

Reservoirs en Putgedrag

Algemene Geologie

- ▶ Samenstelling van de aarde
- ▶ Belangrijkste gesteentesoorten
- ▶ Geologische perioden
- ▶ Sedimenten

Olie- en Aardgasvelden

- ▶ Het ontstaan van olie en gas
 - ▶ Geassocieerd aardgas
 - ▶ Niet-geassocieerd aardgas
- ▶ Het ontstaan van olie- en aardgasreservoirs
 - ▶ Migratie
 - ▶ 'Trap'-typen
- ▶ Opsporing
 - ▶ Geologische opsporing
 - ▶ Geofysische opsporing
- ▶ Petrofysica
 - ▶ Directe Methoden
 - ▶ Loggen
 - ▶ Log Methoden
 - ▶ Interpretatie van Logs
- ▶ Structurele geologie

Winningsmethoden

- ▶ Formatiedruk
- ▶ Stuwingsmechanismen
 - ▶ Stuwing door de gaskap
 - ▶ Stuwing door depletie
 - ▶ Waterstuwing (water-drive)
- ▶ Winningsmethoden
 - ▶ Primaire winning
 - ▶ Secundaire winning
 - ▶ Tertiaire winning

▶ Stimulatie

▶ Zuurbehandeling (acidizing)

▶ Breken (fracturing)

Samenvatting Algemene geologie

Geologie is de wetenschap, die zich bezighoudt met de geschiedenis en ouderdom van de aarde, de samenstelling van de aardkorst en de krachten, die de processen beheersen, die in deze aardkorst plaatsvinden.

Als wij naar de samenstelling van de aardkorst kijken, kunnen wij daarin drie gesteentesoorten onderscheiden:

- Stollingsgesteente (graniet, basalt).
- Sedimenten (klei, zand).
- Metamorfe gesteente (leisteel, dolomiet).

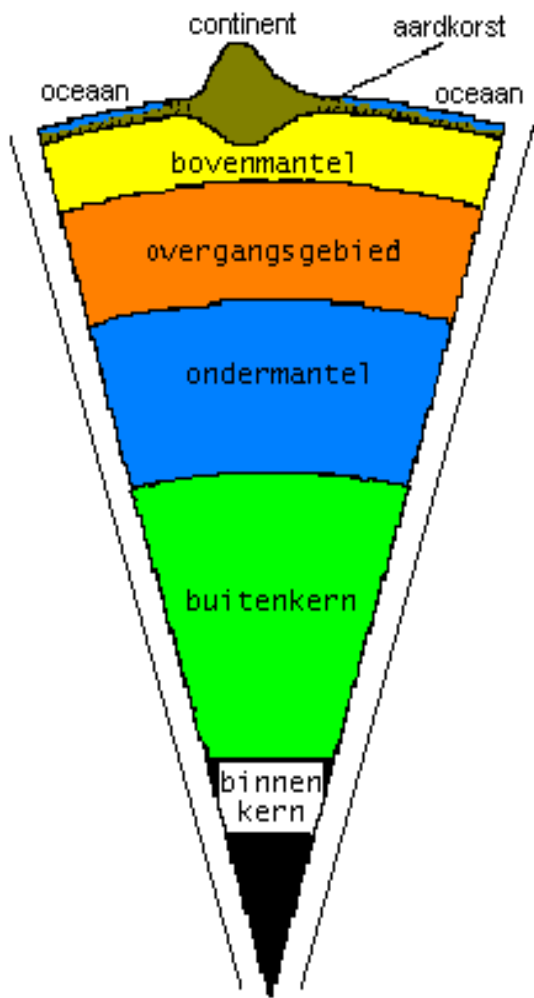
Deze gesteenten kunnen na lange geologische perioden in elkaar overgaan via allerlei processen, zoals smelten, stollen, erosie en verwerking.

Voor de petroleumgeologie zijn vooral de sedimenten zeer belangrijk, omdat deze kunnen zijn ontstaan door afzetting van dierlijke of plantaardige resten.

Naar gelang van de oorsprong kunnen de sedimenten worden onderverdeeld in twee soorten, namelijk

- Klastische sedimenten, die ontstaan zijn door erosie en verwerking van ander, ouder gesteente.
- Niet-klastische sedimenten, die ontstaan zijn door opeenhoping van dierlijke en plantaardige resten.

Samenstelling van de aarde



De aarde is een bol met een omtrek van ongeveer 40.000 km en een straal van 6370 km.

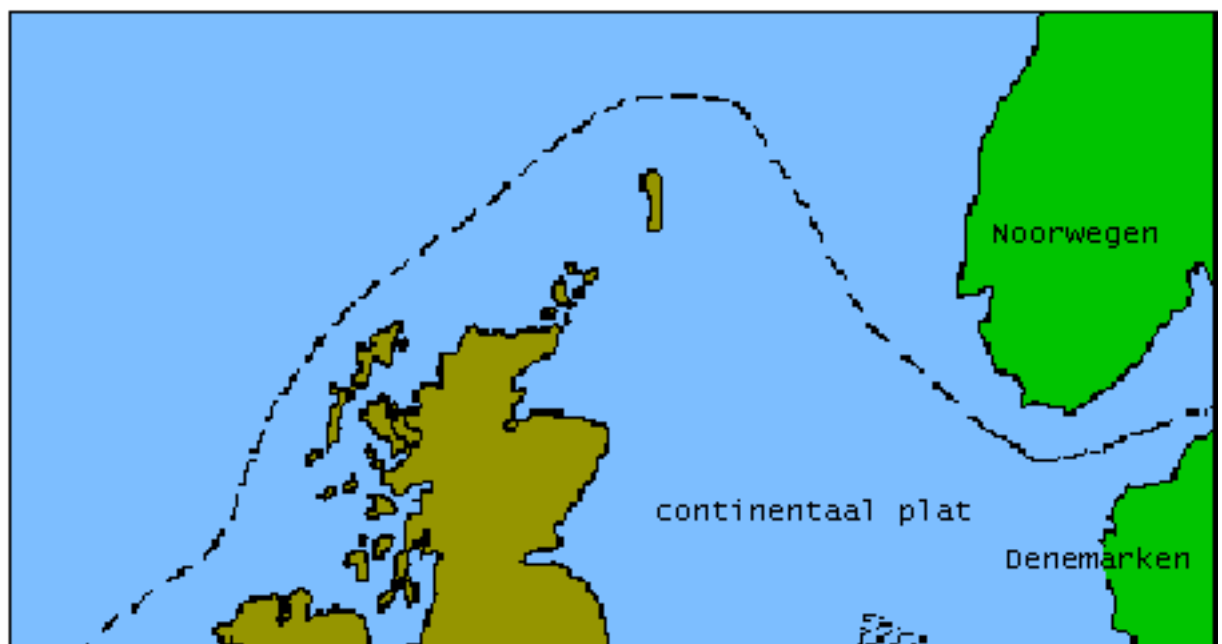
Het binnenste van de aarde is opgebouwd uit verschillende zones, waarvan de begrenzings slechts onnauwkeurig kunnen worden aangegeven.

De dikte van de aardkorst verschilt sterk. De dikte varieert op de continenten tussen 20 en 70 km (onder bergketens) met een gemiddelde dikte van 33 km. De gemiddelde dikte onder de oceaانبodem bedraagt 10 km. De oceaانبodem ligt gemiddeld 5000 m onder de zeespiegel.

Model van de aarde met kern, mantel en aardkorst

Olie en aardgas worden uitsluitend in de aardkorst aangetroffen.

De productie ervan begon op het land, maar heeft zich steeds meer verplaatst naar het **continentale plat** met steeds toenemende



waterdiepte.

Het continentale plat is in principe een deel van de continenten. Het is de voortzetting van het vasteland onder zee en strekt zich uit tot circa 200 m zeediepte. Na deze 200 m-lijn daalt de zeebodem vrij steil af via de **continentale helling** naar de **oceanobodem** (diepzeevlakte).



De belangrijkste gesteentesoorten

De vaste materialen waaruit de aardkorst is opgebouwd worden gesteenten genoemd. Deze gesteenten zijn opgebouwd uit een of meer soorten mineralen. Mineralen kunnen vaste chemische elementen zijn, zoals diamant, dat alleen uit koolstof bestaat, of verbindingen, zoals steenzout, graniet of kalksteen.

Mineralen kunnen in de aardkorst worden aangetroffen in gekristalliseerde vorm. Dit is echter afhankelijk van de omstandigheden waaronder de mineralen zijn gevormd, of van de veranderingen, die de mineralen hebben ondergaan.

Een kristal is een speciale vorm, waarin vaste stoffen kunnen voorkomen. In een kristal hebben de bouwstenen (atomen) van de vaste stof zich op een bepaalde manier regelmatig gerangschikt. De rangschikking van die bouwstenen is bij zuivere stoffen in het gehele kristal gelijk. Voorbeelden van vaste stoffen in kristalvorm zijn keukenzout en suiker.

Diamant is een mineraal met een kristal, dat gevormd is door alleen het element koolstof (C). De zeer hoge druk, die voor de vorming van diamant noodzakelijk is, heeft de koolstofatomen zeer dicht op elkaar gedrukt en zo een zeer hechte, compacte structuur gegeven, waardoor diamant een van de hardste materialen is die op aarde gevonden wordt.

Een mineraal dat verontreinigd is met andere stoffen, geeft een ander kristal dan het zuivere mineraal. Op deze wijze kunnen mineralen honderden kristalvormen hebben.

In de aardkorst komen bijvoorbeeld veel mineralen voor die siliciumoxide bevatten. Deze mineralen worden silicaten genoemd.

De gesteenten in de aardkorst kunnen, afhankelijk van de wijze, waarop zij zijn ontstaan, in drie groepen worden onderverdeeld:

1. Stollingsgesteente

Stollingsgesteente is ontstaan bij vulkanische processen. Bij vulkaanuitbarstingen komt gesmolten gesteentemateriaal, het zogenaamde magma, uit de aarde. Dit magma koelt af en stolt en vormt op deze wijze het stollingsgesteente.

Het magma kan ook in de aarde tussen andere lagen worden geperst en dan langzaam afkoelen. Voorbeelden van stollingsgesteenten zijn graniet en basalt.

2. Sedimenten

Sedimenten zijn gevormd door afzetting of bezinking van los materiaal. Dit losse materiaal is ontstaan door afbraak en transport van gesteente door water, wind of ijs. Dit proces wordt **erosie** genoemd.

Het materiaal bezinkt of zet zich af op andere plaatsen aan het aardoppervlak of op de zeebodem. Voorbeelden van sedimenten zijn klei en zand.

Sedimenten kunnen ook worden gevormd door afzetting of bezinking van restanten van

dierlijk of plantaardig materiaal. Voorbeelden van deze soort van gesteenten zijn krijt, kalksteen en steenkool.

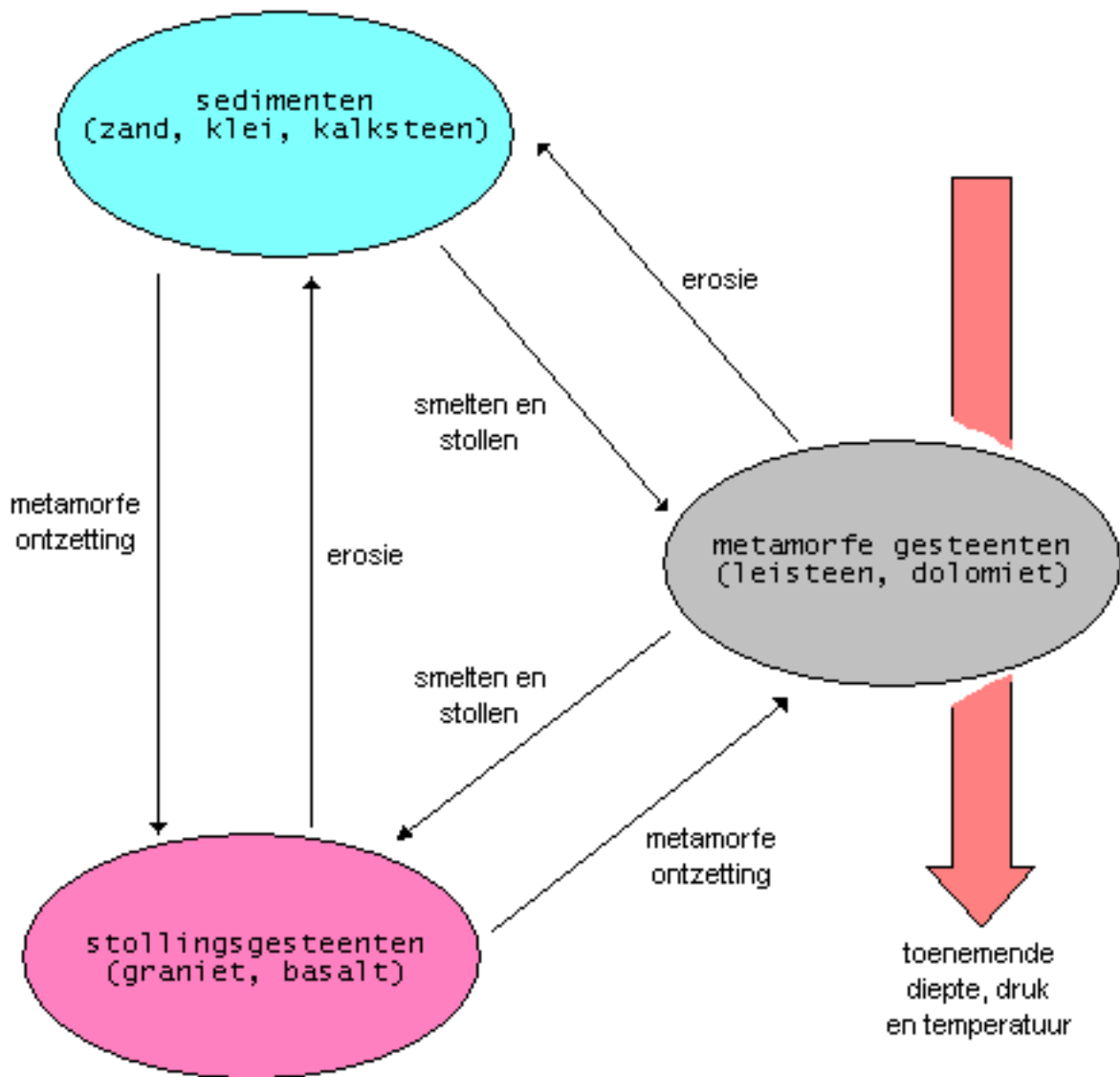
3. Metamorfe gesteente

Metamorfe gesteente is oorspronkelijk stollingsgesteente of sediment, waarvan de samenstelling en de structuur door hoge temperatuur en druk zijn veranderd. Het stollingsgesteente en sediment kwam na verloop van tijd diep in de aardkorst terecht. De hoge temperatuur en druk daar maakten de vorming van metamorfe gesteente mogelijk. Voorbeelden van metamorfe gesteente zijn leisteen (oorspronkelijk klei) en dolomiet (oorspronkelijk kalksteen).

De gesteenten kunnen na een lange geologische periode in elkaar overgaan via allerlei processen. **Erosie** en verwerking door water, ijs, zand en wind zijn het meest bekend. **Verwerking** is aantasting van materiaal als gevolg van weersinvloeden, wrijving of grote krachten, die erop worden uitgeoefend.

Gesteenten kunnen na miljoenen jaren weer zo diep in de aarde komen, dat zij smelten en in magma oplossen. Gesteenten kunnen ook worden omgezet in metamorfe gesteenten door hoge druk en temperatuur.

Het magma in de aarde zal in het algemeen de eigenschappen en samenstelling bezitten van het materiaal in de mantel van de aarde. Dit magma heeft een basaltsamenstelling. Basalt is verreweg het meest verbreide uitvloeiingsgesteente op aarde. In West-India is een gebied van 600.000 km² bedekt met basalt (**extrusieve** gesteenten). Omdat basalt vrij snel afkoelt aan de oppervlakte van de aardkorst blijft het gesteente min of meer de samenstelling van het **magma** houden.



Schematische relaties tussen gesteenten

Opmerking:

Stollingsgesteente, dat is ontstaan als gevolg van uitvloeiing van magma over het aardoppervlak, noemt men ook wel extrusieve gesteenten.

Oermagma, dat in de aardkorst dringt, koelt langzaam af, waarbij verschillende mineralen uitkristalliseren en in de smelt naar beneden zakken. De samenstelling van de smelt verandert zo geleidelijk, waarbij de smelt steeds meer kwarts en siliciumoxide gaat bevatten.

Opmerking:

Het stollingsgesteente, dat op deze wijze is ontstaan, wordt ook wel intrusief stollingsgesteente genoemd. De gestolde 'zure' rest van het magma wordt ook wel graniet genoemd. Graniet bevat kwarts (siliciumoxide), verschillende veldspaten (kalium-, natrium- en calciumsilicaten) en glimmer (mica).

Het kwarts wordt door mechanische verwerking (bijvoorbeeld wrijving) omgezet in zand. De veldspaten worden langs chemische weg afgebroken en vallen uiteen in zeer kleine deeltjes (slib), waaruit na bezinking klei ontstaat.

Geologische perioden

Omdat de sedimenten opeenvolgende lagen vormen is het duidelijk, dat hoe dieper men in de aardkorst komt, des te ouder wordt het gesteente.

Toch is het mogelijk, dat de oudste gesteenten weer aan het aardoppervlak komen als gevolg van bewegingen in de aardkorst of als gevolg van erosie door bijvoorbeeld snelstromend water.

In de twintigste eeuw werd het mogelijk een aantal kilometer diep in de aardkorst te boren. Op deze wijze kon waardevolle informatie worden verkregen over de ouderdom en de samenstelling van de verschillende lagen in de aardkorst.

Deze lagen worden genoemd naar het soort van gesteente (bijvoorbeeld zand) en de geologische periode, waarin zij werden gevormd. Een overzicht van deze classificatie en de ouderdom van het gesteente is te vinden in tabel 1.

Elke periode heeft ook specifieke soorten fossielen (overblijfselen van levende organismen) die kunnen worden gevonden in het desbetreffende sediment.

Ouderdom (jaren)	Tijdperk	Periode en tijdvak	Karakteristieke levensvorm
25.000 11.000.000 25.000.000 40.000.000 70.000.000	Neozoïcum	Kwartair Holoceen Pleistoceen Tertiar Pliocene Mioceen Oligoceen Eoceen	Moderne mens / primitieve mens Zoogdieren
135.000.000 180.000.000 225.000.000	Mesozoï	Krijt Bovenkrijt Onderkrijt Jura Trias	Bloeiende planten Reptielen
270.000.000 350.000.000 400.000.000 440.000.000 500.000.000 600.000.000	Paleozoï	Perm Zechstein Rotliegend Carboon Devoon Siluur Ordovicium Cambrium	Amfibieën Primitieve planten Vissen Ongewervelde dieren Eerste verschijning fossielen
3.000.000.000	Pre-cambrium	Proterozoï Archeozoï Eozoï	Schaarse overblijfselen, geen directe bewijzen van enige vorm van leven

Geothermische gradiënt

Als wij de aardkorst binnendringen, gaat de temperatuur omhoog naarmate wij dieper komen.

Als deze temperatuurverhoging per diepte eenheid wordt uitgedrukt, verkrijgen wij de '**geothermische gradiënt**'. De eenheid, waarin deze gradiënt wordt uitgedrukt, is °C per 100 m of °C per km.

De geothermische gradiënt is de temperatuurverhoging per diepte eenheid in de aardkorst.

De geothermische gradiënt is in West-Europa ongeveer 30°C/1000 m. Olie op een diepte van 3000 m heeft daarom een temperatuur van circa 90°C.

In zeer oude gesteenten (in de zogenaamde 'continentale schil'-gebieden) bedraagt de gradiënt slechts 10°C/1000 m. Dit komt, omdat deze schillen als eerste vaste gebieden op aarde werden gevormd en ook steeds vasteland zijn gebleven. Aanvankelijke magma-intrusies hebben deze gebieden zeer stabiel gemaakt (geconsolideerd). Er komen praktisch geen aardbevingen in voor. Door de grote ouderdom van deze gebieden heeft een zekere afkoeling kunnen plaatsvinden, waardoor de geothermische gradiënt veel lager is geworden.

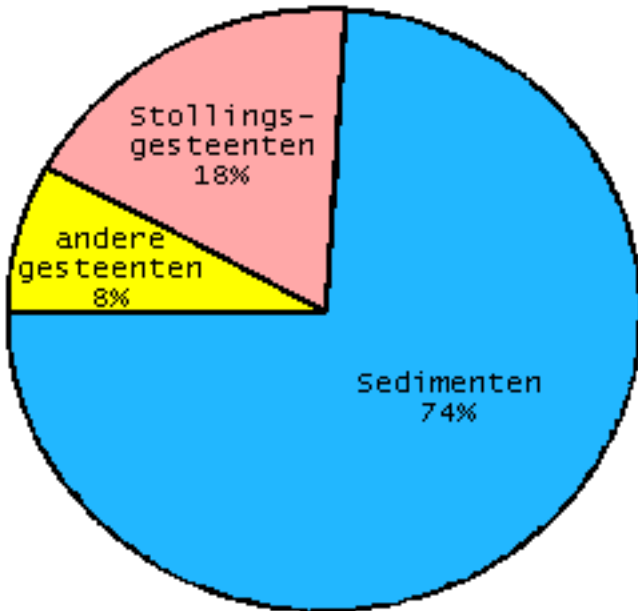
Het is mogelijk in deze oude gebieden veel dieper door te gaan met ondergrondse mijnbouw. In West-Europa ligt de grens bij circa 1200 m.

