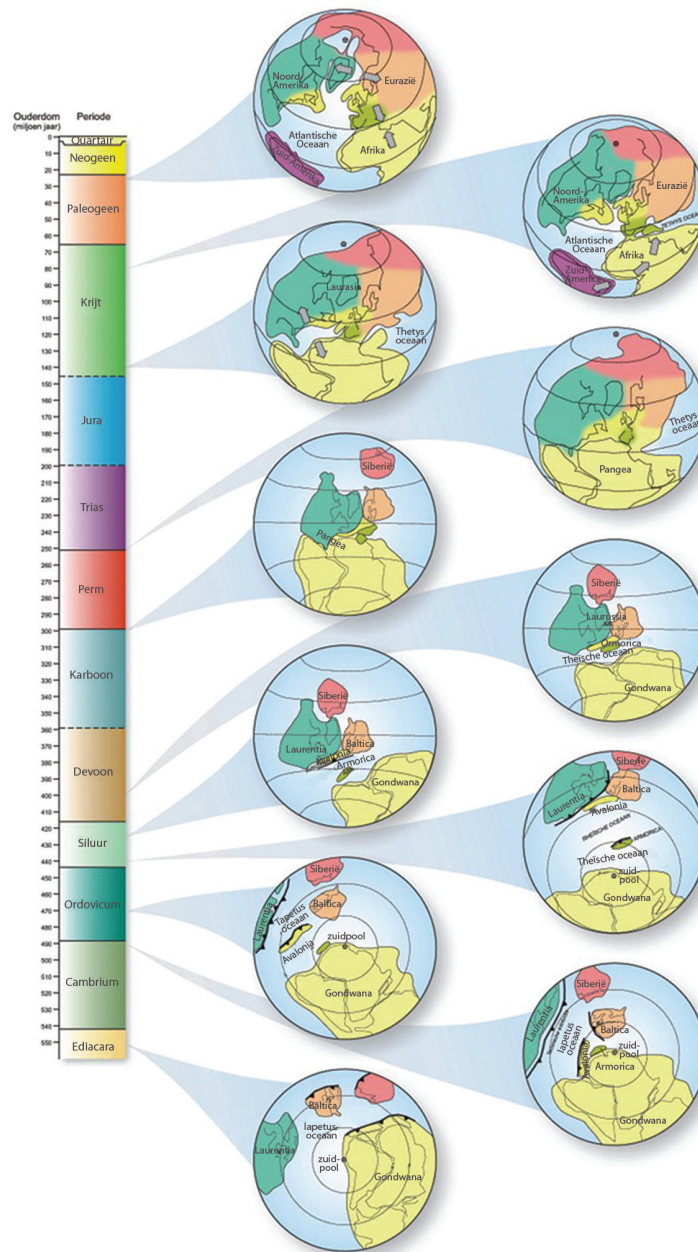
betreft de Holocene geschiedenis van de kustvlakte heb ik dankbaar gebruik kunnen maken van de indrukwekkende expertise van Cecile Baeteman. Verder dank aan Okke Batelaan voor de review van het hoofdstuk hydrogeologie. Oprechte dank aan Peter Laroy en Pieter Borghart van uitgeverij Academia Press voor het geduldig wachten tot het schip aanmeerde en de lading in horten en stoten gelost werd.

Oprechte dankbaarheid voor twee personen die bepalend geweest zijn voor het realiseren van het boek. Hun jarenlange niet aflatende ondersteuning en aanmoedigingen hebben ertoe bijgedragen dat dit naslagwerk er gekomen is. Het was een waar genoegen om met Stephen Louwye en Achilles Gautier te kunnen samenwerken. De wijze waarop Achilles mijn teksten telkens weer in een waar slagveld herschiep, waren confronterend maar hebben ertoe geleid dat het stuk over het Quartair een hopelijk goed leesbare en evenwichtige tekst is geworden. Ten slotte wil ik alle niet vermelde personen die bijdroegen aan de verwezenlijking van dit werk oprecht danken.

