4.8 Brandstoffen en verbranding

In de stoomketels bij gemalen werd in het verleden een aantal soorten brandstoffen toegepast. Tegenwoordig beperkt dit zich tot steenkool en stookolie. In een enkel geval wordt geklooft rondhout toegepast. De verbranding van de brandstof vindt uitsluitend plaats in de gasfase van de elementen waaruit de brandstof is opgebouwd. Voorafgaand hieraan heeft zich dus al een heel proces afgespeeld. Het is belangrijk, zeker voor de stoker, de verschillende stappen van dit proces te kennen om de ketel op de juiste wijze te bedienen en de brandstof te verstoken .

4.8.1 Brandstoffen, begrippen en definities

Om aan een stoominstallatie te kunnen rekenen maar nog meer om controle te kunnen uitoefenen op de kwaliteit van de toegepaste brandstof en het uiteindelijke verbrandingsproces in de vuurhaard zijn in de loop der tijd een aantal hierna nader te noemen begrippen en definities ontwikkeld.

Verbrandingswaarde

Onder de verbrandingswaarde wordt de hoeveelheid warmte-eenheden verstaan die bij volledige verbranding van 1 kg brandstof wordt ontwikkeld bij een begin- en een eindtemperatuur van 15º C. We drukken dit uit in kcal/kg. De verbrandingswaarde, ook wel bovenste verbrandingswaarde genoemd, is vanwege de lage eindtemperatuur inclusief de verdampingswarmte van het vrije water in de brandstof en de verdampingswaarde die bij de verbranding van de waterstof ontstaat.
In een stoomketel worden de rookgassen ver boven de condensatietemperatuur via de schoorsteen afgevoerd zodat men geen gebruik kan maken van deze verdampingswarmte. Een meer op de praktijk toegesneden begrip is daarom de stookwaarde. De bij de verbranding gevormde waterdamp wordt, vooral bij koud weer, maar ook bij het stoken met een te grote lucht overmaat, zichtbaar in de vorm van een witte pluim op de schoorsteen.

Stookwaarde

Onder de stookwaarde wordt de verbrandingswaarde verstaan, verminderd met de verdampingswarmte van het water dat in de brandstof aanwezig is en de verdampingswarmte die bij de verbranding van de waterstof ontstaat. De verdampingswarmte van de bij de verbranding gevormde waterdamp bedraagt 604 kcal/kg en kan uit de stoomtabel worden afgeleid. Ook de stookwaarde, ook wel de onderste verbrandingswaarde genoemd, wordt uitgedrukt in kcal/kg.

4.8.2 Vaste brandstoffen

Vaste brandstoffen zijn ontstaan uit planten(resten) en bestaan daarom hoofdzakelijk uit koolstof (C) , waterstof (H) en zuurstof (O). Uit de omgeving hebben zij in de loop van de tijd, behalve water, minerale bestanddelen zoals zand opgenomen. Door rotting hebben zich via verschillende stadia langzaam asfaltachtige stoffen zoals bitumen gevormd. Uit deze koolwaterstofverbindingen is eveneens in een laag tempo de zuurstof en een klein deel van de waterstof ontweken waardoor het koolstofgehalte relatief groter wordt. Dit verklaart het verschil in de chemische samenstelling tussen de jonge vaste brandstoffen zoals hout en turf en de zeer oude brandstof antraciet, zoals in de tabel hierna is aangegeven. Het niet in de tabel opgenomen gehalte aan stikstof (N) en zwavel (S)

bedraagt meestal 1 %. In de praktijk tracht men een gehalte aan vluchtige koolwaterstoffen van 20 % te benaderen omdat dit gehalte een goede verbranding waarborgt.

Brandstofsoort	Gewichtspercentage brandstof				
	Koolstof (C)	Waterstof (H)	Zuurstof (O)	Water (H_2O)	Vluchtig
Hout	35	5	30	25	
Turf	40	5	25	25	70-60
Bruinkool	50-30	5	10	30-50	60-45
Steenkool	70-80	4	10-4	4-10	45-10
Antraciet	85	2	3	5	10-5
Fabriekscokes	87	1	2	5	

Chemische samenstelling vaste brandstoffen

Steenkool ontstond ongeveer 300 miljoen jaar geleden. Het is een van de laatste fasen in het transformatieproces van veen via bruinkool naar antraciet dat uiteindelijk uitmondt in grafiet en bij verdere samendrukking en hogere temperatuur in diamant. Steenkool komt meestal in de diepere aardlagen voor. Hoe dieper de laag is gelegen, des te langer is de kool aan het omzettingsproces onderworpen geweest en minder rijk aan gas of vluchtige koolwaterstoffen. Het gehalte aan vluchtige koolwaterstoffen is zeer belangrijk voor de ontsteking en de verbranding van de brandstof, dus voor het verbrandingsproces in de vuurgang of -haard. Bij verhitting komen eerst de koolwaterstoffen van verschillende samenstelling vrij. Deze vallen dan vervolgens uiteen in eenvoudige stoffen, als methaan (CH_4), acetyleen (C_2H_2) en ethyleen (C_2H_4) terwijl ook waterstof (H) vrijkomt. Men kan de eigenschap van de brandstof beïnvloeden door gasrijke steenkoolsoorten te mengen met de goedkopere minder gasrijke soorten.

Steenkoolsoort	Gehalte aan vluchtige stoffen %	Eigenschap van de cokes
Vlamkool	50-40	gesinterd tot poedervormig
Gas - vlamkool	45-35	zwak bakkend en zeer lange vlam
Smeedkool (gaskool)	35-30	
Cokeskool	30-20	bakkend en lange vlam
Esskool (stoomkool)	20-15	
Magere kool	15-10	niet bakkend, poedervormig en korte vlam
Antraciet	10-5	

Kenmerken steenkoolsoorten

Eigenschappen van cokes

Steenkool waaruit de vluchtige koolwaterstoffen zijn ontweken bestaat hoofdzakelijk uit koolstof en noemen we cokes en als er nog enige vluchtige bestanddelen in overgebleven zijn half cokes. De eigenschappen van de cokes zijn van belang in relatie met het verbrandingsrooster, de druk van de verbrandingslucht en de noodzaak het vuur te bewerken. Het zogenoemde bakken van cokes

vermindert de luchtdoorlaat van het rooster, hetgeen de verbranding vertraagt en het gevaar doet ontstaan van het verbranden van de roosterstaven. Bovendien moet bij de bakkende cokes het vuur regelmatig worden bewerkt, waarbij de vuurdeur open moet staan en er onnodig veel koude lucht wordt toegevoerd. Anderzijds voorkomt bakkende cokes het doorvallen van fijne kooldeeltjes en het wegvliegen van onverbrande kooldeeltjes. Voor een juiste mate van bakkend vermogen mengt men soms verschillende steenkoolsoorten. De verbrandingssnelheid van cokes is afhankelijk van het aanrakingsoppervlak met de verbrandingslucht. Poreuze cokes en kleine stukjes verbranden daarom sneller dan grote massieve stukken cokes. Ook blijkt cokes uit steenkool met veel vluchtige koolwaterstoffen sneller te verbranden dan cokes uit magere kool zoals antraciet.

Water en as

Het watergehalte van vaste brandstof bestaat uit vrij water ontstaan door de blootstelling aan regen of het wassen na het delven en gebonden water dat in de poriën van de kool aanwezig is. Aan het verbrandingsproces gaat verdamping van dit water vooraf. Er ontstaan dan kleine openingen in de brandstof, die de verbranding bevorderen. Het watergehalte van de steenkool is meestal kleiner dan 4 % voor gewassen kool en 8 à 10 % voor fijn kool. Het watergehalte van bruinkool is aanmerkelijk hoger en bedraagt 30 à 50 %.

Tussen de gedolven steenkool zitten zand en stenen of het gruis hiervan. Deze bestanddelen zijn niet brandbaar en bepalen het asgehalte van de brandstof. Het asgehalte wordt zoveel mogelijk beperkt door zeven en wassen van de brandstof nadat het is gedolven doch bedraagt minstens 4 %. De as vermindert de stookwaarde van de brandstof en moet verwijderd worden, waarbij ook brandbare deeltjes kool verloren kunnen gaan. De as-laag beschermt echter de roosterstaven en kan in bepaalde gevallen zelfs te dun zijn. Gesmolten as vormt een slak, die in vloeibare toestand de roosterstaven en ook vuurvaste stenen aantast, tussen de roosterstaven kan lopen en de luchtspleten verstoppen, waarbij onverbrande kooldeeltjes ingesloten kunnen worden. Dit laatste leidt tot het ontstaan van harde brokken; sintels genaamd. Smelten van as treedt op als de smelttemperatuur van de as wordt overschreden. In voorkomende gevallen moet men de temperatuur van het brandstofbed verlagen door meer lucht aan te voeren of, als de mogelijkheid hiervoor aanwezig is, stoom in te blazen. De oorzaak voor de slakvorming is vaak het stoken met een te geringe luchtovermaat en gasarme brandstof waardoor de verbranding hoofdzakelijk in de brandstoflaag plaatsvindt en minder er boven.

Stukgrootte

Naast de kwaliteit van de brandstof is de stukgrootte van belang om een goede verbranding op het rooster te kunnen laten plaatsvinden. De stukken steenkool mogen sowieso niet te klein zijn omdat zij dan bij de geringste beweging in het brandstofbed onverbrand door het rooster vallen.

Ongesorteerde steenkool

Verder mogen de stukken in grootte niet te veel van elkaar verschillen omdat kleinere stukken eerder verbranden , waardoor er gaten in het brandstof bed vallen waar doorheen relatief koude lucht passeert.
De steenkool die wordt gedolven, komt vermengt met zand en in verschillende afmetingen boven de grond. Stukken groter dan 80 mm noemt men stukkool, kleinere afmetingen gruiskool. De gruiskool wordt weer naar grootte gesorteerd en in de handel aangeduid met ”nootjes” met daarachter een Romeins cijfer. Het gruis met een afmeting kleiner dan 5 mm noemt men fijnkool. Deze koolsoort wordt al of niet met een bindmiddel (pek, teer, enz.) tot briketten of tot de zogenoemde eierkolen verwerkt. Als het stookrooster wat betreft de spleetwijdte daarvoor is ontworpen kunnen in principe alle soorten steenkool tot aan fijn kool toe verstookt worden, echter om ontwerptechnische redenen (robuuster rooster) zal men meestal nootjes II en III gebruiken. Verder is het verstoken van fijnkool moeilijk omdat de lichte delen door de verbrandingslucht kunnen worden meegenomen en onverbrand met de rookgassen ontwijken

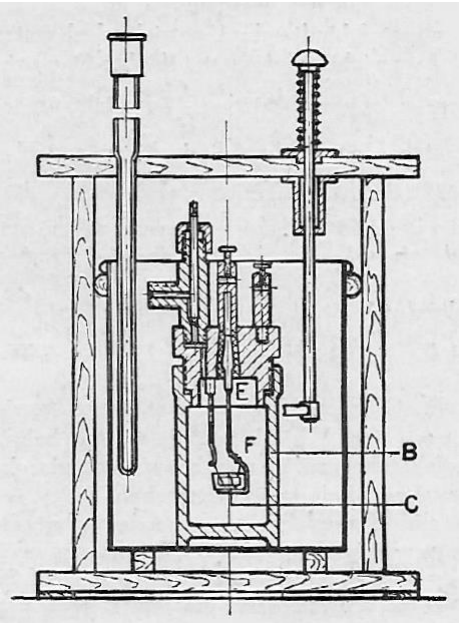
Soort naam	Afmeting
Stukkool	groter dan 80 mm
Gruiskool	kleiner dan 80 mm
Nootjes I	van 80 – 50 mm
Nootjes II	van 50 – 30 mm
Nootjes III	van 30 – 20 mm
Nootjes IV	van 20 – 10 mm
Nootjes V	van 10 – 5 mm
Fijnkool	kleiner dan 5 mm

Steenkool grootte-aanduiding

4.8.3 Bepaling van de verbrandingswaarde

De verbrandingswaarde van de diverse steenkoolsoorten is afhankelijk van de vindplaats, de ouderdom en het percentage onbrandbare bestanddelen. Voor het bedrijven van een stoominstallatie is het van belang om de hoeveelheid warmte die gedurende het verbrandingsproces ontwikkeld wordt te leren kennen.
Een methode hiertoe is om met een speciaal daarvoor ontwikkelde calorimeter van een steenkoolmonster de verbrandingswaarde vast te stellen en aan de hand daarvan de stookwaarde.

Deze hieronder afgebeelde calorimeter staat bekend als de bom van Berthelot Mahler en werkt als volgt:
Van het tot poeder gestoten steenkoolmonster wordt een nauwkeurig afgewogen hoeveelheid van 1 gram in het platina schaaltje C gebracht, dat aan het schroefdeksel van de bom is bevestigd. De stalen bom is aan de binnenzijde verglaasd om de inwerking van zuren tegen te gaan. De bom wordt na het opschroeven van het deksel met samengeperste zuurstof van ongeveer 25 kg/cm² gevuld en daarna in de calorimeter geplaatst. Hiervan zijn de temperatuur en de zogenoemde waterwaarde geijkt. De ontsteking van het brandstofmonster heeft plaats door het tot gloeien brengen van het ontstekings draadje van nikkeline met behulp van een elektrische stroom. Het geisoleerde platina staafje EF waaraan het schaaltje hangt is daartoe verbonden met de positive pool van een accu, de negatieve pool is verbonden met de behuizing B van de bom en daardoor met de andere zijde van het nikkeline draadje. De afloop van het verbrandingsproces is merkbaar doordat de temperauur van het water in de calorimeter niet meer stijgt. Deze temperatuur kan met behulp van de speciale thermometer in 1/100 °C worden afgelezen.



Bom van Berthelot-Mahler

Uit de temeratuurstijging, de waterwaarde van de calorimeter met de daarin opgestelde bom, en de hoeveelheid brandstof kan men als volgt de verbrandingswaarde berekenen

$$\frac{\text{Waterwaarde x tempartuurverschil}}{\text{gewicht van de verbrande brandstof}} \; [\text{kcal/kg}]$$

De verbrandingswaarde kan als de chemische samenstelling voldoende nauwkeurig bekend is ook aan de hand van de verbrandingswaarde van de afzonderlijke elementen worden berekend.
Bij verbranding verbinden de afzonderlijke bestanddelen van de elementen der brandstof zich met zuurstof in de verhouding van de atoomgewichten.

