

# De Luxemburgse bodem en de zwakke Rhät klei

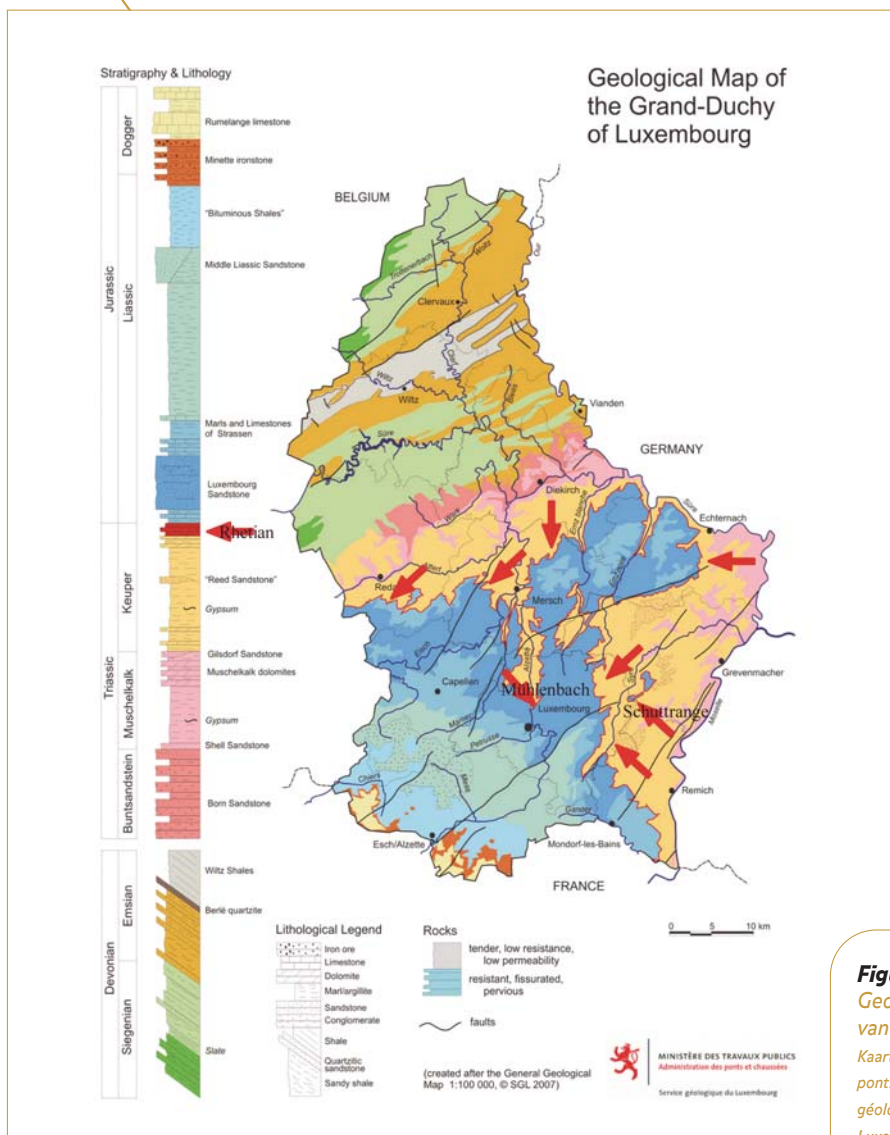
**Prof. dr. ir. Stefan van Baars**  
Hoogleraar Funderingstechniek  
en Grondmechanica  
Universiteit van Luxemburg



**B.Sc. Miguel Bautista**  
Student  
Universiteit van Luxemburg



**Dipl.-Geol. Rolf Becker**  
Directeur / Senior Geoloog  
Holmalux B.V.



**Figuur 1 –**  
**Geologische kaart**  
**van Luxemburg.**  
Kaart: Administration des  
ponts et chaussées, Service  
géologique du  
Luxembourg

duur zijn als in Nederland. Nieuwbouw vindt steeds meer plaats op complexere locaties. Voor de meeste nieuwbouwwoningen is een ondergrondse garage en een bouwput voorzien, wat voor de geotechnisch ingenieur een droomsituatie qua hoeveelheid werk is. De geotechniek in het land wordt voor een groot deel bepaald door de geologie. Kennis daarvan is dus van groot belang.

