Kleur en temperatuur

Chris Hakkaart

Zuiderzeemuseum

Onlangs bracht ik weer eens een bezoek aan het Zuiderzeemuseum in Enkhuizen. Ik kan iedereen die geïnteresseerd is in erfgoed aanraden om dit museum te bezoeken. De heen- en terugtocht is comfortabel per boot, waarna de (vele) bezoekers zich verspreiden over het uitgestrekte buitenterrein. Naast het buitenmuseum is er ook een binnenmuseum.

In de grote verzameling originele gebouwen en woningen, die zijn verplaatst vanaf verschillende locaties langs de oude Zuiderzeekust, zijn veel karakteristieke ambachten te ontdekken. Een dag in het museum vliegt voorbij, en je leert er altijd iets nieuws. Er zijn vele originele, meestal hand aangedreven, oude werktuigen tentoongesteld. Bijzonder de moeite waard zijn onder andere de apotheek, de verfwinkel, de houtbewerking en de smidse.

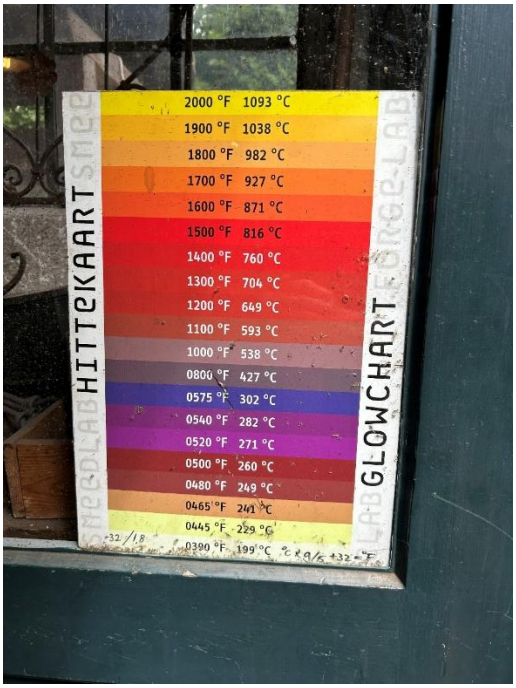

Fig. 1. De vlam-temperatuurkaart.

De smidse

In de smidse vond ik de kaart in figuur 1, die dient als leidraad voor het vaststellen van de temperatuur aan de hand van de kleur. Zo'n kaart kan een handig hulpmiddel zijn voor een smid. Hoewel het geen schuifkaart is, geeft het wel de relatie tussen de temperatuur en de kleur weer.

De bovenstaande informatie roept de wens op om meer te leren over deze relatie. Ik beschik over een infraroodthermometer met een bereik van -30 °C tot 500 °C, een uitstekend instrument voor het opsporen van koudebruggen en lekkages in huis. Tijdens mijn test van de vlammen van het gasfornuis bleek het echter lastig om de temperatuur van de blauwe vlammen, die ongeveer tussen de 200 °C en 250 °C ligt, nauwkeurig te meten. Volgens de eerder genoemde kaart zou deze temperatuur rond de 300 °C moeten zijn. Wikipedia vermeldt dat de

temperatuur van een vlam afhankelijk is van de brandstof en kan variëren van 300 ºC tot zelfs 3.000 ºC. Dus niet helemaal accuraat. Aangezien vuur een verzameling vlammen is, wat veroorzaakt dan deze verschillen?

Kleur van de vlam

De kleur van een vlam wordt voornamelijk bepaald door de roetdeeltjes die hitte uitstralen bij onvolledige verbranding. Bij lagere temperaturen kan de vlam rood, geel of oranje zijn, terwijl bij hogere temperaturen, vaak gepaard gaand met volledige verbranding, de vlam blauw of wit wordt. Daarnaast speelt (simpel gezegd) de energietoestand van het molecuul of atoom ook een (kleinere) rol. Het heetste deel van een vlam, waar de maximale verbranding plaatsvindt, is het blauwe deel aan de onderkant. Echter, warmte verplaatst zich ook omhoog, waardoor de bovenkant weer iets warmer kan worden. Kortom, dit is een complex fysisch proces. Zie figuur 2 voor temperatuurverschillen in een vlam.

