

# Wat is stroming?

## 1 Inleiding

Het RSTV model werd begin de jaren 2000 bedacht door de Australiër Shan Raffel. Na vele discussies met collega's en onder invloed van de Amerikaan Ed Hartin werd er een aantal later G-RSTV van gemaakt. Dit model wordt ook wel "reading the fire" genoemd. Het is een werkmethode om op de interventieplaats te proberen bepalen met welk soort brand men te maken heeft. G-RSTV staat voor Gebouw, Rook, Stroming, Temperatuur en Vlammen. In dit artikel is het de bedoeling om de factor stroming wat toe te lichten.

## 2 Stroming

### 2.1 Waarom stroomt rook?

#### 2.1.1 *Buoyancy of de archimedeskracht*

Stromingsleer is behoorlijk ingewikkeld. Er spelen heel wat fysische parameters een rol. Hieronder wordt gepoogd om op een beschrijvende manier uit te leggen wat er juist gebeurt bij brand.

Tijdens de brand speelt de brandhaard een cruciale rol. De brandhaard produceert rookgassen. Deze rookgassen zijn warmer dan de omgevende lucht. Iedereen weet dat voorwerpen die warm worden uitzetten. Bij vaste en vloeistoffen blijft die uitzetting behoorlijk beperkt. Bij gassen daarentegen leidt de temperatuurstijging er toe dat de gassen sterk uitzetten. Door deze uitzetting neemt de densiteit (dichtheid) van het gas af. Dit betekent dat het gewicht van één kubieke meter gas afneemt. Rookgassen met een temperatuur van 315 °C hebben een densiteit die de helft is dan die van lucht van 20 °C. Een stijging van temperatuur zorgt voor een verlaging van de densiteit.

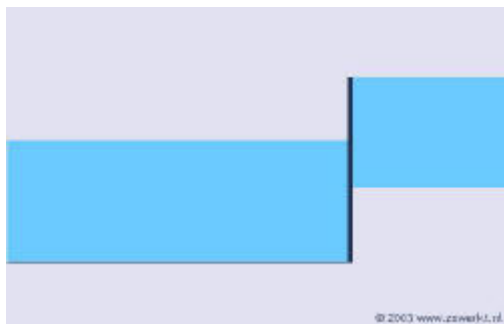
Waarom is het verschil in densiteit nu zo belangrijk? Daarvoor moeten we een gedachtenexperiment doen. Denk aan een bassin met water. Neem een pingpongballetje en duw het tot op de bodem van het bassin. Laat het vervolgens los. Het balletje zal opstijgen tot aan het wateroppervlak. De reden dat het balletje opstijgt, is het verschil in densiteit. Het water oefent een kracht uit op het pingpongballetje. Deze kracht wordt de archimedeskracht genoemd. Hij is evenredig met het volume van het balletje en het densiteitsverschil tussen het balletje en het water. Aangezien het pingpongballetje veel lichter is dan het water waarin het zich bevindt, stijgt het op.

Aangezien rook een lagere densiteit heeft dan de omgevende lucht, stijgt de rook op. Terwijl de rook opstijgt, wordt er lucht bijgemengd. Dit zorgt ervoor dat de temperatuur van de rook afneemt. Doordat de temperatuur afneemt, neemt ook het verschil in densiteit af. En als gevolg daarvan neemt de stijgingskracht af. Op het moment dat de rook zoveel afgekoeld is dat de rook even warm is als de omgevende lucht zal de rook blijven hangen. In ruimtes waar veel rokers aanwezig zijn, kan men dit fenomeen soms zien.

Anders dan bij het pingpongballetje gaat het hier niet over één rookdeeltje. Het gaat over een continue stroom van rook. En anders dan in het bassin is er hier geen vloeistofoppervlak. Het plafond begrenst namelijk de lucht. De rook kan dus niet oneindig lang opstijgen. We zouden dit kunnen vergelijken met het loslaten van tientallen pingpongballetjes op de bodem van een aquarium. Na verloop van tijd zullen de balletjes die toekomen aan het plafond de reeds aanwezige balletjes wegduwen. Hetzelfde gebeurt met een rookstroming. De rook stroomt naar het plafond en buigt dan af en stroomt verder langs het plafond.

