

# De Scandinavian Battle

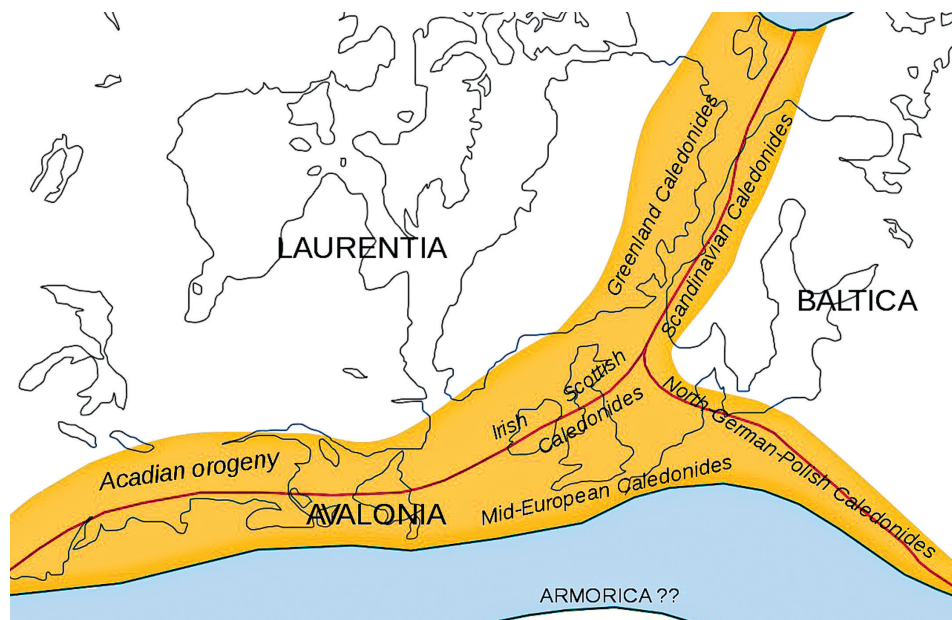
## Op zoek naar de verklaring voor het Noorse landschap

door Vera Hoogland  
verahoogland@hotmail.nl

Vera Hoogland is eerstejaars masterstudent aardwetenschappen, richting Geology and Geochemistry aan de Vrije Universiteit Amsterdam.

De wetenschapswereld kan hard zijn. Om eerlijk te zijn had ik daar nog nooit bij stil gestaan. Wetenschappers zijn toch altijd beschaafd en bereid om tot een goede, gezamenlijke conclusie te komen? Of toch niet? Recentelijk heb ik mij verdiept in een wetenschappelijke strijd, genaamd 'The Scandinavian Battle'. En een 'Battle' is het ook écht. De Scandinavian Battle is een jarenlange discussie tussen een groep Noorse en een groep Deense wetenschappers met betrekking tot de vorming van het reliëf (oftewel, het resterende gebergte) in West-Noorwegen. Dit interesseerde mij in eerste instantie, omdat ik in het desbetreffende gebied (Bergen, Noorwegen) heb gewoond, maar na het lezen van de verschillende theorieën besloot ik me vol in de discussie te verdiepen. Naast interessant, vond ik het voornamelijk verrassend hoe aanvullend wetenschappers naar elkaar kunnen zijn. Een wetenschappelijke battle kun je het zeker noemen als je het mij vraagt. In dit artikel zal ik jullie uitleggen waar deze jarenlange discussie over gaat.