De temperatuur aan het oppervlak van de aarde heeft door alle geologische tijden binnen merkwaardig nauwe grenzen gevarieerd.

Sedert miljarden jaren verkeert de aarde in een toestand van thermisch evenwicht. Soms kunnen tijdelijk relatief geringe storingen optreden (tijdens de ijstijden).

De sedimenten

Zoals reeds eerder is opgemerkt, kunnen sedimenten o.a. ontstaan door afzetting of bezinking van restanten van dierlijk of plantaardig materiaal. Omdat uit die restanten van dierlijk en plantaardig materiaal olie en gas kunnen ontstaan, zijn deze sedimenten voor de petroleumgeologie zeer interessant. In de figuur zien we de verdeling van de gesteenten die deel uitmaken van de continenten. 74% Bestaat uit sedimenten.



Sedimenten: 74% als volgt verdeeld:
52% schalie (kleigesteente)
15% zandsteen
7% carbonaten (kalksteen)

Andere namen voor sedimenten zijn **afzettingsgesteenten** en **bezinkingsgesteenten**.

Sedimenten nemen ongeveer $\frac{3}{4}$ deel van het landoppervlak van de continenten in. Zij vormen op veel plaatsen slechts een zeer dunne bedekking. De dikte op de continenten kan variëren tussen 0 en 13 km, maar bedraagt gemiddeld 3 km. De zeebodem is ook bedekt met sedimenten, maar de gemiddelde dikte van deze laag is nog niet bekend.

Naar gelang van de oorsprong kunnen de sedimenten worden onderverdeeld in twee soorten:

- Klastische sedimenten.
- Niet-klastische sedimenten.

Wanneer gesteenten door bewegingen in de aardkorst aan het aardoppervlak terechtkomen, worden ze blootgesteld aan de natuurlijke elementen (wind, water). Als gevolg hiervan treden verwerking en erosie op van het gesteente. De door deze processen vrijkomende gesteentestukjes kunnen door water, ijs of wind worden weggevoerd naar andere plaatsen, zoals laagvlakten of de zee, waar zij neerslaan en een sedimentlaag vormen. Deze sedimentsoort wordt **klastisch sediment** genoemd. Voorbeelden hiervan zijn zand en klei.

De niet-klastische sedimenten zijn op een andere manier ontstaan.

Door opeenhoping van plantaardige en dierlijke resten ontstaat veen of turf. Als dit veen langere tijd begraven ligt, vormt het bruinkool en uiteindelijk een steenkoollaag.

Een andere mogelijkheid is, dat door verdamping van zeewater uit binnenzeeën in warmere gebieden zout of kalk neerslaat en een sedimentlaag vormt.

De sedimenten die op deze manier zijn gevormd, noemt men **niet-klastische sedimenten**.

Wanneer nieuwe sedimentlagen op oude terechtkomen, zullen deze oude lagen als gevolg van het gewicht van de nieuwe lagen worden samengedrukt en geleidelijk overgaan in steen.

Samenvatting Olie en Aardgasvelden

Bij het ontstaan van olie en aardgas moet onderscheid worden gemaakt tussen het gelijktijdig ontstaan van olie en gas en het ontstaan van alleen gas.

Het aardgas, dat gelijktijdig is ontstaan met olie, noemt men geassocieerd of 'nat'-aardgas.

Het gas, dat afzonderlijk van olie is ontstaan, noemt men niet-geassocieerd of 'droog'-aardgas.

Aardolie en geassocieerd aardgas zijn ontstaan in sedimentaire afzettingen van dierlijke en plantaardige resten. Door de hoge druk en temperatuur werd een chemisch proces op gang gebracht, waardoor deze resten werden omgezet in aardgas en minerale olie.

Niet-geassocieerd aardgas is door een inkolingsproces uit steenkoollagen ontstaan. De wijze van ontstaan van het aardgas heeft ook gevolgen voor de samenstelling ervan. Geassocieerd aardgas zal meer grotere koolwaterstofmoleculen bevatten dan niet-geassocieerd aardgas.

Olie- en gasreservoirs zijn ontstaan door migratie van het moedergesteente naar het reservoirgesteente. Voor een goede migratie door het gesteente zijn twee factoren belangrijk, namelijk de porositeit en de permeabiliteit van het gesteente.

Aan het ontstaan van een olie- en gasreservoir zijn nog twee voorwaarden verbonden, namelijk de aanwezigheid van een trap en een voor olie en gas ondoordringbare deklaag.

Wij onderscheiden 4 trap-typen:

- Anticlinaal
- Breuk
- Discordantie
- Zoutkoepel

Voor de exploratie kunnen diverse technieken worden gebruikt om mogelijke olie- en aardgasreservoirs te lokaliseren, te weten

- Geologische opsporing.
Onderzoek door waarnemingen aan het landoppervlak zelf.
- Geofysische opsporing.
Onderzoek van de aardlagen.

Tijdens de geofysische opsporing kunnen verschillende methoden worden gebruikt:

- Gravimetrisch
- Seismisch
- Magnetisch
- Electrisch
- Geochemisch

Als uit de genoemde onderzoeken blijkt dat op een bepaalde plaats olie- en gasreservoirs aanwezig kunnen zijn kan daar een exploratieput worden geboord. Tijdens het boren vindt continu onderzoek plaats. De wetenschap die zich hiermee bezighoudt is de petrofysica. Het doel van dit petrofysisch

onderzoek is:

- Het lokaliseren van reservoirs.
- Het vaststellen van de aanwezigheid van koolwaterstoffen.
- Het onderscheid maken tussen olie en gas.
- Het evalueren van de koolwaterstofhoudende formaties.

Hiertoe heeft de petrofysica een aantal methoden ter beschikking, namelijk:

- **Directe methode**; onderzoek van boorgruis en kernmonsters.
- Indirecte methode; **loggen**.

Bij de log-methode wordt apparatuur aan een kabel in het boorgat afgelaten, waarmee over de gehele diepte van het boorgat onderzoek kan worden gedaan.

De **structurele geologie** combineert vervolgens alle bekende gegevens (ook resultaten van andere vakgroepen), om te komen tot een ruimtelijk model van het reservoirvoorkomen.

Het ontstaan van olie en gas

Er zijn veel theorieën over de mogelijke gebeurtenissen en omstandigheden die ertoe hebben geleid, dat grote hoeveelheden olie, gas en andere stoffen in de aardkorst zijn ontstaan.

In principe moet onderscheid worden gemaakt tussen enerzijds het gelijktijdig ontstaan van olie en aardgas en anderzijds het ontstaan van alleen aardgas.

Het gas dat gelijktijdig met olie is ontstaan noemt men geassocieerd aardgas; het gas dat **niet** gelijktijdig met olie is ontstaan noemt men niet-geassocieerd aardgas.

Het ontstaan van olie en geassocieerd aardgas

In zee leven talloze uiterst kleine diertjes en plantjes, zo klein, dat zij alleen met een microscoop kunnen worden bekeken. Wij noemen deze diertjes en plantjes tezamen plankton.

In de loop der tijden zijn er jaren geweest met betrekkelijk veel plankton, die afgewisseld werden door jaren met weinig plankton.

Na het afsterven van het plankton zakten het naar de bodem van de zee, tezamen met visjes, krabbetjes en slakken.

Gewoonlijk werden (en worden) deze wezentjes op de bodem van de zee door de in het zeewater aanwezige zuurstof aangetast en verteerd.

Soms is er echter te weinig zuurstof in het zeewater en op grote diepte kan de zuurstof zelfs helemaal **afwezig** zijn. Een dergelijke situatie kan ontstaan in zeebekkens, zoals de Zwarte Zee, die min of meer van de 'open' oceaan zijn afgesloten.

In een situatie, waarbij niet voldoende zuurstof aanwezig is om de planktonresten en dierlijke resten af te breken, zullen deze resten op de zeebodem blijven liggen. Vooral in planktonrijke perioden werden op deze wijze dikke lagen gevormd. Deze lagen werden vervolgens vermengd met kleideeltjes, zand en stenen, die door de rivieren naar zee werden aangevoerd.

In de loop der tijden ontstond hierdoor op de zeebodem een gelaagde structuur, de zogenaamde sedimentaire afzettingen.

De aarde koelde intussen langzaam af, waardoor van tijd tot tijd grote veranderingen ontstonden. Zo konden de sedimentaire afzettingen worden bedolven onder lagen lava en as als gevolg van vulkaanuitbarstingen. Soms ontstonden er door verdamping van zeewater zoutlagen op de sedimentaire afzettingen.

In de diepe lagen ontstonden door de laagdikte en beweging van de aardkorst hoge temperaturen en drukken. Soms werd de temperatuur extra hoog door de aanwezigheid van gesmolten gesteente. Deze temperaturen en drukken waren veel hoger dan die wij nu in olie- en gasreservoirs vinden.

Verondersteld wordt, dat deze hoge temperaturen en drukken een chemisch proces op gang brachten, waardoor de ingesloten organismen werden omgezet in aardgas, minerale olie en andere bitumina. Aangezien deze organismen uit plantaardige en soms uit dierlijke stoffen, zoals eiwitten, bestonden, vinden wij nu bestanddelen, die opgebouwd zijn uit o.a. de elementen waterstof, koolstof, zuurstof, zwavel, fosfor en stikstof.

De voornaamste bestanddelen van olie en aardgas zijn koolwaterstoffen. Dit zijn scheikundige verbindingen, die koolstof en waterstof bevatten. De sedimentlagen, waarin deze processen plaatsvinden, worden ook wel **moedergesteenten** genoemd.

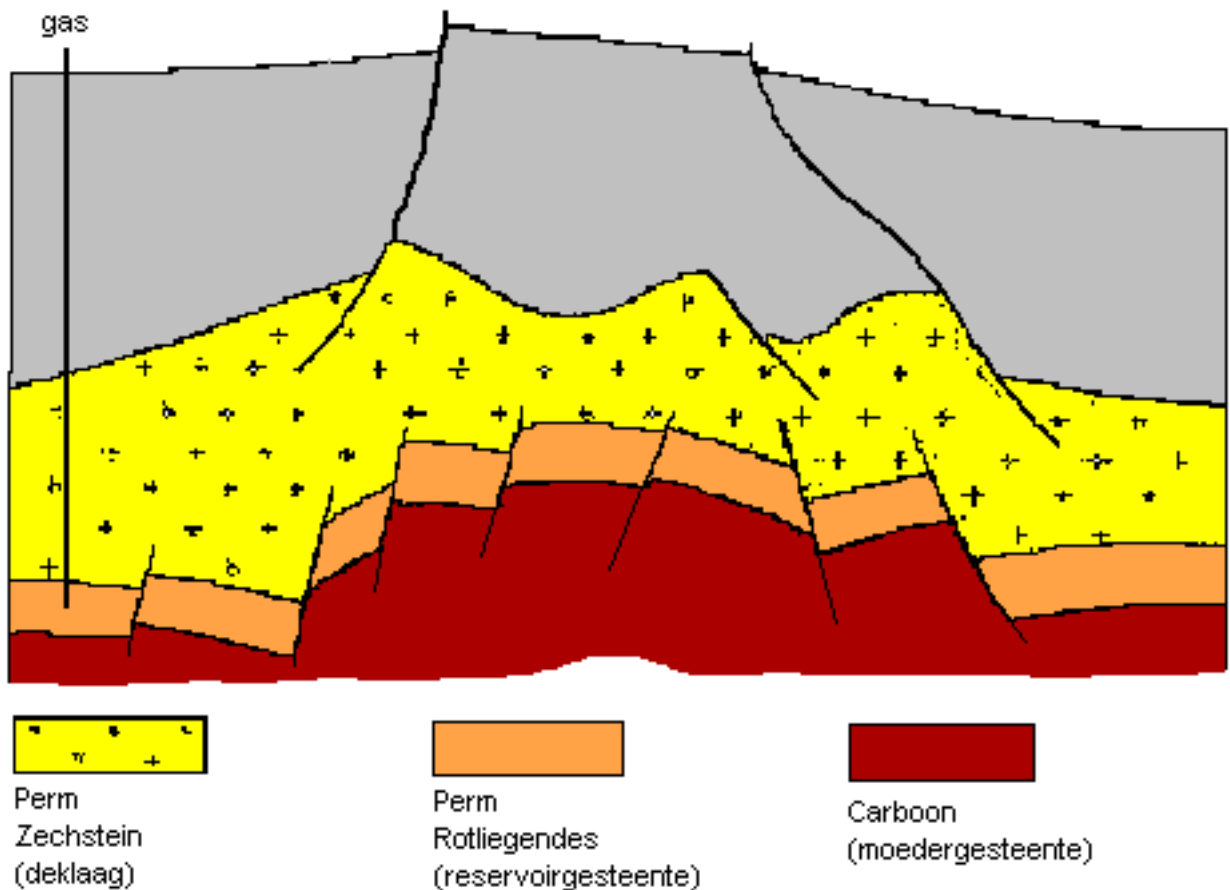
Tot nu toe hebben wij steeds gesproken over de gelijktijdige vorming van olie **en** aardgas. Dit type van aardgas wordt **geassocieerd** of 'nat' aardgas genoemd.

Het ontstaan van niet-geassocieerd aardgas

Dit type van aardgas is door een inkolingsproces uit steenkoollagen ontstaan.

De steenkoollagen werden gevormd uit de resten van veenplanten en bossen. Door afdekking van deze resten met erosieproducten, zoals zand en klei, en door aardverschuivingen kwamen deze lagen op verschillende diepten te liggen. Bij toename van de druk en temperatuur ontstond eerst turf, daarna bruinkool en vervolgens steenkool.

Tijdens dit proces werd het koolstofgehalte steeds hoger en ontsnapten koolwaterstoffen. Wanneer de omstandigheden voor accumulatie gunstig waren en een deklaag ontsnapping naar de oppervlakte verhinderde, ontstond een 'niet-geassocieerd'-aardgasreservoir.



Niet geassocieerd-aardgasreservoir Groningen

Het aardgas in Groningen behoort tot dit type. Het reservoirgesteente is het Rotliedendes uit de Permtijd. De deklaag is Zechstein, dat eveneens tijdens het Perm werd gevormd. De inkoling vond ongeveer 300 miljoen jaar geleden plaats in het Carboon.

Het gesteente, waarin het gas tegenwoordig wordt aangetroffen (het reservoirgesteente), is vaak een ander gesteente dan waar het oorspronkelijk is ontstaan (het moedergesteente). Het gas heeft zich als het ware verplaatst van het moedergesteente naar het reservoirgesteente. Dit proces wordt migratie genoemd. Het begrip migratie zal verderop in dit hoofdstuk worden toegelicht.

Het aardgas in Groningen is dus gemigreerd van het Carboon (het moedergesteente) naar het Rotliedendes (het reservoirgesteente).

Het gesteente, waarin het gas zich bevindt, is **zandsteen** en strekt zich uit over een oppervlakte van ongeveer 700 km² en de dikte van het reservoir varieert van 70 tot bijna 200 m.

De steenkoolhoudende lagen strekken zich tot onder het zuidelijke gedeelte van de Noordzee uit. Het reservoirgesteente en de deklaag worden echter door veel geologische onregelmatigheden, zoals breuken en verschuivingen, onderbroken.

Hierdoor komt het niet-geassocieerde aardgas in de Noordzee slechts plaatselijk voor. In sommige gebieden ligt het dicht bij geassocieerde aardgasvoorkomens.

Het verschil in ontstaan tussen geassocieerd en niet-geassocieerd aardgas zorgt voor een verschil in samenstelling.

In de tabel is de samenstelling te zien van een geassocieerd aardgas uit het noordelijke gedeelte van de Noordzee (Brent D) en van een niet-geassocieerd aardgas (Groningen).

		Groningen	Brent D
Methaan	CH ₄	81,63 %	79,83 %
Ethaan	C ₂ H ₆	2,60 %	8,52 %
Propaan	C ₃ H ₈	0,37 %	3,52 %
n-Butaan	C ₄ H ₁₀	0,09 %	1,39 %
Iso-Butaan	C ₄ H ₁₀	0,08 %	0,44 %
n-Pentaaan	C ₅ H ₁₂	0,01 %	0,29 %
Iso-Pentaaan	C ₅ H ₁₂	0,02 %	0,31 %
Hexaan	C ₆ H ₁₄	0,01 %	4,96 %
Octaan	C ₈ H ₁₈	0,01 %	-
Benzeen	C ₆ H ₆	0,01 %	-
Tolueen	C ₆ H ₅ CH ₃	0,01 %	-
Xyleen	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	0,90 %	0,72 %
Koolzuur	CO ₂	0,01 %	-
Zuurstof	O ₂	0,05 %	-
Argon	Ar	14,20 %	0,02 %
Stikstof	N ₂		
		100,00 %	100,00 %

Duidelijk is te zien, dat het geassocieerde aardgas (Brent D) meer grotere

koolwaterstofmoleculen bevat. Met de grotere koolwaterstofmoleculen worden hier n-pentaaan, iso-pentaaan t/m xyleen bedoeld. De oorzaak hiervan is, dat geassocieerd aardgas te zamen met olie in het reservoir voorkomt; hierdoor zal het gas koolwaterstoffen gaan bevatten, die verdampt zijn uit de olie.

Het ontstaan van olie- en aardgasreservoirs

Olie en gas zijn ontstaan in het moedergesteente, de sedimentaire afzettingen, waarin dierlijke en plantaardige resten werden afgesloten en omgezet.

Het gesteente waaruit olie en gas wordt gewonnen is echter niet het moedergesteente, maar een ander gesteente dat wij **reservoirgesteente** noemen. Blijkbaar hebben de olie en het gas zich in de loop der tijden verplaatst van het moedergesteente naar het reservoirgesteente. Dit proces wordt migratie genoemd.

Migratie

Olie en gas zijn ontstaan in het moedergesteente, de sedimentaire afzettingen, waarin dierlijke en plantaardige resten werden afgesloten en omgezet.

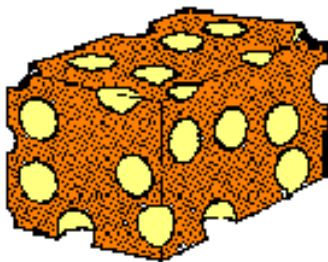
Het gesteente waaruit olie en gas wordt gewonnen is echter niet het moedergesteente, maar een ander gesteente dat wij **reservoirsteente** noemen. Blijkbaar hebben de olie en het gas zich in de loop der tijden verplaatst van het moedergesteente naar het reservoirsteente. Dit proces wordt migratie genoemd.

Migratie is de verplaatsing van olie en/of gas door gesteente.

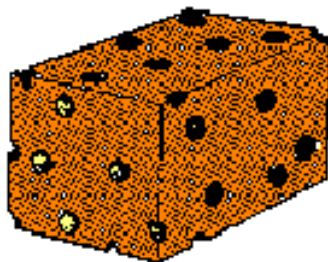
De migratie van moedergesteente naar reservoirsteente wordt veroorzaakt door de hoge druk op het moedergesteente als gevolg van de bovenliggende aardlagen. De olie en het gas werden uit het moedergesteente geperst en kwamen terecht in het meer boven gelegen poreuze reservoirsteente. Binnen dit reservoirsteente konden olie en gas verder migreren en zich uiteindelijk ophopen (accumuleren) op bepaalde plaatsen in dat gesteente.

Voor een goede migratie door het gesteente zijn twee factoren belangrijk, namelijk de **porositeit** en de **permeabiliteit** van het gesteente.

De ruimten in het gesteente of zand, die olie en gas bevatten, worden poriën genoemd. Het is duidelijk, dat hoe groter het aantal poriën in een kubieke meter gesteente is en hoe groter de poriën zelf zijn, des te meer vloeistof of gas het gesteente kan bevatten.



hoge porositeit



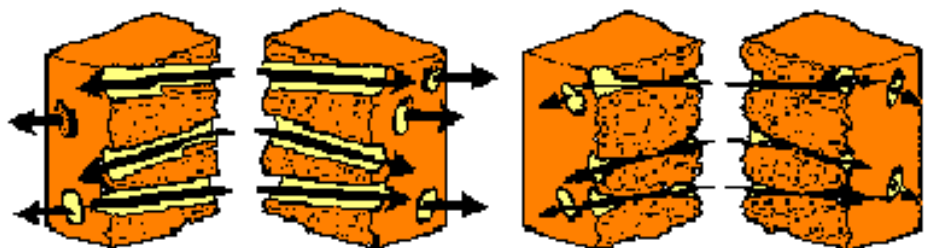
lage porositeit

Het volume, dat de poriën in een kubieke meter gesteente inneemt, is een maat voor de **porositeit** van het gesteente. De porositeit is voor ons weer een maat voor de hoeveelheid olie, gas of water, die wij in een kubieke meter reservoirsteente zouden kunnen vinden.

Porositeit is het volume, dat de poriën in één m³ gesteente innemen.

Als er tussen de poriën onderling geen verbindingskanaaltjes zijn, kan geen olie of gas door het reservoir stromen. Wanneer deze verbindingsruimten zeer smal zijn, is de doorstroming zeer langzaam en bij ruime verbindingen zal deze snel en gemakkelijk zijn.

De hoeveelheid vloeistof of gas, die bij een bepaalde temperatuur en druk van een gedeelte van het reservoir naar het ernaast liggende gedeelte kan stromen, is een maat voor de **permeabiliteit** van het reservoirsteente.



hoge permeabiliteit

lage permeabiliteit

Permeabiliteit is de hoeveelheid vloeistof of gas, die bij een bepaalde temperatuur en druk van één gedeelte van het reservoir naar het ernaast liggende gedeelte kan stromen.

