

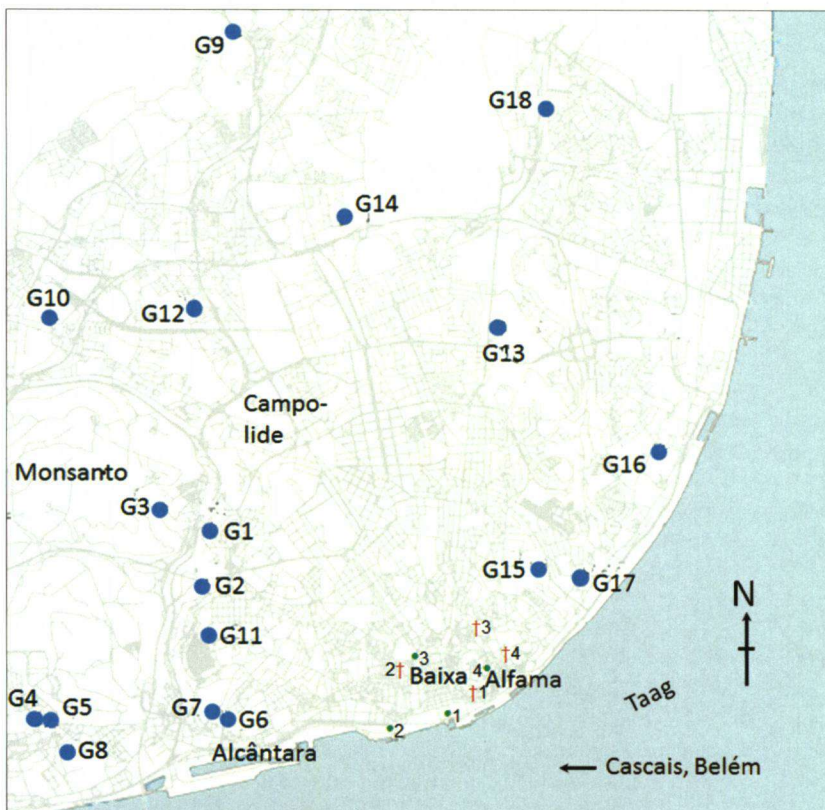


De geologie van Lissabon

TIMO G. NIJLAND
TNO, DELFT
TGNYLAND@XS4ALL.NL

Geologie en steden hebben een wat moeizame verhouding: in de stad is er vaak niet veel van te zien door een gebrek aan ontsluitingen, maar de invloed van de geologie op de stad is groot. Die invloed uit zich in scheppende zin, bijvoorbeeld als bron van bouwmaterialen of water, maar ook in vernietigende zin, bijvoorbeeld door aardbevingen en vulkaanuitbarstingen. Geologie schept ook gelegenheden, bijvoorbeeld door de geomorfologie die zich uit in de zeven heuvels van Rome, maar ook verwarring zoals bij de twee typen terrassen van Wenen: die van de horeca en die van de Donau. De Portugese hoofdstad Lissabon toont de verschillende aspecten van de relatie tussen geologie en stad in optima forma.





AFBEELDING 1. | Schematische overzichtskaart van Lissabon met de achttien officiële geologische monumenten (blauwe stippen), enkele van de voornaamste kerken (rode kruizen) en enkele in de tekst genoemde objecten (groene stippen). Aangepast naar Gemeente Lissabon (2010). De nummers van de geologische monumenten corresponderen met die in tabel 1. Kerken: 1 – Sé, 2 – São Roque, 3 – Graça, 4 – São Vicente de Fora. Objecten: 1 – Praça do Comércio, 2 – station Cais do Sodré, 3 – Rossio station, 4 – Portas do Sol.

Tabel 1. Officiële geomonumenten in Lissabon (Gemeente Lissabon, 2010).