Om te beginnen zal ik iets uitleggen over het Noorse landschap. Noorwegen is uniek in die zin dat het hooggelegen, vlakke landschappen kent met daarin overblijfselen van bergen. Dit wil zeggen, het reliëf valt mee, maar de pieken en de vlaktes liggen vrij hoog boven zee-niveau (de hoogste berg Galdhøpig ligt op 2469 m hoogte). Denk bijvoorbeeld ook aan de fjorden: zeer vlakke rotsen op grote hoogte. Tijdens de aardrijkskundelessen hebben we allemaal geleerd dat deze zijn ontstaan door insnijding van gletsjers, en dat Noorwegen en Scandinavië daarna omhoog zijn gekomen als gevolg van 'glaciale rebound'. Dit gebeurt wanneer gletsjers smelten en het land langzaam weer omhoog veert. Echter, de verklaring voor het hedendaagse landschap is niet zo simpel, en de oorsprong ligt al langer terug dan 100.000 jaar, ver vóór



▲ Afb. 1. De Scandinavische Caledoniden en de ligging van de Caledonische gebergtegordel in het Vroeg-Devoon, na afloop van de Caledonische orogenese. Bron: Woudloper via Wikimedia Commons CC BY-SA 1.0

de laatste ijstijd (Pleistoceen), in het vroege Kenozoïcum, vanaf 66 miljoen jaar geleden.

### Geologische geschiedenis van Scandinavië

Tijdens de Caledonische gebergtevorming (die plaats-

#### 'Tectonic Uplift' hypothese

De Tectonic Uplift-hypothese (oftewel de Tektonische Opheffing-hypothese) wordt voornamelijk gesteund door Noorse geologen. Deze hypothese gaat ervan uit dat het resterende reliëf in Noorwegen is gevormd door een periode van opheffing in het Eoceen en Mioceen. Deze opheffing werd veroorzaakt door thermische processen in de mantel. Als gevolg van vertering en erosie is het landschap vervolgens grotendeels afgevlakt, waardoor Noorwegen nu gekenmerkt wordt door een hoog liggend landschap met weinig reliëf, met hier en daar toch nog wat uitstekende pieken.

#### 'ICE' hypothese

De Isostasy-Climate-Erosion (ICE)-hypothese wordt voornamelijk gesteund door Deense geologen. Deze hypothese verklaart het Noorse landschap aan de hand van een samenspel tussen isostatische opheffing en erosie als gevolg van een koud klimaat. Ijsbedekking, gletsjers en het wegsmelten hiervan zorgen voor een opheffing van het landschap. Daarop volgende erosie heeft volgens de Denen het landschap gedeeltelijk afgevlakt waardoor het moderne Noorse landschap is ontstaan.



▲ Afb. 2. De Noorse fjorden, een klassiek voorbeeld van een hoog gelegen peneplain



▲ Afb. 3. Preikestolen. Misschien wel het meest bekende voorbeeld van een peneplain.

vond vanaf het Cambrium tot in het Siluur) kwamen de twee continenten Baltica en Laurentia samen en werd het nieuwe continent Laurussia (ook wel Laurasië) gevormd. Tijdens deze botsing (collisie) werden de Scandinavische Caledoniden gevormd (afb. 1). Overblijfselen van dit gebergte zijn te vinden in Schotland, Engeland, Groenland en Noorwegen.

Nadat het Caledonische gebergte gevormd was, vond een lange periode van erosie plaats. Rivieren, wind, en een fluctuerende zeespiegel zijn allemaal factoren die bijgedragen hebben aan het afvlakken van het gebergte tot een zogenaamd peneplain (afb. 2 en 3 en achterplaat). Dit wil zeggen: een landschap met weinig reliëf, geërodeerd tot het laagste niveau wat mogelijk is in het desbetreffende gebied. De Ardennen zijn hier een mooi voorbeeld van. Hier bevinden zich ook veel vlaktes die als peneplains geïdentificeerd kunnen worden, en waar erosie en sedimentatie in evenwicht zijn. De landschapscyclus, beginnend bij opheffing en gebergtevorming en eindigend in een vlakke, is een belangrijk geologisch fenomeen (afb. 4).

