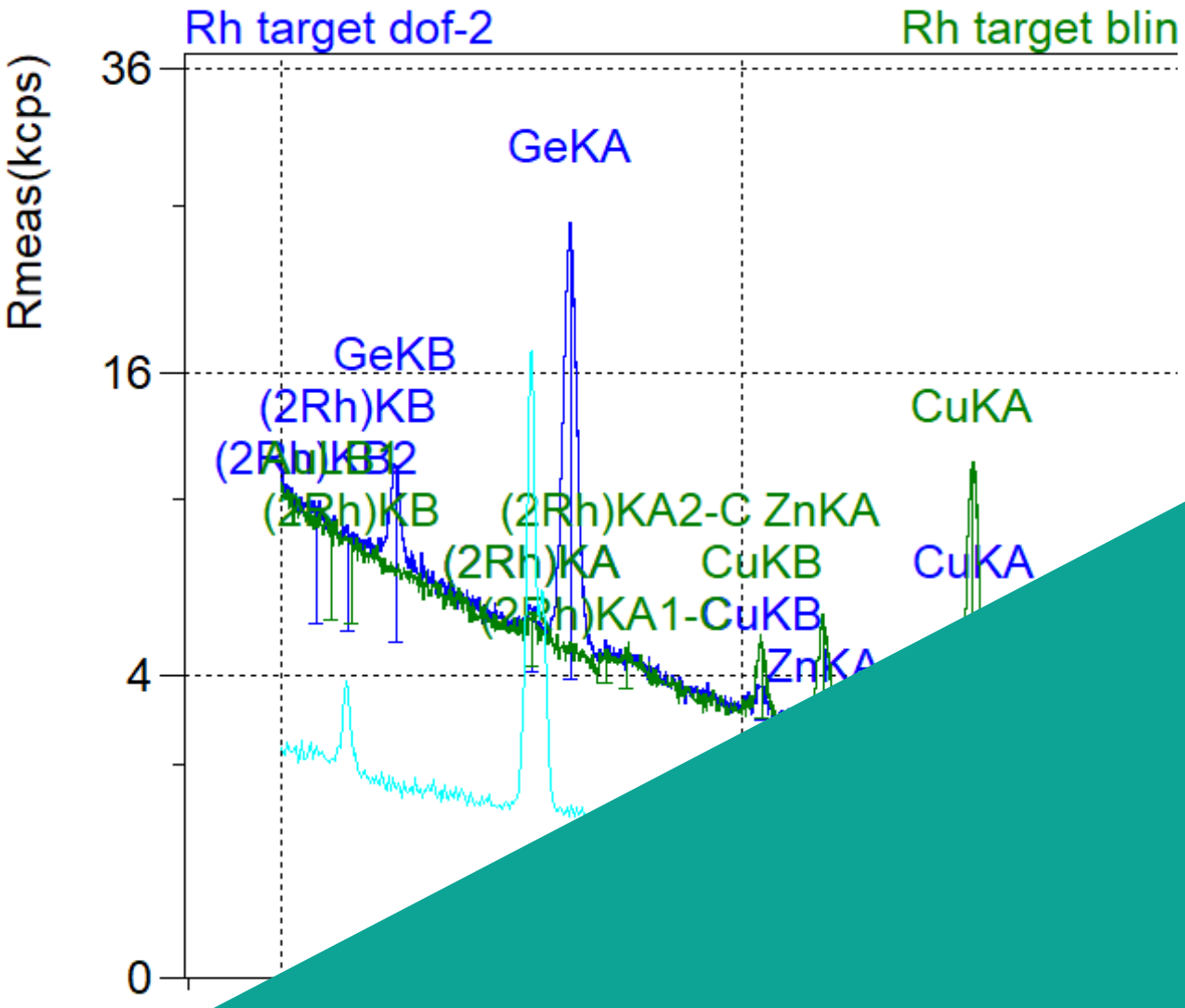
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.




# Lesbrief Malvern Panalytical

## Hoe kijk je door materiaal heen?

BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.



# Hoe kijk je door materiaal heen?

## Inhoudsopgave

Praktische informatie van de opdracht..... 3
Achtergrondinformatie ..... 5
De les..... 8
Opdrachten voor leerlingen .....16
Bijlagen .....27

## Lesbrieven Brainport digibieb

Deze lesbrief maakt deel uit van een serie lesbrieven om ontwikkelingen van bedrijven in de Brainportregio in de klas te brengen. De lesbrieven zijn ‘los’ in te zetten, maar ook als praktische opdracht in de vaklessen te gebruiken. De opdrachten zijn op school uit te voeren met weinig voorbereiding. Daarnaast is bij iedere opdracht een thuisopdracht beschreven die de leerlingen kunnen uitvoeren als zij thuis onderwijs volgen.

### Colofon

**Redactie en achtergrond**

Het lesmateriaal is ontwikkeld in opdracht van Lianne Savelberg-van den Wittenboer, Sr. projectleider Onderwijs bij Brainport Development N.V, in samenwerking met Bedrijf in de Klas. Heb je vragen of wil je de werkbladen in een bewerkbaar bestand ontvangen dan kun je contact opnemen via info@lereninbrainport.nl.

**Datum publicatie:** april 2021

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Praktische informatie van de opdracht

| | |
|---|---|
| **Thema** | Techniek |
| **Gekoppeld vak** | Scheikunde, natuurkunde, NaSK |
| **Doelgroep** | Bovenbouw vmbo, havo en vwo |
| **Eindtermen** | Naast het werken aan vakoverstijgende thema's en de oriëntatie op leren en werken (vmbo) en de algemene vaardigheden bij domein A (havo/vwo) komen ook de volgende onderwerpen langs:<br>**Havo en vwo natuurkunde**<br>• B2 medische beeldvorming<br>Let op – Panalytical maakt GEEN medische röntgenapparatuur. Maar stralingsbescherming komt wel terug.<br>• D2 elektrische en magnetische velden (röntgenbuizen) (vwo)<br>• E2 elektromagnetische straling en materie (vwo)<br>**Havo/vwo scheikunde**<br>• D1 chemische vakmethodes (analysemethode)<br>• F1 Industriële processen (analyse tijdens het proces)<br>**Vmbo NaSk-I en NaSk-II**<br>• NASK1/K/11 Straling en stralingsbescherming<br>• NASK2/K/9 Chemie en industrie<br>• NASK2/K/11 Bouw van de materie<br>• NASK2/V/1 Productieprocessen<br>• NASK2/V/2 Productonderzoek |
| **Leerdoel(en)** | Leerlingen maken kennis met aspecten die komen kijken bij het maken van röntgenanalyseapparatuur, met röntgenanalyse en de ontwikkelingen die daarbij komen kijken. |
| **Begeleiding** | Voor opdracht A: toa, docent techniek of natuurkunde<br>Voor opdracht B: docent scheikunde<br>Voor opdracht C: docent die creatief over uitdagingen van bedrijven kan meedenken. |
| **Tijdsduur** | Losse opdrachten elk ongeveer één lesuur, maar uit te breiden tot een groter (vakoverstijgend) project |
| **Benodigdheden** | Bij opdracht A:<br>• Verschillende soorten spiegels<br>• Laserpointer<br>• 'doel' (bijvoorbeeld een blokje of een stip op een papier)<br>Bij opdracht B en C:<br>• Toegang tot internet<br>• Bijlagen |
| **Locatie** | Opdracht A kan in een gewoon lokaal, maar het is leuker als je met leerlingen een groot parcours kan uitzetten.<br>Opdracht B en C kan overal. |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Doe- en denkopdrachten

Bij iedere opdracht zijn doe- en denkopdrachten in verschillende niveaus beschikbaar. Je kunt daardoor zelf differentiëren, passend bij jouw klas, tijd, lokaal en mogelijkheden.

Aan de hand van deze praktische opdracht kun je verder met de theoretische onderbouwing van het onderwerp, of je bouwt de opdracht verder uit tot een groter project van meerdere dagen, misschien wel samen met andere vakken – aan jou de keuze!

