

# Boren

## Boorspoeling

- ▶ Samenstelling en eigenschappen
- ▶ Spoelingsdrukgradient
- ▶ Blow-out preventers

## Boor-string

- ▶ Boorbeitels
- ▶ Drill-collars
- ▶ Draaiboorpijpen
- ▶ Kelly

## Offshore-boorinstallaties en boorschepen

- ▶ Exploratieboren op land
- ▶ Eerste stadium offshore-exploratieboren
- ▶ Eerste drijvende installaties
- ▶ De "jack-up"
- ▶ Verankerde boorschepen
- ▶ Semi-submersible
- ▶ Dynamisch geplaatste boorschepen

## Exploratieboren

- ▶ Vereiste gegevens
- ▶ Informatiebronnen
- ▶ Methoden voor gegevensverzameling
- ▶ Analyse van gegevens

## Putopbouw

- ▶ Het boorprogramma
- ▶ Vereenvoudigde boorvolgorde
- ▶ Delen van de putopbouw
  - ▶ Casings en Liners
  - ▶ Casing-head housing

▶ Casing-head spools

▶ Wellhead

▶ Cement

## Gedevieerd boren

# Samenvatting Boren

Er bestaan verhalen over vroege boorwerkzaamheden, die bijna 1000 jaar geleden door de Chinezen op zoek naar pekelen werden uitgevoerd. Men zegt, dat zij met primitief gereedschap diepten van 1000 meter konden bereiken. Het gereedschap dat zij gebruikten was een zware beitel die aan een touw hing, dat werd op en neer bewogen door mannen op een soort van springplank.

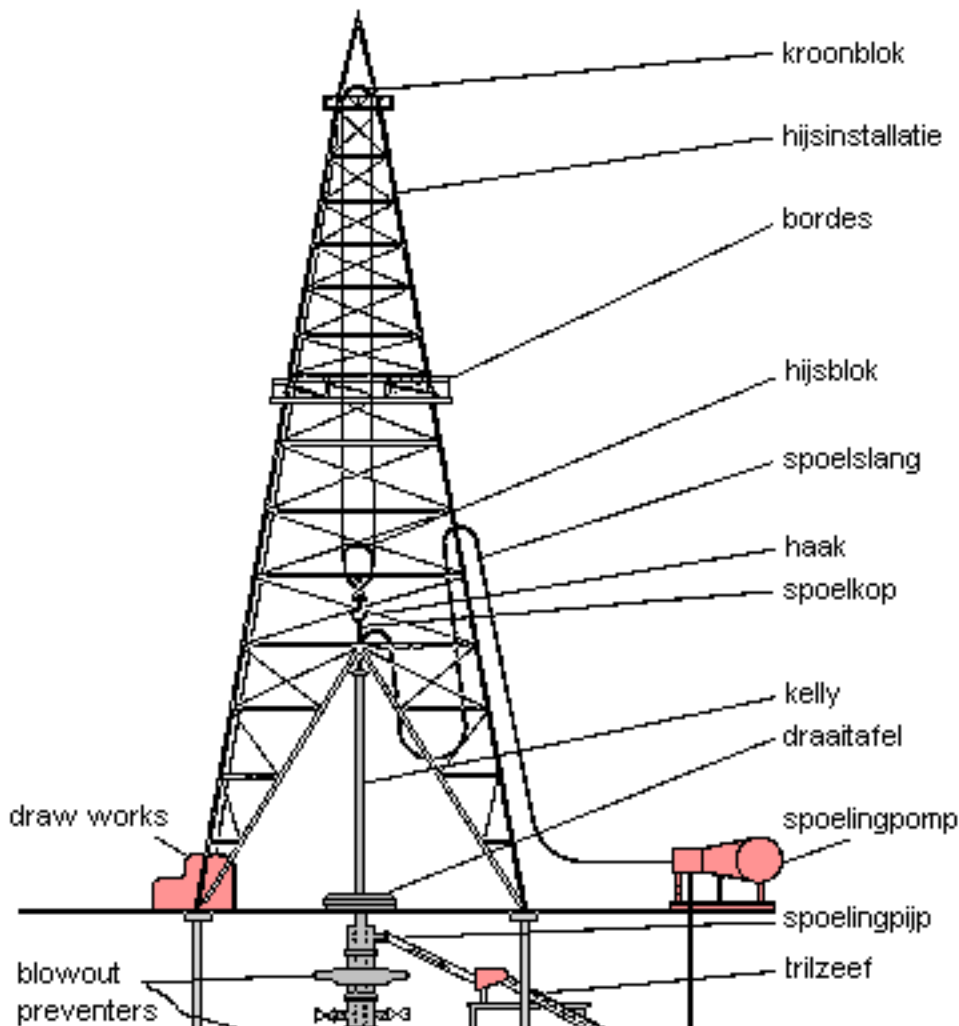
Dit gereedschap was de voorloper van het stotend-boren ('percussion drilling'). Deze methode was goedkoop, eenvoudig en doeltreffend voor ondiepe putten.

Stalen pijpen met een steeds kleinere diameter, 'casing' genaamd, werden in het gat neergelaten om ervoor te zorgen dat het niet instortte en om het water uit de doorboorde lagen tegen te houden. Nadat er ongeveer een meter was geboord, werd de beitel eruit getrokken. Het boorgruis werd met een 'bailer' - een soort schep met een klep in de bodem - verwijderd.

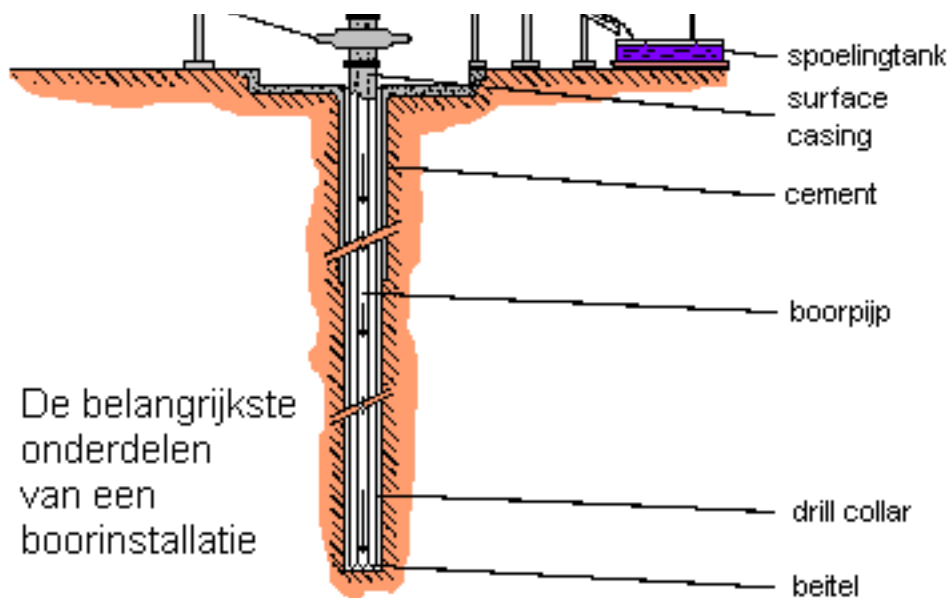
Het stotend-boren was een methode die in de eerste 20 jaar van deze eeuw veel werd gebruikt. Het boren ging echter langzaam en er was geen methode om een onder druk staande stroom van olie en gas te stuiten. In dergelijke gevallen ontstonden spuitende putten, die de omgeving met olie overdekten. Olie en gas werden verspild en er ontstond een groot gevaar voor brand.

De huidige boormethode is, tenminste in principe, net zo eenvoudig en is gebaseerd op een draaiende beweging.

De belangrijkste delen van een 'rotary'-boorinstallatie zijn:



- Een **beitel**, die door gewicht en rotatie in de gesteentelagen boort.
- Een serie holle stalen **boorpijpen**, die uit lengten van 9 tot 12 meter bestaan en aan elkaar kunnen worden geschroefd. Aan het ondereinde van deze serie is de beitel vastgeschroefd en aan het bovineinde heeft de serie een vierkant gedeelte, de '**kelly**', die de draaiende beweging overbrengt.
- Verzwaarde '**collars**' die aan het ondereinde van de boor-string worden geschroefd en een gewicht op de beitel geven.



- Een **draaitafel** met een vierkant gat in het midden, waardoorheen de kelly gaat.
- Een **krachtbron** om de tafel te laten draaien.
- Een **hijsinstallatie in een boortoren of 'derrick'**, die dient om:
  - de boorserie uit het gat te hijsen (gewoonlijk in gedeelten van ongeveer 27 meter);
  - het gewicht van de boorserie te dragen, wanneer deze in het gat wordt neergelaten. De boor-string, die ronddraait, is opgehangen aan een **spoelkop**, die niet draait en aan het hijsblok is bevestigd.

- Een **hoeveelheid smeervloeistof; de boorspoeling**.

Een pomp om de spoeling via een 'standpijp' en een slang naar de spoelkop door de binnenkant van de boor-string te pompen. De spoeling gaat in de boor-string naar beneden en komt er door de beitel, die daardoor wordt gesmeerd en gekoeld, weer uit. Vervolgens stroomt de spoeling weer omhoog tussen de wand van het boorgat en de buitenkant van de boor-string, de zogenaamde annulaire ruimte, en neemt het boorgruis mee.

- Een **systeem** om de terugkerende spoeling aan de bovenkant van het gat weer op te vangen en het boorgruis eruit te zeven; dit om de spoeling kwalitatief weer op peil te brengen, zodat deze weer door de boor-string naar beneden kan worden gepompt.

De spoeling smeert en koelt de boorbeitel, transporteert het boorgruis naar boven en geeft ook een primaire bescherming tegen zogenaamde 'blowouts'. Door toevoeging van zware mineralen, zoals bariet, aan de spoeling wordt de dichtheid groter en daardoor wordt ook de mate van bescherming groter. Een volledige bescherming kunnen wij op deze wijze niet verkrijgen.

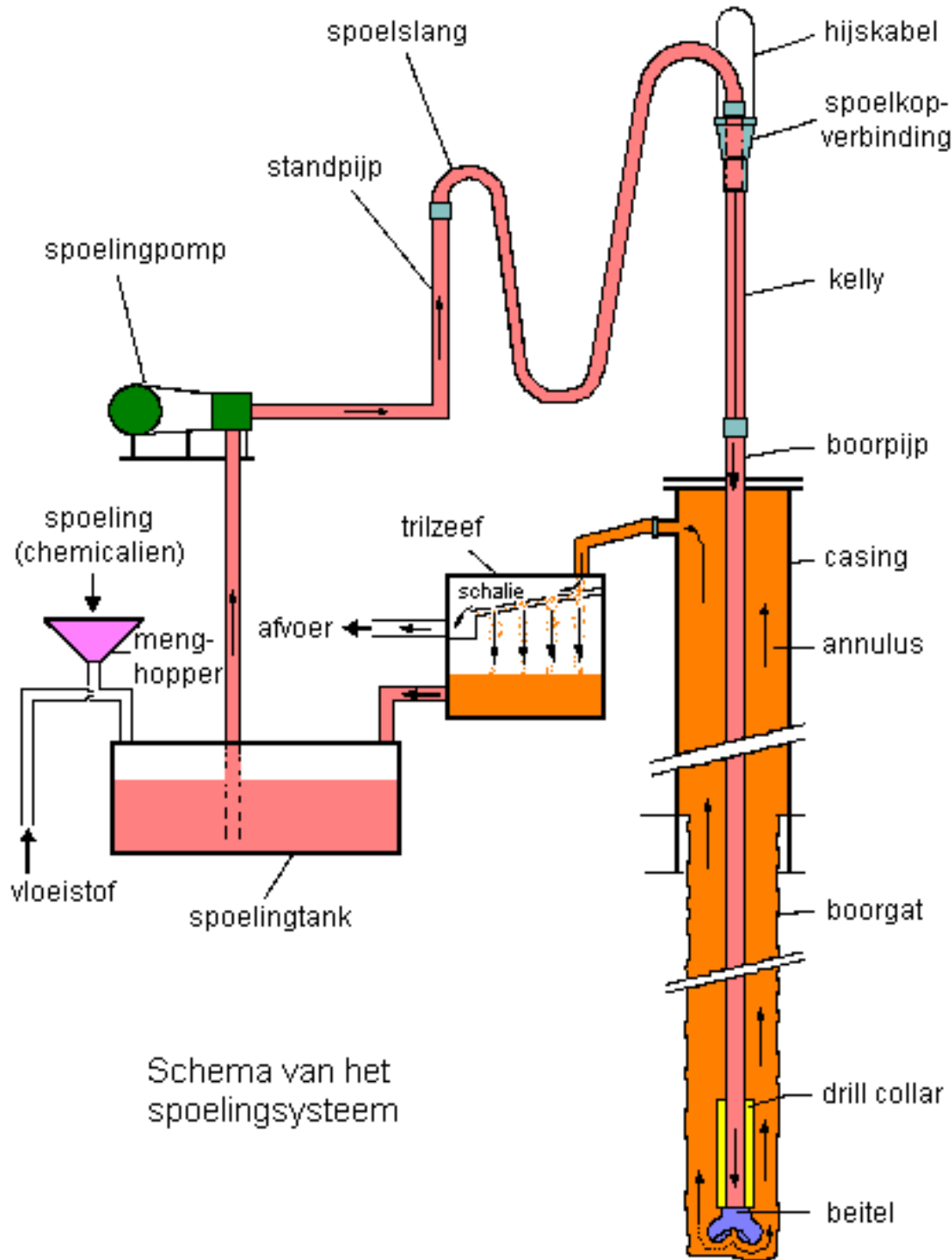
Daarom vinden wij bij elke boorinstallatie een stel '**blowout-preventers (BOP's)**'. Deze zijn bij boringen op het vasteland vlak boven de grond gemonteerd. Bij een offshore-installatie bevinden deze zich op het platform of, bij diep water, op de zeebodem. Er zijn in principe twee soorten van BOP's,

namelijk:

- De '**ram type**' (**schuiftype**) **BOP**. Deze BOP kan het gat geheel afsluiten of, voorzien van de juiste uitsparing, afdichten rondom draaiboorpijpen.
- De **annulaire BOP**. Deze is aan de bovenkant van de stack gemonteerd. Dit type van BOP kan rond elk onregelmatig gevormd boorgereedschap afsluiten. Een rubberen seal wordt hydraulisch in de juiste vorm gedrukt.

Beide typen sluiten in geval van nood de ringvormige ruimte tussen de boorpijp en de verhuizing (**casing**) af. De holle boor-string kan worden afgesloten door middel van valves, die aan de binnenzijde van de kelly zijn bevestigd (kelly cocks). Wanneer de BOP's en de kelly cocks zijn gesloten, is de put beveiligd tegen een plotseling optredende hoge formatiedruk.

# Samenvatting Boerspoeeling



Bij de eerste putten, die volgens het 'rotary'-principe werden geboord, gebruikte men water als circulatiemiddel. Wanneer het water modderig werd, verving men de boorvloeistof door schoon water. Later ontdekte men, dat deze modderige vloeistof ('mud') ook voordelen had, zeker wanneer deze bentonietklei bevatte.

Deze ontdekking leidde tot de commerciële ontwikkeling van boerspoeeling, waardoor er een grote diversiteit in spoelingsamenstelling en -eigenschappen onstond.

Net zo als bij toenemende diepte de formatiedruk toeneemt, zo neemt ook de druk van de spoeling toe. Deze druk wordt weergegeven in de spoelingsdrukgradiënt.

Boerspoeeling heeft vele functies. De belangrijkste zijn:

- primaire putcontrole;
- bescherming tegen instorting en afpleistering van de doorboorde lagen tegen verlies van spoeling in de formaties;

- economisch transport van het boorgruis naar boven;
- smering en koeling van de beitel.

# Samenstelling en eigenschappen Boorspoeling

Boorspoeling bestaat meestal uit een suspensie van bentonietklei in water, waaraan chemicaliën zijn toegevoegd om bepaalde eigenschappen, zoals viscositeit, te bereiken. Soms wordt een emulsie van olie in water in plaats van alleen water als medium gebruikt. In andere situaties, zoals bij het boren in een oliehoudende formatie, die onder lage druk staat, heeft een spoeling op basis van alleen olie als medium de voorkeur. Het is zelfs mogelijk, dat lucht, een gas of koolzuurhoudende vloeistoffen worden gebruikt. Hiermee kunnen goede boorvorderingen worden gemaakt.

In zeer diepe putten moet rekening worden gehouden met het feit, dat de eigenschappen van de spoeling ook bij zeer hoge temperaturen niet veranderen door omzetting van chemische bestanddelen.

Aan de spoeling worden steeds hogere eisen gesteld, waaraan een op water en bentoniet gebaseerde spoeling niet kan voldoen. Dit komt o.a., omdat er steeds dieper en in steeds moeilijkere formaties met hoge druk en temperatuur wordt geboord. Ook de toepassing van gedeveerd boren heeft tot gevolg, dat speciale eisen aan de spoeling worden gesteld. Deze ontwikkelingen hebben geleid tot een snelle groei van de boorspoelingindustrie, waarvan de omzet op ongeveer 3 miljard gulden per jaar wordt geschat. Het feit, dat de spoeling een belangrijk deel van de kosten van een boring vormt, houdt hiermee ook verband.

Er zijn nu circa 400 chemicaliën en andere gepatenteerde toevoegingsmiddelen, die de eigenschappen van de spoeling kunnen veranderen om aan bepaalde eisen te voldoen, in de handel.

Wanneer wij in een zeer permeabele formatie boren, is het mogelijk, dat de spoeling gedeeltelijk of geheel in de formatie dringt en verloren gaat. Een dergelijke situatie kan ook ontstaan, wanneer de spoelingsdruk voor een bepaalde formatie te hoog blijkt te zijn, zodat de formatie het begeeft.

Spoelingsverlies kunnen wij constateren doordat er minder spoeling bovenkomt dan wij in het gat pompen. Wij kunnen dit tegengaan door aan de spoeling middelen toe te voegen die de kleine openingen in de formatie afdichten. Deze zogenaamde stoppingsmaterialen zijn vezelig, vlokkelig of korrelig en kunnen bestaan uit allerlei materialen, zoals:

- krijt of krijtkorrels;
- dolomietkorrels tegenover producerende zones;
- cellofaan, mica en gemalen notedoppen tegenover niet-producerende zones.

In produktieve zones worden uitsluitend in zuur oplosbare stoppingsmaterialen gebruikt. Het is echter ook mogelijk, dat men besluit extra spoeling bij te pompen en door te boren totdat de permeabele formatie is gepasseerd. Daarna wordt zo snel mogelijk de casing gezet en gecementeerd.