## Oesling

Het land kan geologisch verdeeld worden in twee delen, het noorden dat Eisleck of Oesling heet en het midden en zuiden dat Gutland heet, letterlijk het goede land. Oesling is deel van het Ardennen-plateau, is tot 550 m hoog, is grotendeels begroeid met bos en bestaat hoofdzakelijk uit Quartziet en Schist dat gevormd is in het Devonion tijdperk. Quartziet is een onder hoge druk en temperatuur samengedrukte zandsteen. Schist is een gesteente dat tijdens de vorming een gelaagdheid heeft gekregen, vaak door de voorkeursoriëntatie van mica's. De rotsgelaagdheid in Oesling is vaak gevouwen en geroteerd, meestal rond 45 graden, zie de legenda linksonder in figuur 1.

## Inleiding

De meeste Nederlandse civiel-technische ingenieurs zijn nog wel bekend met de geologie van het noorden, westen en midden van de Benelux, maar van het zuidoosten is voor velen niet meer bekend dan wat men weet van een wandeling door Klein-Zwitserland. Wetenschappelijk gezien is dat jammer, want ook in Luxemburg vindt men zeer interessante, zwakke en problematische bodemsoorten. Vooral de allerzwakste, de Keuper-Rhät klei behoeft extra aandacht van de geotechnische ingenieurs.

Het kleine heuvelachtige land Luxemburg kent een sterke economische groei en een immigratieoverschot van meer dan 2% per jaar. Op een totale bevolking van 517.000 mensen, rijden iedere dag meer dan 150.000 werknemers vanuit België, Duitsland en Frankrijk de grens over om in Luxemburg te werken. Bovendien zijn de inkomens de hoogste van de Europese Unie. De sterke groei zorgt voor een grote vraag naar nieuwe kantoren en woningen, die onder andere door een te klein aanbod en de lage rente, grofweg tweemaal zo

Soms is de gelaagdheid van de Schist van Wiltz (die vooral rondom Wiltz wordt gevonden) vrijwel loodrecht en aangezien de afschuifsterkte langs de lagen zeer klein is, moet men dan oppassen. De eigenaar van de parkeerplaats naast een Schistrotswand in Clervaux op de foto van figuur 2, was wel door de autoriteiten gewaarschuwd, maar was toch niet van plan een serieuze stabilisatie uit te voeren. In de winter tijdens vorst stortte de wand in en bedolf een auto. Gelukkig zat er niemand in de auto tijdens de instorting. Daarna heeft de gemeente, op kosten van de eigenaar, de rotswand gestabiliseerd.

## Samenvatting

Luxemburg kent zeer interessante, zwakke en problematische bodemsoorten zoals de zwellende gips, de gelaagde schist van Wiltz en vooral de zwakke Keuper-Rhät-klei. Die laatste komt als een dun laagje in een groot deel van het land aan de oppervlakte. Ongeveer 2/3de deel van alle grondafschuivingen spelen

zich hier af. Vandaar dat besloten is om de Rhät-klei te onderzoeken. Uit triaxiaalproeven die in het geotechnisch laboratorium van de Universiteit van Luxemburg gedaan zijn, blijkt dat deze klei een zeer kleine hoek van inwendige wrijving heeft en daardoor tot de zwakste kleien ter wereld gerekend mag worden.



