

Experimenten met fluorescerende stoffen



A.D.J. Hofstetter (Rsg de Borgen, Lindenberg)
&
R.A. de Vries (Rsg de Borgen, Lindenberg & NHL-Stenden)

Inhoudsopgave

De additieve kleurmenging – Deel 1	3
Proef: Additieve kleurmenging Deel 1	3
De additieve kleurmenging – Deel 2	6
Proef: Additieve kleurmenging Deel 2	8
Eigenschappen van stoffen: Oplosbaarheid	10
Proef Deel 1: Fluorescerende inkt in water en olie	10
Proef Deel 2: De fluorescerende lavalamp	10
Onzichtbare inkt	12
Proef: Gele markeerstift als geheimtintenpen	12
Fluorescentie-indicatorpapier	14
Proef: Fluorescentie-indicatoren	14
Elementfamilies: De reactie van natrium met water met fluorescerend effect	16
Proef Deel 1: Fluorescerende "chemtrails" bij de reactie van natrium met water	16
Proef Deel 2: Verwijdering van natriumresten	17
Elektrochemisch schrijven met een fluorescentie-indicator	19
Proef: Elektrochemisch schrijven met een fluorescentie-indicator	19

De additieve kleurmenging – Deel 1

De inleiding tot een lesonderdeel over het onderwerp "Additieve kleurmenging" kan als volgt worden vormgegeven:
de leerlingen krijgen twee vloeistoffen te zien, waarvan er één onder UV-licht blauw en de andere geel fluoresceert (zie figuur 1). De leerlingen moeten voorspellen welke kleur de fluorescerende oplossing krijgt wanneer beide vloeistoffen worden gemengd. Het is waarschijnlijk dat een overweldigende meerderheid een groen fluorescerende oplossing verwacht. In werkelijkheid fluoresceert het mengsel echter wit (zie figuur 1)¹

Proef: Additieve kleurmenging Deel 1

Benodigdheden:

Foliestrip (3 cm x 7 cm, bijvoorbeeld uit een snelhechter gesneden)
25 mL maatcilinder
drie 50 mL bekgelazen
pincet
UV-handlamp ($\lambda = 365 \text{ nm}$) en UV-zaklamp
1 mL pipet
twee 5 mL pipetten
potjes met klikdeksel

Chemische stoffen:

Brandspiritus
gele markeerstift (met pyranine als kleurstof, bijvoorbeeld van Herlitz, Faber-Castell of Pelikan)
rode Lamy-inkt (met eosine Y-kleurstof)
kastanjetakje

Proefuitvoering:

Blauw fluorescerende oplossing I:

Een kant van een foliestrip van 3 cm x 4 cm wordt met de gele markeerstift ingekleurd en vervolgens heen en weer bewogen in 20 mL brandspiritus. Zodra de gele kleurstof is opgelost in de brandspiritus, wordt de foliestrip drooggedept met keukenpapier en wordt het proces nog twee à drie keer herhaald om een voldoende hoge concentratie te verkrijgen.

Geel fluorescerende oplossing II:

1 spatelpunt rode Lamy-inkt wordt toegevoegd aan 20 mL brandspiritus. Onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$) worden 4 mL van de blauw fluorescerende oplossing in een potje met klikdeksel gegoten en ongeveer 3 mL van de



Figuur 1: Onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$) fluoresceert een ethanolische pyranine-oplossing blauw (links), terwijl een ethanolische oplossing van eosine Y geel fluoresceert (rechts).

¹ Ducci, M.: Die additive Farbmischung: (Er)Leuchtende Experimente mit fluoreszierenden Lösungen. Chemie in unserer Zeit 55/5 (2021) 330-339

geel fluorescerende oplossing toegevoegd. Het mengen van de vloeistoffen vindt het best plaats onder UV-licht (afstand tot UV-handlamp: maximaal 5 cm) om de gewenste kleurverandering nauwkeurig te kunnen afstellen. Het effect is beter zichtbaar als er extra wordt bijgelicht met een UV-zaklamp.

Observatie:

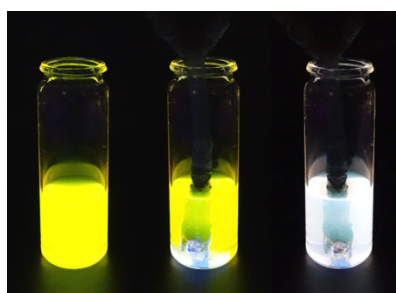
Het mengsel fluoresceert witachtig. Beide oplossingen kunnen ook tegelijk worden toegevoegd (zie figuur 2). Door de variaties in de concentratie van de blauw



Figuur 2: Bereiding van een mengsel van een ethanolische pyranine- en eosine Y-oplossing onder UV-licht ($\lambda = 365$ nm).

fluorescerende oplossing kan de hoeveelheid van de eosine Y-oplossing slechts bij benadering worden aangegeven.

Alternatief kan ook een vers afgesneden kastanjetakje in een ethanolische eosine Y-oplossing worden geplaatst. Het vrijgekomen aesculetine zorgt in het mengsel met eosine Y eveneens voor een wit fluorescerende oplossing (zie figuur 3). In een voorproef zonder eosine Y moet worden bevestigd dat aesculetine blauw fluoresceert.²



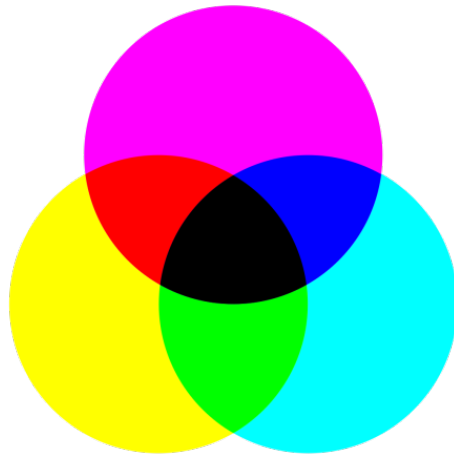
Figuur 3: Links: een ethanolische eosine Y-oplossing in een potje. Wanneer een vers afgesneden kastanjetakje in de oplossing wordt geplaatst (midden), fluoresceert de oplossing binnen enkele minuten wit (rechts).

