



Uitzicht naar het oosten vanaf de haven van Staithes. Op de voorgrond zien we het bovenste gedeelte van de Staithes Sandstone Formatie. In de achtergrond zien we de Pliensbachien-Toarcien opeenvolging in het klif van Penny Nab.

Het zwarte Jura tussen Staithes en Port Mulgrave, Yorkshire, VK

Langs de Engelse noordoostkust, tussen Newcastle upon Tyne en Scarborough, is de opeenvolging van Silesien tot Midden-Jura uitstekend ontsloten in de kliffen en op het abrasieplat, dat veelal droog komt te liggen tijdens laagwater. Ik heb al deze ontsluitingen tijdens mijn verblijf in Engeland bezocht en met name het zwarte Onder-Jura van de Yorkshirekust tussen Staithes en Port Mulgrave vind ik bijzonder mooi.

De ontsluitingen kunnen worden bezocht tijdens een wandeling over het rotsige abrasieplat, waarbij het essentieel is tijdens dalend tij te beginnen, want plaatselijk, zoals bijvoorbeeld bij Jet Wyke, bereikt de zee halverwege het opkomende tij al de voet van het klif. Wyke is een woord van Saksische oorsprong dat schuilplaats betekent. In de dialecten van Noordoost-Engeland betekent het baai. Het is ongeveer 2,5 km lopen van de haven van Staithes tot de verlaten haven van Port Mulgrave. Hoe lang je daarover doet hangt ervan af van hoe enthousiast je van schalies wordt: 40 van de 50 meter die het Onder-Jura hier dik is bestaat uit dit gesteente.

‘Hummocky’ scheve gelaagdheid

Van februari 2011 tot juli 2014 woonde ik in Newcastle upon Tyne in Noordoost-Engeland. Aan de universiteit van Durham, 20 mijl naar het zuiden, heb ik gedurende deze periode met Dr. Darren Gröcke gewerkt aan de relatie tussen zeespiegelschommelingen en de zuurstofhuishouding tijdens ‘oceanic anoxic events’. In maart 2011 bezocht ik het Onder-Jura van de Yorkshirekust voor het eerst met mijn collega Dr. Stuart Jones en onze tweedejaars studenten ‘Sedimentary Environments’. Ik had natuurlijk al veel over deze opeenvolging gelezen, want tijdens mijn promotie in Utrecht heb ik kernen van de Nederlandse Posidoniaschalie uit het Toarcien bestudeerd. Het laterale equivalent van deze eenheid in Groot-Brittannië, de ‘Jet Rock’, dagzoomt langs de Yorkshirekust. Diep in de Nederlandse ondergrond is de Posidoniaschalie het belangrijkste oliemoe-dergesteente, maar hier in het Cleveland-bekken is de schalie te zien in kustontsluitingen. De formatie helt landinwaarts; een kern genomen in 2013, 5,5 km ten zuiden van Whitby, laat zien dat de formatie daar net in het olievenster zit.

Vanaf de parkeerplaats bovenaan het dorp lopen we richting de haven van het pittoreske vissersdorp Staithes, waar de zestienjarige James Cook in 1745 bij de kruidenier werkte. De Pliensbachien Staithes Sandstone Formatie is ontsloten in de kliffen aan weerszijden van de haven. Zij is hier een afwisseling van blauwe, geel verwerende kwartsarenieten en siltieten met horizonten van grijze, rood verwerende concreties van sideriet (ijzercarbonaat). De kwartsarenieten, die plaatselijk glauconiethoudend kunnen zijn, worden gekenmerkt door prachtige voorbeelden van ondiep mariene sedimentaire structuren, zoals symmetrische golfribbels, vaak ingebed in heterolithische gelaagdheid, golfinterferentiepatronen op de laagvlakken waar je tussen de haven en Penny Nab overheen loopt en *Diplocraterion*. Dit is een ontsnappingsstructuur gevormd door organismen die aan snelle sedimentatie probeerden te ontkomen en waarvan de

interne structuur (‘Spreite’) nog goed te zien is. Nab is een oud Scandinavisch woord voor kaap. De kwartsarenieten van Staithes staan onder Britse geologen echter voornamelijk bekend om hun ‘hummocky’ scheve gelaagdheid. Die is laag in het klif te bekijken in de kwartsarenieten ten oosten van de haven van Staithes; deze behoren tot het onderste gedeelte van de *Amaltheus margaritatus* Zone (Domerien). Het onderste gedeelte van de formatie (Carixien) is bereikbaar rond Cowbar Nab, ten westen van de haven van Staithes, boven een circa 30 cm dikke oesterlaag die de basis van de formatie vormt.