**Figuur 2** – Uitgraven van wagen na instorten wand in Clervaux. Foto: R. Becker

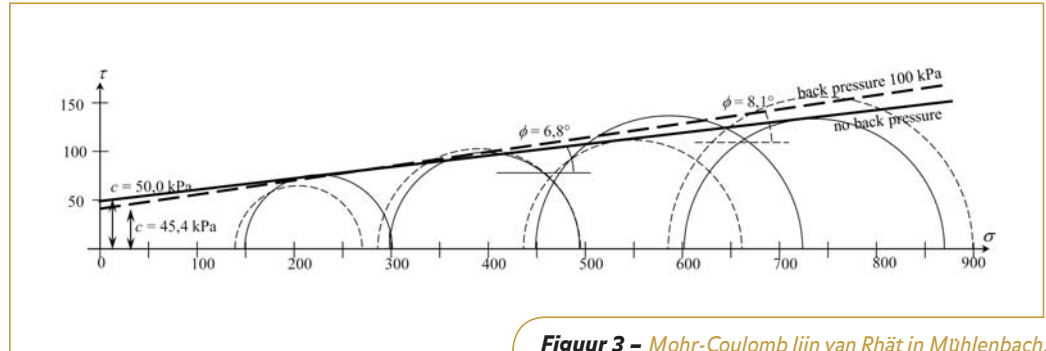
## Gutland

Gutland is gevormd in het Trias en Jura-tijdperk en is daarmee veel jonger dan Oesling. Het bestaat vooral uit sedimentaire rots, zoals kalksteen, zandsteen, dolomiet en ook een beetje gips. Er zitten zwellende gipslagen in het zuidoosten die, onder andere bij de tunnel van de snelweg A13 door de Markusberg bij Schengen, voor grote problemen zorgen. De bodemlagen liggen vanwege de sedimentaire ontstaansgeschiedenis zeer horizontaal, meestal maar 1 of 2 graden scheef, zie de legende linksboven in figuur 1. Dit zorgt ervoor dat hier de bodemsoort door de hoogte van het maaiveld wordt bepaald.

De oudste lagen zijn dus de diepste lagen en die worden gevonden bij de rivieren Alzette (benedenstrooms), Sauer en Moesel, dus bij de plaatsen Mersch, Diekirch, Echternach, Wasserbillig (MSL +129 m) en Remich. De jongste lagen worden gevonden in het zuidwesten bij Esch sur Alzette (MSL +426 m) en zijn dus de hoogste lagen. Hierin worden ook ijzerhoudende lagen gevonden, waaruit tot de jaren '70 ijzererts werd gewonnen. Vandaar dat de damwandfabrikant Arcelor-Mittal (vroeger Arbed) daar ook gevestigd is. De voor de hoogovens benodigde kolen kwamen uit de regio, namelijk Saarland, alwaar de laatste mijnen in 2012 zijn gesloten.

## Rhät

De Keuperlaag, oftewel de bovenste Triaslaag, bestaat hoofdzakelijk uit mergel en zandsteen. Interessant is dat in Luxemburg deze lagen afgedekt zijn door een dunne kleilaag; Rhät (D), Rhaetium (Lat), of Rhétien (Fr) genoemd. De dikte varieert meestal tussen de anderhalve decimeter



**Figuur 3** – Mohr-Coulomb lijn van Rhät in Mühlbach.

en een paar meter. Deze laag ligt op een constante hoogte en de band waar het aan het oppervlakte komt loopt vanwege de gevarieerde erosie grillig over geheel Gutland (rode smalle lijn in de kaart aangegeven met rode pijlen). Ongeveer 2/3de deel van alle aardverschuivingen spelen zich bij deze lijn af. Deze lijn is vaak ook de lijn die de dalen rondom de rivieren volgt. Aangezien de bebouwing en wegen ook deze lijn volgen (Bijvoorbeeld Mersch, Walferdange, Beggen, Mühlbach langs de Alzette) en omdat hier veel gebouwd wordt, zijn in deze regio geregeld aardverschuivingen bij bouwputten van nieuwbouwprojecten.

Vandaar dat besloten is om de Rhät klei in het geotechnisch laboratorium van de Universiteit van Luxemburg te onderzoeken. Vermoed werd dat, of de cohesie, of de hoek van inwendige wrijving van deze klei, of zelfs beide, zeer laag zou(den) kunnen zijn.

## Triaxiaalproeven

Na eerst als test een serie triaxiaalproeven te hebben uitgevoerd op pottenbakkersklei, zijn twee series CU-triaxiaalproeven uitgevoerd op Rhät-klei uit een bouwput van de Rue de Mühlbach aan de Noordzijde van Luxemburg-stad. Het soortelijke gewicht van deze schone vaste klei is bepaald op:  $\gamma_{\text{sat}} = 19,7 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{dr}} = 16,0 \text{ kN/m}^3$  en de porositeit is  $n = 39,4\%$ . Hierop zijn eerst 4 proeven zonder back-pressure (verhoogde poriewaterdruk in het monster) uitgevoerd, daarna zijn er nog 4 proeven uitgevoerd, met een back-pressure van 100 kPa. De belastingsnelheid van het triaxiaalapparaat was 1 mm/min.

De eerste serie proeven is uitgevoerd zonder

backpressure omdat er een oorzaak gevonden moest worden voor de vele aardverschuivingen en er dus natuurgetrouwe resultaten nodig waren. In-situ wordt immers ook geen poriewaterdruk gevonden hoger dan de natuurlijke grondwater-spanning.

