De bewegende aarde

*Hoofdstuk 1: basistheorie*

Soorten gesteenten:

1. Stollingsgesteente = vaste vorm door stolling vloeibaar materiaal (lava, magma)

- *Vulkanisch gesteente* = stolt vlak aan oppervlakte

Koelt snel af (weinig tijd voor kristalvorming)

v.b.: basalt (zeebodem waar koud water de warmte snel wegvoert)

**Kristal** = homogene vaste stof, begrensd door platte vlakken, regelmatig komt door rangschikking atomen)

- *Dieptegesteente* = stolt dieper onder het aardoppervlak

Langzame afkoeling diep onder aardoppervlak, voldoende tijd voor kristalvorming, maar vaak niet voldoende ruimte

v.b.: graniet (kwarts = doorzichtig, veldspaat = roze, biotiet = zwart)

Kenmerken:

- dichtheid kan heel klein zijn (pluimsteen), of groot (basalt)

- Mooie kristallen (dieptegesteente)

- Metaalerts

- Glas, glasachtig uiterlijk (zoals vulkanisch glas, zo snel gestold, geen kristalvorming)

2. Sedimentair gesteente = gevormd na transport en afzetting (sedimentatie) van los materiaal (ontstaan door verwering en daarna erosie).

[Transport en afzetting] o.i.v. wind (eolisch), zee (marien), rivieren (fluviatiel) of ijs (glaciaal)

[Materiaal] bijvoorbeeld zand komt onder steeds nieuwe lagen afzettingen, verhard en door druk ontstaat sedimentair gesteente

v.b.: zandsteen

Kenmerken:

- Afzonderlijke korrels (zandsteen)

- Ruw

- Kan fossielen bevatten

- Dof uiterlijk

- Kan gelaagd zijn

- Kan kalk bevatten

met zoutzuur (HCl) kan je kalksteen aantonen, bruisen

Voorbeelden sedimentaire gesteente: zandsteen, kalksteen, schalie (kleisteen) en bruinkool

3. Metamorf gesteente = Verandering stollings- of sedimentair gesteente o.i.v. hoge druk of temp. Het materiaal wordt heel compact, er kan daarnaast ook nieuwe gelaagdheid ontstaan (door druk). Door temp en druk ontstaan er nieuwe mineralen, geeft gesteente mooie glans.

Diep onder aardoppervlak, want hoge druk en temperatuur.

**Contactmetamorfose** = in nabijheid van magma onder oppervlak metamorfose (hoge temp)

Kenmerken:

- Typische glans

- Typische gelaagdheid

- Afzonderlijke korrels niet meer te herkennen

Voorbeelden van metamorf gesteente: marmer (uit kalksteen), leisteen (uit klei), kwartsiet (uit zandsteen) en granietgneis (uit graniet)

Koolstof

Komt veel voor in natuur.

Bekende koolstof houdende gesteentes: Bruinkool en Steenkool

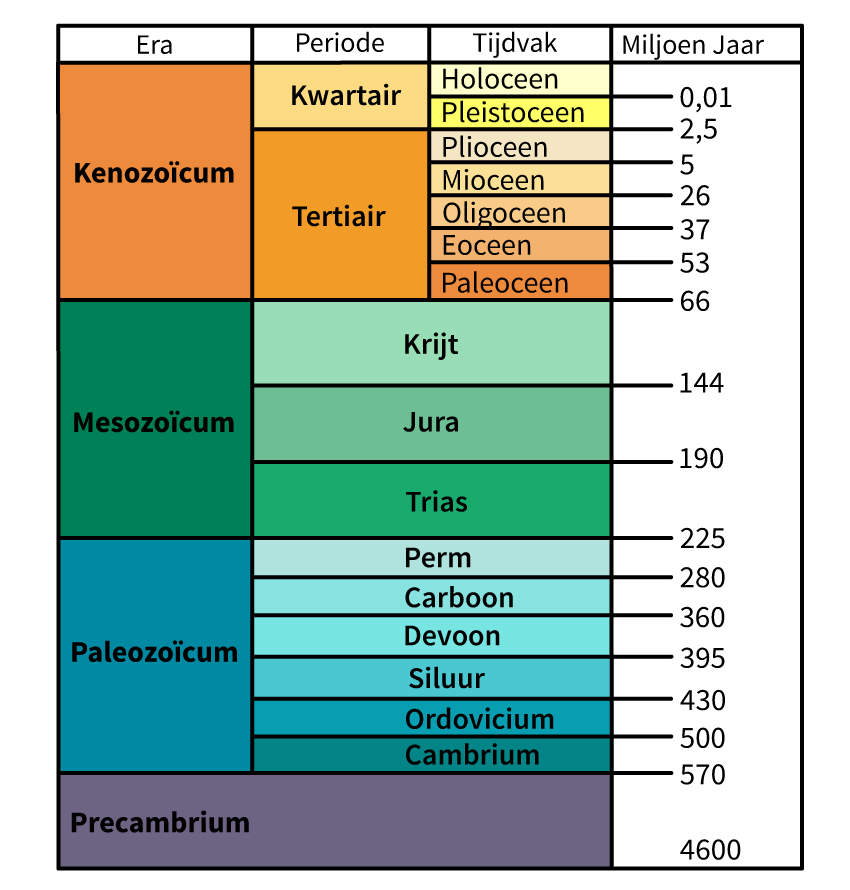
- Onder hoge druk en temp uit organisch materiaal(plantenresten) gevormd