Uitleg:

De vaak geuite foutieve verwachting van leerlingen ("Het mengsel fluoresceert groen.") kan worden verklaard doordat ze bij het mengen van blauwe en gele pigmenten, bijvoorbeeld van waterverfkleuren, ervaren hebben dat het mengsel groen wordt. Deze kennis wordt vaak al op de basisschool opgedaan en is diepgeworteld. Het betreft hier echter een subtractieve kleurmenging, waarbij een deel van het licht door kleurfilters – of in dit geval door pigmenten – wordt geabsorbeerd. Dit licht wordt van het oorspronkelijke licht afgetrokken, en het resterende licht vormt een mengkleur. Subtractieve kleurmenging treedt dus altijd op

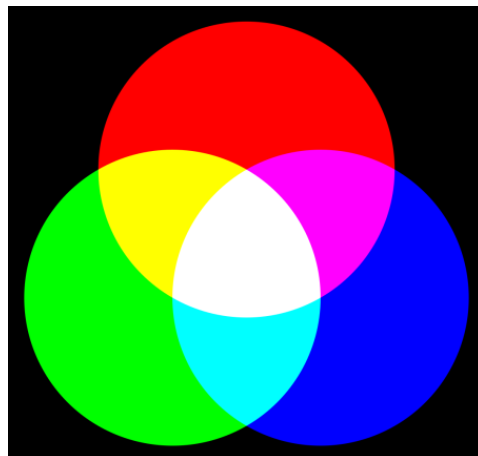
² Ducci, M.: Fascinating school experiments with fluorescent dyes. World Journal of Chemical Education 11/3 (2023) 74-79

wanneer een kleurindruk wordt opgewekt door niet-zelflichtgevende objecten, zoals waterverf. De drie basiskleuren cyaan, magenta en geel zijn voldoende om alle kleuren te mengen (zie figuur 4).



Figuur 4: Het principe van subtractieve kleurmenging met de drie basiskleuren cyaan, magenta en geel.

In tegenstelling daarmee is er bij het mengen van fluorescerende oplossingen sprake van een additieve kleurmenging. Dit gebeurt wanneer gekleurd licht van verschillende lichtbronnen samenkomt of zich mengt. De resulterende kleurindruk is afhankelijk van de basiskleuren en hun intensiteit. De drie basiskleuren zijn rood, groen en blauwviolet (RGB). Volgens internationale normen betreft dit monochromatisch licht met golflengten van 700 nm (rood), 546 nm (groen) en 435 nm (blauwviolet). Bij een juiste helderheid leidt de optelling van deze kleuren tot de waarneming van wit licht. Een mengsel van groen en rood of groen en blauwviolet of blauwviolet en rood veroorzaakt respectievelijk de kleurindrukken geel, cyaan en magenta (zie figuur 5). Andere (meng)kleuren kunnen worden verkregen door de lichtintensiteiten aan te passen.



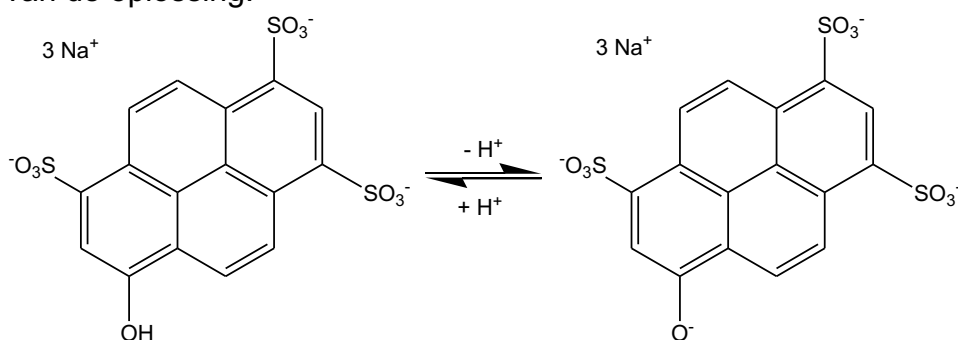
Figuur 5: Additieve kleurmenging van de basiskleuren rood, groen en blauwviolet. De achtergrond symboliseert de indruk van zwart (geen licht).

De additieve kleurmenging – Deel 2³

Om het principe van additieve kleurmenging door overlapping van de drie basiskleuren te demonstreren, zijn een rood, een blauw en een groen fluorescerende oplossing nodig. Voor het maken van een groen fluorescerende oplossing kan opnieuw een gele markeerstift worden gebruikt die de kleurstof pyranine bevat (zie figuur 3). Deze kleurstof vertoont in ethanolische oplossingen een blauwe fluorescentie (de oplossing is kleurloos bij daglicht), maar in waterige oplossingen alleen in sterk zure oplossingen ($\text{pH} < 1$). Naarmate de pH-waarde van een waterige oplossing hoger wordt, verschuift de fluorescentie steeds meer naar groen (de oplossing is bij daglicht geel).

Uitleg:

Pyranine vormt een evenwicht in oplosmiddelen die als Brønsted-base kunnen fungeren, waarbij de hydroxylgroep gedeprotoneerd wordt (zie figuur 6). Omdat ethanol een zeer zwakke Brønsted-base is, ligt het evenwicht bijna volledig aan de linkerzijde, en de oplossing fluoresceert blauw. In waterige oplossingen verschuift het evenwicht naar de rechterzijde, waarbij de positie afhankelijk is van de pH-waarde van de oplossing.

