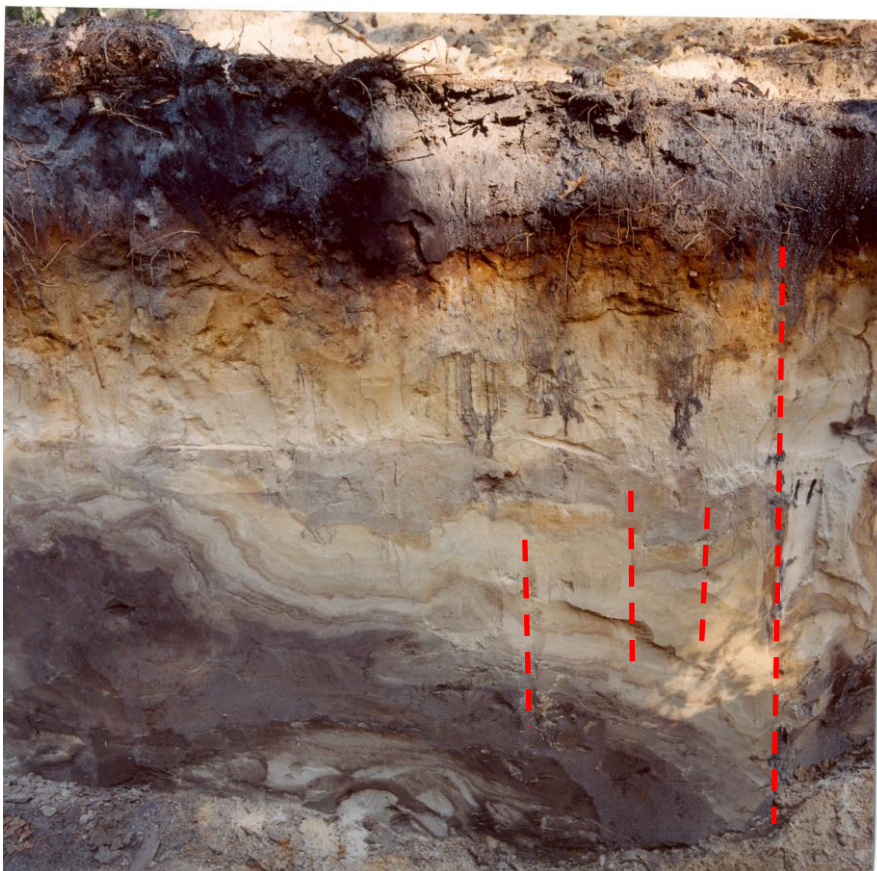


1 Breuken

1.1 Inleiding

De Nederlandse ondergrond is doorsneden met tektonische storingen die lokaal tot aan het maaiveld reiken. Deze breuken hebben, ook in de recente geologische geschiedenis, een grote invloed gehad op de dikte en de verspreiding van de tertiaire en kwartaire afzettingen. Daarnaast hebben deze breuken lokaal een grote invloed op grondwaterstromen en de stabiliteit (cohesie) van de ondergrond. Het bestaande kaartmateriaal waarop deze breuken zijn aangegeven geven een (in mijn ogen) incompleet beeld van het voorkomen van deze breuken.



Figuur 1.1 Detail Gilzerbaanbreuk bij Tilburg. Het breuksysteem is met een rode stippellijn aangegeven

1.2 Opbouw artikel

In dit artikel worden de resultaten van een kartering op basis van:

- De diepteligging van ondiep liggende lagen aan de hand van boringen en sonderingen;
- Een kartering van dieper liggende lagen aan de hand van seismiek en boringen ten behoeve van diepe exploratie (warmte/koude opslag, olie, gas, steenzout etc.);
- De aanwezigheid van olie en gasvoorkomens;
- Het voorkomen van vulknisme

Dit artikel gaat niet in op de geologische reden van de aanwezigheid van breuken.

1.3 GIS materiaal

Om de invloed van breuken op een veelheid van aspecten beter te valideren zijn in dit artikel downloadbare data opgenomen. Deze kunnen in een GIS omgeving worden geopend. In de shapefiles zijn metadata opgenomen.

Voor het openen van de GIS data wordt het gebruik van QGis¹ aanbevolen. Ten overvloede wordt hierop opgemerkt dat voordat QGis wordt geïnstalleerd eerst Phyton 2.7² op de lokale computer moet worden geïnstalleerd.

1.4 Invloeden

In komende artikelen op deze site (www.rvde.nl) zal de invloed van breuken op grondwater, dijkstabiliteit en geologie nader worden uitgewerkt.

¹ <http://www.qgis.org/nl/site/>

² <https://www.python.org/>

1.5 Inhoud

1	Breuken	- 1 -
1.1	Inleiding	- 1 -
1.2	Opbouw artikel.....	- 2 -
1.3	GIS materiaal.....	- 2 -
1.4	Invloeden	- 2 -
1.5	Inhoud.....	- 3 -
2	Kartering	- 4 -
2.1	Algemeen.....	- 4 -
2.2	Laagpakketten	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2.2.1	T3.....	- 4 -
2.2.2	ABM	- 5 -
2.3	Seismiek	- 6 -
2.3.1	Algemeen.....	- 6 -
2.3.2	SGY pakket.....	- 6 -
2.3.3	Kwaliteit, pixel	- 6 -
2.3.4	Vroege jaren 70	- 7 -
2.3.5	Midden jaren 70	- 7 -
2.3.6	Midden jaren 80 en later	- 8 -
2.3.7	Voorbeelden	- 9 -
2.3.8	Flowers	- 11 -
2.3.9	Punten	- 13 -
2.3.10	Osning overschuivingen	- 15 -
3	Resultaten	- 17 -
3.1	Breukenkaarten	- 17 -
3.1.1	Overzicht Nederland.....	- 17 -
3.1.2	Overzicht Noordwest Europa.....	- 18 -
3.1.3	Gis-informatie	- 19 -
3.2	Tektonische regio's.....	- 20 -

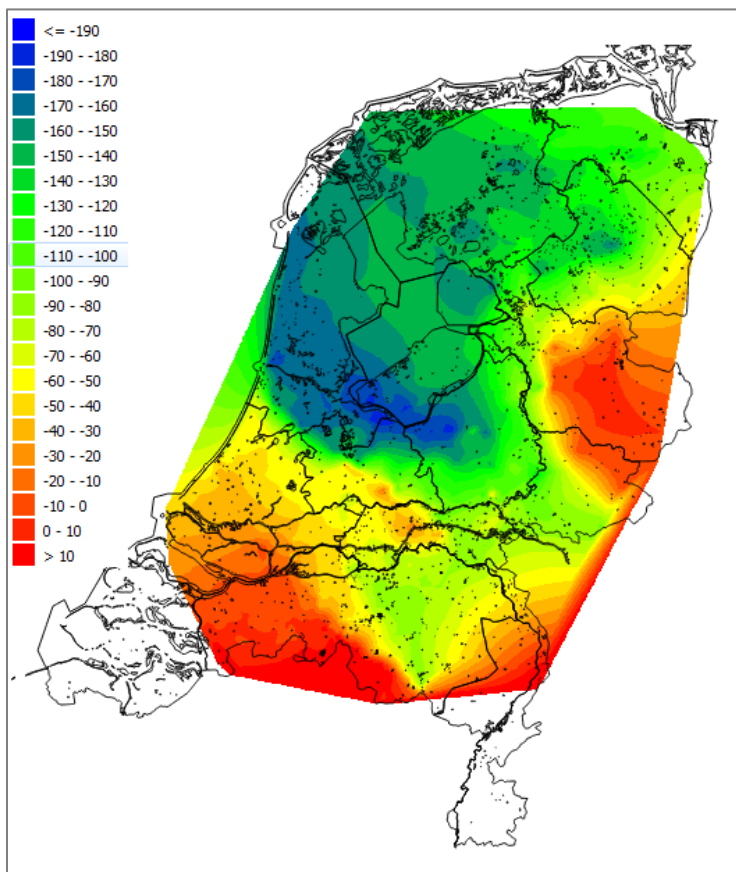
2 Kartering

2.1 Algemeen

Kartering van breuken vindt traditioneel plaats door middel van het vergelijken van de diepteligging en de dikte van laagpakketten die aan weerszijden van een breuk ten opzichte van elkaar verschoven kunnen zijn. Voor dit artikel is gebruik gemaakt van de T3 (een kleilaag die voorkomt in zowel de Afzettingen van Tegelen³ als van Harderwijk⁴). Daarnaast is in Zeeland gebruik gemaakt van de diepteligging van de Klei van Boom (reden: daar ontbreekt de T3 afzetting en liggen de oudere tertiaire afzettingen dicht bij de oppervlakte).