Bekende koolstof houdende mineralen: Diamant en Grafiet

- Structuren verschillen sterk

- Diamant onder druk met factor 109 Pascal gevormd, elk koolstofatoom is in een 3dimentionaal rooster verbonden met 4 andere koolstofatomen, metastabiel, energie om faseovergang plaats te laten vinden heel groot

- Grafiet: alle atomen in 6-hoekige ringen als plakjes met daartussen zwakke bindingen (vanderwaals), lage druk ontstaat grafiet ipv diamant, stabiel



Dateren van gesteenten

Precambrium = ontstaan van het leven

Phanerozoïcum = de periode van het leven (Paleozoïcum, Mesozoïcum, Cenozoïcum)

Carboon = steenkoolafzetting in Nederland

Perm = zoutafzetting in Nederland

Mesozoïcum = periode van de ammonieten en de dinosaurussen

Cenozoïcum = periode van bloei van zoogdieren  
 Tertiair = Supercontinent Pangea uit elkaar

Kwartair = veel afwisselingen van glacialen (koude perioden) en interglacialen (warme perioden)

Pleistoceen = ontstaan mens

Holoceen = huidige interglaciaal

Relatieve dateringen

= de volgorde waarin gebeurtenissen hebben plaatsgevonden

Superpositie: de diepst liggende gesteentelaag is de oudste

Fossielen: resten van planten en dieren in gesteenten; fossielen zijn kenmerkend voor periodes

Paleomagnetische omkeringen

Astronomische tijdschaal: kleine veranderingen in de baan van aarde om de zon

Absolute dateringen

= getal aan dateringen geven m.b.v. radioactiviteit

Instabiele isotopen vervallen na kortere of langere tijd.

In het lab wordt de halveringstijd (=halfwaardetijd) bepaald.

Niet beïnvloed door: hoeveelheid begin materiaal, temp, druk, chemie of andere processen.

Als je de halveringstijd van een isotoop kent, en kan meten hoeveel er van het nieuwe isotoop is gevormd, kan je een gesteente absoluut dateren.

*Hoofdstuk 2: Plaattektoniek*

Voordat de theorie van plaattektoniek was, zijn er wetenschappers geweest die dachten dat er alleen verticale bewegingen waren. Het hoogte verschil tussen de oceanen en continenten zou namelijk al lang door verwering en erosie gelijk zijn geworden, maar door verticale bewegingen zou het hoogteverschil in stand blijven. De lichtere gesteenten van continenten zouden steeds hoger drijven, terwijl de zwaardere van de oceaanbodems zouden zinken.

Theorie van de continentenverschuiving

Supercontinent Pangea, uit elkaar gegaan in het Tertiair.

Aanwijzingen voor horizontale en verticale bewegingen:

- Voorkomen van eenzelfde soort fossielen op verschillende continenten.

- Vindplaatsen van sporen van ijsbedekkingen op verschillende continenten. Alleen gevormd kunnen worden als deze gedeelten zich in het verleden om de pool hebben bevonden.

