

Turkije kent de sterkste en gevaarlijkste aardbevingen van het hele Middellandse-Zeegebied. De aardbevingen vinden plaats in een smalle zone ten zuiden van de Zwarte Zee. In de afgelopen decennia zijn de bevingen steeds dichterbij Europa komen liggen. Wanneer wordt Istanbul getroffen door een catastrofale aardbeving?

In de nacht van 16 op 17 augustus 1999 werd tussen Bolu en Istanbul een gebied ter grootte van Nederland getroffen door een zware aardbeving. De beving vond plaats om 3 uur 's ochtends lokale tijd en verraste veel inwoners in hun slaap. In het gebied woont bijna een kwart van de Turkse bevolking, en het aantal slachtoffers was dan ook groot: 17.000 doden en ruim 43.000 gewonden. Bij de breuklijn waarlangs de beving plaatsvond werd een gemiddelde verplaatsing van zo'n 4,5 m horizontaal en 4,4 m verticaal gemeten over een afstand van 120 km. Het epicentrum lag in Gölcük, 90 km ten oosten van Istanbul. De beving had een sterkte van 7,4 op de schaal van Richter. De stad Izmit, op 30 km van het epicentrum, werd het zwaarst getroffen, maar ook voor Bursa en Istanbul waren de gevolgen zeer ernstig. Ruim 120.000 gebouwen werden verwoest of zwaar beschadigd en 500.000 mensen raakten dakloos. De totale schade werd geschat op 9 tot 13 miljard dollar. Het was de meest verwoestende aardbeving in Turkije van de laatste zestig jaar.



# Wanneer komt de catastrofale aardbeving in Istanbul?

## Kracht en intensiteit

Om de sterkte en de gevolgen van een aardbeving uit te drukken gebruiken we de *magnitudeschaal* van Richter en de *intensiteitschaal* van Mercalli. De eerste is een maat voor de kracht van een aardbeving zelf en wordt uitgedrukt in een getal van 1 tot 10. De schaal van Mercalli is gebaseerd op de gevolgen aan het aardoppervlak (vooral de schade aan gebouwen) en loopt van I tot XII.

De *magnitude* staat voor de kracht van de beving en is daarmee onafhankelijk van de plaats op aarde waar deze wordt bepaald. De *intensiteit* van een beving is wel afhankelijk van de plaats van waarneming. Zo heeft een sterke aardbeving op grote diepte

een relatief geringe intensiteit aan het aardoppervlak. Anderzijds kan een zwakke aardbeving een hoge intensiteit bereiken wanneer deze op geringe diepte plaatsvindt.

De intensiteit hangt af van de sterkte van de beving, de afstand tot en de diepte van de aardbevingshaard (bij diepe aardbevingen meer dan 300 km onder het aardoppervlak, bij ondiepe minder dan 70 km) en de terrein- en bodemgesteldheid. De schade aan het aardoppervlak wordt niet alleen bepaald door de intensiteit van de aardbeving, maar ook door de manier van bouwen.

Drie maanden later, op 12 november, deed zich 130 km oostwaarts een tweede, bijna even sterke aardbeving voor (sterkte 7,1) in het minder dichtbevolkte gebied rondom Düzce en Cevizlik, met 850 doden en 5000 gewonden. Beide bevingen vonden plaats langs de Noord-Anatolische breuklijn.

Ook na 1999 hebben zich sterke aardbevingen voorgedaan, niet alleen langs de Noord-Anatolische breuklijn, maar ook elders in het land. Zo werden Isparta (Midden-Anatolië) in 2002 en Bingöl (Oost-Anatolië) in 2003 door middelzware aardbevingen getroffen (sterkte respectievelijk 6,2 en 6,4). Op 1 juli 2004 was er een beving vlak bij de berg Ararat in Oost-Anatolië met een sterkte van 5,2. Turkije behoort met Italië en Griekenland tot de landen van het Middellandse-Zeegebied waar de meeste aardbevingen plaatsvinden. De meeste doen zich voor in Griekenland, maar dat zijn vooral diepe bevingen die relatief weinig schade aanrichten (kader Kracht en intensiteit). In Turkije komen veel ondiepe en daardoor gevaarlijke bevingen voor (figuur 1).



FOTO: HOLLANDE HOOGTE

Het epicentrum van de zware aardbeving die Turkije in augustus 1999 trof lag in Gölcük, zo'n 100 kilometer ten oosten van Istanbul.