Samenvattend kunnen wij zeggen:

- De **porositeit** is een maat voor de **ruimtecapaciteit** in het gesteente, dat wil zeggen de hoeveelheid

vloeistof of gas, die wij waarschijnlijk in het reservoirgesteente zullen vinden.

- De **permeabiliteit** is een maat voor de **doorstroombaarheid** of de **doorlaatbaarheid** van het gesteente, dat wil zeggen de snelheid, waarmee olie of gas door het gesteente kan stromen.

Deze figuur laat zien, dat olie door een gesteente met grote poriën kan migreren en dat de oliedruppels in de poriën met te smalle verbindingskanaaltjes blijven hangen.

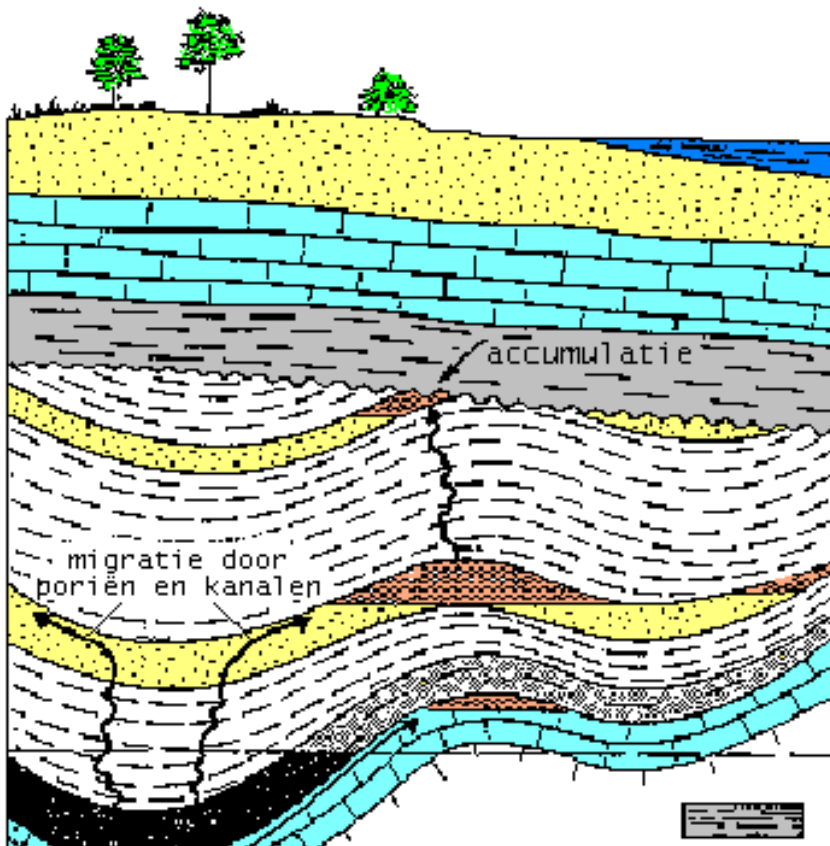


Migratie van olie door het reservoirgesteente

Migratie is om twee redenen belangrijk:

- Vloeistof en gas kunnen vele kilometers van de plaats, waar wij deze vinden, in andere formaties zijn ontstaan.

Op verschillende diepten in deze formaties heersen verschillende drukken. Hierdoor worden de vloeistoffen en het gas van gebieden met een hoge druk door de poriën in het gesteente naar gebieden met een lagere druk geperst.



Deze migratie door het gesteente gaat door, totdat de olie en het gas door een hindernis worden tegengehouden. Deze hindernis vormt een val of **'trap'**, waarin wij de olie- of gasputten boren.

Trap

Een trap is een natuurlijke hindernis in een reservoirgesteente en deklaag, waardoor olie en gas niet verder kunnen migreren en een koolwaterstoffenaccumulatie kan ontstaan.



Migratie en accumulatie van olie

klei of schalie



kalksteen



zandsteen

Wanneer echter om een of andere reden, bijvoorbeeld door een te lage permeabiliteit, geen migratie kon plaatsvinden, konden de olie en het gas niet naar de 'trap' stromen.

- Wanneer wij olie of gas winnen, moet deze (dit) uit het reservoir naar de put toestromen. Als de migratie echter door een lage permeabiliteit van het gesteente zeer langzaam is, zal de hoeveelheid, die de put per dag produceert, klein zijn. Deze is namelijk afhankelijk van de hoeveelheid olie of gas, die door de druk in het reservoir door het gesteente met een lage permeabiliteit naar de put kan worden geperst.

'Trap'-typen

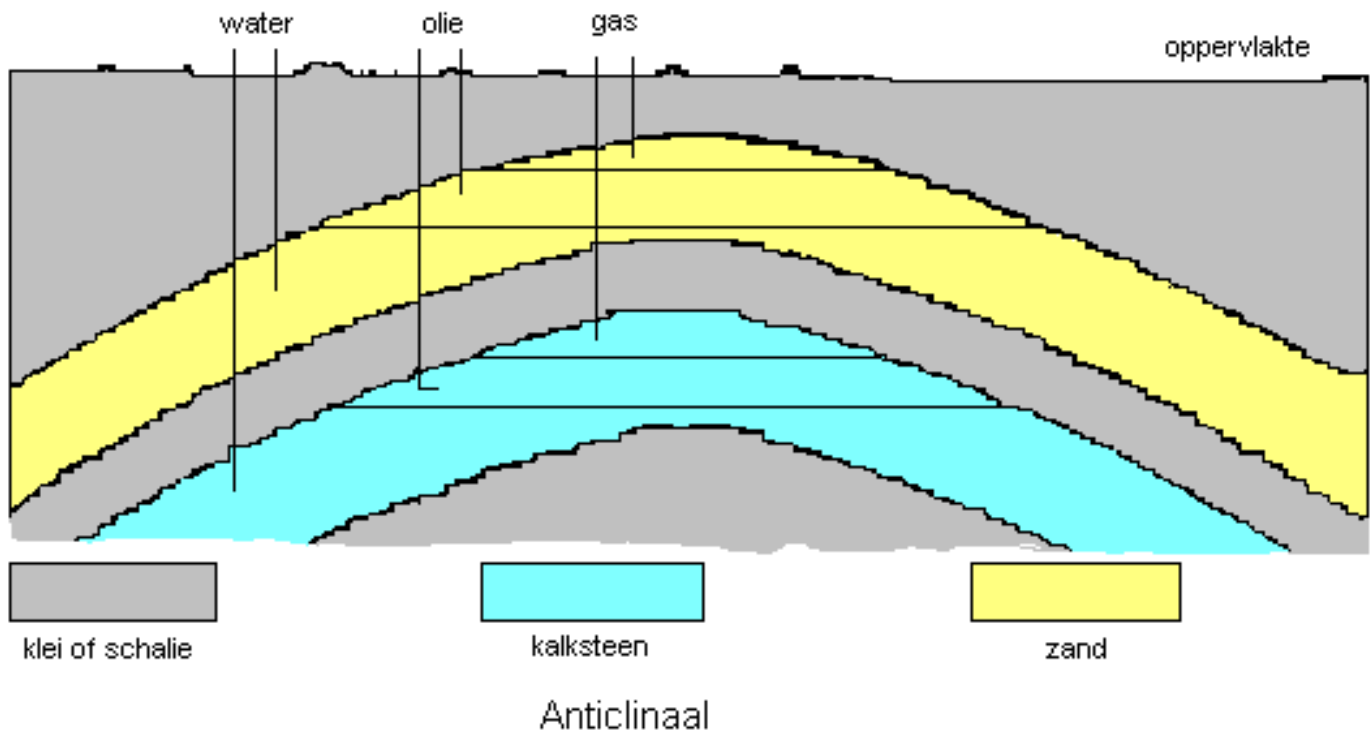
Wij zagen reeds, dat van een 'trap' wordt gesproken, wanneer olie en gas zich door bepaalde geologische omstandigheden op een of meer plaatsen in het reservoirgesteente kunnen verzamelen, maar hieruit niet kunnen ontsnappen.

Deze situaties ontstonden door bewegingen van de aardkorst. Soms waren deze bewegingen eenvoudig en vinden wij velden, die economisch te exploiteren zijn. In andere gevallen zijn zulke ingewikkelde geologische situaties ontstaan, dat het naar de huidige maatstaven niet loont olie of gas te winnen.

De meest algemene vormen van traps zijn:

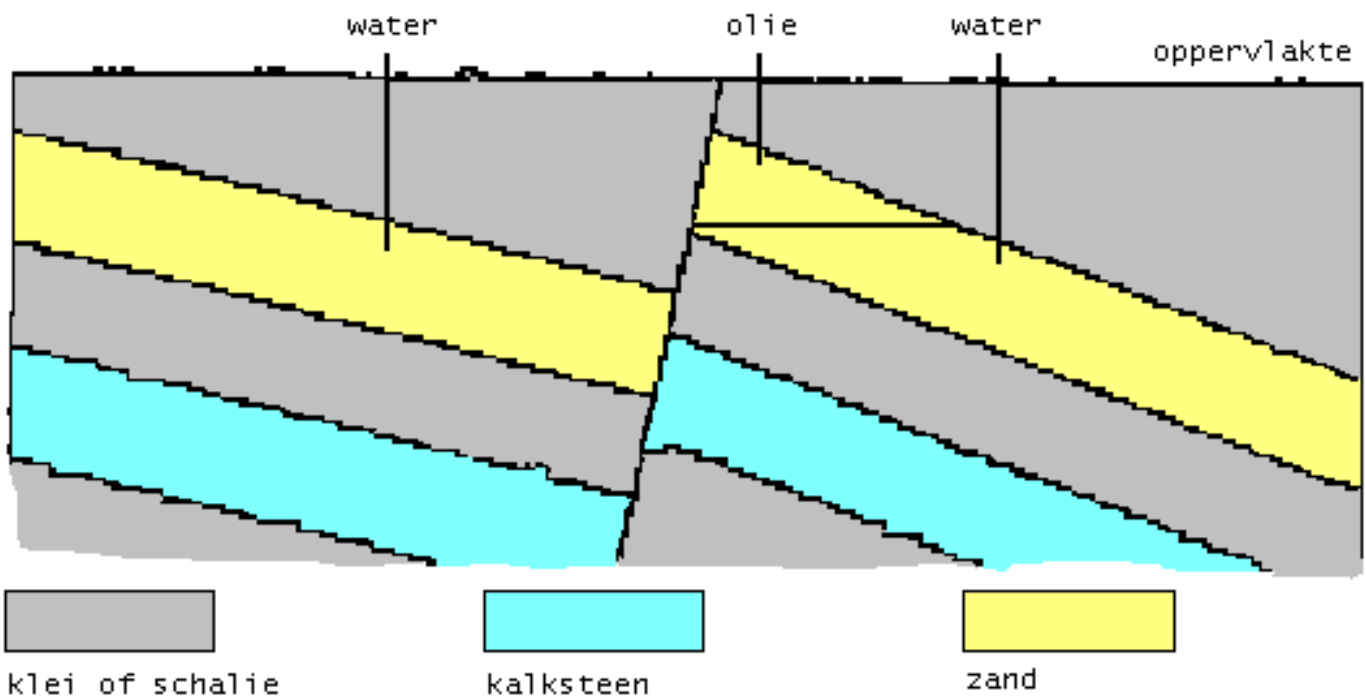
Anticlinaal

Bij een anticlinaal hebben olie en gas zich onder de opwelling van een geplooid deklaag kunnen verzamelen, terwijl het water door verschil in dichtheid naar beneden is gezakt.



Breuk

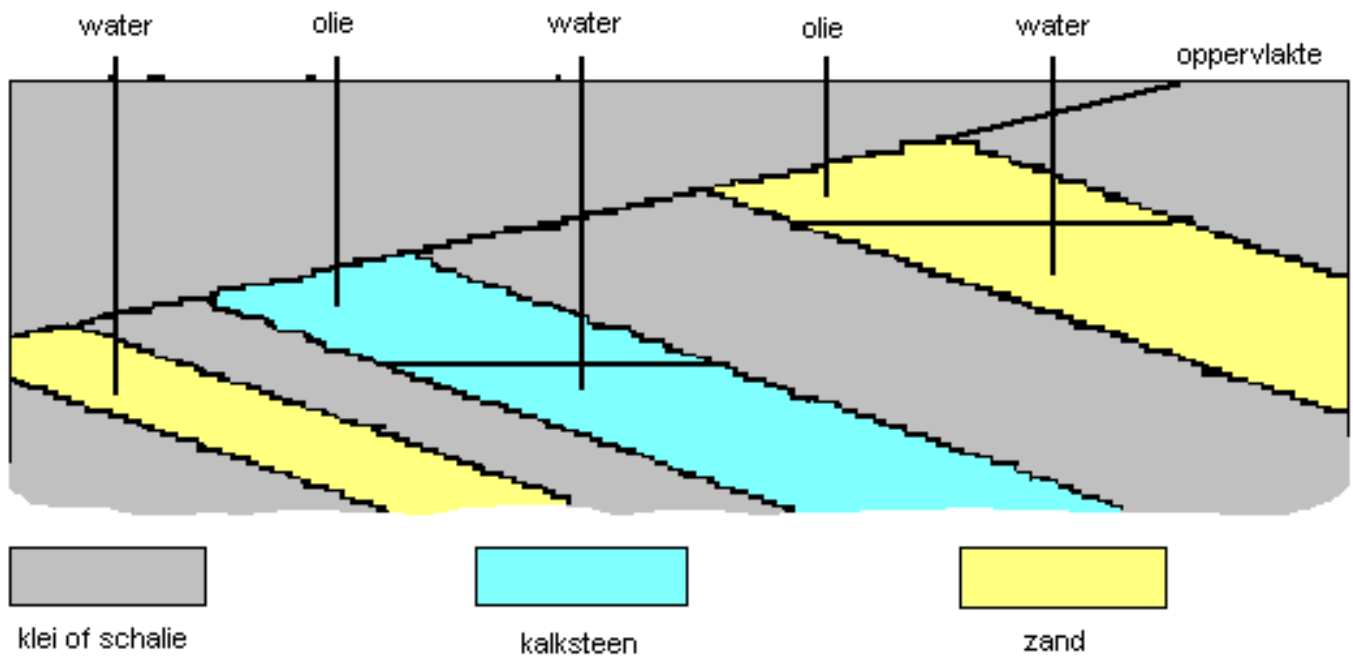
Bij een breuk zijn de gesteentelagen zodanig gebroken en afgeschoven, dat de deklaag migratie van gas of olie uit het reservoirgesteente naar boven verhindert.



Breuk

Discordantie

De randen van gekantelde lagen zijn afgeslepen, waarna een deklaag aan de bovenzijde van het reservoirgesteente is afgezet.

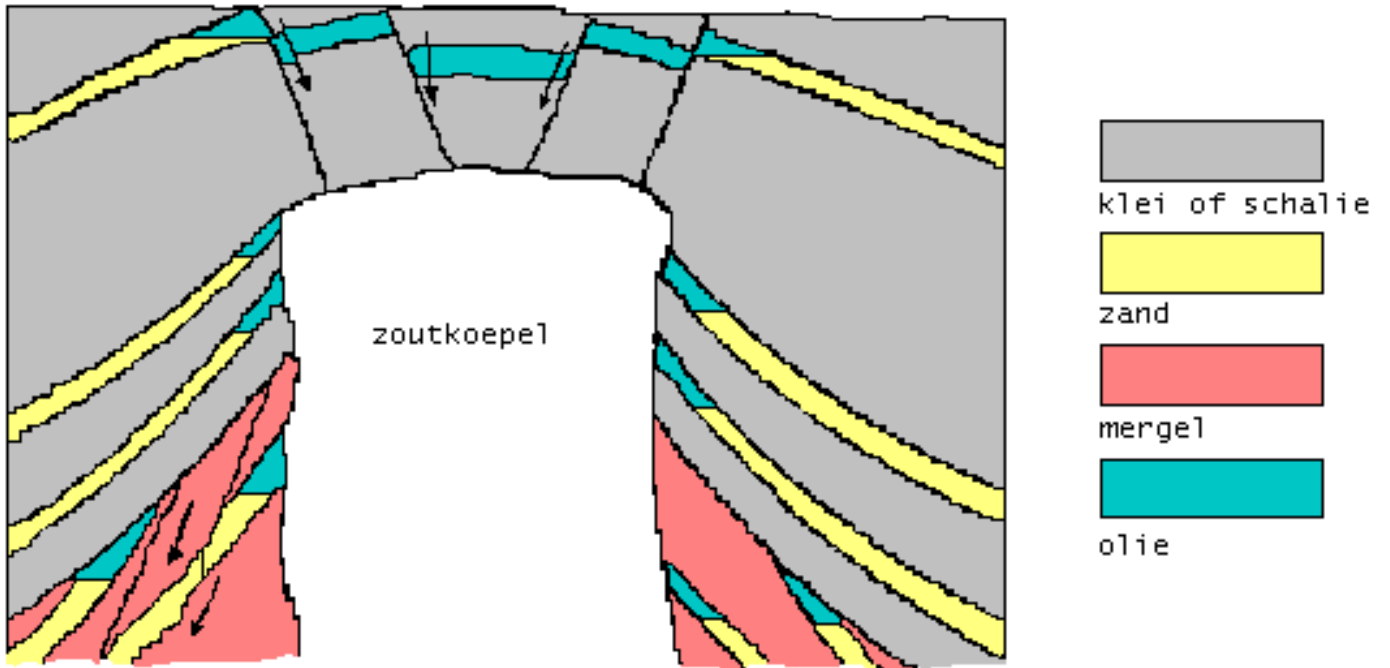


Discordantie

Zoutkoepel

Steenzout gedraagt zich onder hoge temperatuur en druk als een plastisch materiaal. Door drukverschillen

werd dit zout door het reservoirgesteente naar boven geperst en zijn grote zoutkoepels ontstaan. Deze verhinderen de migratie van olie of gas naar bovenliggende lagen.



Zoutkoepel - 'trap'

Het ontstaan van olie- en gasreservoirs is afhankelijk van een reeks geologische omstandigheden. De meest directe methode om olie- en gasreservoirs aan te tonen is het boren van putten.

Opsporing

Het zoeken naar olie en gas wordt steeds moeilijker en de exploratiebedrijven zijn gedwongen onder steeds moeilijker omstandigheden en op grotere diepten te boren. De boorkosten zijn evenredig gestegen. Het is daarom zowel technisch als economisch gezien (de tijdsduur) niet verantwoord naar olie en gas te zoeken door alleen maar exploratieputten te boren.

Wij moeten de opsporing (exploratie) beginnen door gebruik te maken van technieken, waarmee wij niet direct olie en gas kunnen aantonen, maar waarmee wij een aanwijzing kunnen krijgen, dat de geologische voorwaarden voor eventuele accumulatie ervan aanwezig zijn.

Als uit de geologische gegevens blijkt, dat zowel olie als gas aanwezig zou kunnen zijn, zal worden overgegaan tot het boren van een exploratieput.

De exploratietechnieken, die kunnen worden gebruikt, zijn:

- **Geologische opsporing;**
- **Geofysische opsporing;**
 - **Gravimetrisch;**
 - **Seismisch;**
 - **Magnetisch;**
 - **Elektrisch;**
 - **Geochemisch.**

Geologische opsporing

De aarde wordt door landmeters in kaart gebracht en geologen maken kaarten van de aardlagen die aan de oppervlakte liggen. Dit is een zeer uitgebreid werk, waarbij iedere verandering moet worden opgetekend.

Gedetailleerde kaarten van een klein gebied vertonen zeer veel bijzonderheden (tot laagrichtingen toe), terwijl de kaarten van grotere gebieden alleen de belangrijkste kenmerken aangeven (gesteentesoort, geologische ouderdom enz.).

De geoloog gaat er in het algemeen zelf op uit om waarnemingen in het veld te verrichten. Met de hamer worden gesteentemonsters losgeslagen en volgens een vast systeem geregistreerd. Veelal wordt de bemonstering volgens een vast, op statistiek gebaseerd, systeem gedaan (bijvoorbeeld iedere 100 m).

Vooraf de zogenaamde **ontsluitingen** geven de geoloog veel informatie. Dit zijn plaatsen, waar de structuur en de samenstelling van de directe ondergrond kunnen worden waargenomen.

Veelal zijn dit wanden van steile rivierdalen, groeven, bergen enz.

De ligging en karakteristieken van de gesteentelagen en de daarin gevonden fossielen worden nauwkeurig opgetekend.

Ook kunnen er ondiepe putten worden gegraven op plaatsen waar men meer informatie wil verzamelen. Alle gegevens worden op het geologisch bureau bestudeerd en onderzocht. De exploratiegeoloog zal nu alle gegevens trachten te combineren ten einde een logische wordingsgeschiedenis van een bepaald gebied te ontwikkelen.

De exploratiegeoloog werkt dus grote gebieden af en heeft tot taak veelbelovende gebieden te selecteren. In principe blijven de activiteiten beperkt tot de aardoppervlakte, maar de geologische uitleg van een gebied zal zich uitstrekken tot de diepte (hellende en geplooid aardlagen).

De uiteindelijke gedetailleerde geologische kaart is vaak samengesteld uit duizenden waarnemingen, die over een aantal jaren verzameld zijn. Indien er aanwijzingen zijn van de 'olieprovincies' of gebieden, waarvan de ervaring leert, dat er olie- of aardgasaccumulaties zouden kunnen worden gevonden (gebergtevorming met veel sedimenten of een gebied, dat een natuurlijk vervolg is op een gebied, waar olie of aardgas is gevonden), wordt er aan de hand van de beschikbare gegevens een gebied geselecteerd, waarvoor een exploratieconcessie wordt aangevraagd.