2.1.1 T3

De diepteligging van de top van de T3-sequentie is op basis van circa 300 punten, verspreid over Nederland, opgenomen in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Diepteligging T3 in [m NAP]

³ <http://www.rvde.nl/pdf/2%20Tegelen%20afzettingen.pdf>

⁴ <http://www.rvde.nl/pdf/2%20Harderwijk%20afzettingen.pdf>

2.2 Seismiek

2.2.1 Algemeen

Seismiek wordt verzameld door middel het opvangen en opslaan van geluidsgolven (gegenereerd door een gestandaardiseerde ondiepe, ondergrondse, ontploffing). Hierbij wordt de reistijd die een geluidsgolf door de ondergrond maakt gemeten (in milli-secondes). De originele geluidsimpuls van de ontploffing kaatst in de ondergrond op verschillende reflectoren. De gemeten reistijd komt hiermee overeen met het tweevoud van de diepte van de reflector. Door nu deze reistijd te meten op verschillende afstanden van de ontploffing (waardoor de reistijd langer wordt en er op de reflectiehorizont een hoek bestaat) kan een inschatting worden gemaakt van de diepte van deze reflector. Op basis van karakteristieke parameters van de lagen tussen de reflector en het meetpunt in kan de reistijd in milliseconden worden omgezet in een benadering van de werkelijke diepte. De reistijd, uitgedrukt in een TWT (two way traveltime), komt in de Nederlandse situatie ruwweg overeen met de diepte in meter. Een TWT van 1000 is dus circa 1000 meter diep. Meer uitleg over seismiek is te vinden op het Internet⁷. De data worden over het algemeen opgeslagen in zogenaamde seg-y data files⁸

2.2.2 SGY pakket

Voor het analyseren van .sgy (segy) files kan gebruik worden gemaakt van diverse programma's, zowel commercieel als freeware. Een eerste opsomming staat op de internetpagina⁹. Voor de analyse van .sgy-files wordt in deze notitie gebruik gemaakt van GSEGYview.

2.2.3 Kwaliteit, pixel

Seismische profielen zijn ongeschikt om de ondiep (< 500 meter diep) liggende reflectoren te onderzoeken. De reistijden zijn te kort om een duidelijk beeld te genereren. Reflecties van diep liggende lagen zijn dan weer te zwak om een duidelijk beeld te genereren (of er moeten zwaardere explosieven gebruikt worden, wat vaak in bebouwd gebied ondoenlijk is). Hierdoor is met name het deel van de ondergrond wat tussen 500 en 5000 meter diepte ligt geschikt om met behulp van seismiek onderzocht te worden. Het oplossend vermogen (de "pixel") is dan ook beperkt. Seismiek geeft een grof beeld van de opbouw van de ondergrond en heeft vooral een indicatieve waarde. De kwaliteit van de seismiek is in de loop van de jaren wel verbeterd.

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_seismology

⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/SEG-Y>

⁹ <http://www.epgeology.com/other-software-f30/free-segy-viewers-t556.html>

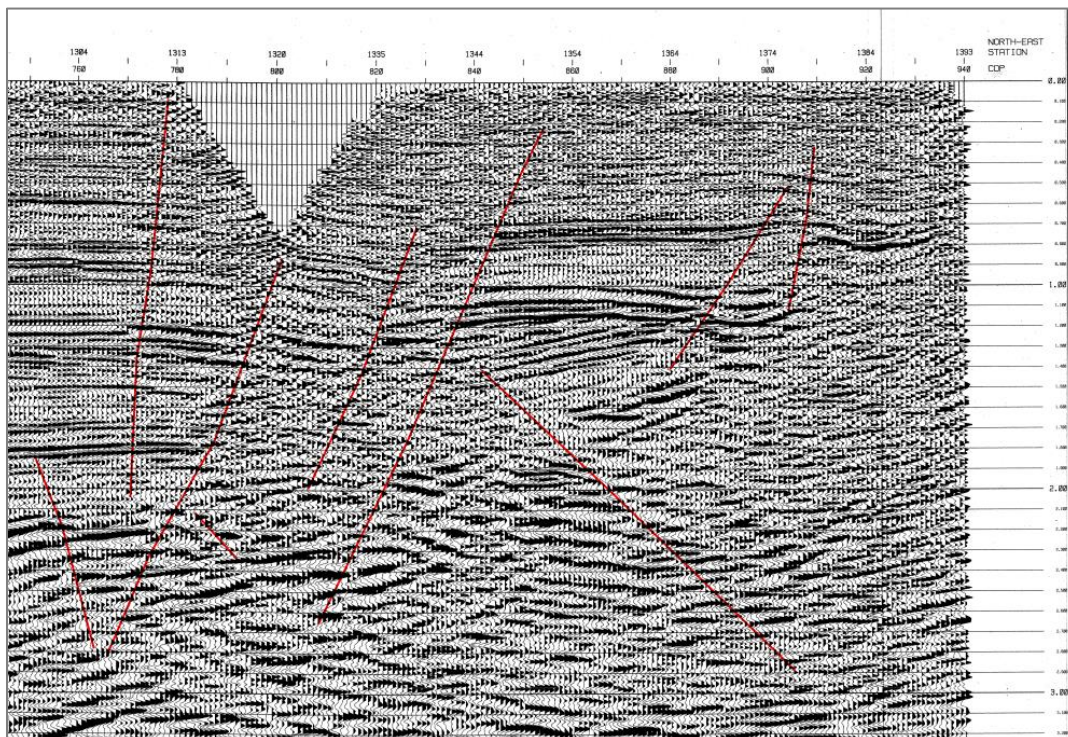
2.2.4 Vroege jaren 70

Vanaf circa 1970 worden seismische profielen redelijk goed leesbaar. In een deel van seismische lijn 702004 zijn verspringingen te zien die alleen de grote breuken laten zien:

Hierin is te zien dat het deel boven 300 meter diepte onder maaiveld volledig wegvalt in de ruis. Of deze breuken dan ook het maaiveld gehaald hebben is op basis van deze vroege seismiek onbekend.

2.2.5 Midden jaren 70

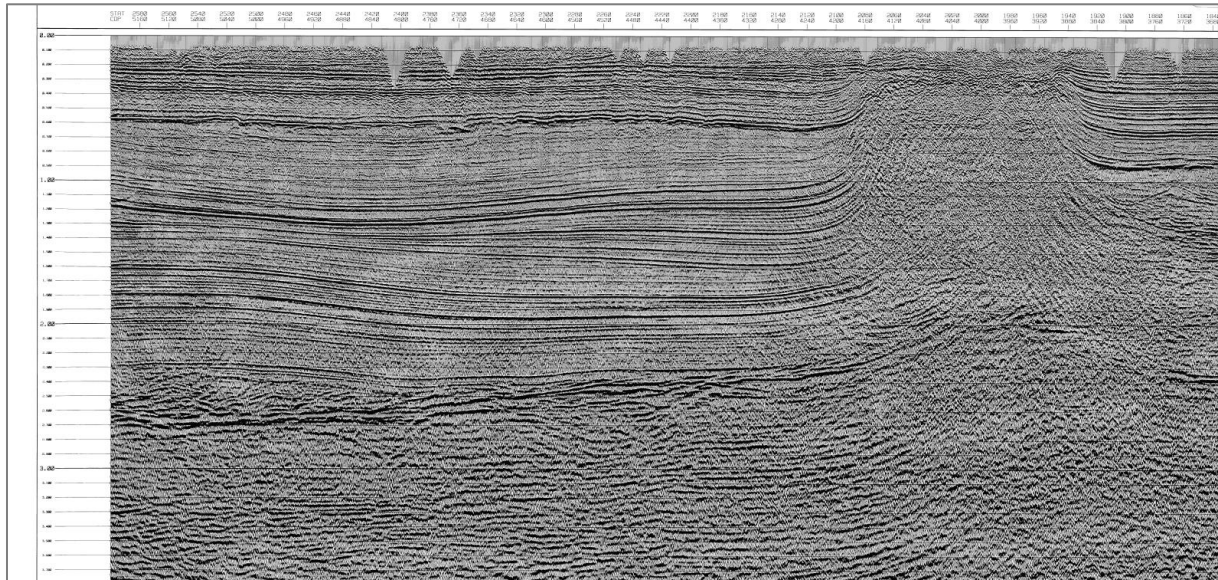
Met de komst van steeds betere computers om de reflectiedata te bewerken neemt de kwaliteit van het gegenereerde beeld snel toe. In figuur 2.3.5_1 is ter illustratie een deel van lijn 762081 opgenomen. Hierin is te zien dat met name het ondiepe deel sterk aan kwaliteit heeft gewonnen.