Mag ik ten slotte aan de lezer vragen het boek terug te sluiten en zich nogmaals te verliezen in de potloodtekening? Dit werk van de jonge Gentse kunstenaar Kasper Baele symboliseert waarvoor het boek staat. Het landschap waarin we worden geboren, leven en ten slotte zullen sterven, is getekend door geologische processen. In vergelijking met de onmetelijkheid van de geologische geschiedenis, is het menselijk bestaan immers slechts een intermezzo. Veel leesplezier!

Michael Borremans
September 2014

Timothy Debacker
 Jacques Verniers
 Michael Borremans
 Kris Piessens



Paleogeografische reconstructies doorheen het Fanerozoïcum, overgenomen van Woodcock & Strachan (2000). Voor de duidelijkheid zijn de grote paleocontinenten benoemd en is de positie van de gesteenten die het huidige België vormen aangeduid.

Algemene Inleiding

1. Geologie en onze maatschappij

Geologie is de studie van de ontwikkeling van de aarde en het daarop voorkomend leven. De geologie beperkt zich in hoofdzaak tot de aardkorst. Dit is de buitenste, harde schil van de aarde, met een dikte van circa 35 km ter hoogte van de continenten en van 5 tot 10 km onder de oceanen. De geologie bestudeert de gesteentelagen in de ondergrond en in het bijzonder de wijze waarop die gesteenten zijn ontstaan. De ontwikkeling van het leven doorheen de geologische tijd reflecteert zich hierbij in de aanwezigheid van fossielen in de aardkorst. Levende wezens zijn verantwoordelijk voor de zogenaamde fossiele brandstoffen, zoals aardolie, aardgas en steenkool. Bij dit alles speelt de dimensie 'tijd' een bepalende rol.

De aardkorst en de materialen waaruit ze opgebouwd is, zijn het product van geologische processen. Deze processen zijn nog steeds actief en geven de aarde haar specifieke bouw en uitzicht. Ze zijn verantwoordelijk voor de opbouw en de afbraak van gesteenten. De geologische processen zijn werkzaam sinds het ontstaan van de aarde, zo'n 4,6 miljard jaar geleden, en zijn verantwoordelijk voor de grote verscheidenheid aan landschappen die wij vandaag observeren. De geologie onderzoekt welke processen in de loop van de geologische tijden de aardkorst haar samenstelling, bouw en uitzicht hebben gegeven. Dit gebeurt niet alleen door de gesteenten zelf te onderzoeken, maar ook door de resultaten van de processen te bestuderen die op aarde werkzaam zijn. Zo worden golfribbels op het strand net op dezelfde manier gevormd als deze op miljoenen jaren oude zandstenen. Wat men vandaag leert uit het bestuderen van actieve processen, wordt toegepast tijdens het onderzoeken van oude gesteenten. Dit principe heet *'the present is the key to the past'*.

De geologische processen kunnen worden ingedeeld in endogene of inwendige en exogene of uitwendige processen. De endogene processen vinden plaats in het inwendige van de aarde, de exogene aan het aardoppervlak. Inwendige en uitwendige processen beïnvloeden elkaar voortdurend. Zonder de werking van inwendige processen, zoals convectiestromingen in de aardmantel, zouden de meeste uitwendige processen stilvallen. De werking van geologische processen is zelden waarneembaar, maar de resultaten ervan zijn goed vast te stellen. Tal van gesteentelagen zijn vervormd door de spanningen die erop worden uitgeoefend. De spanningen worden veroorzaakt door de voortdurende beweging van de tektonische platen. Het is de geoloog die aan de hand van een studie van de ondergrond het optreden van deze geologische processen in een ver verleden kan aantonen. Dit behelst niet enkel de grootschalige processen, zoals gebergtevorming, maar ook de kleinschaliger processen, zoals erosie, landverschuivingen, bodemvorming, ververing, rivierwerking, ...