De reden voor het toch uitvoeren van een tweede serie met backpressure was de bijzonder lage poriewaterspanningsverandering die werd gemeten tijdens de eerste serie proeven. Normalerweise is deze verandering voor kleien met een neutraal gedrag, 1/3de van de verticale belastingsverhoging, bij dilatant gedrag is dit iets lager en bij contractant gedrag iets hoger. Echter, bij de proeven zonder back-pressure werden waarden voor deze zogeheten Skempton A coëfficiënt lager dan 1% gevonden, hetgeen uiterst opmerkelijk is. Het is alsof de klei niet (goed genoeg) verzadigd is door intern opgesloten luchtbelletjes, hetgeen wellicht met verhoogde poriewaterdruk opgelost kon worden. Echter, de serie proeven met back-pressure liet waarden zien variërend tussen de 4% en 8%, hetgeen nog steeds erg laag is.

De serie zonder back pressure gaf een wrijvingshoek van  $\phi = 7$  graden en een cohesie van  $c = 50 \text{ kPa}$ .

De serie met back-pressure gaf een wrijvingshoek van  $\phi = 8$  graden en een cohesie van  $c = 45 \text{ kPa}$ . De beide resultaten liggen praktisch binnen elkaars foutenmarge, zie figuur 3. De gemeten cohesie is nog redelijk normaal. Maar wat uiterst bijzonder is, is de extreem lage hoek van inwendige wrijving.



**Figuur 4** – Begin afschuiving op de Rhätlaag in Schuttrange, 5 juli 2012. Foto: M. Bautista



**Figuur 5** – Glijcirkel onder folie in Schuttrange, 6 augustus 2012. Foto: R. Becker



**Figuur 6** – Taludfalen op de Rhätlaag in Schuttrange, 9 september 2012. Foto: S. van Baars

### Afschuiving talud Schuttrange

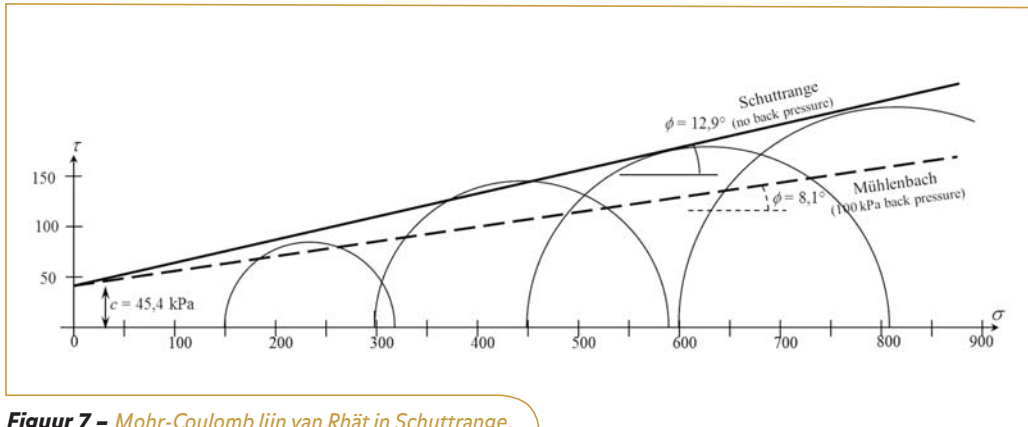
Tijdens het uitvoeren van de proeven werden de auteurs geïnformeerd over een nieuwe afschuiving die al een paar dagen, sinds ongeveer 22 juni 2012, gaande was bij een bouwput tussen Schuttrange en Schrassig, zie de foto van figuur 4. Het gaat hier om een bouwput van een dure villa met een ondergrondse parkeergarage. In de ontwerp-fase werd eerst gedacht aan een gecombineerde talud-berlinerwand constructie, maar om geld uit te sparen is later voor een dubbel-talud gekozen. De afschuiving van het talud begon op de Rhätlaag, hier slechts 15 cm dik, en breidde zich zeer langzaam maar zeker uit. De Rhätlaag is grijs en bevindt zich tussen de gele laag en de rode laag. Het onderste gedeelte van de bouwput, net onder de rhätlaag was toen nog niet uitgegraven, maar de aannemer wilde geen tijdverliezen en ging dus gewoon verder. De grond uit de bouwput is op de rand naast de bouwput gelegd (zie geheel rechts-boven). Tijdens het maken van de foto was men bezig de taluds met een folie te bedekken (zie geheel links) om deze helling tegen regen te beschermen en wellicht ook lastige fotografen het zicht te ontnemen.