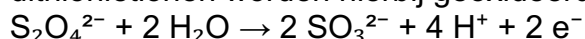


Figuur 6: Het pyranine-evenwicht

Blauw fluorescerend

Groen fluorescerend

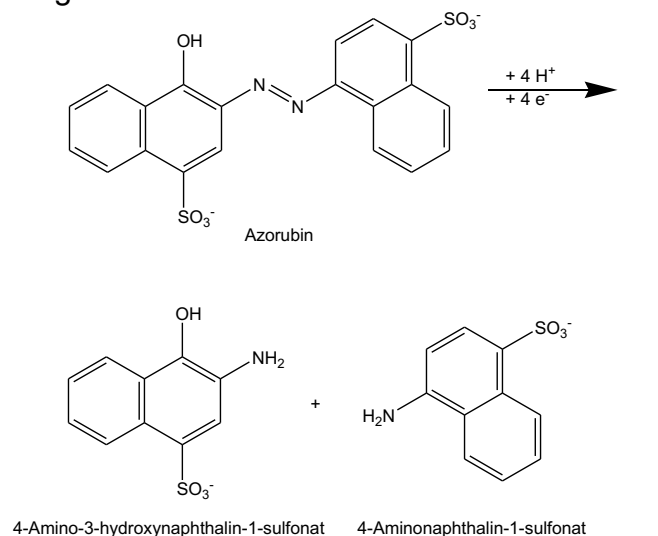
Voor een blauw fluorescerende vloeistof kan een oplossing worden gemaakt die 4-aminonaftaleen-1-sulfonzuurionen bevat. Voor de productie van een dergelijke oplossing met alledaagse producten wordt een rode taart kleurstof E122 en de textielontkleurder "Heitmann Power Entfärber intensiv" gebruikt (zie figuur 8). Deze laatste bevat een hoog gehalte natriumdithioniet ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), een sterk reductiemiddel. De rode kleur van rode taart kleurstof komt door de toevoeging van azorubine, een azokleurstof (E122). Bij toevoeging van de textielontkleurder wordt de rode kleurstof gereduceerd en splijt de azogroep, waarbij onder andere het blauw fluorescerende 4-aminonaftaleen-1-sulfonzuur ontstaat (zie figuur 7). De dithionietionen worden hierbij geoxideerd tot sulfietionen, volgens de reactie:



Als alternatief kan ook de rode badkleurstof "Saubär" (verkrijgbaar bij dm) worden gebruikt, die de azokleurstof cochenillerood A bevat. Bij de splitsing van deze stof ontstaan eveneens 4-aminonaftaleen-1-sulfonzuurionen. Het emissiespectrum van de ontkleurde rode taart kleurstof-oplossing toont bij 371 nm en 442 nm twee pieken

³ Ducci, M.: De additieve kleurmenging: Oogstrelende experimenten met fluorescerende oplossingen. *Chemie in unserer Zeit*, 55/5 (2021) 330-339

(zie figuur 9). Vergelijkende tests met een zuivere natrium-4-aminonaphthalen-1-sulfonzuuroplossing toonden eveneens een piek bij 442 nm, maar niet bij 371 nm, wat suggereert dat de andere piek aan een tweede reductieproduct kan worden toegeschreven.

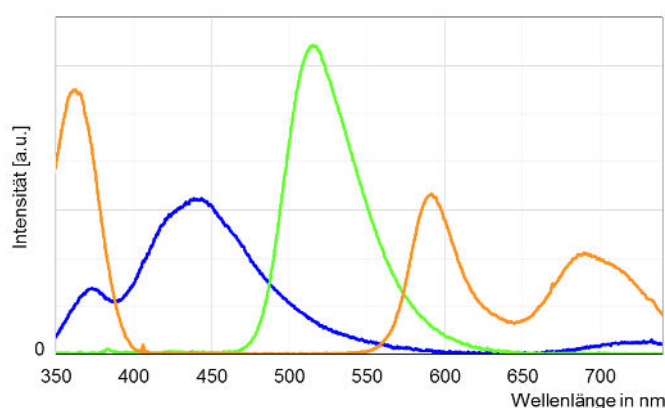


Figuur 7: Reductieve splitsing van de azokleurstof azorubine.



Figuur 8: Voor fluorescerende oplossingen kunnen alledaagse producten worden gebruikt.

Er is geen rood fluorescerende kleurstof in alledaagse producten beschikbaar, dus wordt de inkt van de roze markeerstift "Stabilo Luminator XT" (zie figuur 8) als alternatief gebruikt. Deze inkt, verdund met water, vertoont onder UV-licht een oranje-rode fluorescentie. Uit navraag bij Stabilo blijkt dat de inkt twee rhodaminekleurstoffen bevat. Rhodaminekleurstoffen zijn kationische kleurstoffen die behoren tot de xanthen- en de triphenylmethankleurstoffen. De bekendste variant is rhodamine B, die afhankelijk van de structuur fluoresceert van groen-geel tot oranje-rood en bijvoorbeeld wordt gebruikt in de fluorescentiemicroscopie. Het emissiespectrum toont in het relevante gebied twee pieken bij 592 nm en 691 nm (zie figuur 9).



Figuur 9: Emissiespectra van een waterige oplossing van de inkt in de roze Stabilo-Textmarker Luminator XT (oranje-rode lijn), een waterige oplossing van de inkt in de gele Herlitz-Textmarker (groene lijn) en een Powerade Wild Cherry-oplossing die is behandeld met textielontkleurder (blauwe lijn).

Proef: Additieve kleurmenging Deel 2

Benodigdheden:

Foliestrip (3 cm x 7 cm, bijvoorbeeld uit een snelhechter gesneden)
drie 50 mL bekersglazen
pincet
UV-handlamp ($\lambda = 365 \text{ nm}$)
3 mL pipetten
potjes met klikdeksel

Chemische stoffen:

Rode taart kleurstof E122
"Heitmann Power Entfärber intensiv"
gele markeerstift (met pyranine als kleurstof; van Herlitz, Faber-Castell of Pelikan),
roze Stabilo-markeerstift Luminator XT

Proefuitvoering:

Voor het maken van een blauw fluorescerende oplossing (Oplossing I) worden 20 mL rode taart kleurstof en een klein spatelpuntje "Heitmann Power Entfärber intensiv" in een bekersglas gemengd. Zodra de rode oplossing kleurloos is geworden, wordt het mengsel gefiltreerd om de vloeistof van niet opgeloste ontkleurder te scheiden.

Voor het maken van een groen fluorescerende oplossing (Oplossing II) wordt een foliestrip van 7 cm x 3 cm ingekleurd met een gele markeerstift. De strip wordt in 20 mL leidingwater bewogen totdat de kleurstof is opgelost. Deze stap wordt twee keer herhaald (de strip moet voor het opnieuw inkleuren worden afgedroogd) voor een hogere concentratie.

