

Voorkomen en bestrijden

Hoewel er tegenwoordig veel voorschriften en mogelijkheden zijn om stofexplosies te voorkomen en/of de gevolgen ervan zo klein mogelijk te houden, blijft het een probleem. Helaas wordt vaak onderschat welke producten onder welke omstandigheden gevaar opleveren. De Nederlandse schattingen over stofexplosies lopen uiteen maar gemiddeld een keer per week vindt er wel een stofexplosie plaats. Gelukkig meestal met niet al te veel schade. Helaas gebeurt er twintig keer per jaar een stofexplosie met gewonden. Bovendien is de kans op een grote explosie met aanzienlijke gevolgen steeds aanwezig. Iets om even bij stil te staan.

Een stofexplosie kan ontstaan wanneer een explosief mengsel van fijn verdeelde vaste stof en zuurstof (meestal afkomstig uit de lucht) in aanraking komt met een ontstekingsbron met voldoende energie om het mengsel te ontsteken. Het gevolg is een snel voortschrijdende verbranding gepaard gaande met een forse drukverhoging. Wanneer de explosie in een afgesloten ruimte plaatsvindt, kunnen afhankelijk van het type stof en de vorm van de ruimte drukken tot 10 bar optreden, in uitzonderlijke gevallen zelfs tot 20 bar. De zich voortbewegende drukgolf werfelt vaak rustende stofflagen op, en zie daar nieuwe, secundaire explosies die zich door een groot deel van de installatie kunnen uitbreiden. Het gaat dus bij een stofexplosie om drie

elementen. Een brandbare, fijn verdeelde stof, zuurstof en een ontstekingsbron. Alle drie moeten op zich weer aan zekere voorwaarden voldoen om daadwerkelijk tot een explosie te komen.

Kenmerken van de stof

Belangrijk bij de stof zijn de brandbaarheid, de deeltjesgrootte en de concentratie. In principe kunnen alle brandbare stoffen onder de juiste omstandigheden tot een stofexplosie leiden. Maar de gevoeligheid voor en de sterkte van de explosie verschillen sterk per materiaal. Bekende explosiegevoelige stoffen zijn suiker, meel, poederkool, houtmot, melkpoeder maar ook producten als metaalpoeders en plastics kunnen exploderen. De gevoeligheid voor een stofexplosie kan voor een materiaal worden aangegeven met de zogenaamde K_{ST}-waarde en de maximale explosiedruk p_{max}. De K_{ST}-waarde geeft aan hoe snel een drukstijging (dp/dt) kan optreden. De waarden kunnen in een 1m³ testvat worden gemeten. Hoe hoger deze waarden, hoe explosiegevoeliger en dus gevaarlijker het materiaal is (zie tabel 1) De explosiegevoeligheid van een bepaalde stof wordt sterk beïnvloed door de deeltjesgrootte. In principe geldt hier: hoe kleiner, hoe gevaarlijker. Hoe kleiner de deeltjes zijn, hoe makkelijker ze kunnen worden opgeweerd en in de stofwolk blijven.

Ook zijn kleinere deeltjes gemakkelijker te ontsteken en kan de verbranding zich sneller uitbreiden. Aangenomen wordt dat boven een deeltjesgrootte van ca 0,4mm geen problemen ontstaan. Maar bij de verwerking hiervan kan uiteraard wel weer stof van kleinere afmetingen ontstaan. Ook de concentratie van de deeltjes in de stofwolk speelt een belangrijke rol.

Explosiegrenzen

We onderscheiden twee grenzen in de stofconcentratie. Ten eerste de *onderste explosiegrens*, waarbij de concentratie van de deeltjes te laag is om een explosieve verbranding in stand te houden. Globaal zal voor de meeste materialen deze concentratie zo'n 20 – 60 g/m³ bedragen. Bij de *bovenste explosiegrens*, met een ordegrrootte van ca 2 – 6 kg/m³ lucht, is de concentratie aan stofdeeltjes zo hoog dat de ontstane verbranding zichzelf smooit. Wanneer de optredende concentratie tussen beide grenzen ligt, kan er dus een gevaarlijke situatie ontstaan. De explosiegrenzen maken duidelijk hoe gevaarlijk afgezette stofflagen kunnen zijn. Een stoflaag van circa 1mm afgezet op een vierkante meter bevat al gauw 0,5 -1 kg materiaal. Door opwerveling kan hierbij dus al snel een explosief mengsel ontstaan. Daarnaast mag de bovenste explosiegrens niet tot het idee leiden om dan maar zo stoffig mogelijk te werken. Zelf als de concentratie boven deze grens ligt, kan door uitzakking van deeltjes een situatie ontstaan die wel explosief wordt.