Figuur 2.3.5_1 Deel lijn 762081

2.2.6 Midden jaren 80 en later

10 Jaar later is het beeld wederom sterk verbeterd. Lijn 8601_A (figuur 2.3.6_1) geeft een duidelijk beeld van de opbouw van de ondergrond met een prominente rol voor een zoutdiapier (rechts) die door de hoger liggende lagen is heen gebroken. Hiernaast krijgen diepere Lagen eveneens meer structuur.



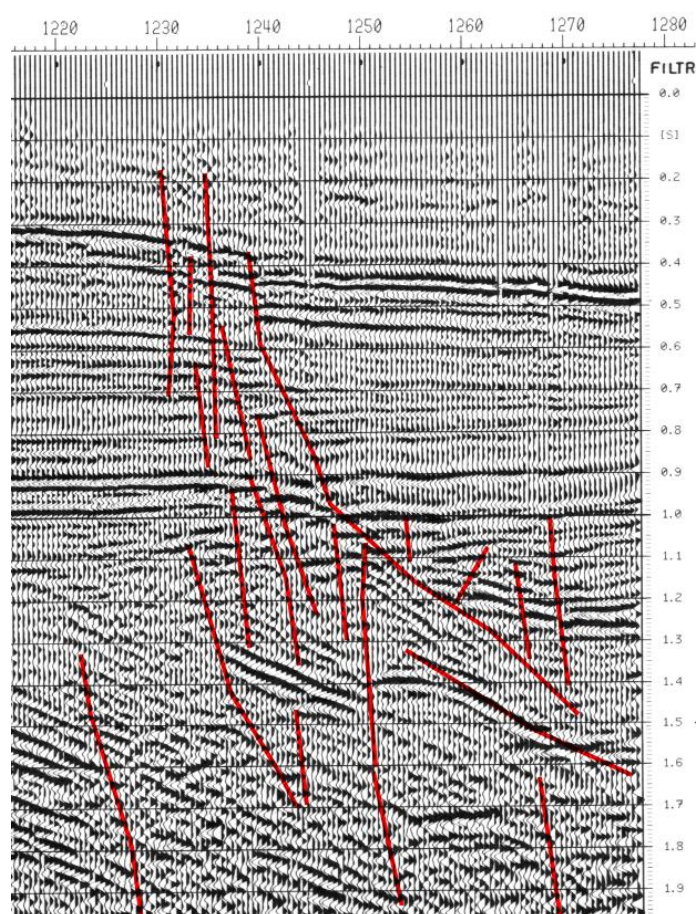
Figuur 2.3.6_1 Deel lijn 8601_A,

Deze 2-D seismiek geeft een goed beeld van de opbouw van de ondergrond en de ligging van de belangrijke en minder belangrijke breuken.

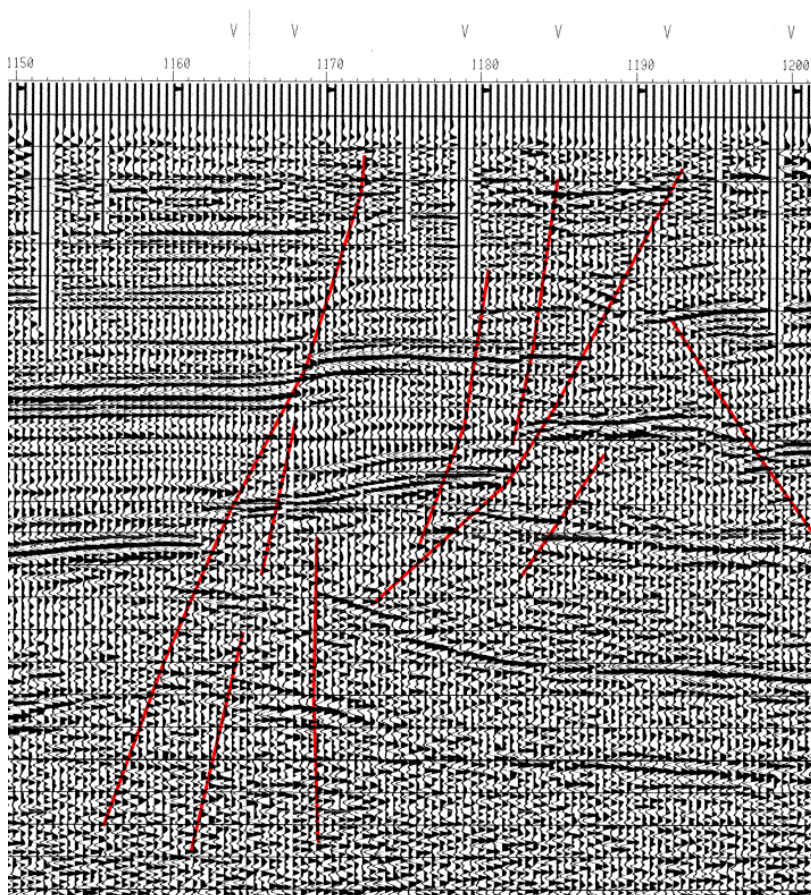
Na het midden van de jaren 90 doet de 3-D seismiek haar intrede waarmee nog scherpere beelden van de ondergrond gegenereerd kunnen worden. Deze datafiles zijn dan wel groot. Hierdoor is analyse moeilijker.

2.2.7 Voorbeelden

Aks voorbeeld is de Feldbiss in ten zuiden van Tilburg opgenomen. Duidelijk is complexe opbouw van de breuk hier te zien. De bovenste paar 100 meter valt weg in de ruis.

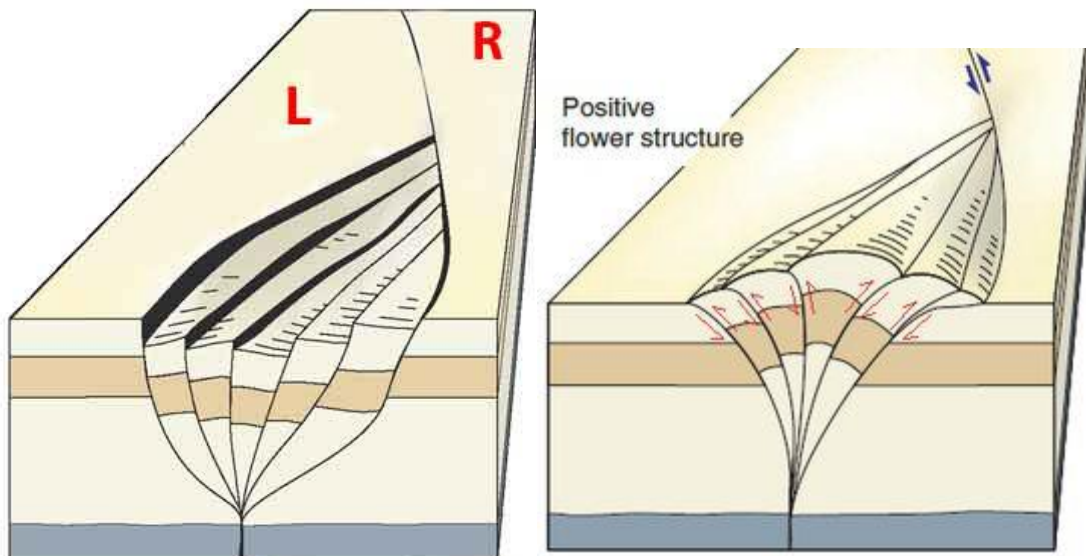


Aan de andere zijde van de Centrale Slenk ligt de Peelrandbreuk. Deze is goed te zien in NLB80-1C, vlak bij Beek en Donk



2.2.8 Flowers

In de seismische beelden is het voorkomen van zogenaamde flower structuren¹⁰ herkenbaar. Positieve flower structuren zijn indicatief voor compressie, negatieve voor extensie.