### 2.1.2 Drukverschillen

Een tweede manier om te kijken naar stroming is door te kijken naar het verschil in druk dat er op twee plaatsen bestaat. Een bekend voorbeeld hiervan is een stuwdam. Bij een stuwdam zorgt de dam ervoor dat het water aan de ene kant hoger komt te staan dan



**Figuur 1** Schematische voorstelling van een stuwdam.

aan de andere kant. Hierdoor is de druk aan de ene kant van de stuwdam hoger dan aan de andere kant. Onder het wateroppervlak kan een buis geopend worden die toelaat dat er water van de ene kant van de stuwdam naar de andere kant stroomt. Het water zal altijd van hoge druk naar lage druk stromen. De stroming wil ervoor zorgen dat het drukverschil wegvalt. De stroming zal dan ook aanhouden tot het drukverschil verdwenen is. Hoe meer drukverschil er is, hoe heviger de stroming zal zijn.

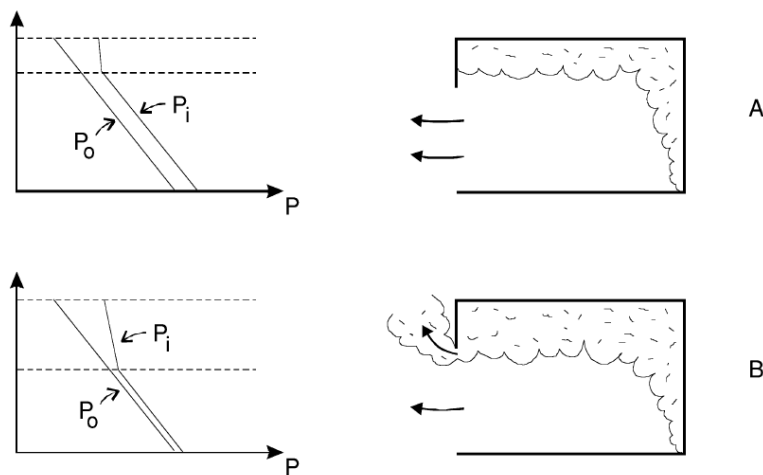
Hetzelfde fenomeen doet zich voor met gassen. De persluchtfles is een voorbeeld dat bij de brandweer heel erg goed gekend is. In een persluchtfles zit lucht opgeslagen aan een druk die vele malen hoger is dan de omgevingsdruk. Als de fles opengedraaid wordt, wordt er een opening gecreëerd langs waar de overdruk kan ontsnappen. De lucht wordt naar buiten geblazen. Dit gaat gepaard met heel wat geluid. De luchtstroom is immers heel snel. Dit komt omdat het drukverschil tussen de luchtdruk in de fles en de atmosferische druk buiten zo groot is. Naarmate er meer en meer lucht uit de fles ontsnapt, zal de druk in de fles verminderen. De snelheid van de uitstromende lucht zal vertragen en het geluid van de stroming zal afnemen. De stroming zal echter aanhouden totdat de druk in de fles gelijk is aan de druk buiten de fles. Als in een brand in een bepaalde zone een overdruk wordt opgebouwd, zal dit ervoor zorgen dat er een stroming tot stand komt als er een opening wordt gemaakt. De natuur wil het drukverschil namelijk wegwerken.

## 2.2 Wat gebeurt er verder?

De verdere evolutie hangt af van de grootte van de brandhaard. Als de brand uitbreidt, zal de hoeveelheid energie die vrijkomt toenemen. Ook de hoeveelheid rook die geproduceerd wordt, neemt toe.

Karlsson & Quintiere beschrijven in hun boek "Enclosure fire dynamics" het verloop van brand. De beschrijving is vrij schematisch. Het is echter een goede benadering van de werkelijkheid. Zij beschrijven vier verschillende drukprofielen die een brand vertoont van begin tot in de volontwikkelde fase. Tijdens de beginfase van brand wordt er door de

rook een overdruk geproduceerd in het compartiment. De geproduceerde rook wil uitzetten. Dit proces wordt gehinderd door de aanwezige lucht. Hierdoor ontstaat een kleine overdruk. Als er een opening is, kan die druk afgevoerd worden.



Op Figuur 2, A is een afbeelding te zien van de situatie in de beginfase van een brand. De brandhaard produceert rookgassen. Deze rookgassen stijgen op en vormen een kleine rooklaag aan het plafond.