Op elke willekeurige locatie zullen de intensiteit van een geologisch proces en de uitdrukking ervan variëren doorheen de tijd. Dit leidt tot het begrip geologische gebeurtenis. Grote gebeurtenissen of *'events'* in de geologische tijd zijn onder andere tektonische activiteiten, zoals breukwerking, verticale en horizontale bewegingen, gebergtevorming of orogenese, aardbevingen, maar eveneens zeespiegelstijgingen en -dalingen, glaciaties en heel uitzonderlijk extraterrestrische *events*, zoals meteorietinslagen. Sommige van deze gebeurtenissen, bijvoorbeeld meteorietinslagen, grijpen plots plaats. Andere, zoals glaciaties, treden zo langzaam op dat het *event* voor een waarnemer nauwelijks waarneembaar is.

Het zijn de geologische processen die de ondergrond zijn specifieke eigenschappen geven en bepalend zijn voor het gebruik en de toepassingsmogelijkheden ervan door en voor de mens. In onze maatschappij zijn er slechts weinig materialen waarvoor geen geologische grondstoffen nodig zijn. De geologische processen bepalen het voorkomen van geschikte delfstoffen, gaande van ertsen en fossiele brandstoffen tot natuurlijke bouwstenen, bepalen de stromingskarakteristieken en de chemische eigenschappen van het grondwater, bepalen de mogelijkheid tot het aanwenden van de ondergrond voor geothermische toepassingen en bepalen het draagvermogen en de geotechnische eigenschappen van de ondergrond. In het bijzonder in onze dichtbevolkte gebieden, waar de ondergrond gebruikt wordt voor diverse doeleinden zoals drinkwaterwinning, afwatering, afvalberging, stabiele en veilige woonruimten, ruimte voor ondergronds verkeer en bouwstoffen, is een kennis van de geologie van groot belang. Bovendien moet er rekening mee gehouden worden dat de geologische processen nog steeds actief zijn. Processen zoals verweering en erosie werken eveneens op menselijke constructies in, waarbij de eigenschappen van de gebruikte grond- en bouwstoffen bepalend zullen zijn voor de duurzaamheid van de constructie. Enerzijds worden de menselijke ingrepen in het landschap niet enkel door geologische processen beïnvloed, anderzijds kunnen ze een katalysator vormen voor het versnellen van processen. Een voorbeeld hiervan is versnelde bodemerosie in de ‘Vlaamse Ardennen’, die het gevolg is van verkeerd bodemgebruik.

2. De geologie van onze gebieden: een samenvatting

2.1. De geologische evolutie van onze gebieden in een notendop

De lithosfeer en het bovenste deel van de mantel is opgebouwd uit een groot aantal tektonische platen. Hierin zijn twee types te onderscheiden, namelijk de dunne oceanische platen met een hoge dichtheid en de dikke continentale platen met een lagere dichtheid. De snelheid waarmee de platen bewegen, is vergelijkbaar met de groeisnelheid van onze vingernagels, namelijk één tot tien centimeter per jaar. Sommige platen bewegen naar elkaar toe, andere van elkaar weg en nog andere langs elkaar heen. Bij het uit elkaar bewegen van platen treedt rek op, waardoor de lithosfeer lokaal verdunt, inzakt en het aardoppervlak er bedekt kan worden door zeeën. Zeeën kunnen opgevuld worden door sedimenten, aangevoerd door rivieren die erin uitmonden. Rek op de aardkorst kan dus aanleiding geven tot de vorming van (sedimentatie)bekkens. Een dergelijk proces trad in onze gebieden op tijdens een groot deel van het Fanerozoïcum. Wanneer de rek zich doorzet, kan de reeds dunne lithosfeer op plekken met een verhoogde warmtedoorstroming vanuit de mantel scheuren, waarbij de oorspronkelijke plaat opgesplitst wordt in twee uit elkaar bewegende platen. Door magmatische activiteit ontstaat ter hoogte van divergerende plaatranden een nieuwe oceanische korst. Een voorbeeld van een divergerende plaatrand is de mid-oceanische rug van de Atlantische Oceaan, met als hoogste deel IJsland.