### **Als een wig duwt de Arabische plaat de Anatolische plaat waarop Turkije ligt naar Europa.**

Turkije ligt in een seismisch zeer actief deel van de alpiene gebergtegordel. Dat hier veel aardbevingen voorkomen is een gevolg van de platentektoniek. Turkije ligt in een gebied waar vier aardkorstplaten tegen elkaar botsen of langs elkaar schuiven (figuur 2). Het grootste deel van Turkije ligt op de Anatolische plaat, die ligt ingeklemd tussen een aantal grotere. In het noorden grenst de Anatolische plaat aan de grote, relatief stabiele Euraziatische plaat, in het zuiden aan de Afrikaanse plaat en in het zuidoosten aan de Arabische plaat. Deze laatste is een afsplitsing van de Afrikaanse plaat (met de Rode Zee en Jordaanslenk als scheiding) en beweegt zich sinds het Laat-Tertiair (zo'n 20 miljoen jaar geleden) in de noordelijke richting. Als een wig duwt de Arabische plaat de Anatolische plaat naar het westen.

Veertig procent van Turkije heeft te kampen met verwoestende aardbevingen. De sterkste waren die van Ganos bij de Zee van Marmara in 1912 en Erzincan in Noordoost-Anatolië in 1939. Met een sterkte van bijna 8 behoren ze wereldwijd tot de 25 zwaarste aardbevingen van de 20ste eeuw. Vrijwel alle sterke aardbevingen in Turkije doen zich voor in een smalle zone ten zuiden van de Zwarte Zee langs de Noord-Anatolische breuklijn. De meeste epicentra liggen ondiep, tussen 10 tot 30 km. In het zuidwesten, bij de Egeïsche Zee, komen af en toe diepere aardbevingen voor. Catastrofale aardbevingen vinden gemiddeld om de 60 tot 80 jaar plaats, al lijkt het erop dat in de afgelopen eeuw de tijd tussen dergelijke bevingen korter is geworden. Hoe komt dat en zijn er verwoestende aardbevingen in en rond Istanbul te verwachten?

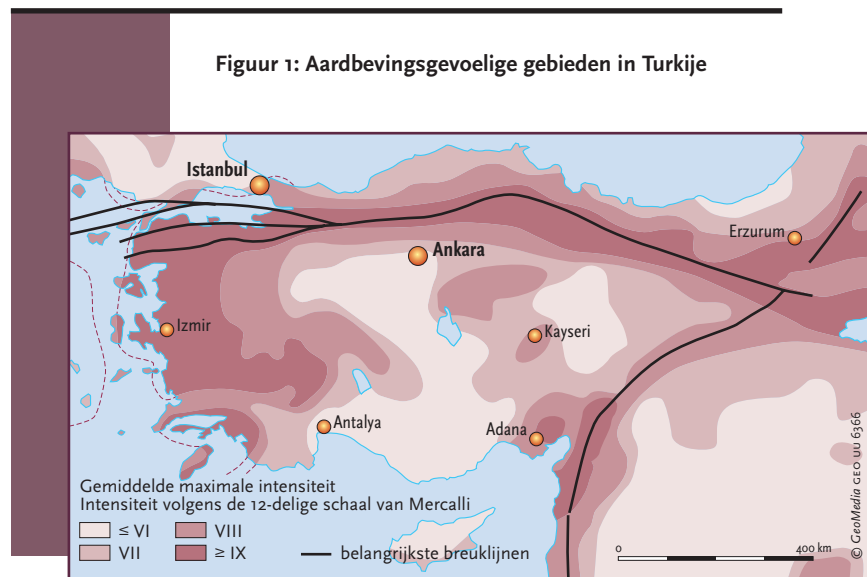
#### **Platentektoniek**

Thracië en Anatolië – respectievelijk het Europese en Aziatische deel van Turkije – liggen in de alpiene gebergtegordel van Eurazië. Die ligging verklaart echter niet de vele en vaak sterke aardbevingen, want dan zouden bijvoorbeeld de Franse en Zwitserse Alpen ook vaak getroffen worden door aardbevingen.