De soortelijke massa van de spoeling kan worden verhoogd door toevoeging van zwaar materiaal, zoals bariet (bariumsulfaat), en kan worden verlaagd met water of soms met olie.

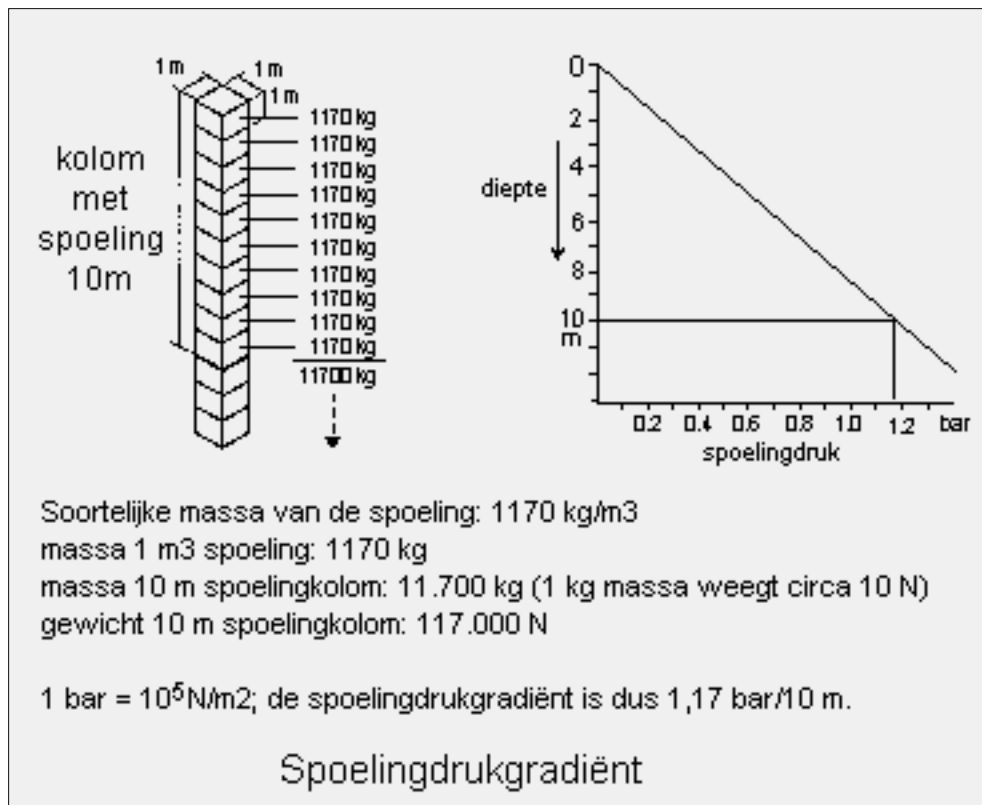
# Spoelingsdrukgradiënt

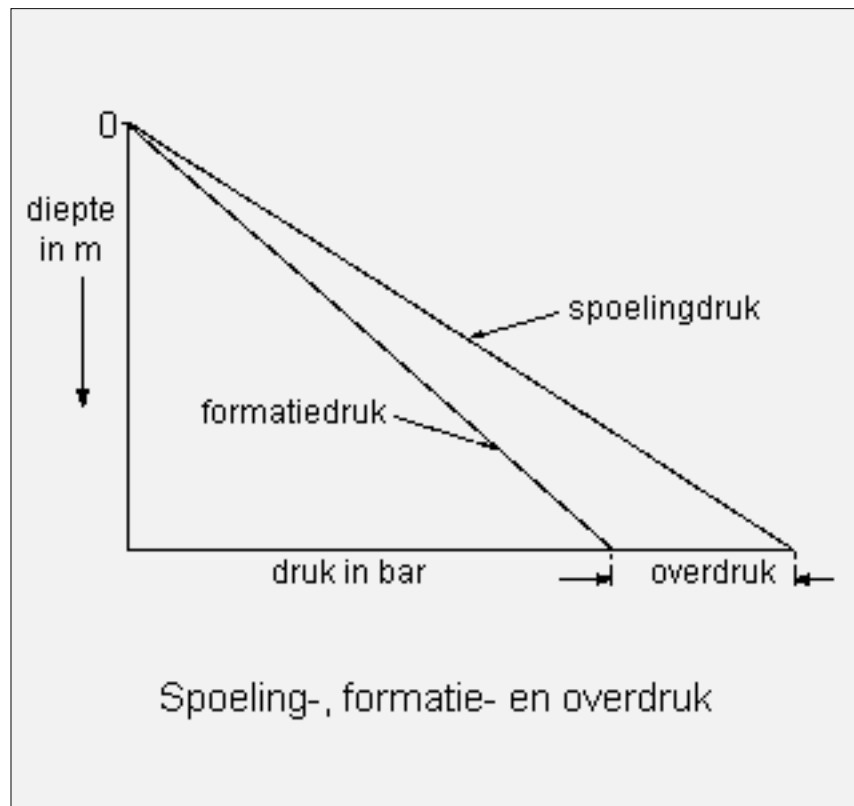
Een verticale kolom vloeistof oefent een druk uit die evenredig is aan de hoogte van die kolom. Hoe groter de soortelijke massa van de vloeistof is, des te groter is de druk. Deze druk wordt de **hydrostatische druk** genoemd.

De gesteentelagen in een reservoir hebben zich miljoenen jaren geleden gestabiliseerd, waardoor de drukken in de lagen tot evenwicht zijn gekomen. Wij meten nu vaak drukken, die ongeveer overeenkomen met de hydrostatische druk van een kolom zout water, die op die diepte zou voorkomen. Aardgas, aardolie en water, die in de formatie worden aangetroffen staan onder deze hydrostatische druk.

Hoe dieper wij in de aardkorst doordringen, des te hoger wordt de hydrostatische druk. Evenzo neemt de hydrostatische druk van de spoeling toe wanneer het boorgat dieper wordt. De mate waarmee de druk in de formatie en van de spoeling toeneemt, wordt respectievelijk genoemd; **formatiedrukgradiënt** en **spoelingsdrukgradiënt**.

De laatste wordt uitgedrukt in **bar per 10 meter diepte**.





De drukgradiënt van de spoeling moet altijd groter zijn dan de formatiedrukgradiënt, zodat wij er zeker van zijn, dat op elke diepte in de put de spoelingdruk hoger is dan de verwachte formatiedruk. Er bestaat dus een overdruk in het boorgat. De spoelingdruk mag echter niet groter zijn dan de sterkte van de formatie, omdat er anders schade aan de formatie zou kunnen ontstaan met als gevolg verlies van spoeling en, in het ergste geval, van het boorgat.

Indien de boorbeitel in een laag met een onverwacht hoge formatiedruk zou doordringen, kunnen wij dit op verschillende manieren constateren. De inhoud van de formatie verdunt de spoeling, waardoor de soortelijke massa wordt verlaagd en er meer vloeistof uit het gat terugkomt dan wij erin pompen. Als de formatie gas bevat, zullen wij soms gasbellen in de spoeling ontdekken. In een dergelijke situatie spreken wij van een '**kick**'. Er kan ook van een 'kick' worden gesproken, als er sprake is van een vreemde vloeistof met een hogere drukgradiënt dan de drukgradiënt van de spoeling. Wanneer wij de put niet onder controle kunnen houden, wordt deze gesloten.

De overdruk kan worden gecorrigeerd door de spoelingdrukgradiënt te verhogen. Hiertoe worden eerst de ingesloten druk op de boorpijp en de annulaire ruimte aan de bovenzijde van het gat gemeten; vervolgens wordt de vereiste drukgradiënt berekend. **Bijvoorbeeld:**

Huidige spoelingdrukgradiënt	1,14 bar/10 m.
Gemeten ingesloten boorpijpdruk	37 bar
Vereiste overdruk om de put dood te pompen	14 bar
Diepte van de put	3000 m.

Vereiste spoelingdrukgradiënt

$$1,14 + ((37+14) \times 10)/3000 = 1,31 \text{ bar}/10 \text{ m.}$$

De spoelingdrukgradiënt moet dus van 1,14 op 1,31 bar per 10 meter worden gebracht.

Er bestaan grafieken, waarop kan worden afgelezen, hoeveel bariet aan de spoeling moet worden toegevoegd om de hiermee overeenkomende soortelijke massa te verkrijgen.

Wij hebben enkele eigenschappen besproken, die de spoeling moet hebben om bepaalde functies bij het boren te verrichten. In de tabel is een meer gedetailleerd overzicht gegeven van de belangrijkste eigenschappen en de daarbij behorende functies van het spoelingsysteem.

Belangrijkste eigenschappen van het spoelingsysteem	Functies van het spoelingsysteem
1. Soortelijke massa (s.m.) van de spoeling	<ul style="list-style-type: none"><li>● Verhinderen van de uitstroming van gas, olie en water uit de formatie door een tegendruk te geven.</li><li>● Transport van het boorgruis wordt bij een hogere s.m. bevorderd.</li><li>● Verhinderen van schade aan de formaties.</li><li>● Optimaliseren van de boorvordering door een zo laag mogelijke s.m., die met de noodzakelijke overdruk overeenkomt.</li></ul>
2. Afpleistering van de boorgatwand en het boorgat op de gewenste diameter houden ten einde slechte cementatie tegen te gaan en het georiënteerde boren te vergemakkelijken.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Voorkomen van spoelingverlies in permeabele formaties.</li><li>● Verhinderen van instorting van de boorgatwand of grote wash-out.</li><li>● Verhinderen van infiltratie van vloeistoffen uit de formatie (in combinatie met de punten 1 en 3).</li></ul>
3. Thixotropie (het vermogen van stilstaande spoeling om op te stijven wanneer de spoeling niet wordt gecirculeerd).	<ul style="list-style-type: none"><li>● Voorkomen van het bezinken van boorgruis.</li><li>● Verhinderen van infiltratie van vloeistoffen uit de formatie (in combinatie met de punten 1 en 2).</li></ul>
4. Viscositeit	<ul style="list-style-type: none"><li>● Een hogere viscositeit gaat het uitzakken van boorgruis in de spoeling tegen.</li><li>● Wanneer een boorturbine door de spoelingstroom wordt aangedreven, speelt de viscositeit een rol.</li></ul>
5. 'Corrosie-inhibitors', die aan de spoeling zijn toegevoegd; bijvoorbeeld: calcium- of natriumhydroxide	<ul style="list-style-type: none"><li>● Tegengaan van corrosie van metalen delen.</li></ul>
6. Vermogen om warmte op te nemen.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Koeling van de beitel.</li></ul>

Tabel: Belangrijkste eigenschappen en functies van het spoelingsysteem

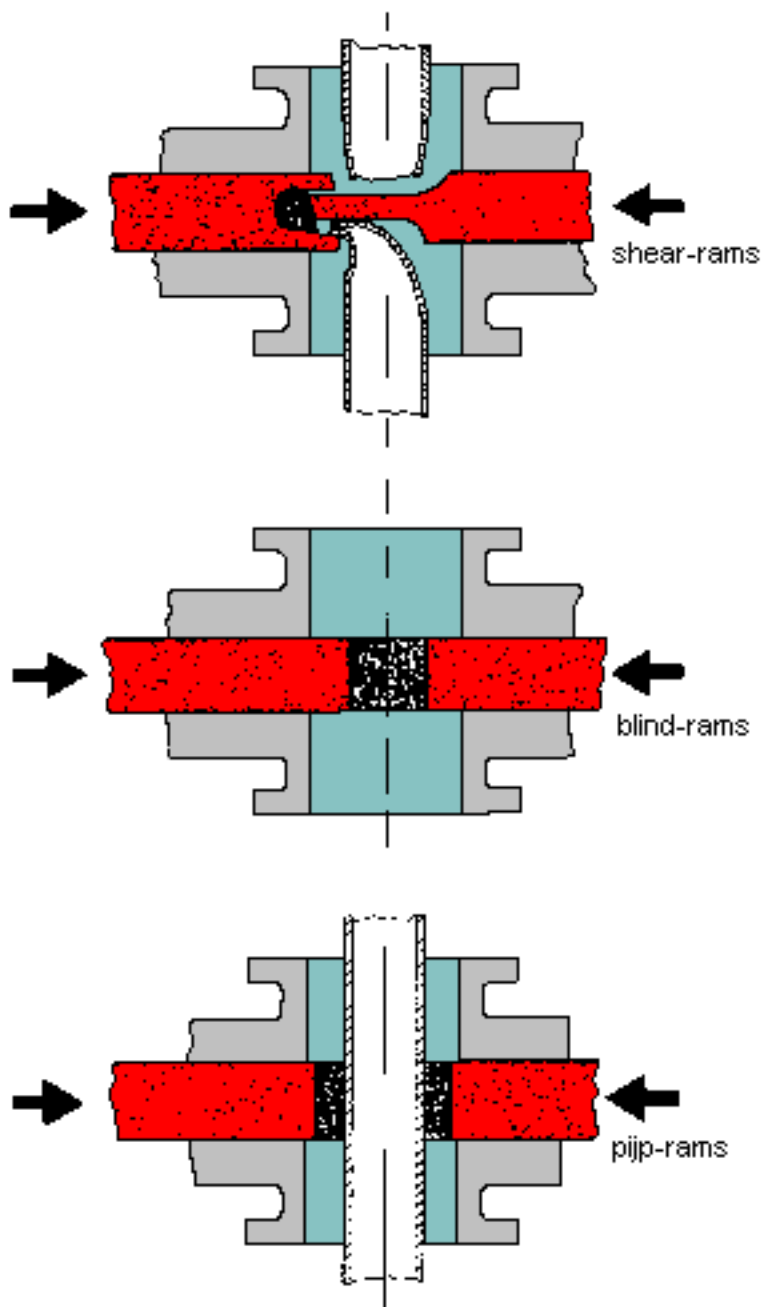
Overige eigenschappen, die aan de spoeling als voorwaarde kunnen worden gesteld zijn:

- Het zoutgehalte

- Stabiliteit: geen uitzakken van vaste deeltjes
- Laag zandgehalte
- Correcte zuurgraad / alkaliteit (pH)

# Blowout-preventers

Boorspoeling is een eerste verdedigingslijn tegen de effecten van een onverwacht hoge formatiedruk. De tweede bescherming wordt, zoals wij reeds zagen, gevormd door de blowout preventers.



Werking van verscheidene typen BOP's

Aangezien de inhoud van de formatie zowel in de boorpijp als in de annulaire ruimte zou kunnen binnendringen, moeten de BOP's beide routes afsluiten. De BOP's worden boven elkaar in een 'stack' aan de bovenkant van de casing gemonteerd. Meestal bestaat een stack uit 3 of 4 BOP's van de navolgende typen:

## Pijp-rams

Deze bestaan uit een paar hydraulische rams met rubberen voeringen, die elk een inkeping in de vorm van een halve cirkel hebben. Wanneer de rams in werking worden gesteld, passen deze precies rond de boorpijpen en sluiten op deze wijze de annulus af (zie figuur).

## Blind rams

Deze lijken op de pijp-rams met dit verschil, dat de rubberen voeringen geen inkepingen hebben. Zij hebben daarentegen een platte voorkant en kunnen daarom een leeg gat afsluiten (zie figuur).

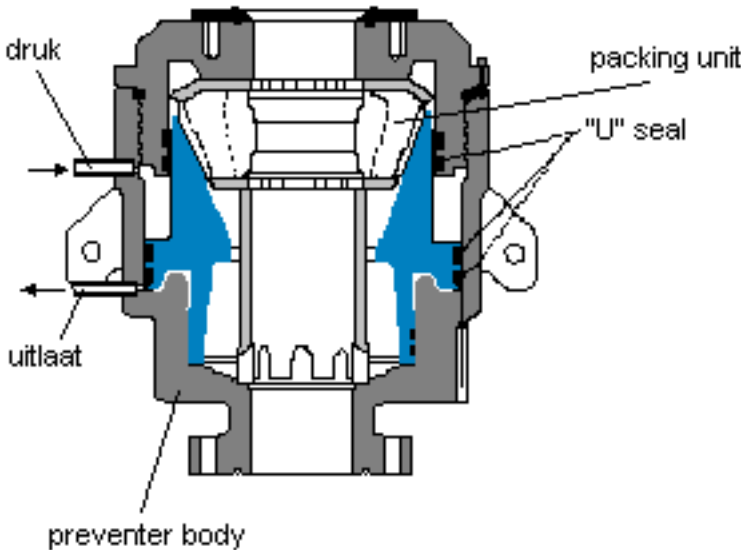
## Shear rams

Deze lijken op de pijp-rams. De rubberen voeringen zijn echter door stalen wiggen vervangen. Als de rams in werking worden gesteld, snijden de wiggen dwars door de boorpijp. Deze wordt dichtgeknepen en tegelijkertijd vastgeklemd, waardoor de boorserie niet in het gat zou kunnen vallen (zie figuur). Deze rams worden slechts in het uiterste noodgeval gebruikt.

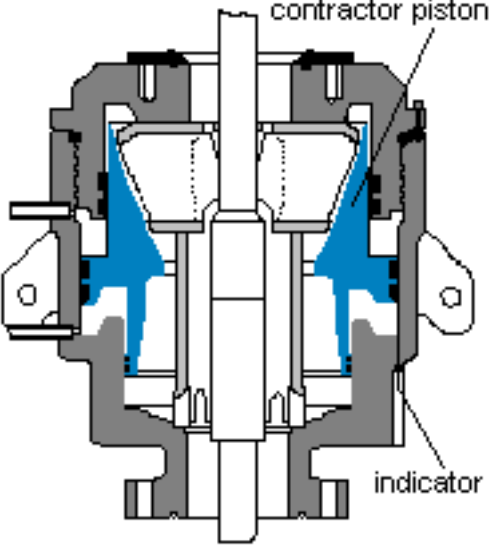
## Annulaire BOP

Deze wordt aan de bovenkant van de stack gemonteerd. Een rubberen ring wordt door de opwaartse beweging van een wigvormige ring naar binnen gedrukt. Dit type van BOP kan rond elk onregelmatig gevormd boorgereedschap sluiten (zie onderstaande figuur). Wanneer wij bijvoorbeeld in een

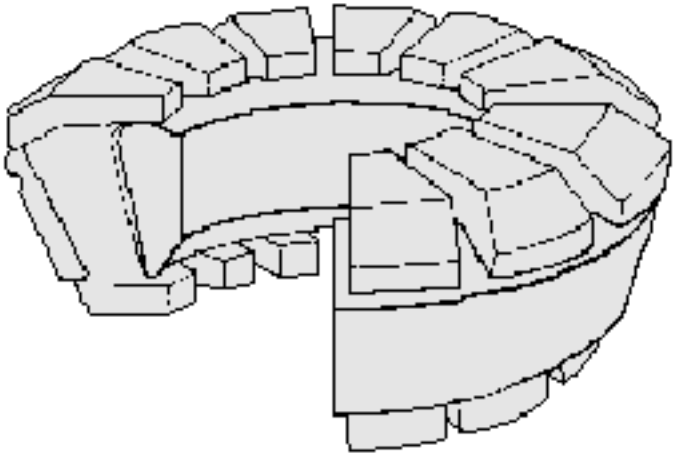
noodsituatie geen tijd hebben om precies te bepalen waar de tool joints zich bevinden, verzekert de annulaire BOP dat de annulus goed wordt afgesloten. Dit zou niet het geval zijn, wanneer wij de pijp-rams zouden gebruiken. Deze sluiten alleen om de boorpijp zelf, ongeacht de diameter.