De vorming van oceanische lithosfeer wordt op andere plaatsen gecompenseerd door het verdwijnen van oceanische korst. Dit kan optreden ter hoogte van naar elkaar bewegende platen. De grens tussen twee naar elkaar toe bewegende plaatranden heet een convergente plaatrand. Wanneer een oceanische en een continentale plaat een convergente plaatrand vormen, zal de zwaardere oceanische korst onder de lichtere continentale plaat duiken en onder de lithosfeer uiteindelijk in de mantel worden opgenomen. Het duiken van de oceanische plaat onder een continentale plaat noemt men subductie (Fig. 0.1). De voortdurende subductie van de oceanische plaat kan uiteindelijk leiden tot het volledig verdwijnen van deze plaat. De convergente plaatrand kan dan tussen twee continentale platen komen te liggen. Het resultaat is dat twee continentale platen met elkaar botsen, waardoor

de korst verkort en verdikt, wat aanleiding geeft tot gebergtevorming. Voorbeelden zijn de Alpen en de Himalaya. Een gebergtevorming ten gevolge van het botsen van lithosferische platen is in onze gebieden tweemaal opgetreden.

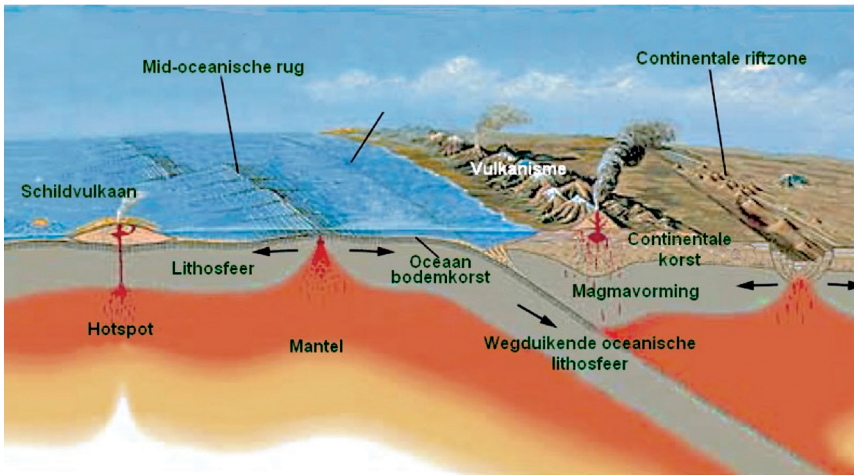


Fig. 0.1:

De convectiestromingen van het magma aan de onderkant van de korst veroorzaken de verschuiving van de tektonische platen. Ter hoogte van een mid-oceanische rug wordt voortdurend oceanische korst gevormd. In een subductiezone verdwijnt de plaat in de mantel, waarna het gesteente smelt.

Terwijl de restanten van de eerste of oudste gebergteketen in België vroeger als ‘Caledonisch’ bekend stonden, worden momenteel ook meer lokale termen gebruikt, namelijk Brabants voor het noorden van het land en Ardeens voor het zuiden van het land (zie Kader 0.1). Deze restanten bevatten sedimenten van Cambrium-, Ordovicium- en Siluuroouderdom die vervormd werden ergens tussen het Midden-Ordovicium en het Midden-Devoon. Deze vervorming is (a) ofwel een indirect gevolg van de botsing van het paleocontinent Baltica, het huidige Scandinavië en Oost-Europa tot aan de Oeral, met het micropaleocontinent Avalonia, met onder andere het huidige Zuid-Engeland, Zuid-Ierland, België, de zuidelijke Noordzee, Noord-Duitsland tot Noordwest-Polen; later vanaf het Wenlock met het continent Laurentia; (b) ofwel een gevolg van de botsing met een meer zuidelijk (micro)continent (Fig. 0.2). De restanten van de tweede gebergteketen noemt men Variscisch (zie Kader 0.1). Het bevat sedimenten afgezet tijdens het Devoon en Carboon, die nog tijdens het Carboon vervormd werden als gevolg van de botsing van de twee grote paleocontinenten Laurussia, dat Laurentia, Baltica en Avalonia bevat, en Gondwana, met vorming van het supercontinent Pangea.