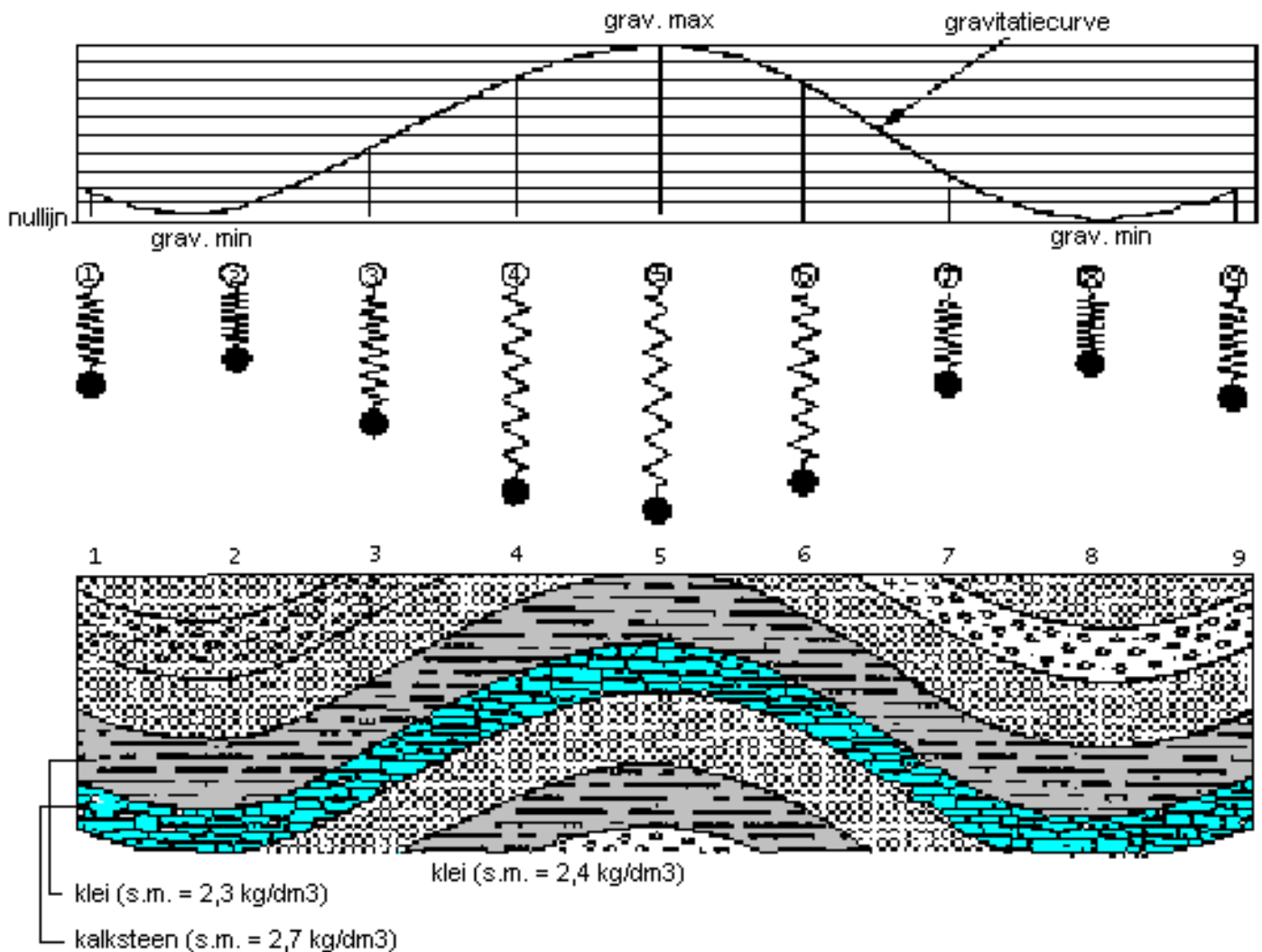
Na het verkrijgen van een concessie voor een bepaald gebied zullen andere vakgroepen een veel gedetailleerder beeld trachten samen te stellen om uiteindelijk de keuze van een boorplaats mogelijk te maken.

Geofysische opsporing

De meeste aan de oppervlakte zichtbare oliehoudende structuren in de Verenigde Staten waren tegen het midden van de jaren '20 in kaart gebracht; er waren nieuwe methoden nodig om structuren te vinden, die niet met behulp van oppervlaktegeologische methoden konden worden opgespoord. Dit waren o.a. de gravimetrische, de seismische, de magnetische, de elektrische en de geochemische methoden. Deze methoden zullen hierna in het kort worden beschreven.

Gravimetrische methode

De eerste van deze nieuwe methoden was de gravimetrische methode; hierbij wordt een torsiebalans gebruikt om de kleine toename in de zwaartekracht te ontdekken, die optreedt, wanneer gesteentemassa's met een grotere soortelijke massa onder het aardoppervlak omhoogrijzen (zie onderstaande figuur).



Gravimetrische methode

Op deze wijze kan bijvoorbeeld het bestaan van gesteentekoepels worden aangetoond.

Met behulp van deze methode werd het eerste 'zwaartekracht'-olieveld gevonden in Texas, onder de Nash Salt Dome.

Seismische methode

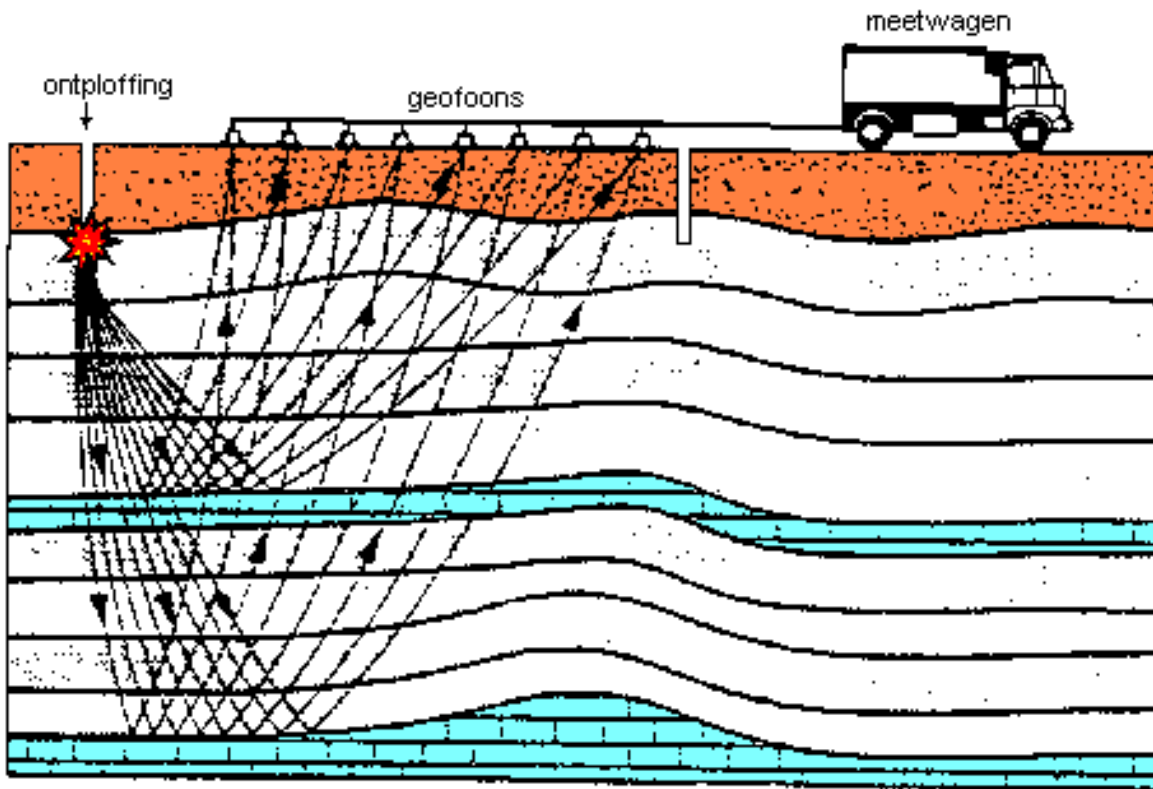
De seismische methode levert wel het meest directe materiaal op over de geologische structuur onder de

oppervlakte.

De methode is gebaseerd op de grote verschillen in de voortplantingssnelheid van geluidstrillingen door diverse gesteentesoorten. Bijvoorbeeld:

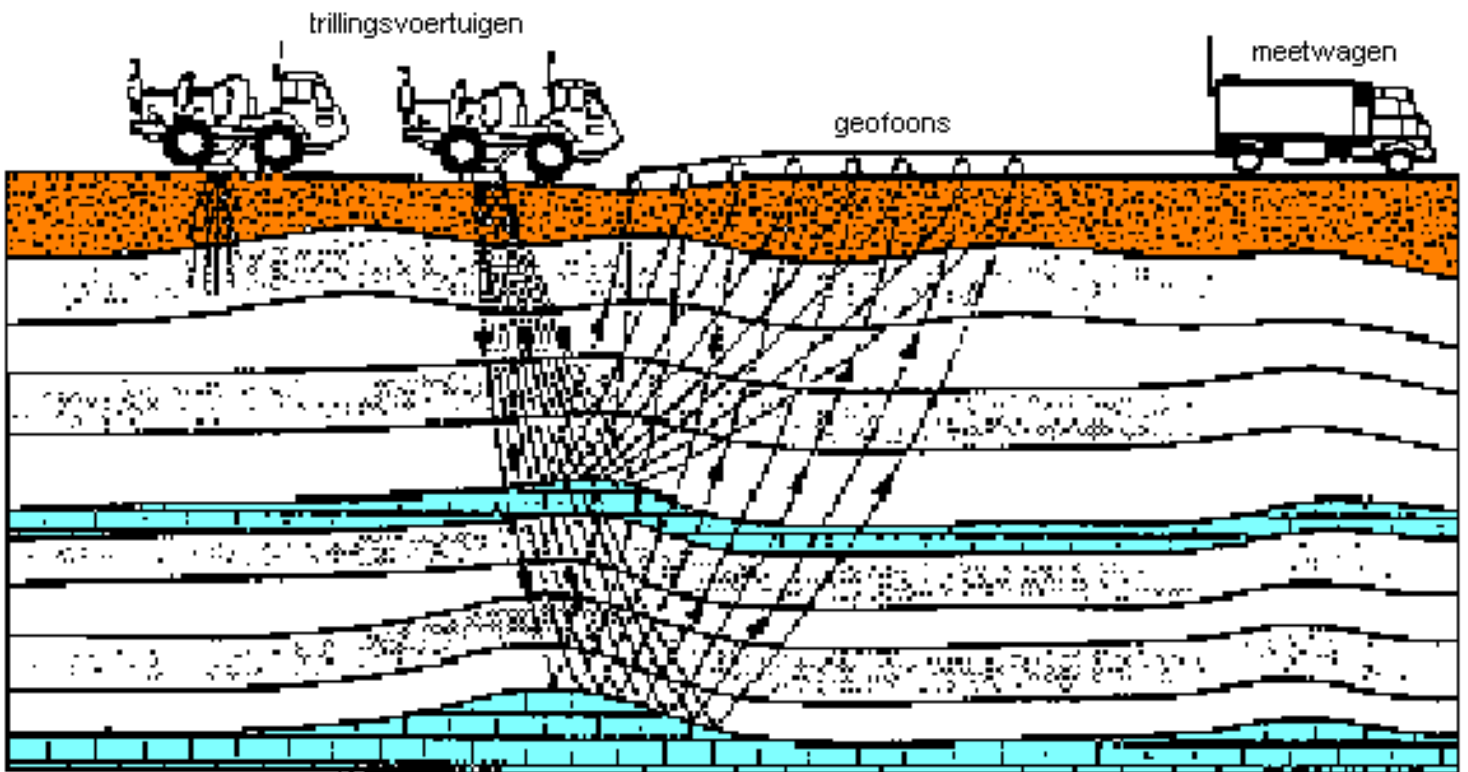
- Tertiaire zanden: 2000 m per seconde
- Zout: 4500 m per seconde
- Dolomiet: 6000 m per seconde

De geluidstrillingen worden kunstmatig opgewekt. De trillingen planten zich in de aarde voort en worden op de grensvlakken van de verschillende lagen gebroken en weerkaatst naar het aardoppervlak. Hier staan in een bepaald patroon gevoelige instrumenten opgesteld, de zogenaamde 'seismometers' of 'geofoons'.



Seismisch onderzoek met behulp van explosieven

De seismometers vangen de trillingen op en geven de signalen door naar de meetwagen, waar alles op de magnetische band wordt geregistreerd. In een computercentrum worden de gegevens vervolgens verwerkt tot seismogrammen. Door de tijdstippen, waarop de geluidsterugkaatsingen binnenkomen, te vergelijken kan men de tijd, die de trillingen nodig hadden voor het traject oppervlakte-grensvlak-oppervlakte', berekenen. De voortplantingssnelheid van schokgolven in de verschillende gesteenten is uit ten minste één boring in dat gebied bekend en daarmee kan de diepte van ieder grensvlak worden berekend.

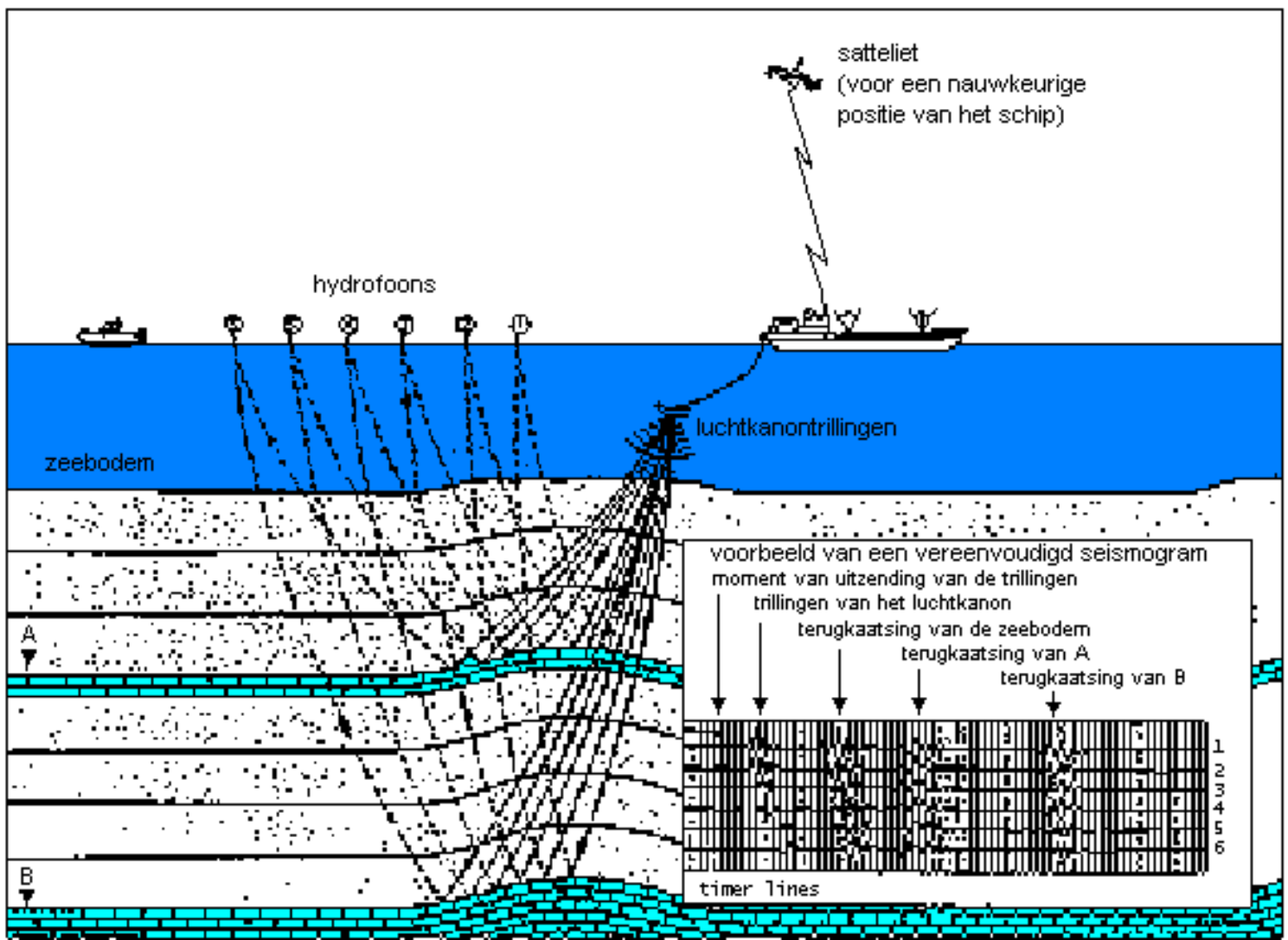


Seismisch onderzoek met behulp van trillingsvoertuigen

Door nu de verschillende seismogrammen samen te voegen ontstaat een beeld van het verloop van de lagen en kunnen accumulatiestructuren worden herkend.

Tot 1960 werden bijna uitsluitend kleine ladingen explosieven gebruikt om de geluidstrillingen op te wekken.

Tegenwoordig wordt veel meer gebruik gemaakt van andere methoden, die veiliger en goedkoper zijn. Aan land kan gebruik worden gemaakt van speciale trillingsvoertuigen (vibrator vehicles), die op mechanische wijze trillingen de grond in kunnen sturen.



Seismisch onderzoek offshore

Bij seismisch onderzoek op zee wordt gebruik gemaakt van een 'luchtkanon', dat gecomprimeerde lucht naar de zeebodem stuurt. (Een hydrofoon is een gefoon, die op zee wordt gebruikt.)

Magnetische methode

De magnetische methode meet de kracht en de richting van het magnetische veld van de aarde. De ligging van de gesteenten wordt uit de onderlinge verschillen tussen deze factoren afgeleid.

Magnetische onderzoeken kunnen nu worden verricht vanuit laagvliegende vliegtuigen. Hierdoor kunnen het onderzoek en de kartering snel worden uitgevoerd.

Elektrische methode

Elektrische methoden zijn gebaseerd op grote verschillen in elektrische weerstand tussen diverse gesteentesoorten. Zij kunnen bruikbare gegevens opleveren over gesteenten die zich onder een betrekkelijk dunne laag afzettingen bevinden.

Methoden, die op hetzelfde principe zijn gebaseerd, worden ook veelvuldig gebruikt tijdens het boren van een put. De formaties waarvoorheen is geboord worden dan tussentijds onderzocht en geanalyseerd.

Geochemische methode

De praktische waarde van deze methode is twijfelachtig. Deze methode is gebaseerd op de verwachting, dat

in de lagen, die boven accumulaties van olie en gas liggen, kleine hoeveelheden gas kunnen doordringen. Dit gas zou in de bovenlaag van de aardkorst door middel van chemische analyse kunnen worden opgespoord. Andere methoden zijn gebaseerd op het aantonen van bacteriën, die op de aanwezigheid van zeer kleine hoeveelheden koolwaterstofgas zouden wijzen.

Exploratieboring

Wanneer uit het geologisch en geofysisch onderzoek blijkt, dat er op een bepaalde plaats olie en gas aanwezig kunnen zijn, kan daar een exploratieboring worden gedaan. Het bewijs, dat een formatie werkelijk olie of gas bevat, kan alleen worden geleverd door het verrichten van een exploratieboring.

Tijdens de exploratieboring worden gegevens over de aard van het gesteente verzameld ten einde een geologisch model van het gebied op te stellen. Op basis van het geologische model kan er een beslissing worden genomen over de noodzaak meer exploratieboringen te doen.

Uit de gegevens van de diverse exploratieboringen moet blijken of er winbare hoeveelheden olie en gas in de formatie aanwezig zijn.

De wetenschap, die zich bezighoudt met het verzamelen van gegevens tijdens de boring en de interpretatie daarvan, is de petrofysica.

Petrofysica

Tijdens het boren van de exploratieput worden allerlei gegevens verzameld om petrofysische, geologische en boortechnische redenen.

De petrofysica houdt zich bezig met het verzamelen en interpreteren van alle informatie, die kan bijdragen tot de evaluatie van olie- en aardgasvoorkomens.

De doelstellingen van het petrofysisch onderzoek zijn:

- Het lokaliseren van reservoirs.
- Het vaststellen van de aanwezigheid van koolwaterstoffen.
- Het evalueren van de koolwaterstofhoudende formaties.
- Het onderscheid maken tussen olie en gas.

Hiervoor maakt men gebruik van de navolgende middelen:

- Kernmonsters
- Boorgruis
- Putwandmonsters

Het nadeel van deze middelen is dat zij duur zijn en niet alle benodigde informatie opleveren. Bovendien kunnen zij alleen via andere specialisten worden verkregen.

De nadelen van deze **directe methoden** waren zodanig, dat de olie-industrie uitzag naar andere methoden. Dit resulteerde in de introductie van de elektrische-log-methode, een **indirecte methode**.

Loggen is een continue registratie van een fysische grootte als een functie van de diepte.