Open preventer

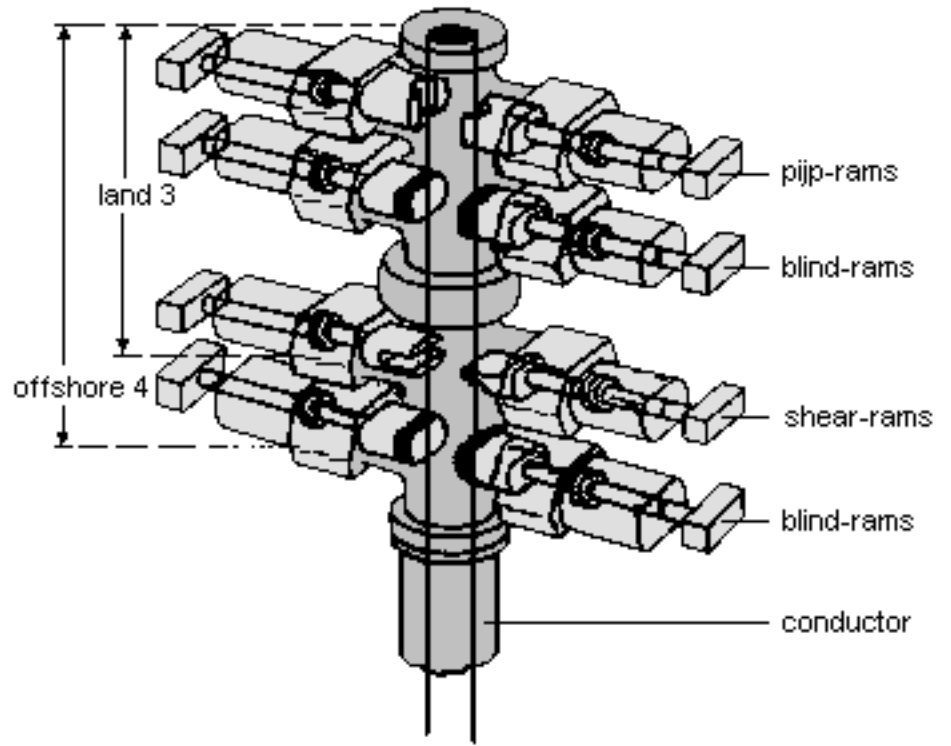


Gesloten preventer



Annulaire blowout-preventer (Hydril)

Zoals eerder opgemerkt, is de **kelly** uitgerust met een zogenaamde bovenste en onderste 'kelly cock'. Deze afsluitkranen kunnen met de hand worden bediend om de binnenkant van de serie af te sluiten. Hiermee worden de spoelkop, slang en standpijp van formatiedruk geïsoleerd. Als de goede BOP en kelly cocks zijn gesloten, is de put volkomen ingesloten.



Blowout-preventer-stack  
(meest gebruikte configuratie)

# Boorstring

Een boor-string bestaat - van beneden naar boven - uit:

- boorbeitel
- drill collars
- boorpijpen
- kelly

# Boorbeitels

Een boor-string bestaat - van beneden naar boven - uit: boorbeitel, drill collars, boorpijpen en kelly. De boorbeitel is het gereedschap dat het eigenlijke werk doet en door de formaties dringt om een boorgat te maken. De drie belangrijkste soorten van boorbeitels zijn:

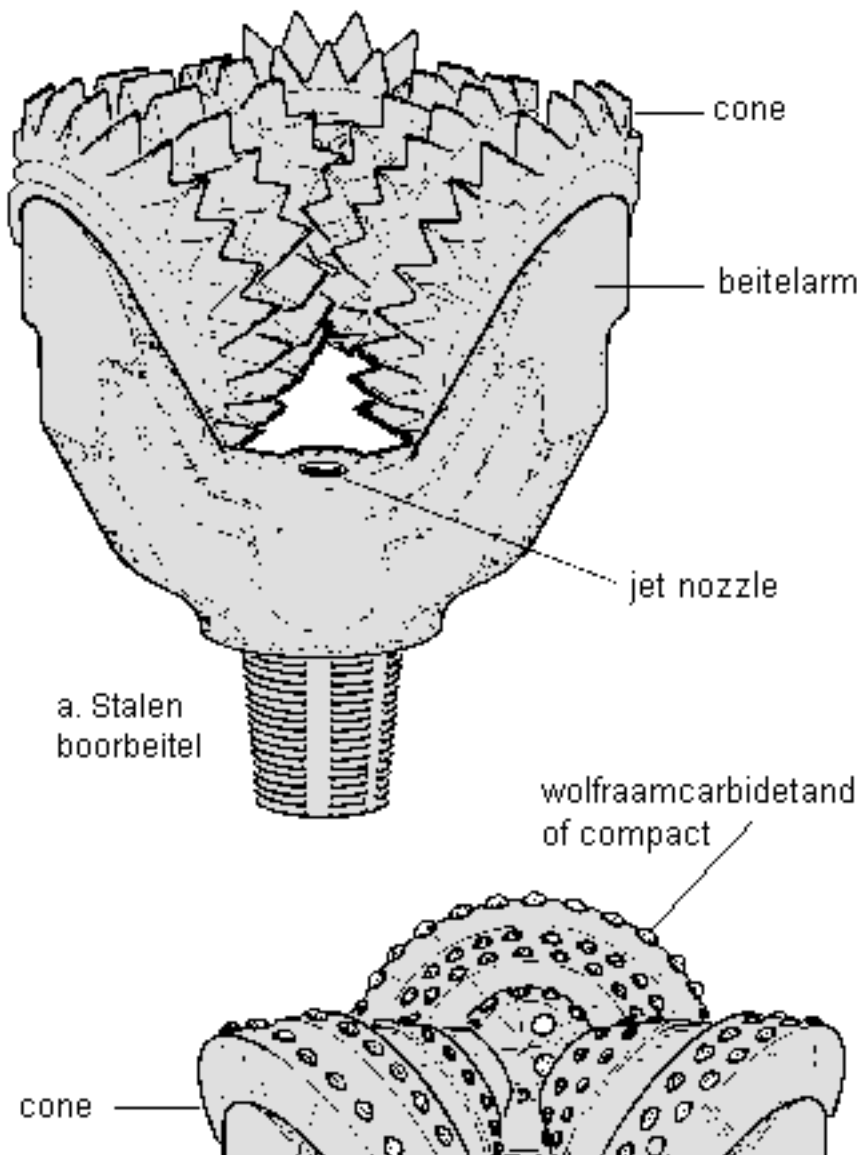
- rock bits
- diamantbeitels
- roller-beitels.

## Rock bits

Dit was het eerste type rotary-beitel en hij wordt nog altijd gebruikt. (Deze beitels zijn alleen geschikt voor zeer zachte formaties.) Rock bits hebben twee, drie of vier snijbladen; het type met twee bladen wordt een 'fish tail' genoemd.

## Diamantbeitels

Dit type beitel bestaat uit een stalen lichaam, waarop een groot aantal diamanten in een bepaald patroon, dat afhankelijk is van de formatiehardheid, is vastgekit.

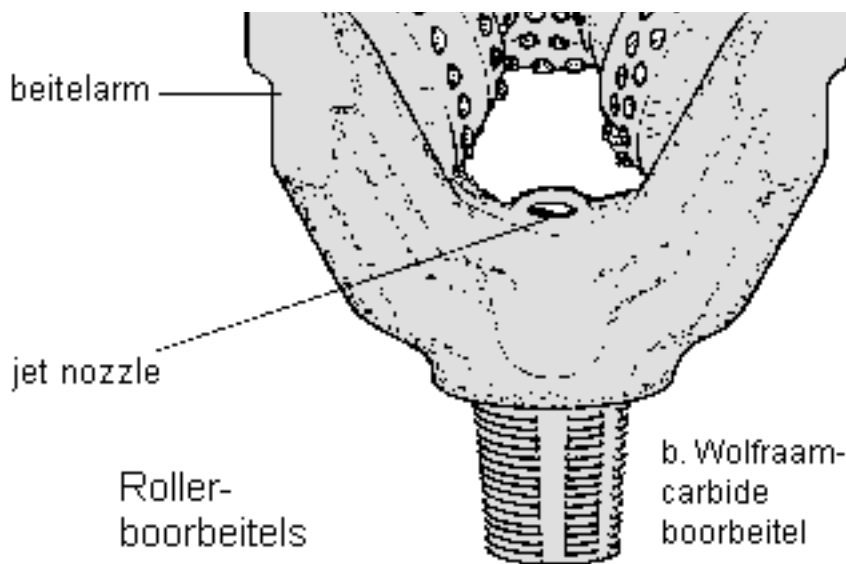


De belangrijkste **voordelen** van deze beitel zijn:

- De grote hardheid, waardoor in harde formaties kan worden geboord.
- De goede slijtvastheid, waardoor in schurende gesteenten kan worden geboord.
- De duurzaamheid van de beitel (circa 100 tot 500 draaiuren tussen twee onderhoudsbeurten), waardoor efficiënter kan worden geboord.

De belangrijkste **nadelen** zijn:

- Hoge aanschaffingskosten.
- Hoge onderhoudskosten.
- Het betrekkelijk lage penetratievermogen in het gesteente (circa 1,5 á 3 m per uur).
- Het geproduceerde boorgruis is fijn, waardoor dit geen volledige informatie over de



lagen geeft.

### Roller-beitels

De uitvinding van de roller-beitel in 1909 betekende een grote verbetering van het draaiend-boren tegenover het stotend-boren. Het draaiend-boren werd van toen af aan de gebruikelijke methode. De beitel bestaat uit 3 of 4 conische snijdelen, 'cones', met gefreesde tanden. De slijtende delen van het type met 3 cones bestaan ook vaak uit het zeer harde wolfraamcarbide. De toepassingsmogelijkheden en beperkingen van deze twee typen van rollerbeitels zijn:

- **3 cones**

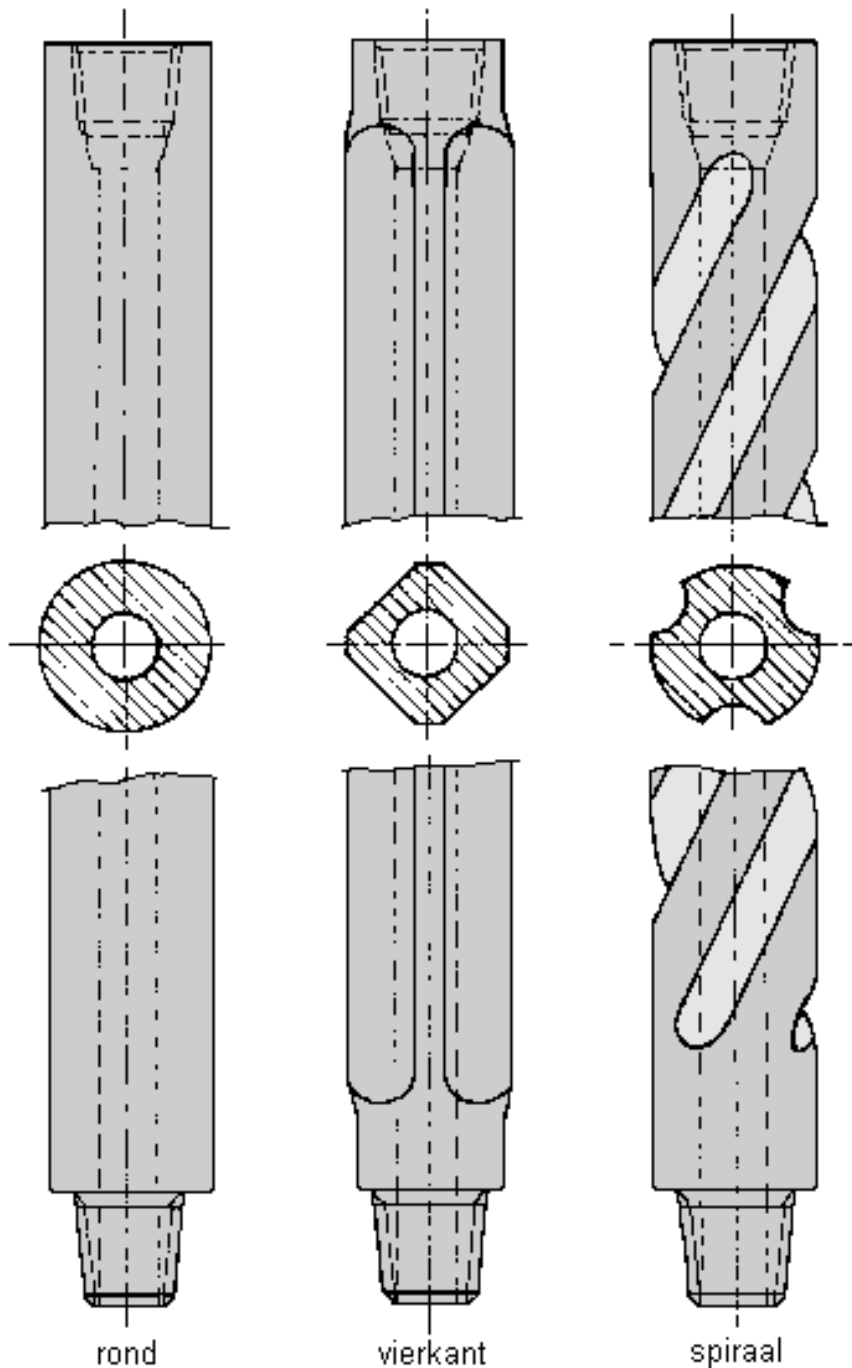
Dit type wordt het meest gebruikt en is geschikt voor alle soorten van formaties. De afzonderlijke cones zijn voldoende groot en sterk om de belasting te kunnen opvangen.

- **4 cones**

Dit type wordt vanwege de vorm ook cross-cutter genoemd en is geschikt voor hardere formaties. De afzonderlijke cones zijn echter minder sterk dan de voorgaande typen en dit geeft beperking aan de boorbelasting.

Voor het boren van boorkernen wordt de zogenaamde kernbeitel gebruikt. De snijvlakken van deze holle beitel zijn voorzien van kleine industriediamanten.

# Drill collars



Drill collars

Drill collars hebben de volgende functies:

- Ervoor zorgen dat er een gewicht op de beitel rust, waardoor deze bij het draaien in het gesteente dringt.
- Verzekeren dat er een trekspanning op de boorpijpen heerst. De boorpijpen kunnen namelijk geen verticale belasting weerstaan. De boor-string zou door zijn eigen massa knikken.

De drill collars moeten nauwkeurig worden vervaardigd. Ze hebben in het algemeen een lengte van 10 m. en worden in verschillende diameters en de daarmee overeenkomstige massa vervaardigd.

**Bijvoorbeeld:**

Buitendiameter (O.D.)	Binnendiameter (I.D.)	Massa per meter
3 1/8 inch	1 1/4 inch	10 kg
11 inch	3 inch	135 kg

Drill collars met deze maten hebben dus bij een lengte van 10 m per stuk een massa van 100 kg, respectievelijk 1350 kg.

Er zijn verschillende speciale typen van collars. Wij noemen er enkele:

- **Spiraal**

Deze worden gebruikt om het contactoppervlak tussen de drill collar en de boorgatwand te verkleinen, waardoor deze minder aan de wand blijven kleven.

- **Monel**

Deze drill collars, die vervaardigd zijn uit monelmetaal, een niet-magnetische staallegering, worden

gebruikt, als het nodig is bepaalde instrumenten, die in het boorgat worden gelaten, van de versturende invloed van het aardmagnetisme af te schermen. Dit is o.a. het geval bij gedeveerd boren.

- **Stabilisatoren**

Deze bestaan in verschillende zogenaamde 'full gauge'-modellen: zij passen precies bij de diameter van het boorgat. Deze worden op bepaalde plaatsen in de serie drill collars aangebracht om:

- de drill collar concentrisch te houden;
- het ontzetten of verbuigen van de drill collars te verminderen;
- een hoger gewicht op de beitel toe te laten;
- de levensduur van de beitel te verlengen;
- het kleven van de boorserie tegen de boorgatwand te voorkomen;
- bij gedeveerd boren te voorkomen, dat de drill collars vastlopen;
- de boorrichting te corrigeren.

# Draaiboorpijpen

De draaiboorpijp bestaat uit naadloze pijpstukken met speciale verbindingstukken ('tool joints'), die van schroefdraad zijn voorzien.

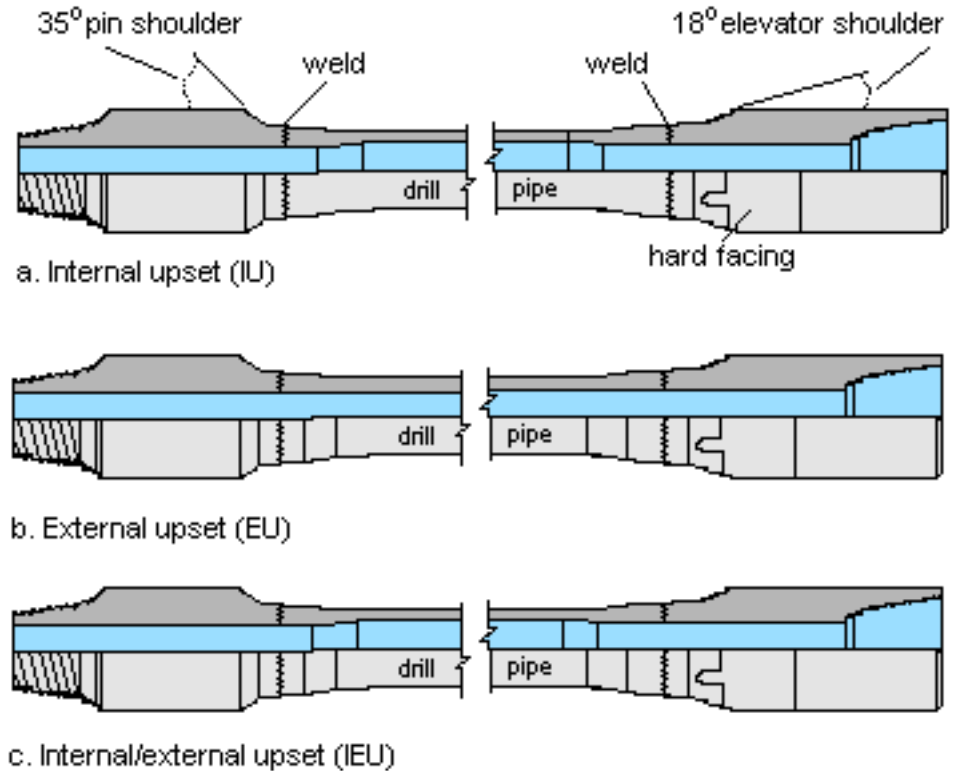
De draaiboorpijp wordt gebruikt om de draaiende beweging, niet de druk, van de draaitafel aan de oppervlakte, naar de beitel op de bodem van het gat over te brengen. De draaiboorpijp is hol, zodat deze vloeistof onder hoge druk naar de beitel kan transporteren.