- Aan weerzijde van de Atlantische oceaan werd hetzelfde soort gesteente gevonden.

- De oostkust van Noord- en Zuid-Amerika past als een puzzelstukje tegen de westkust van Afrika en Europa.

Problemen met de theorie van Wegener:

- Onduidelijk hoe de platen hebben bewogen.

- Men kon geen mechanisme vinden dat sterk genoeg was om deze beweging te kunnen veroorzaken.

Magma onder het aardoppervlak dicht bij de kern is heet, het koelt dan een beetje af richting het aardoppervlak. Kouder magma gaat dan weer naar beneden, je krijgt een soort rondje wat zich de hele tijd afspeelt. Het inwendige van de aarde beweegt. Dit veroorzaakt het verschuiven van de platen.

Platen = korst (continentale korst en/of oceanische korst) + het bovenste deel van de mantel

**Drie aanvullende stappen voor de theorie van de plaattektoniek**

1. Bathymetrie van de oceaan: waar wordt materiaal gevormd - Divergent

Nieuw materiaal gevormd, maar er komt geen materiaal bij. (wet van behoud van massa)

Bathymetrie = reliëf van de oceaanbodem

Zo zijn de Mid Oceanische Ruggen (MOR) ontdekt. MOR bestaan uit vulkanen die onder water actief zijn, hier komt nieuw materiaal uit de diepte naar boven.

2. Paleomagnetisme: hoe kunnen we bewijzen dat de platen bewegen - Transform

Richting van magnetisch veld in gesteente. Nagaan hou oud materiaal is. Op zekere afstand van de MOR, aan beide zijde, is het materiaal naarmate je verder weg gaat steeds ouder.

3. Diepe troggen; plaatsen waar oceaankorst verdwijnt onder continentale korst - Convergent

Zowel ruggen in het midden van oceanen als diep troggen langs sommige continenten. In deze **subductiezones** verdwijnt oceanische korst. Na 200 miljoen jaar wordt deze korst zo zwaar en zinkt het in de mantel.

Magneetveld van de aarde

In de kern zit vloeibaar ijzer en nikkel, de kern gedraagt zich als een reusachtige magneet met een noordpool en een zuidpool. Gelijke polen stoten elkaar af en verschillende trekken elkaar aan.

Magnetische inductie B spoel= μ0 x

μ = magnetische permeabiliteit in een vacuüm

N = aantal windingen

I = stroomsterkte

L = lengte spoel

De positie van de magnetische polen laat jaarlijks een kleine variatie zien, om de tienduizend tot honderdduizend jaar draaien de polen om. Nog onbekend waarom, waarschijnlijk door de processen in de kern en mantel. De omkering (reversing) van het aardmagneetveld worden vastgelegd in het gesteente; op moment van stolling of afzetting leggen de magnetische mineralen in het materiaal de richting van het magneetveld op dat moment vast. Omkeringen dateren met bijvoorbeeld fossielen of radioactieve dateringtechnieken.

Bij MOR nieuwe oceaanbodem door de vulkanen en het paleomagnetische signaal van het gesteente. Deze nieuwe oceaanbodem bestaat uit basaltisch magma dat bij de vulkanen omhoog komt, Polariteit van aardmagneetveld wordt vast gelegd bij stolling van basalt, de wisselende polariteit zorgt voor een symmetrisch patroon van links naar rechts van de ligging van de MOR (=**seo-floor-spreading**)

In het paradigma, of de theorie, van de plaattektoniek komen de theorie va de continentverschuivingen (continental drift) en het mechanisme van het vormen en verdwijnen van de oceanische korst (seafloorspreading) samen.

**Opbouw van de aarde**

**Magma** = nog onder het aardoppervlak is. **Lava** = zodra het aan het aardoppervlak is gekomen.

Aarde is geen homogene bol maar bestaat uit verschillende lagen.

Van binnen naar buiten: binnen- en buitenkern -> dikke onder- en bovenmantel -> dunne aardkorst. De platen die bewegen zijn opgebouwd uit de korst samen met het koude bovenste deel van de bovenmantel (= **lithosfeer**, 80 tot 100 km). Lithosfeer beweegt zich op de **asthenosfeer**; visceuze/ stroperige deel van de mantel (80 tot 300 km).