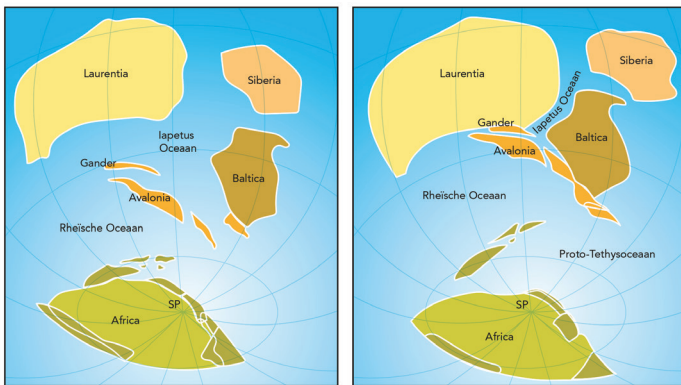


Fig. 0.2:

Aanmerken van Avalonië aan Baltica. Mogelijk speelde een onbekend klein continent een rol. De linkerfiguur geeft de toestand tijdens het Darriwilliaan, Midden-Ordovicium, weer; de rechterfiguur tijdens het vroeg-Siluur. Einde Siluur begin Devoon clusterden beide continenten samen met Laurentia; naar [14].

Kader 0.1. Orogenesen en hun namen De Caledonische orogenese en de termen Acadisch, Brabants en Ardeens

De naam **Caledonisch** is afkomstig van de Latijnse naam *Caledonia* voor het huidige Schotland tijdens de Romeinse periode. De Caledonische gebergteketen vormde zich vooral door het sluiten van de Iapetus Oceaan en de botsing van de continenten Laurentia (Noord-Amerika) enerzijds en Avalonia, waar Vlaanderen deel van uitmaakte, en Baltica anderzijds. De resten van het gebergte bevinden zich vooral in het Appalachegebergte, Oost-Groenland, Ierland, Schotland en in Scandinavië tot Spitsbergen.

De periode waarin de zuidrand van het Massief van Brabant vervormd werd, strekt zich uit van het Siluur tot het Midden-Devoon. Dit is reeds meer dan 100 jaar bekend (o.a. [5]), toen de begrippen continentendrift en platentektoniek nog niet bestonden. Naar analogie van de Caledonische vervorming in de Britse eilanden werd de vervorming in Vlaanderen toegeschreven aan de Caledonische gebergtevorming.

Met de opkomst van de begrippen continentendrift en later platentektoniek, en het ontrafelen van de relatieve positie van de verschillende continenten en oceanen doorheen de tijd, zag men in dat a) de Caledonische gebergteketen op de Britse eilanden een gevolg was van het sluiten van de Iapetus Oceaan tussen de continenten Laurentia enerzijds en Avalonia en Baltica anderzijds, b) de Caledonische Orogenese veel vroeger aanvangt dan de vervorming van het Massief van Brabant, én dat c) in deze orogenese meerdere fasen te onderscheiden zijn. Een van die laatste fasen noemt men de Acadische vervormingsfase. Deze fase was oorspronkelijk gedefinieerd in de Appalachen (Nova Scotia), waar ze een ouderdom heeft van Midden-Devoon. De vervorming in de Appalachen is echter geen rechtstreeks gevolg van de sluiting van de Iapetus Oceaan. Daarom is de Laat-Caledonische fase met Vroeg-Devoon ouderdom in de Britse eilanden hernoemd tot de **Acadische vervormingsfase** [7]. Aangezien de vervorming aan de zuidrand van het Massief van Brabant qua ouderdom praktisch samenvalt met de Acadische vervormingsfase in de Britse eilanden en het Massief van Brabant onder de Noordzee doorloopt naar de Britse eilanden, heeft in onze contreien de term Acadische vervorming ingang gevonden [10, 11].