De boorpijp wordt gefabriceerd in 'singles' met een lengte, variërend van 9 tot 12 m, en met verschillende diameters. De diameter varieert van:

- 2 3/8 inch buitendiameter (O.D.) en 1 7/8 inch binnendiameter (I.D.) met een massa van 9,9 kg per meter tot
- 5 inch O.D. en 4 inch I.D. met een massa van 38,1 kg per meter.

Voor speciale doeleinden bestaan er ook dikwandige boorpijpen, zoals:

- 5 inch O.D. en 3 inch I.D. met een massa van 74,5 kg per meter.

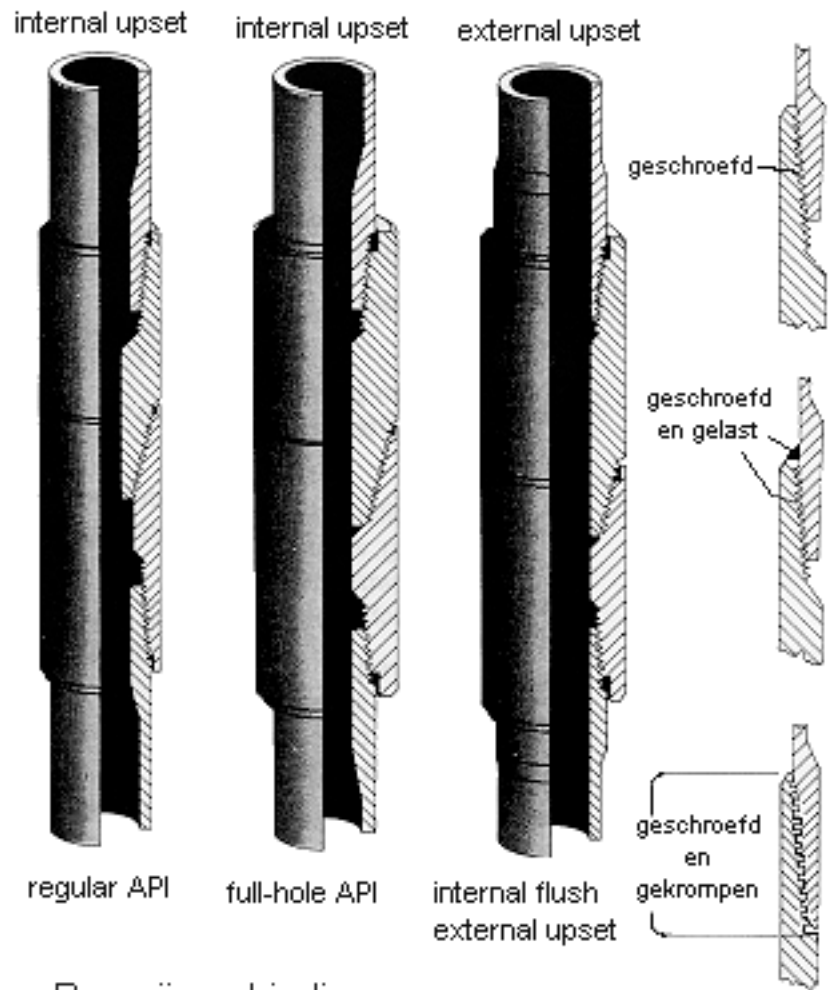


Draaiboorpijpen

Boorpijpen worden aangeschaft in series van 300 en 500 'singles', die als een serie bij elkaar moeten worden gehouden. Er wordt een kaart bijgehouden van het werk dat met elke serie is verricht, en voor elke 'single' bestaat een identificatiecode.

## Boorpijpverbindingen

Vroeger werden aan de boorpijp geschroefde verbindingen gebruikt. Later worden gelaste joints ontwikkeld. Tegenwoordig worden meestal gekrompen verbindingen toegepast.



# Kelly

De kelly brengt de draaiende beweging van de draaitafel over naar de boorstring en draagt het totale gewicht van de string. De kelly is daarom het zwaarst belaste onderdeel van de boor-string. Kelly's worden in verschillende maten geleverd en kunnen zowel vierkant als zeshoekig zijn.

## **Kelly cocks**

Dit zijn afsluiters binnenin de kelly. In geval van een blowout worden deze gesloten. Zij isoleren dan ook de spoelkop en de rest van het spoelingsysteem van hoge formatiedruk. Meestal bevindt zich één kelly cock aan de bovenkant en één aan de onderkant van de kelly, zodat bij verschillende posities van de kelly een van beide cocks gemakkelijk met de hand kan worden bediend.

## **Bushings (vulstukken)**

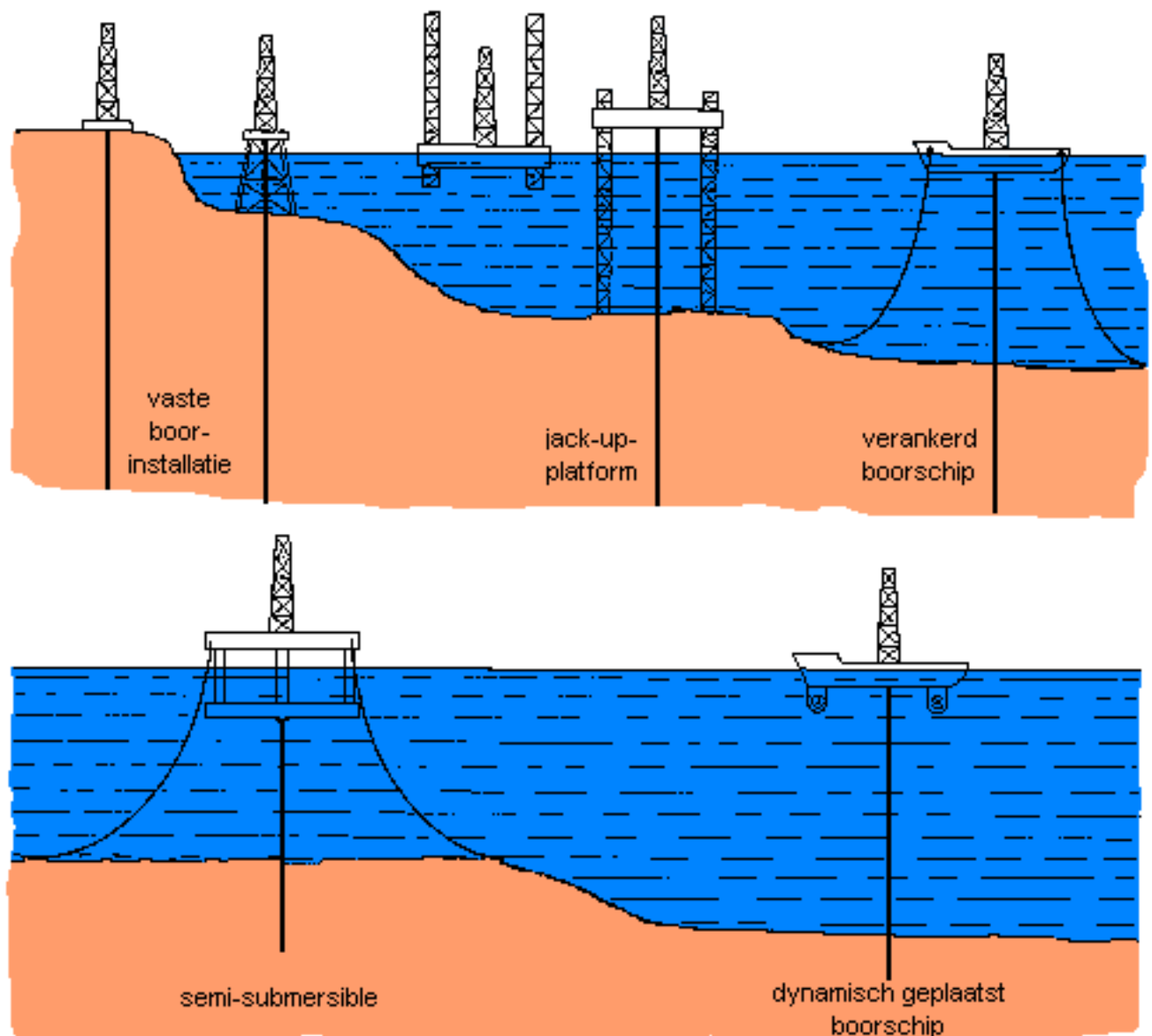
De kelly bushing en de master bushing vormen het overbrengingsmechanisme. De kelly bushing zit om de kelly heen en wordt in de master bushing in de draaitafel geplaatst.

# Samenvatting Offshore-boorinstallaties en boorschepen

De boorinstallaties en het boorgereedschap op land werden sinds de dagen van de houten installaties uit de laatste decennia van de vorige eeuw steeds verder ontwikkeld. De drie belangrijkste functies van een boorinstallatie hebben zijn eerder besproken. Deze zijn:

- Een verticale beweging: het optrekken en laten zakken van de boorserie.
- Een draaibeweging: het draaien van de boor-string in het gat.
- Een circulatiebeweging: het circuleren van boorspoeling, die de beitel smeert en afkoelt, gruis naar de oppervlakte transporteert en een eerste bescherming levert tegen de ongewenste instroming van vloeistoffen en gassen uit de formatie.

In een later stadium bekijken wij een vierde functie, namelijk het voortdurend en gedetailleerd analyseren van gegevens, die worden verkregen uit een exploratieput. Dit is een gespecialiseerd aspect van het exploratieboren.



## Ontwikkeling van (offshore)boorinstallaties

Gelukkig gingen er vele jaren technische **ontwikkeling op het vasteland** vooraf aan de noodzaak **offshore-technieken** te moeten toepassen. In de afgelopen jaren is er een verbazingwekkend snelle vooruitgang geweest in het aanpassen van onshore-methoden aan offshore-locaties en de op zichzelf staande ontwikkeling van steeds verfijndere offshore-technieken.

Hier beperken we ons tot het schetsen van enkele principes. De figuur toont de ontwikkeling, die plaatsvond naarmate de exploratieputten in steeds dieper water moesten worden geboord.

De nieuwe ontwikkelingen werden eerst toegepast bij het boren van exploratieputten. Tegenwoordig worden produktieplatforms nog steeds bijna alleen stevig op de zeebodem opgesteld. Daarom verschilt het **offshore-produktieboren** niet zo heel veel van het **onshore-produktieboren**. Voordat met produktieboren in diep water kan worden begonnen, moet echter het exploratieboren vanuit **drijvende installaties** met succes zijn afgesloten. Een belangrijke overweging bij het exploratieboren is investeringen in permanent geïnstalleerde uitrustingen op een absoluut minimum te houden. Het doel hiervan is:

- een gat te boren op de meestbelovende locatie en
- de uit het gat verkregen gegevens te analyseren.

Hierna wordt het boorgereedschap naar de volgende locatie verplaatst, waarbij zo weinig mogelijk materiaal wordt achtergelaten. Dit aspect is bij het offshore-exploratieboren zelfs nog belangrijker. Zowel financiële overwegingen als milieuoverwegingen spelen hierbij een rol.

# Exploratieboren op land

Bij het boren kan de gehele installatie op een vaste bodem worden opgesteld. Het is niet al te moeilijk een installatie te ontwerpen die na de boring direct kan worden verplaatst.

Verder is er, in tegenstelling tot bij het offshore-boren, geen sprake van een relatieve beweging tussen het gereedschap boven en onder de grond.

De bereikbaarheid en bediening van de installatie zijn vrij eenvoudig.

# Het eerste stadium van het offshore-exploratieboren

De allereerste offshore-exploratie was een betrekkelijk eenvoudige aanpassing van onshore-technieken die werden gebruikt bij moerassen, rivierdelta's en meren.

Een van de eerste werd uitgevoerd in 1937 door de Pure Oil Company in de Golf van Mexico, waarbij een houten brug van 1,5 km vanaf het vasteland werd aangelegd

# De eerste drijvende installaties

Naarmate het onderzoek zich naar dieper water verplaatste, moest de installatie mobieler worden. In dit tweede stadium werd de gehele boorinstallatie op een drijvend vlot opgesteld. Hierdoor werd een grote mobiliteit bereikt. Toen men het vlot echter op de locatie had, zag men geen mogelijkheid het probleem van het bewegende vlot en boorgereedschap tegenover het vaste punt op de zeebodem, waarin men moest boren, op te lossen.

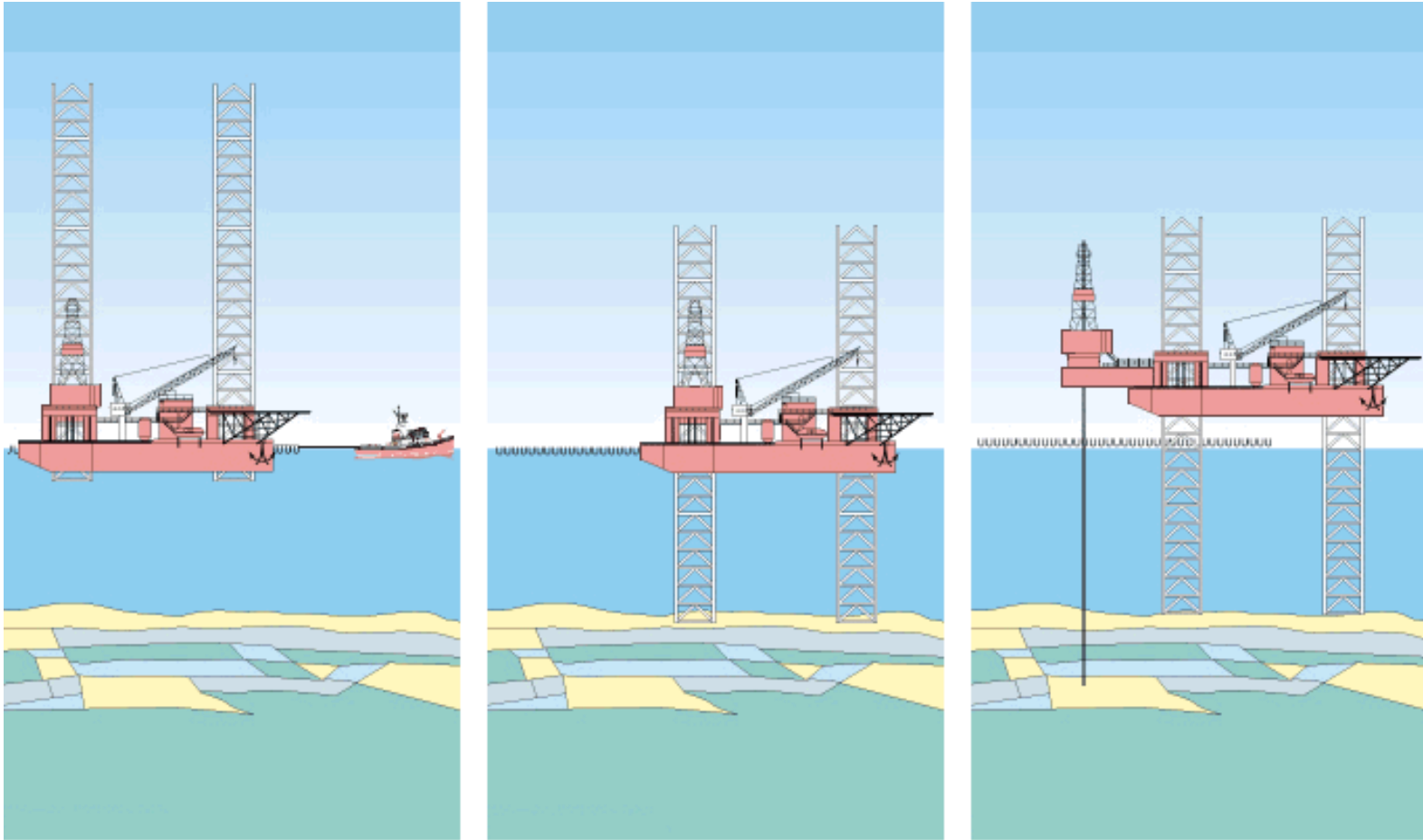
In 1955 verscheen in de Golf van Mexico de 'Rig 52' van de Offshore Company die tot diepten van 30 m. kon boren en was gebouwd door 'American Bridge'. Voor het eerst had men een bepaalde vastheid bereikt door het vlot van poten te voorzien die men op de zeebodem kon laten zakken en weer kon optrekken wanneer men naar een nieuwe locatie wilde.

Wanneer er moest worden geboord, werden de poten op de zeebodem nog verder uitgeschoven, waardoor het vlot boven het wateroppervlak kwam te hangen. Op deze wijze verkreeg men zowel de vaste installatie uit het eerste stadium als de vereiste mobiliteit.

# De 'Jack-up'

Op hetzelfde principe berust de jack-up die door de NAM op het Nederlandse gedeelte van het continentale plat wordt gebruikt. Het water is daar niet veel dieper dan 50 m. en de zeebodem biedt voldoende stevigheid om de jack-up te ondersteunen.

