**Vlammenkoeler**

[onderwerpsymbool ME]

[A]

Tijd

5-10 minuten

Bereik

vanaf klas 2, uitbreiding vanaf klas 5

[inleidend kader]

Een brandende kaars is een alledaags verschijnsel, maar de natuurkundige en scheikundige effecten die tot het branden bijdragen zijn complex. Deze demonstratie is geschikt om het natuurkundig redeneren van leerlingen te ontwikkelen.

Zonder ingewikkelde proefopstelling laat je een verrassend verschijnsel zien. Hoe komt het dat de vlam van een kaars verdwijnt?

[eind kader]

[KS01\_figuur 1a] [KS01\_figuur 1b] [KS01\_figuur 1c]

*De zichtbare vlam van een kaars verdwijnt in de buurt van een koperen spiraal. (foto’s Aike Stortelder)*

**Nodig**

Ongeveer 20 cm dik (Ø 1 tot 2 mm) koperdraad zonder isolatie; kaars; aansteker of lucifers.

**Voorbereiding**

Maak een 1-2 cm lange spiraal van koperdraad door de draad rond een potlood te wikkelen. De windingen moeten niet te strak op elkaar zitten, anders zie je de vlam niet, maar als de windingen te ver uit elkaar zijn is het effect minder. Van tevoren testen dus!

**Uitvoering**

Afhankelijk van de kaars en de spiraal zal de proef bij iedereen nét iets anders verlopen. Goed waarnemen is daarom belangrijk.

Steek de kaars aan. Breng de spiraal langzaam van bovenaf over de kaarsvlam. Raak de pit niet aan met de spiraal.

*Schrijf zo precies mogelijk op wat je waarneemt. Wat verbaast je.*

De zichtbare vlam zal bij de spiraal verdwijnen. Als de spiraal losjes gewikkeld is zie je nog net een dun geel vlammetje in het midden en een blauwe eromheen. In andere gevallen zal de vlam uitgaan. Als er dan nog walm naar boven stijgt, kun je de vlam boven de spiraal weer aansteken .

Alleen of in tweetallen. *Verklaar wat je ziet.* *Schrijf je hypothese op.*

Verzamel de antwoorden en vraag naar een onderbouwing van hun hypothesen.

Op die manier leren de leerlingen verbanden leggen tussen natuurkundige begrippen en eigen ervaringen. Ga geen verklaring afkeuren.

Controle: *Bedenk een experiment om je hypothese te testen*.

**Natuurkundige achtergrond**

Voor klas 2:

Kort en krachtig: voor verbranden zijn drie dingen nodig: brandstof, zuurstof en een voldoend hoge temperatuur. Als je één van de dingen wegneemt stopt de verbranding. Hier verlaag je de temperatuur.

Wat uitgebreider: Om een kaars te laten branden, moet je het kaarsvet in de gasvormige toestand zijn. Je kunt laten zien dat vast kaarsvet niet brandt. Om gasvormige was met zuurstof te laten branden is een bepaalde temperatuur nodig. Koper is een veel betere warmtegeleider dan lucht. De koperen spiraal zorgt ervoor dat de temperatuur van de gasvormige was onder die ontbrandingstemperatuur daalt. De vlam gaat uit. Het gasvormige kaarsvet stijgt wel nog door de spiraal naar boven, brandstof is er dus voldoende. Déze brandstof kun je boven de spiraal weer aansteken.

Voor klas 5:

Voor verbranding is activeringsenergie (warmte) nodig. Een brandende kaars levert deze energie zelf, aangezien dit een exotherm proces is. Als je nu de koperen spiraal in de vlam houdt, wordt de vrijgekomen energie afgevoerd, zodat de warmte niet meer beschikbaar is als activeringsenergie. De vlam gaat uit.

Dat de vlam in de spoel blauw kan worden is voor velen verrassend omdat we van de gasbrander weten dat de blauwe of doorzichtige vlam (volledige verbranding) heter is dan de gele vlam (onvolledige verbranding). Bij een kaars is het ingewikkelder. Het aardgas van de gasbrander kan direct reageren met zuurstof in de lucht. Bij de kaars moet eerst het vloeibare kaarsvet verdampen, waarvoor veel energie nodig is, wat dus tot een relatief lage temperatuur (600°C) leidt. Vervolgens worden lange ketens van de kaarsvetdamp (bijvoorbeeld palmitinezuur CH3[CH2]14COO[CH2]29CH3) thermisch opengebroken, wat weer energie kost (temperatuur in dit gebied: 800-1000°C). Pas dan ontstaat een exotherme reactie met zuurstof (oxidatie). De temperatuur ligt rond de 1200 °C. De koperen spiraal onttrekt warmte en zorgt over een langere afstand voor een gebied waar de molecuulketens nog opgebroken moeten worden.

In figuur 2 a en b zie je een poging de temperatuur te meten door een thermokoppel in verschillende delen van de vlam te houden: De echte temperatuur van de vlam zal hoger zijn dan de aangegeven waarde omdat de temperatuursensor zelf ook warmte geleidt en dus voor afkoeling zorgt. Het is duidelijk te zien dat het gele gedeelte van de vlam heter is dan het doorzichtige deel.

[KS01\_figuur 2a] [KS01\_figuur 2b]

*Figuur 2. Temperatuur gemeten in (a) het onzichtbare en (b) het zichtbare gebied van de vlam.*

**Literatuur:**

*Alle Jahre wieder: die Chemie der Weihnachtskerze*, Chemie in Unserer Zeit, 2003, 37, 424– 429, Wiley-VCH Verlag, Weinheim. Vrij toegankelijke link: [www.colloids.uni-freiburg.de/Lehre/PCMST/pc-mst-1/WS2010-11/Vorlesung/kerze.pdf](http://www.colloids.uni-freiburg.de/Lehre/PCMST/pc-mst-1/WS2010-11/Vorlesung/kerze.pdf)