De oranje-rood fluorescerende oplossing (Oplossing III) wordt op dezelfde manier gemaakt als de groen fluorescerende, maar met een roze markeerstift.

Nu worden de oplossingen I-III als volgt gemengd en onder UV-licht bekeken:

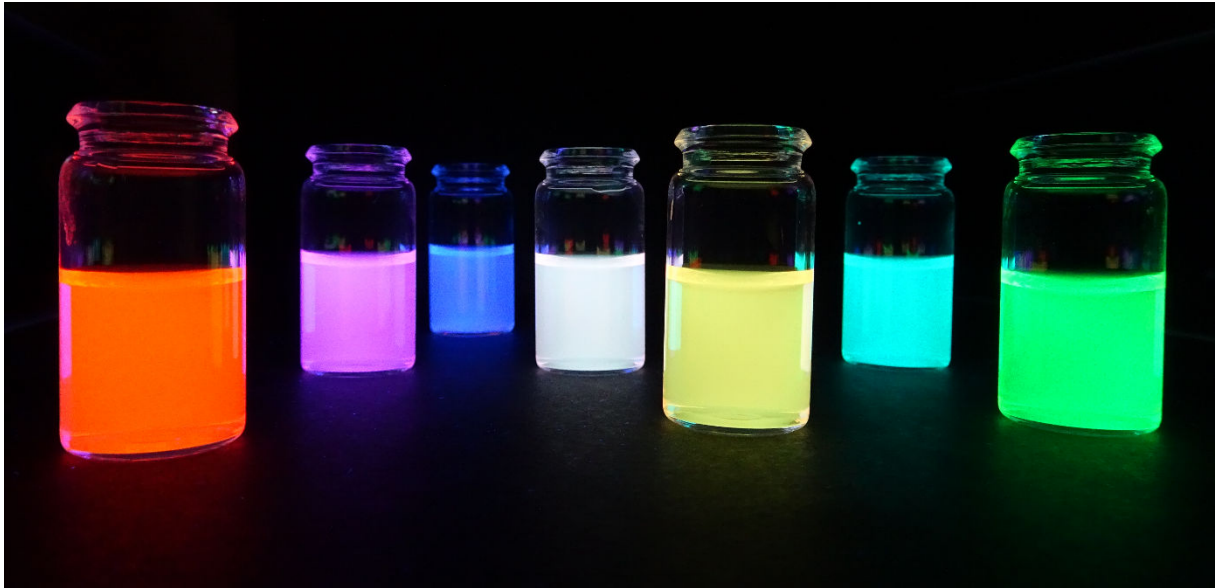
- **Oplossing IV:** 2 mL oplossing I met ca. 2 mL oplossing III
- **Oplossing V:** 2 mL oplossing I met ca. 10 druppels oplossing II
- **Oplossing VI:** 2 mL oplossing III met ca. 1 mL oplossing II
- **Oplossing VII:** 1 mL oplossing I met ca. 0,5 mL oplossing II en ca. 2 mL oplossing III

Opmerking: Sommige hoeveelheden zijn bij benadering gegeven, omdat er variaties kunnen zijn bij de bereiding van oplossingen I-III. Het wordt aanbevolen de eerste oplossingen voor te bereiden (voor oplossing VII de eerste twee) en de andere oplossing onder UV-licht (maximale afstand tot de UV-handlamp: 5 cm) geleidelijk toe te voegen totdat de gewenste kleurverandering van de fluorescentie is bereikt. De fluorescerende kleuren van oplossingen IV-VII zijn magenta, cyaan, geel en wit



Figuur 10: Additieve kleurmenging gedemonstreerd met fluorescerende oplossingen uit alledaagse producten (onder UV-licht, $\lambda = 365 \text{ nm}$). In de hoeken van het denkbeeldige driehoek bevinden zich de drie basiskleuren; in de middenpunten van de zijden de mengkleur van mengkleur van de naastliggende basiskleuren en in het midden van de driehoek een mengsel van alle drie basiskleuren.

(zie figuur 10 en 11). Dit toont aan dat het principe van additieve kleurmenging met fluorescerende oplossingen gedemonstreerd kan worden.



Figuur 11: De afbeelding toont de fluorescerende oplossingen vanuit een andere hoek, zodat de verschillen tussen de mengkleuren duidelijk naar voren komen.

Eigenschappen van stoffen: Oplosbaarheid

In de eerste lessen chemie worden de eigenschappen van geselecteerde stoffen onderzocht. Een centrale eigenschap is de oplosbaarheid. Hierbij wordt onder andere vastgesteld dat olie en water niet in elkaar oplosbaar zijn. Dit gegeven wordt gebruikt in een indrukwekkend experiment genaamd "Inkt in olie en water," dat hieronder wordt beschreven met fluorescerende inkt.

Proef Deel 1: Fluorescerende inkt in water en olie

Benodigdheden:

- Maatcilinder 100 mL, UV-zaklamp ($\lambda = 365 \text{ nm}$).

Chemicaliën:

- Plantaardige olie (bijv. zonnebloemolie), fluorescerende inkt (bijv. uit de roze markeerstift Luminator XT van Stabilo).

Uitvoering van de proef:

Vul de maatcilinder met 40 mL water en 40 mL plantaardige olie. Voeg vervolgens met de pipet een paar druppels fluorescerende inkt toe en observeer het experiment onder UV-licht. Mocht de druppel niet naar beneden zakken, voeg dan een extra druppel op dezelfde plek toe.

Waarneming en verklaring:

De inktdruppel valt in de olie en vormt een bolletje. Na korte tijd zinkt de druppel door de olie zonder zich ermee te vermengen. Op de grens tussen de olie- en waterfase duurt het een moment, waarna de druppel "barst" en oplost in het water.



Figuur 13: De kleurstofoplossing passeert de olie (links) en barst aan de grens tussen de olie en het water (midden en rechts).

Olie en water lossen niet in elkaar op. De inkt bestaat voor het grootste deel uit water en lost daarom niet op in de olie. Wanneer de inkt de waterfase bereikt, mengen de twee vloeistoffen zich, waarbij esthetische, fluorescerende patronen ontstaan.