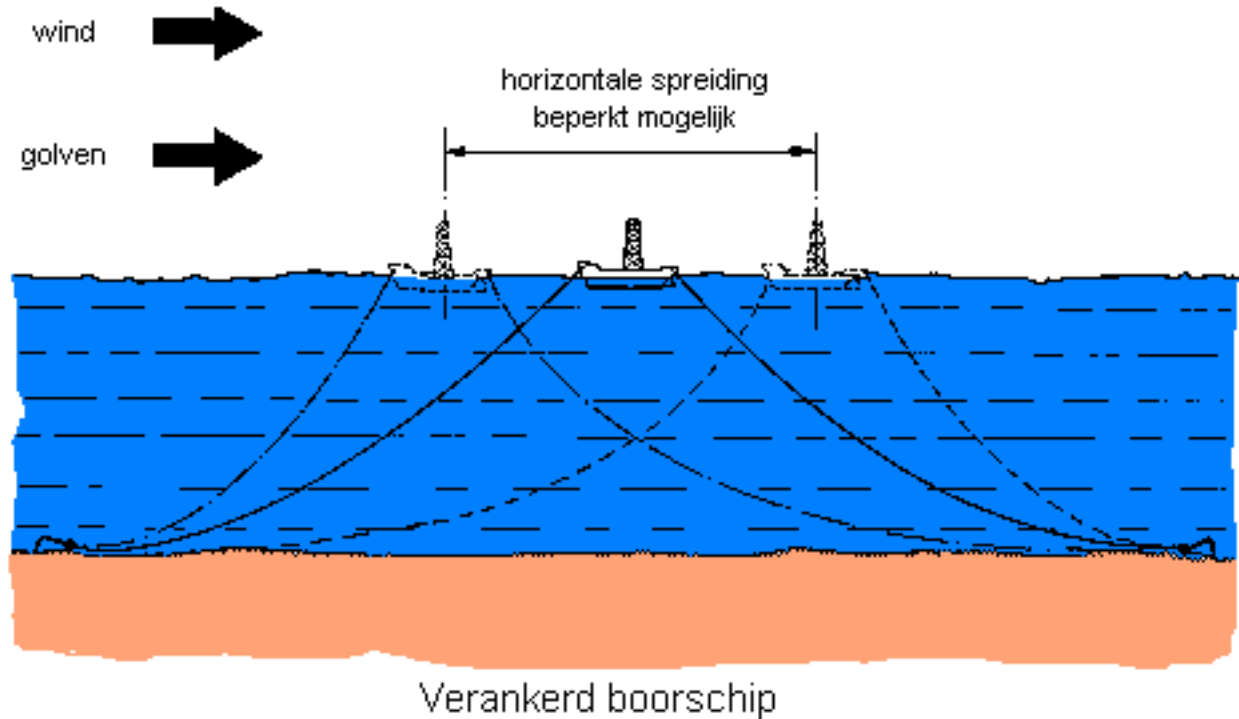
Het werkplatform wordt tot ongeveer 15 m. boven het wateroppervlak opgevijseld om het tegen de golfslag te beschermen. Dit type installatie heeft het voordeel, dat het onder alle weersomstandigheden rotsvast blijft staan. Het nadeel is, dat men niet op grote waterdiepte kan boren. Deze beperking werd opgeheven door de ontwikkeling van de boorschepen en semi-submersibles.



Jack-up-platform; onderweg en op locatie

# Verankerde boorschepen

In het derde stadium werd het oorspronkelijke boorschip ontwikkeld. Deze schepen bestonden in veel gevallen uit omgebouwde olietankers, waarop het onshore-boorgereedschap werd geïnstalleerd. Ze beschikten vaak over een inrichting voor compensatie van de deining en waren verankerd- om in positie te blijven.



De romp van deze schepen ging echter bij 10 m.-hoge golven onvermijdelijk 10 m. omhoog en omlaag. Daarbij komt nog, dat het verankerde schip bij conventionele ankers betrekkelijk vrij horizontaal moet kunnen bewegen.

De eerste boorschepen hadden, omdat deze afhankelijk waren van ankers, grote beperkingen en losten de problemen, die zich voordeden bij de 'jackup'-installaties, niet op. Hieruit ontstond het vierde stadium, de nu welbekende semi-submersible.

# Semi-submersible

Gezien de beperkte toepassing in open water van zowel de 'jack-up'-installatie als het verankerde boorschip, kwam men uiteindelijk tot een ontwerp, waarbij het drijvende deel permanent onder de golven blijft en het boordek zich boven water bevindt.

Zo verscheen in 1962 de eerste **semi-submersible** of diepdrijvende boorinstallatie: de omgebouwde 'Blue Water No. 1', die in 1957 oorspronkelijk was gebouwd om in 25 m. diep water te boren met het onderste deel van de romp op de bodem.

De eerste echte semi-submersible was 'Mr. Charlie', die in 1954 is gebouwd voor de Golf van Mexico. Bij verdere ontwikkeling van dit concept bleef de drijvende romp, wanneer de installatie werd verplaatst, aan de wateroppervlakte. Bij elke boorlocatie kon men de installatie tot een diepte van ongeveer 20 m laten zakken. Op deze diepte bevond de romp zich beneden de invloed van de golven, terwijl het boordek zich erboven bevond. Het boordek was gebouwd op een structuur, waar het water doorheen kon stromen.

De semi-submersibles werden en worden nog steeds met massieve ankers op de locatie vastgelegd. Zij ondervinden relatief weinig last van de golven. Men heeft methoden ontwikkeld om de ankers te spannen, zodat men de installatie rond het boorpunt op de zeebodem binnen 2 tot 4% van de diepte van het water gecentraliseerd kan houden. De semi-submersibles kunnen tot in ongeveer 400 m. diep water boren.

Bij het zoeken naar olie zal het exploratieboren echter verder moeten gaan dan de beperking van 200 tot 400 m. diepte, die wordt veroorzaakt doordat de semi-submersibles moeten worden verankerd. De installaties hebben 8 ankers nodig, die elk tot 40 ton wegen. De ankers liggen daarbij in een straal van 4- tot 5-maal de waterdiepte. Bij een diepte van 400 m. betekent dit, dat 8 ankers, elk met een gewicht van 40 ton, uitgelegd zijn in een cirkel met een diameter van 4000 m.

Deze beperkingen leidden tot het vijfde stadium: de dynamisch geplaatste boorschepen.

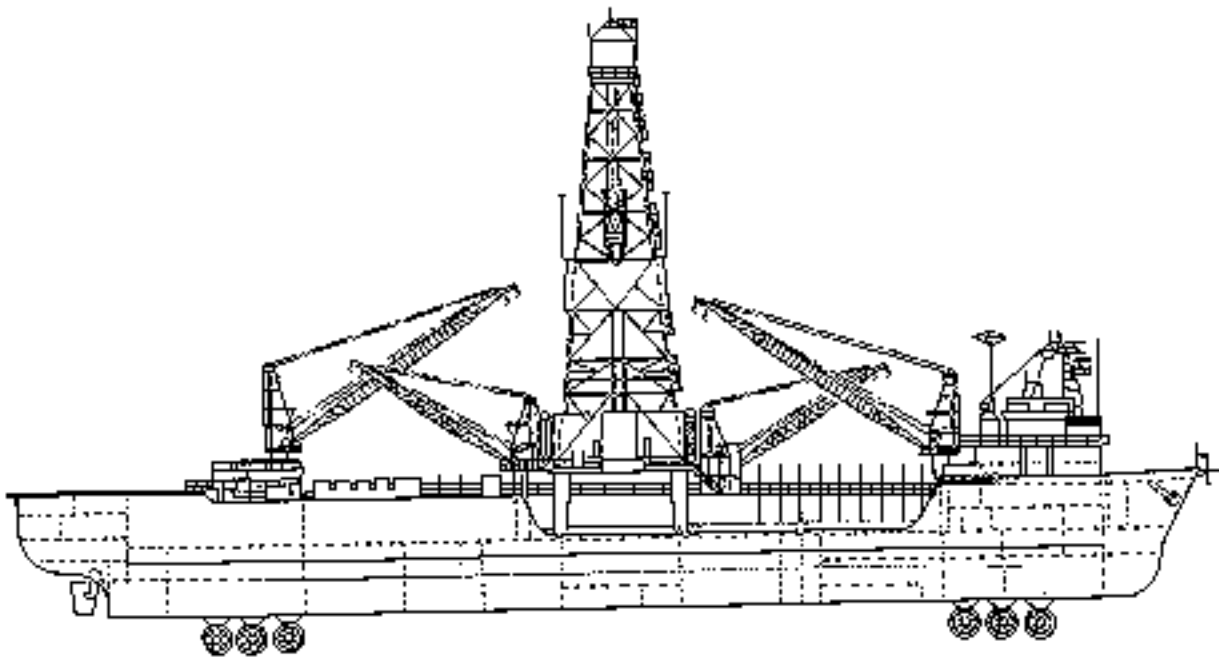
# Dynamisch geplaatste boorschepen

Zoals wij zagen, leverde het oorspronkelijke boorschip een bevredigend boorplatform, maar had het twee nadelen:

- Het was een conventioneel schip, dat geheel afhankelijk was van de kracht van golven en wind.
- Voor een nauwkeurige plaatsing was het afhankelijk van ankers en ankerkettingen. Deze moesten, vanwege de principes van het ankeren, een bepaalde mate van zijdelingse vrijheid hebben.

Daarom werden er technieken ontwikkeld om boorschepen binnen de vereiste 4% van de waterdiepte te kunnen plaatsen, zonder dat hiervoor ankers nodig waren.

De 'Sedco 445' boorde in februari 1972 de eerste put in 400 m. diep water vanuit een dynamisch geplaatste locatie, zonder ankers.



Dynamisch geplaatst boorschip

De '**dynamisch geplaatste**' boorschepen worden door een serie propellers voortbewogen. Deze propellers bevinden zich in de boeg en de achtersteven en zijn in de lengte- en dwarsrichting van het schip geplaatst. Zij worden bestuurd door computers, die worden gevoed door signalen, die van de zeebodem, de well-head en satellietnavigatiesystemen worden teruggekaatst.

De schepen kunnen tot 2 á 4% waterdiepte nauwkeurig op positie blijven, bij alle diepten en onder praktisch alle weersomstandigheden. Het grootste succes, dat met deze dynamisch geplaatste schepen werd behaald, is - voor zover wij weten - een 4000 m. diepe put, die in water met een diepte van 4000 m. werd geboord; dat wil zeggen: tot een diepte van in totaal 8000 m. onder de romp van het schip.

De grote doorbraak bij het exploratieboren in de Noordzee kwam met het verschijnen van de semi-submersible-boorinstallatie. De rol van het dynamisch geplaatste boorschip zal zich echter voornamelijk afspelen in zeeën met een diepte die het conventionele ankersysteem onpraktisch maakt. Bij een dergelijke diepte zal de zijdelingse beweging van de romp van het boorschip niet veel

betekenen, wanneer wij die in een percentage van de diepte van het water uitdrukken.  
De deiningscompensatie-inrichting zal echter wel verticale bewegingen moeten aankunnen, die groter zijn dan bij de semi-submersible.

# Samenvatting Exploratieboren

Het doel van exploratieboren is het verzamelen en interpreteren van geologische, geofysische en chemische gegevens om eventueel aanwezige winbare aardolie en eventueel aanwezig winbaar aardgas later efficiënt te kunnen exploiteren.

Het besluit om op een bepaalde locatie te boren is genomen op basis van gevolgtrekkingen uit de bestudering van de resultaten van geofysische exploratie. De eerste gevolgtrekking zal zijn geweest, dat seismisch onderzoek op een gesteentestructuur wijst, die een bedrijf aanzet tot het aanvragen van een opsporingsvergunning in een of meer 'blokken' in de Noordzee. Blokken in de Noordzee worden bepaald door de rechthoeken, die door lengte- en breedtelijnen worden gevormd, in kleinere rechthoeken te verdelen. Deze worden op de kaart door een code aangeduid. Het codesysteem is zodanig, dat zelfs binnen het blok een locatie nauwkeurig kan worden bepaald; vele putten en produktie eilanden worden dan ook met hun referentienummer aangeduid.

De verdeling van het continentale plat tussen de kuststaten werd in 1958 in de Conventie van Genève geregeld. Dit verdrag bepaalde, dat elk land aan dit plat ook alle rechten heeft om uit te maken, wie er in zijn gebied mag boren. De grenzen van de gebieden tussen, naast of tegenover elkaar gelegen kuststaten werden volgens het zogenaamde equidistantieprincipe vastgelegd. Volgens dit principe is de grenslijn de verbindingslijn van punten, die op gelijke afstand van de kustlijn zijn gelegen.

De ontdekking van aardgas bij Groningen in 1959 gaf aanleiding tot de exploratieactiviteiten op de Noordzee. De eerste zeeboring werd in 1961 door de NAM verricht. De regering besloot echter in 1963, dat alle boringen als een 'onvriendelijke daad' werden beschouwd, totdat de Mijnwet Continentaal Plat in 1968 zou gereedkomen. Intussen werden in de gebieden van andere landen wel exploratieboringen uitgevoerd. De eerste vergunningen werden uitgegeven door Denemarken in 1963 en door Duitsland en Groot-Brittannië in 1964. De eerste gasvondsten werden in 1967 in het Engelse deel gedaan en belangrijke olievelden werden in 1969 bij Ekofisk gevonden. Sindsdien zijn er al veel vergunningen vrijgegeven en men ontdekt nog steeds zowel olie- als gasvelden.

Zoals wij reeds hebben opgemerkt, is het belangrijkste doel van de exploratieboring het verzamelen van gegevens door in de formaties te boren en op deze wijze de speculaties, die op seismische exploratie zijn gebaseerd, te bevestigen of, in ongunstige gevallen, te beëindigen.

# Vereiste gegevens

De vereiste gegevens kunnen als volgt worden gegroepeerd:

- De identificatie van sporen van koolwaterstoffen in de steenmonsters, die naar boven worden gebracht.
- De interpretatie van deze aanwijzingen, zodat men een beslissing kan nemen over de vraag of de exploratieput op een commercieel te exploiteren olie- of gasveld is gestoten.
- De geologische opbouw van de gesteentelagen om vast te stellen of:
  - er wel of geen uitgestrekte moedergesteenten aanwezig zijn;
  - de porositeit, de permeabiliteit, de laagdikte, de uitgestrektheid van het reservoir, de formatiedruk en de kwaliteit van de olie en het gas investeringen in productie-installaties zouden rechtvaardigen.

# Informatiebronnen

De geoloog maakt zijn gevolgtrekkingen uit twee belangrijke soorten van gegevens:

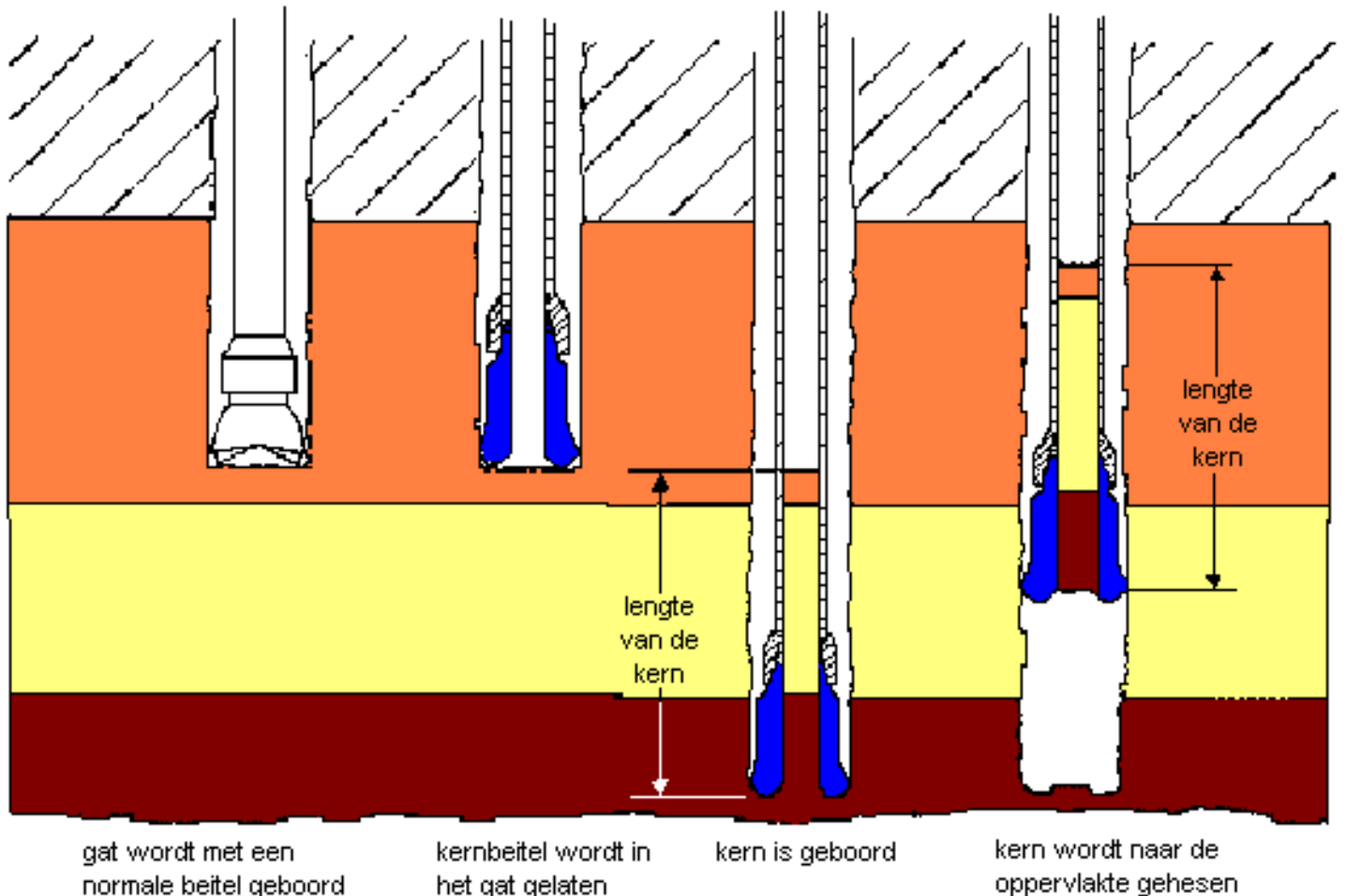
- Hij bestudeert de gesteenten rechtstreeks met behulp van monsters, die op verschillende manieren uit de put worden verkregen (de directe methode).
- Hij bestudeert de gesteenten indirect door de verschillen in de boorvorderingen te vergelijken en door metingen uit te voeren met instrumenten, die met regelmatige tussenpozen in het gat naar beneden worden gelaten.

# Methoden voor het verzamelen van gegevens

## Direct onderzoek van gesteenten

Gesteenten worden op drie verschillende manieren uit het boorgat verkregen:

- Boorgruis wordt door de spoeling naar de oppervlakte gebracht en daarna gezeefd op de schudzeef, gewassen en bestudeerd.
- Grotere monsters kunnen wij verkrijgen door met een kernbeitel te boren. Een dergelijke kern kan een lengte hebben van circa 27 m. en een diameter van 5 tot 10 cm.



Werking van de kernbeitel

- Wij kunnen ook monsters verkrijgen door een gedeelte uit de wand van het gat te frezen. Dit geschiedt door speciale apparaten met een zogenaamde Schlumberger-kabel naar beneden te laten zakken. Voorbeelden hiervan zijn cutters, die een monster met een lengte van 1 m. in de vorm van een V uit de wand kunnen snijden en explosieve hulpmiddelen, die een horizontale 'kern' kunnen nemen door een holle kogel door de wand te schieten. De kern, die op deze wijze wordt verkregen, is weliswaar zeer klein (een lengte van circa 4 cm en een diameter van 2 cm), maar toch zeer nuttig.