Vochtigheid

Behalve de deeltjesgrootte spelen ook het vochtpercentage en de massa van de deeltjes een rol. Bij een hogere vochtigheid zijn de deeltjes minder makkelijk te ontsteken omdat een deel van de energie in het verdampen van het vocht gaat zitten, terwijl ook de verbrandings-snelheid lager zal liggen. Door de hogere vochtigheid zullen de deeltjes ook eerder samenklonteren, waardoor in feite de deeltjesgrootte toeneemt. Ook de massadichtheid van de deeltjes is belangrijk. Zwaardere deeltjes zullen minder makkelijk

in de stofwolk blijven en zijn ook moeilijker te ontsteken.

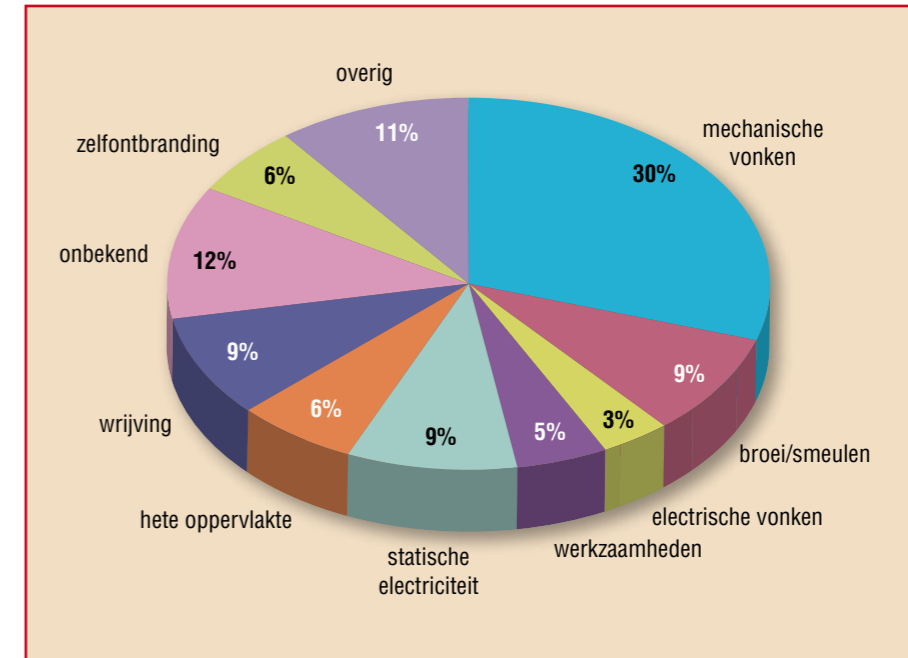
Bronnen en energie

Ontsteking van een explosief mengsel kan door verschillende oorzaken plaatsvinden. Allereerst door *mechanische of elektrische vonken*. Deze ontstaan op allerlei manieren. Tijdens werkzaamheden door het stoten of vallen van metalen voorwerpen, door statische elektriciteit of door vonken uit elektrische schakel- of regelapparatuur. Niet elke vonk zal tot ontsteking van het mengsel leiden. Hiervoor moet voldoende energie worden toegevoerd om een zelfstandige verbranding van het mengsel op gang te brengen. Deze hoeveelheid wordt aangeduid met de term *minimum ontstekingsenergie* en kan voor een specifiek mengsel experimenteel worden bepaald.

Ontsteking door hete oppervlakken.

Hierbij vindt ontsteking plaats wanneer de temperatuur van het hete oppervlak tenminste gelijk is aan de minimale ontstekings-temperatuur van de stofwolk. De waarde hiervan is voor vele stoffen bekend en gelijk aan de ontbrandings-temperatuur van de stof zelf. Hete oppervlakken ontstaan vaak door overmatige wrijving in mechanische apparatuur, bijvoorbeeld bij warmgelopen lagers of aanlopende, draaiende delen.

Ontsteking door gloeiende stofflagen. Dit kan voorkomen wanneer op een warm oppervlak een dun laagje stof bij een relatief nog lage temperatuur (de zogenaamde glimtemperatuur) gaat gloeien



Figuur 1: Diverse ontstekingsbronnen en hun aandeel in het ontstaan van stofexplosies.

en op den duur tot ontbranding komt. Hierbij ontstaan hogere temperaturen die een aanwezige stofwolk kunnen ontsteken. Een dergelijke ontbranding kan zich voordoen bij een warmgelopen lager waarop stof is afgezet, maar ook een niet afgeschermd stoffige gloeilamp zou dit al kunnen veroorzaken. *Ontsteking door zelfontbranding of broei.* Bij bepaalde producten kunnen onder ongunstige omstandigheden biologische of chemische reacties op gang komen die het product opwarmen. Bij onvoldoende afvoer van de warmte loopt de temperatuur dan zo hoog op dat er brand ontstaat. Hierbij kunnen ook mogelijk stofwolken worden ontstoken. (figuur 1).