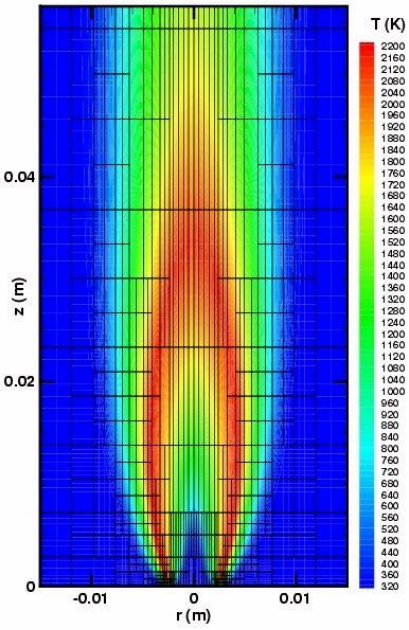

Fig. 2. Temperatuursverloop in een vlam.

Een kaarsvlam met vrijwel geen roet onderin is blauwachtig, en bovenin, met meer brandende roetdeeltjes, wit of geel of oranje.

Bij het verbranden van metalen is dat iets anders. Dan worden er ook kleuren uitgezonden tijdens het verbranden van metalen. Bij vuurwerk wordt daar gebruik van gemaakt voor de effecten. Onderstaande tabel 1 en figuur 3 geven een aantal voorbeelden van de kleur van de vlam bij het verbranden van diverse metalen.

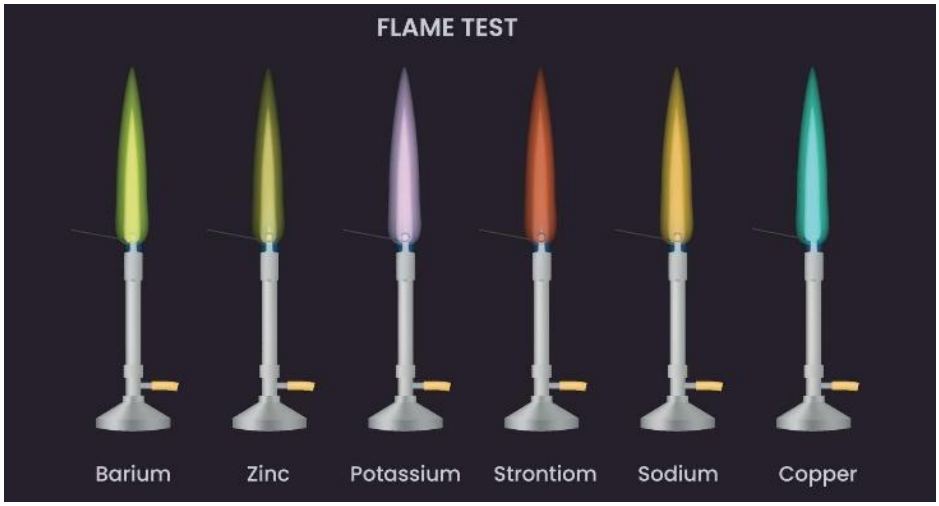

Fig. 3. Vlamkleur bij het verbranden van metalen.

Metaal	Vlamkleur	Spectrale kenmerken
Koper	Blauw-groen	Smaragdgroen tot blauwgroen, afhankelijk van de samenstelling
Natrium	Fel geel	Intens geel dat andere kleuren kan overheersen
Kalium	Lila/Violet	Lichtpaars, vaak gemaskeerd door natrium
Calcium	Oranje-rood	Kan gedempt worden, vergelijkbaar met andere metaalkleuren
Lithium	Karmozijn	

Tabel 1. Kleur van brandende metalen.

De temperatuur van een vuur wordt bepaald door de chemische samenstelling van de brandstof en de beschikbaarheid van zuurstof. De temperatuur van een houtvuur kan hoger zijn dan 1.000 ºC, maar deze is afhankelijk van het soort hout. Grenen kan bij verbranding een veel hogere temperatuur bereiken dan spar of wilg. Bij gassen is de temperatuur ook mede afhankelijk van de zuurstoftoevoer. Zo bereikt propaan normaal gesproken een temperatuur van 1.980 ºC, maar met extra zuurstof kan die oplopen tot wel 2.800 ºC.