Koolstof (C)	Waterstof (H)	Zwavel (S)
$C+O_2 \rightarrow CO_2$ 12 kg + 32 kg = 44 kg 1 kg C = 32/12 = 8/3 kg O_2	$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$ 4 kg + 32 kg = 36 kg 1 kg H_2 = 32/4 = 8 kg O_2	$S + O_2 \rightarrow SO_4$ 32 kg + 32 kg = 64 kg 1 kg S = 32/32 = 1 kg O_2

Verbinding van waterstof met de zuurstof die in de brandstof aanwezig is, geschiedt reeds vóór de verbranding en zó langzaam dat er geen warmte ontwikkeling is waar te nemen. Omdat 8 kg

zuurstof nodig is om 1 kg waterstof te binden zal er bij verbranding slechts (H – O/8) kg waterstof in 1 kg brandstof beschikbaar zijn voor verbranding.
Bij volledige verbranding van 1 kg brandstof bestaande uit koolstof, waterstof en zwavel, worden al naar gelang het aandeel respectievelijk 8100 , 34400 en 2500 kcal ontwikkeld. Dus is de verbrandingswaarde V van 1 kg brandstof:

$$V = 8100\ C + 34400\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500\ S\ \ [\mathrm{kcal/kg}]$$

Bij verbranding van 1 kg waterstof wordt 36/4 = 9 kg water gevormd. Dit water en het water dat reeds in de brandstof aanwezig is verdampt bij de verbranding , waarvoor ongeveer 600 kcal per kg water nodig is. Omdat de energie in deze waterdamp met de rookgassen de schoorsteen verlaat en niet wordt benut moet de verbrandingswaarde hiermee als volgt worden gecorrigeerd om de stookwaarde W te verkrijgen.

$$W = V - 600\ \mathrm{x}\ 9\left(H - \frac{O}{8}\right) - 600\ w\ [\mathrm{kcal/kg}]$$

Of:

$$W = 8100\ C + 29000\left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500\ S - 600\ w\ [\mathrm{kcal/kg}]$$

In de formule is w het percentage vrij water in de brandstof hetgeen betekent dat de steenkool bij voorkeur overdekt moet worden opgeslagen of gedroogd voordat ze in de ketel wordt geschept.

De stookwaarde van steenkool kan variëren tussen de 6500-8600 kcal/kg. Over het algemeen wordt gebruik gemaakt van goed te verstoken steenkool die dan een verbrandingswaarde heeft van om en nabij de 7300 kcal/kg.

4.8.4 Vloeibare brandstoffen

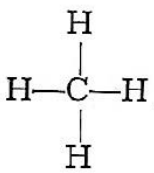
Van de reeks vloeibare brandstoffen komt voor stoomketels alleen stookolie in aanmerking. Stookolie blijft over uit aardolie, nadat daaruit door middel van destillatie benzine, kerosine, petroleum, en gas- of dieselolie is gehaald.
Aardolie, in het verleden ook wel ruwe petroleum genoemd, is ontstaan uit het zogenoemde sapropelium; de resten van de onvolledige ontbinding van in water zwevende kleine dieren en planten. De uiteindelijke olievorming is een gevolg van natuurlijke destillatie onder hoge druk en temperatuur hetgeen zich diep onder het maaiveld afspeelt. De olie ligt opgeslagen in de bodem in zand, zand- of kalksteenaders, het zogenoemde petroleumsysteem, welke omgeven zijn door steenlagen die de olie en het daarbij aanwezige (aard)gas niet doorlaten. De druk bij dit destillatieproces diep onder de grond wordt voor een deel veroorzaakt door het gas dat niet door de steenlaag kan ontwijken en is de oorzaak dat bij het aanboren van een nieuwe bron de olie naar boven wordt gestuwd. De ruwe aardolie is donkerbruin tot zwart gekleurd en bestaat uit een mengsel van een groot aantal soorten onverzadigde en verzadigde cyclische koolwaterstofverbindingen waarvan de atomen kettingvormig dan wel ringvormig met elkaar zijn verbonden. Deze

oorspronkelijke verbindingen verschillen in kookpunt, soortelijk gewicht en vloeibaarheid. We onderscheiden onder andere:

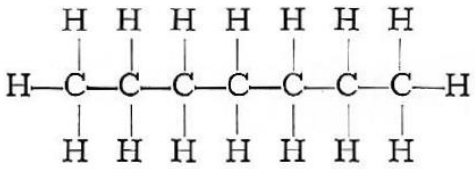
- Paraffinen of alkanen ($C_n H_{2n+2}$)
  Dit zijn ketting vormige verzadigede koolwaterstoffen. Ze zijn chemisch weinig actief en bieden veel weerstand tegen invloeden op hun structuur
- Aromaten ($C_n H_{2n+6}$)
  Dit zijn onverzadigde ringverbindingen met een vrij hoge stabiliteit. Ze hebben een laag waterstofgehalte en daardoor een lage verbrandingswaarde
- Olefinen of alkenen ($C_n H_{2n}$)
  Dit zijn onverzadigde ketting verbindingen die als zodanig niet in aardolie voorkomen, maar tijdens het kraakproces ontstaan. Ze zijn chemisch zeer actief
- Naftenen of cyclanen ($C_n H_{2n}$)
  De naftenen hebben dezelfde structuurformule als de olefinen. De naftenen hebben echter een ringvormige gesloten rijenstructuur én ze zijn verzadigd. Ze geven moeilijkheden bij de opslag, verwarming en verbranding van olie

Uit de aardolie, een mengsel van de lichte en zware koolwaterstofverbindingen, ontwijken bij verwarming eerst de lichtste en daarna de steeds zwaardere fracties, dus achtereenvolgens benzine, petroleum en gasolie, totdat er een restant overblijft als er een temperatuur van ongeveer 340 ºC is bereikt. Wat als restant bij die temperatuur overblijft heet residu en heeft een kookpunt dat hoger ligt dan 340 ºC . Dit residu wordt onder andere als stookolie in de handel gebracht of verder in een kraakproces verwerkt tot benzine, dan wel in een destillatieproces verwerkt tot smeerolie.
Om de verlangde dunvloeibaarheid en een laag zwavelgehalte te bereiken wordt het residu in de raffinaderij wel vermengd met destillaat. Het zwavelgehalte van het destillaat is lager en dat van het residu is hoger dan dat van de oorspronkelijke aardolie, omdat de zwavel is gebonden aan zwaardere koolwaterstoffen.

Voor brandstoffen maar ook smeermiddelen is de reeks van verzadigde koolwaterstofverbindingen die kettingvormig zijn verbonden de belangrijkste. In het algemeen geldt voor koolwaterstoffen: hoe langer de koolstofketen, hoe zwaarder het molecuul, en hoe hoger het kookpunt. De lichtste verbindingen uit deze reeks van paraffinen of alkanen, zijn gassen die bij kamertemperatuur worden gevormd. Voorbeelden hiervan zijn methaan CH_4, ethaan C_2H_6, propaan C_3H_8 enz.



Methaan



Heptaan

Een voorbeeld van een vloeibare koolwaterstof verbinding uit de paraffinen- of alkanenreeks is heptaan C_7H1_{16}, een benzine bestanddeel. Benzine is vloeibaar tot een temperatuur van 20 ºC.
Paraffine (kaarsvet) daarentegen, is een mengsel van een koolwaterstof- verbinding uit deze reeks met vaste kristallijne verbindingen van 16 tot wel 57 koolstofatomen, die bij kamertemperatuur een vaste stof vormen.
In het algemeen is de formule voor deze reeks die met de verzamelnaam paraffinen of alkanen wordt aangeduid : CnH_2n+_2, hetgeen betekent dat, als een lid van de reeks een aantal koolstof atomen (C) n bevat het een aantal waterstof atomen (H) 2n+2 bevat. De waarde ”n” van de reeks loopt van 1 tot over 50. De stoffen met een n- waarde tot 5 zijn bij kamertemperatuur en atmosferische druk gasvormig, die van 5 – 16 vloeibaar en die met een n- waarde groter dan 16, vast.

Omdat stookolie een mengsel is van overwegend lange koolwaterstofverbindingen waardoor er meer zwaardere koolstofmoleculen dan de lichtere waterstofmoleculen in de vloeistof aanwezig zijn, is deze zwaarder en is daarmee ook de hoge viscositeit (dikvloeibaarheid) van deze brandstof verklaardet percentage stookolie dat de ruwe aardolie bevat, is afhankelijk van de vindplaats Sommige soorten aardolie bevatten minder dan 10 % stookolie, in andere komen in het geheel geen vluchtige bestanddelen voor en worden zonder nadere verwerking als stookolie gebruikt. Deze zeer wisselende samenstelling is een bezwaar voor het geven van een eng begrensde specificatie van de ruwe olie. Men mag uitgaan van een scheikundige samenstelling die bestaat uit 86 % Koolstof (C), 12,5 % waterstof (H) en 0,5 % andere bestanddelen. De stookwaarde is ongeveer 10.000 cal/kg en het soortelijk gewicht 0,85 - 1 kg/dm^3.

Uit de hiervoor gegeven beschouwingen mag worden afgeleid dat stookolie een cocktail is van een groot aantal soorten koolwaterstofverbindingen met verschillende eigenschappen. Tegenwoordig wordt stookolie vermengd met zogenoemde biologische olie vervaardigd uit afvalstromen van de voedselindustrie.
De eigenschappen die men van stookolie ten behoeve van een gecontroleerde bedrijfsvoering van het stoombedrijf wil kennen, zijn:

- De viscositeit
  De viscositeit in relatie met de temperatuur bepaalt de verpompbaarheid en de verstuifbaarheid
- Het stolpunt
  Het stolpunt is van belang bij de opslag van de brandstof bij koude weeromstandig heden
- Het soortelijk gewicht
  Olie wordt per gewichtseenheid verhandeld maar per volume-eenheden gemeten. Daarenboven geldt hoe dunner de olie des te lager het soortelijk gewicht en hoe beter de stook- en verbrandingswaarde
- De uitzettingscoëfficiënt
  Is van belang bij opslag. Een overvolle opslagtank kan onder zomerse omstandigheden overlopen
- Het vlampunt
  Van belang bij het inregelen van de stook-olietemperatuur voor de brander

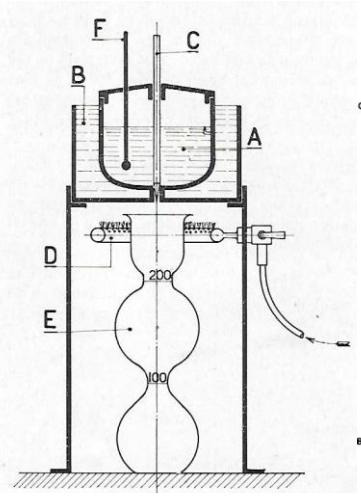
- Het brandpunt
  Idem als voor het vlampunt
- De verbrandingswarmte
  Van belang bij het toetsen van de bedrijfsvoering
- De stookwaarde
  Idem als voor de verbrandingswarmte
- Het gehalte water, zwavel en mogelijk andere verontreinigingen
  Nodig voor de bedrijfsvoering en toetsing van de geschiktheid van de brandstof voor de onderhavige stoomketel installatie. Denk hierbij aan zwavel en het dauwpunt hiervan.

Viscositeit

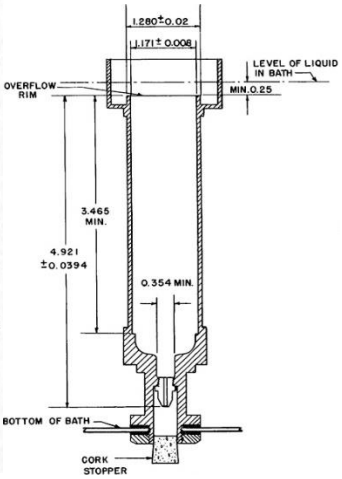
De viscositeit is een maat voor de inwendige wrijving die de stroming van een vloeistof door een leiding of een opening tegenwerkt. Een hoge viscositeit betekent dat de vloeistof dik vloeibaar is. Van stookolie neemt de viscositeit bij verwarming af. Om olie te kunnen verpompen en verstuiven moet men weten bij welke temperatuur dat mogelijk is.

De viscositeit wordt gemeten in zogenoemde viscosimeters. De meest gebruikte meters en ook gelijk de aanduiding voor de viscositeit voor brandstoffen zijn die van Engler, Redwood en Saybolt. In een dergelijke meter wordt van een bepaalde hoeveelheid olie, die op een van tevoren vastgestelde temperatuur wordt verwarmd, de uitstroomtijd bepaald die de vloeistof nodig heeft om door een opening van geijkte vorm en afmeting te stromen.

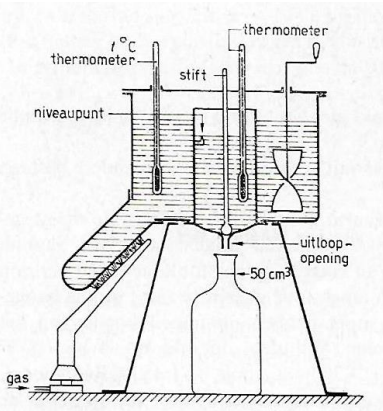
Bij de bepaling van de viscositeit met de toestellen van Redwood en Saybolt is de uitstroomtijd van de vloeistof in seconden de maat voor de viscositeit. Je krijgt dan bij de stroperige stookoliesoorten waarden in de 1000-tallen die niet veel zeggen. Engler heeft dit ondervangen door de uitstroomtijd te vergelijken met die van water bij 20 ºC. De viscositeitswaarden die met het toestel van Engler worden bepaald, worden in tegenstelling tot die van Redwood en Saybolt niet in seconden uitgedrukt maar in graden.