Tot hier zijn de wetenschappers het nog met elkaar eens. De vraag is echter hoe het mogelijk is dat Noorwegen nu nog steeds bergen heeft. De Noorse wetenschappers, vertegenwoordigd door de onderzoeker Roy H. Gabrielsen, verklaren dit aan de hand van tektonische opheffing van het landschap, een vrij algemene en oude theorie (Gabrielsen et al. 2007; Gabrielsen et al. 2009, Chalmers et al. 2000). De Deense wetenschappers, vertegenwoordigd door S. Nielsen, zijn het hier echter volstrekt niet mee eens. Zij stellen een ander mechanisme voor, namelijk het zogenaamde ICE-model (Isostasy, Climate and Erosion) (Nielsen et al. 2010, Nielsen et al. 2009; Nielsen et al. 2010b). Hierin vindt er ook opheffing plaats, maar deze wordt niet in verband gebracht met tektonische processen. In de onderstaande alinea's zal ik beide hypothesen toelichten.

### De 'tectonic uplift' hypothese

De 'tectonic uplift' hypothese (tektonische opheffing hypothese) gaat ervan uit dat het Caledonische gebergte in Noorwegen is weg geërodeerd tot zeeniveau, waarna het gebied verdere extensie onderging als gevolg van het openen van de Atlantische Oceaan (Gabrielsen et al.). Tijdens het Eoceen tot het Mioceen (tussen ongeveer 56 en 5,3 miljoen jaar geleden) vond er volgens de Noorse wetenschappers echter een nieuwe tektonische opheffing plaats. Deze opheffing was thermo-tektonisch, wat wil zeggen dat ze deels verklaard kan worden door een hete, onstabiele mantel die gerelateerd wordt aan de vorming van de hotspot onder IJsland en tektonische heractivatie van oude breuken als gevolg van compressie tijdens de Alpiene gebergtevorming. Tijdens deze fase van opheffing is, volgens professor Roy Gabrielsen, het hedendaagse reliëf ontstaan.

De belangrijkste argumenten van Gabrielsen en zijn collega's zijn o.a. de veranderingen in opeenvolging van de sedimenten op de Noordzeebodem: op een gegeven moment verandert zowel de korrelgrootte als de aanvoerrichting. Aanvankelijk werd het grootste deel van de sedimenten vanuit het westen (Schotland en Groenland) aangevoerd, maar rond het begin van het Mioceen veranderde dit. De dominante toevoer leek nu vanuit het oosten te komen, en wel van de Noorse kusten. Verder gebruiken Gabrielsen en zijn collega's de thermische geschiedenis van het Noorse gebergte om te verklaren dat het landschap oorspronkelijk dieper in de lithosfeer heeft gelegen, actief omhoog is gekomen (d.w.z. door tektonische krachten) en is afgekoeld. Vervolgens is het landschap opnieuw door klimaat en erosie afgevlakt tot de vlaktes die we nu kennen. De eerder genoemde landschapse-



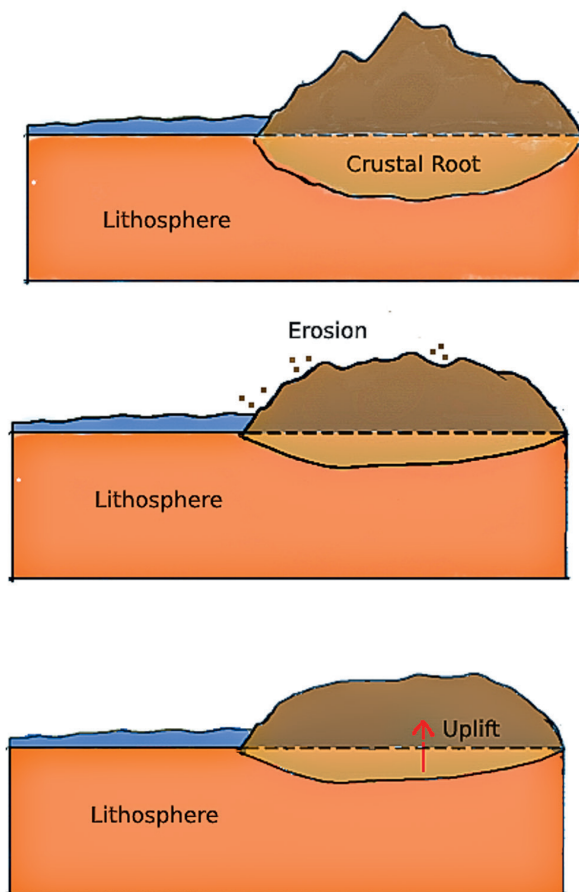
▲ Afb. 4. De landschapscyclus. Van links naar rechts laat deze cyclus de geleidelijke afvlakking van het reliëf zien tot zeeniveau als gevolg van erosie.