Proef Deel 2: De fluorescerende lavalamp

Benodigdheden en chemicaliën:

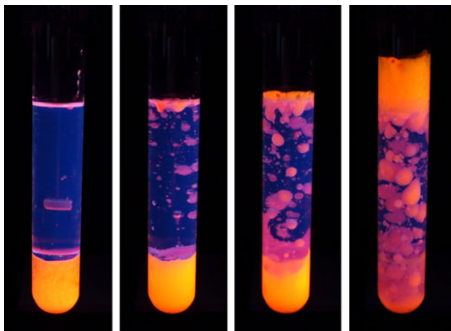
Naast de benodigdheden en chemicaliën uit deel 1: vitamine-tabletten.

Uitvoering van de proef:

Voeg nu een achtste deel van een vitamine-tablet toe aan het reageerbuisje (UV-licht aan!).

Waarneming en verklaring:

Het stukje tablet zakt door de olie naar de waterfase (zie afbeelding 14, links). Daar lost het op onder ontwikkeling van gas (vorming van kooldioxide). De gasbelletjes stijgen door de olie naar de oppervlakte (zie afbeelding 14, tweede van links). Omdat de belletjes een waterige omhulling hebben waarin de fluorescerende kleurstof is opgelost, fluoresceren ze indrukwekkend. Zodra er genoeg waterige oplossing aan de oppervlakte is verzameld, zakt deze weer naar beneden in de vorm van fluorescerende druppels. Dit creëert het "lavalamp"-effect (zie afbeelding 14, de twee rechterbeelden).



Figuur 14: De fluorescerende lavalamp.

Onzichtbare inkt⁴

Experimenten met onzichtbaar schrijvende oplossingen, zoals citroensap, die door verwarming of andere methoden zichtbaar kunnen worden gemaakt, blijven erg populair. En als er nu ook nog een fluorescerend effect bij komt kijken...

Proef: Gele markeerstift als geheimtintenpen

Benodigheden:

Gele markeerstift (Herlitz), pincet, pipetten, UV-zaklamp, wattenpads, koffiefilter of gewoon filter (bijv. *Parchment* – Royal Paper Collection van de Dresdner Feinpapier Werkstatt, verkrijgbaar in de papierhandel).

Chemicaliën:

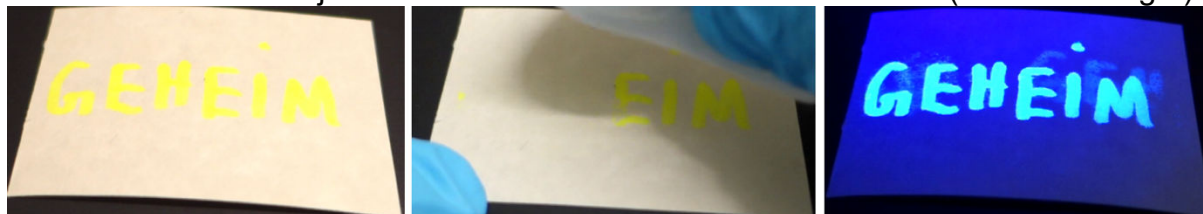
Zoutzuur, $c(\text{HCl}) = 4 \text{ mol/L}$, ammoniakoplossing, $w(\text{NH}_3) = 5\%$ (alternatief: ammoniakoplossing $w(\text{NH}_3) = 25\%$ en een petrischaal, zie hieronder).

Proefuitvoering I:

Met de markeerstift wordt een boodschap op het papier geschreven. Onder UV-licht is te zien dat de gele kleurstof groen fluoresceert. Vervolgens wordt de tekst afgedept met een wattenpad dat in zoutzuur is gedrenkt. Daarna wordt het papier opnieuw onder UV-licht bekeken.

Waarneming I:

Na het afdeppen met zoutzuur is de tekst bij daglicht onzichtbaar. Onder UV-licht is de tekst echter duidelijk zichtbaar als blauw fluorescerende letters (zie afbeelding 1).

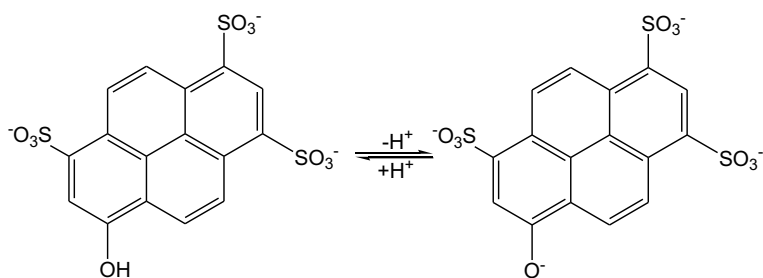


Figuur 15: Het woord "Geheim" geschreven met de gele Herlitz-markeerstift (links), midden: na het afdeppen met zoutzuur, rechts: onder UV-licht.

Verklaring I:

In de markeerstift zit de kleurstof Pyranine. Deze vormt in waterige oplossingen het volgende evenwicht:

⁴ Ducci, M.: Fascinating school experiments with fluorescent dyes. *World Journal of Chemical Education* 11/3 (2023) 74-79.



Figuur 16: De fluorescerende kleurstof Pyranine.

Bij daglicht kleurloos

Bij daglicht geel

Onder UV-licht: blauw fluorescerend

Onder UV-licht: groen fluorescerend

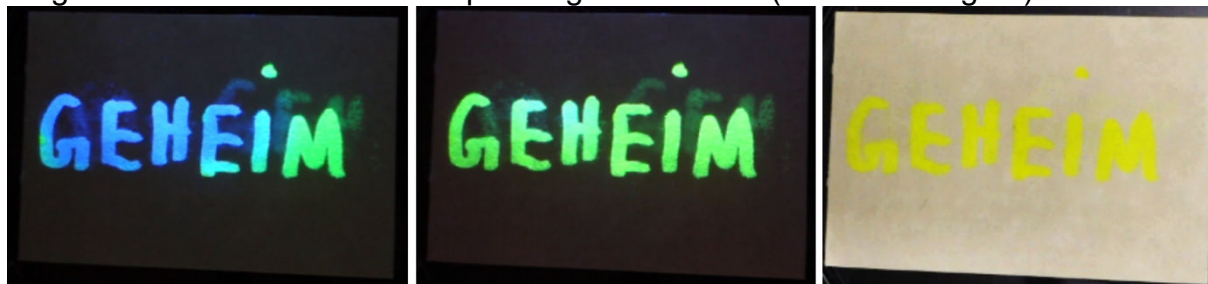
Door het afdeppen met zoutzuur wordt het evenwicht naar links verschoven, wat de blauwe fluorescerende reactie veroorzaakt.