Figuur 2.3.8.1 Negatieve flowerstructuur

Positieve flower structuur

In de kartering zijn deze structuren apart opgenomen. Voor de locaties op de Noordzee en voor de locaties op het land wordt verwezen naar de shape-files en de spreadsheets. In figuur 2.3.8.2 is een globaal overzicht van het voorkomen van dit type structuren in de seismische lijnen in Nederland en het aangrenzende deel van de Noordzee. In de Gis-kaarten zijn de locaties, in respectievelijk

- Shapefile:ED50/UTM zone 31N-coördinaten voor de Noordzee¹¹
- Spreadsheet Noordzee¹²
en
- EPSG:28992, Amersfoort/RD New-coördinaten (voor het vaste land)¹³
- Spreadsheet Land¹⁴

opgenomen in combinatie met de naam van de seismische lijn. De seismische lijnen zelf zijn opvraagbaar via het NLOG loket¹⁵.

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Strike-slip_tectonics

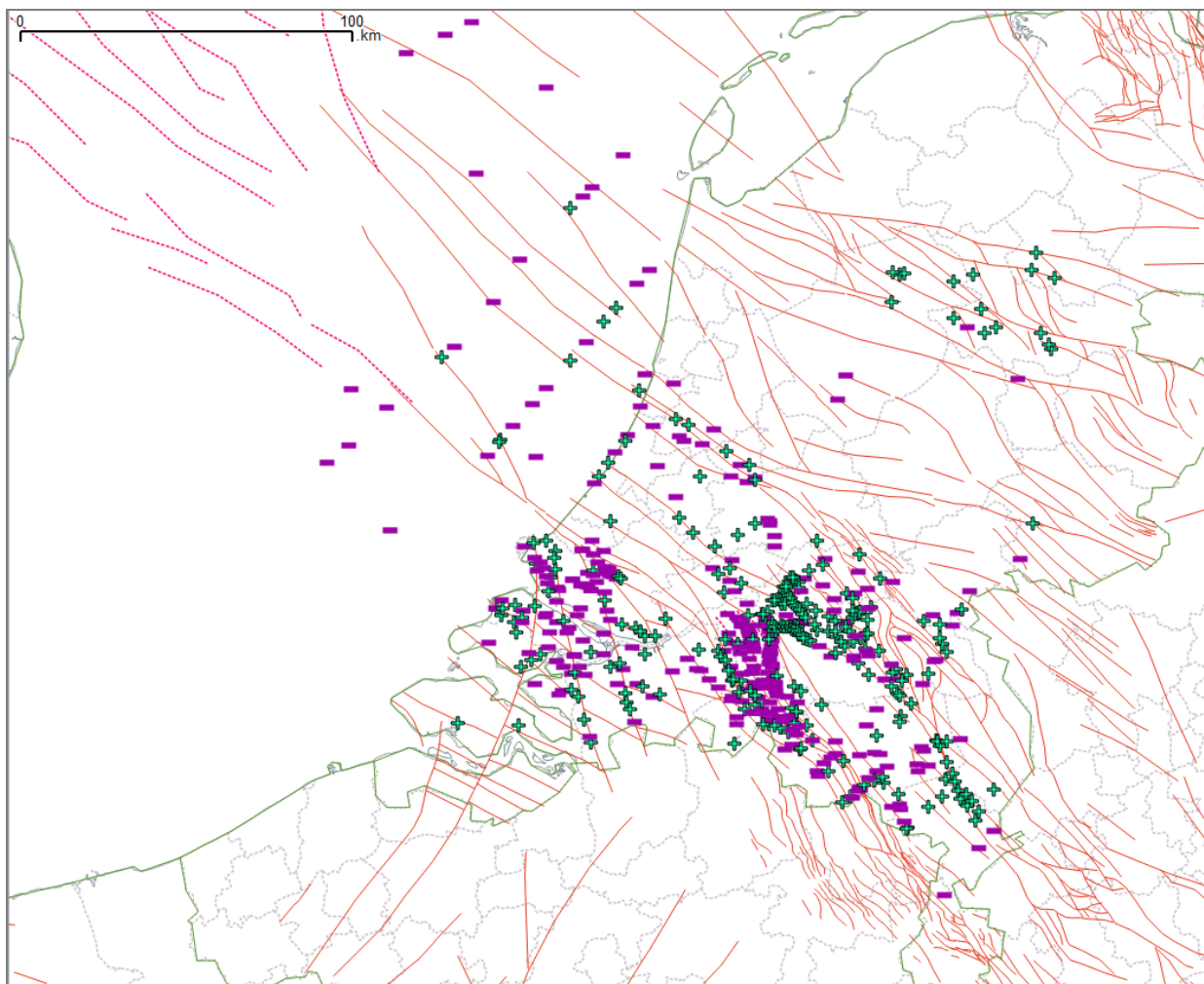
¹¹ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Flowers_Noordzee.zip

¹² http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Flowers_Noordzee.xlsx

¹³ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Flowers_NL.zip

¹⁴ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Flowers_NL.xlsx

¹⁵ <http://www.nlog.nl/>



Figuur 2.3.8.2 Voorkomen positieve (groene +) en negatieve (paarse -) flower structuren in de seismische lijnen onder Nederland.

Het merendeel van de herkenbare flower structuren lijkt voor te komen aan de noordrand van het Massief van Brabant. Met name de Peelrandbreuk is herkenbaar als sterk positief gebied.

2.2.9 Punten

De seismische lijnen zijn geanalyseerd op het voorkomen van breuken. Op de locatie waar in de seismische lijn een breuk is aangetroffen is een punt geplaatst.

Hierbij is onderscheid gemaakt tussen breuken die nog aanwezig zijn boven 0,6 sec TWT (circa 600 meter diepte, klasse 1) en breuken die alleen dieper zichtbaar zijn (tussen 0,6 en 1,2 sec TWT, klasse 2). Daarnaast is op locaties waar ze zijn opgemerkt diep liggende synclinale en anticlinale structuren genoteerd (klasse 3) en een lokale overschuiving (klasse 4).

Voor de Osning overschuivingen is een aparte paragraaf in deze notitie opgenomen (2.3.10).

Opgemerkt wordt dat de locatie aan het maaiveld, afhankelijk van de helling van het breukvlak, nog tientallen tot honderden meters kan verschillen van de breuklocatie op de seismische lijn. De locatie op de kaart geeft dan ook een ligging van de breuk bij benadering.

In de Gis-kaarten zijn de locaties van de punten, in respectievelijk

- Shapefile:ED50/UTM zone 31N-coördinaten voor de Noordzee¹⁶
- Spreadsheet Noordzee¹⁷
en
- EPSG:28992, Amersfoort/RD New-coördinaten (voor het vaste land)¹⁸
- Spreadsheet Land¹⁹

opgenomen in combinatie met de naam van de seismische lijn.

De seismische lijnen zijn opvraagbaar via het NLOG loket²⁰.

In figuur 2.3.9.1 is een overzicht gemaakt van de locaties van de punten. Opgemerkt wordt dat van grote delen van Nederland in NLOG (nog) geen analyseerbare lijnen aanwezig zijn.