Viscosimeter van Engler



Viscosimeter van Saybolt



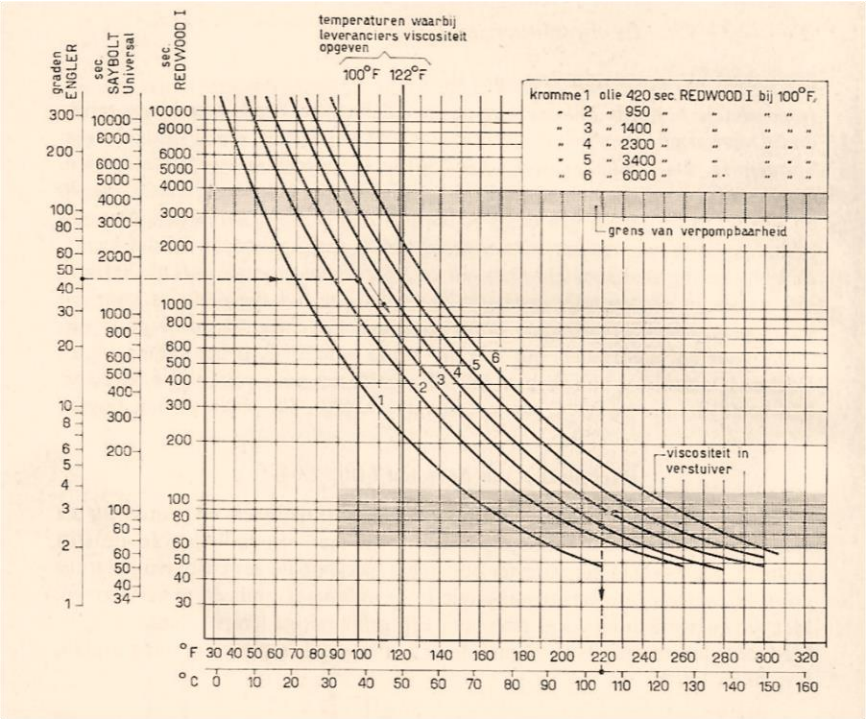
Viscosimeter van Redwood

Bij de viscositeitsmeting met het toestel van Engler wordt als volgt te werk gegaan. In het bakje A wordt 250 cm^3 olie langzaam en gelijkmatig verwarmd door het vloeistofbad B, dat op zijn beurt verwarmd wordt door de gasbrander D. De olie temperatuur kan op de thermometer worden afgelezen. Doorgaans wordt de viscositeit bepaald bij vier temperaturen, namelijk 20, 50, 80, en 100 ºC. In de bodem van het bakje bevindt zich een gekalibreerde uitstroomopening die tijdens het verwarmen door de stift C gesloten wordt. Nadat men de stift C omhoog heeft getrokken, laat men van de 250 cm^3 precies 200 cm^3 uitstromen in een ondergelegen maatglas. De tijd die hiervoor nodig is wordt gedeeld door de tijd die nodig is voor het uitstromen van 200 cm^3 water van 20 ºC. Het quotiënt is het aantal graden Engler. Is die tijd voor een bepaalde oliesoort bijvoorbeeld 225 sec. bij 80 ºC. en voor water 50 sec. bij 20 ºC, dan heeft de olie een viscositeit van 225/50 = 4,5 graden Engler.

Bij de viscositeitsmeting met het toestel van Redwood, dat veelal in de Angelsaksische landen wordt gebruikt, heeft het bakje een bepaalde verhouding van afmetingen en wordt dit tot het niveaupunt gevuld. De uitloopopening wordt met een bolletje aan de stift gesloten. Men brengt het oliemonster in het bakje op de gewenste temperatuur door het water of de verwarmingsolie in de ruimte er omheen met een gasbrander te verwarmen. Met een roerinrichting zorgt men voor een gelijkmatige temperatuur. Men meet de uitlooptijd van 50 cm^3 in seconden bij een of meer temperaturen, bijvoorbeeld 70 en 100 ºF. Is de uitlooptijd van een oliemonster gemeten bij 100 ºF bijvoorbeeld 3500 s, dan wordt de viscositeit aangeduid met 3500 sec. Redw. bij 100 ºF.

In Amerika wordt veel gebruik gemaakt van de viscosimeter van Saybolt. Het toestel, waarvan in de hiervoor staande figuur alleen het binnenwerk is afgebeeld, werkt min of meer hetzelfde als het toestel van Redwood met dien verstande dat men 60 cm^3 olie laat uitvloeien. Ook de uitstroomopening wijkt af van die bij Redwood (groter) waardoor de verkregen waarden uitgedrukt in seconden Saybolt Universal niet zonder meer zijn om te rekenen.

De natuurkunde tenslotte rekent met weer andere en theoretisch gefundeerde eenheden voor de viscositeit van een vloeistof, namelijk de Stokes of wel de centistokes (cS); genoemd naar de Engelse natuurkundige Stokes. De viscositeit wordt bepaald met een in principe afwijkende viscositeitsmeter. Vooral in de smeerolie techniek wordt hiervan gebruik gemaakt, onder andere om direct uit de fysische waarden van de viscositeit de draagkracht van een smeerfilm te berekenen. Omdat de verschillende viscositeitswaarden niet zondermeer met een eenvoudige factor in elkaar zijn om te zetten wordt voor het omrekenen van een bepaalde viscositeit van de ene schaal in de andere meestal gebruik gemaakt van tabellen en grafieken.
In de hierna afgebeelde grafiek staan links de meest gebruikte aanduidingen voor viscositeit. Van enige soorten stookolie is het verloop van de viscositeit bij verandering in de temperatuur daar te zien. Ook is aangeduid welke viscositeit de olie ongeveer moet hebben om verpompt dan wel verstoven te kunnen worden.



Verloop viscositeit afhankelijk van de temperatuur

De volgende tabel vermeldt de gegevens van enkele soorten stookolie.

		Dunne stookolie	Stookolie I	II	III	IV
Viscositeit bij 100 °F sec Redw. I		30 . . 45	300 . . 500	800	3 500	6 500
Soort. massa bij 60/60 °F (kg/dm³)		0,88		0,96		0,98
Vlampunt	°C	90		95		100
Pourpoint (stolpunt)	°F	—2		6		36
Verpompbaar bij	°C		15	25	45	50
Verstuifbaar (druk) bij	°C		65 . . 90	75 . . 110	105 . . 135	115 . . 150
Gehalte C	gew. %	85,7	85,8	85,7	85,4	85,6
Gehalte H	gew. %	13 2	11,7	11,5	11,3	11,0
Gehalte S	gew. %	0,7	2,1	2,4	2,9	3,0
Theor. vol. lucht ($n = 1$)	m³ norm./kg	11,09	10,72	10,68	10,63	10,61
Gehalte $CO_2 + SO_2$ in droog gas max. ($n = 1$)	gew. %	15,4	15,9	15,9	16,0	16,1
Verbrandingswarmte	MJ/kg	45,6	44,3	43,9	43,7	43,3
Stookwaarde	MJ/kg	42,7	41,5	41,3	41,1	40,8

Gegevens van dunne en dikkere stookoliesoorten

Stolpunt

Het stolpunt is de temperatuur waarbij de olie, of althans een groot deel er van, vast wordt en niet meer verpompt kan worden. Om het “bevriezen” van de stookolie in de opslag en in het leidingsysteem te voorkomen moeten de leidingen en de opslagtank verwarmd worden. De tank wordt daartoe met een stoomspiraal op de bodem van de tank verwarmd. Het olieleidingsysteem wordt meestal samen met een stoomleiding in een isolatiemantel verpakt. Als er ten gevolge van langdurig dan wel onderbroken maalbedrijf geen stoom wordt gegenereerd, zal men de oliegestookte stoomketels bij gemalen opstoken met een lichtere brandstofsoort totdat er voldoende verwarmingsstoom is gegenereerd voor het opwarmen van de voorraadtank en het onderhavige leidingsysteem. Dit betekent dat voor dat de installatie wordt gestopt teruggeschakeld moet zijn op de lichtere brandstofsoort.

Soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht wordt in de tabel hier voor aangeduid met soortelijke massa. Eigenlijk moet er staan volumieke massa. Omdat er nagenoeg hetzelfde wordt bedoeld blijven we hier soortelijk gewicht gebruiken.

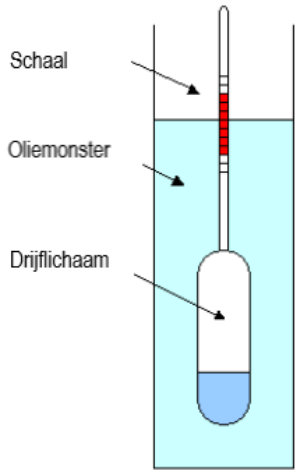
Het soortelijk gewicht wordt op twee manieren opgegeven;

- Soortelijk gewicht als de verhouding tussen het gewicht van 1 dm^3 olie van 60 ºF (15,5 ºC) en het gewicht van 1 dm^3 water van 60 ºF, aangeduid met: s.g. 60 ºF/60 ºF.
- Soortelijk gewicht als de verhouding tussen het gewicht van 1 dm^3 olie van 15 ºC en het gewicht van 1 dm^3 water van 4 ºC, aangeduid met: s.g. 15 ºC/ 4 ºC.

Het soortelijk gewicht is zeer belangrijk voor de controle van oliehoeveelheden. Men meet namelijk per volume-eenheid maar betaalt per gewicht. Het soortelijk gewicht wordt bepaald met een areometer of densimeter van Baumé zoals hiernaast is afgebeeld.

Bij de bepaling van het soortelijk gewicht meet men eerst de temperatuur, omdat de uitzettingscoëfficiënt van olie ongeveer 0,007 per ºC bedraag en het soortelijk gewicht bij een temperatuur verschil van 1,5 º ongeveer 1 % toe of afneemt. Op de meter is aangegeven bij welke temperatuur deze is geijkt om de omrekening te kunnen maken.

In verband met de uitzetting is het raadzaam om een voorraad tank niet verder te vullen dan tot 95 % van zijn nominale inhoud.

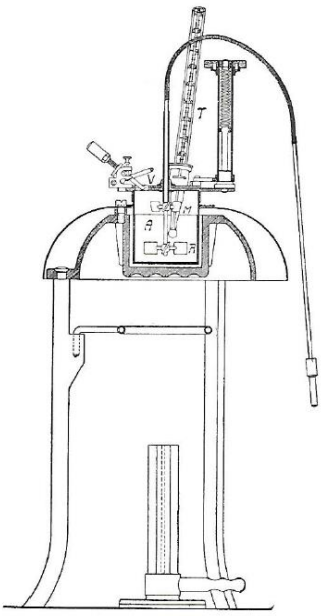


Densimeter van Baumé

Brandpunt en vlampunt

Het ontvlammingspunt of kortweg vlampunt is de laagste temperatuur waarbij de ontwikkelde damp van een olie kan worden ontstoken. Bij deze temperatuur wordt net zoveel damp of gas ontwikkeld dat de vlam kan worden onderhouden Bij de beproeving er van zal de damp even ploffen als zij in contact komt met een vlam, maar ze blijft niet branden. Hoe hoger het vlampunt ligt des te kleiner

is het brand- of ontploffingsgevaar hetgeen van groot belang is voor de opslag, het transport en het gebruik van de brandstof bij de bemalingsinstallatie.
Het brandpunt is de laagste temperatuur waarbij de gasontwikkeling zodanig is dat de olie zonder hulpmiddelen blijft branden. Het brandpunt ligt gewoonlijk 10 - 25 ºC hoger dan het vlampunt. Het vlam- en brandpunt worden bepaald met het hieronder afgebeelde toestel van Pensky-Martens.
Het vat A , waarin zich een hoeveelheid van de te beproeven brandstof bevindt, wordt bij dit toestel omgeven door een luchtmantel die door een gasbrander wordt verwarmd. Behalve de thermometer bevindt zich in de vloeistof een met de hand bewogen roerwerk dat gedurende de proef met een snelheid van 1 a 2 omwentelingen per minuut wordt gedraaid. Het vat is aan de bovenkant gesloten met een vlak deksel waarin zich openingen van een voorgeschreven vorm bevinden. Deze openingen worden met een vlakke draaischuif afgedekt. Waarnemingen worden gedaan bij iedere 5 ºC temperatuurstijging. Het roerwerk wordt dan even stilgezet en de draaischuif geopend. Het mechanisme is zo ingericht dat bij het openen het proefvlammetje V automatisch op de juiste wijze in het vat wordt gebracht. Het moet daar juist 1 seconde verblijven en wordt dan snel teruggetrokken, waarbij de schuif weer gesloten wordt. Het bereiken van het ontvlammingspunt wordt merkbaar door een flauwe ontploffing in het toestel. De temperatuur waarbij de gasontwikkeling zo sterk is dat na ontsteking de vlam blijft branden noemt men het brandpunt.



Toestel van Pensky- Martens

Verbrandigswarmte en de stookwaarde

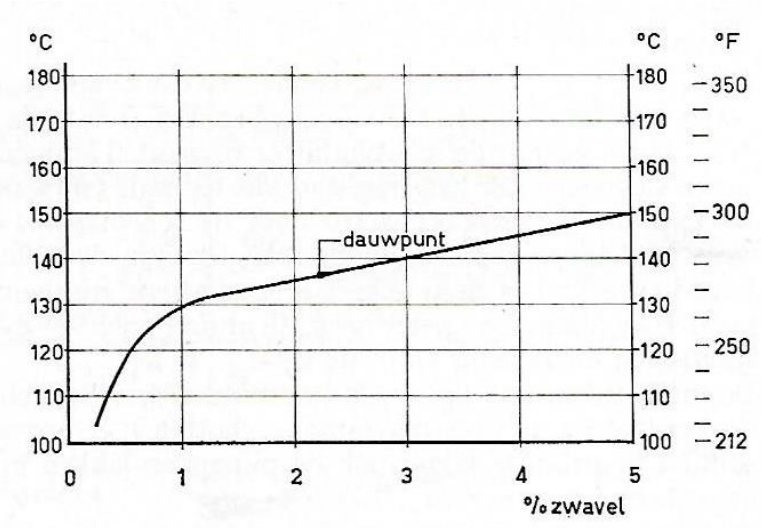
Bij de behandeling van de vaste brandstof steenkool is reeds aangegeven hoe aan de hand van de chemische samenstelling van de brandstof zowel de bovenste als de onderste verbrandingswaarde of stookwaarde kan worden vastgesteld. Ook is in die paragraaf aangegeven hoe deze waarden proefondervindelijk met de zogenoemde ”bom” van Berthelot-Mahler kunnen worden bepaald.
De stookwaarde van de stookolie varieert tussen de 9800 – 10000 kcal/kg. Meestal wordt gebruik gemaakt van de dunnere soorten zoals stookolie I of II, zoals in de hier voor aangegeven tabel is aangegeven waarvan omgerekend (1 cal = 4,1868 J) de stookwaarde respectievelijk 9910 en 9850 kcal/kg bedraagt.