Lithosfeer:

- Bestaat uit de korst samen met het koude bovenste deel van de bovenmantel

- Opgebouwd uit 9 grotere (**tektonische platen**) en ong. 20 kleinere platen

- sommige tektonische platen bestaan uit de bodem van een oceaan (**oceanische platen**)

- korst voornamelijk basalt (stollingsgesteente)

- sommige tektonische platen zijn deels oceaan en deels continent (**continentale platen**)

- korst voornamelijk granitisch materiaal en sediment (stollingsgesteente)

**Plaattektoniek** = het bewegen van de tektonische platen van de lithosfeer op de asthenosfeer

**Motor van de bewegende platen**

Door temperatuurverschil van het binnenste van de Aarde en het oppervlak gaat het stroperige materiaal van de mantel (heel langzaam) stromen (= **convectiestromen**). Mantelconvectie verloopt hetzelfde als de stroming van opgewarmd water in een beker maar dan langzamer.

**Bewegingen bij de plaatgrenzen**

Het midden van tektonische platen is relatief stabiel

1. Divergente plaatbeweging; van elkaar af

Er kunnen vulkanen en (in kleine mate bij verspringen van spreidingsrug) aardbevingen voorkomen, weinig seismische activiteit. Spreidingsbruggen vormen lange bergketens op de oceaanbodem.

Bij de MOR bewegen de platen uit elkaar en groeien ze aan doordat vanuit de mantel magma opstijgt en afkoelt (Bathymetrie).

2. Convergente plaatbeweging; naar elkaar toe - Lithosfeer verdwijnt

Aardbevingen, bergen en vulkanen kunnen voorkomen.

Subductiezones herken je aan een diepzeetrog en vaak bevindt er zich een gebergtegordel op de rand van de bovenliggende continentale plaat.

- Lichte continentale – en zware oceanische plaatgrens: **subductie**; zwaar onder licht  
 v.b.: oceanische Nazcaplaat onder de Amerikaanse plaat

- Twee continentale plaatgrenzen: gebergtevorming

v.b.: Himalaya

- Twee oceanische plaatgrenzen: de oudste (koudste en zwaarste) plaat subduceert (zinkt)

v.b.: Japan

3. Transform plaatbeweging; twee platen langs elkaar

Aardbevingen

Transformbreuken te herkennen aan verspringen van de MOR in de oceanen.

Veel breuken onder water, komen voor bij onregelmatig verspringen van de spreidingsruggen.

V.b.: San Andreas breuk in Californië.

**Bewegingen midden op de platen**

Met name de continente bevatten uitgestrekte gebieden waar op meerdere plaatsen ver van de plaatgrenzen vervormingen (= **diffuse vervormingen**) optreden.

V.b.: aardbevingsgebied in Nederland, Limburg en Oost-Afrika

M.b.v. satellieten (plaatsbepaling) kunnen we de het gedrag van deze diffuus voorkomende deformatiezones in kaart brengen.

Plaattektoniek beschrijft een groot deel van het gedrag van de buitenste schil van de aarde.

**Beschrijven van de plaatbewegingen**

Elke verschuiving om een bol kun je zien als een draaiing om een as die door het middelpunt van de bol gaat.

Rotatiepolen

De rotatiepool is geen vast punt als de beweging niet een doorlopende draaiing is.

Stap1: Vectoren (richting waarin een punt beweegt)

Stap2: Middelloodlijnen (loodrecht op het punt in het midden van een lijnstuk, als de verplaatste afstand te verwaarlozen klein is mag je het begin van de vector nemen

Stap3: Rotatiepool of draaipunt (snijpunt)

Stap4: Onbekende vector (bekend: rotatiepool, verhouding vector met afstand punt tot draaipunt, afstand gevraagde vector tot draaipunt)

Bewegen over een bol

Twee vectoren, snijpunt, dan kijken waar hij aan de andere kant van de aarde zit (evenaar 2.0 = **grootcirkel**)

*Hoofdstuk 3: Aardbevingen en Tsunami’s*

**Aardbevingsgolven**

Doordat het gesteente van de platen niet vloeibaar is, verlopen de bewegingen niet continue; opbouw van spanning. Spanning moet ontladen; schoksgewijze verplaatsing van het gesteente langs contactoppervlakken, ontstaan trillingen-> aardbeving.