volutie-cyclus is dus nogmaals doorlopen. De huidige, resterende bergen zouden geen overblijfselen zijn van de eerste fase van tektonische opheffing, maar van deze tweede fase.

Deze theorie lijkt simpel en is jarenlang de belangrijkste verklaring geweest voor het landschap in Zuid-Noorwegen. Totdat de Deense wetenschappers onder leiding van professor Søren Nielsen rond 2007 met een alternatief kwamen...

### De ICE-hypothese

In tegenstelling tot de Noorse groep denken de Deense onderzoekers dat een tweede fase van tektonische activiteit niet nodig is om de landschapsvorming van Noorwegen te verklaren. Volgens hen is dit namelijk ook niet mogelijk, gezien de stabiele tektonische setting van Noorwegen. Volgens de ICE-hypothese kan het klimaat, samen met het omhoogkomen van het landschap als gevolg van erosieve 'unloading' (het lichter worden van de aardkorst) (afb. 5 en 6) en het openbreken van de Atlantische Oceaan het landschap verklaren.



▲ Afb. 5. Het principe van 'erosional unloading' en de daarop volgende opheffing. In de figuur is de verwijdering van de crustal root goed te zien.

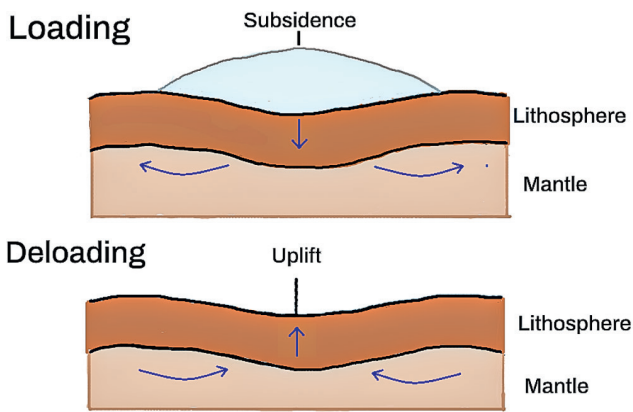
Dit heeft wat verdere uitleg nodig: de ICE-hypothese (een afkorting voor Isostasy, Climate en Erosion, zoals eerder genoemd) verklaart in eerste instantie het omhoog komen van het Noorse land als een logisch gevolg van het openbreken van de Atlantische Oceaan. Hierdoor vindt

extensie plaats in de aardkorst, waardoor mantelmateriaal omhoog welt. Dit zorgt ervoor dat de bovenliggende korst ook omhoog komt. Daarnaast vindt er op grote schaal erosie plaats van het Caledonische gebergte, waardoor het gewicht op de onderliggende mantel steeds minder wordt. Ook dit zorgt ervoor dat door het eerder genoemde proces van terugvering het landschap omhoog zal komen (afb. 5). Al met al kan dit samengevat worden als isostatische rebound.