De figuren 5 en 6 laten de situatie anderhalve maand na het begin van de afschuiving zien. Ook ondanks de folie is de afschuiving nog goed zichtbaar.

Natuurlijk is ook de Rhät-klei uit deze bouwput onderzocht. Het soortelijke gewicht van deze klei is bepaald op:  $\gamma_{\text{sat}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{dr}} = 17,0 \text{ kN/m}^3$  en de porositeit is  $n = 41,8\%$ . Hierop zijn 4 triaxiaalproeven zonder back-pressure uitgevoerd. Net als bij de klei uit Mühlenbach (Luxemburg-stad) was de Skempton A coëfficiënt zeer laag (tussen de 0,5% en 1,5%). Uitgaande van een ongeveer gelijke cohesie is een wrijvingshoek gemeten van  $\phi = 13$  graden, zie figuur 7. Al is de wrijvingshoek in Schutterange duidelijk hoger dan dat van de Rhät klei bij Mühlenbach, het blijft extreem laag. Dit verklaart mede de opgetreden afschuiving.

### Conclusie

Gemiddeld wordt voor kleien gerekend met een (piek) wrijvingshoek van zo'n 25 graden. Bij sommige kleien is deze waarde iets lager zoals de Londenklei die een wrijvingshoek van slechts 20 graden heeft (Terzaghi et al). Maar voor een schone, zuivere klei mag in Nederland en Duitsland minimaal met een wrijvingshoek van 17,5 graden worden gerekend (NEN 9997-1-NL en EAU 1990). Echter, geen enkele klei is bekend waarvan de wrijvingshoek, die met een triaxiaal apparaat is gemeten, zo laag is als de Rhät-klei in Luxemburg. Zelfs de quick-klei van de aardverschuiving



**Figuur 7 – Mohr-Coulomb lijn van Rhät in Schuttrange.**

in 1959 in Furre, Noorwegen, had volgens Bjerrum en Ladv (1996 en 2008) wel een teruggerekende wrijvingshoek van 7 graden, en een met een simple shear apparaat gemeten hoek van 9 graden, maar met triaxiaalproeven werden toch waarden gevonden van 21 tot 25 graden. Kortom, de Rhät-klei in Luxemburg kan wel eens een klei met de laagste (piek) wrijvingshoek zijn ter wereld. Daarom worden er plannen gemaakt om nieuwe ongestoorde monsters te verkrijgen en de

triaxiaalproeven te herhalen om vervolgens definitieve conclusies te kunnen trekken.

**Literatuur**

- Bintz, J et al. (1979) *Zur Ausbildung des Rhäts in den Flachbohrungen Mersch (Luxemburg)*, Publications du Service Géologique du Luxembourg Bulletin N° 10/1979.
- Bjerrum, L. And Landva, A.O. (1996) *Direct simple-shear tests on a Norwegian quick clay*,

- Geotechnique 16(1), p1-20.
- EAU (1990), *Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Hafen und Wasserstrassen*, Ernst & Sohn, 1990.
- Landva, A. (2008), *Simple shear testing and behavior of Norwegian Quick Clays – Revisited*, GeoCongress 2008, From Research to Practice in Geotechnical Engineering, ASCE, ISBN 978-0-7844-0962-6, pp 230-250.
- Muller, A. (1974) *Die Trias-Lias Grenzschichten Luxemburgs*, Veröffentlichung des Luxemburger Geologischen Dienstes Vol. XXII.
- NEN 9997-1-NL (2011), *Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels*, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Tab. 2.b, p50 (Voorheen Tab. 1 van NEN 6740).
- Service géologique du Luxembourg, Administration des ponts et chaussées, www.geologie.lu.
- Terzaghi, K. Peck, R.B. Mesri, G. (1996), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Tab. 19.5, p154. ●

## MIXEN IS DE TOEKOMST !

**Project: SKYLINE40 (EREMBODEGEM)**

285 m gewapende soilmixwand  
(diepte 13 m, uitgravingsdiepte 9,65m)  
2 ankerrijen