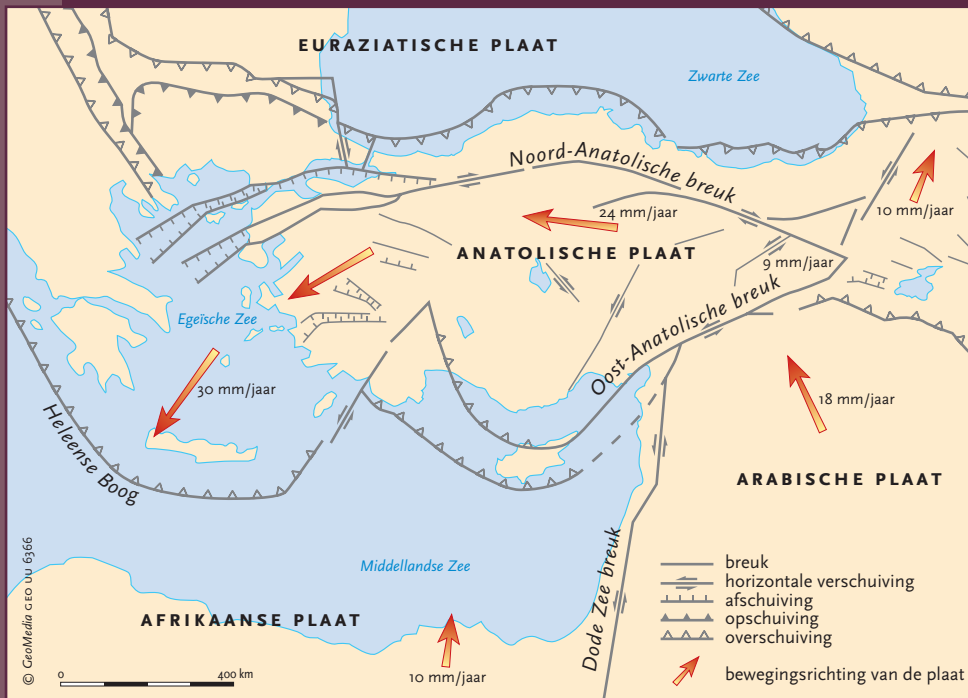
**Vaker dan Italië en Griekenland wordt Turkije getroffen door ondiepe, gevaarlijke aardbevingen.**

Dat kan gemakkelijk omdat de Anatolische plaat daar, in tegenstelling tot het noorden waar zich de grote Euraziatische plaat bevindt, weinig weerstand ondervindt. Daardoor schuift de Anatolische plaat al zo'n 5 miljoen jaar op naar het westen langs de Noord-Anatolische breuklijn. Dat gebeurt met een snelheid van 2,4 cm per jaar. Hierdoor hopen zich spanningen op in de aardkorst die zich kunnen ontladen in verschuivingen langs de Noord-Anatolische breuklijn en dan aardbevingen veroorzaken.

**Figuur 1: Aardbevingsgevoelige gebieden in Turkije**



Figuur 2: Tektoniek oostelijke Middellandse-Zeegebied

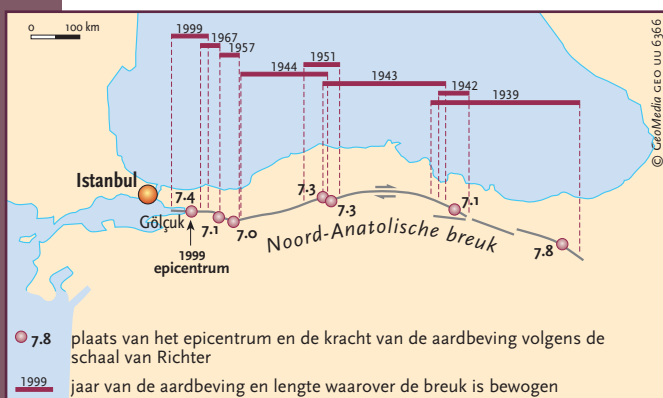


van de zondvloed en vermoeden op de bodem van de Zwarte Zee nog nederzettingen die toen overspoeld zijn.

**Noord-Anatolische breuk**

De Noord-Anatolische breuk is een van de actiefste ter wereld. Sinds 1939 hebben hierlangs dertien zware aardbevingen plaatsgevonden

Figuur 3: Aardbevingen langs de Noord-Anatolische breuk



over een afstand van 1000 km. Bij de vier aardbevingen in het oosten van Turkije (in de omgeving van Erzurum) lijkt er geen sprake te zijn van een bepaalde opeenvolging, maar bij de aardbevingen ten westen van Erzurum is dat wel zo. Het begon in 1939 in Erzurum met een aardbeving met een sterkte van 7,8, waarna zich in de richting van Europa zeven opeenvolgende aardbevingen voordeden door bewegingen langs de breuklijn (figuur 3).