Oostwaarts, richting Penny Nab, wordt de Staithes Sandstone Formatie steeds kleiiger en gradeert zij naar de schalies van de Cleveland Ironstone Formatie. De basis van deze formatie wordt geplaatst onderaan Penny Nab bij een rij siderietconcreties die (plaatselijk) voorkomen in een ammonietenpackstone (met kleine *Amaltheus stokesi*). Lopend op het abrasieplat ten oosten van Penny Nab valt een serie parallelle groeven in de schalie op, met een onderlinge afstand van 4 voet. Dit zijn de afdrukken van de bielzen van een smalspoorbaan, die gebruikt werd om het plaatselijk gedolven ijzererts naar een steiger ten noordwesten van de Nab te vervoeren. Eigenlijk is het brede intergetijengebied waarop we nu lopen het gecombineerde resultaat van ijzererts-winning en golfabrasie.

Roodijzersteen

In Jet Wyke en in de noordwestelijke helft van Brackenberry Wyke, voorbij Old Nab, is de Cleveland Ironstone Formatie ontsloten op het abrasieplat en in de kliffen. Achter de kliffen, op de typelocatie van de formatie in de Cleveland Heuvels, bevat de Cleveland Ironstone Formatie dikke anders roodijzersteen die vroeger op grote schaal werden ontgonnen. Richting de kust worden deze anders echter dunner en de tussenliggende grijze schalies dikker, waardoor de naam van de formatie een beetje misplaatst lijkt als je alleen de kustopeenvolging hebt gezien. Hier bestaat de formatie namelijk uit ongeveer 20 m grijze schalies en slechts 5 m roodijzerstenen. De schalies zijn dominant in de onderste 18 m van de formatie (Penny Nab Member; *A. margaritatus* Zone), terwijl de bovenste 7 m meer ijzerhoudend zijn (Kettleness Member; *Pleuroceras spinatum* Zone). De roodijzersteenaders zijn sideritisch en chamositisch—eigenlijk gaat het hier om berthierien, omdat het mineraal een kaolinietachtige structuur heeft. Sommige anders hebben een oolithische textuur, hoewel dit in het veld moeilijk waarneembaar is. De opeenvolging helt zwak in de oostelijke richting die we nu al lopend aanhouden naar Old Nab, waardoor we stratigrafisch klimmen. Meerdere breuken

veroorzaken echter een herhaling in de stratigrafie, wat verwarrend kan werken, en in één geval zijn twee opeenvolgende roodijzersteenaders naast elkaar komen te liggen en vormen ze de brede roodijzersteenrichel waar we nu op lopen. De opeenvolging laat enige regelmaat zien: een donkere, naar boven fijner wordende schalie gevolgd door een horizon van apatietconcreties (i.e. van calciumfosfaat), een blauwgrijze, naar boven grover wordende schalie, en daar bovenop een sideritisch-berthierienische, oolithische roodijzersteen. Elke roodijzersteen ligt op een erosieoppervlak en de basis kan plaatselijk conglomeratisch zijn. Deze regelmaat kan worden geïnterpreteerd als het gevolg van schommelingen, op verschillende tijdschalen, in waterdiepte en afstand tot de sedimentbron. Er zijn tenminste twee manieren om dit te verklaren, maar mijn observaties hebben mij van het volgende overtuigd: zowel de fosfaatrijke als de roodijzersteenlagen vertegenwoordigen stratigrafische condensatie, dat wil zeggen, de preservatie van relatief veel geologische tijd in relatief dunne afzettingen. De onderkant van de roodijzersteenlagen is een discordantie die een abrupte bekkenwaartse faciësverschuiving markeert, een ‘sequence boundary’ dus. Ik heb echter geen bewijs kunnen vinden voor verlanding. De bovenkant van een roodijzersteenlaag markeert de overgang van progradatie naar retrogradatie, en is daarmee een ‘transgressive surface’. Het tegenovergestelde geldt voor de fosfaatrijke lagen, die dus ‘maximum flooding surfaces’ zijn.