**Hypocentrum** = haard = plek waar een aardbeving begint

**Epicentrum** = het punt op het aardoppervlak recht boven de haard

**Seismograaf** = apparaat waarmee permanent seismische golven worden geregistreerd

Soorten golven

1. Primaire golf = P-golf = longitudinale golven = trillingsrichting zelfde richting voortplantingsrichting

V.b.: geluidsgolven in lucht

2. Secundaire golf = S-golf = transversale golf = trillingsrichting loodrecht op voortplantingsrichting. Lagere voortplantingssnelheid van P-golf, komen later bij meetstation aan.

V.b.: trillende snaar

**Relatie tussen plaattektoniek en aardbevingen**

Sumatra beving van 26 december 2004 is één van de allerzwaarste bevingen sinds de begintijd van seismografische registraties (1900) heeft plaatsgevonden. De Indo-Australische plaat schuift onder de Euraziatische plaat (convergent en een subductiezone)

Een beweging langs een breukvlak vertelt hoe de bij de breuk aan elkaar grenzende blokken ten opzichte van elkaar bewegen en is dus altijd een uitdrukking van relatieve beweging. Als die ‘blokken’ deel uitmaken van twee lithosfeerplaten dan vormt de richting van de beweging langs het breukvlak, ook wel aardbevings-slipvektor of ‘slip’, een uitdrukking van relatieve plaatbeweging.

Slip = richting van de (relatieve) beweging langs het breukvlak

De beweging van de aardbeving is niet altijd dezelfde richting als de plaatbeweging.

**Het verloop van een aardbeving**

De spanning bouwt zich op doordat de subducerende plaat elk jaar enkele centimeters onder de bovenliggende plaat wil schuiven. Dit kan echter niet omdat de plaat wordt tegengehouden door de wrijving. Als de spanning op een zeker moment de wrijving overstijgt vindt de verplaatsing (slip) ineens plaats.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Weinig wrijving | Minder spanning opgebouwd | Relaxatie gaf een kleine relatieve verplaatsing |
| Veel wrijving | Veel spanning opgebouwd | Relaxatie gaf een grote relatieve verplaatsing |

Fase 1: een spanning bouwt op

Fase 2: platen zullen zich aan de randen vervormen

Fase 3: relaxatie (afname van spanning) d.m.v. aardbeving: door een plotselinge beweging langs de breuk bewegen de platen langs elkaar en zie je aan het aardoppervlak een groot verschil.

**De beweging van de platen bij een aardbeving**

**Strain** partitioning = Plaatbeweging niet loodrecht op het breukvlak maar de relatieve beweging wordt ontbonden in 2 componenten,1 loodrecht (=subductie) en 1 evenwijdig (=transversaal)

**Strain** = duwkracht

**De sterkte (magnitude) van een aardbeving**

Mercalli schaal

Intensiteit van de optredende trillingen, afhankelijk van de afstand tot het epicentrum en van het soort ondergrond.

Mercalli-schaal is verdeeld in 12 delen, aangegeven met Romeinse cijfers, van I tot XII

Veel gebruikt om sterkte te schatten van bevingen voor circo 1900 die niet door seismografen geregistreerd zijn.

Schaal van Richter

Door de grootte van de uitslagen van de registratie van de aardbeving wordt de magnitude berekend. Seismoloog verbeterd invloed van afstand epicentrum-seismisch station.

Afstand groter -> amplitude kleiner

Want golven en hun energie worden uitgespreid (**geometrische spreiding**) en opname (trillings)energie door de grond door wrijving (**absorptie**)

De schaal van Richter is logaritmisch, beving van 8 heeft 10x grotere amplitudes dan beving van 7.