De opdrachten zijn allemaal geschikt om uit te breiden met een (online) gastles, een bedrijfsbezoek, of om op voort te borduren met een profielwerkstuk.

## De opdrachten bouwen op in denkgraad:

Het achterliggende vraagstuk bij alle opdrachten is hetzelfde, maar ze lopen van A t/m … op in moeilijkheidsgraad en ze gaan van meer doen naar meer denken. Een A-opdracht is een handelende opdracht – leerlingen maken kennis met het concept en ervaren hoe iets werkt. Een D-opdracht is theoretischer, leerlingen maken berekeningen maken of verwerken complexere informatie.

Je kunt de opdrachten goed combineren. Zo kun je leerlingen bijvoorbeeld eerst met opdracht A kennis laten maken met het concept en van daaruit met opdracht C de diepte in laten gaan.

## Link met bedrijven

De opdrachten in deze lesbrieven zijn allemaal geschreven vanuit de uitdagingen van één van de bedrijven in de Brainport regio. Maar veel van die uitdagingen spelen ook bij andere bedrijven.

Heb je contact met een bedrijf? Vraag dan met welke uitdagingen zij te maken hebben en gebruik een vergelijkbare opdracht uit de digibieb!



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Achtergrondinformatie

## Het bedrijf

Malvern Panalytical maakt röntgen-analyseapparatuur voor materiaalkarakterisering. Dat betekent dat bedrijven met hun apparaten in een fabriek controleren of bijvoorbeeld tandpasta of cement goed gemengd is, of er geen lood in paprika's zit, of staal de goede samenstelling heeft enzovoorts. Zo kun je veilig deze producten gebruiken en eten!

Stel je eens voor wat er zou gebeuren als…



Je tandpasta niet goed is gemengd



Beton bros is



Er lood in paprika's zit



Roestvrijstaal toch gaat roesten

Malvern Panalytical in Almelo maakt deze röntgenanalyse apparaten voor in de industrie. Hiermee kunnen bedrijven bijvoorbeeld hun grondstoffen en producten testen en het productieproces bijstellen als dat nodig is.

Bij Malvern Panalytical in Eindhoven maken ze onderdelen voor deze apparaten, onder andere de röntgenbuizen en detectoren.






BRAINPORT EINDHOVEN

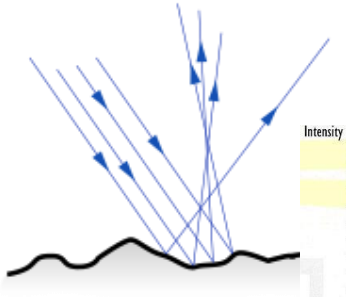
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

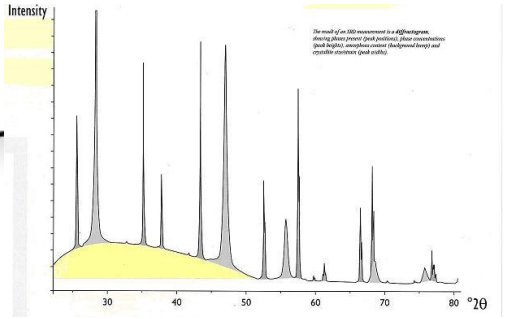
## Het project: Hoe analyseer je zo nauwkeurig mogelijk?

Met röntgenanalyse kun je op twee manieren materiaal analyseren: met röntgendiffractie (XRD) meet je de atomaire structuur van een vaste stof. Met röntgenfluorescentie (XRF) meet je de chemische samenstelling van een vaste of vloeibare stof.

Bij **röntgendiffractie** kaatsen röntgenstralen op een vaste stof met een kristalstructuur in verschillende richtingen terug[i].



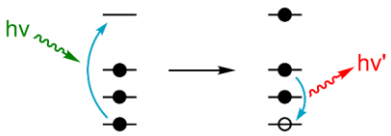


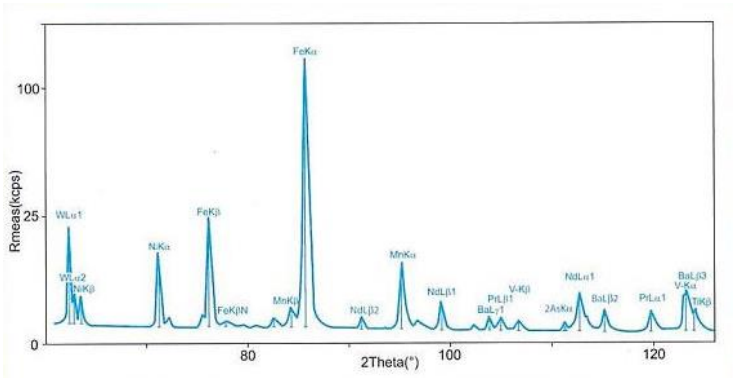



Door te meten in welke hoek de stralen terugkaatsen, kun je bepalen hoe de structuur van het kristal is – tot op de atomen nauwkeurig! Hiermee kun je bijvoorbeeld meten of staal op de juiste manier is gefabriceerd en niet per ongeluk breekt als je hier een brug mee bouwt.

Bij **röntgenfluorescentiespectrometrie** bestraal je materiaal met röntgenstraling[ii].

Afhankelijk van de samenstelling van het materiaal, zendt dat de straling met verschillende golflengtes weer terug. Afhankelijk van de moleculen heeft de ‘terug-straling’ (rood in de tekening) een andere golflengte. Door deze golflengte te meten, weet je uit welke stoffen het mengsel bestaat. Door te meten hoevéél straling je van die golflengte terugkrijgt, weet je hoevéél van die stof in het mengsel zit. Handig als je wil weten of je tandpasta goed gemengd is bijvoorbeeld!






BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## De opdracht: Hoe meet je zo nauwkeurig mogelijk?

Om met röntgendiffractie of -fluorescentie zo nauwkeurig mogelijk te meten, is het belangrijk dat je de röntgenstraling goed kan richten op het materiaal dat je wil meten. In opdracht A ervaren leerlingen wat er komt kijken bij het supernauwkeurig richten van (röntgen)stralen. Leerlingen maken in opdracht B kennis met röntgenanalyse om stoffen te onderzoeken. In opdracht C denken leerlingen na over ontwikkelingen bij bedrijven en wat dat betekent voor de onderdelen van een röntgenanalyse apparaat die Malvern Panalytical in Eindhoven ontwikkelt.







BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# De les

## Introductie door de docent

- Maak zo mogelijk een link naar voorgaande lessen;
- Vertel de leerlingen over Malvern Panalytical en röntgenanalyse (zie achtergrondinformatie);
- Beeldmateriaal dat je kunt inzetten om deze uitleg te ondersteunen, vind je hier:



Malvern Panalytical[iii]



Why do we analyze materials using X-ray diffraction?[iv]



What do you analyze with X-ray fluorescence?[v]

- Vertel de globale opzet van de opdracht.

## Uitvoering

De opdracht bestaat uit verschillende deelopdrachten. Je kunt kiezen om één van deze deelopdrachten uit te voeren die past bij jouw klas en hoeveel tijd je wil besteden aan de opdracht. Je kunt bijvoorbeeld ook opdrachten combineren (bijvoorbeeld A en C).

### A) Hoe richt je röntgenstralen?

In opdracht A ervaren leerlingen wat er komt kijken bij het supernauwkeurig richten van (röntgen)stralen. Hiervoor laten zij zelf laserstralen een parcours volgen. Vanuit de uitdagingen die zij daarbij tegenkomen, maken zij de vertaling naar het supernauwkeurig richten van röntgenstralen.

### B) Hoe analyseer je een stof met röntgenstralen?

Leerlingen analyseren een röntgendiffractiespectrum om de samenstelling van een poeder te onderzoeken en vier röntgenfluorescentie spectra om de samenstelling van cosmetica te achterhalen.