Striped beds

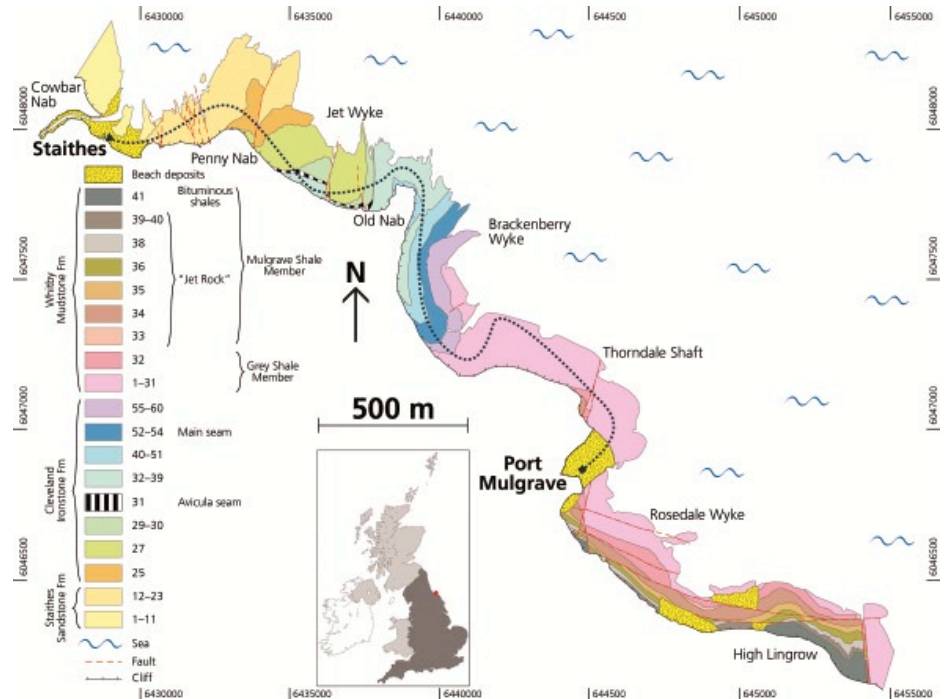
De grofste grijze schalies onder de roodijzersteenlagen zien er soms gestreept uit, doordat ze bestaan uit een afwisseling van dunne normaal-gegradeerde, lichtgekleurde siltieten en blauwgrijze lutieten. Er is een aantal prachtige voorbeelden van migrerende golfribbels. De gestreepte lagen kunnen worden geïnterpreteerd als tempestieten. Er zijn twee dergelijke intervallen in het Onder-Jura van Yorkshire: de zogenoemde ‘lower striped bed’ aan de bovenkant van de Staithes Sandstone Formatie, en de ‘upper striped bed’, onder de Raisdale roodijzersteenader. Beide gestreepte schalies zijn ook te bestuderen in Hawsker Bottoms, ongeveer 20 km naar het zuidoosten. De ‘upper striped bed’ is wat mij betreft het meest spectaculaire voorbeeld van schaliesedimentologie. De beste ontsluiting bevindt zich halverwege Penny Nab en Old Nab aan de voet van het klif; ik heb er alles bij elkaar vele uren naar gekeken en elke keer vind ik weer nieuwe details die mijn begrip van de afzettingsprocessen doen toenemen. In het najaar ligt er meestal Noordzeezand op deze laag en hij kan dan helaas niet worden bestudeerd.

De 2-meter dikke ‘upper striped bed’ is eigenlijk geen laag sensu Campbell (1967), maar een laagset, dat wil zeggen, een opeenvolging van lagen met dezelfde eigenschappen, in dit geval dezelfde sedimentaire structuren. Het erosievlak dat de onderkant van deze lagen vormt, snijdt soms tot zes onderliggende lagen in. Aan de basis kunnen ‘gutter casts’ zijn ontwikkeld. De zijkanten van deze erosiestructuren zijn soms bijna verticaal. Dit betekent dat het sediment tijdens erosie al voldoende compactie had ondergaan, anders zouden de wanden van de ‘gutter casts’ zijn ingestort. Ook al ziet het er niet zo indrukwekkend uit, het erosievlak vertegenwoordigt dus een flink hiaat.

Dichterbij Old Nab kunnen de ‘gutter casts’ worden bekeken in bovenaanzicht en zien we dat ze een oost-west oriëntatie hebben. Dit komt overeen met de aanwijzingen uit het fossiele record: op veel laagvlakken vinden we belemnietkerkhoven waarin de ligging van de rostra eveneens een oost-west stroming aangeeft. Naar het zuidoosten, in Hawsker Bottoms, hebben de ‘gutter casts’ dezelfde oriëntatie, maar zijn de groeven minder diep en is hun opvulling fijnerkorreliger. Dit suggereert stroming naar het oosten.