De laatste jaren is gebleken dat de contacten tussen de continenten Avalonia, Baltica en Laurentia veel complexer verliepen dan aanvankelijk gedacht. Avalonia bleek eerder dan een rigied microcontinent, uit een aaneenschakeling van kleine microcontinentjes te bestaan, waarin meerdere gebergteketen aanwezig waren, elk met hun eigen oriëntatie en een ouderdom tussen het Laat-Ordovicium en het Laat-Devoon. Door deze complexiteit is het moeilijk bepaalde gebergteketen, zoals het Massief van Brabant, rechtstreeks te linken aan het sluiten van de Iapetus Oceaan. Om die reden wordt voorgesteld om, zolang de link met de grotere gebergteketen en de platentektonische motor van de vervorming niet volledig gekend zijn, de pre-Givetiaanvervorming van Onder-Paleozoïsche gesteenten in België niet meer te bestempelen als 'Caledonisch' of 'Acadisch', maar hiervoor eerder een lokale naam te gebruiken. Voor het Massief van Brabant spreekt men van de **Brabantse vervormingsfase** en voor de Ardeense Onder-Paleozoïsche massieven van de **Ardeense vervormingsfase** (zie o.a. [3] en [13]).

Hercynische of Variscische orogenese

De naam **Hercynisch** is afkomstig van *Silva Hercynia*, de Latijnse naam voor het grote woud rond het Harzgebergte in Centraal-Duitsland tijdens de Romeinse bezetting. De term is gecreëerd door Suess (1888) voor de Paleozoïsche orogenese die in de Harz te vinden is. Het Harzgebergte zelf werd echter gevormd door een Mesozoïsche opheffing; vandaar dat sommigen die term niet meer gebruiken. De naam **Variscisch** is afkomstig van de Latijnse naam voor de *Varisci* (ook gespeld *Naristi*, *Narisci*, *Varisti*, *Ouaristoi*), een Germaans volk dat ten tijde van de Romeinen in de *Provincia Variscorum* leefde, rond de stad Hof in het huidige Vogtland, in het Fichtelgebergte (deel van het Ertzgebergte) in Duitsland.

Beide namen worden door elkaar gebruikt, maar betekenen hetzelfde. In dit boek wordt, in navolging van de recente publicaties over België, voor de term 'Variscisch' gekozen. De gebergteketen is ontstaan tijdens het Devoon, met culminatie in het Carboon door de botsing van de twee grote continenten Laurussia, dat bestond uit Laurentia, Baltica en Avalonia samengebracht na de Caledonische orogenese, en Gondwana. De resten van deze meer dan 5000 km lange gebergteketen bevinden zich nu in het Appalachengebergte (VS), Zuid-Ierland, Zuid-Engeland, Marokko, Spanje, Frankrijk (o.a. Armoricaans Massief, Bretagne en Normandië, Centraal Massief, Vogezen), België, Duitsland (o.a. Zwarte Woud, Centraal-Duitsland), delen van de Alpen (bv. de Mont-Blanc) en het Boheems Massief.