Nr.	Locatie	Formatie	Ouderdom
G1	Avenida Duarte Pacheco	Caneças / Bica	Cenomanien
G2	Avenida Calouste Gulbenkian	Caneças / Bica	Cenomanien
G3	Parque da Pedra	Caneças / Bica	Cenomanien
G4	Rio Eduardo Bairrada (Rio Seco)	Bica	Cenomanien
G5	Rio Eduardo Bairrada (Rio Seco)	Bica	Cenomanien
G6	Avenida Infante Santo	Bica	Cenomanien
G7	Avenida Infante Santo	Bica	Cenomanien
G8	Rua Aliança Operária	Lissabon Vulkanisch Complex	Campanien
G9	Calçada de Carriche	Benfica	Eo/Oligoceen
G10	Quinta da Granja	Camades de Prazeres	Mioceen
G11	Rua Sampaio Bruno	Camades de Prazeres	Mioceen
G12	Rua Virgílio Correia	Camades de Prazeres / Areaolas de Av. de Estefânia	Mioceen
G13	Parque da Bela Vista	Zanden van de Quinta de Bacalhau / Casal Vistoso kalksteen	Mioceen
G14	Quinta do Lambert	Casal Vistoso kalksteen	Mioceen
G15	Rua Mouzinho de Albuquerque	Zanden met <i>Placuna miocena</i> / Musgueira kalksteen	Mioceen
G16	Rua Captião Leitão	Zanden van de Vale de Chelas / Quinta de Cochas kalksteen	Mioceen
G17	Forte da Santa Apolónia	Quinta de Cochas kalksteen	Mioceen
G18	Rua dos Eucaliptos	Grilos zandsteen	Mioceen

De stad Lissabon is ontstaan op zeven, later elf heuvels op een pakket sedimenten uit het Boven-Krijt en Paleoceen, waarvan de eersten een bouwsteen leverden die tot in Brazilië en rondom Afrika is uitgevoerd. De warme bronnen van de bekende Moorse Alfama wijk faciliteerden het leven. De grote aardbeving van 1755 verwoeste grote delen van de stad maar spaarde veel van de Alfama-wijk. De stad kent naast verschillende, veelal kleine ontsluitingen in het centrum, ook maar liefst 18 beschermde geologische monumenten; de meeste bevinden zich in de wijken rond het toeristische centrum (Afb. 1, Tabel 1). Kijk bij een bezoek niet gek op als het ene monument fraai uitgelicht en van een bord met uitleg voorzien is, terwijl een ander onopvallend naast bouw- en slooafval ligt. Behalve de 18 geologische monumenten zijn er meer kleine ontsluitingen in de stad. Voorbeelden zijn te vinden in de hoek van de Rua da Judiaria en de Arco do Rosario (Afb. 2), Rua de São Mamede nr. 14 en onder de 12^e Moorse stadsmuur (Cerca Moura) direct onder het koor van de Igreja da Santa Luzia.

De geologische opbouw

De oudste afzettingen in Lissabon dateren uit het Boven-Krijt, meer precies het Cenomanien (Ramalho, 2010). Ze bestaan uit kalken en mergelige kalken met inschakelingen van mergel en zandsteen waarin onder meer oesters, gastropoden, echinodermen en crustacea voorkomen. Het pakket is maximaal 60 m dik en vooral ontsloten in het westelijke deel van de



AFBEELDING 2. | Kleine ontsluitingen van miocene kalksteen aan de Rua Judiaria, waar de steen ook gebruikt is voor de muren van de gebouwen op de ontsluitingen.



AFBEELDING 3. | Lioz kalksteen van de Bica Formatie in het geomonument aan de Avenida Infante Santo.

stad, met name in het dal van Alcântara, Serafina, Monsanto en Campolide (Afb. 1). In het Boven-Cenomanien / Turonien werd een dichte, compacte kalksteen met rudisten en foraminiferen afgezet, lokaal bekend onder de naam *Lioz*. Deze kalksteen is soms nodulair en bevat behalve de genoemde fossielen ook ammonieten, vissen en *Plesiosaurus*-resten. De kalken werden afgezet in een zee die behalve de regio Lissabon, grote delen van de oost en zuid Portugal bedekte.

In Lissabon is de Lioz kalksteen ontsloten in de wanden van het dal van Alcântara. Vroeger werd ondergronds vuursteen uit de kalksteen gewonnen bij Campolide. De Lioz is onder meer ontsloten in de geomonumenten aan weerszijden van de Avenida Infante Santo (Afb. 3). Grote ontsluitingen met zeer open geplooid Lioz zijn er in de stad ook in de geomonumenten die als Rio Seco aangeduid worden; ze bevinden zich aan weerszijden van de Rua Eduardo Bairrada in het verlengde van de Rua Rui Pina en de Largo do Rio Seco (Afb. 4). Buiten Lissabon komt de Lioz vooral voor ten noordwesten van de stad, in de omgeving van Pero Pinheiro.