### C) Ontwikkelingen in de röntgenanalyse

In opdracht C zien de leerlingen in een video hoe röntgenanalyse wordt ingezet bij de ontginning van een stuk land. Daarbij bedenken ze welke eisen dat stelt aan de (onderdelen van) een röntgenanalyse apparaat. Daarnaast denken ze na over de werkomstandigheden (veiligheid en schoon werken) bij Panalytical. Tenslotte brengen de leerlingen in kaart welke uitdagingen bij bedrijven welke ontwikkelingen vragen aan de onderdelen van een röntgenanalyseapparaat.



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Thuis-opdracht

Opdracht A kunnen leerlingen zelf thuis uitvoeren, mits zij een laserpointer hebben liggen en daar veilig mee kunnen werken.

De andere opdrachten kunnen de leerlingen ook vanuit huis doen.

## Evaluatie

Bespreek met de leerlingen

- Wat vonden zij interessant aan de doe-opdracht?
- Hoe zouden zij de onderdelen uit deze opdracht tegen kunnen komen in hun toekomstige beroep?
- Wat vinden de leerlingen interessant aan de uitdagingen van materiaalanalyse?
- Wat vinden de leerlingen interessant aan het ontwerp van röntgenspectroscopie?
- Welke onderwerpen uit het lesboek zien zij bij deze opdracht terugkomen? Waarom leren ze dat dus?

## Tips voor de docent

### A) Hoe richt je röntgenstralen?

**VEILIGHEID** Denk bij het werken met lasers aan de veiligheid van de leerlingen en personeel! Lees voor meer informatie het artikel ‘veilig inzetten van lasers in en rond het klaslokaal’. https://www.voion.nl/media/3773/vo-signaal-laser-veiligheid.pdf.

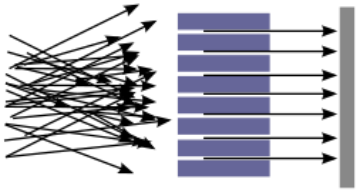
- Om de laserstralen beter te kunnen volgen zou je eventueel een stoffige omgeving kunnen maken. Let hierbij op leerlingen met luchtwegproblemen.
- Help de leerlingen indien nodig met de ‘vertaling’ van zaklamp in de tekening naar laserpointer naar röntgenbuis (waar de straling dus juist heel diffuus uitkomt – deze richt je gelijk met een collimator)
- Verwerking: laat de leerlingen een foto maken van hun opstelling. Hier kun je eventueel makkelijk een gecombineerder wis/natuurkunde opgave van maken door ze de hoeken te laten meten etc.



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

**Antwoord op de opgaven:**

1. 
5. Bij deze opdracht is het niet de nodig dat leerlingen het antwoord goed hebben, wel dat ze 'zinnige' dingen benoemen die ze kunnen onderbouwen.
   Voorbeelden van goede antwoorden kunnen zijn:
   - Beweging van het apparaat: hoe houd je de bron stil?
   - Hoe zorg je dat het signaal niet afzwakt?
   - Hoe zorg je dat de spiegel precies in de goede richting staat?
   - Etc.

a) Deze vraag zal voor sommige leerlingen best lastig zijn. Doe deze eventueel samen in een gesprek met de klas.
   Maatregelen om medewerkers te beschermen kunnen bijvoorbeeld zijn:
   a. Medewerkers krijgen goede training in hoe ze veilig kunnen werken
   b. De apparaten worden ingepakt in lood
   c. Werknemers hebben apparaatjes bij zich die meet hoeveel röntgenstraling ze opdoen.
   d. Meer tips staan hier: https://uzimet.nl/nieuws/veilig_werken_met_straling/

## B) Hoe analyseer je een stof met röntgenstralen?

- Print de bijlagen in kleur.
- Het XRD-spectrum (opdracht 1 t/m 3) komt uit deze bron[vi]:
- De XRF spectra (opdracht 4 t/m 8) komen uit deze bron[vii]:

XRD XRF

**Antwoord op de opgaven:**

1. Het poeder bevat: anataas, korund (en een beetje rutiel)
2. De driehoekjes onder de grafiek komen overeen met waar een piek te zien moet zijn. Voor anataas en korund kloppen alle driehoekjes. Voor rutiel niet. (Maar een paar pieken zijn niet door anataas en korund te verklaren, dus er zal ook nog wel een beetje rutiel in zitten.)
   Tip: afhankelijk van de diepgang die je wil, vraag je meer of minder detail.
3. Om te berekenen hoeveel van elk mineraal in het mengsel zit, moet je de hoogte van de pieken meten.
4. Het **roze** spectrum hoort bij de magnetische nagellak, want deze bevat als enige een piek bij ijzer (Fe)
5. Het **turquoise** spectrum hoort bij de donkerste oogschaduw omdat deze (de hoogste) pieken van K, Ti en Fe bevat.
6. Het **zwarte** spectrum hoort bij de meest rode/paarse lippenstift, want die bevat de hoogste piek bij bromine (Br)



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

7. De andere lippenstiften kunnen **wel** rood zijn, omdat de andere spectra ook een beetje Br bevatten. En/of misschien zijn er meer stoffen die voor een rode kleur kunnen zorgen.
8. Ti en Fe maken make-up donker. Br maakt make-up rood/paars.
   Bij de licht roze lipgloss hoort dus de zwarte lijn, omdat die pieken bij Ti en Fe klein (dus de lipgloss licht) zijn. Ook is de piek bij Br lager, wat de lipgloss minder rood/paars maakt.
   Bij de donkerrode lipgloss hoort het rode spectrum, omdat de pieken van Ti en Fe hoog zijn (dus donker). Br is bij de zwarte lijn ook hoger, dus meer rood/paarse kleur geeft.

**Extra uitdaging**

- De bronnen bij de opgave zijn in het Engels. Is dat een probleem? Vraag dan aan de docent Engels om mee te helpen of zet Google translate aan.

a)

| XRF | XRD |
|---|---|
| Elemental composition:<br>Elementaire (chemische) samenstelling van het monster | Atomic structure:<br>Atoomstructuur van vaste stoffen, dus de positie van de atomen in de moleculen |
| Solid and liquid materials:<br>Vaste stoffen en vloeistoffen | Solid materials: vaste stoffen |
| Qualitative and quantitative analysis:<br>Kwalitatieve (welke elementen) en kwantitatieve (hoeveel van een stof) analyse. | Qualitative analysis<br>Kwalitatieve analyse – dus hoeveelheden alleen in vergelijking tot bekende spectra |

b) Bij de toepassing van XRF of XRD gaat het niet om het góede antwoord. Wel of de leerlingen hun antwoord kunnen onderbouwen, gebruik makend uit de informatie uit de bronnen en gezond verstand: De belangrijkste toepassing van XRD is het bepalen van de kristalstructuur. Ook is he mogelijk om spanning in materiaal te meten.

| Toepassing | XRF[viii] | XRD[ix] | Omdat… |
|---|---|---|---|
| Bepalen chroomgehalte staal tijdens productieproces | v | | Kwantitatief, dus XRF |
| Bepalen van zwavelgehalte in olie voor petrochemische industrie | v | | Kwantitatief, dus XRF |
| Bepalen van cadmium in de bodem – op zoek naar milieuverontreiniging | v | | Kwantitatief, dus XRF |
| Bepalen van de kwaliteit van cement in een cementfabriek | v | v | XRF voor de samenstelling, XRD om de kristalstructuur te meten. |
| Controleren van lood in paprikapoeder | v | | Kwantitatief, dus XRF |
| Analyse van platina in katalysatoren voor auto's | v | v | zowel hoeveelheid (XRF) als structuur/depositie (XRD) |
| Bepaling samenstelling roestvrijstaal (RVS) | v | v | zowel hoeveelheid (XRF) als structuur (XRD) |
| Meten van de dikte en de samenstelling van heel dunne laagjes op halfgeleiders (microchips) | | v | Gaat om de structuur van de lagen dus XRD |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## C) Ontwikkelingen in de röntgenanalyse

- Je kunt leerlingen ook één van de opdrachten laten doen, daarna uitwisselen.
- De video's zijn in het Engels. Is dat lastig? Vraag aan je collega van Engels of ze de video's in zijn of haar les mogen 'vertalen'.