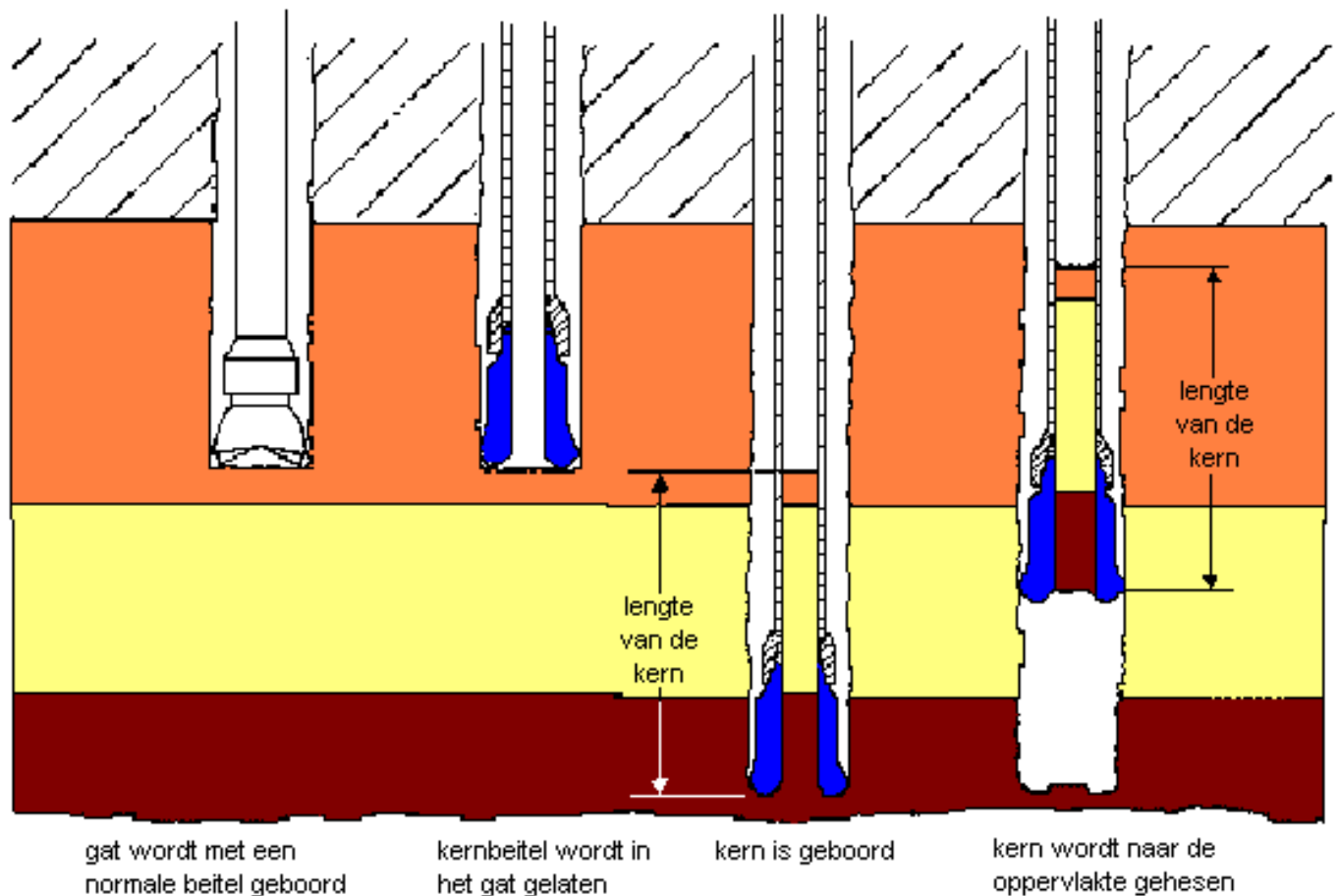
Log-methoden worden indirecte methoden genoemd, omdat niet altijd de gezochte eigenschappen van het reservoirgesteente zelf worden gemeten, maar andere eigenschappen, die weer worden gebruikt om de gewenste eigenschappen te berekenen.

De directe methoden worden nog steeds, zij het minder vaak, toegepast. Zij zijn essentieel voor het verkrijgen van gegevens, die loggen niet kan opleveren, zoals de permeabiliteit.

Verder zijn deze methoden nodig om verbanden te kunnen leggen tussen logresultaten en eigenschappen van reservoirgesteenten.

Directe methoden

Boorgruis is in de allereerste plaats nodig voor geologische studies. Daarom worden veelvuldig boorgruismonsters genomen (na iedere 1-1,5 m boren), geregistreerd en beschreven.



Werking van de kernbeitel

Het onderzoeken van **boorgruis** kan informatie geven over het type van sedimentgesteente, hetgeen belangrijk is voor het uitwerken van de logresultaten om de porositeit van het gesteente vast te stellen. Om de samenhang vast te stellen tussen de formatie-eigenschappen en de log-resultaten worden **kernmonsters** gebruikt. De kern wordt in zijn geheel onderzocht en de resultaten worden vergeleken met de log-resultaten. Van belang is, dat de kernen in de juiste volgorde worden gehouden en bijvoorbeeld niet in de kernkisten worden verwisseld. Speciale aandacht voor het nummeren en merken van de kernen is daarom vereist.

Voor het nemen van kernmonsters wordt een zogenaamde holle kernbeitel, een zogenaamde kernkroon, gebruikt.

Bovenstaande figuur laat zien, hoe de monsternamen met een dergelijke kernbeitel in zijn werk gaat.

Loggen

De gegevens, die door middel van bovengrondse metingen over formaties, de put en de formatie-inhoud worden verkregen, zijn meestal onvoldoende om goed gefundeerde conclusies te trekken. Bovendien worden deze metingen verricht onder totaal andere condities (zoals temperatuur en druk) dan in de formaties. Het ligt voor de hand, dat daardoor verkeerde conclusies kunnen worden getrokken.

De directe metingen, die in het boorgat worden verricht, ondervangen deze problemen slechts gedeeltelijk. De ervaring heeft geleerd, dat er behoefte was aan betere methoden. De elektrische-log-technieken werden als antwoord daarop ontwikkeld. Het is nu mogelijk de belangrijkste kenmerken van de gesteenten in een boorgat te verkrijgen met behulp van speciale instrumenten, die in de put worden neergelaten.

Het is tegenwoordig normaal, dat loggen in elke belangrijke fase van ontwikkeling van een put verscheidene malen wordt toegepast.

In ieder geval gebeurt dit:

- tijdens de boorfase en nadat de einddiepte van de put is bereikt;
- tijdens de voorbereidingsfase voor de productietests;
- tijdens de productietestfase;
- op regelmatige tijden tijdens de productiefase.

Het loggen gebeurt in de praktijk door een instrument, dat aan een kabel in de put wordt neergelaten. Het beweegt met een constante snelheid over het traject, dat moet worden gelogd. De reacties van de verschillende formaties op de uitgezonden signalen, worden continu gemeten en bovengronds op een log met een continue schrijver vastgelegd.

Veelal worden verschillende log-methoden na elkaar toegepast. De interpretatie van de logs geeft vaak pas na combinatie van de verschillende metingen waardevolle informatie, bijvoorbeeld omtrent de bovengrens en de dikte van het reservoirsteente en gas/oliecontacten.

Het loggen kan worden onderverdeeld in een paar categorieën die gebaseerd zijn op de verschillende principes van toepassing:

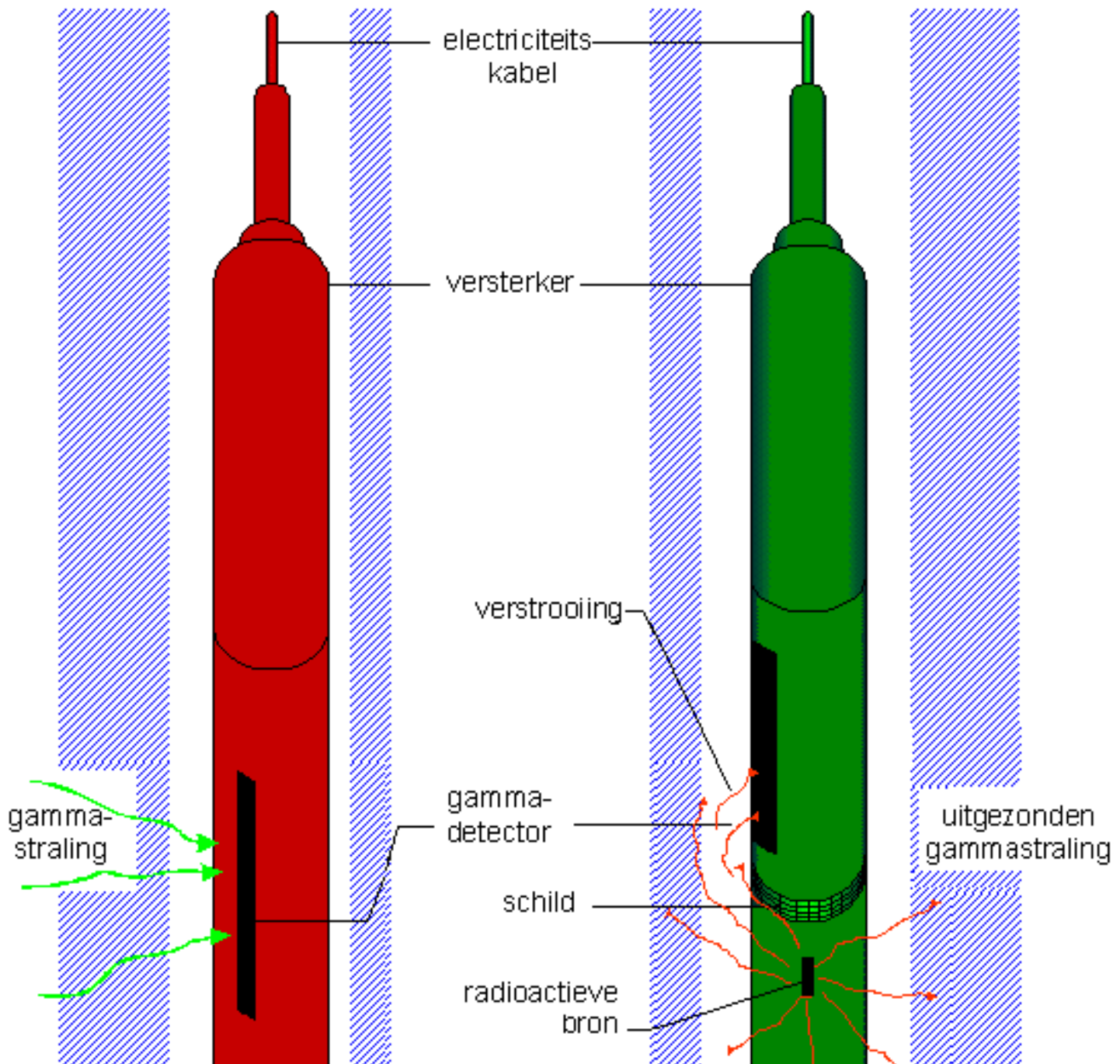
- radioactiviteit-loggen;
- akoestisch loggen;
- electrisch loggen;
- spontane-potentiaal-loggen.

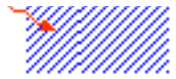
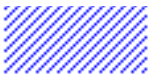
Log-methoden

Radioactiviteit-loggen

Het principe van radioactiviteit-loggen is het meten van de natuurlijke radioactieve straling (gammastraling) van gesteente. De hoeveelheid van deze uitgezonden gammastraling is voor elke gesteentesoort verschillend. Door meting van deze gammastraling kan informatie worden verkregen omtrent de diepte, de dikte en de aard van gesteenten.

Meting van gammastraling kan op verschillende manieren gebeuren. Men kan de natuurlijke radioactiviteit van gesteente meten, de zogenaamde **passieve meting** (zie onderstaande figuur). Er kan ook gebruik worden gemaakt van een radioactieve bron. De gammastraling, die door deze bron wordt uitgezonden, wordt in het gesteente verstrooid. Deze verstrooiing kan vervolgens worden gemeten. Dit type van meting noemt men **actieve meting**.





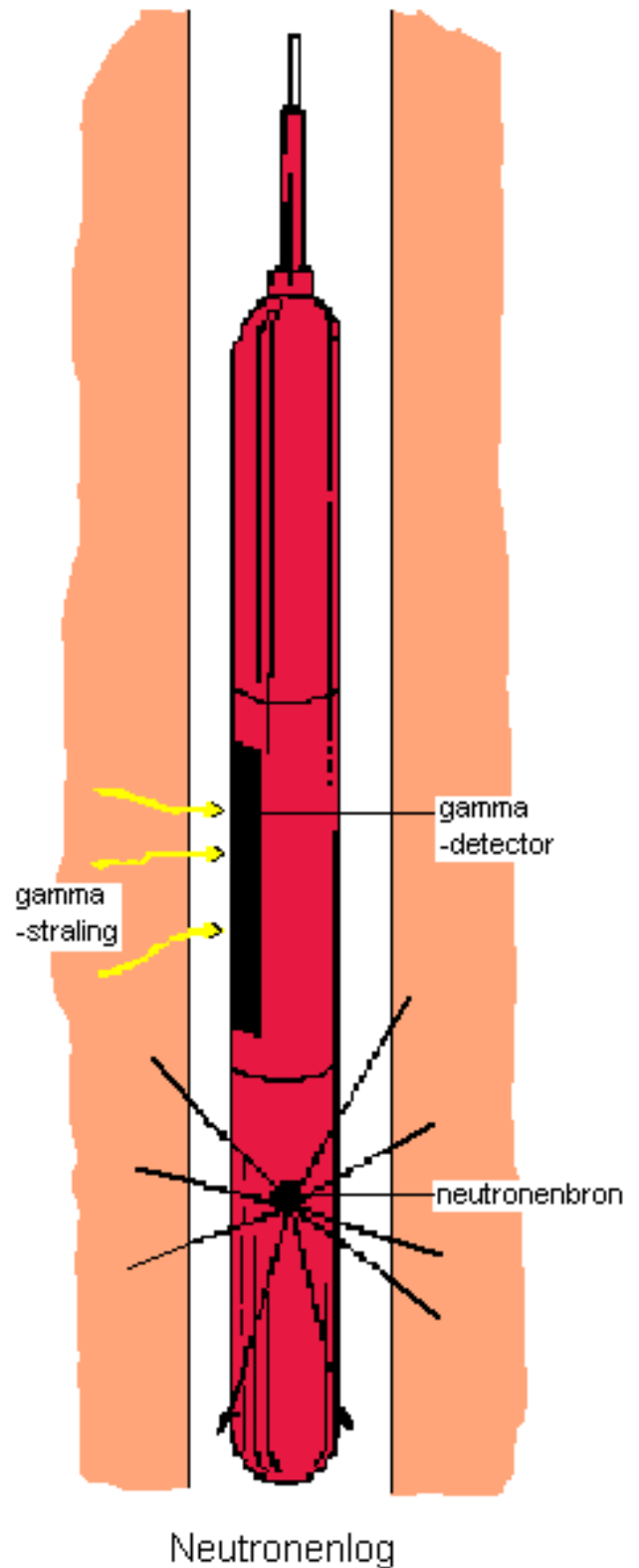
Een andere methode van radioactiviteit-loggen is het zogenaamde **neutronen-loggen**.

Bij deze methode wordt de hoeveelheid gammastraling die vrijkomt bij het bombarderen van gesteente met neutronen (deeltjes uit een atoomkern) gemeten.

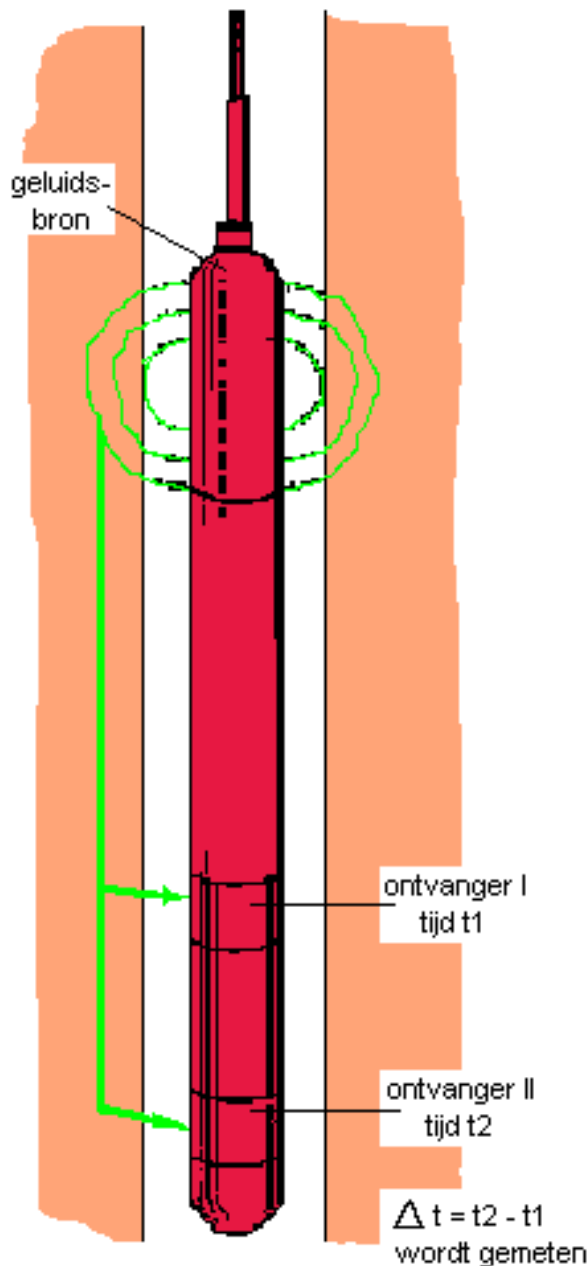
Waterstof blijkt dan zeer weinig gammastraling uit te zenden.

Een hoog gehalte aan waterstof vlak bij de neutronenbron zal dan resulteren in een lage hoeveelheid gammastraling (radioactiviteit); een laag waterstofgehalte resulteert in een hoge gammastraling. Waterstof komt voor in gas, olie en water.

Uit de resultaten van de neutronen-log kan dus informatie worden verkregen omtrent de porositeit van het gesteente en de aanwezigheid van koolwaterstoffen.



Akoestisch loggen



Akoestisch loggen

Het principe van akoestisch loggen is het meten van de geluidssnelheid door gesteente.

De snelheid van het geluid door massief gesteente is veel groter dan door een gas of een vloeistof.

In het algemeen zal de geluidssnelheid door poreus reservoirgesteente (dat olie of gas bevat) dus lager zijn dan door massief gesteente.

Bij deze meting wordt geluidmeetapparatuur, die is uitgerust met een geluidbron en een geluidontvanger, afgelaten in het boorgat (zie figuur hiernaast).

Het geluid gaat van de bron naar de ontvangers via het boorgat en de formatie.

De tijd, die de echo van het geluid nodig heeft om een bepaalde afstand door het gesteente af te leggen, wordt gemeten met de ontvanger.

Deze tijd is dus een maat voor de porositeit van het gesteente.

Elektrisch loggen

Het principe van elektrisch loggen is het meten van de weerstand, die een elektrische stroom in gesteenten ondervindt.

Gesteente geleidt de stroom slecht, tenzij er in het gesteente zout water aanwezig is. Zout water is in staat de stroom te geleiden en verlaagt daardoor de weerstand van het gesteente. Hoe hoger het zoutgehalte van het water is, des te lager is de weerstand.

Is er naast water ook olie (niet geleidend) aanwezig, dan zal de weerstand weer groter zijn.

De hoeveelheid water in het gesteente (de waterverzadiging S_w) is mede afhankelijk van de porositeit van dat gesteente.

Samenvattend kan worden gezegd, dat de weerstand, die de stroom ondervindt, zal toenemen bij:

- lagere porositeit van het gesteente;

- lager zoutgehalte van het water;
- toename van het oliegehalte.

Spontane-potentiaal-loggen (SP-loggen)

Het principe van deze log-methode is het meten van spontane potentiaalverschillen, die kunnen optreden tussen reservoirgesteente in boorgaten.