Volgens de Deense wetenschappers heeft het klimaat een belangrijke rol gespeeld bij de vorming van het moderne Noorse landschap. Noorwegen is immers vele malen bedekt geweest onder dikke lagen ijs en gletsjers. Uit voorbeelden van de Himalaya en de Appalachen is bekend dat een laag ijs de hoogte van een gebergte kan begrenzen. Zodra zich een gletsjer vormt, wordt de verticale kracht van de tektonische opheffing uitgebalanceerd door het gewicht van de gletsjer. Het landschap raakt in evenwicht en zal niet verder meer omhoog komen (Anderson, 2002). Dit wordt ook wel het Glacial Buzzsaw effect genoemd. Dit effect heeft samen met erosieprocessen als gevolg van vorst, regenwater en zeer actieve rivieren tijdens koude en warmere perioden voor een gelijktijdige afvlakking van het landschap gezorgd. Zodra de ijskappen smelten, zal het landschap omhoog veren (afb. 6). Hierdoor ontstaat reliëf wat vervolgens in hoog tempo weer afgevlakt wordt door dezelfde erosieprocessen als eerder genoemd. Deze hypothese is consistent met de lithologische overgangen in het Noordzee-bekken. Sedimenten die eerst verklaard werden door tektonische opheffing, worden in de ICE-hypothese verklaard door klimatologische veranderingen en het smelten van de ijskappen wat zorgde voor meer aanvoer van sedimenten.

Ook de thermische geschiedenis van Noorwegen, die duidt op het omhoog komen van het landschap, hoeft niet per se met tektonische opheffing verklaard te worden, maar kan ook door het passief omhoog komen als gevolg van isostatische rebound verklaard worden.

Ook geven de Deense wetenschappers veel argumenten tegen de 'Tectonic uplift' hypothese. Zo is er in de seismische profielen te zien dat er onder het Noorse gebergte een dikke korst aanwezig is, ook wel de 'crustal root' genoemd. Deze dikke korst zorgt ervoor dat het gebergte stabiel blijft en niet instort onder zijn eigen gewicht. Wanneer een gebergte langzaam erodeert, zal de crustal root steeds kleiner en kleiner worden. Er is steeds minder gewicht van het gebergte over om te compenseren in de mantel. Wanneer na de eerste fase van opheffing het gehele gebergte weg geërodeerd zou zijn, zou dat betekenen dat de initiële root ook volledig verdwenen is (in afb. 5 is een versimpelde weergave van een continent met crustal root weergegeven die als gevolg van erosie langzaam kleiner wordt). Een tweede fase van tektonische opheffing zou dus moeten leiden tot het vormen van een nieuwe crustal root om het nieuwe reliëf te stabiliseren. Veel onderzoek naar het gedrag van de lithosfeer, de stromingen en de dichtheden van de lithosfeer onder Noorwegen wijst erop dat het volstrekt onmogelijk is om 'binnen de wetten van de natuurkunde' een nieuwe crustal root te



▲ Afb. 6. Opheffing door terugvering na het wegsmelten van ijskappen.

vormen (Nielsen et al 2010). De overgebleven crustal root moet dus wel een restant zijn van het oude gebergte, en nieuwe tektonische opheffing zou dus niet logisch zijn. Gabrielsen en zijn Noorse collega's ontkennen de aanwezigheid van de crustal root en kunnen niet verklaren waarom het landschap in Noorwegen nog stabiel is als deze niet in de lithosfeer wordt gestabiliseerd.

Daarnaast zou een tweede fase van tektonische opheffing te zien moeten zijn aan de her-activatie van oude breuken. Dit is echter niet waargenomen.

Tot slot, als de tweede fase van opheffing recentelijk plaatsgevonden zou hebben, zou het landschap nooit genoeg tijd hebben gehad om te eroderen tot zeeniveau (Nielsen et al 2008), zoals de Noren beweren. Hier zou namelijk veel meer tijd overheen gaan. Computermodellen en berekeningen van Nielsen wijzen erop dat, wanneer een tweede, jonge opheffing heeft plaats gevonden, het landschap nu gemiddeld rond de 2000 m hoog zou moeten liggen. Dit is niet het geval, dus het gebergte wat nu nog over is, zijn volgens hem de restanten van het oeroude Caledonische gebergte.