**Antwoord op de opgaven:**

1. Röntgenanalyse bij het ontginnen van een stuk land:
   a) De apparaten van Panalytical worden ingezet om:
      - Nieuwe minerale grondstoffen op locatie te onderzoeken. Zowel met de hand als in een mobiel lab.
      - Tijdens het transport over lopende band continue en real-time de kwaliteit van de ijzererts te bepalen. En om de verschillende samenstellingen te scheiden van elkaar.
      - Tijdens het verrijkingsproces van de erts automatisch samples te nemen, deze op de juiste manier voor te bereiden en vervolgens te testen en automatisch (en dus snel!) ingrijpen wanneer nodig.
      - Te kunnen voldoen aan alle milieu eisen (uitstoot, sporen in omgeving en evt. hergebruik van afval).

| Eisen van de klant | Apparaten | Onderdelen |
|---|---|---|
| Zo nauwkeurig als nodig | Verschillende opties | Röntgenbuis kan meer of minder nauwkeurig of krachtig. Vaak is onderweg minder nauwkeurige analyse nodig, dus kan apparaat kleiner. Andere (goedkopere) kristallen, minder nauwkeurige collimator, minder nauwkeurige detector |
| Handzaam zijn | Klein | Moeten ook kleiner. Kan als het minder nauwkeurig is, maar er is vast ook vraag naar kleine, handzame nauwkeurige apparatuur |
| Mobiel zijn | Licht, moet niet heel stil hoeven te staan, moet tegen een stootje kunnen | Zo weinig mogelijk en zo licht mogelijk materiaal gebruiken. |
| Makkelijk mee te werken | 'fool proof', Handig uitleesscherm, geen grafiek maar gevraagde waarde. | Software die de resultaten kan vertalen naar de gevraagde meetwaarde |
| Snel | Goede software | Snelle software |
| Automatisch monsters verwerken | Systeem er omheen dat monsters verwerkt. | In de kleine apparaten: alles compact bij elkaar, makkelijke opening voor monsters. In de grote apparaten: ook de 'handeling' erbij – dus het grijpen en verplaatsen van de monsters. |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

2. Stofvrij en schoon werken door:
   a) Uit de video:
      - Extra goede hygiëne van de medewerkers
      - Werken in afgesloten schone ruimtes
      - Labjassen, haarnetjes en handschoenen

      Verder:

      - productieruimtes zijn alleen bereikbaar via sluizen
      - Plakmatten bij het betreden van de schone ruimte.
      - iedereen draagt in de productieruimte speciale jassen
      - stofarme kasten opgesteld voor montage onder relatief schone condities.
      - Medewerkers dienen handschoenen, haarnetjes mondkapjes te dragen
      - Kasten voor opslag van onderdelen worden goed gereinigd (met stikstof gespoeld)
      - transport van onderdelen en samenstellingen met gesloten wagentjes.
   b) Stralingsbescherming in de fabriek
      - Voor elk röntgenapparaat is een vergunning nodig.
      - Alle apparaten hebben een stralingsafscherming.
      - Waarschuwingslampen om medewerkers alert te houden
      - Goede training geven aan personeel
      - Personeel een persoonlijke stralingsmeter geven
      - Zie ook: https://uzimet.nl/nieuws/veilig_werken_met_straling/
   c) Stralingsbescherming bij bedrijven waar een röntgenanalyse apparaat staat:
      - Medewerkers krijgen goede training in hoe ze veilig kunnen werken
      - De apparaten worden ingepakt in lood
      - Waarschuwingsborden bij de betreffende apparatuur

3. Zie bijlage ‘antwoord opdracht C3’

## Verdieping en verbreding

### Samen met bedrijven

- Deze opdracht kun je goed koppelen aan een (online) bedrijfsbezoek of gastles van Malvern Panalytical. Stuur hiervoor een bericht naar receptie.eindhoven@panalytical.com.
- Verschillende bedrijven gebruiken de röntgenanalyse apparatuur van Malvern Panalytical om hun producten te controleren. Denk bijvoorbeeld aan ASML, DSM, ENCI, Eurofins Materials Science, Philips innovation services, Hoogovens, NXP, Smart Photonics, Shell, Q8, SGS, TU-Eindhoven. Pas de opdracht aan de uitdagingen van dat bedrijf en het product dat zij ontwikkelen aan.
- Naast Malvern Panalytical zijn er ook andere bedrijven in de Brainportregio die apparatuur maken voor de analyse van materialen en producten, maar ook van dieren en mensen! Mooie voorbeelden hiervan zijn onder andere Thermo Fisher – zij maken elektronen microscopen waarmee je ook het oppervlak van materialen kunt onderzoeken en Philips die analyseapparatuur voor de medische sector maakt. In de Brainport Digibieb staat onder andere een opdracht van Philips over MRI-scanners.



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Vakoverstijgende opdracht met…

- **Wiskunde**
  Voor het maken van de spectra is veel wiskunde nodig. Zie bijvoorbeeld dit artikel van Nemo: https://www.nemokennislink.nl/publicaties/eiwitrijke-wiskunde/
- **Biologie**
  In een project over voedselveiligheid en het inline controleren van voedingsmiddelen (lood in paprika's bijvoorbeeld)
- **Lichamelijke opvoeding**
  Het opzetten van het 'laserparcours' kun je ook samen met de gymsectie doen – dan kunnen de leerlingen helemaal ingewikkelde parcours bedenken!
- **Engels**
  Malvern is van oorsprong een Engels bedrijf. De voertaal op de website van Malvern PANanalytical en in veel van de YouTube video's is dat dus ook. Bekijk de video's in de les Engels en help ze zo beter begrijpen wat in de video wordt verteld.
- **Moderne vreemde talen**
  Vraag, als je bij een bedrijf op bezoek gaat, ook of zij medewerkers hebben uit een Engels-, Frans- of Duitstalig land, of daar veel mee samenwerken. Leerlingen met een interesse in talen kunnen vragen voorbereiden en aan die medewerkers stellen. Denk hierbij aan cultuurverschillen, taalbarrière, vaktermen, verschillen in opleidingen, etc.

## Voor leerlingen met een niet-Nederlandse achtergrond

- Misschien heeft het bedrijf waar je op bezoek gaat ook Pools, Turkse of Arabisch sprekende medewerkers en heb jij leerlingen die die taal spreken. Vraag of deze medewerker juist die leerlingen in hun eigen taal wil vertellen wat het werk inhoudt, hoe belangrijk het is (of niet) om goed Nederlands te spreken etc.

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Meer informatie over…

### Malvern Panalytical

Website van Malvern Panalytical[x]

YouTube kanaal van Malvern Panalytical[xi]

Gesprek met Malvern Panalytical – Dutch Technology Week 2021[xii] (25 minuten)

### Werken bij Malvern Panalytical

Software engineer (HBO/WO)[xiii]

test manager (WO)[xiv]

montage/inspecteur[xv]

### Röntgenstraling

Wikipedia Röntgenstraling[xvi]

### XRD

Wikipedia XRD[xvii]

Malvern Panalytical - Why do we analyze materials using X-ray diffraction?[xviii]

### XRF

Wikipedia XRF[xix]

Malvern Panalytical - What do you analyze with X-ray fluorescence?[xx]



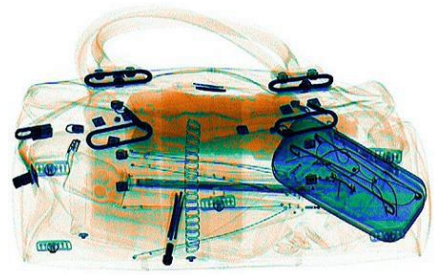
BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Opdrachten voor leerlingen

Röntgenstraling is een vorm van licht met een hele korte golflengte. Door deze korte golflengte kan röntgenstraling door veel materialen heen: we kunnen met röntgenfoto's bijvoorbeeld botten in ons lichaam zichtbaar maken. Op het vliegveld kunnen we met röntgenstraling de inhoud van koffers bekijken.