Recenter, in het Campanien, was in de regio sprake van vulkanisme. Het resultaat was het Lissabon Vulkanisch Complex (Complexo Vulcânico de Lisboa), dat begint met een pakket tuf waar bovenop zes grote basaltlagen en tuf elkaar afwisselen. De basalten bevatten fenokristen van olivijn met microlieten van basische plagioklaas,

augiet en magnetiet. Vacuoles (holtes) zijn gevuld met zeolieten en calciëet (De Jesus & Zbyszewski, 1952). Met een ouderdom van ongeveer 73 à 72 miljoen jaar (Matos Alves *et al.*, 1980) is het vulkanisch complex jonger dan het nabije Sintra Massief, dat ca. 80 miljoen jaar oud is. De heuvel met daarop het grote park Monsanto in het westen van de stad bestaat grotendeels uit gesteenten van het Lissabon Vulkanisch Complex. In de stad is dit complex verder ontsloten in het geologisch monument aan de Rua Aliança Operária, waar basaltzuilen ontwikkeld zijn. Op het terrein van de voormalige groeve bevindt zich nu een sportcomplex; de ontsluiting is te vinden in de achterwand. Andere ontsluitingen zijn te vinden even buiten Lissabon, aan de weg langs de spoorlijn van station Cais do Sodré in Lissabon naar Cascais, o.a. in Cruz Quebrada.

De jongere Benfica Formatie werd afgezet in het Eoceen-Oligoceen. Ze wordt vooral gevormd door klastische sedimenten, met zandstenen, arkoses en conglomeraten, maar mergels en kalkstenen (de Kalkstenen van Alforneiros) komen ook voor. Gedurende het Mioceen werd het merendeel van de aan het oppervlak aanwezige gesteenten afgezet. Het zijn macroporeuze, veelal gele maar soms ook grijs-zwarte, vaak zeer fossielrijke kalkstenen tot kalkgebonden zandstenen.

In de omgeving van Lissabon is het Miocene pakket ongeveer 300 m dik. Ten zuiden van Lissabon, op het schiereiland van Setúbal, is bij Pinhal Novo het Mioceen maar liefst 1.200 m dik. In totaal omvat het Mioceen in de regio tussen Lissabon en de Arrábida bergketen op het schiereiland van Setúbal zeven cycli van oprukken en terugtrekken van de zee (Antunes & Pais, 1993). Het Miocene gesteente bevat een rijke mariene en landfauna, met koralen, mosdiertjes en crustacea, gastropoden, echinodermata, bivalven en krabben in de mariene fauna. In de landfauna komen zoogdieren voor (primitieve nijlpaarden, kleine knaagdieren), in afzettingen uit lagunes ook krokodillen en vissen (Antunes *et al.*, 1996, Ramalho, 2010).

In het Aquitanien is sprake van de eerste grote transgressie sinds het Cenomanien, waarbij kleien en kalken met de gidsfossiel-schelp *Venus ribeiroi* zijn afgezet, gedateerd op 24 à 21 miljoen jaar geleden (Antunes *et al.*, 1996). De sedimentatie zet zich voort in het Burdigalien met de tijdens een regressie afgezette Areolas de Avenida da Estefânia: fijnkorrelige zanden en silten met als gidsfossiel de tweekleppige *Chlamys pseudopandora*. Gedurende de volgende transgressie werd de kalksteen van Entrecampos (Banco Real) afgezet en de deels blauwe pyriethoudende kleien van Forno Tijolo, met daarop de fluviatiele zanden (*areias*) van de Quinta do Bacalhau. Na de afzetting van deze zanden volgt tot twee keer een cyclus waarin eerst mariene en daarna fluviatiele sedimenten worden afgezet. Deze worden vertegenwoordigd door de kalksteen van Casal Vistoso met als



AFBEELDING 4. | Kalkstenen van de Bica Formatie in het geomonument aan de Rua Eduardo Bairrada (Rio Seco).