Vanaf het Perm kwamen onze gebieden in rustiger 'geologisch' vaarwater terecht. Tijdens het Perm en het Trias werd Pangea opgesplitst in het continent Laurazië, waartoe ons grondgebied behoorde, en het continent Gondwana in het zuiden. Hierbij werd de oostwest gerichte Tethys Oceaan gevormd. Er was geen noemenswaardige compressieve vervorming en lange periodes van subsidentie of inzakking en sedimentatie traden op. Na het Perm hebben twee grote continentbewegingen onze korst in België beïnvloed. Enerzijds was er het openen van de Atlantische Oceaan in twee pulsen (Jura en Krijt) en anderzijds het sluiten van de Tethyszee, waar de Middellandse zee een kleiner restant van is. Hierbij botste Gondwana, waarvan Afrika een deel is, met Eurazië, wat resulteerde in de vorming van de Alpijnse gebergteketen. In België vormde zich een grabensysteem in twee fazen, namelijk tijdens het Jura en tijdens de periode vanaf het Oligoceen tot vandaag. Dit grabensysteem is gekend als de Roerdalslenk en werd vroeger de Slenk van Roermond of de Graben de Ruremonde genoemd. De in Vlaanderen vooral subsiderende bewegingen wisselden af met opheffingen. De laatste opheffing begon in het Neogeen, waardoor onze gebieden nu boven water liggen en door erosie hun huidige reliëf verkregen. De geologische geschiedenis van België wordt in elf stappen schematisch weergegeven in Fig. 0.3.

2.2. De geologische opbouw van onze gebieden

Ondanks de geringe oppervlakte komen veel gesteenten van heel verschillende ouderdom, samenstelling en oorsprong in Vlaanderen voor. Deze gesteenten beslaan bijna het volledige Fanerozoïcum, van het onderste Cambrium tot het Holoceen. Wanneer al deze lagen op elkaar worden gestapeld, zou dit resulteren in een kolom met een dikte van 18 km. Over de diepste en oudste delen van België is weinig geweten. De geschatte dikte van de korst, of de diepte tot de Mohodiscontinuïteit, in ons gewest zou variëren tussen 27 en 36 km [9].

Het zijn voor het overgrote deel sedimentaire gesteenten, vooral van mariene oorsprong. Slechts een deel van de gesteenten, met name van het Onder-Paleozoïcum, onderging een zwak regionaal metamorfisme en minder dan 1% van de gesteenten in onze gewesten zijn magmatisch, extrusief of intrusief, van oorsprong. De Paleozoïsche gesteenten zijn vaste gesteenten met onder andere kwartsiet, leisteen, zandsteen, siltsteen, slijksteen of *mudstone*, kleisteen en kalksteen met enkele conglomeraat-, zout- en steenkoolafzettingen. De Mesozoïsche en Cenozoïsche gesteenten zijn vooral losse of licht verharde afzettingen, zoals grind, zand, silt, klei en krijt. Lokale verharde banken, gevormd door cementatie, komen voor. Zandsteen, kwartsiet, kalkzandsteen, ijierzandsteen en silex zijn hiervan voorbeelden.

De Paleozoïsche sokkel

Het Paleozoïcum bevat voornamelijk harde gesteenten. Ze vormen het voetstuk of de sokkel voor alle bovenliggende jongere gesteentelagen. Door middel van seismische exploratie en diepe boringen, uitgevoerd voor wetenschappelijk onderzoek, waterbevoorrading of steenkoolontginning, heeft