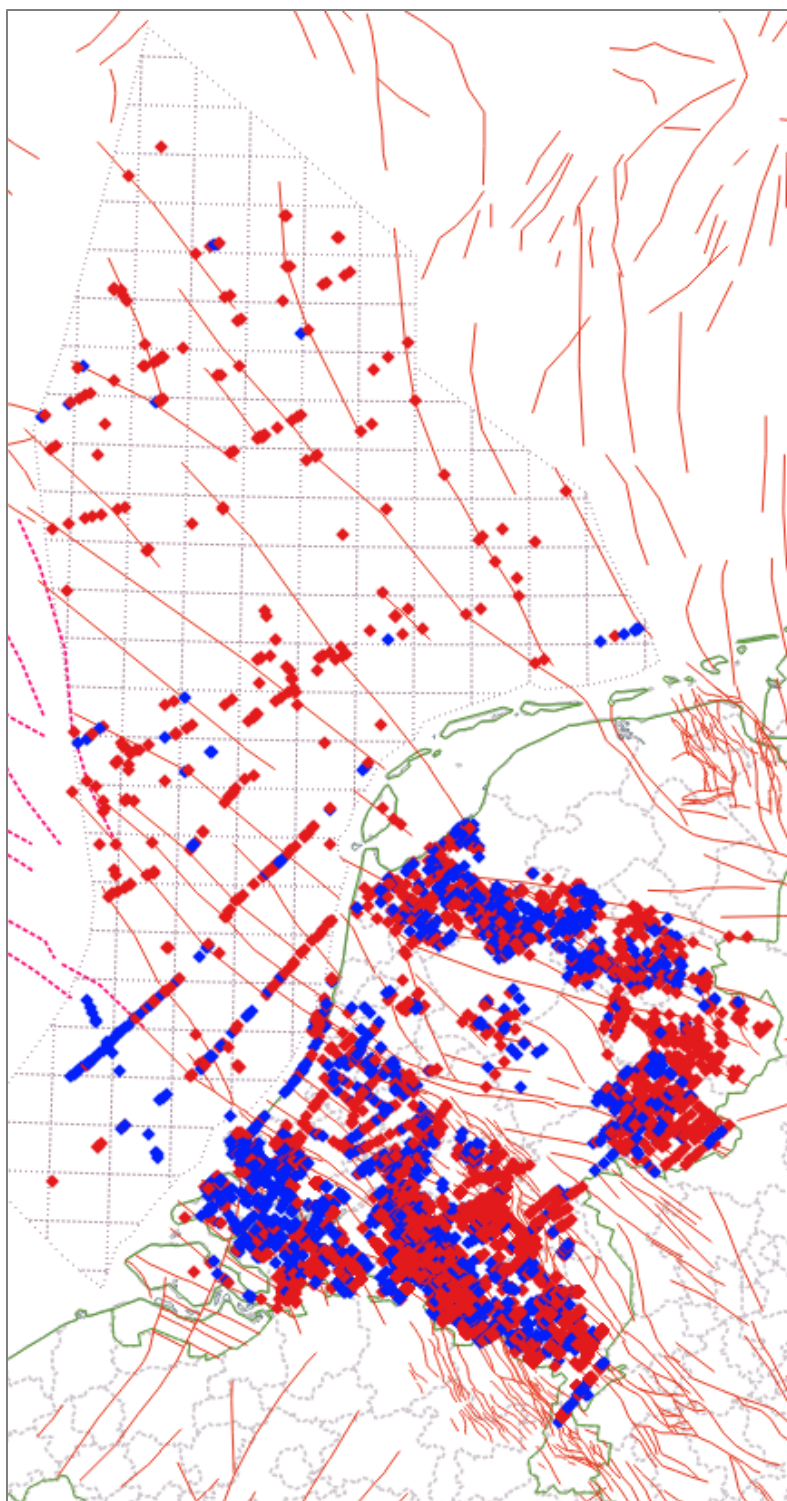
¹⁶ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Punten_Noordzee.zip

¹⁷ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Punten_Noordzee.xlsx

¹⁸ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Punten_NL.zip

¹⁹ http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Punten_NL.xlsx

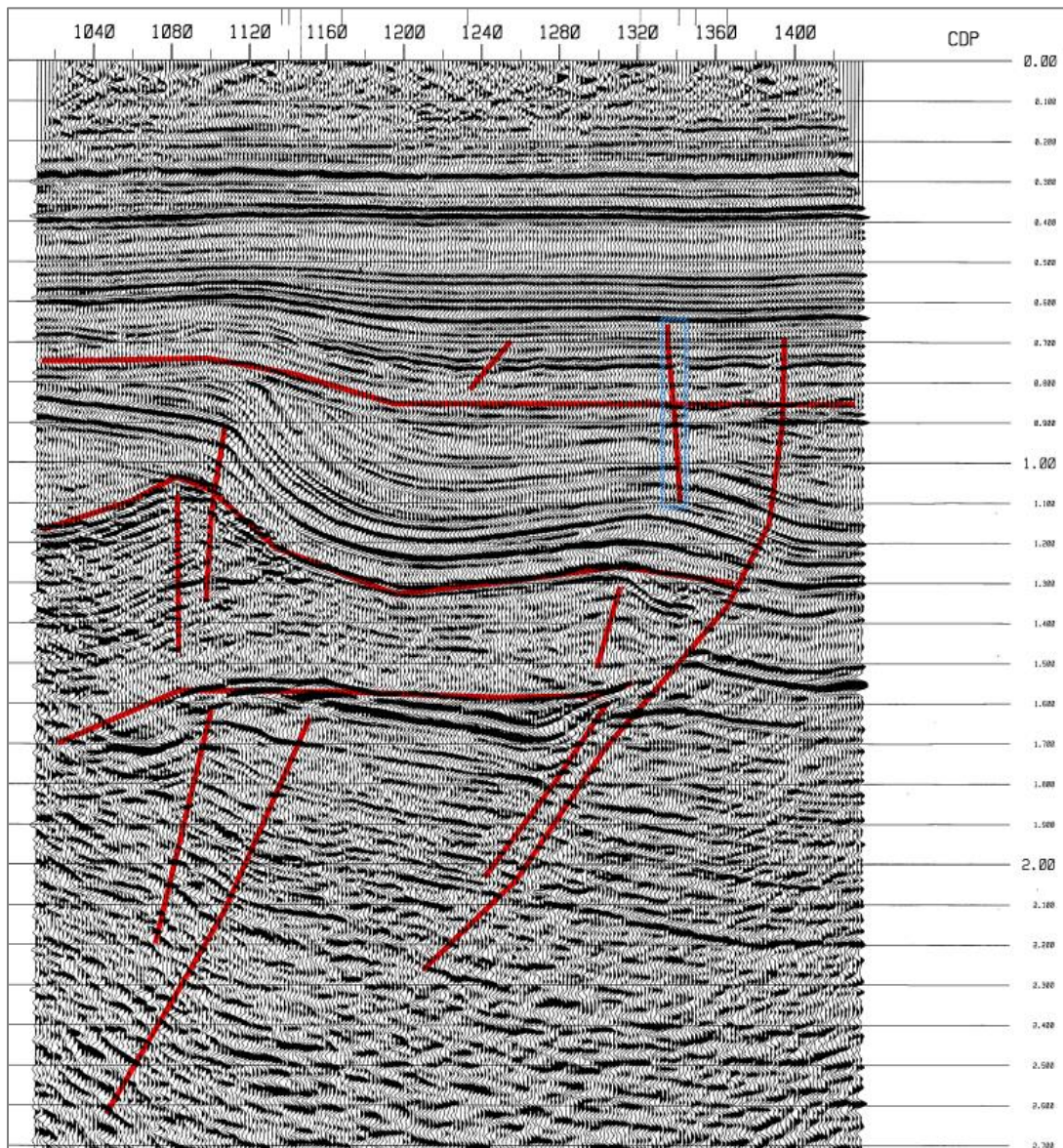
²⁰ <http://www.nlog.nl/>



Figuur 2.3.9.1 Locatie geanalyseerde punten. Rood: ondiepe breuk, blauw: diepe breuk

2.2.10 Osning overschuivingen

Bijzondere seismische beelden zijn te zien in de kop van Overijssel. Met name in de 8821XX-reeks zijn structuren te zien die op overschuivingen (ondiepe thrustsheets²¹) lijken. In figuur 2.3.10.1 is een uitsnede van lijn 882101 opgenomen. De overschuiving is duidelijk zichtbaar tussen 0,8 en 1,7 seconden TWT. Op basis van lokale boringen (bijvoorbeeld LNH01 uit het NLOG²²) is hier de Ommelanden formatie uit het Krijt overschoven. De onderliggende, dus overschoven, laag zou een zoutafzetting uit het Perm (Zechstein) kunnen zijn.