Boorgruis maakt het grootste deel uit van het gesteente, dat rechtstreeks door de geoloog wordt onderzocht. Deze monsters hebben de navolgende beperkingen:

- Met verschillende beitels wordt gruis van verschillende grootte geboord. Bij gebruik van de

diamantbeitel kan het gruis poederfijn zijn.

- Het gruis kan worden verontreinigd door stukken gesteente uit hogere lagen, die naar beneden zijn gevallen. Deze stukken zijn in het algemeen veel groter dan het gewone boorgruis en kunnen meestal worden gescheiden.
- Wanneer men op lagen met een hoge permeabiliteit of zogenaamde 'ondergrondse rivieren' stuit, kan de spoeling verloren gaan en daarmee ook het boorgruis. In een dergelijk geval zijn kernen of wandmonsters nog de enige middelen voor rechtstreeks onderzoek.

Het gehele kernboren, hetzij door kernen te boren, hetzij door monsters uit de wand te boren, is het onderwerp van verhitte discussies onder de experts. Het is een kostbare techniek, maar de kosten ervan zijn marginaal, omdat het gat toch - met of zonder kernen - moet worden geboord. Sommigen beweren dat met de moderne technologie veel van de informatie, die uit een kern wordt verkregen, gemakkelijker en goedkoper kan worden verkregen door loggingtechnieken te gebruiken. Niettemin kan een kern met de handen worden aangeraakt en met de ogen worden bekeken en is deze voor velen nog steeds nodig als bewijs, dat de gebruikte logging-technieken of indirecte technieken betrouwbaar waren.

### **Indirect onderzoek van gesteenten**

Tijdens het boren van de exploratieput worden met tussenpozen petrofysische metingen (Schlumberger-logs) uitgevoerd met behulp van meetinstrumenten. (Petro = gesteente) Hiervoor wordt een elektrische kabel gebruikt met een mantel van staaldraadwikkelingen als bescherming.

Gewoonlijk wordt bij een boring verscheidene malen gemeten (loggen) en wel:

- elke keer voordat de casing wordt ingelaten en
- wanneer de einddiepte van de put is bereikt.

De fysische eigenschappen van het gesteente die wij meten, zijn o.a.:

- de elektrische weerstand
- de geluidssnelheid
- de natuurlijke en geïnduceerde radioactiviteit
- de soortelijke massa van het gesteente

Deze onderzoeken zijn gebaseerd op metingen ter plaatse, waaruit wij andere kenmerken, zoals de porositeit en de waterverzadiging, kunnen afleiden.

De gegevens die indirect worden verkregen, samen met het bewijsmateriaal dat het boorgruis oplevert, maken het voor de geoloog mogelijk de geologische gebeurtenissen en kenmerken af te leiden. In zones met potentiële reservoirs kan de geoloog door de resultaten van de logs te interpreteren kwantitatieve schattingen maken over de koolwaterstofreserves en de produktiemogelijkheden van de put.

# Analyse van gegevens

Alle gegevens die in de voorgaande hoofdstukken zijn genoemd, moeten daarna worden geanalyseerd, gecorreleerd en geregistreerd, zodat wij een gefundeerd geologisch model van het gebied kunnen verkrijgen.

Op basis van het geologische model kan er een beslissing worden genomen over de noodzaak meer exploratieputten te boren, over hun locaties en welke bevestigingen van veronderstellingen deze moeten opleveren.

De gegevens uit alle exploratieputten worden vervolgens gecorreleerd om uiteindelijke commerciële beslissingen te ondersteunen en als richtlijn te dienen bij eventuele produktieboringen.

# Samenvatting Putopbouw

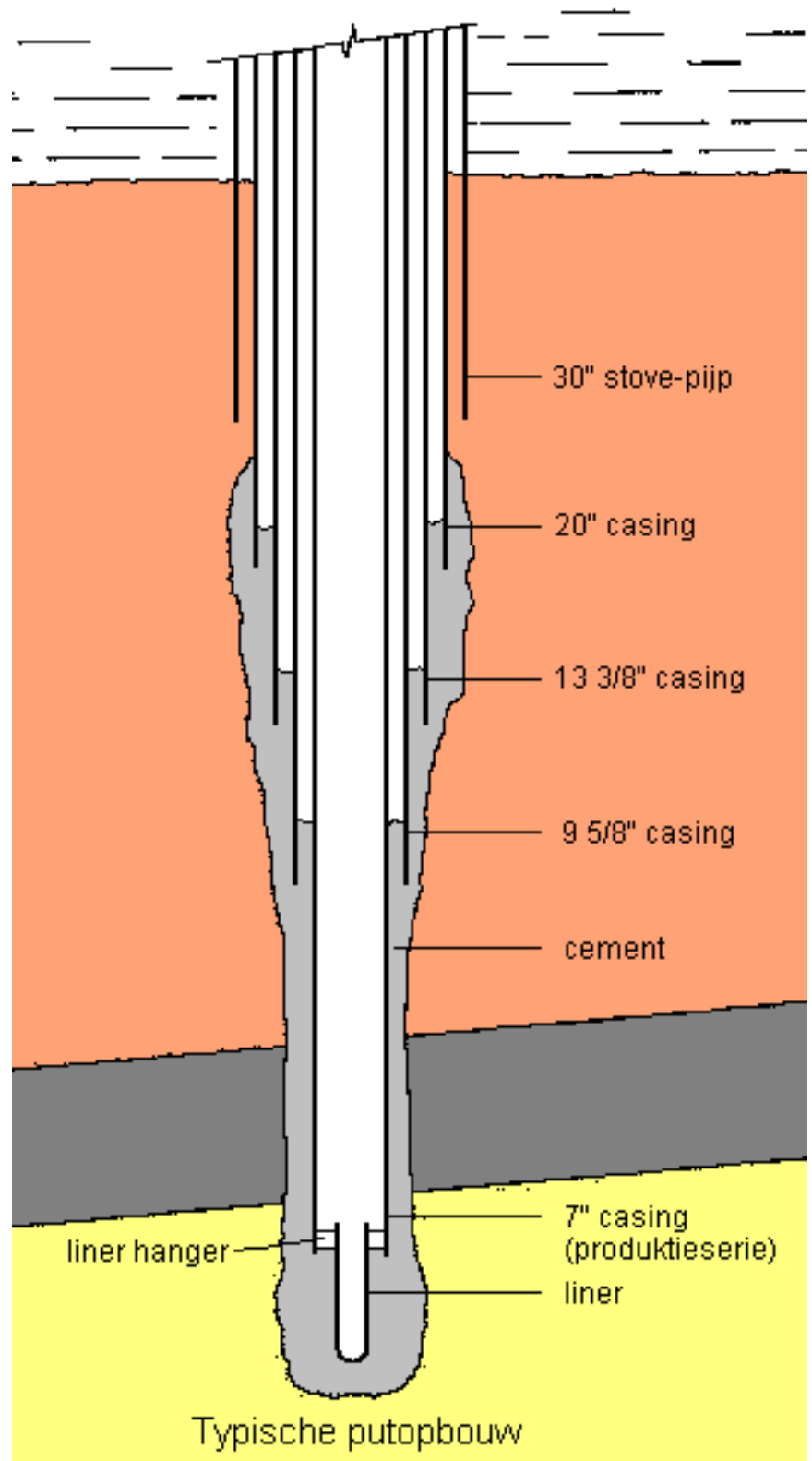
Dit hoofdstuk gaat over de algemene principes van het boren en de opbouw van een typische productieput. Voor elke formatie is de algemene opbouw van een productie- en exploratieput vrijwel identiek. Een exploratieput wordt geboord om gegevens te leveren omtrent de gesteenten en eventueel aanwezige koolwaterstoffen. Exploratieputten worden meestal zodanig opgebouwd, dat deze ook als productieputten kunnen worden gebruikt.

In feite is een put gewoon een gat, dat in de aarde wordt geboord en diep genoeg is om olie en gas te bereiken en groot genoeg om deze door de formatiedruk naar de oppervlakte te laten stromen. Aangezien de zijkanten van het gat zonder steun weer zouden instorten, worden deze met staal bekleed. Om te voorkomen, dat koolwaterstoffen buiten deze bekleding (lining) zouden stromen of in andere formaties zouden dringen, wordt de verhuizing of casing aan de formatie gecementeerd.

De casing-series worden in trappen gecementeerd, waarbij de casing-diameter van de opeenvolgende series geleidelijk kleiner wordt.

Na elke verhuizing kan namelijk slechts met een beitel met een kleinere diameter worden geboord. De volgende casing-serie moet in dit kleinere gat passen.

Bij een productieput is bovengronds op de casing een aantal afsluiters (valves) geplaatst, die te zamen de Christmas-tree of het produktiekruis worden genoemd. Hiermee kan de stroom koolwaterstoffen, die via de productieopvoerserie (tubing) omhoogstroomt, worden gecontroleerd; de tubing is binnen de casing tot in het reservoir naar beneden gelaten.



In de put zijn verscheidene andere kleppen gemonteerd. Deze dienen om:

- bescherming tegen een ongecontroleerde stroom te geven;
- het onderhoud te vergemakkelijken;
- het mogelijk te maken de put in geval van nood door inpompen van zware spoeling of cement dood te pompen (well killing).

De verschillende stadia van het boren en de putopbouw worden in dit hoofdstuk in meer detail besproken.

# Het boorprogramma

Voordat men de put gaat boren, moet een boorprogramma worden opgesteld. Dit bevat onder meer:

- informatie over de locatie; geologie van de oppervlakte of zeebodem; seismische gegevens;
- rapporten over de exploratieboring en complete geofysische gegevens;
- de uiteindelijke diepte van de put;
- gegevens over de te gebruiken spoeling;
- bijzonderheden over de putcompletie;
- schattingen van de reservoirdruk;
- afmetingen van het gat en de casings;
- de soort en hoeveelheden cement.

# Vereenvoudigde boorvolgorde

Wij nemen aan dat er een typische offshore-productieput wordt geboord, die zal zijn opgebouwd uit:

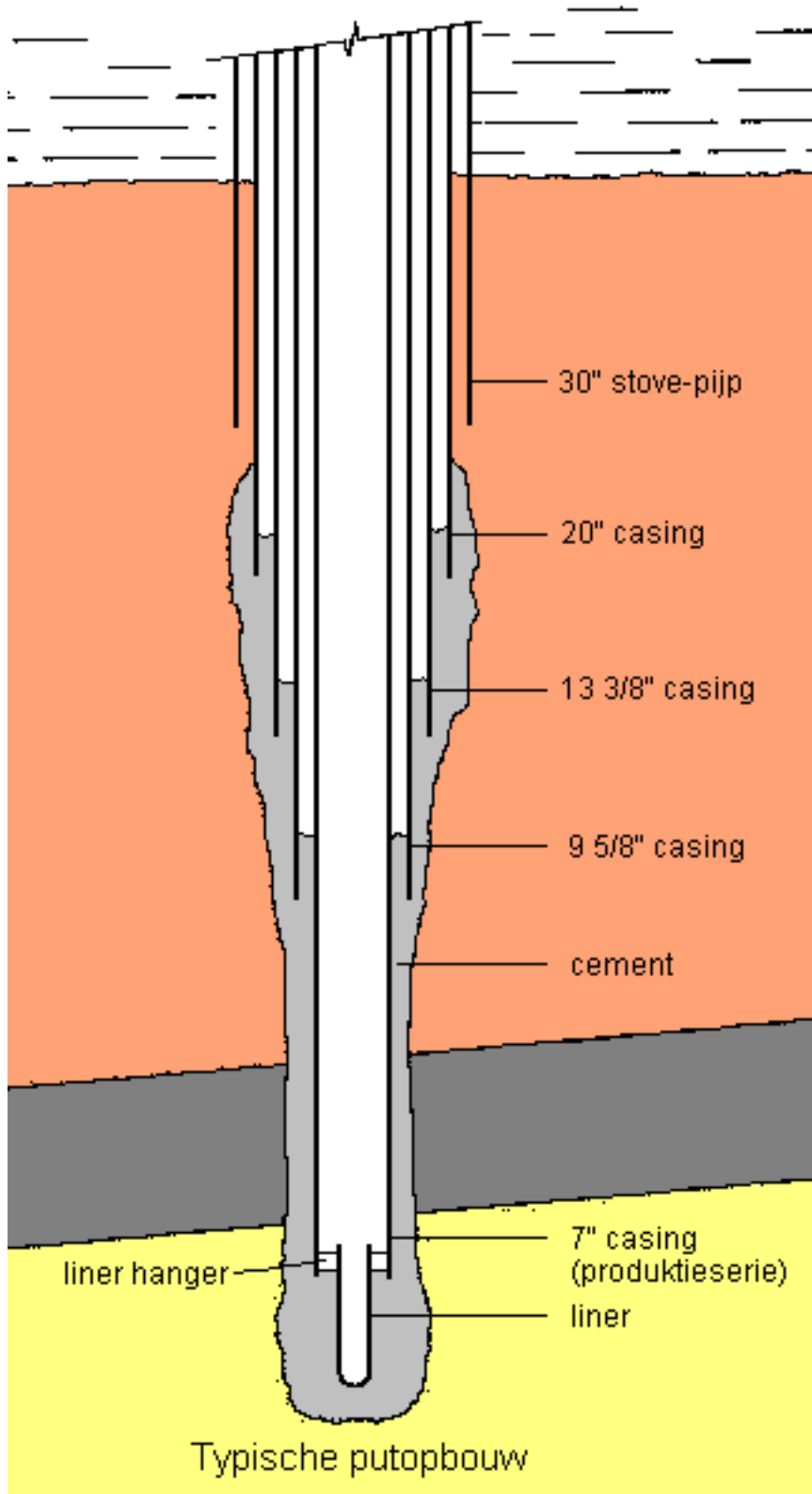
- 36" of 30" stove pipe
- 20" conductor-serie
- 13 3/8" tussenserie
- 9 5/8" tussenserie
- 7" produktieserie / 7" liner
- 4 1/2" liner.

In zeer vereenvoudigde termen zou de boorvolgorde er als volgt uitzien:

- Controleer of al het materiaal op de yard aanwezig is of klaarstaat, zodat het volgens een overeengekomen schema naar de locatie kan worden overgebracht.
- Hei de 30"-diameter stove pipe tot op de vereiste diepte en snijd deze onder de boorinstallatie af. Monteer de verbinding voor de spoeling, die uit het gat naar het spoelingsstelsel wordt teruggevoerd.
- Bevestig de 26"-beitel aan de kelly en boor binnen de 30" stove pipe; gebruik deze casing om de spoeling weer naar de oppervlakte terug te brengen.
- Boor het 26"-gat. Voeg de drill collars voor gewicht op de beitel en de singles-boorpijp aan de boor-string toe, totdat de geprogrammeerde 20"-casing-diepte is bereikt.
- Maak het gat gereed voor het loggen.
- Voer het loggen uit.
- Hang de 20" casing af en cementeer deze aan de wand van het boorgat.  
Deze beginfase is zeer belangrijk. Wij kunnen met de navolgende problemen te maken krijgen:
  - Zachte, losse bovengrond.
  - Mogelijke verliezen van de spoeling.
  - Vastzitten van de pijp.
  - Uitspoelingen (wash-outs) en instorten van de wand.
  - Verlies van cement in de lagen, waardoor de vereiste afdichting niet wordt verkregen.
  - Mogelijke aanwezigheid van een ondiep gasvoorkomen en beperkte tijd voor actie om een blowout tegen te gaan.
- Draai de 20"-kraag eraf en vervang deze door de casing-head housing. Monteer de drilling spool, Hydril (BOP) en flow riser.
- Test de casing en de well head.
- Boor het 17 1/2"-gat tot de geprogrammeerde diepte.
- Log, zet de 13 3/8" tussenliggende casing en cementeer deze.
- Vervang de 20" BOP-stack door een 13 5/8" stack en een zogenaamde X-bushing. Test deze.
- Dezelfde volgorde wordt herhaald voor de navolgende stappen, namelijk een 12 1/4"-gat met 9 5/8" casing, gevolgd door een 8 3/8"-gat met de 7"-produktieserie of 7" liner.

- Boor het laatste deel van de put met een 5 7/8"-beitel en hang de 4½" liner met een liner hanger onderaan de produktieserie.
- Werk de put af.

# Delen van de putopbouw



De belangrijkste delen waarmee de putopbouw in de boorfase wordt uitgevoerd, zijn:

- casings en liner
- casing-head housing
- casing-head spools/casing hangers
- cement.

# Casings en Liner

## Casings

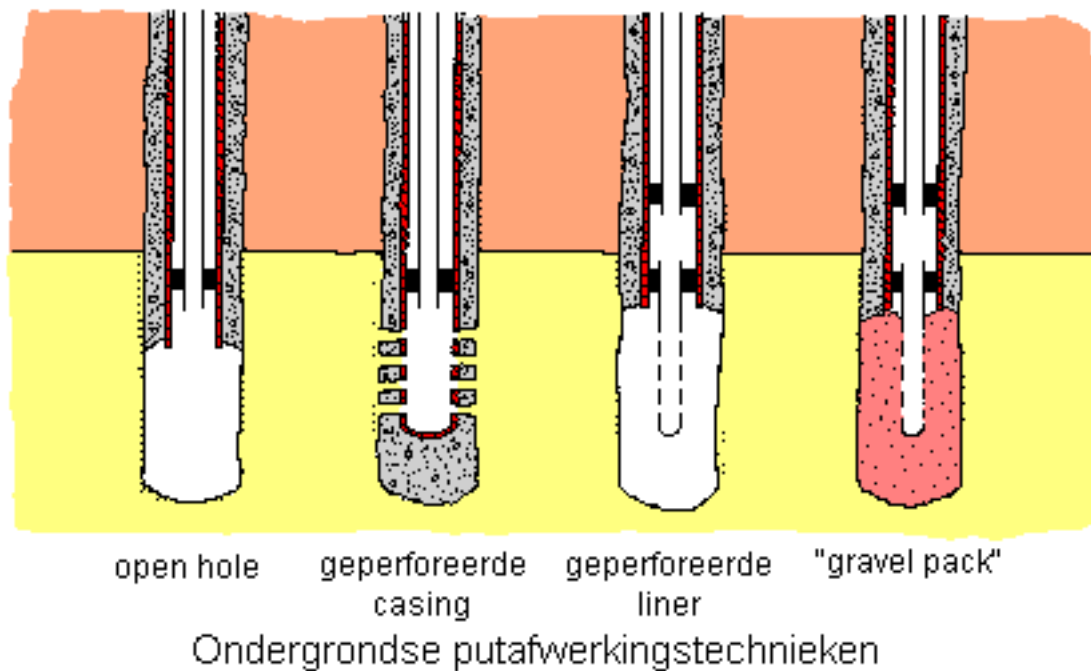
Casings worden in het algemeen in de navolgende 4 groepen ingedeeld:

- **Stove pipe.** Deze wordt gebruikt, wanneer de structuur aan de oppervlakte het boren niet toestaat, omdat de wand van het gat zou instorten. Bij offshoreboringen hebben wij te maken met het zeewater en de modderige zeebodem; op het land bijvoorbeeld met los zand of moeras. De stove pipe wordt bij een landboring door een hei-installatie in de grond gedreven, totdat een voldoende stevige laag is bereikt. De stove pipe dient in de beginfase van de boring ook om de in de put gepompte spoeling weer naar boven te leiden.
- **Conductor.** Dit is de eerste casing waarop een of meer blowout preventers worden gemonteerd. Deze string wordt tot het maaiveld gecementeerd en wordt gebruikt;
  - om ondiepe watervoerende zanden af te sluiten;
  - om ongeconsolideerde topformaties af te dekken;
  - als bescherming tegen ondiepe gasvoorkomens.
- **Tussenserie.** Deze wordt gewoonlijk gezet in een overgangslaag van abnormaal opgeladen formatie en dient;
  - om zwakke formaties te beschermen en circulatieverliezen te voorkomen;
  - om voor blowout-bescherming te zorgen;
  - om met cementvulling koolwaterstofzones en stromende zoutsecties af te sluiten;
  - om instortingen van de boorgatwand en uitholling van reservoirformaties (door spoeling) achter verbuizing te brengen.
- **Produktieserie.** Dit is de laatste casing-serie die wordt afgehangen in de bovenste casing spool van de well head. In veel gevallen wordt deze casing door de gas- of olievoerende formaties heen afgezet.