Verontreinigingen van olie

Tot de verontreinigingen van olie behoren water, zwavel, as en mechanische verontreinigingen.
Water is geen brandstof, en doordat het verdampt in de ketel en als zodanig via de schoorsteen ontwijkt, onttrekt het warmte aan het proces. Bij het bepalen van de stookwaarde hebben we gezien dat dit een klein verlies geeft. Bij zeer zware oliesoorten blijkt een kleine hoeveelheid water echter een rookvrije verbranding te bevorderen. Om die reden wordt bij sommige installaties in plaats van

druk-verstuiving stoomverstuiving toegepast. Door het verschil in soortelijk gewicht bezinkt het water in de opslag en kan op gezette tijden bij een bewust gecreëerd laag gelegen punt worden afgetapt. De olie moet dan wel dun vloeibaar zijn hetgeen wordt bereikt door de tankinhoud te verwarmen tot ongeveer 70 ºC.

Stookolie bevat 2 – 4 % zwavel , die wel verbrandt, doch slechts een kwart van de warmte levert die eenzelfde gewicht aan olie ontwikkelt. De zwavel verbrandt tot SO_2 (zwaveldioxide), dat zich met water verbindt tot H_2SO_3 (zwavelig zuur) en vervolgens tot H_2SO_4 (zwavelzuur), die, evenals bij het verstoken van steenkool de oorzaak kunnen zijn van ernstige corrosieverschijnselen. Men moet dan ook zorgen dat de eindtemperatuur van de rookgassen in de installatie steeds boven het dauwpunt van de rookgassen ligt. Dit is mogelijk door met een zo'n klein mogelijke luchtovermaat te stoken. Het zuurstofgehalte van de rookgassen is dan zo klein dat uit de SO_2 (zwaveldioxide) het nauwelijks met water in H_2SO_4 (zwavelzuur) is op te lossen, SO_3 (zwaveltrioxide) wordt gevormd en het dauwpunt van de rookgassen in plaats van bij 140 C bij ongeveer 60 C komt te liggen.



Dauwpunten in relatie tot zwavelgehalte

Ook voor het Vanadium, een katalysator bij de vorming van SO_3**,** is een kleine luchtovermaat gunstig zoals we zullen zien. Stookolie bevat in de regel slechts een kleine hoeveelheid as welke gedeeltelijk bestaat uit natriumsulfaat (Na_2So_4) ook wel Glauberzout genoemd en Vanadium-pent oxide (V_2O_5). Deze stoffen vormen een slakafzetting op oppervlakken die een hoge temperatuur hebben, met als gevolg dat de doortocht van de gassen sterk achteruit gaat .
Onder mechanische verontreinigingen worden verstaan: roest- en hamerslagdeeltjes die loslaten van het (binnen)oppervlak van tanks en leidingen.

4.8.5 Gasvormige brandstoffen

De aardgaswinning in Nederland dateert uit de jaren zestig en is vanaf die tijd toegepast bij de stoomketels van industriële installaties en energiecentrales. Behoudens het ir D.F. Woudagemaal en het stoomgemaal Keizersveer waren er toen geen stoomgemalen meer in bedrijf. Anders dan

bij het museumgemaal De Vier Noorder Koggen waar een moderne aardgas gestookte hulpstoomketel staat opgesteld zal men geen gas gestookte stoomketels in gemalen aantreffen.

4.8.6 Verbranding

Verbranding is een snel verlopend proces waarbij de bestanddelen van een brandstof met zuurstof worden verbonden, warmte wordt ontwikkeld en de stof gaat gloeien. Deze warmte wordt in stoomketels gebruikt voor het genereren van stoom die vervolgens in de stoommachine wordt omgezet in mechanische arbeid. In de meeste gevallen zal verbranding gepaard gaan met het optreden van een vlam, veroorzaakt door de gloeiende gas- of dampmassa. Verbranding zal alleen plaatsvinden in de gasvormige toestand van de brandbare elementen van de brandstof door deze in reactie te brengen met zuurstof. Hiervoor moet een voldoende hoge temperatuur, de ontstekings-temperatuur of het vlampunt van het gas, zijn bereikt. Deze ontstekingstemperatuur loopt voor de verschillende stoffen sterk uiteen. Daalt door de een of andere oorzaak de temperatuur beneden de ontstekingstemperatuur dan dooft de vlam. Dit is bijvoorbeeld het geval als we een kaars uitblazen. Het lichtgevende vermogen van een vlam is te danken aan de vaste koolstof deeltjes die er in voorkomen en door de hitte van de vlam tot gloeien worden gebracht. Het gaslicht van de straatlantaarns uit het verleden dankt zijn helderheid aan het zogenoemde gloeikousje dat in de vlam was aangebracht. Zuivere waterstof brandt met een kleurloze vlam. Is bij het verbranden van een gas of damp de luchttoevoer gering dan zal het element met de grootste affiniteit tot zuurstof zich hiermee als eerste binden. Bij koolwaterstofverbindingen is dat de waterstof. Als voorbeeld de onvolkomen verbranding van de koolwaterstofverbinding methaan:

$$CH_4 + O_2 \rightarrow C + 2\ H_2O$$

Er vindt dan een onvolkomen verbranding plaats waarbij de onverbrande koolstofdeeltjes gaan gloeien en licht uitzenden. Houdt men een koud voorwerp in de vlam bij deze verbranding dan zal zich hierop de onverbrande koolstof als roet afzetten, een verschijnsel wat we waarnemen bij de vlampijpen en rookgaskanalen in een stoomketel. Ook zullen de rookgassen die via de schoorsteen worden afgevoerd donker gekleurd zijn en de stoker waarschuwen voor een verkeerd afgestelde verbrandingsluchttoevoer.
Als er wel voldoende lucht aanwezig is voor de verbranding dan verbrandt ook de koolstof en wel als volgt :

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

Als gevolg van het ontbreken van vaste koolstof deeltjes wordt de vlam kleurloos.
De mate van roetvorming is dus een maat voor het al of niet op de juiste wijze stoken van een stoomketel. De stoker dient dan ook regelmatig naar buiten te gaan om de rookpluim op de schoorsteen te analyseren. Een grijs-witte rookpluim geeft aan dat er gestookt wordt met teveel lucht terwijl een donker gekleurde pluim aangeeft dat niet genoeg lucht voor een goede verbranding voorhanden is. Bij een goed aangelegd en onderhouden vuur zal er een licht flonkerende pluim op de schoorsteen staan.

De uiteindelijke verbranding van brandstoffen in de vuurgang of vuurhaard van een stoomketel vindt afhankelijk van de soort brandstof en de aggregatietoestand vast, vloeibaar of gasvormig, in de volgende stappen plaats.

Verbranding van steenkool (vaste brandstof)

Voordat er sprake is van verbranding moet in geval van een vaste brandstof deze eerst worden gedroogd en ontgast. Hiervoor moet warmte worden toegevoerd. Bij een voldoende hoge temperatuur zullen als eerste de brandbare gassen ontsteken en vervolgens de koolstof -hier cokes genoemd- verbranden. Ontsteking vindt plaats, als de aanvoer van warmte zoveel groter is dan de afvoer, dat de ontstekingstemperatuur wordt bereikt.

De aanvoer van warmte vindt plaats door:

- Verbranding van de brandstof (de verbrandingswarmte)
- Voorverwarmde verbrandingslucht

De afvoer van warmte vindt plaats door:

- Uitstraling van het brandstofbed
- Verwarming van de brandstof en de verbrandingslucht tot de ontstekingstemperatuur van de brandstof

Het verwarmen van de verbrandingslucht eist een substantieel deel van de door verbranding ontwikkelde warmte op en is de reden om deze voor te verwarmen door deze langs de warme ketel te leiden of met behulp van een zogenoemde lucht voorverwarmer; afgekort aangeduid met (LUVO).

De ontstekingstemperatuur van steenkool ligt gemiddeld op 450 ºC, voor cokes, dus ontgaste steenkool, is dat 650 ºC. Dit betekent dat als men met een te grote luchtovermaat en niet voorverwarmde lucht stookt men in staat is het vuur uit te blazen.

De ontbranding van de ontwijkende gassen is afhankelijk van de samenstelling ervan. De belangrijkste daarvan zijn in de hierna volgende tabel weergegeven. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat als de ontstekingstemperatuur niet word gehaald van een bepaalde gassoort deze onverbrand kan ontwijken.

Gassoort	Ontstekingstemperatuur ºC	Ontstekingssnelheid m/sec	Stookwaarde kcal/kg	Soortelijk gewicht kg/Nm^3
Methaan	700	0,25	12.000	0,70
Ethyleen	540	0,50	11.500	1,25
Acetyleen	430	1,10	2.700	1,15
Koolstofoxide	650	0,30	2.400	1,25
Waterstof	580	2,00	29.000	0,09
Zuurstof	-	-	-	1,43
Stikstof	-		-	1,25

De eigenlijke verbranding verloopt als volgt:

- Omzetting van de C-H-O-verbindingen in vluchtige C-H verbindingen
- Uiteenvallen van de C-H-verbindingen in vrije C en CH_4, C_2H_2, C_2H_4 verbindingen die vervolgens weer uiteenvallen in C en H2
- Verbranding van de H_2 tot H_2O dat in het vuur weer ontleed wordt in H_2 en O waarmee de vrije C tot CO verbrandt waarbij opnieuw H_2O wordt gevormd
- Verbranding van CO tot CO_2 en van H_2 tot H_2O

Verbranding van stookolie (vloeibare brandstof)

Hier voor is aangegeven dat er alleen sprake kan zijn van verbranding als de brandstof in de gasfase verkeert en dat die fase uitgaande van vaste brandstoffen via de vloeistoffase wordt bereikt. Vloeibare brandstoffen staan dus ten opzichte van vaste brandstoffen een stap dichter bij de gasfase. Daar waar bij vaste brandstof zoals steenkolen het omringende vuur op de roosters in de stoomketel de kolen op ontstekingstemperatuur brengen, gebeurt dit bij vloeibare brandstoffen voor het overgrote deel door middel van voorwarmers buiten de ketel.

Voor het verkrijgen van een goede verbranding moeten de olie en de lucht in de juiste gewichts-verhouding en de vereiste toestand in de vuurgang of -haard van de ketel worden gebracht. Voor een goede verbranding is het noodzakelijk:

- dat de olie ontdaan is van vaste en vloeibare verontreinigingen
- dat de olie verwarmd is tot een geschikte temperatuur zodat er een zekere dun-vloeibaarheid ontstaat, nodig voor de verstuiving, waardoor een groot oppervlak gevormd wordt voor het verwarmen en vervolgens vergassen van de brandstof
- dat de stookolietemperatuur constant blijft omdat anders niet alleen de verbranding ongunstig wordt beïnvloed maar ook de capaciteit van de ketel daardoor verandert.
- dat de olie met een zekere snelheid en richting de brander verlaat zodat zij zwevend in de lucht verbrandt, voordat zij de relatief koudere wanden van de vuurgang, vuurhaard of vlampijpen raakt waardoor de verder verbranding belemmerd wordt.
- dat de verbrandingslucht met een zodanige snelheid en bewegingsrichting wordt ingevoerd , dat zij ten opzichte van de oliedruppels een zekere snelheid heeft en daardoor de op elke oliedruppel gevormde gasmantel snel afstroopt en zich daarmee vermengt. Daartoe moet de lucht in de lengte richting van de brander een geringe snelheid en een draaiende beweging hebben, dus een schroeflijn met een kleine spoed.
- dat de lucht verwarmd is tot 150 a 250 °C om een snelle ontsteking te bevorderen.

De juiste olietemperatuur van de stookolie kan men als deze niet bekend is proefondervindelijk bepalen. Deze ligt afhankelijk van de soort stookolie tussen de 100 en 140°C en niet hoger dan 10°C beneden de ontstekingstemperatuur van de brandstof. Is het vlampunt niet bekend dan kan men de temperatuur zolang opvoeren tot de olie in de brander vergast, hetgeen zichtbaar is aan een onregelmatige vlam. Vervolgens laat men de temperatuur geleidelijk zover dalen tot men een regelmatige en heldere vlam heeft verkregen.

Er vindt bij verbranding van olie onder atmosferische druk een soortgelijk proces plaats als in een kraakinstallatie bij de raffinage van olie. De koolstofatomen die bij het kraken uit de koolwaterstof verbindingen vrijkomen , verschijnen in de vlam als gloeiende deeltjes.

De waterstof in de brandstof verbrandt snel en volledig, doch de koolstof ontvlamt alleen in een omgeving met vrij hoge temperatuur en verbrandt vrij langzaam, zodat zij niet altijd volledig verbrandt hetgeen zichtbaar is aan een donker gekleurde rookpluim op de schoorsteen. Er ontstaat dan roet, die zich op het VO of in de vuurgang of de vuurhaard blijft liggen.

Verbranding van aardgas (gasvormige brandstof)
Gasvormige brandstof behoeft alleen met de juiste hoeveelheid lucht vermengd te worden om goed en snel te kunnen ontsteken en verbranden. Het is ten opzichte van steenkolen en stookolie een uitermate schone brandstof hetgeen zich uit in een aanzienlijk langere levensduur van de ketel. Echter bij polder en boezem gemalen zijn nooit gas gestookte stoomketels toegepast zodat deze brandstofsoort in deze leidraad verder buiten beschouwing blijft.