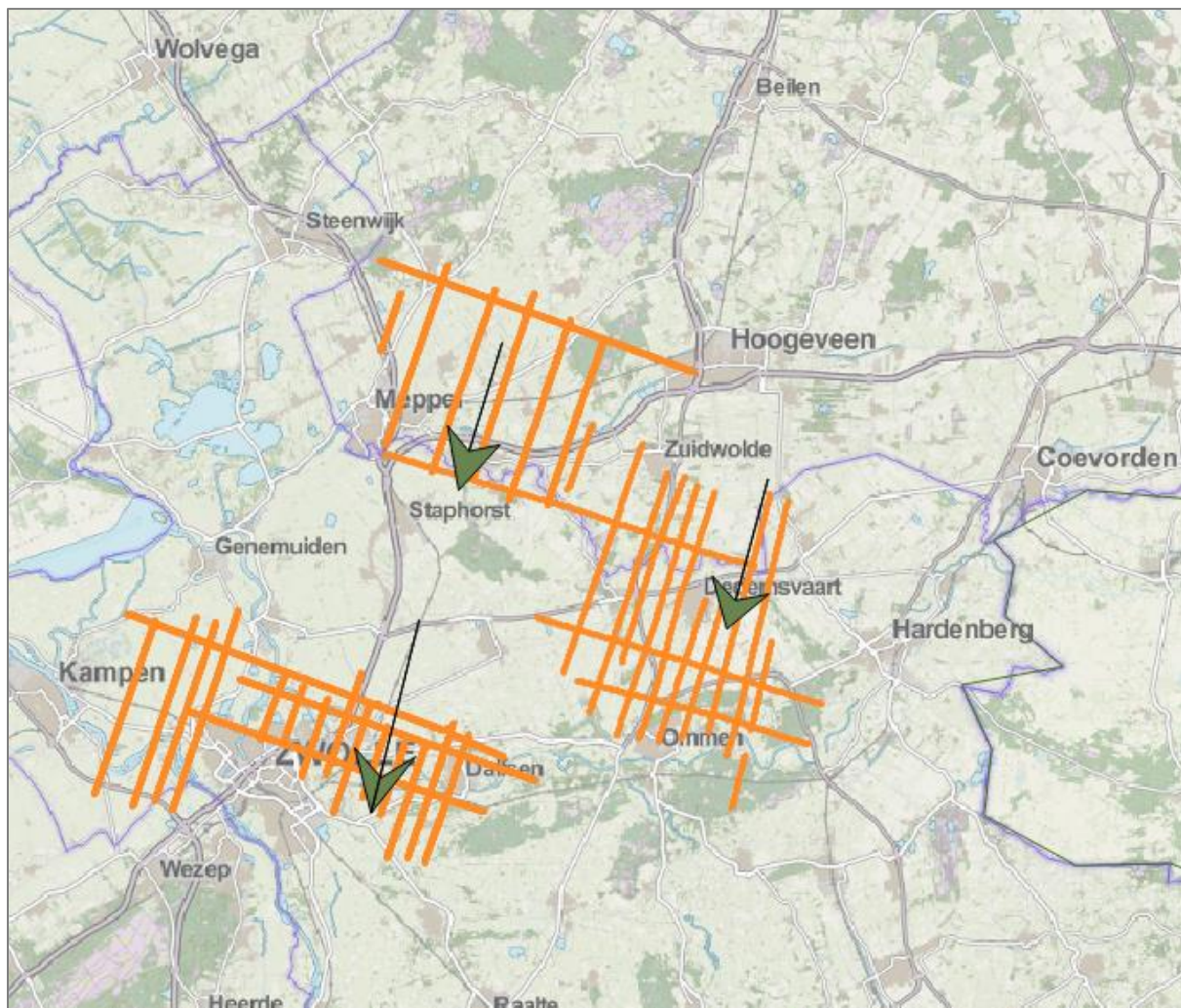


Figuur 2.3.10.1 Voorbeeld overschuivingsstructuur

²¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9collement>

²² <http://www.nlog.nl/>

Deze overschuivingen komen voor in de kop van Overijssel. De locaties waar dit in de seismische lijnen te zien is zijn opgenomen in figuur 2.3.10.2. Hierin is met een oranjelijn de locatie weergegeven waar in diverse seismische lijnen een overschuiving is geconstateerd, de pijlen geven de afgeleide schuifrichting aan.



Figuur 2.3.10.2 Overschuiving locaties met drukrichting

Deze overschuivingsvlakken liggen in het verlengde van de Osning-overschuiving in Duitsland²³ waarvan eveneens verschuivingen over de Perm-zouten bekend zijn.

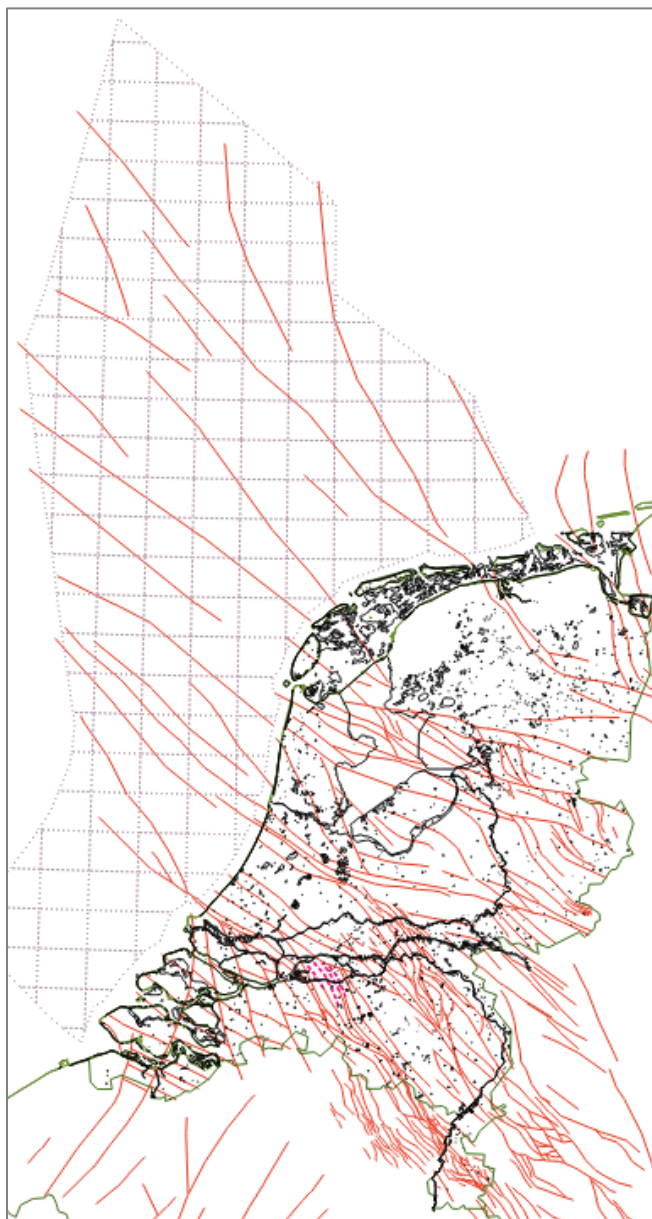
²³ https://www.geobasis-bb.de/geodaten/lbgr/pdf/1-2_05_Kockel_77-84.pdf