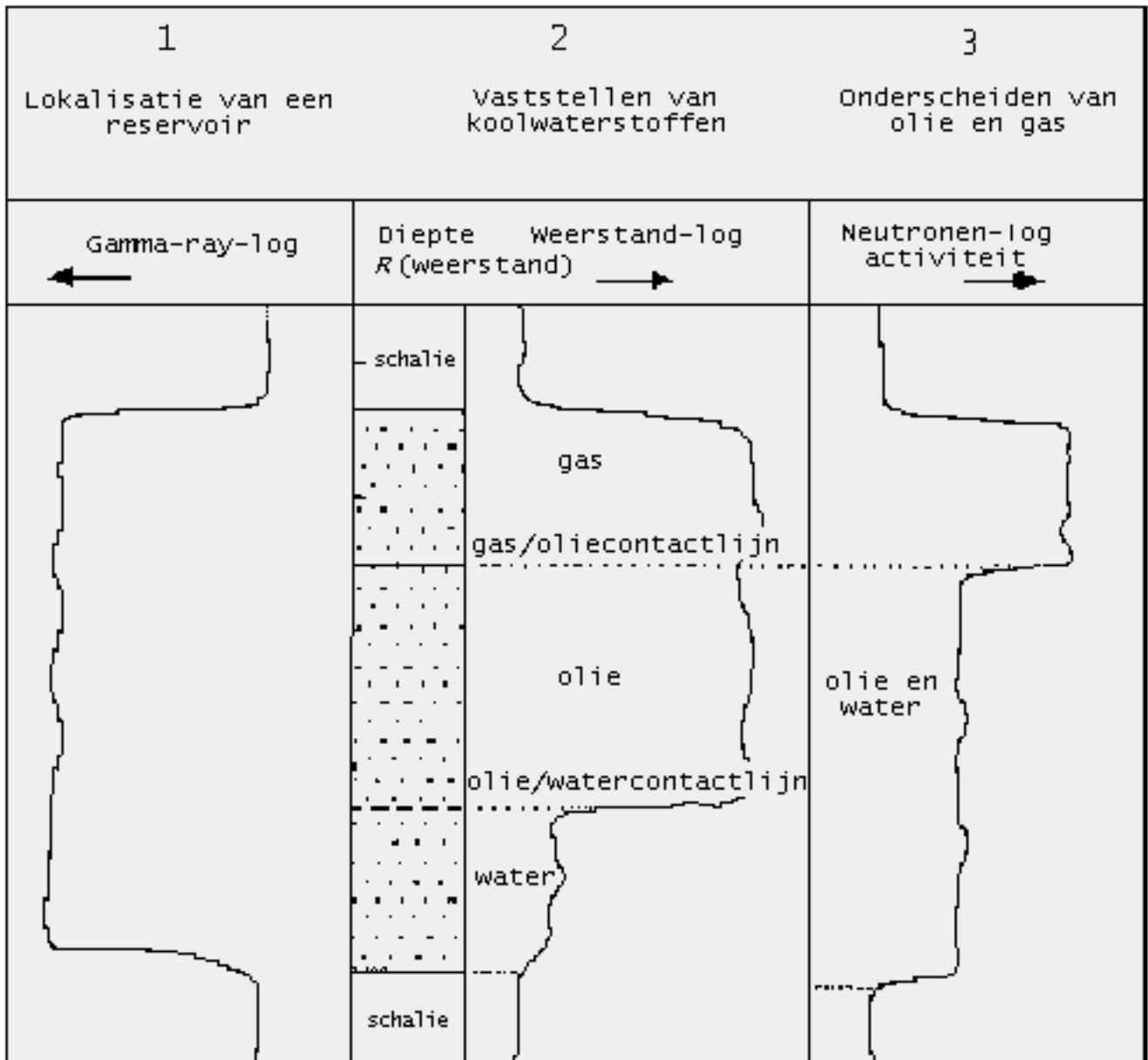
De SP-log-methode berust op het spontane-potentiaalverschil tussen diverse formatielagen en -laagjes in aanwezigheid van een vloeistof, die stroom kan geleiden, een zogenaamde elektrolyt. De 'laagjes' zijn dan te vergelijken met de twee platen van verschillend metaal in een accu, waartussen zich elektrolyt bevindt.

De SP-log registreert deze potentiaalverschillen en geeft aan, waar zich reservoirgesteente bevindt en eventueel de dikte ervan.

Interpretatie van log-resultaten

Lokaliseren van reservoirformaties

SP-loggen is het beste hulpmiddel om reservoirformaties te lokaliseren. Dit is echter alleen mogelijk, indien er voldoende verschil in zoutgehalte bestaat tussen spoeling, vloeistof en formatiewater. Is dit niet het geval, dan kan een **gammastraal-log** worden gebruikt.



Log voorbeeld

Dikte van formaties

De dikte (h) van de formaties kan ook worden vastgesteld met behulp van een **SP- of gammastraal-log**.

Porositeit

De porositeit (\hat{O}) kan niet direct worden gemeten met de log-methoden, maar wel kunnen de navolgende gegevens worden verzameld, waaruit de porositeit kan worden afgeleid:

- De geluidssnelheid in de formatie (**akoestisch loggen**).
- Het waterstofgehalte van de formatie (**neutronen-loggen**).

Er zijn enige kernmonsters nodig om de relatie tussen deze gegevens en de porositeit vast te leggen. Ook hier geeft een combinatie van de verschillende log-methoden de beste resultaten.

Waterverzadiging

Om de hoeveelheid water in een formatie te bepalen meet men het elektrische-weerstandsvermogen van de formatie.

Gesteenten zelf geleiden geen stroom, omdat de weerstand ervan oneindig hoog is. De weerstanden van vloeistoffen variëren zeer sterk. Zoet water en olie hebben een grote weerstand, maar zout water heeft een zeer lage weerstand en het geleidt de elektrische stroom zeer goed.

Een reservoirgesteente, dat geheel met zout water is gevuld, zal de stroom geleiden **via** het water. De totale elektrische weerstand zal afhankelijk zijn van:

- de hoeveelheid water in de formatie (porositeit);
- het zoutgehalte;
- de temperatuur.

Als een deel van het water door olie (een niet-geleider) wordt vervangen, zal de totale weerstand toenemen. De weerstand van de formatie is dus ook afhankelijk van de hoeveelheid olie en water.

Uit een combinatie van deze gegevens is het mogelijk de hoeveelheid water en olie te berekenen.

Structurele geologie

Na de petrofysica houdt weer een andere geologische vakgroep zich met het opsporingsproces bezig. De exploratiegeologie is er al eerder bij betrokken geweest; nu volgt de **structurele geologie**.

Het is de doelstelling van de structurele geologie alle bekende gegevens te combineren (ook resultaten van andere vakgroepen) en een ruimtelijk model te creëren van het reservoirvoorkomen.

Dit model zal de vormen en de begrenzingen van het voorkomen aangeven met alle geologische kenmerken, zoals breuken, anticlinalen, traps, waterniveaus, plooingen en overschuivingen.

Het is vaak zo, dat men bij het opstellen van een structureel model juist de ontbrekende elementen beter gaat zien en dus een actieplan kan opzetten om die alsnog te bemachtigen. Als voorbeeld van structurele geologie kan het model van het Groningen-gasveld worden genoemd.

Oorspronkelijk dacht men op seismische gronden met verschillende voorkomens te maken te hebben. Later bleek, dat deze voorkomens met elkaar in verbinding stonden en men feitelijk met één groot gasvoorkomen te maken had.

Olie- en gasvoorkomens kunnen zeer gecompliceerd zijn. Veelal zullen er in de nabijheid of dieper andere kleine of grotere voorkomens voorkomen.

Door nu alle gegevens op een rij te zetten en er de meest acceptabele verklaring voor te geven kan veelal een redelijk betrouwbaar model van het voorkomen worden gecreëerd.

Het is nu mogelijk de aangetroffen hoeveelheden beter te evalueren en mogelijk plaatsen aan te wijzen, waar zich andere voorkomens zouden kunnen bevinden.

Het is beslist niet zo, dat alle vakgroepen na elkaar aan de verschillende projecten werken. Er zal normaliter veel overleg zijn vanaf het begin, waardoor monsternamen en tests voor verschillende doeleinden kunnen worden gebruikt.

Structurele geologie is een zeer specialistische wetenschap, waarvoor men veel ervaring nodig heeft. De taken met betrekking tot een voorkomen zullen zolang de productie voortgaat onverminderd voortduren. Ieder nieuw gegeven zal in het bestaande model moeten worden ingepast of het model zal moeten worden veranderd.

Samenvatting Winningsmethoden

Formatiedruk is de druk die wij in de poreuze en permeabele gesteenten of formaties met olie of gas aantreffen. Deze druk kan zijn ontstaan als gevolg van:

- hydrostatische druk;
- indrukken van los reservoirzand;
- continue migratie van vloeistoffen en gas.

Natuurlijke winning van olie kan plaatsvinden als de formatiedruk hoog genoeg wordt gehouden door het **stuwingsmechanisme**. Er kunnen drie soorten stuwingsmechanismen worden onderscheiden:

- De **gaskap**, waarbij gas de plaats van de gewonnen olie inneemt en de stuwning veroorzaakt;
- De **depletie**, waarbij de olie door het vrijkomen van opgelost gas wordt omhooggestuwd;
- De **waterstuwning**, waarbij zout water onder druk de olie naar boven kan persen

Maakt men gebruik van deze natuurlijke stuwingsmechanismen om olie of gas naar de oppervlakte te krijgen, dan spreekt men van **primaire winning**. Hieronder vallen ook het gebruik van de **ja-knikker**, een mechanische pomp, en de gaslift.

Bij **secundaire winning** kan onder andere water- of gasinjectie worden toegepast. Door water in het reservoir te injecteren kan de druk van het waterstuwingsmechanisme op peil worden gehouden. Door gasinjectie kan de druk als gevolg van stuwning door de gaskap op peil worden gehouden.

De **tertiare winning** heeft tot doel de viscositeit van de te winnen olie te verlagen, zodat deze gemakkelijker gaat stromen.

De **stoominjectie** is een belangrijke methode, waarbij stoom in het reservoir wordt geïnjecteerd; ook met heet water kan men trachten de stroom van olie te vergroten.

De produktie van een put kan verminderen als gevolg van een verlaagde permeabiliteit door het dichtslibben van de poriën in het gesteente. De produktie kan worden verbeterd door gebruik te maken van **stimulatietechnieken**. Deze technieken worden onderverdeeld in:

- **zuurbehandeling** (acidizing), waarbij met behulp van een zuur de poriën weer worden opgemaakt;
- **breken** (fracturing), waarbij water of zuur met daarin glazen bolletjes of grof zand onder hoge druk in de formatie wordt gepompt. De hoge druk breekt de formatie open en de bolletjes of zandkorrels houden de formatie open.

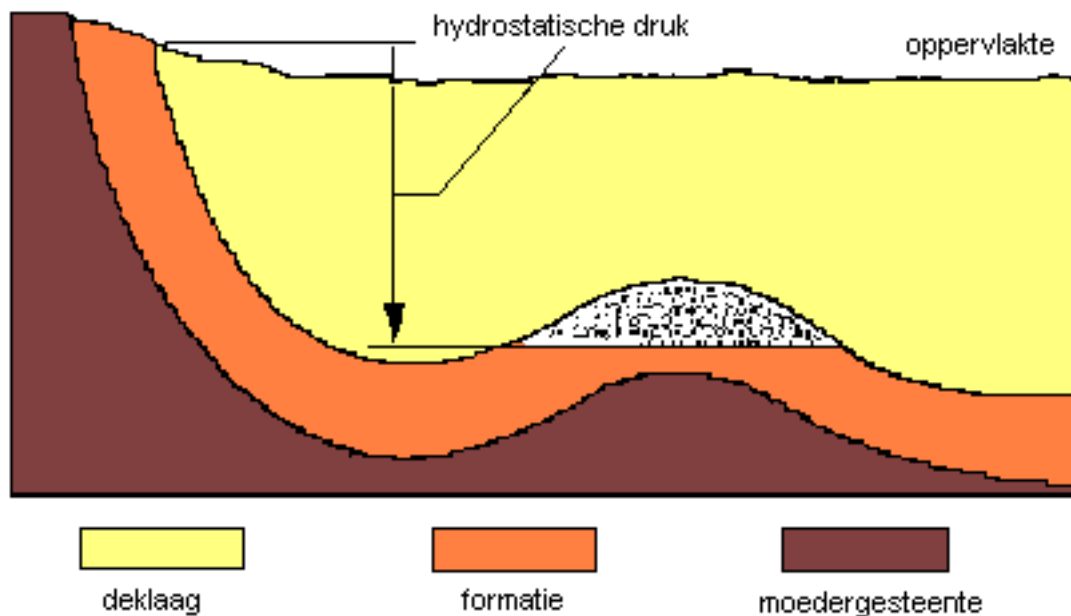
Formatiedruk

Om de plantaardige en dierlijke organismen in de sedimenten in olie en gas om te zetten waren **hoge temperaturen en drukken** nodig. Deze konden ontstaan door een combinatie van geologische bewegingen in de aardkorst, de hitte van de aarde en het gewicht van zand- en modderlagen die werden afgezet. Deze lagen werden in de loop der tijd ingedrukt en veranderden in vaste gesteenten. Zo kon een kolenlaag met een dikte van 1 m. ontstaan uit een laag plantenresten die oorspronkelijk ongeveer 10 m. dik was. Op dezelfde wijze ontstond kalksteen uit lagen schelpen die op de zeebodem werden afgezet.

De temperaturen en drukken van de gesteenten waarin wij olie en gas vinden zijn niet dezelfde als bij het ontstaan. De gesteenten zijn vast geworden, verplaatst en gebroken. Olie en gas zijn gemigreerd naar hoger gelegen lagen en migreren nog steeds.

De druk die wij in de poreuze en permeabele gesteenten of formaties met olie of gas aantreffen noemen wij **formatiedruk**.

Formatiedruk is de druk in de poreuze en permeabele reservoirgesteenten in de aarde. De factoren die de formatiedruk veroorzaken zijn afhankelijk van de geologie van het gebied.



Bijvoorbeeld:

Wanneer wij een voldoende groot gebied bekijken, kunnen wij ons voorstellen dat de formatie via allerlei poriën, kanaaltjes en breuken met de oppervlakte in verbinding staat. Deze ruimten zijn gevuld met water, waardoor zij in de formatie onder druk komen te staan. Deze druk is in theorie gelijk aan de druk van een waterkolom die een lengte heeft vanaf het punt dat wij meten tot aan de oppervlakte. Aangezien een kolom van 10 m. water een druk van ongeveer 1 bar veroorzaakt, zou de vloeistofkolomdruk of hydrostatische druk in de formatie op een diepte van 3000 m. ongeveer 300 bar bedragen. Wij spreken hier van een **open formatie**.

In andere gebieden staat de formatie niet via omwegen in verbinding met de oppervlakte. Dit is

het geval wanneer een nog losse poreuze zandsteen aan alle zijden door impermeabel gesteente is omgeven. Door het gewicht van de bovenliggende sedimenten kan een dergelijk los gesteente nog verder worden ingedrukt en vinden wij drukken die hoger zijn dan de hydrostatische druk die op die diepte zou heersen.

Door de drukverschillen die door deze mechanismen in de gesteenten bestaan, worden olie, gas en water, wanneer de permeabiliteit dit toelaat, van gebieden met hoge druk naar gebieden met lage druk geperst.

Door de verschillende mechanismen die bij de formatiedruk een rol spelen, zijn er ook verschillende 'drive'- of stuwingsmechanismen die voor de productie belangrijk zijn. Enkele van de belangrijkste worden verder in dit hoofdstuk behandeld.

Zoals wij reeds eerder zagen, gaat de migratie door totdat olie en gas en 'trap' worden tegengehouden. Wanneer de trap perfect is, zal geen verdere migratie van geaccumuleerde olie of gas naar boven plaatsvinden en stabiliseert de druk zich. Wij noemen dit **statische druk**. Wanneer een put geboord is zal door deze druk olie en gas naar de oppervlakte worden geperst. Vanaf dit moment zal de druk bij de put dalen en migreren olie en gas van gedeelten in het reservoir met hogere druk naar de put.

De snelheid waarmee de druk vermindert en de redenen die hieraan ten grondslag liggen, zijn uiterst belangrijk om te bepalen hoeveel en hoelang een put zal produceren.

Een van de eerste taken bij het in-productie-nemen van een veld is het bepalen van de winningsmethode voor het gebied. In een onbekend veld is dit in het begin moeilijk, maar wanneer in een gebied reeds enkele velden produceren, kunnen wij meestal aannemen dat alle velden hetzelfde soort van stuwingsmechanisme hebben.

Stuwingsmechanismen

Wij zagen reeds dat formatiedruk door verschillende oorzaken of een combinatie hiervan ontstaat. De belangrijkste oorzaken zijn:

- De hydrostatische druk die ontstaat door het gewicht van de verticale kolom van de met water gevulde verbindingsruimten tussen de formatie en de oppervlakte.
- Het indrukken van los reservoirzand door het gewicht van de bovenliggende impermeabele gesteentelagen in een breukzone. hierdoor komt de olie of het gas in het zandsteen onder druk te staan.
- De continue migratie van vloeistoffen en gas die vanuit gesteenten met hogere drukken naar het poreuze reservoirgesteente worden geperst.

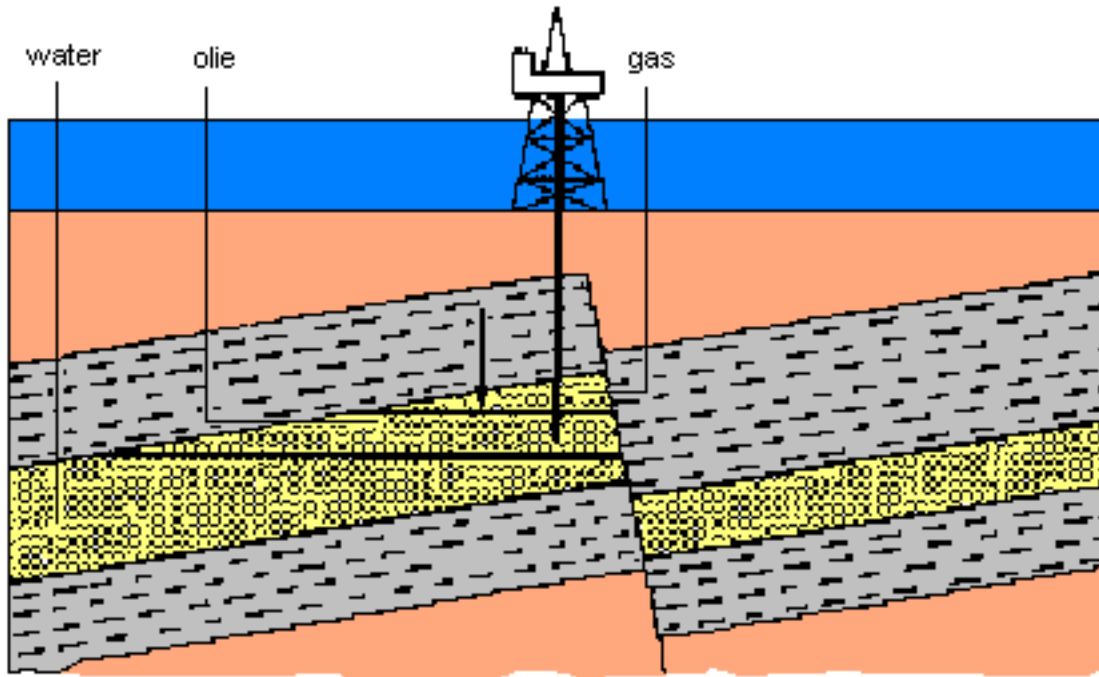
Er bestaan drie soorten 'drive'-of stuwingsmechanismen:

- Stuwing door gaskap;
- Stuwing door depletie;
- Waterstuwing (water-drive).

Winningsmethoden waarbij men gebruik maakt van deze natuurlijke stuwingsmechanismen, noemt men ook wel primaire winningsmethoden.

Stuwing door gaskap

In het reservoir vindt men vaak boven de olie een gaskap. Deze kan alleen aanwezig zijn wanneer de olie verzadigd is met gas. Tijdens de winning van de olie neemt de druk in het reservoir af, waardoor het gas uit de olie kan vrijkomen. Dit gas komt terecht in de gaskap, die daardoor steeds groter wordt. Bij winning expandeert het gas en vult dus de ontstane ruimten op.

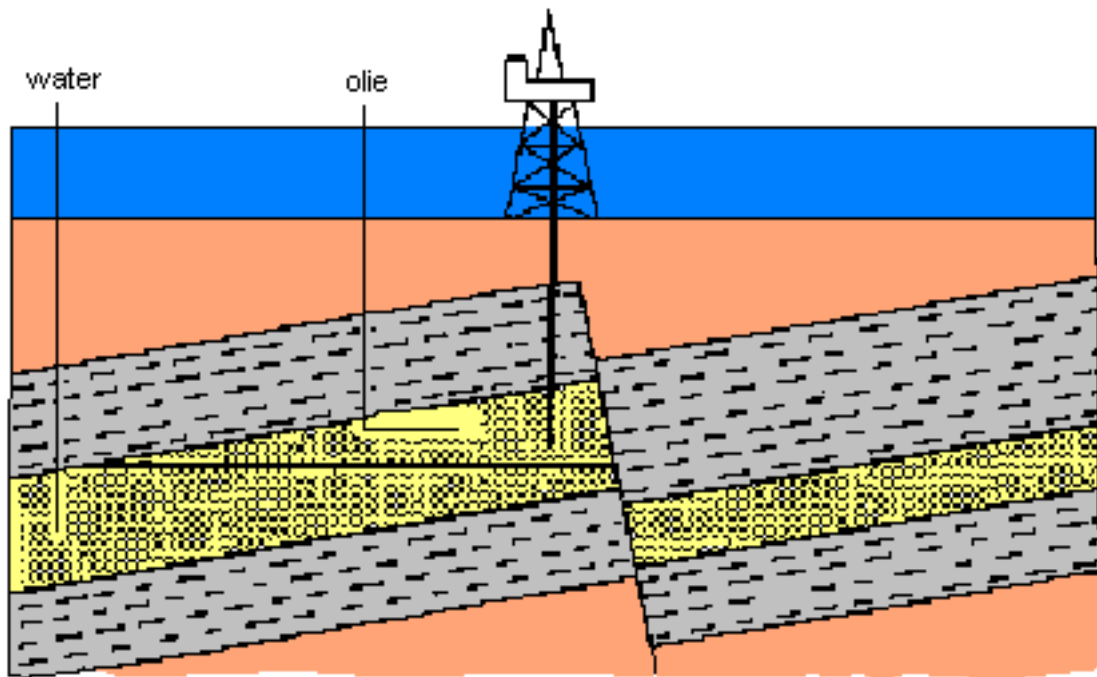


Stuwing door een gaskap

Tijdens de produktie zal de hoeveelheid gas in de gewonnen olie dus steeds kleiner worden. De formatiedruk zal in het algemeen steeds lager worden. Slechts wanneer het reservoirgesteente door bovenliggende lagen verder wordt ingedrukt of wanneer door een dergelijk mechanisme olie en gas uit naastgelegen gebieden worden geperst, zal deze daling van de druk in de formatie worden tegengegaan.