gidsfossiel de *Chlamys scabrella* en de zanden met de schelp *Placuna miocena*, respectievelijk de kalksteen van Musgueira, met *Chlamys scabriuscula* als gidsfossiel, en de zanden van de Vale de Chelas. Transgressieve, ondiepe conglomeraten volgen hierop, met in Lissabon de kalksteen van de Quinta das Cochás, met *Anomia choffati* als gidsfossiel (Antunes *et al.*, 1996). De miocene sedimentatie in de regio zet zich voort in het Langhien en Serravallien (samen lokaal Helveciano genoemd) met in de landfauna ook mastodonten, tot in het onderste Tortonien (Ramalho, 2010). In verschillende geomonumenten in Lissabon is het transgressieve karakter van het Mioceen te zien: in het geomonument Quinta do Lambert is sprake van opeenvolgende trans- en regressiecycli. Een transgressief contact is onder meer ontsloten in het geomonument van de Avenida Mouzinho de Albuquerque, waar de Musgueira kalksteen op de zanden met *Placuna miocena* rust (Afb. 5). Vergeet bij een eventueel bezoek aldaar overigens niet om ook even stil te staan bij de ontsluiting aan het begin van de Avenida Mouzinho de Albuquerque, voor de bushalte in het talud van het 19^e eeuwse klooster Santos-a-Novo. Kijk ook naar de grote wand met in de grond gevormde palen aan het begin van de afsplitsing van de Rua do Barão de Monte Pedral van de Avenida Mouzinho de Albuquerque.

Bij Quinta da Granja gaan continentale afzettingen over in anoxische lagunaire afzettingen, terwijl in het geomonument van de Rua Sampaio Bruno mariene rifafzettingen met centimetergrote bryozoakolonies ontsloten zijn (Afb. 6). Pleistocene afzettingen zijn in het gebied van groter Lissabon zeer beperkt aanwezig en deels in de voortgaande urbanisatie verwijderd. Holocene afzettingen beperken zich tot dalvullingen en getijdemoerassen langs de Taag (bv. bij het Mosteiro dos Jerónimos).

Natuursteen

Waar in het noorden en oosten van Portugal (bv. Porto, Guimarães, Viseu, Braga, Guarda) de lokale graniet de dominante bouwsteen is, is in het centrum (bv. Coimbra, Santarém) en zuiden (bv. Faro) vooral kalksteen gebruikt. Dat geldt ook voor Lissabon. Het historisch natuursteengebruik in Lissabon is globaal in vier perioden in te delen: twee voor en twee na de grote aardbeving van 1755 (Pereira Rebelo de Sousa Pinto, 2005). De eerste twee perioden betreffen het gebruik van kleinschalig ontgonnen Miocene kalk- en zandsteen, en later van kalkstenen uit het Krijt, gewonnen in het gebied van Ajuda, Campolide en Alcântara ten westen van de toenmalige stad.

De derde periode begint met de wederopbouw van Lissabon na de aardbeving van 1755. De Lioz wordt op grote schaal toegepast, en is inmiddels afkomstig van grotere, nieuwe groeves verder naar het westen van de stad, bij het huidige plaatsje Paço de Arcos aan de spoorlijn van Lissabon naar Cascais. Lioz uit Ajuda



AFBEELDING 5. | Transgressieve overgang binnen het Mioceen: Musgueira Kalksteen op de zanden met *Placuna miocena* in het geomonument aan de Avenida Mouzinho de Albuquerque.

en de vallei van Alcântara wordt echter ook nog steeds gebruikt. De vierde periode loopt vanaf pakweg begin 19^e tot begin 20^e eeuw. De Lioz is nog steeds de bouwsteen, maar nu vooral afkomstig van Pêro Pinheiro ten noordwesten van Lissabon. Ook natuursteen verder weg uit Portugal vindt nu zijn toepassing, zoals de kalksteen van Leiria (aan de gevel van het Rossio station), Lioz uit Runa, Jura kalksteen uit Cesareda (bij Óbidos) en verschillende “marmers” zoals die van Estremoz en Busana (bij Parede).

De Lioz uit het Boven-Krijt wordt nu nog ontgonnen in de omgeving van Pêro Pinheiro, ten noordoosten van



AFBEELDING 6. | Overzicht en detail van het geomonument aan de Rua Sampaio Bruno waar in de miocene Camades de Prazeres mariene rifafzettingen met centimetergrote bryozoakolonies bewaard zijn.





AFBEELDING 7. | Voor de Lioz karakteristieke, gedetailleerde doorsnedes van fossielen, hier aan de kolommen aan de zijkant van het Museu Militar in Lissabon.