Proefuitvoering II:

De tekst kan ook weer bij daglicht zichtbaar worden gemaakt door het papier te bevochtigen met verdunde ammoniakoplossing. Dit kan voor leerlingen op een motiverende manier worden uitgevoerd. Het papier met de bij daglicht onzichtbare tekst wordt in een petrischaal gelegd, en naast het papier worden 2–3 druppels geconcentreerde ammoniakoplossing toegevoegd. Het deksel wordt gesloten en de UV-zaklamp wordt ingeschakeld (niet te dicht bij het papier houden, varieer de afstand).

Waarneming en verklaring II:

Na enkele seconden verschijnt de gele tekst weer als gevolg van de verschuiving van het Pyranine-evenwicht naar rechts (zie afbeelding 16). Wanneer de zichtbaarheid onder UV-licht wordt hersteld, is er een spectaculaire kleurverandering van de fluorescerende reactie zichtbaar, van blauw naar groen, beginnend aan de kant waar de geconcentreerde ammoniakoplossing zich bevindt (zie afbeelding 17).



Figuur 17: Onder invloed van gasvormig ammoniak verandert de fluorescerende kleur naar groen en wordt de gele kleur van de Herlitz-markeerstift ook bij daglicht weer zichtbaar.

Fluorescentie-indicatorpapier⁵

Proef: Fluorescentie-indicatoren

Benodigheden:

Rondfilter (Whatman Qualitative 1, Ø 90 mm), petrischaal (groot genoeg zodat het filterpapier erin past), 25 mL bekerglas, twee Erlenmeyerkolven van 250 mL, 10 mL maatcilinder, twee 3 mL pipetten, zes 1 mL pipetten, zes flesjes met deksel of kleine bekgelazen, glasstaaf, spatel, weegschaal, weegschaaltjes, pincet, föhn, UV-handlamp ($\lambda = 365 \text{ nm}$).

Chemicaliën:

Ethanol, 2-naphthol, 5-aminosalicylzuur (5-ASA), soda, natriumbicarbonaat (natron), tafelessig, ontstopper, mineraalwater.

Proefuitvoering:

(Eerst worden een 0,1% 2-naphthol-oplossing en een 0,1% 5-ASA-oplossing bereid. Hiervoor wordt in een Erlenmeyerkolf 0,1 g 2-naphthol respectievelijk 0,1 g 5-ASA opgelost in 100 g ethanol. De 5-ASA lost mogelijk niet volledig op, maar dat kan worden genegeerd. Vervolgens wordt in een bekerglas van 25 mL een mengsel gemaakt van:

- 10 mL ethanol
- 2 mL 2-naphthol-oplossing
- 1 mL 5-ASA-oplossing

DEZE OPLOSSING IS AL GEMAAKT)

Giet 15 mL van de oplossing van ethanol, 2-naphthol en 5-ASA in een petrischaal. Daarna wordt een rondfilter in een petrischaal gelegd en gedrenkt in het mengsel van ethanol, 2-naphthol- en 5-ASA-oplossing. Vervolgens wordt het filter uitgenomen en met een föhn gedroogd. Dit proces wordt nog een tweede keer herhaald.

In de kleine flesjes worden de volgende proefoplossingen bereid (van de vaste stoffen wordt een spatelpunt opgelost in 10 mL water):

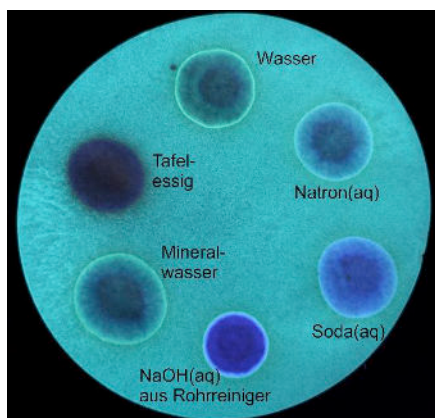
- Water
- Natriumbicarbonaat-oplossing (natron)
- Soda-oplossing
- Ontstopper (bevat natriumhydroxide)
- Mineraalwater
- Tafelessig (5% azijnzuur)

Vervolgens wordt onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$) een druppel van elke proefoplossing op het filterpapier aangebracht. Belangrijk: De proef moet in het donker worden uitgevoerd!

Waarneming:

Het filterpapier fluoresceert groen onder UV-licht. Wanneer de verschillende oplossingen erop worden gedruppeld, verandert de fluorescentiekleur van het "indicatorpapier" (zie afbeelding 18).

⁵ Ducci, M.: Experimente met fluorescentie-indicatoren. *CHEMKON* 30/6 (2023) 235-239



Figuur 18: Filterpapier gedrenkt in een mengsel van fluorescentie-indicatoren na het toevoegen van de proefoplossingen.

Verklaring:

De natriumcarbonaat-oplossing, die een pH-waarde heeft dicht bij het omslagpunt van 2-naphthol, fluoresceert cyaankleurig (een additieve kleurmenging van de zwakke blauwe fluorescentie van 2-naphthol en de groene van 5-ASA). De soda-oplossing fluoresceert felblauw (de concentraties van de indicatoren zijn zo gekozen dat, wanneer het omslagpunt van 2-naphthol wordt overschreden, de blauwe fluorescentie van 2-naphthol de groene van 5-ASA overstemt). De blauwe fluorescentie wordt nog intenser in de ontstopper-oplossing. Bij nadere beschouwing is de intensiteit van het groene licht bij de mineraalwaterproef al iets minder dan bij de waterproef (de fluorescentie van 5-ASA neemt af in lichtzure oplossingen). De zure tafelessig onderdrukt de fluorescentie van 5-ASA en de zwakke blauwe fluorescentie van 2-naphthol is bij deze pH-waarde niet waarneembaar op het filterpapier.