B De brand zorgt voor een kleine overdruk. Hierdoor wordt een deel van de koude omgevingslucht naar buiten geduwd. Links van deze afbeelding

**Figuur 2** Drukprofielen A en B. (Grafiek: Karlsson & Quintiere)

staat een diagram dat het drukprofiel voorstelt. Op de horizontale as staat de druk afgebeeld. Dit wil zeggen dat de druk toeneemt naarmate je meer naar rechts gaat. Op de verticale as staat de hoogte afgebeeld. De lijn die aangeduid is met  $P_o$  stelt de druk voor die buiten heerst. De luchtdruk buiten wordt gevormd door het gewicht van de lucht op de aarde. Hoe hoger je gaat, hoe ijler het wordt. De luchtdruk neemt dan af. De helling van de lijn is natuurlijk sterk overdreven maar dat is om de tekening duidelijker te maken. De druk binnen wordt voorgesteld door de lijn met  $P_i$ . Op de grafiek is te zien dat de druk binnen iets hoger is dan buiten. De lijn  $P_i$  staat meer naar rechts. Het is ook duidelijk dat deze lijn grotendeels parallel loopt met de lijn  $P_o$ . De lucht binnen heeft namelijk min of meer dezelfde temperatuur of de lucht buiten. In dat geval neemt de druk even snel af met de hoogte of buiten. Op het moment dat de lijn  $P_i$  de rooklaag raakt, buigt de lijn af. In de rooklaag is de temperatuur veel hoger dan de temperatuur van de omgevingslucht. De dichtheid van de rook is lager. Dit wil zeggen dat de rook minder weegt dan de omgevingslucht. Als je in zo'n omgeving hoger gaat staan, zal de druk minder snel afnemen.

Naarmate de brand groeit, zullen er verschillende dingen gebeuren. De rooklaag zal zakken. Dit betekent dat het moment dat de lijn  $P_i$  afbuigt ook lager zal liggen. De overdruk neemt af omdat er lucht doorheen de deuropening naar buiten wordt geduwd. De lijn  $P_i$  schuift op naar links en komt dicht bij de lijn  $P_o$  te liggen. Deze laatste lijn stelt de buitendruk voor. Deze lijn blijft gedurende de hele brand onveranderd. Het is immers niet omdat er een brand plaatsvindt dat dit de atmosferische omstandigheden buiten beïnvloedt.

Vervolgens komt een tweede drukprofiel tot stand op het moment dat de rooklaag net onder de hoogte van de deur is gezakt. Dit drukprofiel wordt profiel B genoemd en houdt slechts heel kort stand. Er stromen nu koude lucht en hete rookgassen doorheen de deur. Hierdoor valt de overdruk binnen helemaal weg. Dit is een soort van overgangsfase die eigenlijk enkel belangrijk is om te begrijpen welke evolutie er plaatsvindt.

### 2.3 De ontwikkelingsfase en de volontwikkelde brand

De brand is intussen in de ontwikkelingsfase terechtgekomen. De rooklaag is al serieus gezakt. De temperatuur van de rooklaag is sterk toegenomen. De brandhaard verbruikt heel wat lucht. De lucht die aanwezig is in de ruimte volstaat niet meer om de brand te voeden. Lucht wordt aangezogen van buiten naar binnen om de behoefte van de brandhaard te voldoen. Drukprofiel C komt tot stand.

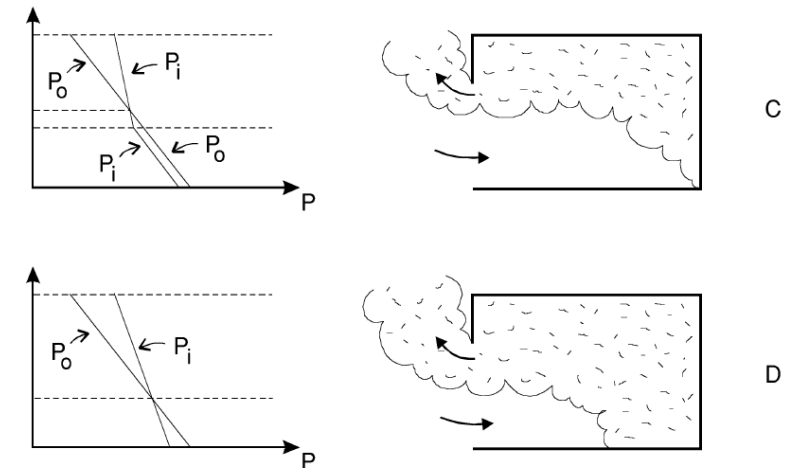
De lijn  $P_i$  (de luchtdruk binnen) is verder opgeschoven naar links. De lijn is zo ver opgeschoven dat de luchtdruk aan de grond buiten nu hoger is dan de luchtdruk binnen.