Sintra; behalve bij deze plaats zijn/waren er groeves bij Lameiras, Maceira, Morelena en Negrais. De dichte, fossielrijke kalksteen laat zich goed polijsten en werd op grote schaal gebruikt voor de bekleding van gevels en kolommen, als plaveisel, maar ook voor beeldhouwwerken, wijwaterbekkens en fraai inlegwerk. Dat laatste is te danken aan de contrasterende kleurschakeringen. De kalksteen is veelal wit tot crèmekleurig en de rudisten en andere fossielen zijn vaak goed herkenbaar



AFBEELDING 8. | Toepassing van Lioz, kalksteen uit het Cenomaanien, aan de gevel van het Mosteiro dos Jerónimos in Belém.

(Afb. 7). Ook helder roze en rode, gele en zwarte varianten komen voor. Als gevelbekleding is hij gebruikt aan vrijwel alle grote monumenten, zoals de het Mosteiro dos Jerónimos (Afb. 8), de toren in Belém, de poort tussen de Rua Augusta en de Praça do Comércio, de kerken van Graça, Santa Clara, São Vicente da Fora, etc. Verschillend geschakeerde straattegels liggen onder andere voor het gemeentehuis en in de galerijen langs de Praça do Comércio (Afb. 9). Een hedendaags voorbeeld is de bekleding van de parkeergarage bij de Portas do Sol. Fraai inlegwerk is ook te zien in de kerken van São Roque en São Paulo, maar ook buiten Lissabon in bijvoorbeeld de kathedraal van Porto (Afb. 11). Net zoals de VOC de Nederlandse voorliefde voor Bentheimer zandsteen exporteerde naar de Oost, exporteerden de Portugezen hun Lioz in al haar toepassingen naar Brazilië. In onder meer Rio de Janeiro, Recife, Salvador en met name Bahia is de steen gebruikt (Carvalho Silva, 2007). Niet als enige Portugese natuursteen overigens: ook de Brecha da Arrábida, is, zij het op veel bescheidener schaal, naar Brazilië geëxporteerd. Dit is geen kalksteen, maar een *polymict* conglomeraat met veelkleurig grind in een rode matrix, dat in zijn eigen gebied rond Setúbal in exterieurs, ook bij gewone huizen, is toegepast. In Lissabon zelf komt de steen sporadisch als bekleding van entreehallen uit de tweede helft van de 20^e eeuw voor. Verder weg, bv. in de Algarve, komt de steen alleen in meer kostbare toepassingen voor in o.a. interieurs van kerken, bijvoorbeeld voor wijwaterbekkens.

De miocene kalksteen is ook gebruikt als bouwsteen, maar veel minder zichtbaar in de huidige stad. Eenmaal naast de Lioz gezien, is hij makkelijk te herkennen: veel minder compact, korrelig, vaak macroporeus en met oesterrijke blokken of lagen, soms heel fijn krijtachtig of met kris-krasgelaagdheden. Deze kalksteen komt voor aan de oudste gebouwen, zoals de oude Moorse stadsmuur, de 12^e eeuwse Cerca Velha of Cerca dos Mouros. De kalksteen is ook te zien langs de trap van de Portas do Sol naar de lager gelegen delen van de Alfama wijk langs de Taag (Afb. 12), of bijvoorbeeld in de hogere delen van de romaanse noordtoren en in de zuidgevels van het schip van de kathedraal van Lissabon (Afb. 10).

De bronnen van Alfama

De oude Moorse wijk Alfama, die de aardbeving van 1755 redelijk heeft overleefd, heeft eeuwenlang geprofiteerd van de aanwezigheid van zowel warme als koude bronnen (Afb. 13). De oudste schriftelijke vermelding is die van een Arabische geograaf in de 11^e eeuw; ook in het verslag van de herovering van Lissabon op de Moren in 1147 worden zowel de warme als de koude bronnen herhaaldelijk genoemd. De volgende eeuwen is herhaaldelijk sprake van vermelding van de medicinale werking van de warme bronnen. Vanaf 1894 worden de warme bronnen uitgebaat als publieke baden (*balneários públicos*). De laatste, de Alcaçarias do Duque, sloot in 1978 (Ramalho & Lourenço 2005, 2006).