Elementfamilies: De reactie van natrium met water met fluorescerend effect

Bij het onderzoeken van de eigenschappen van alkalimetalen mag de reactie van natrium met water niet ontbreken. De vorming van hydroxide-ionen kan indrukwekkend zichtbaar worden gemaakt door het toevoegen van fenol- of thymolftaleïne. Dit kan ook worden bereikt met een specifieke fluorescentie-indicator.

Proef Deel 1: Fluorescerende "chemtrails" bij de reactie van natrium met water

Benodigdheden:

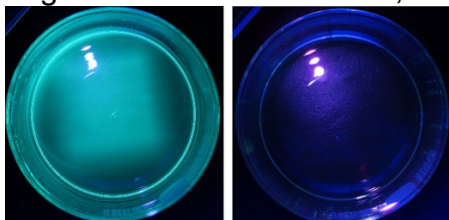
Kristalliseerschaal ($\varnothing$ = ca. 11 cm, hoogte: ca. 6 cm), mes, pincet, UV-zaklamp (λ = 365 nm), pipet (1 mL), glasstaaf, spatel.

Chemicaliën:

Natrium, 5-aminosalicylzuur (5-ASA), zoutzuur $c(\text{HCl}) = 4 \text{ mol/L}$.

Uitvoering van de proef:

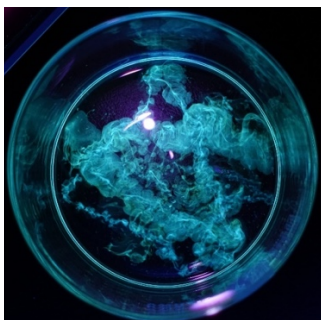
Vul de kristalliseerschaal met ongeveer 1,5 cm kraanwater. Los vervolgens een spatelpunt 5-aminosalicylzuur op in het water. De oplossing fluoresceert mintgroen onder UV-licht (zie afbeelding 19, links). Voeg daarna, onder UV-licht en terwijl je roert, zoutzuur druppelsgewijs toe totdat de fluorescerende reactie stopt (zie afbeelding 19, rechts). Vervolgens wordt een klein stukje natrium (ca. $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$) ontveld en in de oplossing gegooid (ook onder UV-licht, met de lamp van boven, op ongeveer 30-35 cm afstand; varieer indien nodig de afstand).



Figuur 19: Waterige 5-aminosalicylzuur-oplossing voor (links) en na (rechts) het toevoegen van zuur onder UV-licht.

Waarneming:

Het natriumstukje "raced" over het oppervlak van de vloeistof. Er ontstaat gas, en het natriumstukje laat een mintgroen fluorescerend spoor achter (zie afbeelding 20).



Figuur 20: Natrium in zure oplossing met 5-ASA.

Natrium reageert met water, waarbij waterstofgas, natrium- en hydroxide-ionen worden gevormd: $\text{Na(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$

5-ASA is een fluorescentie-indicator waarvan de fluorescentie bij een pH lager dan 4 verdwijnt. Door de vorming van hydroxide-ionen stijgt de pH-waarde in het spoor van het bewegende natriumstukje, waardoor de indicator daar onder UV-licht weer oplicht.

Proef Deel 2: Verwijdering van natriumresten

Benodigdheden en chemicaliën:

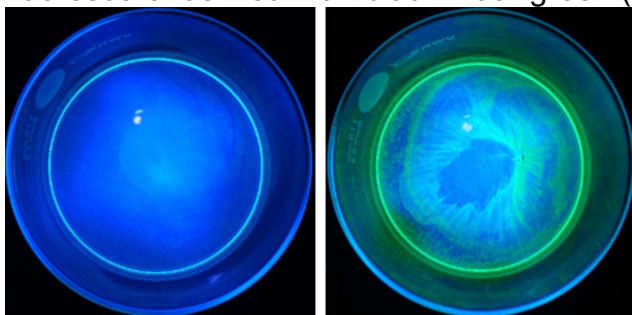
Naast de benodigdheden uit deel 1 is nodig: gele markeerstiftvloeistof van Faber-Castell (bevat Pyranine) en brandspiritus.

Uitvoering van de proef:

Vul de kristalliseerschalen met ongeveer 2 cm brandspiritus. Voeg daarna 2-3 druppels van de markeerstiftvloeistof toe en roer goed. Onder UV-licht fluoresceert de oplossing intens blauw (zie afbeelding 21, links). Voeg vervolgens onder UV-licht een klein stukje natrium toe.

Waarneming:

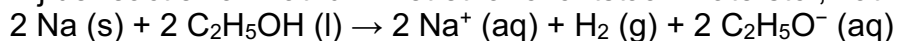
Natrium reageert met ethanol onder gasvorming. Bovendien verandert de fluorescerende kleur van blauw naar groen (zie afbeelding 21, rechts).



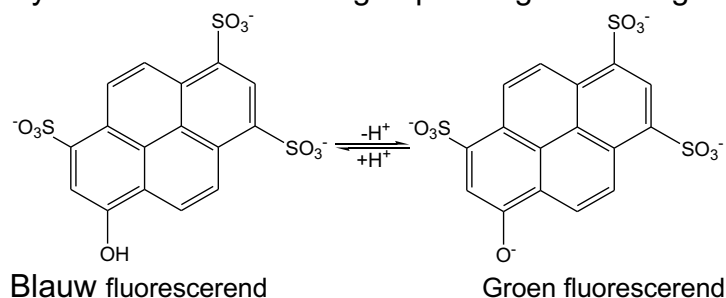
Figuur 21: Ethanolische Pyranine-oplossing (links); dezelfde oplossing na toevoeging van een stukje natrium.

Verklaring:

Bij de reactie van natrium met ethanol ontstaan waterstof, natrium- en ethoxyl-ionen:



Pyranine vormt in waterige oplossingen het volgende evenwicht:



In ethanol ligt het evenwicht aan de linkerkant en fluoresceert de oplossing blauw. De ethoxyl-ionen die ontstaan uit de reactie van ethanol met natrium leiden tot de deprotonering van Pyranine, waardoor het de groen fluorescerende fenolaat-vorm aanneemt.