4.8.7 Benodigde hoeveelheid verbrandingslucht

Scheikundige begrippen
Verbranding is een scheikundig proces. Voor een goed begrip van verbrandingsverschijnselen is daarom enige kennis van de scheikunde noodzakelijk en kan een korte samenvatting hiervan nuttig zijn.

In de natuurkunde wordt bestudeerd, hoe de eigenschappen van een stof -alles wat ruimte inneemt- veranderen bij de drie aggregatie toestanden vast, vloeibaar en gasvormig. De samenstelling van de stof blijft hetzelfde en kan na een toestandsverandering weer teruggebracht worden naar de begintoestand. De scheikunde houdt zich bezig met verschijnselen waarbij de originele eigenschappen van een stof verloren gaan en nieuwe stoffen ontstaan met andere eigenschappen, zoals bij de verbinding met zuurstof (verbranding, oxidatie) of bij het onttrekken van zuurstof (reductie). Bij het tot stand komen van een scheikundige verbinding komt meestal warmte vrij, aangeduid met exotherme reactie, maar soms wordt ook warmte opgenomen of moet warmte worden toegevoerd. Dit laatste noemen we een endotherme reactie.

De stoffen, die wij gebruiken, zijn samengesteld uit een grote hoeveelheid zeer kleine deeltjes. De kleinste deeltjes van een stof, waarin de eigenschappen van de stof nog aanwezig zijn noemen we moleculen. De moleculen bestaan op hun beurt uit nog weer kleinere deeltjes, die we elementen noemen, en meestal niet meer de eigenschappen van de oorspronkelijke stof hebben. Elementen zijn stoffen die niet in andere stoffen kunnen worden gesplitst.
Waterstof en zuurstof bijvoorbeeld blijken niet meer te kunnen worden gesplitst in andere stoffen, zij behoren daarom tot de elementen.
Bij brandstoffen en de samenstelling van de rookgassen zijn de volgende elementen van belang.

Element	Latijnse naam	Symbool
Koolstof	Carbonium	C
Waterstof	Hydrogenium	H
Zuurstof	Oxygenium	O
Stikstof	Nitrogenium	N
Zwavel	Sulfer	S

Ten einde de samenstelling van stoffen en de scheikundige omzetting in sterk verkorte vorm te kunnen weergeven heeft men de elementen aangeduid met de eerste en zo nodig met de tweede letter van hun Latijnse of Griekse benaming.
De kleinste deeltjes van elementen noemt men atomen. Atomen kunnen zich met andere atomen verbinden tot moleculen. Hierbij doen zich de volgende twee mogelijkheden voor:

- Een aantal atomen van hetzelfde element verbindt zich tot moleculen. De moleculen van de hiervoor aangegeven gasvormige elementen waterstof (H) en zuurstof (O) bestaan elk uit twee atomen. Men geeft dit aan met een subscript cijfer aan de voet van het symbool, dus voor waterstof H_2 en zuurstof O_2.
- Een aantal atomen van verschillende elementen verbindt zich tot een (scheikundige) verbinding. Zo vormen twee atomen waterstof en één atoom zuurstof één molecuul water aangeduid met H_2O en een atoom koolstof met twee atomen zuurstof één molecuul koolstofdioxide aangeduid door CO_2

Om het aantal moleculen van een stof aan te geven plaatst men een getal voor het lettersymbool. Zo stelt 2 CO_2 twee moleculen koolstofdioxide voor.
De atomen van de onderscheiden elementen verschillen in gewicht. Men heeft het gewicht van waterstof als eenheid genomen en het gewicht van de atomen van de andere elementen daarmee vergeleken. Onder het atoomgewicht van een element verstaat men dus het getal dat aangeeft hoeveel zwaarder dit element is dan één atoom waterstof. Het atoomgewicht van zuurstof is 16, dus 16 keer zwaarder dan waterstof.
Het molecuulgewicht van een stof geeft aan hoeveel zwaarder deze is dan het atoomgewicht van het element waterstof.
Eén molecule zuurstof (O_2) bevat twee atomen met elk een gewicht van 16. De molecule zuurstof is dus 32 keer zwaarder dan het atoom waterstof (H).

In onderstaande tabel vindt men de voornaamste gegevens van de elementen waaruit ketelbrandstoffen zijn samengesteld en die bij de verbranding hiervan aan de orde komen.

Element	**Koolstof**	**Waterstof**	**Zuurstof**	**Stikstof**	**Zwavel**
Symbool	C	H	O	N	S
Latijnse naam	Carbonium	Hydrogenium	Oxygenium	Nitrogenium	Sulfer
Atoomgewicht	12	1	16	14	32
Molecuulformule	C	H2	O2	N	S
Molecuulgewicht	12	2	32	28	32

Benaming en elementgegevens ketelbrandstoffen

Naam	**Zuurstof**	**Stikstof**	**Koolstof-Monoxide**	**Koolstof-Dioxide**	**Zwavel-oxide**
Symbool	O	N	CO	CO_2	SO_2
Mol. gewicht	2x16=32	2x14=28	12+16=28	12+2x16=44	32+2x16=64

Molecuul gewicht

Berekening hoeveelheid verbrandingslucht

Als de scheikundige samenstelling van een willekeurige brandstof bekend is kan men berekenen hoeveel lucht men voor de verbranding nodig heeft omdat men weet in welke verhouding zij zich met de zuurstof in de toegevoerde verbrandingslucht verbindt.

Voor koolstof (C):

$C + O_2 \rightarrow CO_2$

12 kg + 32 kg = 44 kg

voor 12 kg C is 32 kg O_2 nodig

voor 1 kg C is 32/12 = 8/3 kg O_2 nodig

Voor waterstof (H):

$2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$

4 kg + 32 kg = 36 kg

voor 4 kg H_2 is 32 kg O_2 nodig

voor 1 kg H_2 is 32/4 = 8 kg O_2 nodig

Voor zwavel (S):

$S + O_2 \rightarrow SO_4$

32 kg + 32 kg = 64 kg

voor 32 kg S is 32 kg O_2 nodig

voor 1 kg S is 32/32 = 1 kg O_2 nodig

Verbinding van waterstof met de zuurstof die in de brandstof aanwezig is geschiedt reeds voor de verbranding en wel zo langzaam dat geen warmte ontwikkeling is waar te nemen. Omdat voor de verbinding van 1 kg waterstof 8 kg zuurstof nodig is zal er bij de verbranding in de ketel slechts de volgende hoeveelheid waterstof nodig zijn:

$$\left(H - \frac{O}{8}\right)\ [kg]$$

Voor de verbranding van 1 kg brandstof met C % koolstof, H % waterstof, O % zuurstof en S % zwavel is de volgende hoeveelheid zuurstof nodig:

$$\left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 1 \cdot S\right)\ [kg]$$

Lucht bestaat voor ongeveer 23,5 % van haar gewicht of 21 % van haar volume uit zuurstof. Voor het verbranden van 1 kg brandstof is theoretisch de volgende hoeveel lucht nodig:

$$G_{lth.} = \frac{100}{23{,}5} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 1 \cdot S\right)\ [kg]$$

Het soortelijk gewicht, we noemen dit tegenwoordig volumieke massa, kan men stellen op 1,3 kg/Nm^3.

Gassen in het algemeen en dus ook lucht veranderen van volume als de druk en of de temperatuur wijzigt. Daarom zijn er afspraken gemaakt over het definiëren van het volume van een bepaalde gewichts- hoeveelheid. Nm³ betekent normaal kubieke meter en wil zeggen dat het gewicht hiervan is gemeten bij een druk van 760 mm kwik en 0 ºC. In het huidige Internationale Stelsel van Eenheden staat de "N" voor Newton de grootheid voor kracht. Daarnaast worden in verschillende industrieën en de chemie nog een aantal andere aanduidingen en definities gebruikt hetgeen uiterst verwarrend is. De aanbevolen en correcte, maar door haar complexheid nauwelijks gehanteerde, schrijfwijze is m³/h 273,15 K, 1,01325 bar.

Door de theoretische gewichtshoeveelheid voor de verbranding van een bepaalde brandstof te delen door het soortelijke gewicht verkrijgt men de theoretische luchthoeveelheid uitgedrukt in normaal kubieke meters per kg brandstof.

$$V_{lth.} = \frac{1}{1{,}3} \cdot \frac{100}{23{,}5} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 1 \cdot S\right) \left[{}^{Nm^3 lucht}/_{kg\ brandstof} \right]$$

Voor de volledige verbranding van een brandstof in een stoomketel is meer lucht nodig dan met de hiervoor gegeven formule wordt berekend. De theoretische luchthoeveelheid moet daarom vermenigvuldigd worden met een bepaalde factor. We noemen dit de luchtfactor of luchtovermaat die wordt aangegeven met de letter n en de verhouding aangeeft tussen het theoretische luchtverbruik en het praktische luchtverbruik. De praktisch toe te voeren hoeveelheid lucht kan op de volgende manier worden berekend.

$$V_{lpr.} = n \cdot \frac{1}{1{,}3} \cdot \frac{100}{23{,}5} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot \left(H - \frac{O}{8}\right) + 1 \cdot S\right) \left[{}^{Nm^3 lucht}/_{kg\ brandstof} \right]$$

Voor normaal handmatig stoken hand wordt een luchtfactor n = 2 aangehouden. Meer ervaren stokers hebben minder lucht nodig voor het handmatig verstoken van de brandstof . Zij kunnen toe met een luchtfactor van slechts n = 1,6 hetgeen de luchtfactor van het normaal mechanisch stoken benadert. Minder lucht gebruik betekent een hoger rendement van de ketelinstallatie.

Dat met het goed opleiden van stokers winst valt te behalen is evident. Het investeren in een mechanische opwerpinstallatie voor de brandstof bij stoominstallaties van gemalen is in het verleden een aantal keren aan de orde geweest echter voor zover bekend nooit toegepast.

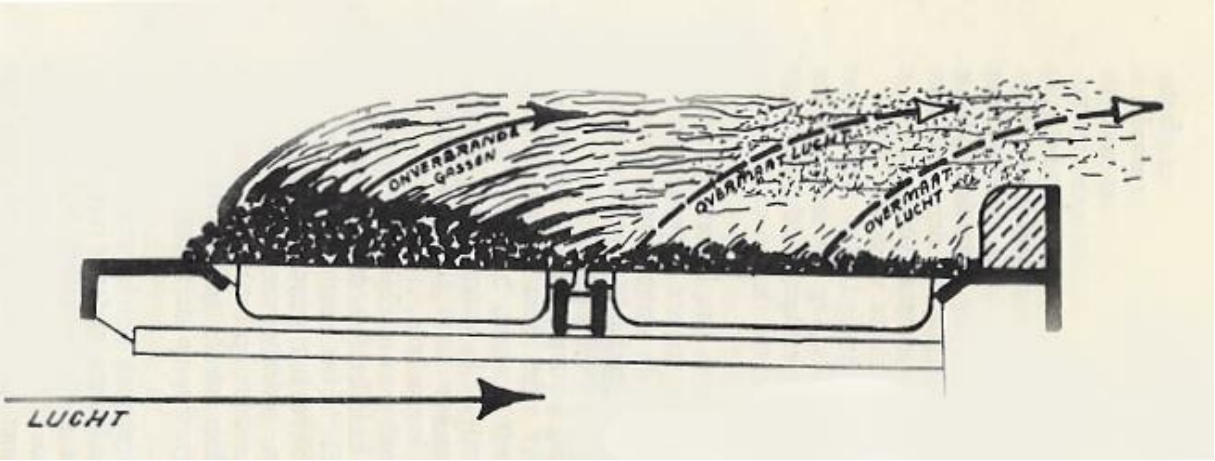
4.8.8 Stoken met steenkool

De taak van de stoker is in het kort gezegd de volgende. Hij of zij moet trachten met zo weinig mogelijk brandstof zoveel mogelijk stoom te produceren. In de regel kan een stoker met 1 kg steenkolen van een redelijke kwaliteit tussen de 8 a 10 kg stoom produceren. De stookwaarde van steenkool bedraagt 7400 – 8600 kcal/kg. De juiste behandeling van het vuur door de stoker is van grote invloed hierop, vandaar hieronder een aantal praktische tips voor het gebruik van de juiste

gereedschappen en het inrichting en onderhouden van een vuur zoals dat in vakjargon wordt genoemd.

Stookmethodes

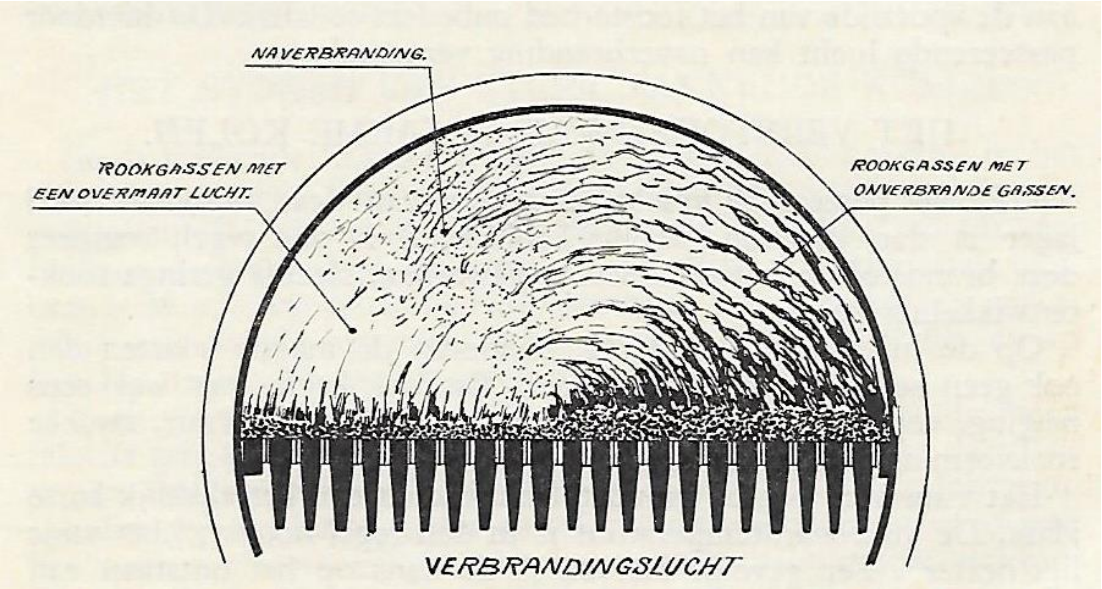
Bij het verstoken van steen kool worden twee stookmethodes onder scheiden te weten: het " kopstoken" en het "stoken met strepen". Bij het zogenoemde kopstoken is het vuur aan de voorzijde dikker dan aan de achterzijde van het rooster. Door het achterste gedeelte zal van wege de geringere luchtweerstand dus een grotere hoeveelheid lucht passeren en het vuur zal daar ter plaatse fel branden. Ook is hier lucht beschikbaar voor het na-verbranden van de gassen die in de dikke laag aan de voorkant zijn ontstaan.