Doordat de rooklaag verder gezakt is, buigt de lijn dichter bij grond af dan in het drukprofiel B. Er zijn nu duidelijk twee zones te onderscheiden. De zone

onder de rooklaag waar de temperatuur ongeveer gelijk is aan de buitentemperatuur. In deze zone zullen de beide lijnen parallel lopen. De luchtdruk neemt er namelijk even snel af in functie van de hoogte omdat de densiteit gelijk is. Door dat de druk binnen lager is dan de druk buiten, komt er een stroming op gang van buiten naar binnen. Dit is de luchtstroming die de brand voedt.

De tweede zone wordt gevormd door de rooklaag. In de rooklaag buigt de lijn  $P_i$  af. Dit betekent dat het verschil tussen de binnendruk en de buitendruk afneemt. Op een bepaald moment kruist de lijn voor de binnendruk ( $P_i$ ) de lijn voor de buitendruk ( $P_o$ ). Op deze plaats is de druk binnen gelijk aan de druk buiten. Dit is de neutrale laag. Typisch ligt de neutrale laag een tiental centimeter boven de onderkant van de rooklaag. Voor brandweerlui is dit verschil niet zo belangrijk. In de praktijk is de onderkant van de rooklaag een goede maatstaf voor de neutrale laag.

Boven de neutrale laag blijven beide curven hun weg verder zetten. Hierdoor ontstaat opnieuw een drukverschil tussen binnen en buiten. De druk binnen is groter dan de druk buiten. Dit drukverschil neemt toe met de hoogte. Hoe hoger boven de neutrale laag, hoe groter het drukverschil. Dit is niet het geval onder de neutrale laag. Daar blijft het drukverschil constant over de hoogte. Boven de neutrale laag zal dus een uitstroom van rookgassen tot stand komen. De snelheid waarmee deze rookgassen uitstromen, neemt toe naarmate de rookgassen warmer zijn en naarmate ze verder boven de neutrale laag uitstromen. Tijdens drukprofiel C is er dus een instroom van lucht onderaan en een uitstroom van rookgassen bovenaan. Dit profiel blijft aanhouden tot aan flashover. Hoelang dit duurt, hangt af van de brandstof en van de eigenschappen van het lokaal. Zoals aangehaald in verschillende vorige artikelen, is deze tijd de afgelopen decennia sterk ingekort. De tijd tot flashover bedraagt nu typisch drie tot vier minuten. In praktijk kan de verdeling van de brandstof in de ruimte of een tekort aan zuurstof door een te kleine opening ervoor zorgen dat dit heel wat langer duurt.



**Figuur 3** Drukprofielen C en D (Grafiek: Karlsson & Quintiere)



**Figuur 4** Dubbele stroming bij een compartimentsbrand. Rook stroomt uit door de bovenkant van de deuropening. Lucht stroomt in langs beneden. (Foto: Nico Speleers)

Na flashover wordt er niet langer meer gesproken over twee zones met twee verschillende temperaturen. De ruimte wordt beschouwd als één zone met ongeveer dezelfde temperatuur. Er is ook niet echt meer sprake van een rooklaag. Bij openingen wordt de onderkant van de opening wel nog gebruikt om verse lucht toe te voeren maar de rooklaag die duidelijk te onderscheiden is in de ontwikkelingsfase heeft nu het volledige compartiment gevuld. Bovendien is deze rooklaag tot ontbranding gekomen. Op Figuur 3, D is het drukprofiel van deze fase te zien. De druk van de buitenlucht,  $P_o$  is nog steeds onveranderd. Het drukverloop binnen heeft echter een nieuwe vorm aangenomen. Aangezien de temperatuur in de kamer overal gelijk is, maakt de drukcurve geen

knik meer. De temperatuur binnen ligt veel hoger dan de temperatuur buiten. Dit maakt dat de dichtheid binnen een stuk lager ligt dan buiten. Dit zorgt ervoor dat de druk minder snel afneemt in functie van de hoogte. Het punt waar de twee druklijnen elkaar kruisen is de neutrale laag. Daar is de binnendruk gelijk aan de buitendruk. Onder deze laag zal de lucht naar binnen stromen terwijl de rook (en vlammen) boven de laag naar buiten stroomt.