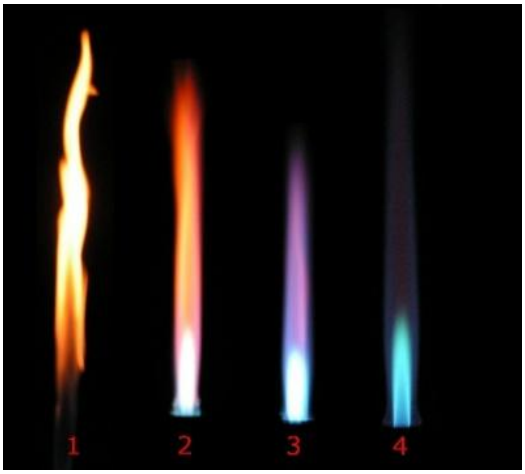

Fig. 4. Vlam links zonder en rechts met zuurstof.

Ter illustratie toont figuur 4 het kleurverschil van een vlam afhankelijk van de zuurstoftoevoer. Links zien we een vlam zonder zuurstoftoevoer (onvolledige verbranding), wat resulteert in veel roet, en rechts een vlam met volledige zuurstoftoevoer (volledige verbranding), die geen roet produceert.

Bij onderzoeken wordt ook onderscheid gemaakt tussen zuurstof- en luchttoevoer (deze laatste bevat naast zuurstof ook andere gassen). De mate van verbranding is afhankelijk van de brandstof. Het gas uit het gasfornuis verbrandt volledig en geeft dan een blauwe vlam. Hout daarentegen verbrandt nooit volledig, waardoor een haardvuur voornamelijk gele vlammen produceert.

De vlamtemperatuur is ook afhankelijk is van het soort (indirecte) gas, dus van de brandstof. Zie onderstaande tabel 2.

Brandstof	Vlamtemperatuur
acetyleen	3.100 °C (zuurstof), 2.400 °C (lucht)
gasbrander	1.300 °C (2.400 °F, lucht)
bunsenbrander	1.300-1.600 °C (2.400-2.900 °F, lucht)
butaan	1.970 °C (lucht)
kaars	1.000 °C (1.800 °F, lucht)
koolmonoxide	2.121 °C (lucht)
sigaret	400 - 700 °C (750 - 1.300 °F, lucht)
ethaan	1.960 °C (lucht)
waterstof	2.660 °C (zuurstof), 2.045 °C (lucht)
KAART	2.980 °C (zuurstof)
methaan	2.810 °C (zuurstof), 1.957 °C (lucht)
natuurlijk gas	2.770 °C (zuurstof)
zuurstofwaterstof	2.000 °C of meer (3.600 °F, lucht)
propaan	2.820 °C (zuurstof), 1.980 °C (lucht)
propaan butaan mix	1.970 °C (lucht)
propyleen	2.870 °C (zuurstof)

Tabel 2. Vlamtemperatuur van verschillende directe of indirecte gassen.

Zo'n tabel maakt ook verschijnselen duidelijk die we in de praktijk ervaren. Op het gasfornuis thuis is een pannetje aardappelen sneller warm dan op een butagasstel op de camping. De temperatuur thuis 2.770 ºC is hoger dan 1.970 ºC.

Fig. 5. Kleur van het staal bij de smid.

Bij aanvang van dit kleine onderzoekje dacht ik dat de kaart in het Zuiderzeemuseum betrekking had op de kleur van het vuur, dus voor het meer of minder opstoken, - meer lucht/zuurstof toevoegen – van het vuur. Maar toen ik het plaatje in figuur 5 tegen kwam, kreeg ik het vage vermoeden dat de kaart betrekking heeft op de kleur van het staal waar de smid mee bezig is. Na verder speurwerk kwam ik een tabel tegen die de kleur van het staal aangeeft bij verschillende temperaturen. Zie figuur 6.

De reden dat ik dit onderzoekje heb uitgevoerd naar deze hittekaart, is dat ik dacht en hoopte een schuifkaart te vinden die voor dit doel geschikt zou zijn. Op zo'n schuifkaart zouden verschillende brandstoffen en metalen kunnen worden weergegeven, evenals de invloed van volledige en onvolledige verbranding. Het lijkt me dat zo'n schuifkaart zeer handig zou kunnen zijn. Helaas is het bij kaarten gebleven en heb ik geen schuifkaarten gevonden. Desondanks heb ik wel het nodige geleerd. Er zijn echter veel overzichtelijke kaarten beschikbaar, zoals hierboven weergegeven.