Seismologen spreken hierbij van een *progressive failure* (letterlijk 'voortschrijdende bezwijking'). Als de spanning in de aardkorst oploopt doordat platen opschuiven, breekt de aardkorst als de spanning te groot wordt. Omdat breuken (gelukkig) niet oneindig rechtdoor lopen, beweegt er slechts een stukje. Op de aangrenzende segmenten komt dan extra te spanning staan. Vervolgens is het een kwestie van wachten tot ook daar een aardbeving plaatsvindt. Aangezien de Anatolische plaat zich westwaarts beweegt waren nieuwe bevingen ook in die richting te verwachten.

Dat gebeurde inderdaad in de aardbevingenreeks na 1939. Sommige lieten 22 jaar op zich wachten, andere, zoals de tweede in 1999, minder dan een jaar. De tweede beving van 1999 kwam voor de seismologen niet als een verrassing. Het gebied lag namelijk in een *seismic gap*, een seismisch rustig deel van de breuk, waar de spanning in de afgelopen driehonderd jaar sterk was toegenomen. Het moest er dus een keer van komen.

**Dreiging**

Op basis van de theorie van de progressive failures en seismic gaps ligt het volgende segment dat zou kunnen bezwijken ten westen van Izmit, in de Zee van Marmara. In de Golf van Izmit, de oostelijke uitstulping van de Zee van Marmara, splitst de Noord-Anatolische breuk zich in twee takken, met in het zuiden de (gesegmenteerde) breuk van Bursa en in het noorden de grote doorlopende Marmara-breuk waaromheen zich een netwerk van kleine breuken bevindt. De metropool Istanbul met z'n 11 miljoen inwoners wordt vooral bedreigd door de Marmara-breuk.

Deze breuklijn, die evenwijdig aan de Zwarte Zee van oost naar west loopt, bestaat uit een aantal segmenten. Zowel in het oosten als het westen vertakt de breukzone zich. In het westen is dat het geval bij Golf van Izmit waar de breukzone vervolgens door de Zee van Marmara loopt en ten slotte aansluit op de seismisch actieve zone in de Egeïsche Zee en Griekenland.

De bewegingen langs de Noord-Anatolische breuk en in de Zee van Marmara veroorzaakten in de 20ste eeuw ongeveer zeshonderd aardbevingen, waarvan veertig zeer heftige. Mogelijk kon zo'n 7500 jaar geleden na een enorme beving het water van de Zee van Marmara door de Bosporus naar de Zwarte Zee stromen. Sommigen koppelen dit aan de bijbelse beschrijvingen

**Mogelijk kon zo'n 7500 jaar geleden na een enorme aardbeving water uit de Zee van Marmara door de Bosporus naar de Zwarte Zee stromen.**

Het gebied in en rondom de Zee van Marmara is niet alleen een dichtbevolkt en snelgroeiend deel van Turkije, het is ook een van de tektonisch actiefste gebieden. Vanaf de eerste eeuw na Christus hebben er op de bodem van de Zee van Marmara meer dan vijftig sterke aardbevingen plaatsgevonden, gemiddeld zo'n twee per eeuw. Het aantal sterke aardbevingen is in de laatste drie toegenomen tot zes per eeuw. In de 20ste eeuw zijn er zelfs negen geregistreerd. De meeste daarvan hadden zware schade tot gevolg (groter of gelijk aan VIII op de schaal van Mercalli) in de omliggende steden. Istanbul liep in die periode vijf keer zware schade op. Er lijkt in het gebied dus sprake te zijn van een duidelijke toename van de sterke aardbevingen in de laatste eeuwen.

Wat er in de toekomst gaat gebeuren in de Zee van Marmara hangt vooral af van de aard van de breuken. De precieze ligging en het seismisch gedrag van de breuken op de bodem van de zee vormen een onderwerp van voortdurende discussie onder Turkse seismologen. Als de beweging langs lange, rechte segmenten in de breuk plaatsvindt, kunnen er zeer sterke aardbevingen ontstaan. Dat was in Istanbul het geval in 1509 en 1766, toen grote delen van de stad werden verwoest. Als de beweging plaatsvindt langs breuksegmenten, zijn de bevingen minder sterk, maar ook die kunnen grote gevolgen hebben.

De vier segmenten die bewogen in augustus 1999 betroffen slechts 60 km van de 230 km lange breuklijn. Dat betekent dus dat er spanning opgebouwd wordt in de resterende 170 km. Seismologen hebben inmiddels ten zuiden van Istanbul in de Zee van Marmara een 50 km lange seismic gap in de Marmara-breuk aangetroffen. Een (zware) aardbeving komt hier dus niet als een verrassing.