Chondrites

We zijn nu bij Old Nab aangekomen; de vijf uitstekende roodijzersteenlagen met tussenliggende schalies van de Pectenader gebruiken we als trap om het bovenlaagvlak van de ‘Main Seam’ te bereiken. Op het puntje van de kaap zien we een regelmatig patroon van blokken roodijzersteen: pilaren die mijnwerkers lieten staan ter ondersteuning van het plafond van een mijn dat inmiddels door de zee is weggeërodeerd. Het bovenlaagvlak van de ‘Main Seam’, ontsloten op Old Nab en in Brackenberry Wyke, wordt gekenmerkt door uitgebreide netwerken van *Rhizocorallium*-graafgangen. Het ijzercement in deze zandstenen heeft ervoor gezorgd dat krassporen, waarschijnlijk gevormd door kreeftachtigen op zoek naar voedsel, bewaard zijn gebleven aan de buitenkant van de U-vormige buizen. De overgang Pliensbachien–Toarcien is ontsloten aan de voet van het klif van Brackenberry Wyke, net voor het stukje kust dat bezaaid is met grote blokken Aalenien zandsteen (Saltwick Formatie). De onderkant van het Grey Shale Lid bestaat uit grijze, micrijke schalies met de mooiste voorbeelden van *Chondrites* die ik ken. Eigenlijk zijn ze nog mooier in Kettle Ness, zo’n 4 km naar het zuidoosten. De allereerste laag van dit lid wordt bovendien gekenmerkt door een gele verkleuring, de ‘Sulphur Band’. Een paar meters boven deze laag zien we zes horizonten van rode siderietconcreties over een stratigrafie van twee meter. Het grind op dit strand bestaat grotendeels uit



Geologische kaart van het intergetijdengebied tussen Cowbar Nab en High Lingrow. De route beschreven in de tekst wordt aangegeven met een stippellijn. Kaart gebaseerd op Howarth (1955, 1962).

deze concreties uit het Toarcien, die zich om ammonieten hebben gevormd (meestal *Dactyloceras* sp.). Tussen Thorndale Shaft en Port Mulgrave vormt de Jet Rock het bereikbare deel van het klif. Deze schalies zijn afgezet tijdens een ‘oceanic anoxic event’ in het Toarcien en hebben een organisch stofgehalte oplopend tot ruim 15% (m/m). De naam van deze stratigrafische eenheid heeft te maken met het overvloedige voorkomen van gagaat (of git). Gagaat ontstaat onder hoge druk uit hout van de apenboomfamilie. Drijfhout komt heel vaak voor in het Onder-Jura van Yorkshire. De kleine landmassa’s in de epicontinentale zee van Noordwest-Europa moeten gedurende het Vroeg-Jura door dichte vegetatie zijn bedekt. Onder zulke omstandigheden is de aanvoer van detritisch sediment naar zee gering. We verwachten dus lange periodes gekenmerkt door non-depositie in ondiep mariene milieus, afgewisseld met periodes met grote sedimentaanvoer, toen er geen vegetatie was. De fijne gelaagdheid van deze schalies, die in het veld met het blote oog waarneembaar is, wordt laminatie genoemd, maar bij nadere petrografische bestudering wordt duidelijk dat daadwerkelijke laminatie veel fijner is. De vlakken tussen de macroscopische lagen zijn erosievlakken. Mijn berekeningen laten zien dat de 7,5 m dikke Jet Rock, die een stratigrafisch interval van circa 1 miljoen jaar vertegenwoordigt (*Cleviceras exaratum* Subzone), in circa 190.000 jaar werd afgezet. Dit betekent dat ruim 80% van de tijd in deze opeenvolging zit in de erosievlakken. Dit verklaart waarom cyclostratigrafische

studies, waarin wordt uitgegaan van een compleet record, tot tegenstrijdige resultaten zijn gekomen.

Onze wandeling eindigt in de verlaten haven van Port Mulgrave, waar in de late negentiende eeuw het plaatselijk gedolven roodijzersteen ter verwerking naar Jarrow werd verscheept. We klimmen over een pad naar de bovenkant van het klif. Vandaaruit gaat een voetpad richting Staithe: de ‘Cleveland Way’. In de namiddag is de belichting perfect om vanaf het terrasje van de pub ‘The Cod and Lobster’ prachtige foto’s van de totale opeenvolging te maken.

Dankwoord

Ik dank Dr. Michiel van der Meulen voor zijn commentaar op een eerdere versie van dit manuscript.

João P. Trabucho Alexandre
Vergelijkende Sedimentologie, Instituut voor
Aardwetenschappen Utrecht, Universiteit Utrecht

Meer lezen?

- Trabucho-Alexandre, J., et al., 2012. Toarcian black shales in the Dutch Central Graben: record of energetic, variable depositional conditions during an oceanic anoxic event. *Journal of Sedimentary Research* 82: 104–20.
- French, K.L.J., et al., 2014. Organic geochemistry of the early Toarcian oceanic anoxic event in Hawsker Bottoms, Yorkshire, England. *Earth and Planetary Science Letters* 390: 116–27.
- Imber, J., et al., 2014. Natural fractures in a United Kingdom shale reservoir analog, Cleveland Basin, Northeast England. *AAPG Bulletin* 98: 2411–37.
- Trabucho-Alexandre, J. 2015. More gaps than shale: erosion of mud and its effect on preserved geochemical and palaeobiological signals. In: Smith, D.G. et al. (redacteurs): *Strata and Time: Probing the Gaps in Our Understanding*. 404: 251–70. Geological Society of London.