Hybride mengsels

De onderste explosiegrens van een stof/lucht mengsel gaat beduidend omlaag bij aanwezigheid van brandbare gassen of dampen in het mengsel. Denk aan

producten die een bewerking als schoning of extractie hebben ondergaan, maar waarbij het toegepaste (brandbare) middel onvoldoende is verwijderd. Ook kunnen bij het opwarmen van bepaalde producten vluchtige, brandbare gassen of dampen vrijkomen die tot een hybride mengsel leiden met een mogelijk lagere explosiegrens.

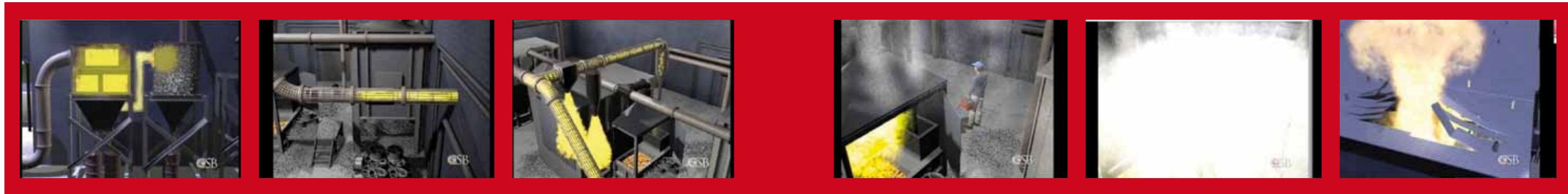
Voorkomen

Stofexplosies voorkomen, betekent de drie elementen (stof, zuurstof en ontsteking) elimineren. Allereerst is dat natuurlijk het ontstaan van stof of het vrijkomen hiervan zo veel mogelijk beperken. Bestrijden van stof kan soms al aan de bron door toevoeging van kleine hoeveelheden fijn verdeelde stoffen als olie. Die laten de deeltjes wat meer aan elkaar kleven en kunnen zo stofvorming voorkomen. Een aanbevelenswaardige aanpak die niet altijd toepasbaar is. Een andere methode behelst het toepassen van zo veel mogelijk afgesloten apparatuur en waar mogelijk afzuigen van gevormd stof. Dit om voldoende lage concentraties te krijgen. Uiteraard helpen schone apparatuur en een zo schoon mogelijke omgeving het afzetten van stofflagen voorkomen. Maar ook het voorkomen van mechanische vonken, door scheiding van metalen delen uit het bulkgoed door zeping of via magneetafscheiding, en zorgvuldigheid bij reparatiewerkzaamheden, helpen explosies uit te bannen. Net als het voorkomen van statische elektriciteit, door aarding en het

Tabel 1. Waarden van K_{ST} en P_{max} voor enkele materialen. Het betreft hier ontwerpwaarden zoals soms in de literatuur aangegeven, waarbij helaas geen waarde voor de fijnheid van de stof wordt vermeld.

Materiaal	K _{ST} (bar m/s)	P _{max} (bar)
Ligniet	180	10
Cellulose	270	10
Erwtenmeel	140	8
Rubber	140	9
Graan	130	9
Hout, houtstof	220	10
Koffie	90	9
Maismeel	210	10
Tarwe-, rogge-meel	100	9
Melkpoeder	160	9
Papier	60	9
Pigment	290	10
Sojameel	120	9
Kool	130	9
Schoonmaakproducten	270	9
Suiker	150	9





gebruik van geleidende materialen en het uitsluiten van elektrische vonken door toepassing van de voorgeschreven explosievrije schakel- en regelapparatuur. Ook alertheid op stofafzettingen op hete oppervlakken en zo veel mogelijk systemen toepassen die vonken kunnen detecteren en doven, ondersteunen een explosie veilig beleid.

Grip op gas/stof-mengsels

Het is mogelijk om de explosiekans van een stof/gasmengsel te verlagen door het aan de lucht toevoegen van inerte gassen als stikstof en kooldioxide. Hierdoor vermindert het vrije zuurstofgehalte en neemt het explosierisico af. Een afgebakende en (nagenoeg) afgesloten ruimte moet de hoeveelheid toe te voeren gas beperkt houden. De benodigde mate van inertisatie per stof verschilt nogal omdat ook bij lage zuurstofconcentraties sommige producten nog steeds kunnen ontbranden. Deze toepassing is eigenlijk alleen geschikt voor zeer gevaarlijke stoffen, waarbij ook het zuurstofniveau continu moet worden beheerst. Ook ter voorkoming van broei in silo's worden dergelijke systemen toegepast.