3 Resultaten

3.1 Breukenkaarten

3.1.1 Overzicht Nederland

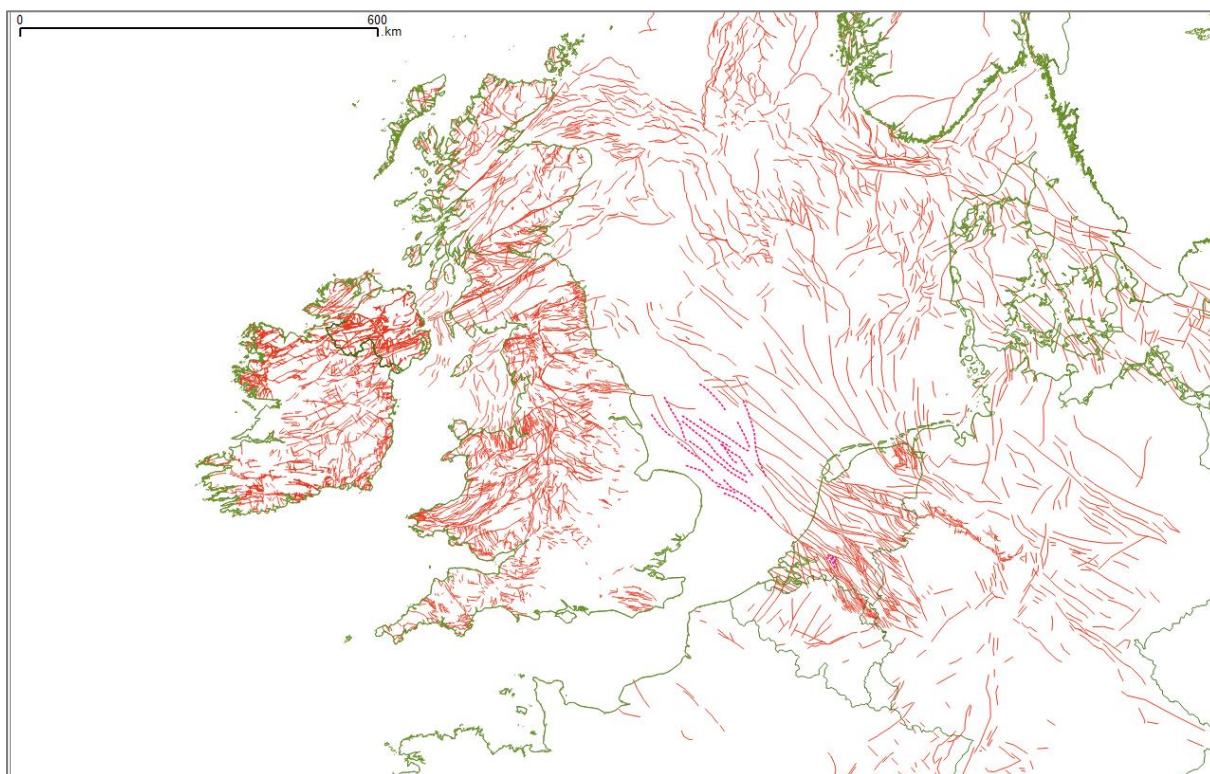
Op basis van de diepteligging van de verschillende markerlagen (Boomse klei, Top T3-sequentie) en de analyse van de seismische lijnen zijn de breuken die, in de bovenste 1000 meter vanaf het maaiveld, in de afzettingen aanwezig zijn, uitgekarteerd. In figuur 3.1.1 is hiervan een overzicht gegeven.



Figuur 3.1.1 Breukenkaart Ondergrond Nederland

3.1.2 Overzicht Noordwest Europa

De breukenkaart van Nederland is onderdeel van een groter gebied waarin verschillende tektonische invloeden een, uiteindelijk, samenhangend geheel vormen. Op basis van beschikbare informatie (zie paragraaf 3.1.3) is in GIS een kaart gemaakt van de aanwezigheid van breuken in de bovenste 1000 meter van het aardoppervlakte. Deze kaart is niet/nooit compleet te maken, de hier gegeven kaart is een analyse op basis van aanwezige karteringen en kennis.



Figuur 3.1.2 Breukenkaart Noordwest Europa

3.1.3 *Gis-informatie*

Om de breukenkaart op verschillende schaalniveaus inzichtelijk te maken zijn shapefiles²⁴ van de breukenkaart van de regio downloadbaar.

- Nederland (bron: eigen kartering; NLOG²⁵)
- Groot Brittannië (bron: BGS²⁶)
- Duitsland (bron: Gedigitaliseerde kaarten uit o.a. Kockel²⁷)
- Noorwegen (bron: NPD²⁸)
- België (bron: DOV²⁹)
- Denemarken (bron: Gedigitaliseerde kaarten uit GEUS³⁰)

²⁴ <http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Breukenboel.zip>

²⁵ <http://www.nlog.nl/>

²⁶ <http://www.bgs.ac.uk/data/services/mash-ups/desktopgis.html>

²⁷ https://www.geobasis-bb.de/geodaten/lbgr/pdf/1-2_05_Kockel_77-84.pdf

²⁸ <http://www.npd.no/en/Maps/>

²⁹ <https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/index.html>

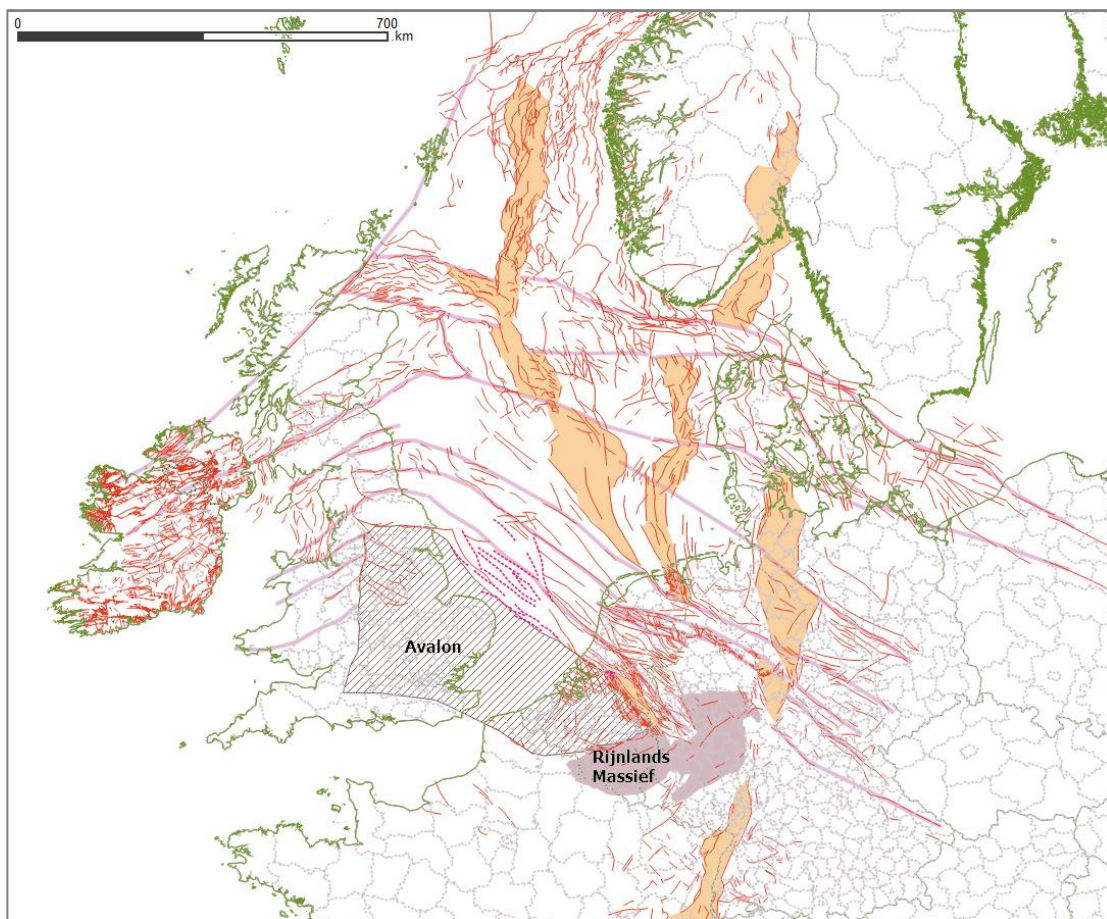
³⁰ <http://www.geus.dk/UK/Pages/default.aspx>

3.2 Tektonische regio's

In figuur 3.2.1 is de breukenkaart aangevuld met twee bekende massieven (Avalonia en het Rijnlands Massief). Verder is de kaart onderverdeeld op basis van twee aspecten:

- Min of meer Noord-Zuid gerichte dalingsbekkens (oranje kleuren). Deze worden geassocieerd met de Alpiene tektonische fase³¹.
- Min of meer Oost-West gerichte breukzones, Deze zijn op hun beurt weer verdeeld (met behulp van de paarse dikke lijnen) in gebieden met veel onderkende breuken en gebieden met weinig onderkende breuken.