De gevolgen van een aardbeving voor Istanbul zullen vooral afhangen van de ligging van het epicentrum ten opzichte van de stad en de sterkte van de beving. Een zeer zware aardbeving met een sterkte van 8 wordt niet uitgesloten. Er kunnen daardoor wel 100.000 dodelijke slachtoffers vallen en dat aantal zal in de komende jaren alleen maar toenemen mede door de bevolkingstoename in Istanbul.

Het aantal slachtoffers en de omvang van de schade hangen niet alleen af van de bebouwingsdichtheid, maar ook van de stabiliteit van de gebouwen. Houten huizen, die hier (gelukkig) nog veel voorkomen, zijn veel minder gevoelig voor aardbevingen dan de vele in de haast opgetrokken bouwsels in de gecekondus op de heuvels van de stad. Ook de vele flats die vaak illegaal en niet volgens de bouwvoorschriften zijn neergezet, kunnen makkelijk instorten. De laatste veroorzaakten in 1999 veel slachtoffers. Veel Byzantijnse en Ottoomaanse gebouwen in Istanbul hebben tot nu toe meer te lijden gehad van branden en militaire verwoestingen dan van aardbevingen. Of dat komt omdat ze minder kwetsbaar zijn of omdat ze gunstig lagen, moet blijken bij toekomstige aardbevingen. ■

## *Istanbul kan ieder moment verrast worden door een catastrofale aardbeving.*

### Bronnen

- Bolt, B.A. 2004. Earthquakes. Freeman, New York.
- Gore, R. 2000. Earthquake in Turkey. National Geographic 198, 1: 36-51.
- Gore, R. 2002. Istanbul. Breuk in de stad. National Geographic NL, oktober 2002: 126-147.
- Jong, H. de 2000. Turkije, land van bergen en aardbevingen. Geografie Educatief 1, 4: 12-15.
- KNGMG 2004. Nieuwsbrief: special over het Nederlands Aardwetenschappelijk Congres, NAC-7 in Veldhoven, 5-6 april 2004. Nieuwsbrief KNGMC 29, 4: 1-3.
- KNMI: [www.knmi.nl/onderzk/seismo/](http://www.knmi.nl/onderzk/seismo/)
- Nafi Toksoz, M. (ed.) 2002. The Izmit, Turkey, Earthquake of 17 August. Bulletin of the Seismological Society of America 92, 1: 1-520.
- Struck, E. 1999. Das Erdbeben in der Türkei am 17. August 1999 – ein Erfahrungsbericht. Geographische Rundschau 51, 11: 643-646.
- Tarbuck, E.J. & F.K.Lutgens 2004. Earth. An Introduction to Physical Geology. Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River.
- TNO-NITG: [www.geofoon.nl](http://www.geofoon.nl).
- Tschochner, R. 1999. Geologische Ursachen des Erdbebens von Izmit. Geografische Rundschau 51, 10: 578.
- US Geological Survey: <http://neic.usgs.gov/neis/world/turkey>.

### Advertentie



INSTITUUT VOOR  
INTERDISCIPLINAIRE STUDIES

## **VAN NATUURLANDSCHAP TOT RISICOMAATSCHAPPIJ** *Aardrijkskunde in het Groot*

**Van 13 januari tot 7 april 2005 verzorgt het Instituut voor Interdisciplinaire Studies van de Universiteit van Amsterdam opnieuw de collegecyclus 'Van natuurlandschap tot risicomaatschappij - Aardrijkskunde in het Groot'.**

In twaalf colleges geven beoefenaars van de mens- en natuurwetenschappen presentaties over de rol van de mens in het 'systeem aarde'.

In de eerste serie colleges wordt beschreven hoe de mens in de loop van de geschiedenis telkens heeft geprobeerd de natuur naar zijn hand te zetten; onder meer 'het ontstaan van Nederland' en 'de wereld van de modellers'. De tweede serie colleges richt zich op de risico's die hieruit voortvloeien en op de beleidsuitdagingen waarvoor men zich daarom gesteld ziet; onder meer aardolieschaarste, Verdrag van Kyoto en 'waterconflicten'.

Met bijdragen van: Ton Dietz (UvA), Guus Borger (UvA), Ben de Pater (UU), Rik Leemans (WUR), Herman van der Wusten (UvA), John van Boxel (UvA), Erik Cammeraat (UvA), Coby van der Linde (Clingendael), Henk Donkers (RU), Catrinus Jepma (RUG) (gevr) en Marijke van Schendelen (UvA).

De colleges vinden plaats op donderdagavond van 19:00 tot 21:00 uur in de Roetersstraat in Amsterdam.

**Voor nadere informatie en aanmelden kijk op**  
**[www.iis.uva.nl](http://www.iis.uva.nl)**