### 3 Praktisch?

In de paragraaf hierboven is geschetst wat drukverschillen zijn en hoe stroming tot stand komt. Vervolgens zijn de verschillende drukprofielen bij een compartimentsbrand besproken. Het is mogelijk om deze kennis op een praktische manier te gebruiken tijdens het lezen van een brand. De weg die de rook volgt van de brandhaard tot buiten wordt in het Engels "the flowpath" genoemd. Door de stroming goed te observeren en dit te combineren met kennis over brandgedrag kan dikwijls veel informatie over de brand ingewonnen worden. Het is wel belangrijk om te beseffen dat het hier over kleine compartimenten gaat. Hiermee worden de ruimtes bedoeld die kleiner zijn dan  $70 \text{ m}^2$ . De hoogte van het plafond dient ook lager te zijn dan 4 meter.

#### 3.1 Hoogte van de rooklaag

De hoogte van de rooklaag vertelt iets over hoever de brand gevorderd is. Als er enkel rook aan het plafond te zien is, verkeert de brand waarschijnlijk nog in de beginfase. Dit is niet 100% zeker. Het is immers ook mogelijk dat er een hoge ventilatieopening is. Dan zal het klassieke beeld beïnvloed worden.

Als de rooklaag echter al één meter dik is, dan is de brand in de ontwikkelingsfase. Uit recent onderzoek is geweten dat de tijd tot flashover in een geventileerde brand tegenwoordig twee tot vier minuten bedraagt. Naarmate de brand verder evolueert in de richting van flashover zal de rooklaag dus zakken.

Als de rooklaag gezakt is tot op één meter van de grond, dan is de brand al aardig dicht in de buurt van flashover. De evolutie van de hoogte van de rooklaag (en van de neutrale laag die daar iets boven ligt) is een goede indicator om te evalueren hoe snel de brand uitbreidt en wat het risico op flashover is.

### 3.2 Snelheid van de stromingen

Hierboven is uitgelegd dat stroming op gang komt door een temperatuurverschil. Hoe groter het temperatuurverschil, hoe sneller de stroming zal zijn. Als de rook heel snel begint te stromen, is de turbulentie duidelijk zichtbaar. Door naar de snelheid van de stroming te kijken, kan geëvalueerd worden hoe hevig de brand is. Bij een hevige brand wordt namelijk meer warmte geproduceerd. Die zal er op zich voor zorgen dat er een groter temperatuurverschil is. Dit zal op zijn beurt zorgen voor een snellere stroming. Het is dus mogelijk om uit de snelheid van de stroming af te leiden of een brand al dan niet sterk ontwikkeld is. Dit geeft dus ook een aanwijzing over de fase waarin de brand zich bevindt.

### 3.3 Waar is de brand?

De stroming leert ook iets over de plaats van de brand. De rook stroomt namelijk van de brand weg. Als men de rook bekijkt, kan men (eventueel met behulp van een warmtebeeldcamera) bepalen in welke richting de rook stroomt. Als men de rook stroomopwaarts volgt, komt men uit bij de brandhaard.

Daarnaast is ook het omgekeerde waar: als een deur tot een lokaal geopend wordt en de rook staat stil, dan staat (stond) deze kamer waarschijnlijk niet in verbinding met de kamer waar het brandt.

Het is natuurlijk ook nodig om rekening te houden met de mogelijkheid dat men zich niet in het flowpath bevindt vooraleer de deur geopend wordt. Na het openen van de deur zal er dan een stroming op gang komen. Dit levert informatie over de plaats van de brand maar het is ook belangrijk om te beseffen dat deze nieuwe stroming extra zuurstof ter beschikking stelt aan de brand.

## 4 Bronnen

- [1] *Enclosure fire dynamics*, Bjorn Karlsson & James Quintiere, 2000
- [2] *Binnenbrandbestrijding*, Koen Desmet & Karel Lambert, 2008 & 2009
- [3] Shan Raffel, [www.cfbt-au.com](http://www.cfbt-au.com)
- [4] Ed Hartin, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)

Karel Lambert