### Mijn persoonlijke voorkeur

Beide partijen hebben vele argumenten, datasets en conclusies die hun hypothese ondersteunen. Ook zijn ze het vooral niet met elkaar eens, en verklaren ze elkaars data voor "ongeldig" en "onmogelijk", "totaal fout geïnterpreteerd" en wijzen ze elkaar graag op fouten in de gebruikte modellen.

Kortom, het is een gevecht wat nog lang niet uitgevochten is, en beide hypothesen hebben sterke en zwakke argumenten. Zelf heb ik alle papers gelezen en heb een lichte voorkeur voor de ICE-hypothese, maar heel zeker ben ik niet. Dit komt doordat ik het argument van de crustal root onder het Scandinavische gebergte heel

goed onderbouwd vind. Het lijkt me onwaarschijnlijk dat een crustal root geheel afwezig is, zoals Gabrielsen suggereert, en een gedeeltelijk geërodeerde crustal root is eerder in overeenstemming met de ICE-hypothese. Ondanks het gebrek aan een duidelijke verklaring, blijft het Noorse landschap mij verwonderen. In 2017 kreeg ik de kans om een half jaar in Noorwegen te studeren en natuurlijk heb ik een paar prachtige wandelingen gemaakt. Afbeelding 2 en 3 laten twee klassieke voorbeelden zien van peneplains in het Noorse landschap en geven tevens een goede idee van hoe indrukwekkend zulke morfologische structuren kunnen zijn. Het ontstaan van het Noorse landschap zal wat mij betreft nog lang onderzocht moeten worden. Compromissen over de hypothesen zullen gesloten moeten worden, om aan deze 'battle' een einde te maken.

### Meer lezen

- Glacial Buzzsaw: [www.youtube.com/watch?v=IlFm1FB58yA](http://www.youtube.com/watch?v=IlFm1FB58yA)
- Erosional unloading en het effect op het landschap: <https://sciencing.com/unloading-contribute-weathering-5026.html>

### Referenties

- Gabrielsen, R. H., Faleide, J. I., Pascal, C., Braathen, A., Nystuen, J. P., Etzelmuller, B., & O'Donnell, S. (2008). Latest Caledonian to Present tectonomorphological development of southern Norway. *Marine and Petroleum Geology*.
- Gabrielsen, R. H., Pascal, C., Faleide, J. I., Braathen, A., Nystuen, J. P., Etzelmuller, B., & O'Donnell, S. (2010). Reply to discussion of Gabrielsen et al (2010) by Nielsen et al (this volume) Latest Caledonian to present tectonomorphological development of southern Norway. *Marine Petrology Geology*.
- Nielsen, S. B., Clausen, O. R., Jacobsen, B. H., Thomsen, E., Huuse, M., Gallagher, K., Egholm, D. (2009). The ICE hypothesis stands: How the Dogma of the late Cenozoic tectonic uplift can no longer be sustained in the light of data and physical laws. *Journal of Geodynamics*.
- Nielsen, S. B., Clausen, O. R., Pedersen, V. K., Leseman, J. E., Goleadowski, B., Huuse, B., Summerfield, M. A. (2009). Discussion of Gabrielsen et al (2010): Latest Caledonian to present tectonomorphological development of southern Norway. *Marine Petroleum Geology*.
- Alice V. Turkington Jonathan D. Phillips S W.Campbell, 'Weathering and landscape evolution' *Geomorphology* vol. 67, 2004.
- Norman H. Sleep, Stephen Snell, 'Thermal Contraction and Flexure of Mid-Continent and Atlantic Marginal Basins' *Geophysical Journal International*, Vol. 45, Issue 1. April 1976.

*Dit artikel is een aangepaste versie van het eerder op de website van GEA gepubliceerde 'College van de Maand'. Alle afbeeldingen zijn van de auteur, tenzij anders aangegeven.*