Beperking van de gevolgen

Ondanks alle genomen maatregelen om de kans op stofexplosies zo klein mogelijk

te houden, zit een ongeluk in een klein hoekje. Dan is het raadzaam te zorgen dat de gevolgen beheersbaar blijven. *Explosievast bouwen.* Omdat de opgebouwde druk tijdens de explosie bij benadering bekend is, kan in principe de apparatuur zo sterk worden gebouwd dat de explosie geen schade aanricht. Dit wordt alleen toegepast als absoluut geen materiaal (oorspronkelijk of ten dele verbrand) vrij mag komen, bijvoorbeeld bij giftige stoffen of dampen. Bovendien zal dit vanwege de kosten alleen voor kleine ruimten lonen.

Toepassen van drukontlasting. Deze veel toegepaste methode zorgt dat de druk in de (afgesloten) ruimte niet te hoog oploopt. Dit gebeurt in de praktijk door het inbouwen van 'zwakke' plekken in de omsluitende wanden of het dak zoals explosieluiken, breekplaten en dergelijke. Deze openen zich door een relatief geringe overdruk om te voorkomen dat de druk verder oploopt. Over grootte, uitvoering en reactietijd van dergelijke ontlastingsluiken bestaan duidelijke voorschriften maar een aantal randvoorwaarden dient in acht te worden genomen. Daar bij het openspringen van de luiken een hoeveelheid heet stof en gas zal vrijkomen, mag dit niet in ruimten uitstromen waar mensen zich kunnen bevinden of waar de mogelijkheid van een vervolgeexplosie bestaat,

zoals door het opwervelen van stof. Kabels en deugdelijke scharnieren garanderen dat er geen gevaar optreedt als de luiken opengaan. Ook het na een drukontlasting weer te snel sluiten van de luiken, kan tot problemen leiden. De drukontlasting verlaagt de druk tot omgevingsdruk maar in de apparatuur kunnen zich nog hete gassen bevinden. Bij het op dat moment sluiten van de luiken ontstaat na afkoeling onderdruk in bijvoorbeeld een reactievat. Als dat daarop niet is berekend, treedt alsnog schade op.

Compartimentering

Door tussen de verschillende gedeelten van een proces of bedrijf barrières aan te brengen, slaat een optredende explosie niet over naar een ander gedeelte van de installatie of naar ruimtes waar zich mensen kunnen ophouden. Met het opzetten van dergelijke compartimentering zal al bij het ontwerp van de installatie rekening moeten worden gehouden. In de Europese silocode, ook in Nederland gebruikt onder de naam NEN-EN 1991-4, worden richtlijnen gegeven om de mogelijkheid van stofexplosies in silo's en vergelijkbare apparatuur te berekenen. In Europa is ook de Atex 137 richtlijn sinds juni 2006 verplicht. Deze richtlijn bevat o.a. minimumvoorschriften voor de veiligheid van werknemers die in explosieve atmos-

feren gevaar kunnen lopen. Als eindresultaat hiervan dient een duidelijk omschreven explosie veiligheidsdocument van een betreffend bedrijf te worden opgesteld. De basisgedachte hierachter vormt het minimaal vereiste veiligheidsniveau om explosiegevaar te voorkomen in alle processtappen van een bedrijf. In de richtlijn worden technische maatregelen beschreven om explosies te voorkomen en/of de gevolgen beheersbaar te houden. Verder worden er organisatorische maatregelen genoemd als opleiding en instructie van het personeel, periodieke inspecties en

onderhoud. Tenslotte is er nog sprake van maatregelen in de coördinerende sfeer zoals het aangeven van gevare zones, letten op het naleven van de voorschriften etc. Apparatuur die mag worden gebruikt in explosiegevaarlijke gebieden moet voldoen aan de eisen uit de Europese productrichtlijn, de bekende Atex 95.

Alert zijn

Zoals eerder gesteld, valt ondanks alle maatregelen een stofexplosie nooit geheel uit te sluiten. De werknemer in een

procesomgeving waar dit risico bestaat, vormt hierbij een belangrijk element. Wanneer hij zich blijft realiseren wat er zou kunnen gebeuren en alert blijft op gevaarlijke situaties, is er al veel gewonnen. De instructieve video over stofbranden en explosies bij YouTube* onder de titel 'Combustible dust: An insidious hazard' spreekt ongetwijfeld tot de verbeelding. Een aantal van de foto's bij dit artikel zijn uit deze video overgenomen.■

*www.youtube.com/watch?v=3d37Ca3E4fA