	Spanningsveld	Sedimentatiebekken	Tektonische megacyclus	Nr.	Voornaamste lithologien	Kleur	Periodes/ Series/ Etages	Era	
Eurasia	Extensie	Opheffing, vooral erosie, hier en daar weinig afzetting	Continentaal	4	Klei (polders) silt (leem-loess) zand (dekzanden, duinen) grind (laag- en hoogterrassen)	grijs, wit, oker	Quartair	Cenozoïcum	
	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten/opheffingen/ emersies	Noordzee-bekken	10	Klei, silt en zand met enkele verharde banken (kalkzandsteen, zandsteen, kwartsiet)	grijs, groenig, gelig	Neogeen Paleogeen (Tertiair)		
	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten/opheffingen/ emersies	Germaans bekken Bekken van Parijs	3	Krijt (soms met silex), soms klei of zand	wit, grijs, +groenig	Krijt		Mesozoïcum
Laurasia	Extensie	Afzetting, met hiaten en emersies	Germaans bekken	8	Krijt (soms met silex), soms klei en mergel, kalksteen, kalk- en ijzeroolieten, evaporiehooudende mudstone, dolomiet.	grijs, geel, rood	Jura + Trias + Perm	Mesozoïcum	
Pangea	Compressie		Post-variscische erosie // Variscische/Hercynische vervorming (orogenese)	7			boven-Carboon	Paleozoïcum	
Laurussia	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten, (opheffingen/ emersies)	Rhenohercynisch bekken Bekken vd Kempen	6	Mudstone, schiefer, zandsteen, steenkool	grijs	boven-Carboon		
	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten, (opheffingen/ emersies)	Rhenohercynisch bekken Bekken vd Kempen	2	5	Kalksteen, soms dolomitisch	grijs		onder-Carboon
	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten, (opheffingen/ emersies)	Rhenohercynisch bekken Bekken vd Kempen	4	4	Zandsteen (bovenaan) schiefer/mudstone (onderaan).	grijs		Famenniaan
	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten, (opheffingen/ emersies)	Rhenohercynisch bekken Bekken vd Kempen	3	3	Kalksteen (riffen, nodulair) schiefer/mudstone, zandsteen, conglomeraat	grijs rood		Frasniaan Givetiaan Eifeliaan
	Compressie		Post-caledonische erosie Caledonische vervorming (orogenese)	2	2				Onder-Devoon
Avalonia	Extensie	Vooral afzetting, een paar hiaten, (opheffingen/ emersies)	Bekken van Brabant-Condroz-Ardenne	1	1	Schiefer/mudstone, siltsteen zandsteen, enkele magmatische gesteentes	grijs		Siluur Ordovicium Cambrium
Gondwana	(Compressie)					purper groen			

Fig. 0.3: Schematisch overzicht van de geologische geschiedenis van België in elf stappen. Er zijn vier megacycli te onderscheiden. Megacycli 1 en 2 eindigen met een orogenese. Tijdens megacyclus 3 overweegt afzetting van mariene sedimenten, terwijl tijdens megacyclus 4 over langere periodes erosie optreedt ten gevolge van opheffing.

men een idee gekregen van de samenstelling en diepte van deze sokkel (Fig. 0.4). Het oppervlak van de sokkel stijgt langzaam naar het zuidzuidwesten. De Paleozoïsche sokkel ligt op 1000 m diepte te Turnhout, op 550 m te Antwerpen, op 300 m te Brugge, op 200 m te Gent en de sokkel ontsluit in de valleien van de provincies Vlaams- en Waals-Brabant, Henegouwen, Namen en Luik. In Vlaanderen komt de sokkel dus enkel aan de oppervlakte in Vlaams-Brabant en de Voerstreek, terwijl ze in Wallonië, vooral ten zuiden van Samber en Maas, aan het oppervlak zichtbaar is (Fig. 0.4).

In het Paleozoïcum van Vlaanderen zijn de volgende drie grote structurele eenheden te onderscheiden. Van noord naar zuid zijn dit het Bekken van de Kempen, het Massief van Brabant en het 'Synclinorium van Namen' (Fig. 0.4 & 0.5). In het noorden ligt het Bekken van de Kempen, waarin de Devoon- en Carboonlagen zacht naar het noordnoordoosten hellen. Deze afzettingen, die volledig bedekt zijn door jongere deklagen, zijn enkel uit boringen en mijnschachten gekend (bv. Limburgse steenkoolontginning en gasopslag in de Antwerpse Kempen). De lagen werden licht vervormd, maar werden vooral gebroken tijdens de Variscische orogenese en verkregen hun noordwaartse helling pas tijdens het Jura. In de noordoostelijke hoek van Limburg wordt het bekken gebroken door de Mesozoïsche en Cenozoïsche grabenstructuur van de noordwest-zuidoostgerichte Roerdalslenk, die zich in zuidoostelijke richting uitstrekt tot Keulen, onder Nederland doorloopt naar het noordwesten en in verbinding staat met de Noordzee- en Vikinggrabens. Aan zijn zuidkant bedekt het Bekken van de Kempen discordant het Massief van Brabant, gekend als de Brabantse discordantie.