Kopstoken

De verse brandstof wordt bij deze methode hoofdzakelijk aan de voor kant opgeworpen en als deze voldoende is doorgebrand met de asriek voorzichtig naar achteren geduwd waar zij verder uit brandt. Een variant op deze manier is om weliswaar aan de voorkant een kop te onderhouden maar om de verse brandstof bij het opwerpen gelijk matig over het rooster op te verdelen.

Bij het stoken met strepen, bij voorkeur toegepast bij installaties met onderwind, wordt het vuur in breedterichting verdeeld in twee stroken, welke beurtelings van verse steenkolen worden voorzien.

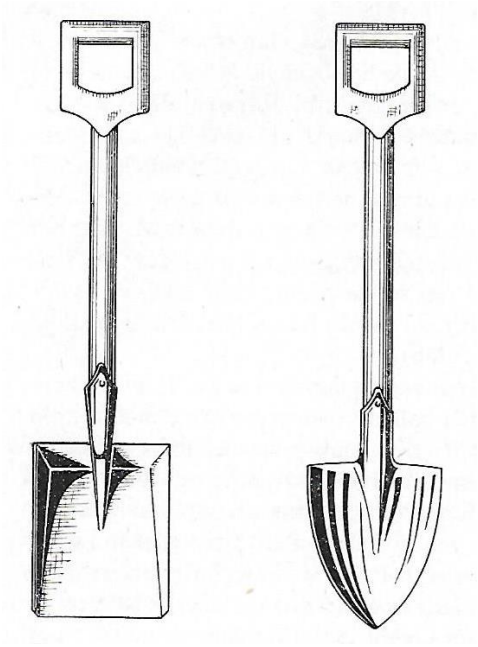


Stoken met strepen

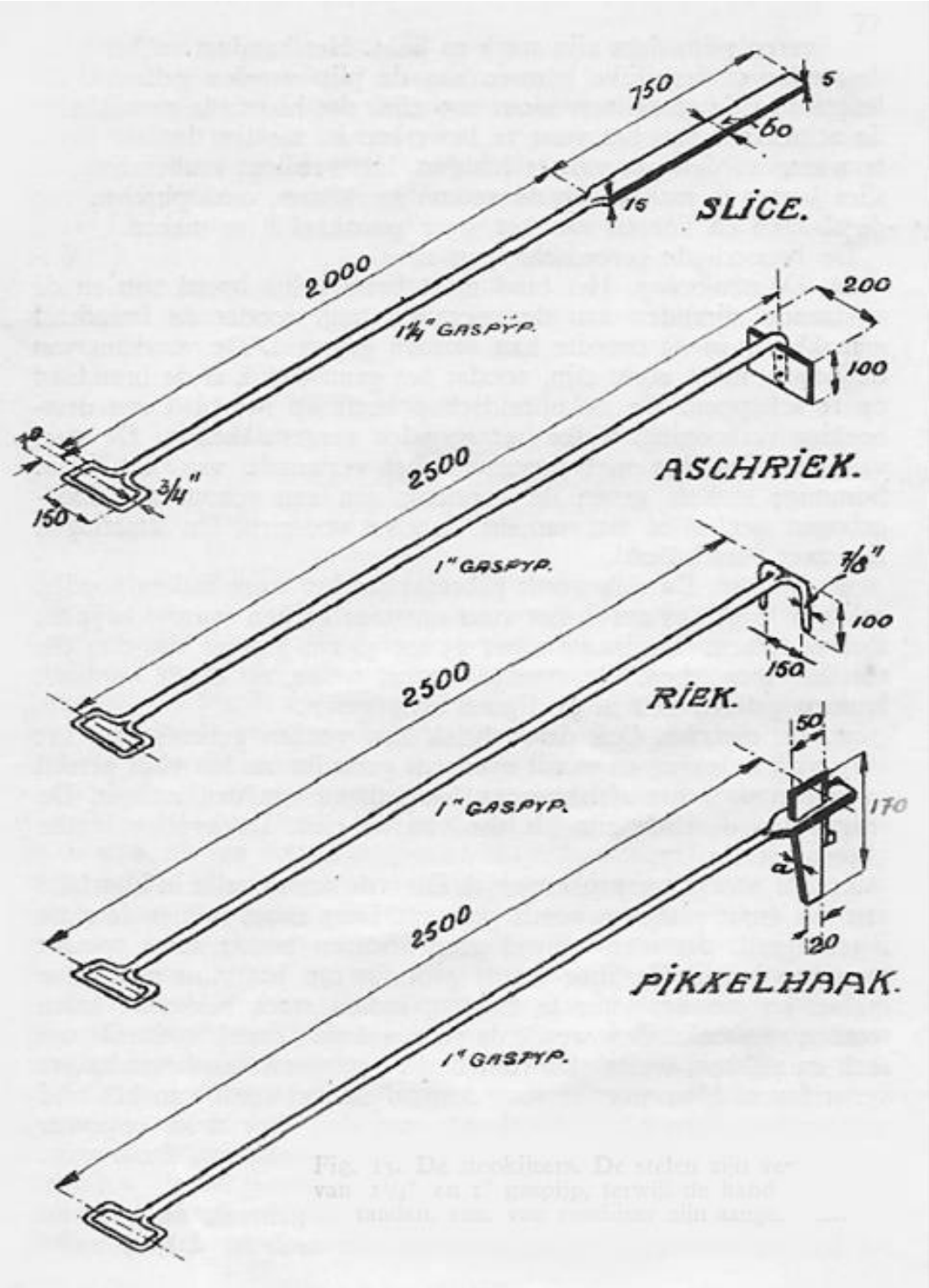
De verbrandingsgassen van de dunne doorgebrande strook en de nog niet gebruikte zuurstof neigen zich nu dwars op de lengterichting van de vuurgang naar de nog niet doorgebrande strook te begeven waar het voor de naverbranding van de hierin ontstane gassen zorgt.

Vuurbehandeling en stookgereedschap

Aangenomen wordt dat er met een kop gestookt wordt en dat er juist met verse brandstof een nieuwe kop gevormd is. Voor het opwerpen van de brandstof bedient de stoker zich van een stookschop. Deze heeft een rechthoekig stalen blad met aan de achter- en zijkanten een opstaande rand, waaraan een houten steel met handgreep bevestigd is. Het blad, anders dan die van de tremschop, is rechthoekig om de steenkool gelijkmatig te kunnen spreiden. De tremmer is meer gebaat bij een schop met een punt om makkelijk onder de steenkoollaag te kunnen stoten. Is de brandstof ontgast, dan wordt de overblijvende cokes over het rooster verdeeld. De stoker gebruikt hiervoor de asriek of bij aaneen bakkende kool de riek of klauw die met zijn scherpe punten meer houvast geeft in de aaneen gebakken korst. Men noemt deze bewerking het doorzetten of gelijken van het vuur. De riek bestaat uit een stalen buis met aan het ene einde hiervan een haaks hierop geplaatst blad of klauw en aan de andere zijde een handvat. Circa 5 minuten na het doorzetten van de cokes wordt de slakken laag die zich aan het rooster heeft vastgezet met behulp van een slijs los gestoken en gebroken om het toestromen van de verbrandingslucht te bevorderen en het vuur fel brandend te houden. Deze bewerking noemt men het slijzen. Een slijs is een aan een stalen buis bevestigde grote platte beitel. De slijs, asriek, en klauw zijn in de afbeelding van de stookgereedschappen op de volgende bladzijde in detail weergegeven.

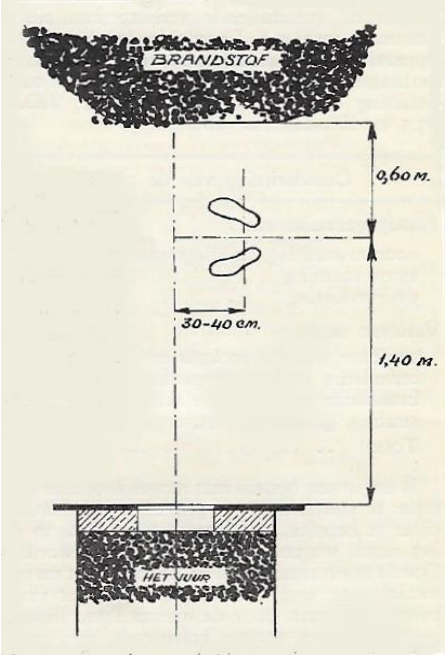


Stookschop **Tremschop**



Stookgereedschappen

Is de cokeslaag na ongeveer 20 minuten voldoende weggebrand dan begint het opgooien opnieuw. De werkzaamheden van opgooien tot het opnieuw opgooien duidt men aan met stookronde. Zet men de kop niet door of stookt men een vuur van gelijke dikte dan moet de verse steenkool met de stookschop gelijktijdig met het opwerpen worden gespreid. Hierbij wordt een beroep gedaan op de vaardigheden van de stoker zeker als daar bij bedacht wordt dat de afmetingen van de vuurdeur beperkt zijn en het ook nog snel moet gebeuren.

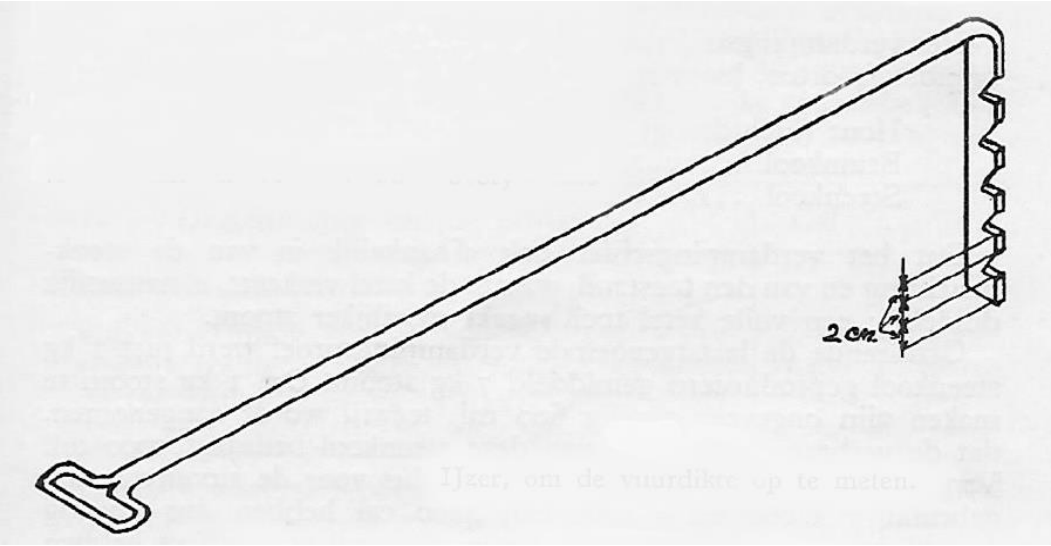


Opstelplaats stoker

Om de brandstof op de juiste en minst vermoeiende manier op het vuur te kunnen werpen, moet de stoker zich zo voor de ketel opstellen dat hij het vuur, indien de vuurdeur is geopend, gemakkelijk kan overzien en de brandstof op de schop kan nemen zonder van plaats te veranderen. Hij moet zich zo opstellen dat hij de schop gemakkelijk in een rechte lijn van de kolenhoop naar het vuur kan brengen. In verband hiermee moet de brandstof op de juiste plaats voor de ketel worden opgeslagen. Een en ander wordt met de hiernaast afgebeelde figuur duidelijk gemaakt. Voor de ketel moet daarom maar ook om te kunnen werken met het relatief lange stookgereedschap, een ruimte van 2,50 – 300 m beschikbaar zijn.

De dikte van de brandstof laag en de daardoor veroorzaakte luchtweerstand, houdt verband met de beschikbare trek dat wil zeggen de hoogte van de schoorsteen en het temperatuurverschil hierover. Bij natuurlijke trek is het drukverschil over het rooster ongeveer 6 mm waterkolom in welk geval men een gemiddelde laagdikte aanhoudt van 200 mm. Bij geforceerde trek is het drukverschil ongeveer 12 mm en wordt een brandstoflaagdikte onderhouden van 350 mm.

De dikte van de brandstoflaag kan worden gemeten met de hieronder afgebeelde vuurdiktemeter. De constructie ervan is min of meer vergelijkbaar met die van de hiervoor afgebeelde stookgereedschappen. De meter plaatst men tussen de kolen van het brandstof bed op het rooster en leest het aantal zichtbare inkepingen af. Aan de hand van de maatvoering zoals hieronder is aangegeven kan men dan de dikte van het vuur berekenen. Bij het ontbreken van een dergelijke meter kan men zich behelpen door op de asriek om de 2 cm krijtstrepen te plaatsen.



Vuurdikte meter

Men moet er voor zorgen dat de brandstoflaag nergens te dun wordt. Gebeurt dit dan ontstaat een gat in het vuur. Daar ter plaatse wordt de weerstand minder en zal er veel relatief koude lucht worden doorgelaten, waardoor de overige brandstof minder lucht toegevoerd krijgt en het vuur minder fel gaat branden. Bij natuurlijke trek zal een gat in het vuur zich kenbaar maken door een donkere plek in de normaal hel verlichte aspit onder het rooster. Is er eenmaal een gat ontstaan dan moet men de laag cokes opnieuw gelijk leggen en een dunne laag verse brandstof over het hele rooster opgooien om het vuur weer op de vereiste dikte te brengen. Om gaten in het vuur en het daardoor weglekken van lucht te voorkomen moet de stoker speciale aandacht besteden aan de hoeken direct achter het vuurdeurraam naast het stookgat, aan de zijkanten van het vuur en aan het einde van het vuur tegen de vuurbrug.