## Liners

De produktieserie kan eventueel verlengd zijn met een liner. Deze liner kan om twee redenen worden toegepast:

- Om **boortechnische** redenen.
  - Het doorboren van een formatie met onderlinge drukverschillen en verschil van samenstelling.
  - Een kostenbesparend aspect; dan hoeft de casing-serie niet tot bovenaan toe te worden ingelaten.
- Om **produktietechnische** redenen.
  - De verlenging van de casing wordt uitgevoerd met een gesteufde liner door de formatie.
  - Deze gesleufde liner is meestal voorzien van een WWS ('Wire Wrapped Screen'), eventueel met een 'gravel pack'-pakket. Dit doet dienst als een filter ten einde het meesleuren van formatiedeeltjes te voorkomen.

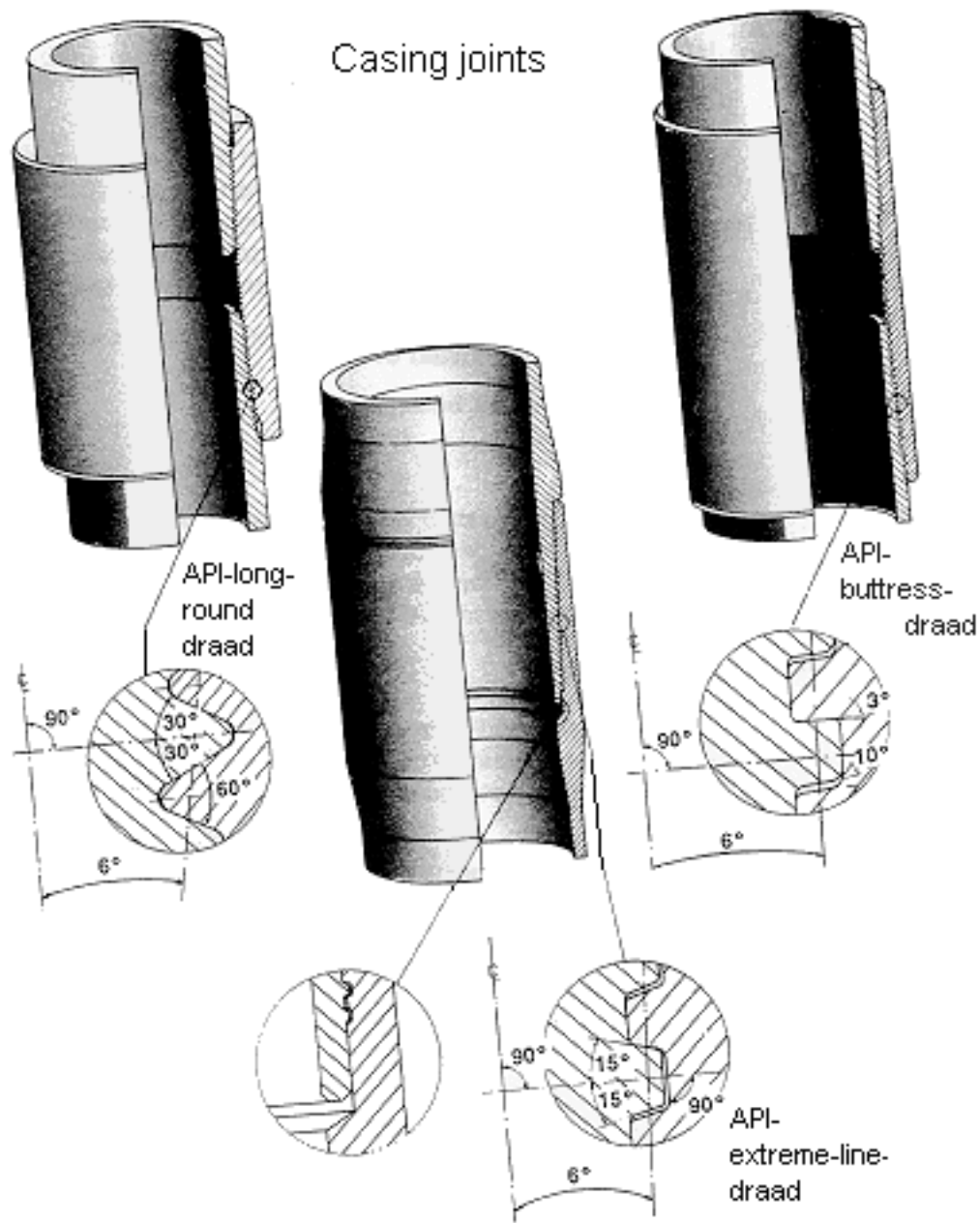


### *Specificaties van de casing en tubing*

Zowel de **casing** als de **produktie-tubing** wordt als volgt gespecificeerd:

- **Lengte:** de lengte van één buis (single) of de lengte tussen de joints.
- **Materiaal:** de staalsoort of de legering, waaruit de casing of tubing is gemaakt.
- **Constructiemethode:** de gebruikte fabricagemethode, bijvoorbeeld naadloos of gelast.
- **Massa:** de opgegeven massa per lengte-eenheid staat voor een bepaalde buitendiameter in verband met de dikte van de buitenwand.
- **Diameter:** deze wordt gegeven in inches. Meestal wordt voor zowel de casing als de tubing de buitendiameter (O.D.) aangehouden.

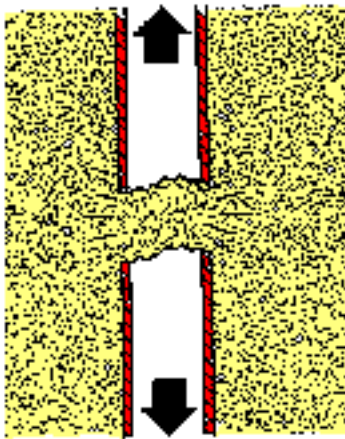
Het American Petroleum Institute (API) heeft de algemeen geaccepteerde specificaties in tabellen ondergebracht. Volgens deze specificaties worden de buizen met een diameter groter dan 4½" aangeduid met casing. Buizen met een diameter van 4½" of kleiner worden aangeduid als tubing. De 5" tubing, die bij NAM veel wordt toegepast, is dus eigenlijk een casing-maat.



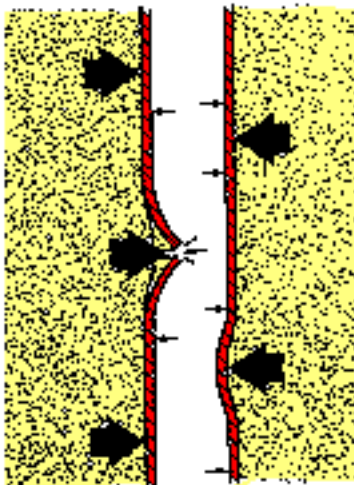
***Keuze van de casing***

Bij de keuze van een bepaald type van casing worden de belastingsfactoren, productiefactoren en kosten overwogen. De factoren, die bij de belasting van de casing een rol spelen, zijn:

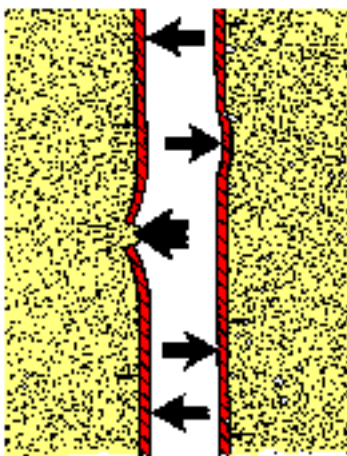
## Casing-belasting



trekkracht



collapse pressure



bursting pressure

- **Trekkracht**

Dit is de kracht, die door het gewicht van de casing zelf wordt veroorzaakt, wanneer deze aan de well-head-structuur in de put hangt. Elke joint draagt het totale gewicht van de casing eronder. Daarom moeten, wanneer wij alleen de trekkracht in overweging nemen, de bovenste lengten het sterkst zijn.

- **Collapse pressure**

Hieronder verstaan wij de overdruk door uitwendige belasting, waardoor de buis zou worden platgeknepen. Deze druk is het hoogst op de plaats waar de formatiedruk het hoogst is, dus bij de bodem van de put.

- **Bursting pressure**

Dit is het tegenovergestelde van de collapse pressure, namelijk de inwendige overdruk waardoor de buis zou barsten. De druk van binnen wordt door de formatie veroorzaakt. De bursting pressure is het hoogst op de plaats waar de produktie nog hoog is en de uitwendige druk laag. Dit is meestal het geval bij de oppervlakte.

**Produktiefactoren** die moeten worden overwogen, zijn:

- **Diameter van de produktie-tubing**

De geplande produktiesnelheden bepalen de diameter van de tubing. Deze moet voldoende groot zijn, opdat de geplande hoeveelheden met een acceptabel drukverlies tussen de bodem van de put en de well head kunnen worden geproduceerd.

- **Opvoermethode**

Bij vele olieputten zal na enige tijd de formatiedruk dermate laag zijn, dat de winning alleen met behulp van kunstmatige middelen kan worden voortgezet. Bij sommige van deze technieken, bijvoorbeeld de pompinstallatie, moeten hiervoor onderdelen in de put worden geïnstalleerd. De casing moet wijd genoeg zijn om dit toe te laten.

- **Multi-zone-completie**

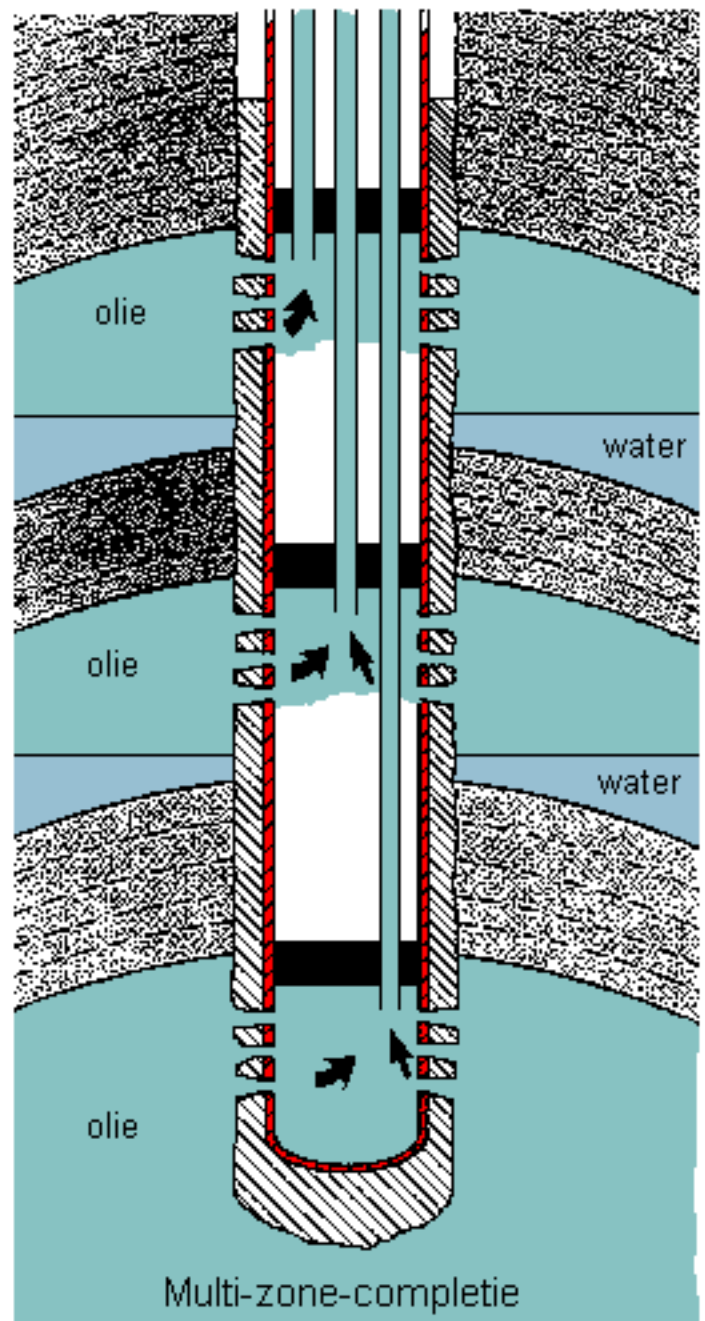
Wanneer verscheidene produktie-tubings worden voorzien, moet de casing eveneens wijd genoeg zijn om deze te kunnen aanbrengen.

- **Aantal tussenseries.**

Bij diepe putten of wanneer slechte boorcondities zijn voorzien, zullen verscheidene tussenseries moeten worden opgebouwd. De conductor en surface casing moeten wijd genoeg zijn om de uiteindelijk gewenste maat van de produktieserie en de tubing te kunnen aanbrengen.

- **Produkten in het reservoir**

De samenstelling van de produkten die uit het reservoir worden gewonnen, zouden de materiaalsoort, bijvoorbeeld roestvast staal, kunnen bepalen.



Andere factoren die bij de keuze van de casing een rol kunnen spelen, zijn:

- **Workovers**

Indien in de toekomst uitgebreid en ingewikkeld onderhoud aan de put of de formatie wordt voorzien, moet de hiervoor benodigde apparatuur in het gat passen.

- **Beperkingen aan de boorinstallatie**

De boorinstallaties worden normaliter gekozen op basis van hun geschiktheid om een bepaalde put te boren. Het zou echter kunnen voorkomen, bijvoorbeeld door een gebrek aan installaties in een bepaald deel van de wereld, dat de te gebruiken installatie beperkingen aan de diameters van casing en tubing zal stellen.

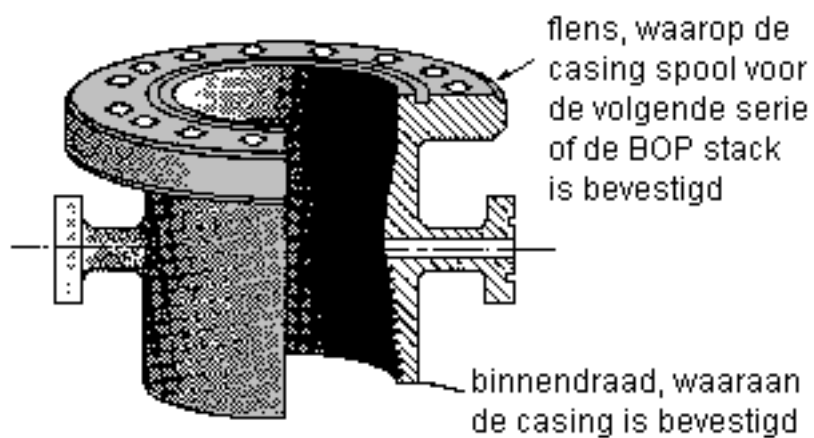
- **Exploratie/ontwikkelingsputten**

Aangezien het doel van een exploratieput voornamelijk bestaat uit het aantonen van koolwaterstoffen en niet de produktie ervan, zal een nauw gat ('slim hole'), dat goedkoper is, in

sommige situaties de voorkeur hebben.

# Casing-head housing

Dit onderdeel vormt de verbinding tussen de BOP-groep en de surface casing.



Casing-head-housing

Het is bij een productieput de basis, waarop de well head en de Christmas-tree steunen. Het geeft via de casing spools en hangers, die bij 'casing-head spools' aan de orde komen, steun aan de volgende casing-series, die worden opgehangen.

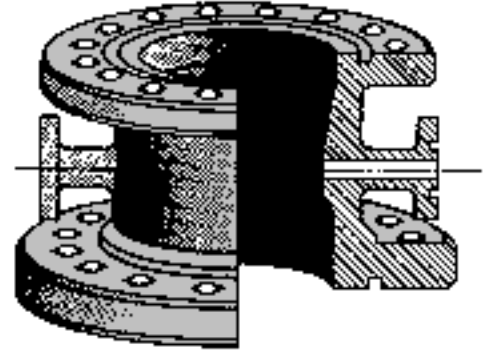
De casing-head housing is gefabriceerd uit gesmeed staal. Aan de bovenzijde bevindt zich een flens en aan de onderzijde bevindt zich het binnendraad van de surface-casing-serie. In het huis bevinden zich twee tegenover elkaar liggende afvoeropeningen met een diameter van 2". De specificatie van deze openingen voldoet aan de MSPR of 'Maximum Service Pressure Rating'. De casing-head housing wordt bij NAM bodemflens genoemd.

# Casing-head spools

De casing-head spools dienen:

- om de volgende casing-serie via casing hangers en nipples te steunen;
- als afdichting tussen annulaire ruimten met verschillende drukken;
- als verbindingsstuk tussen spools met verschillende diameters;
- voor afhangend van intermediate-casing-series.

Onderin de boring van de casing spool is ruimte voor een X-bushing, die de afgesneden top van de aangehangen casing gasdicht afsluit.