Stuwing door depletie

Het kan ook voorkomen dat de olie in het reservoir niet verzadigd is met opgelost gas. In dit geval komt het gas ook niet vrij en zal er dus geen gaskap worden gevormd.



Stuwing door depletie

In dat geval wordt de olie omhooggestuwd door een andere oorzaak, namelijk door de omgevingsdruk van andere gesteenten. Wanneer met de productie wordt begonnen, daalt de formatiedruk in de omgeving van de put. Wanneer de druk tot beneden het bubble-point daalt, zal het in de olie opgeloste gas plotseling vrijkomen en via het boorgat ontwijken. Hierbij wordt ook olie mee omhooggenomen.

Intermezzo

Het 'bubble-point'

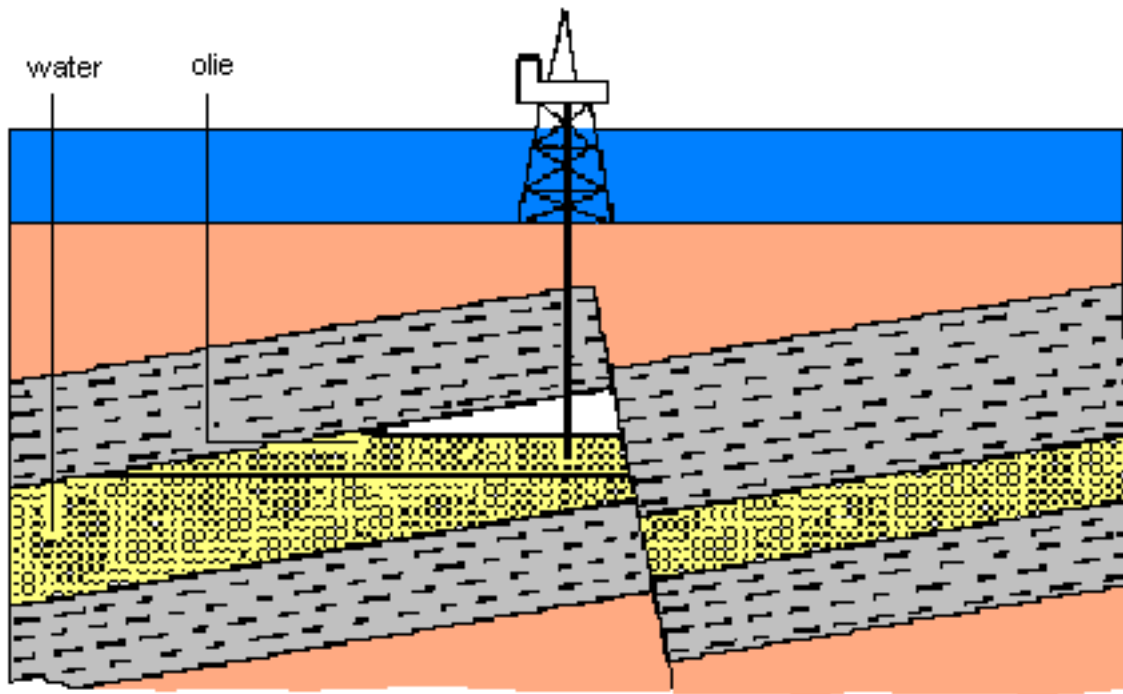
Een gas dat in een vloeistof is opgelost kan hieruit vrijkomen, als de druk wordt verminderd of de temperatuur wordt verhoogd. De temperatuur in een reservoir is min of meer constant. Het gas dat in olie is opgelost, komt dus vrij wanneer de druk in het reservoir wordt verlaagd; het zogenaamde geassocieerde gas.

De druk waarbij gas begint vrij te komen, wordt het 'bubble-point' genoemd. Dit bubble-point is afhankelijk van de temperatuur. Bij een hogere temperatuur is het bubble-point hoger, bij een lagere temperatuur is het bubble-point ook lager. Vergelijk dit verschijnsel met het openen van een flesje cola. Wanneer wij de dop gedeeltelijk losdraaien, zien wij de gasbelletjes langzaam vrijkomen. Openen wij de fles snel, dan spuiten vloeistof en gas eruit.

Tijdens de produktie zal de hoeveelheid gas in de geproduceerde olie toenemen, omdat door daling van de druk in de olie steeds meer opgelost gas vrijkomt. Ook hier zal de formatiedruk in het algemeen steeds lager worden, tenzij deze door een ander mechanisme op peil wordt gehouden of er zoveel gas vrijkomt, dat het vrijkomende volume in het reservoir wordt opgevuld.

Waterstuwing (water-drive)

Onder de olie in een reservoir wordt vaak zout water aangetroffen. Wanneer de druk van dit water voldoende hoog is, worden olie en gas uit het reservoir via de put naar boven geperst.



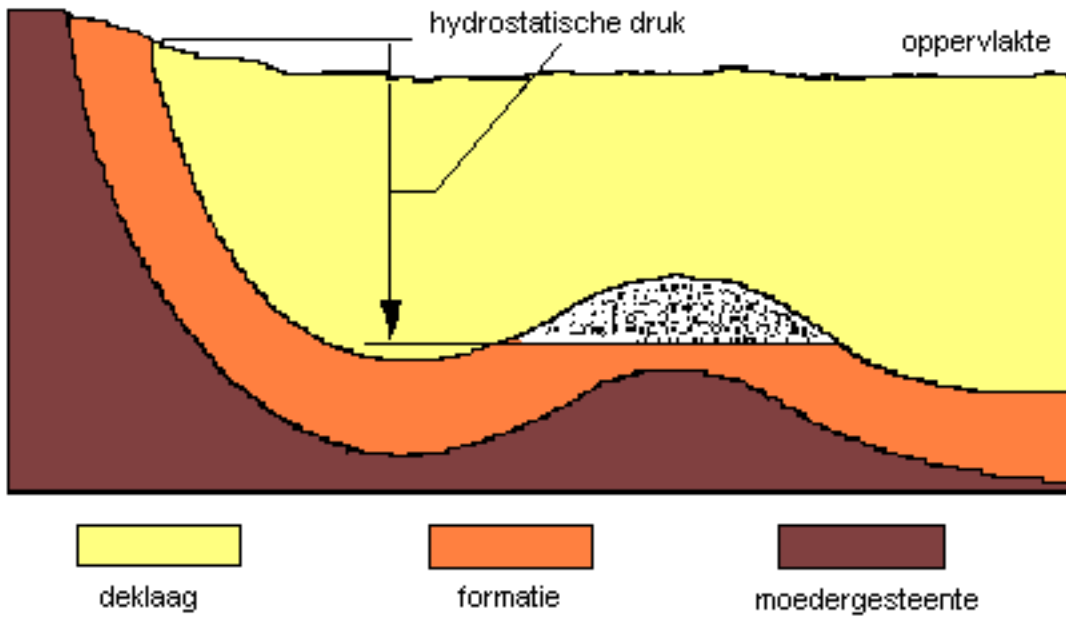
Water-drive

Water-drive ontstaat, wanneer:

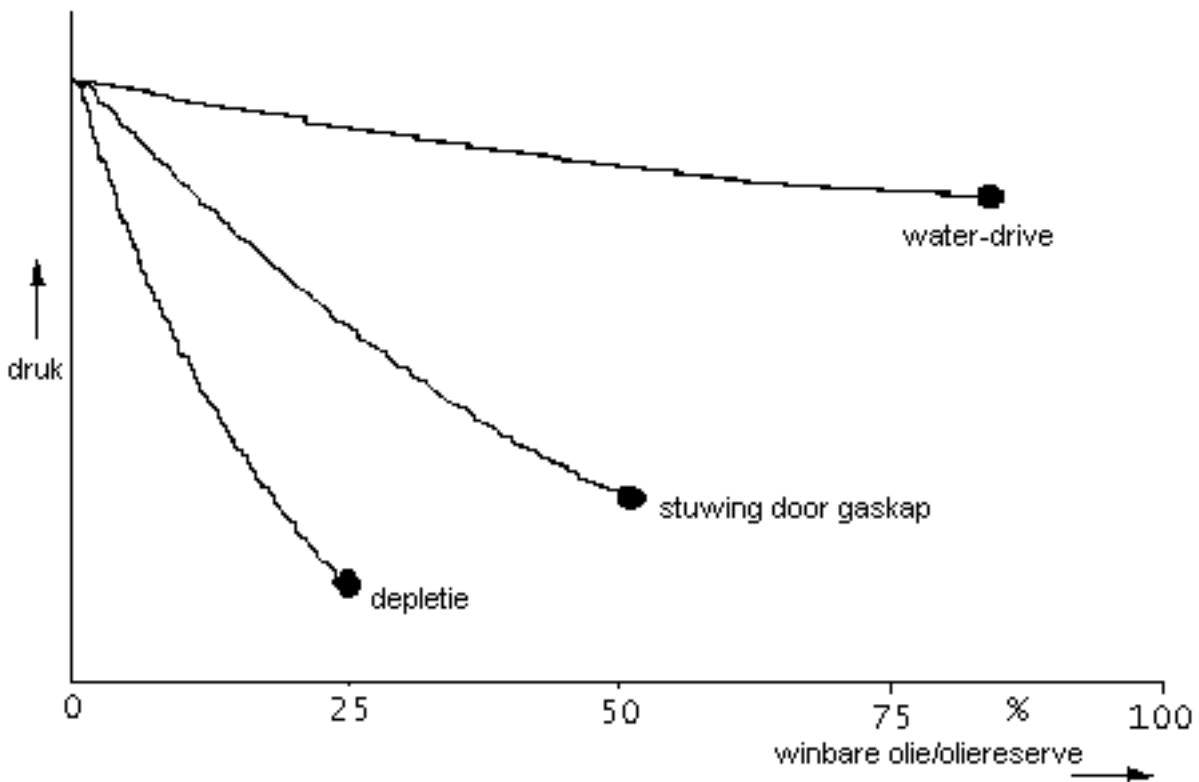
- het water in verbinding staat met de oppervlakte.
Het reservoir staat dan onder hydrostatische druk.
- het water onder druk in grote hoeveelheden aanwezig is.
Het water gedraagt zich dan enigzins elastisch en kan de ruimten die bij de winning vrijkomen opvullen.
- het water door verder indrukken van lagen die met de formatie in verbinding staan naar het reservoir wordt geperst.

De formatiedruk in de omgeving van de put zal door de winning steeds verder dalen. De mate waarin het migrerende water deze daling kan tegengaan wordt voornamelijk bepaald door de navolgende factoren:

- de produktiesnelheid;
- de permeabiliteit van het reservoir;
- de hoeveelheid water die aanwezig is om de vrijgekomen ruimten in het reservoir op te vullen.



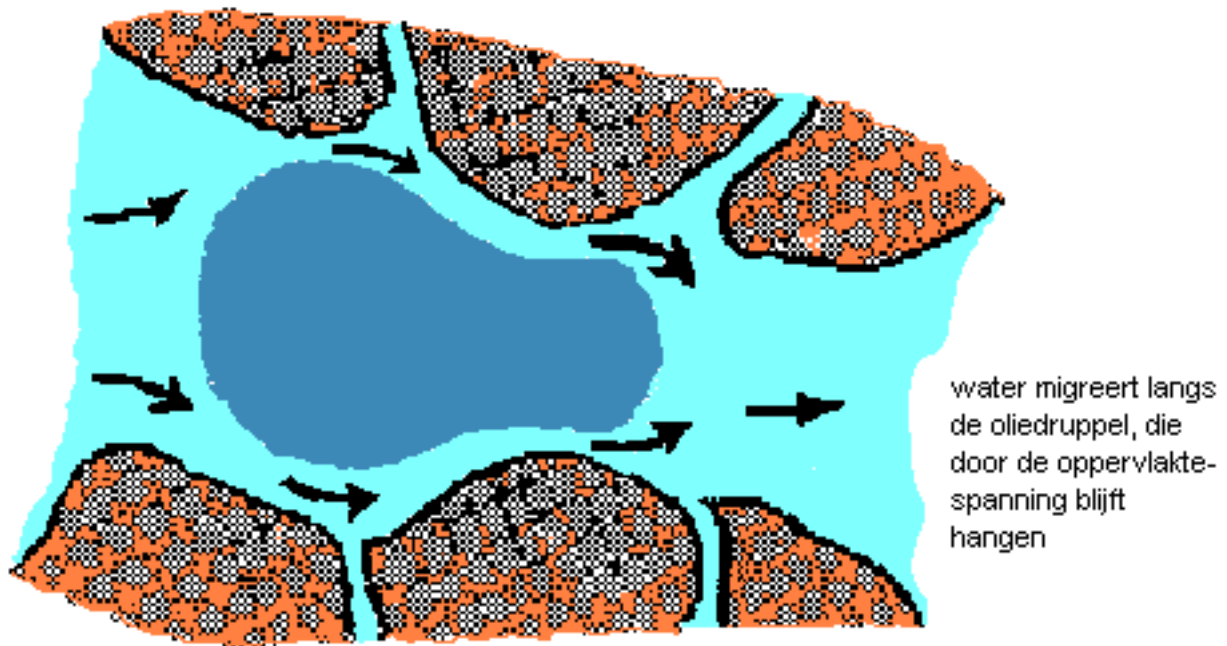
Wanneer de produktie van de put zo hoog is, dat de water-drive de daling van de druk niet kan tegengaan, zal deze druk natuurlijk op een gegeven moment zo laag zijn, dat de put niet meer uit zichzelf produceert. Het percentage olie van de totale reserves dat op natuurlijke wijze kan worden gewonnen is onder andere afhankelijk van het stuwingsmechanisme. In het algemeen is de stuwung door depletie de minst effectieve methode.



Winningspercentage per stuwingsmechanisme

Bij het bepalen van de levensduur van een put met water-drive is vooral het effect van de

oppervlaktespanning van belang. Wanneer wij een kleine hoeveelheid olie in water gieten, zal de olie in de vorm van kleine druppels op het water gaan drijven. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in oppervlaktespanning tussen olie en water.



Effect van de oppervlaktespanning op een oliedruppel

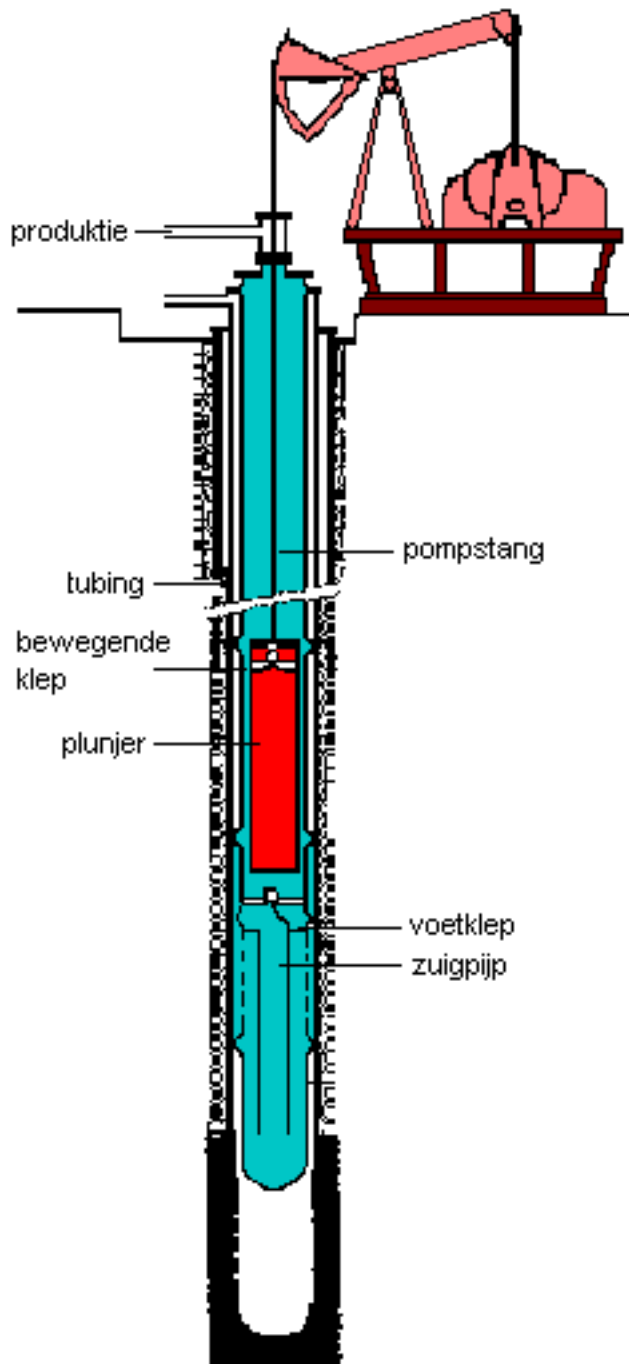
Wanneer de hoeveelheid olie in de poriën van het reservoir vermindert ten opzichte van de hoeveelheid water, zal de olie op een gegeven moment druppels vormen die in de poriën blijven hangen. Het water stroomt langs deze druppels naar de put.

Winningsmethoden

In het hoofdstuk 'stuwingsmechanismen' hebben we kunnen lezen onder welke omstandigheden olie en gas op natuurlijke wijze kunnen worden gewonnen. Helaas zou de op deze wijze producerende put slechts voor korte tijd produktief zijn en zou na het wegvallen van de reservoirdruk slechts een klein gedeelte van de olie gewonnen zijn. Om uit een reservoir zoveel mogelijk olie te putten kunnen drie winningsmethoden worden toegepast:

- primaire winning;
- secundaire winning;
- tertiaire winning.

Primaire winning



'ja-knikker' (de plunjerpompinstallatie)

Naast de natuurlijke winning, waarbij steeds gebruik wordt gemaakt van bestaande druk in en nabij het reservoir, wordt ook het op mechanische wijze naar boven pompen van olie in de primaire winning toegepast.

De bekendste pompinstallatie in Nederland is de 'ja-knikker'.

Het is een pompinstallatie die bestaat uit een hefboom die aan het ene uiteinde wordt aangedreven en aan het andere einde verbonden is met een serie stangen, die in de put tot in de oliehoudende laag reiken.

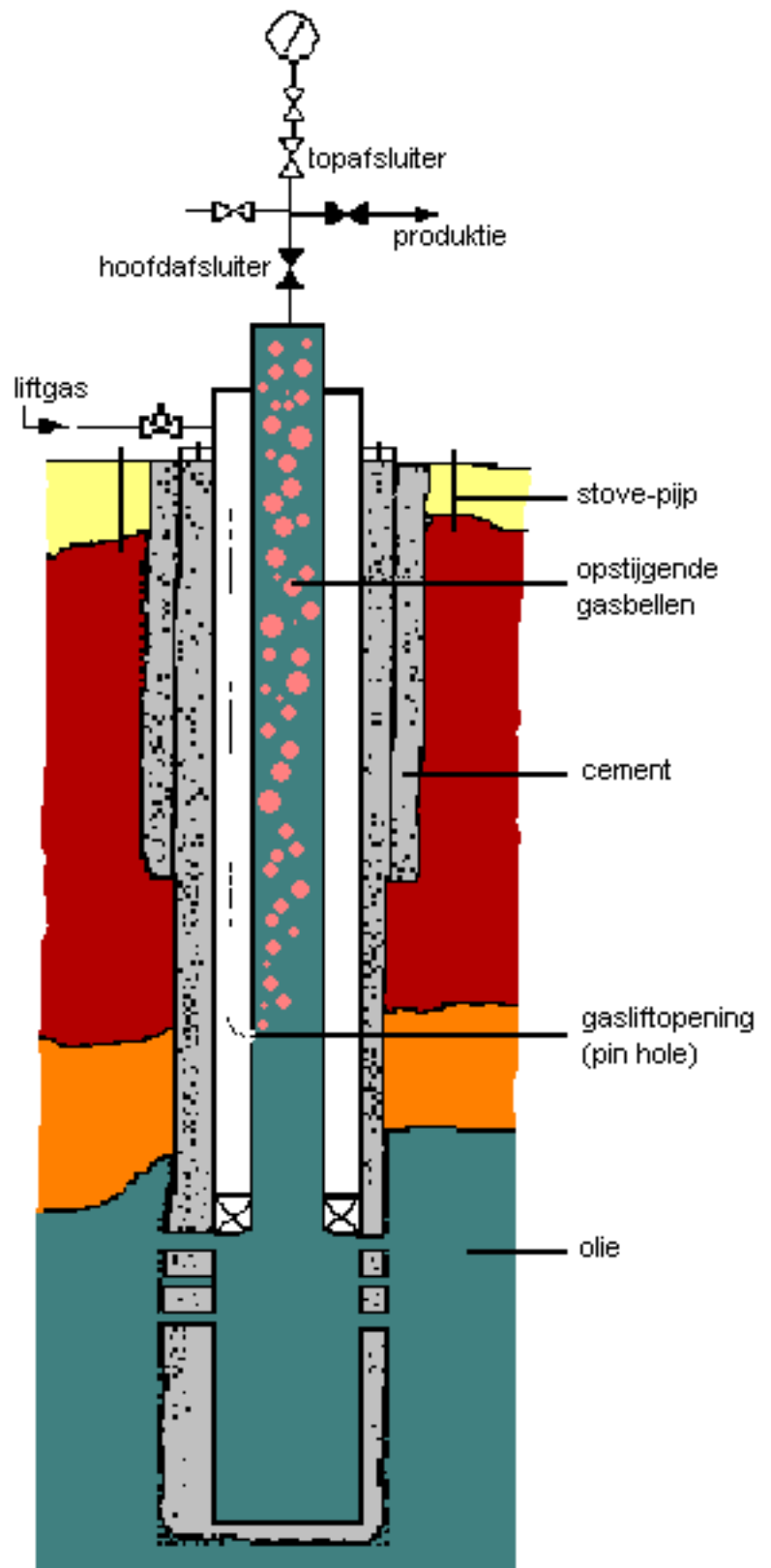
De onderste stang is verbonden met een plunjerpomp die de olie, met daarin enig opgelost gas, uit de formatie naar de oppervlakte pompt.