AFBEELDING 9. | Verschillend gekleurde stukken Lioz kalksteen als bestrating. Links de stoep van de Igreja da Graça, rechts in de galerijen van de Praça do Comércio.

De warme bronnen bevinden zich op het lithologisch contact tussen de Areolas da Estefânia uit het Burdigalien en de kalksteen van Entrecampos (ook wel Banco Real genoemd), in een segment dat begrensd wordt door twee noord-oost-zuidwest lopende breuken. De belangrijkste zijn de Alcaçarias de D. Clara (24–28°C), de Alcaçarias do Baptista (32–34°C), de Banhos do Doutor (27°C) en de Alcaçarias do Duque (30–34°C). Het water is alkalisch (Tabel 2). De koude bronnen bevinden zich wat meer naar de Taag toe, met als voornaamste die van de Bica do Jardim do Tobacco, Largo de Fundação en de Bica do Sapato. Een andere koude bron, de Fonte das Ratas, vlak bij de Alcaçarias do Duque, was vooral in jaren '60 populair; er werden soms wel 360 flessen per uur getapt (Ramalho & Lourenço 2005, 2006).

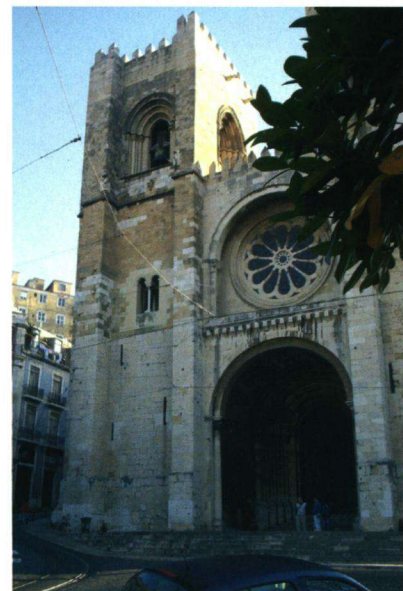
De aardbeving van 1755

Allerheiligen 1755 was een slechte dag voor de stad Lissabon, en niet alleen voor Lissabon. Om ongeveer 9.30 à 9.40 uur in de morgen trof een krachtige aardbeving de stad. Het epicentrum van de aardbeving met een magnitude van naar schatting 8,7 op de schaal van Richter, lag ongeveer 100 km ten zuidwesten van Cabo de S. Vicente langs de Marquês de Pombal breuk in de Atlantische Oceaan (Abe, 1989; Johnston, 1996). Een grote tsunami volgde de aardbeving en rolde de monding van de Taag in. Hierdoor werd de door aardbeving al vernietigde stad nog verder verwoest. De schade bleef niet beperkt tot Lissabon, de meeste plaatsen aan de Portugese zuidkust werden ernstig beschadigd. Het stratenplan van Vila Real de Santo António aan de zuidkust nabij de Spaanse grens is niet voor niets net zo rechthoekig als dat van de benedenwijk Baixa in Lissabon: het werd ook na de aardbeving en tsunami herbouwd met nieuwe inzichten voor stadsplanning. De aardbeving werd tot ver in Europa gevoeld, en de tsunami zorgde in Nederland voor een ongewoon waterpeil zowel aan de kust als in het binnenland. Zo schrijft ene meneer De Hondt uit Den Haag zes dagen na de aardbeving, op 7 november 1755, aan de Royal Society in Londen: *“Wij hadden, op zaterdagmorgen j.l., om 11 uur, een verschijnsel dat iedereen verbaasde. Bij absoluut kalm weer was er opeens een zeer heftige beweging van het water, dat de schepen tegen elkaar geslagen werden en de touwen waarmee ze vast zaten, braken. Het gebeurde op hetzelfde moment in Den Haag, Leiden, Haarlem, Amsterdam, Gouda, Utrecht, Rotterdam en 's-Hertogenbosch geen beweging van de bodem werd gevoeld”* (Robertson et al., 1755)

De Leidse hoogleraar filosofie Allamond, zelf *fellow* van de Royal Society, schrijft een kleine maand later, 3 december 1755, ook over wat toen inmiddels herkend werd als de gevolgen van een aardbeving en de daaraan gerelateerde vloedgolf: *“Wat ik heb kunnen verzamelen aan waarnemingen hier die met zekerheid gerelateerd zijn aan de aardbeving van 1 november, is niet veel. Tussen half elf en elf uur in de morgen rees het water in sommige grachten in deze stad opeens tegen de kade aan de zuidzijde. Het trok zich daarna terug in de gracht en maakte verschillende zeer duidelijke*