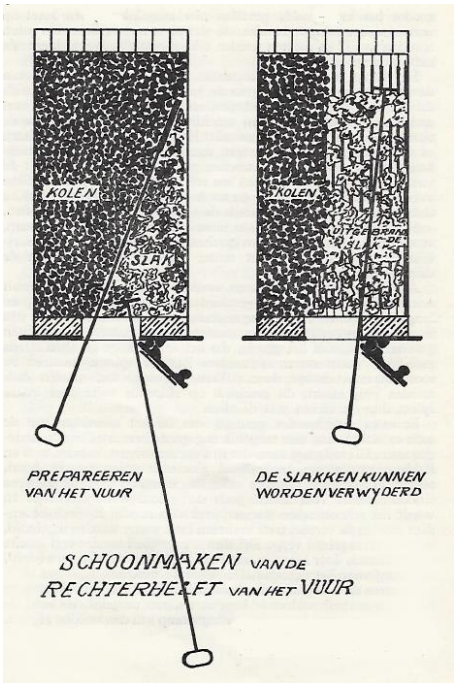
Indien de samenstelling van de slak zo is , dat deze smelt bij de temperatuur die in de vuurhaard heerst, dan spreekt men van een lopende slak. De dik vloeibare slak loopt in de luchtspleten tussen de roosterbaren en verstopt de roosters. Hierdoor wordt de toevoer van verbrandingslucht belemmerd en zal het vuur minder fel branden Tevens worden de roosterbaren niet meer afgekoeld waardoor deze te heet worden en doorzakken en vervormen. De slaklaag is nu zo dun dat men er met de slijs niet meer onder kan komen. In dat geval gebuikt men nu een haakmes, pikkelhaak of pook. Dit is een stalen buis met aan het ene eind een handvat en aan de andere kant haaks hierop een stalen mes dat met enige ruimte tussen de spleten van het rooster past. De stoker legt de pook op het rooster, met het mes naar boven en drukt dit in de luchtspleten waarna de pook in de lengterichting van de vuurgang wordt heen en weer bewogen. Bij natuurlijke trek gebruikt men het haakmes ook als men geen lopende slak heeft om het vuur open te maken en daardoor feller te laten branden.

Van tijd tot tijd moet de aangroeiende slak verwijderd worden. Men noemt dit het schoonmaken van het vuur. Deze bewerking geschiedt om de 4 tot 12 uur naar gelang het gehalte niet brandbare stoffen in de steenkool. Voor het schoonaken van de vuren worden in de praktijk drie methodes

gehanteerd. Bij de eerste methode wordt het cokesvuur zijwaarts omgeslagen terwijl bij de tweede methode het cokesvuur niet opzij maar naar achteren wordt geduwd. Bij de derde methode wordt de slak selectief verwijderd zonder de cokes te verplaatsen.

Methode I

Bij deze methode wordt een half uur voordat men een vuur schoon wil maken er geen brandstof meer opgegooid. De brandstoflaag moet dunner worden wat men afbranden van het vuur noemt. Vervolgens wordt met de slijs de brandende cokes naar bijvoorbeeld de linkerzijde van het rooster geschoven. Deze bewerking noemt men het overslaan van het vuur. De nu blootliggende slaklaag wordt door de verbrandingslucht koud geblazen, hetgeen blijkt uit de donkere kleur die de slaklaag dan heeft gekregen. Met de slijs wordt de slaklaag los en stuk gestoken en door het stookgat met de riek naar buiten getrokken waar deze met water wordt geblust en afgekoeld. Met de slijs schuift de stoker de brandende cokes van de linkerhelft naar het schoon gemaakte gedeelte van het rooster en schept hierover een paar scheppen steenkool om het te ver wegbranden te voorkomen. Nadat nu ook de linkerhelft van het rooster op dezelfde wijze is bewerkt en schoongemaakt, wordt de brandende cokes gelijkmatig over het gehele rooster verdeeld en gooit men er een dunne laag steenkool overheen. Vervolgens trekt de stoker met behulp van de asriek ook de as uit de aspit. Gedurende het schoonmaken en opwerken van het schoongemaakte vuur moeten de andere vuren, voor zover die er zijn, meer stoom produceren. In verband hiermee moeten deze vuren van te voren dikker worden aangelegd en gedurende de schoonmaak sessie met de slijs worden bewerkt.



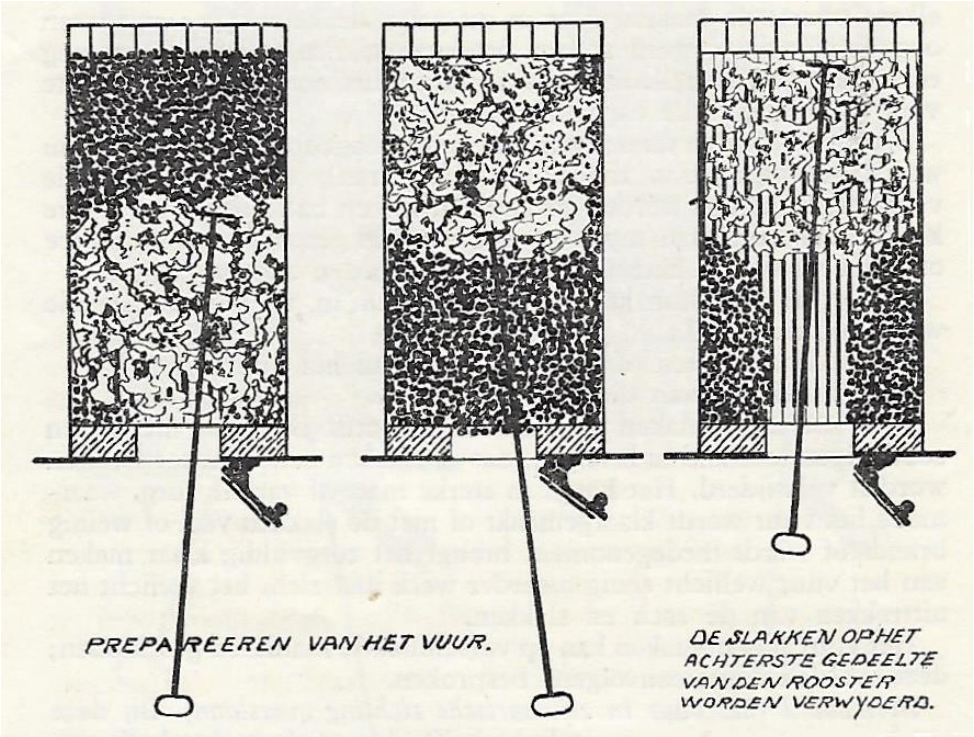
Werkwijze schoonmaken vuur methode I

Methode II

Ook bij deze wijze worden de schoonmaak werkzaamheden in tweeën verdeeld. Met de asriek wordt de cokes over de slak laag naar de achterzijde van het rooster geduwd tot tegen en ten dele op de vuurbrug. Direct daarna wordt met de slijs de slak opengebroken waarna men ze laat uitbranden en er met de riek uithaalt. Hierna wordt de cokes naar voren gehaald dan wel gelijkmatig over het rooster verspreid en verse kolen opgegooid. Men neemt dan aan dat het vuur schoon is. Wordt brandstof verstookt , welke een groot bakkend vermogen heeft , dan is dit inderdaad ook het geval als de stoker nadien kans ziet om slakken die zich tot de vuurbrug uitstrekken stuk te stoten en met de riek tijdens bedrijf uit de stookinrichting te halen. Geeft de brandstof een losliggende slakkenlaag dan wordt ook het achterste gedeelte op de volgende wijze van de slakken ontdaan. De cokes wordt met de asriek naar de zijbeuken aan de voorkant van het schone rooster getrokken. Er ontstaat dan tussen de cokes een geul via welke de slakken, na eerst met de slijs te zijn stuk

gestoten, met de riek uit de vuurgang worden gehaald en voor de ketel op de stookvloer of direct in de as wagen worden gestort.
Nadat de slak verwijderd is wordt de overgebleven cokes gelijkelijk over het rooster verdeeld. Meestal is er weinig brandstof overgebleven omdat het bij het schoonmaken niet mogelijk is verse kolen op te gooien. De stoker zal dus met de kleine hoeveelheid vuur geleidelijk de gewenste laagdikte weer opbouwen. Bij deze bewerkelijke methode is de stroomproductie nog meer afhankelijk van de overige vuren in de ketel dan wel de vuren van ander ketels.

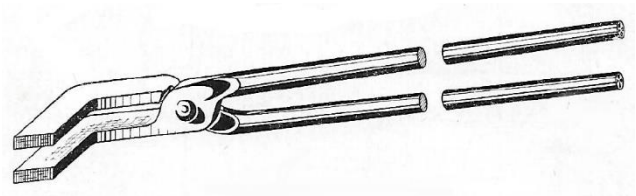
Methode III
Sommige stokers geven er de voorkeur aan de slakken te verwijderen zonder eerst de cokes te verplaatsen. Men steekt de slijs onder de slak en licht deze zover op dat ze geheel of gedeeltelijk boven de cokes komt te liggen. Met de riek verwijderd men dan de gloeiende slak. Deze methode is zonder meer af te keuren omdat het niet mogelijk is om de kleine slakken op deze wijze te verwijderen en het vuur dus vuil blijft. Ook wordt bij deze methode veel bruikbare brandstof met de slak afgevoerd.



Werkwijze schoonmaken vuur methode II

Behalve de reeks hiervoor genoemde stookgereedschappen gebruikt men bij het stookbedrijf een roosterbarentang. Met deze tang kan tijdens het stookbedrijf een verschoven rooster baar weer op zijn plaats worden teruggebracht of als de rooster baar stuk is een nieuwe worden aangebracht. De roosterbarentang is een soort smeedtang met haaks omgebogen platte bekken en lange benen om ook de achterste baren van het rooster in de vuurgang van de ketel te kunnen bereiken. Voor het herplaatsen van een rooster baar tempert men het vuur in de ketel en maakt men met de asriek de

plaats van het rooster schoon. Het tijdens bedrijf vervangen of herschikken van roosterbaren is bijzonder lastig en verloopt niet altijd even succesvol. In dat geval zal men noodgedwongen de ketel uit bedrijf moeten nemen en laten afkoelen om de noodzakelijk reparaties uit te kunnen voeren



Roosterbarentang

Warmte-economie ketelbedrijf

Niet alle bij de verbranding van een ketelbrandstof vrijkomende warmte kan nuttig voor het krachtbedrijf worden aangewend. Afhankelijk van de soort stoomketel en hoe deze is uitgerust zal er meer of minder warmte verloren gaan. De warmteverliezen van een stoomketel kan men grofweg indelen in de volgende vier groepen:

1. Warmte die via de schoorsteen verloren gaat (schoorsteenverlies)
2. Warmte die niet ontwikkeld wordt ten gevolge van het onvolledig verbranden van de brandstof componenten
3. Warmte die door uitstraling aan de omgeving van de ketel wordt afgegeven
4. Warmte die verloren gaat door:
   - Brandstof, die dóór het rooster valt en in de aspit terecht komt
   - De verwijdering van gloeiende as en slakken uit de ketel
   - Het roet, ontstaan bij de ontleding van de uit de brandstof gevormde koolwaterstoffen
   - De vliegcokes of stuifcokes, ontstaan door de ontgassing van brandstofdeeltjes, welke door de rookgassen vanuit het vuur worden meegenomen.

Het roet en de vliegcokes kunnen de stoomketel inwendig doen vervuilen en kunnen overlast geven aan de omgeving.

Bijna steeds blijkt, dat het schoorsteenverlies het grootste van de hiervoor genoemde warmteverliezen bij een stoomketel is. Een optimalisatie en goede beheersing van het stookbedrijf door de stoker zal dus leiden tot minder verliezen.

Voor de door de schoorsteen afgevoerde hoeveelheid warmte Q, uitgedrukt in kcal/ kg verstookte brandstof, geldt:

$$Q = G \,.\, c\,(t_s - t_1) \;\; [\mathrm{kcal/kg}]$$

In deze formule is G het gewicht van de samengestelde rookgassen, c de gemiddelde soortelijke warmte van deze rookgassen tussen t_1 en t_s, waarbij t_s de temperatuur van de rookgassen naar de schoorsteen en t_1 de temperatuur van de verbrandingslucht in het ketelhuis is.

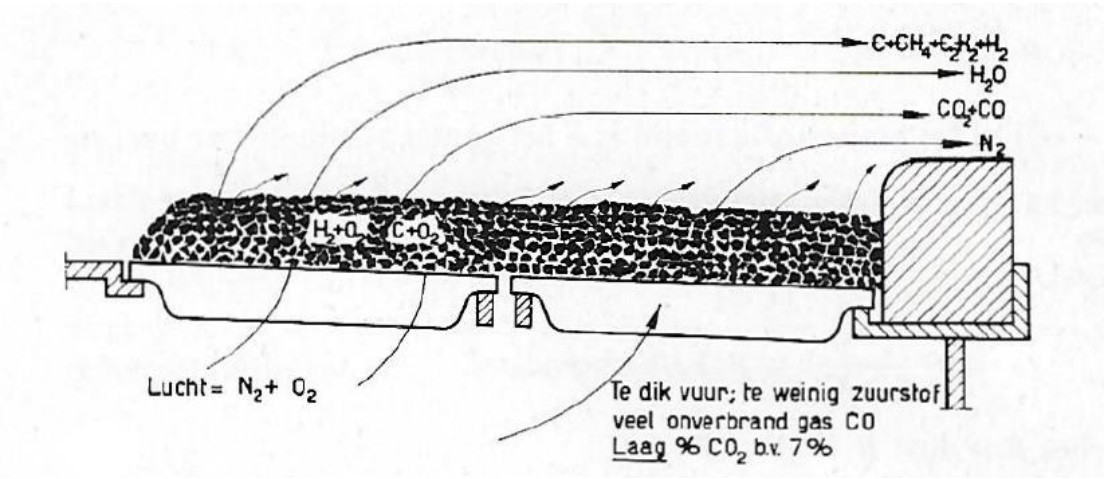
Het gewicht aan rookgassen kan men verminderen door de luchtfactor n te beperken. Dit bereikt men door:

- De luchtaanvoer en de brandstofaanvoer steeds op elkaar af te stemmen, dus door veel lucht aan te voeren waar en wanneer de brandstof veel lucht nodig heeft. De luchtaanvoer te

beperken waar de brandstof in een later stadium, als cokes, minder lucht nodig heeft. Omdat bij het stoken uit de hand de luchttoevoer niet altijd in overstemming is met de behoefte zal men dan de brandstofaanvoer zo regelmatig mogelijk moeten houden. Dit kan men bereiken door met kleine pauzes kleine hoeveelheden steenkool op te gooien.