Een tweede primaire winningsmethode maakt gebruik van een zogenaamde 'gaslift'.

Deze techniek wordt toegepast wanneer de natuurlijke formatiedruk nog actief is, maar onvoldoende om de statische druk van de olie in de put te overwinnen.

Bij deze techniek wordt gas in de put geïnjecteerd. Hierdoor wordt de dichtheid en dus de statische druk van het olie/gasmengsel kleiner.

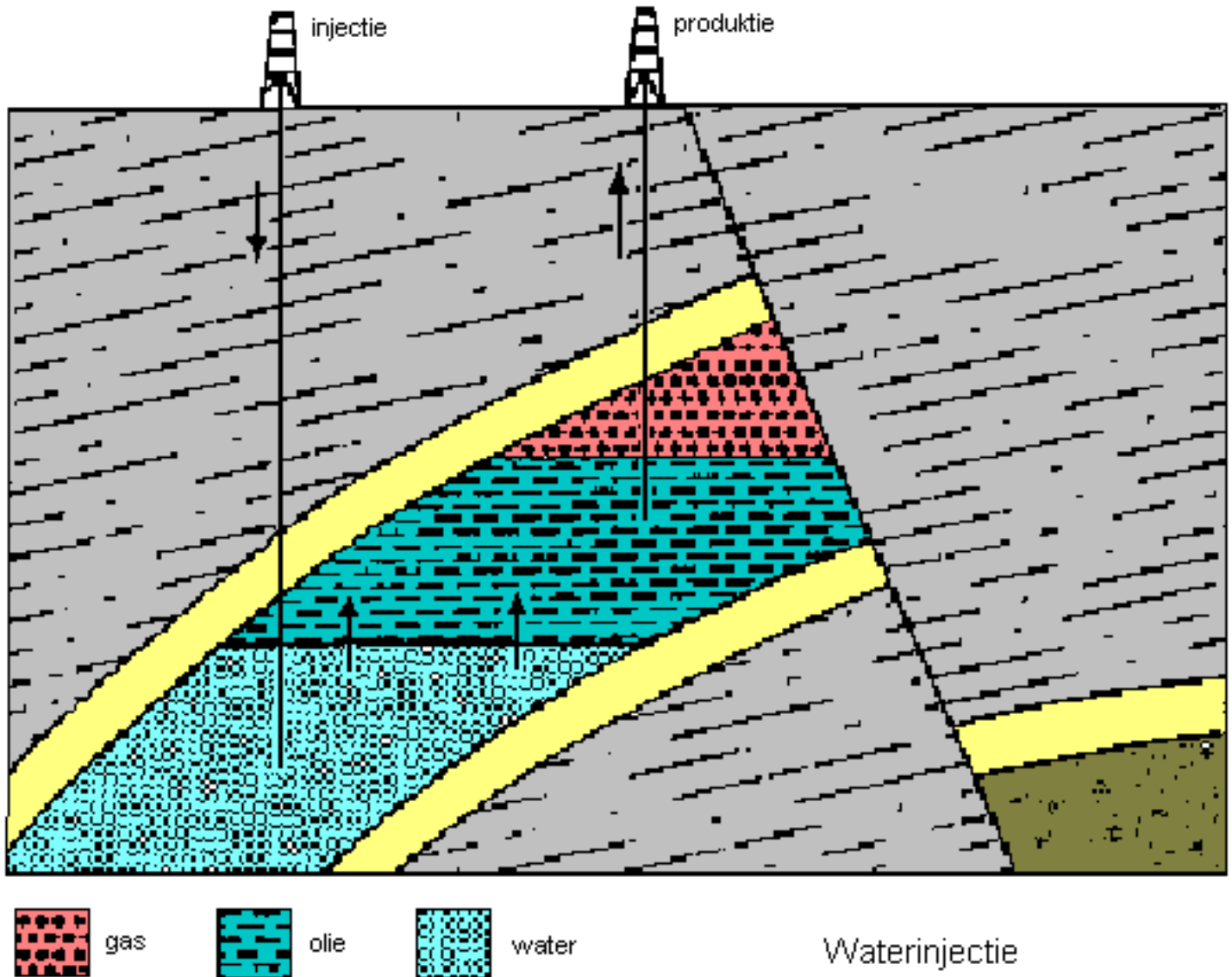
De stuwdruk in het reservoir blijft min of meer gelijk, maar is wel in staat de 'lichter' geworden (vergaste/verschuimde) olie naar de oppervlakte te persen.



Het principe van een gaslift

Secundaire winning

De secundaire winning is erop gericht het produktieniveau te verbeteren door de druk in het reservoir te vergroten, wanneer het resultaat van de natuurlijke winning door gas en/of water onvoldoende is geworden.

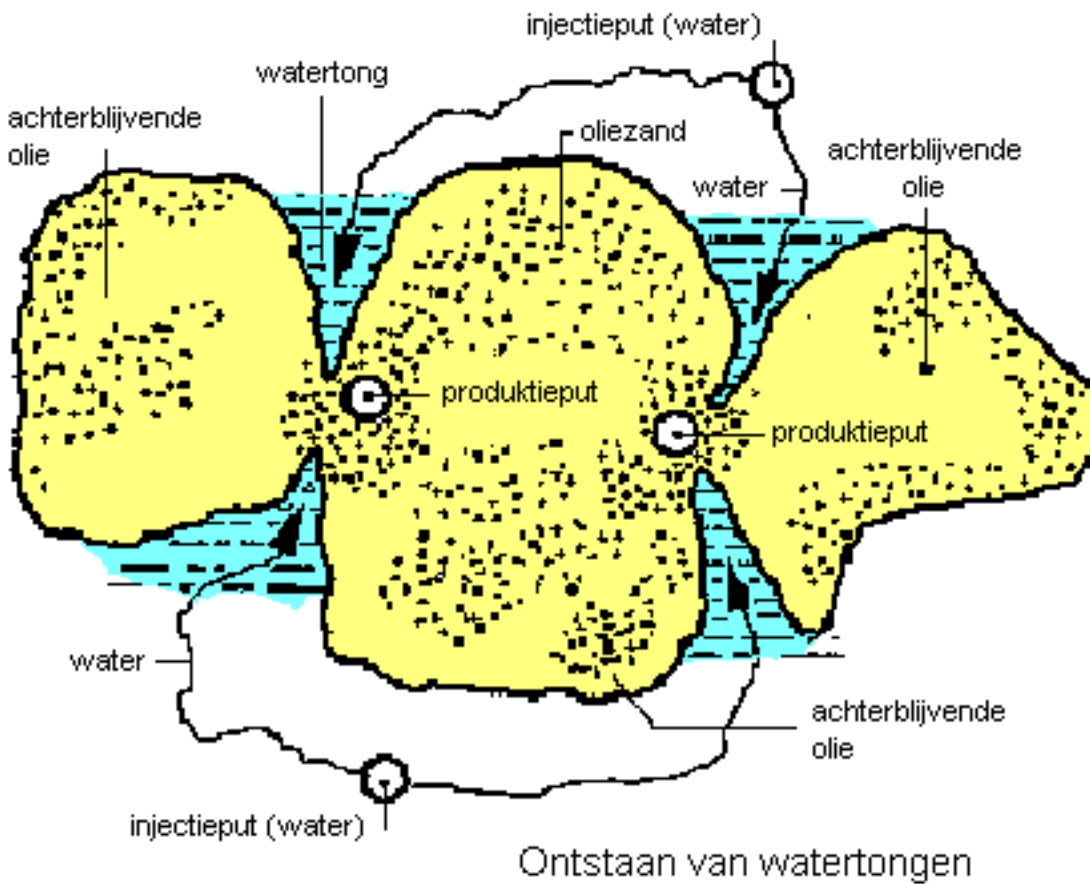


Een secundaire-winningsmethode is **waterinjectie**. De methode wordt toegepast indien de natuurlijke druk van het waterstuwingsmechanisme (water-drive) te laag is geworden voor produktie. In dat geval kan het lonen door middel van injectie van water in het reservoir enerzijds de levensduur te verlengen en anderzijds het reeds geproduceerde water weer op een acceptabele wijze te lozen, daar dit op het land milieuproblemen geeft.

Bij waterinjectie wordt het water via putten aan de rand van het veld naar beneden gepompt om het reeds aanwezige water aan te vullen. De belangrijkste problemen die deze methode meebrengt, zijn:

- de enorme hoeveelheid energie die nodig is om de pompen aan te drijven;
- de hoge kosten;

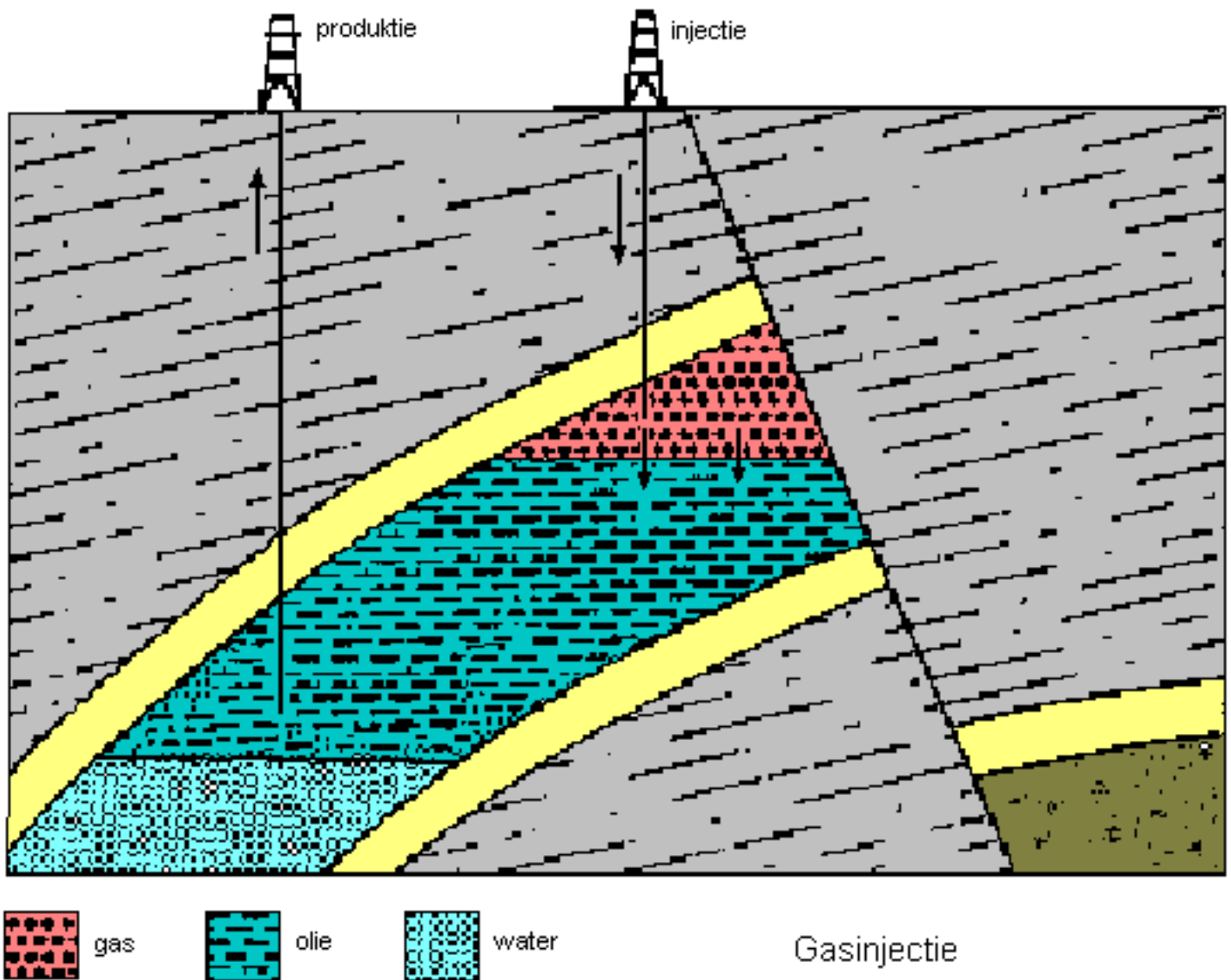
- de noodzaak voor een waterbehandelingsinstallatie.



Een nadeel van waterinjectie is de mogelijke vorming van wattertongen, die in het olieveld snijden en vroegtijdig de produktieputten bereiken. Het gevolg is een snel toenemend watergehalte in de geproduceerde olie en het achterblijven van gebieden met veel olie.

De oorzaak hiervan is, dat de olie door het geïnjecteerde **koude** water een lagere temperatuur krijgt en daardoor nog viscozer (stroperiger) wordt. Hierdoor zal de olie veel moeilijker en trager door het reservoirgesteente stromen dan het geïnjecteerde water, zodat het water eerder bij de produktieput arriveert.

Dit probleem kan gedeeltelijk worden opgelost door het te injecteren water te verwarmen, de zogenaamde heetwaterinjectie (zie bij tertiaire winning).

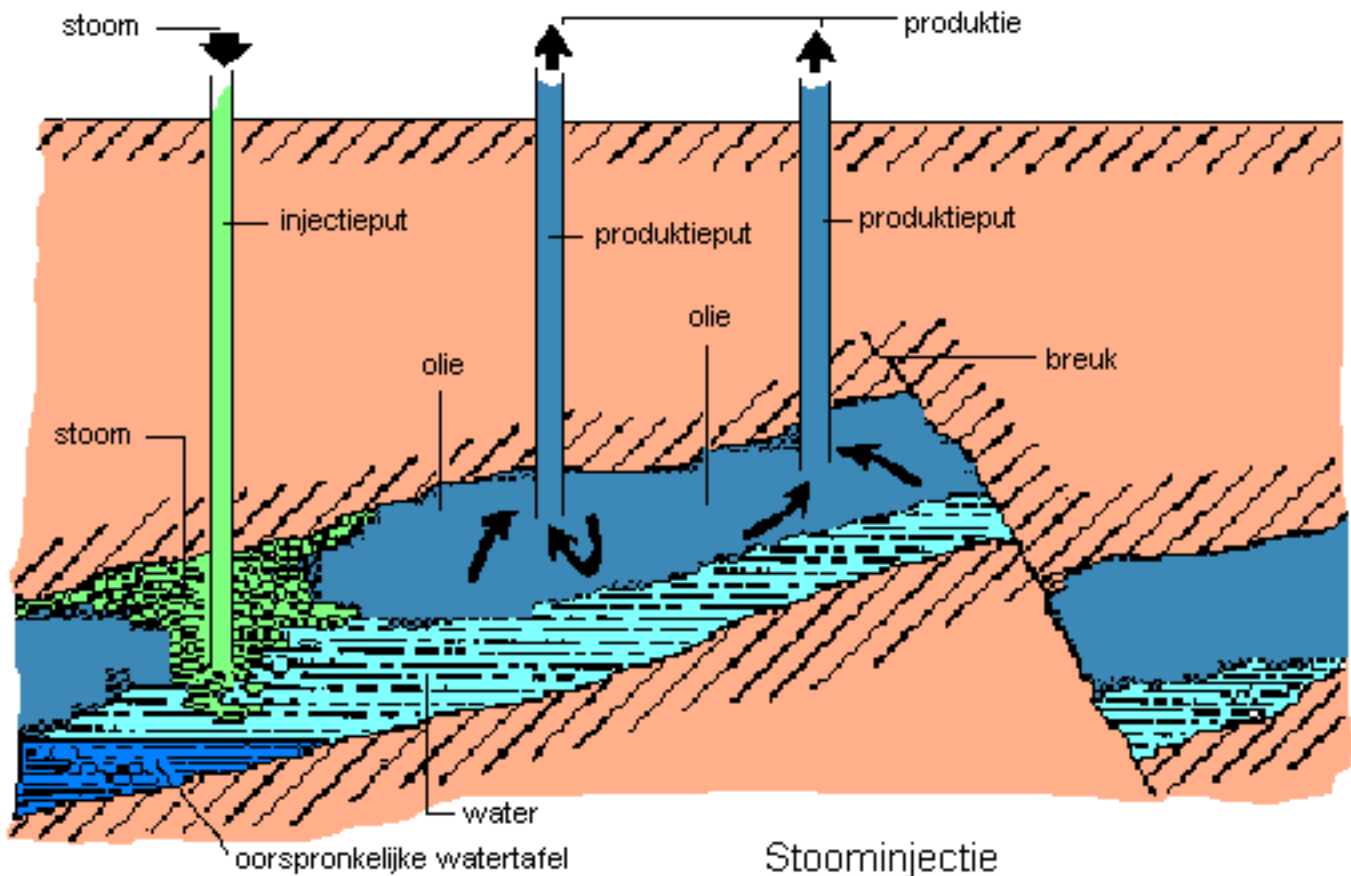


Een andere vorm van secundaire winning is **gasinjectie**. Hierbij wordt op het hoogste punt van het reservoir gas geïnjecteerd voor de drukverhoging en voor de stuwing van de olie naar de lager in de formatie gelegen putten.

Tertiaire winning

Tertiaire winning is erop gericht door toepassing van warmte of door toevoeging van chemicaliën de viscositeit (stroperigheid) van de olie te verlagen, waardoor deze gemakkelijker gaat stromen. Wat het gebruik van chemicaliën betreft (een niet-thermische methode) zijn de activiteiten grotendeels beperkt gebleven tot research. Wij zullen deze methoden dan ook niet verder bespreken. De geschiktste en meest praktische oplossingen zijn de methoden waarbij heet water en stoom worden geïnjecteerd.

Bij de **heetwaterinjectie** wordt water met een temperatuur van 180 à 200 °C en een druk van 30 bar in de putten gepompt. Door de verwarming in het reservoir wordt de viscositeit van de olie verlaagd en deze zal daardoor dus gemakkelijker gaan stromen.



Bij **stoominjectie** wordt stoom met een temperatuur van circa 300 °C en een druk van 120 bar gebruikt. Het voordeel van stoom boven heet water is, dat de warmte-inhoud van stoom groter is dan die van water (bij dezelfde temperatuur en druk). Een ander voordeel is dat stoom lichter is dan water. De stoom heeft daardoor de neiging de olie uit het bovenste deel van het reservoir op te warmen en tegelijkertijd op te stuwen.

Een andere methode waarbij stoom wordt gebruikt is de **steam soak** (stoomdoordrenking). Bij deze methode wordt gedurende een korte tijd (meestal slechts enkele weken) een betrekkelijk kleine hoeveelheid stoom in een put geperst. Hierna wordt de put omgeschakeld van injector tot producent en wordt gedurende een halfjaar tot een jaar geproduceerd. Door de verwarming (doordrenking) van het reservoir zal de olie dan gemakkelijker toevloeien naar de put.

Stimulatie

Voordat een put in productie wordt genomen of nadat deze enige tijd heeft geproduceerd, kan de productie uit de put beperkt raken door een verlaagde permeabiliteit in de directe ondergrondse omgeving. Dit kan onder meer veroorzaakt zijn door:

- de lage natuurlijke permeabiliteit van het reservoir door fijne zanddeeltjes of zoutkristalletjes;
- dichtslibben van de poriën tijdens de boorfase door boorspoeling;
- dichtslibben van de poriën met fijne deeltjes die tijdens de productie zijn meegevoerd.

Wij kunnen de productie verbeteren door gebruik te maken van **stimulatietechnieken**. Deze technieken worden onderverdeeld in:

- **zuurbehandeling** (acidizing); technieken die gebruik maken van zuren;
- **breken** (fracturing); technieken die de kanaaltjes openbreken.

Zuurbehandeling (acidizing)

Bij deze technieken wordt zoutzuur (HCl) met een concentratie van 7 tot 32% via de put in de formatie gepompt. Vervolgens laat men de vloeistof weer uit de put naar boven komen.

Aan het zuur zijn de navolgende chemicaliën toegevoegd:

- **corrosie-inhibitors** - die ervoor zorgen dat het metaal in de put niet wordt aangetast;
- **surfactants** - die de oppervlakte van de zandkorrels in de formatie met een laagje overdekken, waardoor de vloeistof beter in de formatie kan dringen;
- **retarders** - die ervoor zorgen dat het zuur niet al in de directe omgeving van de put onwerkzaam wordt. Een gedeelte van het zuur kan hierdoor dieper in de formatie doordringen om pas daar actief te zijn.

Voor het oplossen van kleideeltjes, uit o.a. de boorspoeling, die in de formatie zijn doorgedrongen, wordt zogenaamde '**mud-acid**' gebruikt. Dit is een mengsel van zoutzuur en fluorzuur (HF).

Breken (fracturing)

Als zuurbehandeling (acidizing) niet de geschikte techniek is of geen succes heeft gehad, biedt het openbreken van de formatie (fracturing) een mogelijkheid om de permeabiliteit te verbeteren. Bij deze technieken worden grote hoeveelheden water of zuur onder hoge druk in de formatie gepompt. Aan de vloeistof worden **glazen bolletjes** of **speciaal grof zand** toegevoegd. Door de hoge druk en grote hoeveelheden wordt de formatie opengebrouwen, waarna de zandkorrels of glazen bolletjes de gebrouwen formatie openhouden. De wijdere ruimten die op deze wijze ontstaan verhogen de permeabiliteit, waardoor olie, gas en water gemakkelijker naar de put stromen.