De korte golflengte maakt ook dat we stoffen op een andere manier kunnen onderzoeken:

Door te meten hoe een kristal röntgenstralen weerkaatst, kun je bepalen uit welke elementen dat kristal bestaat. Door te meten welke golflengte van röntgenstralen een stof weerkaatst, kun je meten uit welke stoffen een mengsel bestaat.

Als je bijvoorbeeld op zoek bent naar mineralen in de aarde, kun je met röntgenstralen meten of je in het goede stuk aan het graven bent.

In fabrieken waar staal gemaakt wordt, meten ze met röntgenstralen of het staal de goede samenstelling en structuur heeft.

Malvern Panalytical in Almelo maakt röntgenapparatuur om stoffen te onderzoeken.

Bij Malvern Panalytical in Eindhoven worden onderdelen gemaakt voor deze röntgenapparatuur.



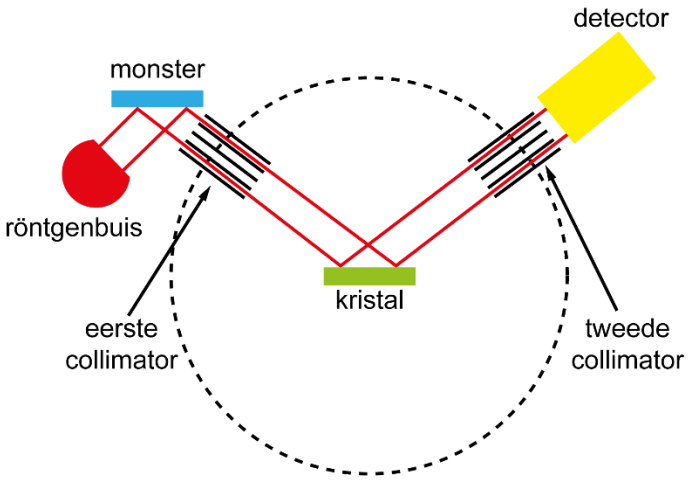
BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# A) Hoe richt je röntgenstralen?

Röntgenstralen worden opgewekt in de **röntgenbuis**. Als de röntgenstraling de röntgenbuis verlaat, gaat deze via het **monster**, via een **kristal** naar de detector.

Voor de analyse is het belangrijk dat de straling in de juiste hoek op het kristal terecht komt. Een **collimator** zorgt dat alleen straling die evenwijdig loopt, het kristal bereikt.




Röntgenapparaat



Twee verschillende collimatoren

Een collimator bestaat uit een aantal dunne metalen plaatjes op een bepaalde afstand van elkaar.

1. Teken in onderstaande figuur hoe de collimator een evenwijdige bundel straling ‘maakt’.






BRAINPORT EINDHOVEN

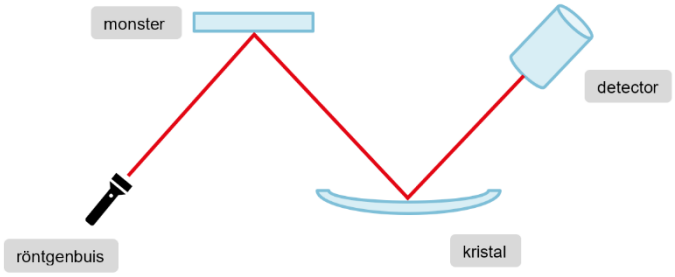
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

Het kristal reflecteert de straling naar de detector. De röntgenstraling gaat dus vanuit de röntgenbuis via het monster via het kristal naar de detector.

Net als het monster en het kristal, reflecteert een spiegel ook.

2. Bouw met spiegels en een laserpointer onderstaande opstelling.

   Gebruik een duidelijk ‘doel’ als detector: wat moet je met de laserpointer raken?




Om goed te kunnen meten, is het belangrijk om de stralen zo nauwkeurig mogelijk te richten. We gaan de opstelling moeilijker maken. Hierdoor ervaar je wat er komt kijken bij het súpernauwkeurig richten van stralen.

3. Bouw een opstelling met
   - Grotere afstand tussen jullie laserpointer, de spiegels en de ‘detector’.
   - Meer spiegels: de ‘route’ wordt dus ingewikkelder!
     Probeer bijvoorbeeld een soort doolhof voor de stralen te maken
   - Maak je doel kleiner: hoe preciezer je een doel moet raken, hoe lastiger.

Teken hieronder jullie opstelling.

Zet hierbij ook de **afstand** tussen en de **afmetingen** van de verschillende onderdelen.



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

4. Wat ging makkelijk bij het richten van de laserpointer? Wat was lastig?

| |
|---|
| Dit ging makkelijk:<br><br>Dit was lastig: |

Voor een goede analyse moeten de röntgenstraling heel nauwkeurig gericht kunnen worden.

5. Kijk eens naar je antwoord bij 3. Noem minimaal vier dingen die lastig zouden kunnen zijn als je supernauwkeurig zou moeten richten.

| |
|---|
| Als je supernauwkeurig moet richten, dan kan het lastig zijn om: |

Blootstelling aan röntgenstraling is gevaarlijk. Daarom worden de apparaten afgeschermd.

6. Bekijk deze video[xxi].
7. Bedenk minimaal drie maatregelen die Malvern Panalytical kan nemen om medewerkers te beschermen tegen röntgenstraling.

| |
|---|
| Om medewerkers te beschermen tegen röntgenstraling, kun je deze dingen doen: |



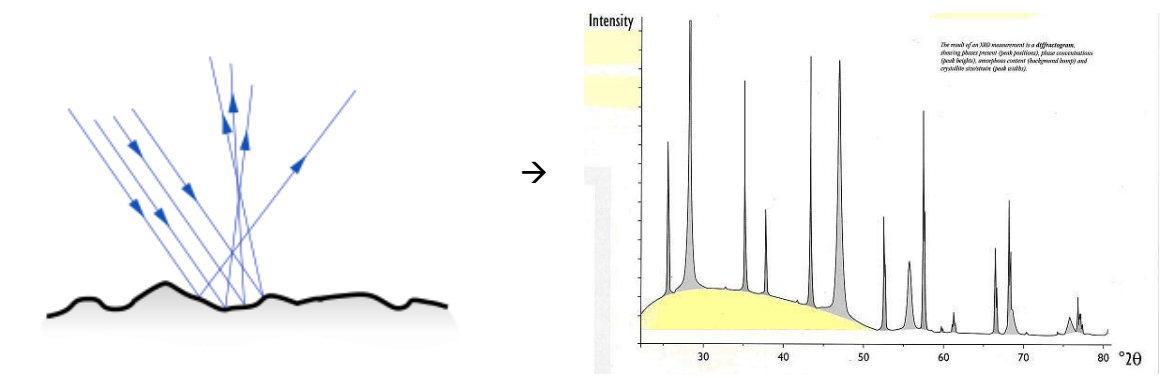
BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# B) Hoe analyseer je een stof met röntgenstralen?

Met röntgenstralen kun je op twee manieren materialen onderzoeken: met **röntgendiffractie** meet je de structuur van een vaste stof. Met **röntgenfluorescentie** meet je de chemische samenstelling van een vaste of vloeibare stof.

Bij **röntgendiffractie (XRD)** kaatsen röntgenstralen op een vaste stof met een kristalstructuur in verschillende richtingen terug[xxii].




Door te meten in welke hoek de stralen terugkaatsen, kun je bepalen hoe de structuur van het kristal is – tot op de atomen nauwkeurig! Hiermee kun je bijvoorbeeld meten of staal op de juiste manier is gefabriceerd en niet per ongeluk breekt als je hier een brug mee bouwt.

Met XRD kun je bijvoorbeeld onderzoeken waar een bepaald poeder uit bestaat.

In de bijlage staat een XRD spectrum van een poedermengsel met een referentie naar de XRD-pieken die de mineralen anataas, rutiel (twee vormen van titaandioxide) en korund (aluminiumoxide) geven.