Tabel 2. Het mineraalwater van de Alcaçarias do Duque (mg/l) (Carvalho, 1952).

pH	7.51
Cl ⁻	141.40
HCO ₃ ²⁻	251.30
SO ₄ ²⁻	71.20
NO ₃ ⁻	0.05
Na ⁺	123.70
K ⁺	8.60
Mg ²⁺	15.80
Ca ²⁺	52.80
Fe ³⁺	1.52



AFBEELDING 10. | Deel van de westbouw van de kathedraal van Lissabon, met aan de toren tussen de crêmekleurige Lioz ter hoogte van de bovenzijde van het rozetraam de meer okergele miocene kalksteen.





AFBEELDING 11. | Voorbeeld van inlegwerk met verschillende kleurshakeringen Lioz. Links een bouwfragment in de pandhof van de kathedraal van Lissabon, rechts een altaar in de kathedraal van Porto.



golven, zodat de schepen heftig schommelden. Niemand kon mij informeren over de hoogte waartoe de wateren stegen, behalve een molenaar die leeft tussen Delft en Den Haag. Nadat hij deze uitzonderlijke beweging van het water in een kanaal gezien had, rende hij naar huis voor een stok, die hij in het water stak; hij zag het voor tenminste een voet langs de stok omhoog stijgen, hoewel de lucht rustig was. Dezelfde beweging werd hier waargenomen in de waterbronnen van twee brouwerijen en in die van drie brouwerijen in Haarlem. De objecten van de RK kerk in Rotterdam, die aan lange ijzeren stangen hangen, maakten verschillende heen-en-weergaande bewegingen. Een handelaar in Den Haag hoorde tot zijn verbazing het klingelende geluid van alle kandelaars die in zijn winkel hingen... De berichten uit Noorwegen laten ons weten dat daar vergelijkbare waarnemingen gedaan zijn op vrijwel hetzelfde moment.” (Robertson et al., 1755).



AFBEELDING 12. | Deel van het opgaand muurwerk van de oude Moorse stadsmuur, opgetrokken in de lokale miocene kalksteen, met blokken rijk aan oesters en schelpfossielen.

De meeste schattingen direct na de aardbeving hielden het dodental van de aardbeving en daaropvolgende tsunami op ruwweg tienduizend mensen in Lissabon zelf, al circuleren er aanzienlijk hogere (recentere) getallen. Van de circa 33.000 huizen die de stad voor de aardbeving telde, gingen er ongeveer 13.000 verloren (Pereira de Sousa, 1931). Na de aardbeving moest de stad weer opgebouwd worden. De meeste schade was aangericht in het laaggelegen gebied tussen de heuvels dat nu bekend is als de Baixa Pombalina, kortweg Baixa. Het gebied is niet alleen laag gelegen, dus makkelijk toegankelijk voor het water, maar ook gebouwd op zachte sedimenten. In prehistorische tijden liep hier nog een korte zijrivier van de Taag. Na discussies en twijfel werd toch besloten de stad op zijn oude plaats te herbouwen. Onder regie van de toenmalige eerste minister, Sebastião José de Carvalho e Melo, beter bekend als de Markies van Pombal, en naar plan van Manuel de Maia, werd een nieuwe benedenwijk met een rechthoekig stratenplan gebouwd.

Intussen waren er al verschillende maatregelen genomen om de permanente vlucht van bewoners en de bouw van nieuwe huizen elders te belemmeren, zowel in beperkende (straffen van speculanten, bouwverboden) als vertrouwenwekkende zin. Tot de laatste behoorde ook de import van geprefabriceerde houten huizen uit Nederland, die zeer populair werden bij de bovenklasse (Pais, 2009). Men probeerde het in algemene zin beter te doen dan daarvoor: behalve het systematische stratenplan en de seriematige bouw om de wederopbouw zo snel mogelijk te laten verlopen, introduceerde men de zogeheten *gaiola*, een driedimensionaal houten frame, dat werd opgevuld met metselwerk. Het werd toegepast op de verdiepingen, ingevuld met metselwerk. Op de begane grond gebruikte men boogconstructies van metselwerk. Net als het stratenplan werd ook de *gaiola* elders toegepast (wederom bv. Vila Real de Santo António). Het concept was ontleend aan de Portugese scheepsbouw. Of het ook daadwerkelijk voldoet, is eigenlijk nooit echt bewezen. De grote aardbevingen sedert dien, in 1856, 1909 en 1969, respectievelijk 6,7 en 7,5 op de schaal van Richter, richtten weinig of geen schade aan, ook niet aan bouwwerken zonder *gaiola* (Cardoso et al., 2003).