Voor de duidelijkheid: dit artikel richt zich uitsluitend op de kleur van hitte. Er zijn ook kleurcodes voor bijvoorbeeld licht, die tegenwoordig van belang zijn bij de aanschaf van gloeilampen of LED-lampen, maar daar gaat dit artikel niet over. Wel vond ik een handig overzicht waarin lampen voor binnen en buiten gerangschikt zijn op basis van hun Kelvin-waarde. Zie figuur 7.

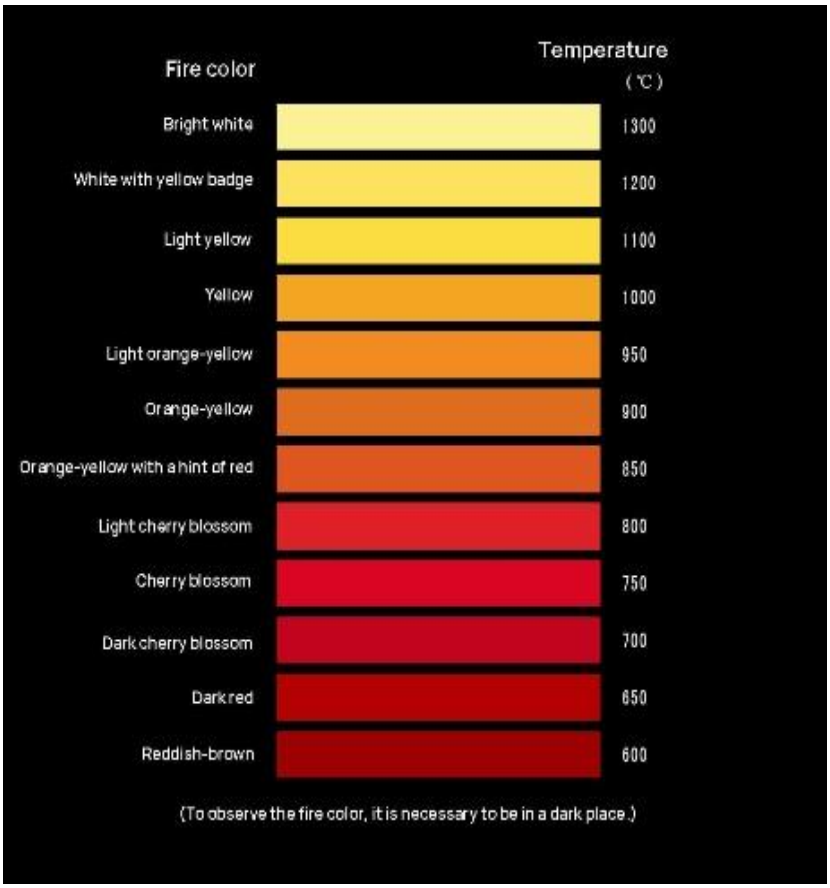

Fig. 6. Kleur van staal bij verschillende temperaturen.

Zie dit artikel niet als een wetenschappelijk onderzoek. Het was een pragmatische zoektocht naar een – nog niet gevonden – **schuifkaart** voor een kleur en de daarbij horende temperatuur van brandende stoffen onder verschillende omstandigheden. De missie is dus niet geslaagd. **Wie weet er wel een schuifkaart voor dit doel te vinden?**

Bronnen

Onder andere zijn de volgende bronnen geraadpleegd:

[1] https://nl.wikipedia.org/wiki/Vlam
[2] https://www.greelane.com/nl/science-tech-math/wetenschap/flame-temperatures-table-607307
[3] https://nl.vecteezy.com/vector-kunst/20240737-vlam-test-van-verschillend-metaal-produceert-verschillend-kleur-vlam-in-zwart-achtergrond
[4] https://nl.dorit-meir.com/tabel-met-vlamtemperaturen-voor-verschillende-brandstoffen
[5] https://nl.vecteezy.com/vector-kunst/20240737-vlam-test-van-verschillend-metaal-produceert-verschillend-kleur-vlam-in-zwart-achtergrond