1. Welk van de drie mineralen bevat het poeder?

| |
|---|
| Het poeder bevat: |

2. Hoe heb je dat beredeneerd?

| |
|---|
| Dat kun je zien aan: |

Met dit spectrum kun je ook berekenen hoeveel van elk mineraal in het mengsel zit.

3. Wat moet je daarvoor meten?

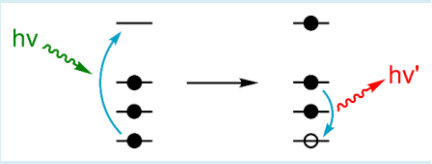
| |
|---|
| Hiervoor moet je meten: |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

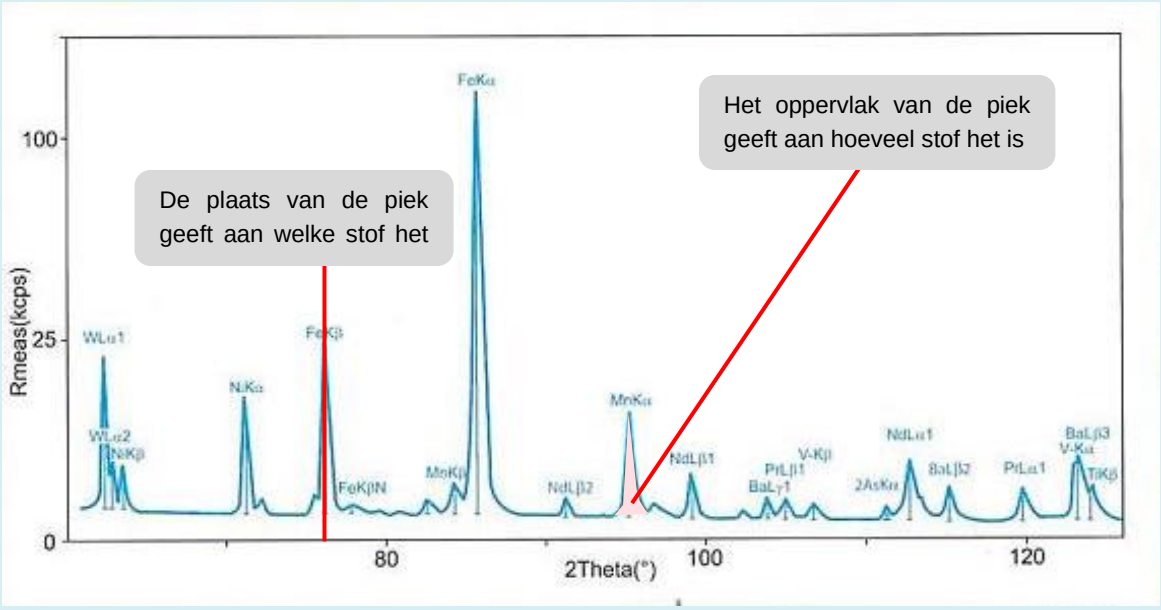
Bij **röntgenfluorescentiespectrometrie** bestraal je materiaal met röntgenstraling[xxiii].




Afhankelijk van de samenstelling van het materiaal zendt dat de straling met een specifieke golflengtes weer terug.

Door deze golflengte te meten, weet je uit **welke** stoffen het mengsel bestaat.

Door te meten hoevéél straling je van die golflengte terugkrijgt, weet je **hoevéél** van die stof in het mengsel zit. Handig als je wil weten wat er in je cosmetica zit bijvoorbeeld!




Een keuringsdienst voor cosmetica wil weten welke stoffen in bepaalde nagellak (nailpolish), oogschaduw (eye shadow), lippenstift (lipstick) en lipgloss zit.

In de bijlage XRF spectra van verschillende cosmetica (a en b en c en d) zie je deze spectra.

In elk van de spectra zijn verschillende soorten nagellak, lipstick etc getest. De verschillende soorten hebben elk een eigen kleur lijn in elk spectrum. Je kunt niet alle kleuren helemaal goed onderscheiden omdat er veel overlap zit in de spectra – de basis van de cosmetica is tenslotte steeds hetzelfde.

In diagram a (nailpolish) zie je de spectra van zes verschillende nagellakken [xxiv].




4. Eén van de nagellakken is magnetische nagellak.
   Welke kleur lijn hoort bij deze nagellak?

   Het spectrum van de magnetische nagellak heeft de volgende kleur:
   Roze/blauw/groen/geel/oranje/turquoise*
   Omdat..

   ** doorstrepen wat niet van toepassing is*



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.



In diagram b (eye shadow) staan verschillende kleurtonen van oogschaduw.

Hoe meer K, Ti and Fe de oogschaduw bevat, hoe donkerder de kleur.

5. Welke kleur lijn hoort bij de donkerste oogschaduw?

Het spectrum van de donkerste oogschaduw heeft de volgende kleur:
Roze/blauw/groen/geel/oranje/turquoise*
Omdat..



In het onderzoek werden twaalf lippenstiften getest.

Bromine wordt over het algemeen gebruikt om een rode of paarse kleur te geven.

6. Welke kleur lijn geeft het spectrum weer van een rode of paarse lippenstift?

Het spectrum van de rode of paarse lippenstift heeft de volgende kleur:

Paars/roze/blauw/grijs/oranje*, omdat:

7. Wil dat zeggen dat de andere lippenstiften zeker niet rood of paars zijn?

De andere lippenstiften kunnen wel/niet* rood of paars zijn, omdat:




Tenslotte zijn twee lipglossen getest.
De ene is donkerrood, de andere heeft een licht roze kleur.

8. Ga met behulp van de informatie bij de andere spectra na, welke lijn bij welke lipgloss hoort.

Bij de licht roze lipgloss hoort de rode/zwarte* lijn, omdat:

Bij de donkerrode lipgloss hoort de rode/zwarte* lijn, omdat:

** doorstrepen wat niet van toepassing is*



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Extra uitdaging

Röntgendiffractie en röntgenfluorescentie worden voor verschillende doeleinden gebruikt, maar kunnen ook sámen worden ingezet.

a) Lees onderstaande bronnen. Zet de informatie in een tabel met overeenkomsten en verschillen tussen XRF en XRD.

XRF vs XRD (1) [xxv]

XRF vs XRD (2)[xxvi]

| XRF | XRD |
|---|---|
| Elementaire (chemische) samenstelling | Kristalstructuur |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

b) Geef aan voor welke toepassing je welke methode (of een combinatie van beide methoden) inzet en waarom:

| Toepassing | XRF | XRD | Omdat… |
|---|---|---|---|
| Bepalen chroomgehalte staal tijdens productieproces | | | |
| Bepalen van zwavelgehalte in olie voor petrochemische industrie | | | |
| Bepalen van cadmium in de bodem – op zoek naar milieuverontreiniging | | | |
| Bepalen van de kristalstructuur van cement | | | |
| Controleren van lood in paprikapoeder | | | |
| Analyse van platina in katalysatoren voor auto's | | | |
| Bepaling samenstelling roestvrijstaal (RVS) | | | |
| Meten van de dikte en de samenstelling van heel dunne laagjes op halfgeleiders (microchips) | | | |



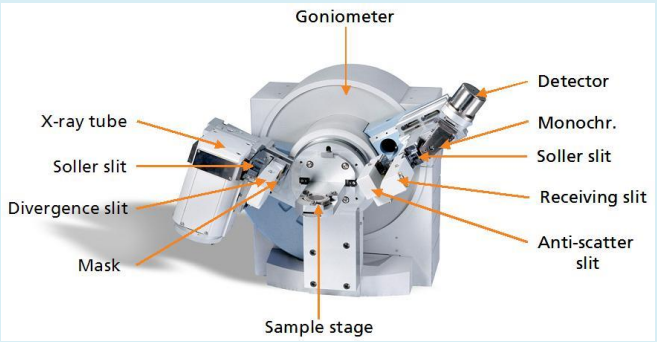
BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# C) Ontwikkelingen in de röntgenanalyse

In een fabriek als die van Malvern Panalytical vindt veel R&D werk plaats. R&D staat research and development: onderzoek en ontwikkeling. Hier blijven ze de onderdelen en de machines waarmee ze werken verbeteren.