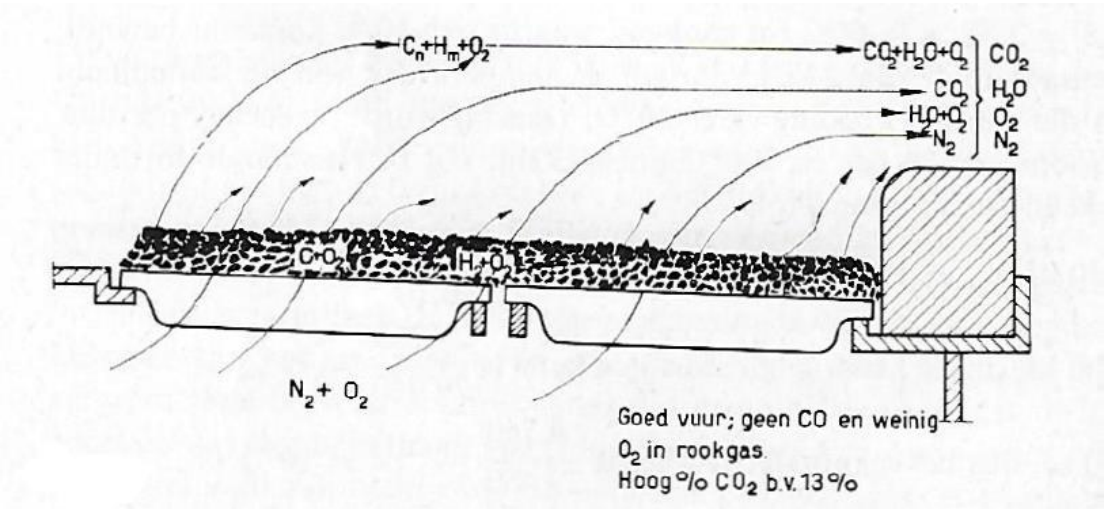
- De vuurdeur slechts voor korte tijd te openen.
- De trek te verminderen door de schoorsteenschuif gedeeltelijk te sluiten, zodra de verse kolen ontgast zijn, en hem weer verder te openen na het opgooien van verse steenkool.
- Te voorkomen dat er gaten in het brandstofbed ontstaan.

De afbeeldingen op de volgende bladzijde laten zien welke gassen er ontstaan of doorstromen bij het stoken met een dik vuur, met een vuur van juiste dikte, en met een te dun bijna uitgebrand vuur. In het eerste geval werpt men veel brandstof in één keer op. Er is veel lucht nodig, terwijl er juist minder door de dikke brandstoflaag heen dringt. Daardoor gaan er gassen onverbrand of onvolledig verbrand de schoorsteen uit.



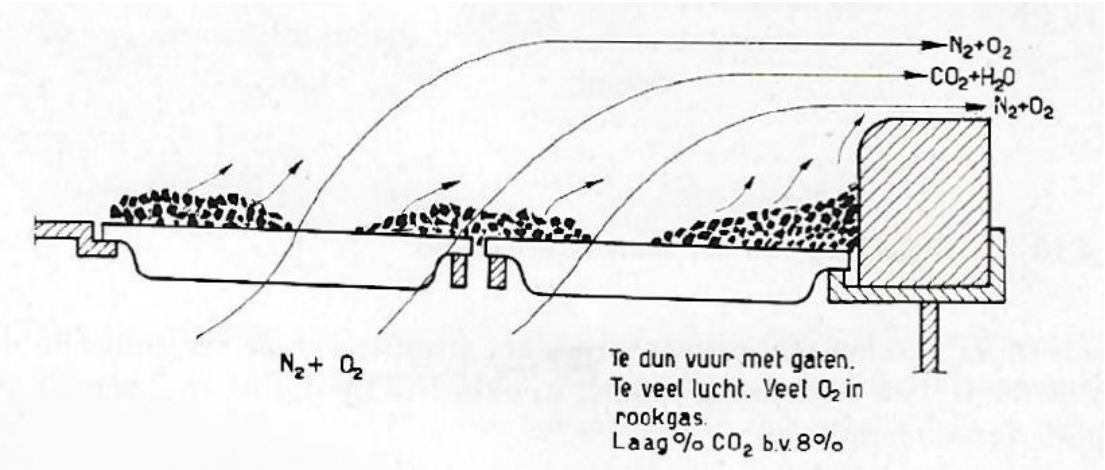
Voorbeeld van te dik aangelegd vuur

De figuur hieronder toont een goed aangelegd en onderhouden vuur. Waarbij de rookgassen bestaan uit stikstof, waterdamp, kooldioxide en zuurstof, omdat men met een zekere luchtovermaat moet werken.



Voorbeeld van goed onderhouden vuur

Laat men het vuur te ver uitbranden zoals bij de afbeelding hieronder is aangegeven dan ontstaan er gaten in het brandstof bed waar veel lucht door stroomt en het gehalte kooldioxide daalt.



Voorbeeld van te dun aangelegd vuur met gaten

De schoorsteentemperatuur kan men laten dalen door een ketelontwerp met een groot verwarmd oppervlak toe te passen, echter bij een reeds bestaande installatie kan een stoker op geen enkele manier invloed uitoefenen op deze temperatuur.
Men mag, afhankelijk van het zwavelgehalte van de brandstof, bij steenkool de rookgastemperatuur niet onder de 120 C laten dalen in verband met de vorming van zwavelzuur ten gevolge van de zwavel die in de steenkool zit. Bij stoomketels met een LUVO of een ECO zal men daarom bij het opstarten de rookgassen met behulp van kleppen om deze toestellen heen moeten leiden.

Verder mag de rookgastemperatuur bij installaties met natuurlijke trek niet te laag zijn omdat dit de trek nadelig beïnvloedt waardoor de ketelcapaciteit daalt. Bij de behandeling van de schoorsteen in deze leidraad wordt dit nader uiteengezet.

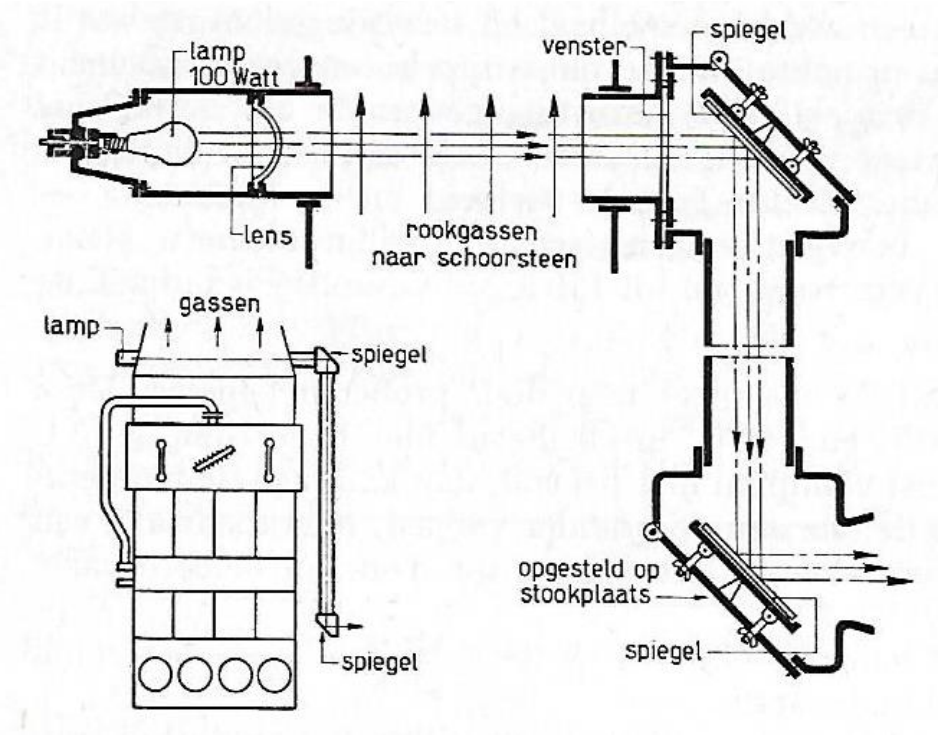
4.8.9 Stoken met stookolie

Ook bij het verstoken van vloeibare brandstof zal de stoker trachten met zo weinig mogelijk brandstof zoveel mogelijk stoom te produceren. In de regel kan een stoker met 1 kg stookolie van redelijke kwaliteit tussen de 10 a 13 kg stoom produceren. Dit ten gevolge van het feit dat de stookolie een hogere verbrandingswaarde heeft dan steenkool. De stookwaarde van stookolie bedraagt 9800 – 10000 kcal/kg en is daarmee tussen de 15 – 30 keer groter dan die van steenkool. Stookolie is ten opzichte van steenkool een moderne brandstof die in relatief moderne ketels en met hulpmiddelen wordt verstookt. De juiste bediening van het vuur door de stoker is, anders dan bij het verstoken van steenkool, beperkt tot het instellen en onderhouden van een rookloze verbranding door middel van het regelen van de brandstof- en lucht- hoeveelheid.

Het uiteindelijke verstoken van olie geschiedt geheel mechanisch. De toestellen en de werktuigen die daarbij nodig zijn worden in deze leidraad besproken bij de stookinrichting.
Vergelijkt men het stoken van olie met dat van steenkool dan ziet men dat de brandstof voortdurend in zeer fijn verdeelde toestand in de vuurhaard wordt gevoerd, zodat de luchtovermaat n klein kan zijn en daardoor het schoorsteen verlies geringer.
Een ander verschil is dat voor het verstoken van olie altijd van een ventilator gebruik gemaakt wordt om de vlam een draaiende , min of meer kurkentrekkervormige beweging te geven. Hierdoor neemt de verblijftijd in de verbrandingsruimte toe en wordt er meer warmte afgegeven en raakt de hete vlam de metalen van de vuurgang niet.
Het transport van de brandstof geschiedt mechanisch, en de regeling van de stoomproductie kan op relatief eenvoudige wijze automatisch geregeld worden. Als men tevens in beschouwing neemt dat er geen steenkool aangevoerd en koolas en sintels afgevoerd hoeven worden is het duidelijk dat er aanzienlijk op personeel kan worden bezuinigd.
Omdat de stookwaarde van olie groter is maar ook omdat het volume van 1 m3 een groter gewicht aan olie dan steenkool kan bevatten (950 kg tegen 800 kg) is er minder opslagruimte nodig.

Het feit dat olie brandgevaar oplevert, betekent een nadeel. Meestal wordt de installatie met een lichter makkelijk te ontsteken brandstof zoals dieselolie of huisbrandolie opgestart. Zodra er voldoende stoom voor verwarming beschikbaar is wordt overgeschakeld op een zwaardere en goedkopere brandstof.
De (lichte) brandstof wordt bij het opstarten ontstoken met een fakkel bestaande uit aan een stevig ijzerdraad vastgebonden en in petroleum gedrenkte lappen katoen of een gasvlam. Vóór het aansteken van de oliebranders moet de stoker zich ervan vergewissen dat er geen brandbare gassen in de vuurhaard aanwezig zijn door de vuurgang of -haard enige tijd met lucht door te spoelen. Ernstige ontploffingen zijn meermalen ontstaan door nalatigheid op dit punt.
De controle op de goede verbranding vindt plaats door regelmatige waarneming via het kijkglaasje naast het luchtregister. De vlam moet lichtgeel kleuren. Is de vlam helwit dan wordt er met een te grote luchtovermaat gestookt , een rood gekleurde vlam wijst op te weinig lucht of op een nog koude

vuurhaard zoals zich dat voordoet bij het opstarten. Overdag kan de stoker de correcte verbranding afleiden uit de kleur van de pluim op de schoorsteen. Op de schoorsteen moet een lichtgrijze enigszins doorzichtige rookpluim te zien zijn. Zwarte rook duidt op onverbrande koolstof en te weinig lucht of een nog koude installatie, een witte pluim geeft aan dat er met een te grote luchtovermaat wordt gestookt.



Rookverklikker

Sommige ketelinstallaties zijn uitgerust met een rookverklikker. Hiermee kan men vanaf de stookplaats de kleur van de rookgassen controleren. De werking van het apparaat wordt gegeven in de hierbij afgebeelde figuur.

Omdat de pluim op de schoorsteen dan wel de rookverklikker het gemiddelde van alle branders in een ketel weergeeft dient men om de juiste verbranding per brander vast te stellen deze om en om uit te schakelen en na de controle van de kleur van de rookgassen weer in te schakelen.

Bij druk- en stoomverstuiving groeit na verloop van tijd onverbrande kool op de brander kop aan. Deze kool belemmert een goede verstuiving waardoor de ketel gaat roken. Daarom moeten de branders om de vier uur dan wel zoveel eerder als nodig uit de houder genomen en schoongemaakt worden. Voor deze handeling moeten er een aantal reserve branders aanwezig zijn. De schoon te maken branders worden daartoe eerst in een bak petroleum gehangen om af te koelen en vervolgens uit elkaar genomen en met een staalborstel schoongemaakt. Verstopte gaatjes in de brandplaatjes worden met een naald doorgestoken.