Tenslotte

Waar elders in Europa de geologie van de stad vaak beperkt is tot natuursteen in bouwwerken, is het palet in Lissabon breder; er zijn verschillende “echte” geologische ontsluitingen beschermd, en de stad toont hoe zij ontstaan is in interactie met de geologie, zowel gewenst (de bronnen) als ongewenst (de aardbeving van 1755 en de architectonische en stedenbouwkundige antwoorden daarop). Ideaal voor een beknopte spoedcursus toegepaste geologie.



AFBEELDING 13. | Twee voorbeelden van publieke bronnen in Alfama, links de Chafariz de El-Rei, verbouwd in 1747-1755, maar waarvan de eerste schriftelijke vermelding uit 1487 dateert; rechts de Chafariz de Dentro (ook wel Fonte of Chafariz de Alfama) met als oudste verwijzing 1285.

LITERATUUR

Antunes, M.T., Legoinha, P., Nascimento, A. & Pais, J., 1996. The evolution of the lower Tagus basin (Lisbon and Sétubal peninsula, Portugal) from the lower to early Miocene. *Géologie de la France* (4): pp. 59-77.

Antunes, M.T. & Pais, J., 1993. The Neogene of Portugal. *Ciências de Terra (UNL)* 12: pp. 7-22.

Cardoso, R., Lopes, M., Bento, R. & Ayala, D. d', 2003. Historic, braced frame timber buildings with masonry infill ('Pombalino' buildings). Op: www.world-housing.net (report 92).

Carvalho, H., 1952. Relatório de análise de água de Alcaçarias do Duque. Op: e-geo.ineti.pt/bds/recursos_geotermicos/Ocorrencias/43_duque.htm.

Carvalho Silva, Z., 2007. O lioz Português – De lastro navio a arte na Bahia. *Afrontamento*, Porto, 156 pp.

Gemeente Lissabon, 2010. Revisão plano Director Municipal de Lisboa. Componente geológica – caracterização. 17 pp.

Jesus, A. de & Zbyszewski, G., 1952. Contribution à l'étude du 'Complexe basaltique' de Lisbonne. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 33: pp. 185-220

Johnston, A.C., 1996. Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions. III. Madrid 1811-1812, Charleston 1886 and Lisbon 1755. *Geophysical Journal International* 126: 314-344.

Matos Alves, C.A., Rodrigues, B., Serralhero, A. & Faria, A.P., 1980. O complexo basáltico de Lisboa. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 66: 111-134.

Pais, red., 2009. Lisbon before and after the 1755 earthquake. Effects on the urban and building technologies evolution - Guidebook for the field trip. UNESCO-RELEMR Workshop on Seismicity and Earthquake Engineering in the Extended Mediterranean Region, Lissabon, 63 pp.

Pereira de Sousa, F., 1931. O terremoto de 1º novembro de 1755. Lissabon, 4 delen.

Pereira Rebelo de Sousa Pinto, M.J., 2005. Levantamento cartográfico de locais de pedreiras no Concelho de Lisboa. Câmara Municipal de Lisboa, Lissabon, Coleção de Estudos Urbanos 12, 162 pp.

Ramalho, E.C. & Lourenço, M.C., 2005. As águas de Alfama – memórias do passado da cidade de Lisboa. *Revista da APRH* 26: pp. 1-112.

Ramalho, E.C. & Lourenço, M.C., 2006. As Águas de Alfama como património hidrogeológico de Lisboa. In: VII Congresso Nacional de Geologia, artigo 39, 4 pp.

Ramalho, M.M., 2010. Cem milhões de anos da história de Lisboa. LNEG / Museo Geológico de Portugal, Lissabon, 32 pp.

Robertson, J. et al., 1755. An extraordinary and surprising agitation of the waters. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 49: pp. 351-398.