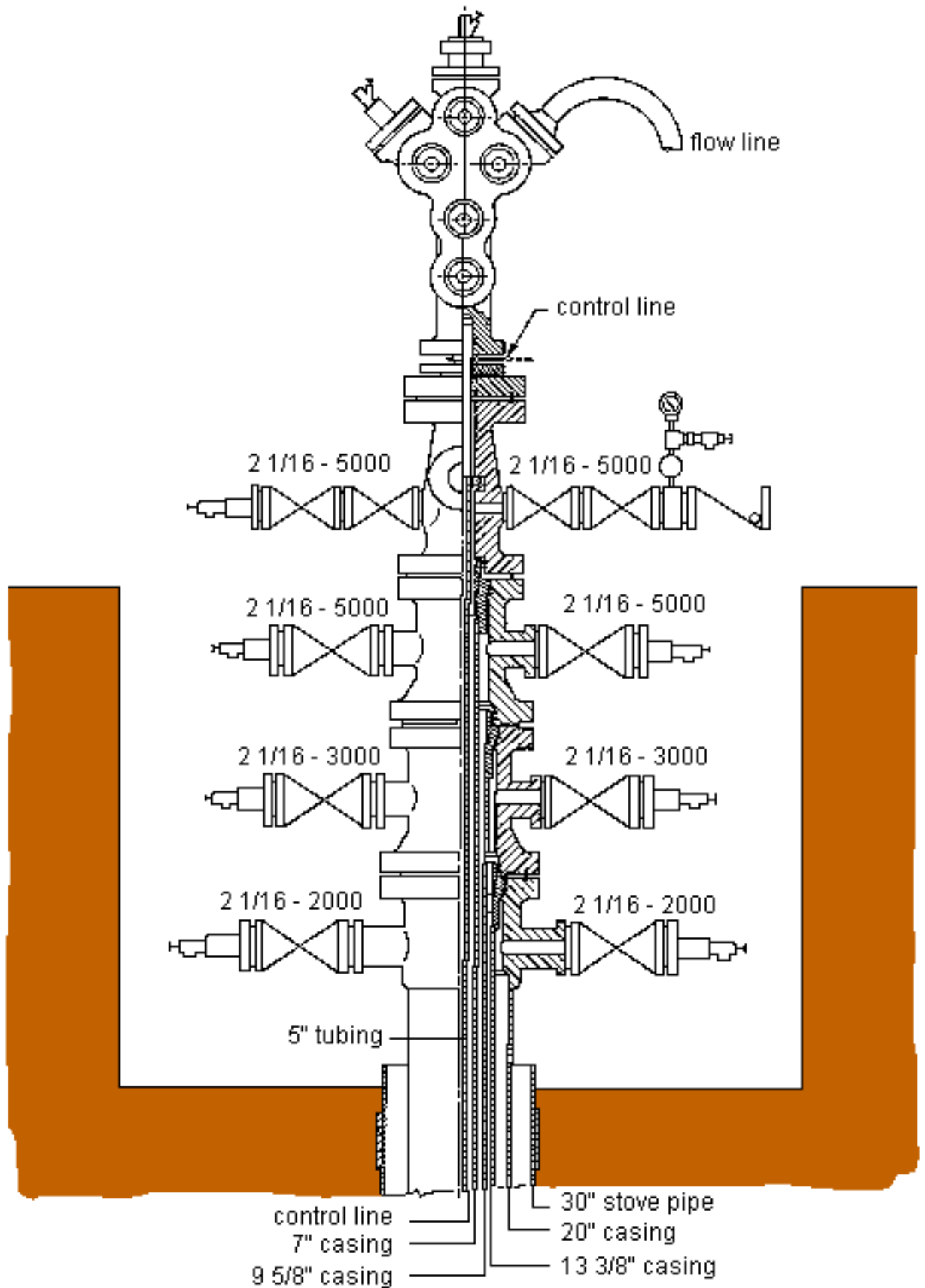


Casing-head-spool

# Well-head

De figuur toont de typische opbouw van een well head; hoe een put er bovengronds kan uitzien en op welke wijze de verbindingen van casings en tubing tot stand zijn gebracht.

In de module 'Bovengrondse putafwerking' wordt hierop uitgebreid ingegaan.



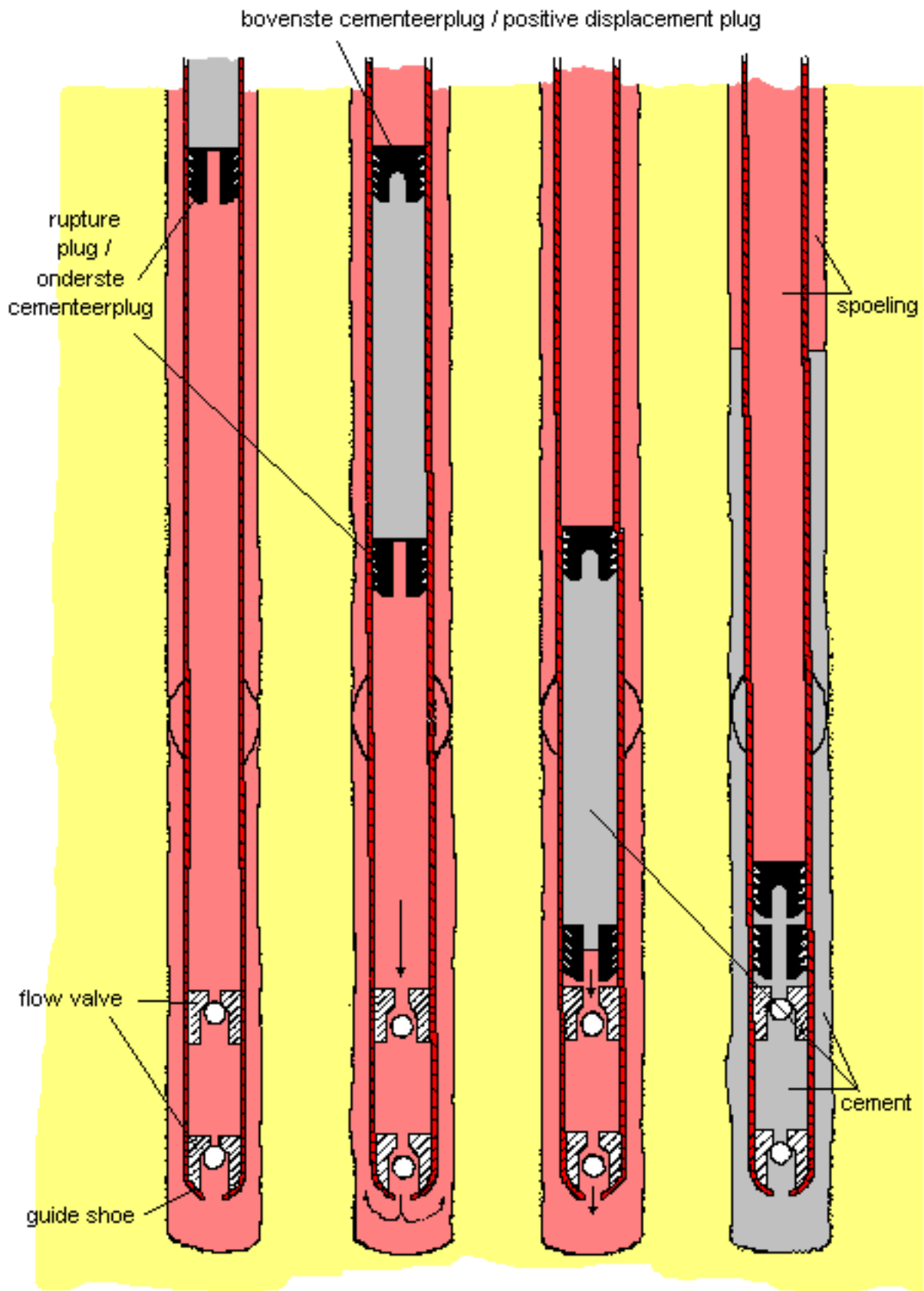
## Typische opbouw van een well-head

# Cement

Cement is uitermate geschikt materiaal om de buitenwand van de casing aan het gesteente van het boorgat vast te zetten. Verhard cement dat in de put tussen de casing en de boorgatwand is aangebracht, vervult de navolgende functies:

- Het isoleert de producerende formatie van de ruimte tussen de buitenzijde van de casing en het gesteente. Zonder deze afsluiting zouden olie en gas langs de buitenzijde van de casing ongecontroleerd naar boven stromen.
- Het verhindert dat vloeistoffen en gassen door deze annulus van de ene formatie naar de andere kunnen stromen.
- Het ondersteunt de casing zelf door voor een sterke verbinding met het gesteente te zorgen.
- Het beschermt de buitenwand van de casing tegen eventuele corrosie van water en andere bestanddelen uit de formatie.

Bij het cementeren wordt het cement door de binnenzijde van de casing naar beneden gepompt en vervolgens buitenom naar boven geperst. Het cementeringsproces is vereenvoudigd voorgesteld in onderstaande figuur en omvat de navolgende stappen:



Cementeringsproces

- **Fase 1**  
De casing wordt tot op de vereiste diepte in het boorgat afgehangen. Aan de buitenzijde van de casing zijn 'centralizers' gemonteerd om deze in het midden van het boorgat te houden.
- **Fase 2**

Aan de voet van de casing wordt een schoen aangebracht, die een terugslagklep bevat. Op de spoeling wordt vervolgens de onderste cementeerplug geplaatst.

- **Fase 3**

Vervolgens wordt de cement-slurry achter de onderste cementeerplug gepompt.

- **Fase 4**

Nadat de berekende hoeveelheid cement is ingepompt, wordt hierop de bovenste cementeerplug aangebracht.

- **Fase 5**

De kolom cement, die door de pluggen van de spoeling is gescheiden, wordt door napompen met spoeling naar de bodem van het gat gepompt.

- **Fase 6**

De pompdruk, die een kracht op de bovenste plug blijft uitoefenen, forceert het cement door de terugslagklep in de schoen en langs de buitenzijde van de casing in de annulus omhoog.

- **Fase 7**

Het cement verhardt.

- **Fase 8**

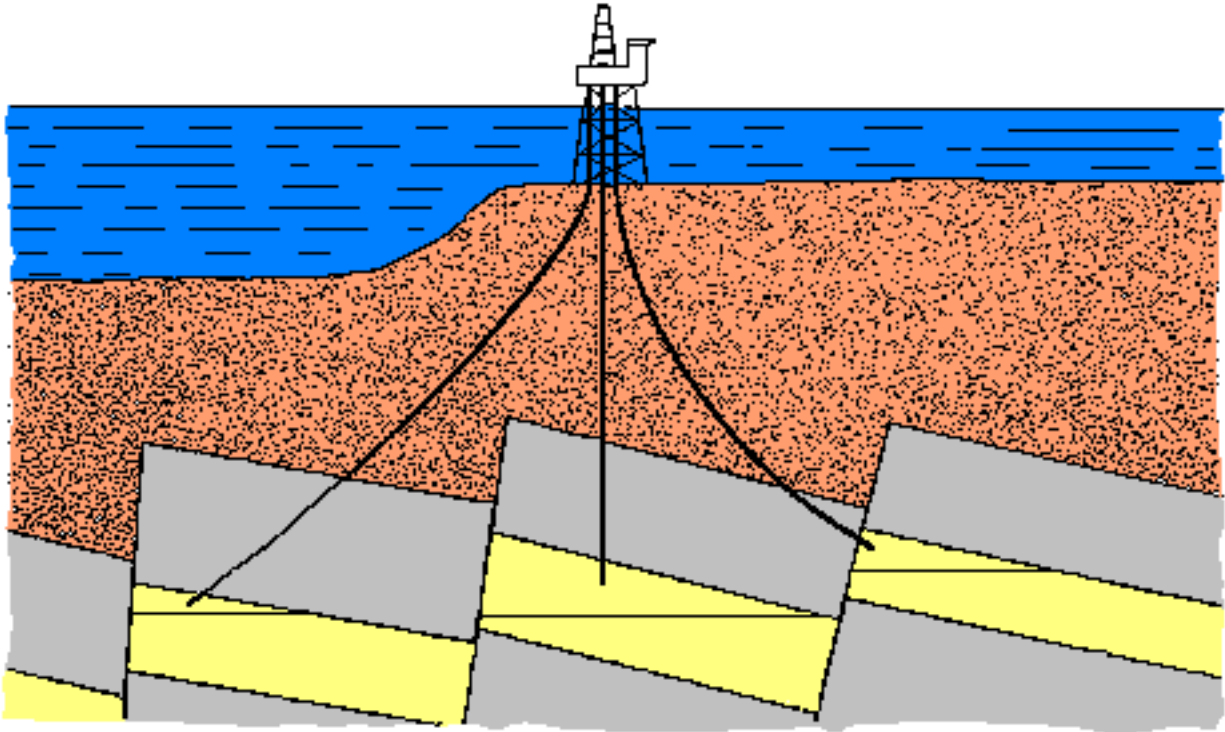
Een nieuwe casing spool die bij de diameter van de volgende casing-serie past en de bijbehorende BOP stack worden geïnstalleerd.

- **Fase 9**

De bovenste en onderste cementeerpluggen en het verharde cement in de bodem van de casing worden uitgeboord. De put is gereed om met een beitel met een kleinere diameter verder te worden geboord.

# Gedevieerd boren

De meeste koolwaterstofreservoirs strekken zich uit over een groot oppervlakte. Door de beperkte porositeit en permeabiliteit kunnen wij vanuit één verticale put slechts een klein gedeelte winnen.

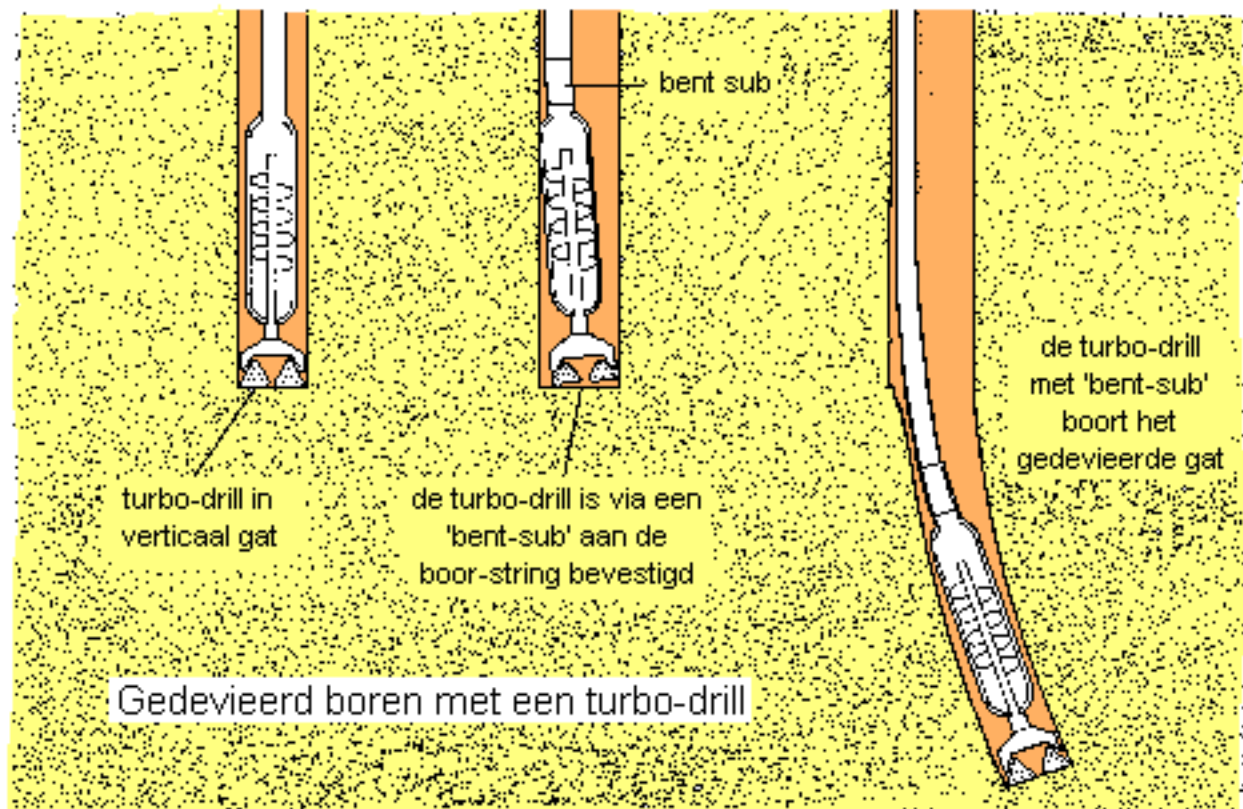


Productieplatform met gedevieerde putten

Daarom heeft men een aantal putten nodig om rendabel uit een reservoir te winnen. Op land is het veelal niet mogelijk vergunning voor een groot aantal putlocaties te krijgen; offshore is het bovengronds-afwerken van putten op een groot aantal locaties en het samenbrengen van de productie van deze putten onaanvaardbaar kostbaar.

Daarom maakt men economische afwegingen om vanaf één locatie een aantal putten te boren. Het is duidelijk, dat op een dergelijke locatie slechts één put verticaal wordt geboord, terwijl alle andere putten zodanig worden geboord, dat deze in het reservoir horizontaal op afstand komen van die ene verticale put. Deze wijze van boren noemt men gedevieerd boren.

Bij een gedevieerde put wordt het eerste gedeelte in het algemeen verticaal geboord en verbuisd. De deviatie begint bij het zogenaamde 'kick off'-punt. Vanaf dit punt wordt door een combinatie van gereedschappen, waaronder een turbo-drill en een steering tool, in de gewenste richting geboord. De beginhoek wijkt daarbij circa  $7^\circ$  tot  $10^\circ$  af van de verticale lijn.



Door een speciale combinatie van drill collars en stabilizers en door het variëren van het gewicht en het toerental kan zowel de richting als de helling worden behouden of geleideijk worden veranderd (zie figuur). Op deze wijze kan een deviatieput uiteindelijk tot  $30^\circ$  á  $70^\circ$  afwijken van de verticale lijn. Op grote platforms in het noordelijke gedeelte van de Noordzee worden op deze wijze tot ongeveer 50 putten per platform geboord.

Om dezelfde diepte te bereiken moet voor een gedeveeerde put een langer gat worden geboord dan voor een verticale put. De diepte, 'along hole' (A.H.), van een gedeveeerde put is bijvoorbeeld 3300 m., terwijl de verticale diepte, 'true vertical' (T.V.), slechts 3000 m. is.

De tegendruk die de spoeling onderin het gat op de formatie uitoefent, is gelijk aan de hydrostatische T.V.-druk. De hoeveelheid spoeling in het gat is echter evenredig aan de A.H. van het gat. Dit betekent, dat wij ten einde bij een gedeveeerde put de formatiedruk te beheersen een groter volume spoeling met een bepaalde dichtheid nodig hebben dan bij een verticale put.