Verschil Mercalli en Richter

Intensiteit (Mercalli) en magnitude (Richter)

Intensiteit afhankelijk van de plaats, magnitude is onafhankelijk -> dus karakteristiek voor sterkte van de aardbeving

Seismische moment

Omvang van de beving meten, het seismisch moment = M0

M0 = G x dgem x A in [Nm]

G = schuifmodulus, dgem = gem verplaatsing van het breukvlak (slip), A = totale oppervlak van breuk

Seismische moment zegt dus iets over wat er in de bron gebeurt en niets over de effecten, handig voor hele grote aardebevingen (>7.5)

**Verband tussen aardbevingen en tsunami’s**

Tsunami = enorme watergolf veroorzaakt door aardbeving onderwater

Verschuiving langs de breuk en ook verticaal -> tsunami

Opheffing van de oceaanbodem gaat gepaard met de opheffing van watermassa. De opgewekte golf gaat alle richtingen op.

v = √gxh Hoogte klein -> langzamer

Sumatra tsunami:   
Open oceaan hoogte halve meter kleine amplitude en grote golflengte)

Bij de kust (door afnemende diepte) amplitude (hoogte) hoger

*Hoofdstuk 5 Gebergtevorming*

**De relatie tussen gebergtevorming en plaattektoniek**

Veel van het materiaal in onze ondergrond is afkomstig van de erosie van de Ardennen en de Alpen. Benodigdheden voor gebergtevorming

- Materiaal: toevoer van sediment en een plaats (v.b. een bekken) waar dit sediment in kan. Nederland zou het begin van een nieuw gebergte kunnen worden omdat er veel sediment wordt geaccumuleerd (afgezet).

- Gebergtevormend proces = **orogenese** bij convergente plaatgrenzen

* + Oceanische en continentale plaat: orogenese op continentale plaat, omdat oceanische plaat subduceert (onderduikt). Sedimentair, vulkanisch en andere gesteenten worden tijdens de convergentie door de (compressie)kracht van de subductie zo samengedrukt dat er in de continentale plaat plooien en breuken ontstaan (gesteente omhoog gedrukt)
  + Twee continentale platen: geen subductie, wel bij oceanische platen (1 plaat ouder dan ander)

Gebergtevorming

* Gebergte vormt zich verder door opheffing (bodem beweegt omhoog). Tegelijkertijd begint ook erosie (slijtage). Heffen elkaar op, tenzij er een sterke opheffing is (Himalaya).
* Convergente beweging stopt: nog wel verticale beweging door **isostasie**
  + (= evenwicht tussen korst en mantel). Het soortelijk gewicht van de korst is lager dan dat van de mantel en ‘drijft’ de korst op de plastisch vervormbare mantel.
  + Als de aardkorst zwaarder wordt (gebergtevorming), zinkt de korst ook dieper in de mantel
  + Korst probeert in isostatisch evenwicht te komen met de mantel. Korst zwaarder-> dieper zinken-> onder gebergte **gebergtewortel** steekt de mantel in.
  + Als orogenese stopt vindt pas isostatich evenwicht plaats, mantel is wel plastisch maar kan niet zo snel bewegen dat het de nieuwe extra massa meteen kan compenseren.
  + Erosie van het gebergte zal gecompenseerd worden door het omhoogkomen van de wortel -> kern gebergte omhoog-> bovenzijde kan verder **eroderen** -> diepe gesteente aan opp = massaverplaatsing; gecompenseerd door even grote verplaatsing door toevloeiing mantelmateriaal

**De informatie over gebergtevorming verborgen in het gesteente**

Diep in de aarde zijn de druk en temperatuur heel anders dan aan het oppervlak.

**Deformatie** = vervormen van gesteentes, kan snel of heel langzaam, hoge druk of temp of juist niet, aanwezigheid van vloeistoffen of juist droog. Er ontstaan allerlei structuren in de stenen.

**Kracht** = duwen of trekken op/aan een voorwerp in Newton [N]

**Alzijdige druk** = druk in alle richtingen even groot (v.b. onderwater)

Druk van het water = hydrostatische druk = pw= ρ x g x h

**Spanning** = kracht per oppervlakte in [N/m2] = Pascal = [Pa]

**Mohrcirkels**

Hoofdspanning

Een bepaalde kracht op een steen -> veel verschillende vlakken met verschillende spanning -> 1 richting waarin de spanning maximaal is = **maximale hoofdspanning** = σ1

Richting waarin de spanning minimaal is = **minimale hoofdspanning** = σ3

Derde richting -> loodrecht op σ1 en σ3 = **intermediaire hoofdspanning** = σ2

σ1 en σ3 altijd loodrecht op elkaar, van groot naar klein: σ1, σ2, σ3

Oppervlakte berekenen

Vanuit O de normaal (loodlijn) bepalen

Θ1 bepalen en Θ2 bepalen

Θ3 bepalen: met (sin Θ1)2 + sin (Θ2)2 + sin (Θ3)2 = 1

Spanningsvector: met (σ1 x Θ1, σ2 x Θ2, σ3 x Θ3)