Deze gebieden en scheidslijnen zijn mogelijk te correleren met botsingszones uit de botsing tussen Baltica, Avalonia en Laurentia. (de Caledonische tektonische fase³²). Het Rijnlands Massief is van een latere tektonische fase, het Hercynicum³³).



Figuur 3.2.1 Tektonische regio's

³¹ https://en.wikipedia.org/wiki/European_Cenozoic_Rift_System

³² https://en.wikipedia.org/wiki/Caledonian_orogeny

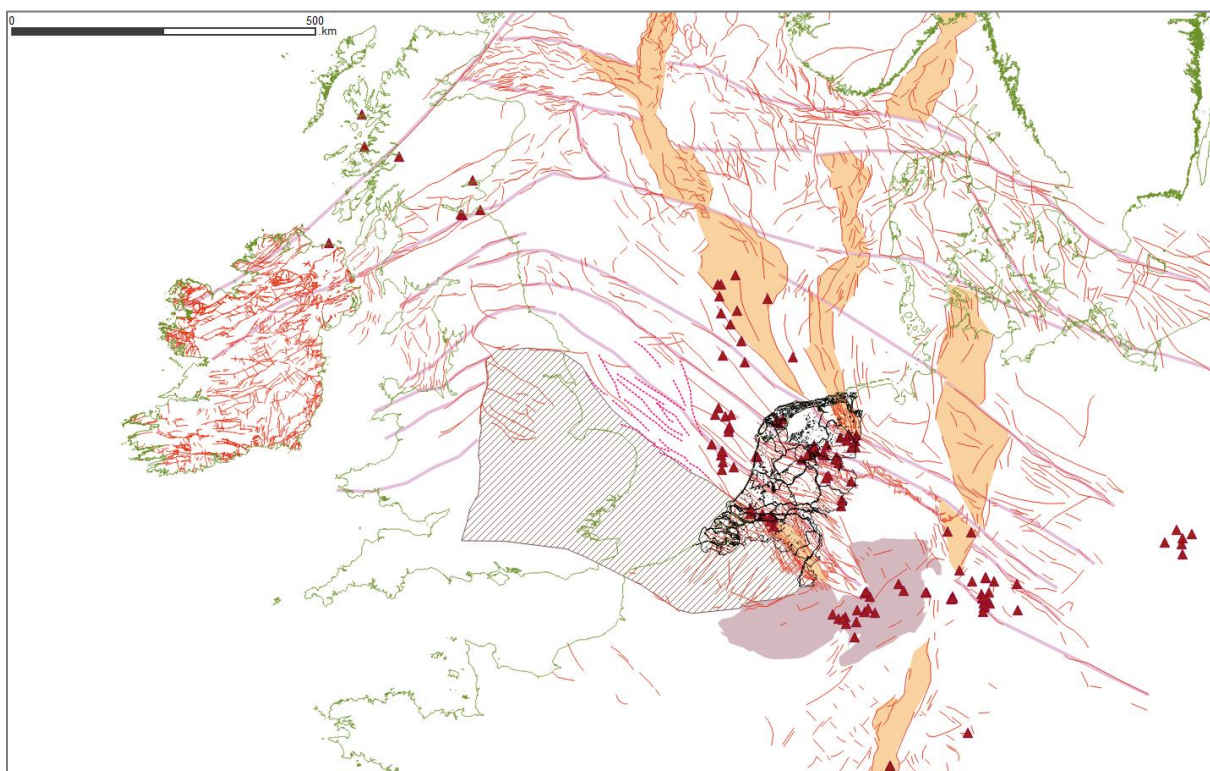
³³ https://en.wikipedia.org/wiki/Variscan_orogeny

3.3 Vulkanisme

In Noordwest Europa komt op een aantal locaties vulkanisme voor, zowel als extrusief gesteente (bijvoorbeeld in de Eifel of de Vogelsberg) of als intrusief gesteente³⁴.

Het voorkomen van vulkanisch gesteente hangt per definitie samen met het voorkomen van plekken waar er een verbinding tussen het vloeibaar gesteente en de hoger liggende lagen bestaat (dus gebroken lagen).

Een overzicht van de locaties waar vulkanisch gesteente is gevonden in combinatie met de breukenkaart, is opgenomen in figuur 3.3.1. De Gisbestanden zijn opgenomen als aparte downloadbare file³⁵.



Figuur 3.3.1 Voorkomen vulkanisme in Noordwest Europa

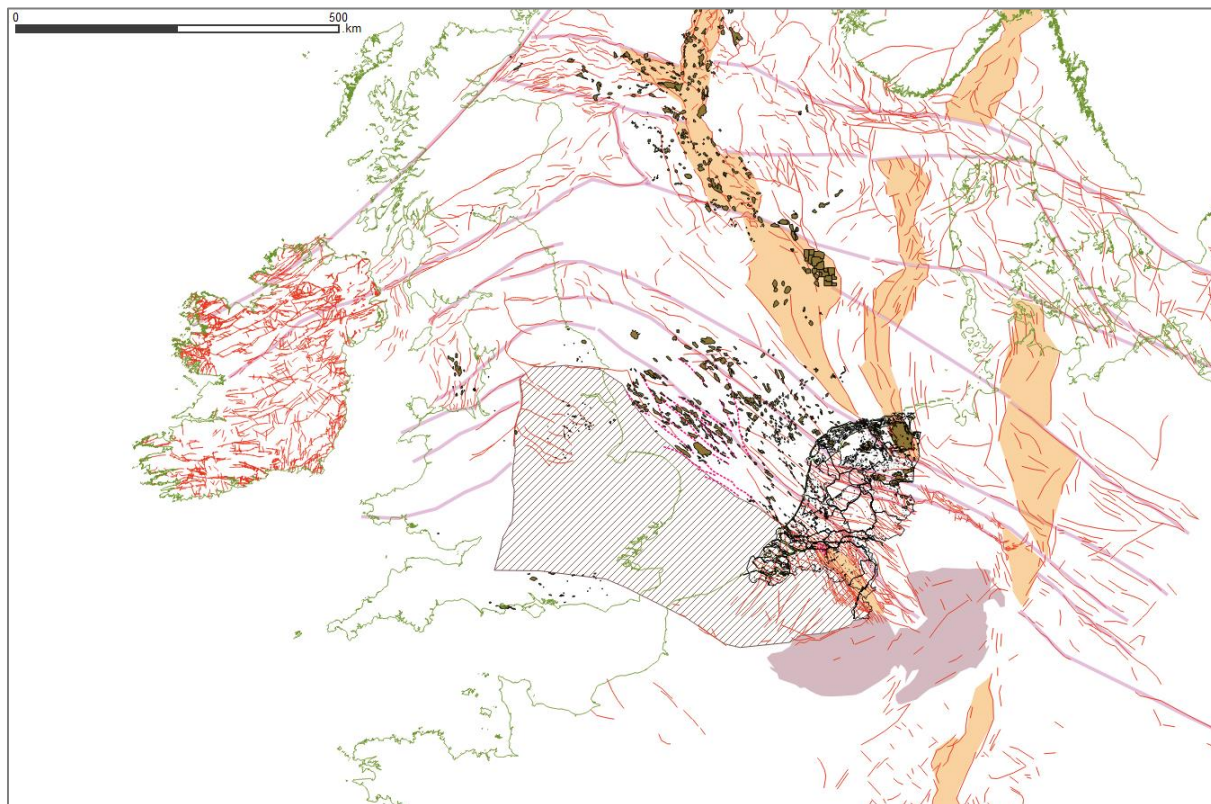
³⁴ Zie: *Geology of the Netherlands*, van Bergen: *Magmatism in the Netherlands: expression the north-west European rifting history*, pp 198-222.

³⁵ <http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Vulkanen.zip>

3.4 Voorkomen Olie- en Gasvoorkomens

Olie- en gasvoorkomens (bron: NLOG, GEUS, BGS, NPD, zie paragraaf 3.1 voor URI's) zijn gewoonlijk gekoppeld aan het voorkomen van breuken. In figuur 3.4.1. zijn de bekende voorkomens opgenomen in combinatie met de breukenkaart.

De bijbehorende GIS-kaarten zijn als apart downloadbare file³⁶ opgenomen



³⁶ <http://www.rvde.nl/pdf/Tektoniek/Velden.zip>