Deze verbeteringen worden gevoed door nieuwe ideeën van medewerkers, maar ook doordat klanten andere eisen stellen. Door ontwikkelingen in de technologie (nauwkeurige gereedschappen, nieuwe materialen, meer rekenkracht van computers) blijft deze ontwikkeling altijd doorgaan.




Onderdelen die Malvern Panalytical in Eindhoven maakt, staan in bijlage ‘werking van een röntgenapparaat’.

In deze opdrachten maak je kennis met ontwikkelingen bij Malvern Panalytical.

## Opdracht 1

Bekijk deze video[xxvii], waarin Malvern Panalytical laat zien welke oplossingen zij hebben om veilig en snel een stuk land te ontginnen.

Beantwoord daarna de volgende vragen:

a) Waarvoor worden de apparaten van Malvern Panalytical ingezet in deze video?
b) Welke eisen stellen klanten aan de apparaten?
c) Welke eisen stelt dat aan de apparaten?
d) Welke eisen stelt dat aan de onderdelen in die apparaten?

## Opdracht 2

Omdat alles heel nauwkeurig komt voor een goede analyse, moeten alle onderdelen nauwkeurig gemaakt worden: de maten moeten kloppen, nergens mag het lekken enzovoorts. Om dit te kunnen garanderen, wordt bij Panalytical stofvrij gewerkt.

Bekijk deze video[xxviii] en beantwoord onderstaande vragen.

a) Wat kun je doen om schoon te werken?

Blootstelling aan röntgenstraling is gevaarlijk. Daarom worden de apparaten afgeschermd.

b) Hoe zou je in de fabriek – bij het werken aan onderdelen van de röntgenapparatuur kunnen zorgen voor stralingsbescherming?
c) Hoe kun je bij bedrijven waar een röntgenanalyse apparaat staat kunnen zorgen voor stralingsbescherming?



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

## Opdracht 3

Hieronder staat een aantal uitdagingen bij het maken van onderdelen van een röntgenanalyse apparaat. Geef bij iedere uitdaging aan welk onderdeel betrokken is en welke ontwikkeling plaats vindt.

| Uitdaging | onderdeel | ontwikkeling |
|---|---|---|
| ***Nog betere analyses, zodat je kleinere hoeveelheden van een stof kunt detecteren*** | | |
| hogere spectrale zuiverheid (zo 'scherp' mogelijke golflengtes) | | |
| Röntgenstraling ondervind weerstand bij het uittreden van de röntgenbuis. | | |
| ***Veilig werken*** | | |
| Berylliumstof is kankerverwekkend | | |
| ***Gebruiksgemak*** | | |
| De apparaten moeten makkelijk te plaatsen en/of mee te nemen zijn | | |
| De apparaten moeten door iedereen te bedienen en uit te lezen zijn | | |
| Onderhoud is door onder andere hoogspanning en stralingsveiligheid specialistisch werk. | | |



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

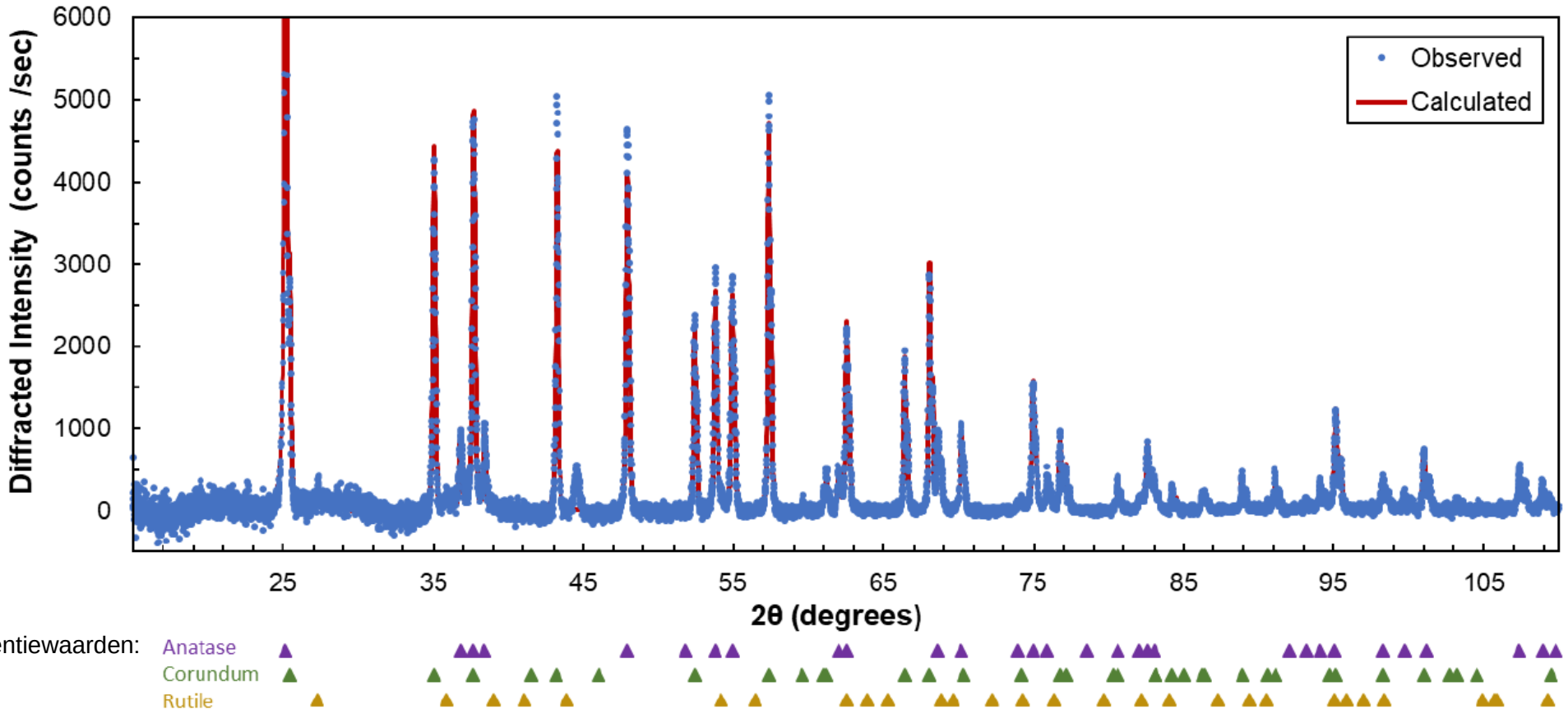
# Bijlagen



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# XRD spectrum van een poedermengsel