Elektrochemisch schrijven met een fluorescentie-indicator

Humphry Davy (1778-1829) ontdekte dat bij de elektrolyse van veel zoutoplossingen naast de gasen zuurstof (bij de pluspool) en waterstof (bij de minpool) ook andere producten ontstaan. Zijn opstelling bestond uit twee verschillende vaten, die door een zoutbrug met elkaar waren verbonden. Bij de elektrolyse van een natriumsulfaatoplossing vond hij in het vat met de pluspool een zure oplossing en in het andere vat een basische oplossing, als gevolg van de oxidatie en reductie van watermoleculen.

In de experimentele schoolchemie worden de gevormde ionen aangetoond met pH-indicatoren die aan de elektrolyt-oplossing worden toegevoegd en die een kleurverandering van de vloeistof in de nabijheid van de elektroden teweegbrengen. Deze processen kunnen op indrukwekkende wijze worden gedemonstreerd in een schoolproef, het zogenaamde elektrochemische schrijven.⁶ Dit experiment wordt hier beschreven, waarbij in plaats van een gewone zuur-base-indicator een fluorescentie-indicator wordt gebruikt.⁷

Proef: Elektrochemisch schrijven met een fluorescentie-indicator

Benodigdheden:

- Gelijkspanningsbron, krokodillenklem, twee kabels, koperen elektrode met afgeronde punt, filterpapier (Whatman), doorzichtig foliestrookje (bijv. 7 cm x 3 cm, uitgesneden uit de hoes van een snelhechter), zwarte folie als ondergrond (bijv. van een snelhechter), schaar, glasstaaf, bekerglas van 50 mL, kleine kristalliseerschaal, 1 mL-pipet, spatel, handschoenen, UV-handlamp ($\lambda = 365$ nm).

Chemicaliën:

- 5-aminosalicylzuur (5-ASA), zwavelzuuroplossing $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$ mol/L.

Proefuitvoering:

Snijd een strook filterpapier uit (ca. 2 cm x 6 cm). Los een kleine spatelpunt 5-ASA op in 20 mL kraanwater en plaats deze direct voor de ingeschakelde UV-lamp ($\lambda = 365$ nm), bij voorkeur in een donkere doos of doos van karton als de ruimte niet verduisterd kan worden. Zorg ervoor dat de lamp van je af schijnt.

Voeg met een 1-mL-pipet druppelsgewijs zwavelzuuroplossing toe aan de 5-ASA-oplossing. Roer de oplossing na elke druppel kort met de glasstaaf. Na ongeveer vier druppels dooft de fluorescentie uit.

Let op: Als na het verdwijnen van de fluorescentie meer zuur wordt toegevoegd, werkt het experiment niet, omdat er dan niet genoeg hydroxide-ionen worden gevormd om de pH-waarde lokaal voldoende te verhogen. Eén of twee druppels te veel zuur zijn al genoeg om het experiment te laten mislukken.

⁶ Brenner, T., Kunz I., Ducci M.: Elektrochemisches Schreiben & Löschen und noch mehr! *CHEMKON* 19/3 (2012) 111-114

⁷ Ducci, M.: Bunttes Schreiben mit Strom. *Nachrichten aus der Chemie* (in publicatie aangenomen)

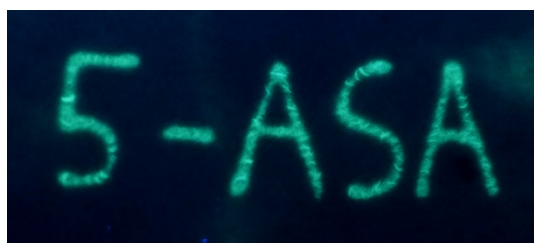
Het filterpapier wordt doordrenkt met deze oplossing door het boven de kristalliseerschaal te houden en met de oplossing te overgieten (gebruik handschoenen!).

Let op: Als het filterpapier te nat is, loopt de tekst uit.

Leg het filterpapier vervolgens op de foliestrook en de foliestrook op de zwarte ondergrond. Verbind het filterpapier met een krokodillenklem en een kabel met de pluspool, en de schrijfelektrode met de minpool van de gelijkspanningsbron (ca. 18 volt). Beweeg de elektrode onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$) langzaam over het filterpapier zonder veel druk uit te oefenen. Mogelijk moet er opnieuw worden geschreven als de fluorescentie te snel verdwijnt.

Waarneming:

Op het filterpapier verschijnen groen fluorescerende lijnen of letters (zie afbeelding 11). Bij nadere beschouwing fluoresceren deze eerst blauwgroen en veranderen dan in mintgroen. Dit komt overeen met het fluorescentiegedrag van 5-ASA-oplossingen bij verschillende pH-waarden (zie afbeelding 12).



Figuur 11: Oplichtende tekst door de fluorescentie-indicator 5-aminosalicylzuur onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$).



Figuur 12: 5-ASA-oplossingen bij verschillende pH-waarden onder UV-licht ($\lambda = 365 \text{ nm}$), van links naar rechts: pH 3, 7, 12, 14.

Verklaring:

Wanneer de koperen elektrode in contact komt met het natte filterpapier, vindt elektrolyse van het water plaats. Aan de koperzijde ontstaan waterstofmoleculen en hydroxide-ionen, terwijl aan de krokodillenklem zuurstofmoleculen en oxonium-ionen worden gevormd.

- Pluspool (anode): $2 \text{ H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{O}_2\text{(g)} + 4 \text{ H}^+\text{(aq)} + 4 \text{ e}^-$
- Minpool (kathode): $2 \text{ H}_2\text{O(l)} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{(g)} + 2 \text{ OH}^-$

Door de geringe hoeveelheid producten kunnen de gasontwikkelingen niet worden waargenomen. De hydroxide-ionen die aan het koper worden gevormd, zorgen voor een lokale verhoging van de pH-waarde en daarmee voor het oplichten van de fluorescentie-indicator.