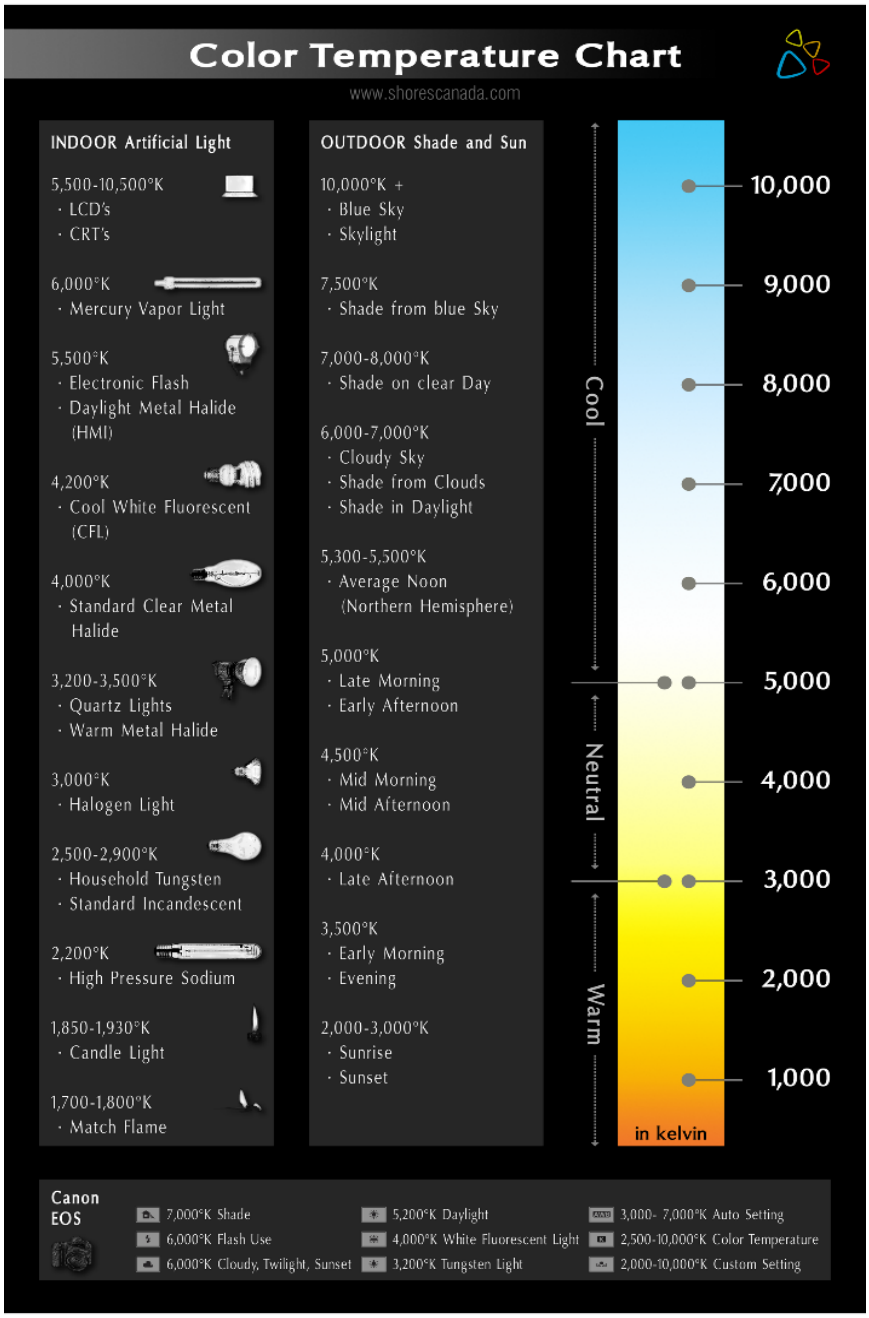

Fig. 7. Kleurtemperaturen gerangschikt naar Kelvin-waarde.

[6] https://mavink.com/post/B34C1368709EAEEA2A517172D01EA7053EAM3A8072/flame-color-temperature-chart
[7] https://sciencenotes.org/adiabatic-flame-temperature-chart/