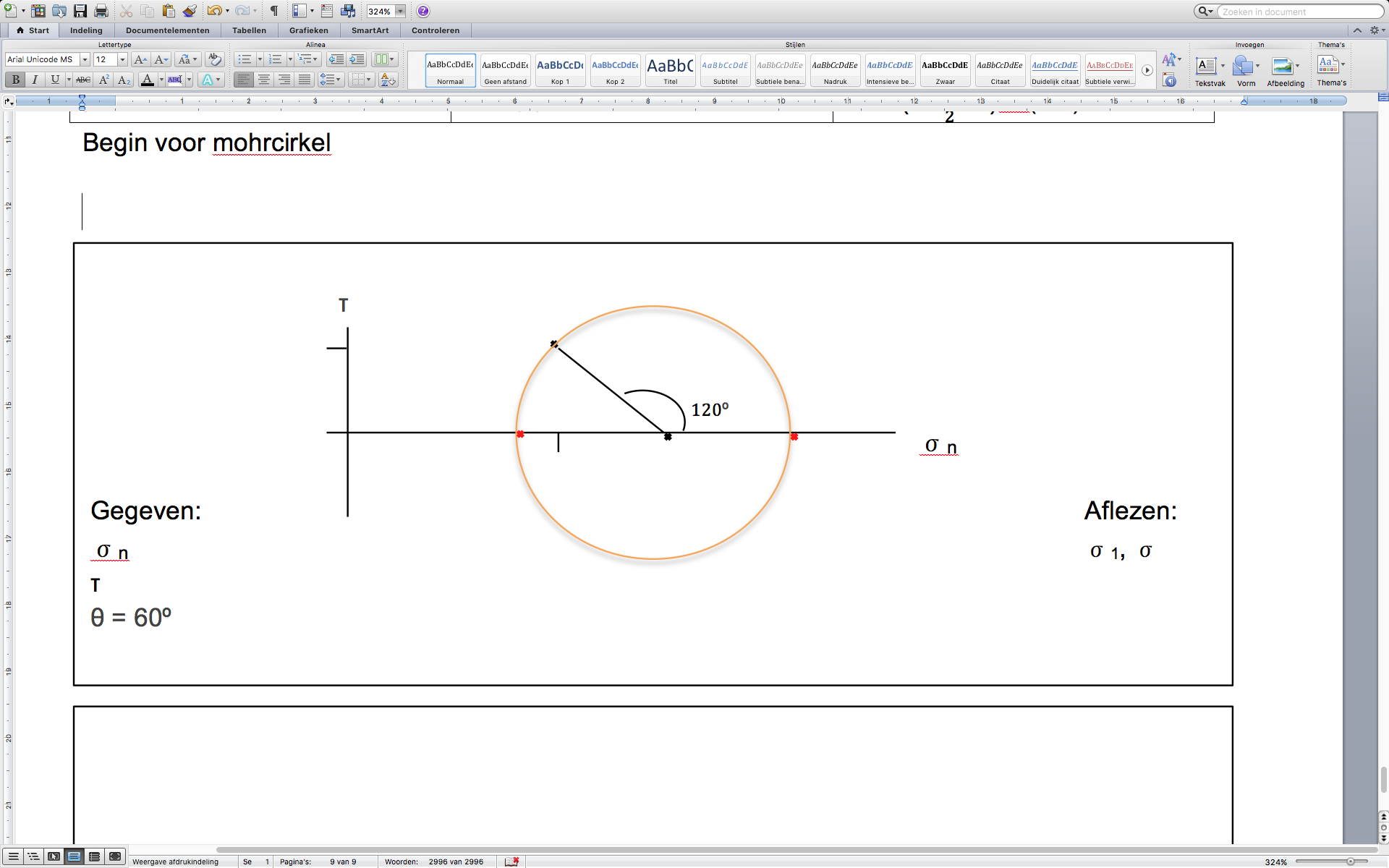
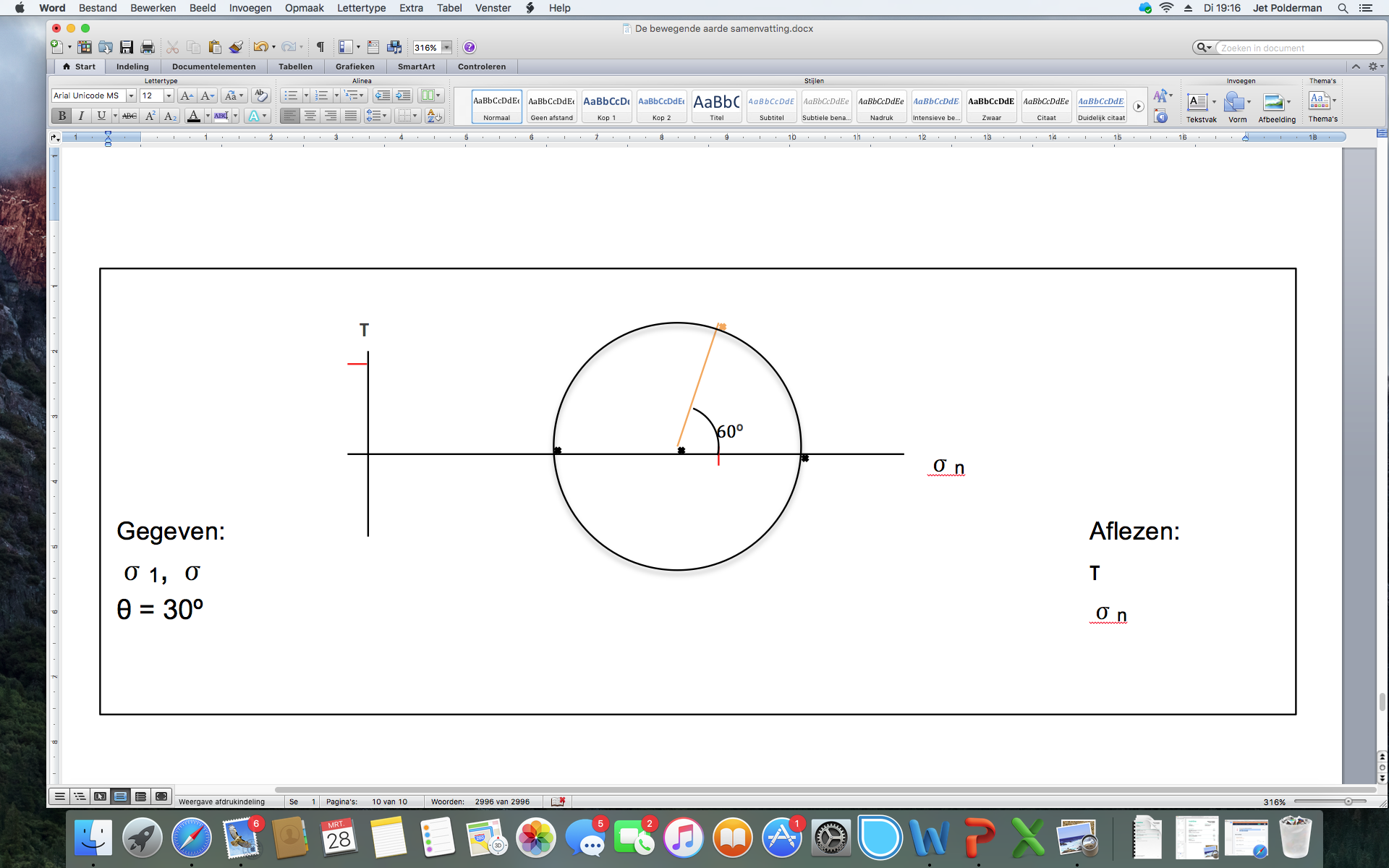
Normaalspanning en schuifspanning

Normaalspanning = vector die loodrecht op het oppervlakte werk = σn

Schuifspanning = vector die parallel aan het oppervlakte werkt = τ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| x-coördinaat | p + r cos(a) | σn = () + ()cos(2Θ) |
| y-coördinaat | r sin(a) | τ = ()sin(2Θ) |

Begin voor mohrcirkel

****