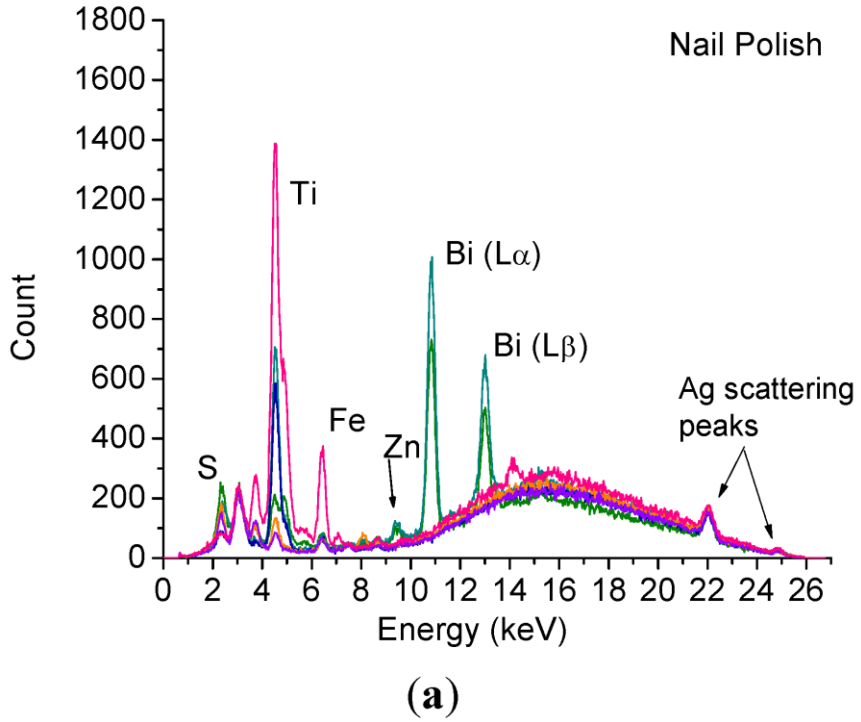


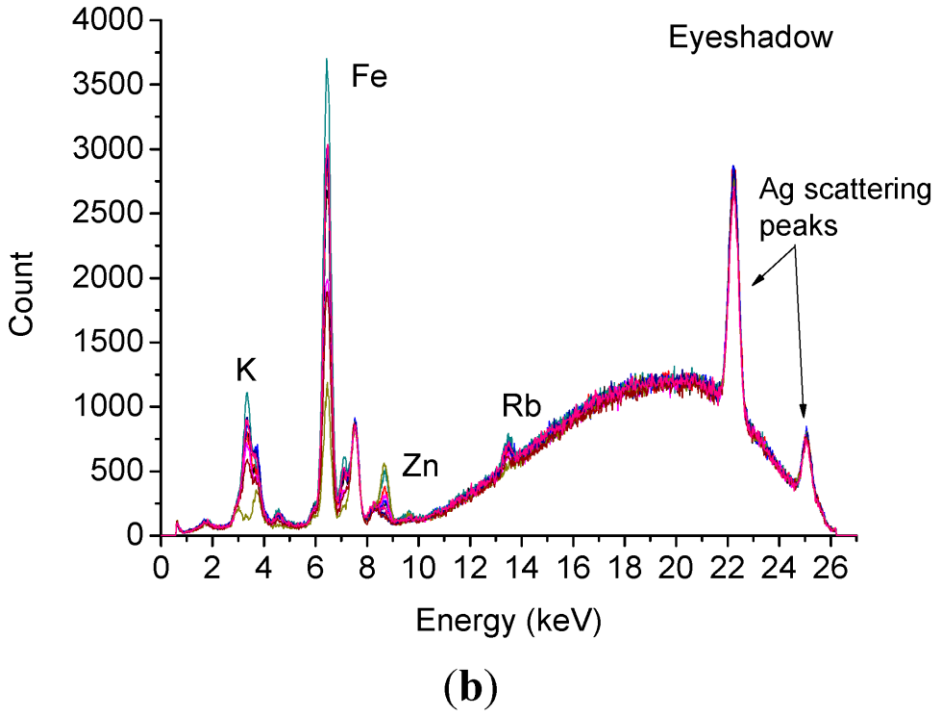

BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# XRF spectra van verschillende cosmetica (a en b)

a) zes spectra van nagellakken, (b) negen spectra van oogschaduwen



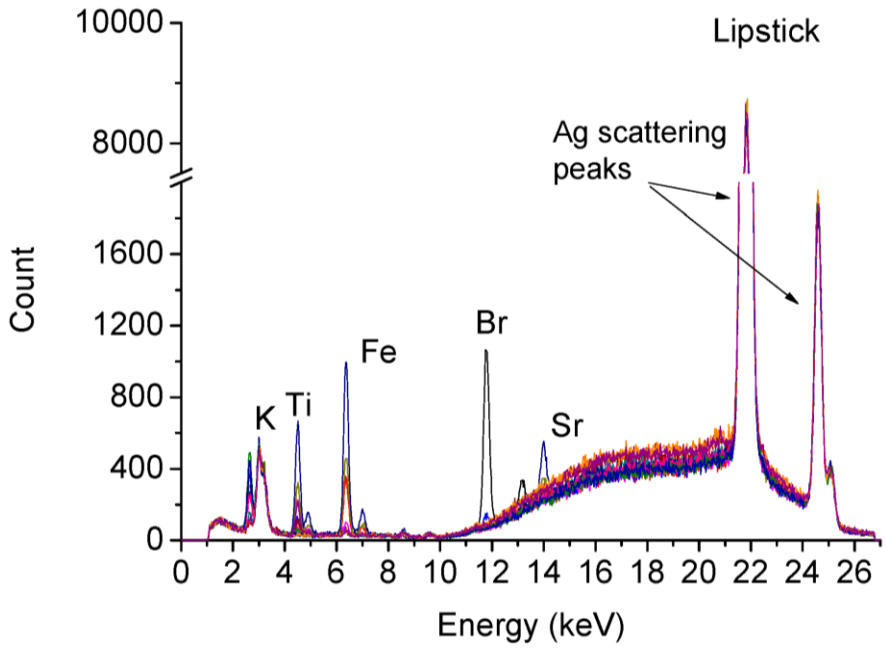



BRAINPORT EINDHOVEN

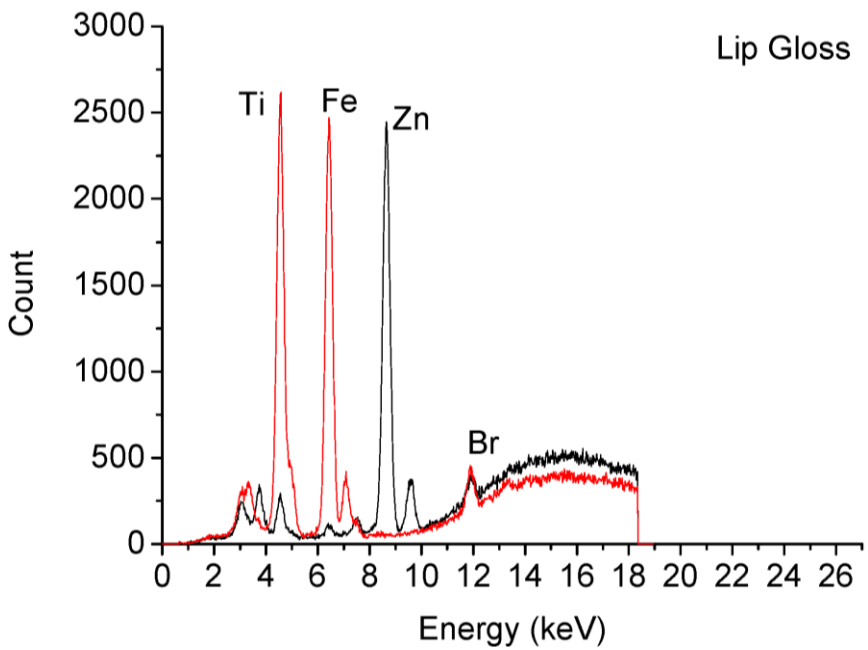
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# XRF spectra van verschillende cosmetica (c en d)

(c) twaalf spectra van lippenstiften, (d) twee spectra van lip glossen




(c)




(d)



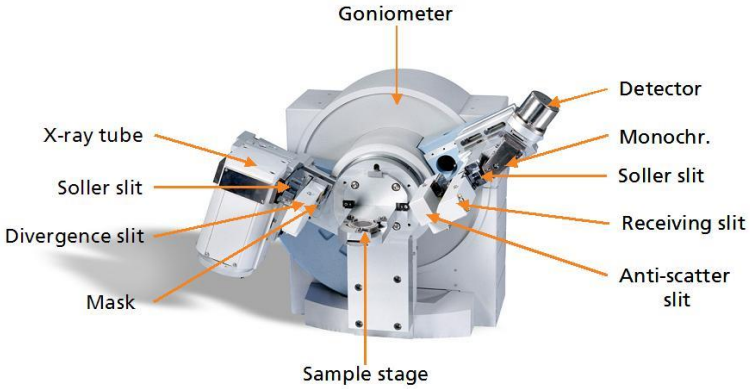
BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Werking van een röntgenapparaat

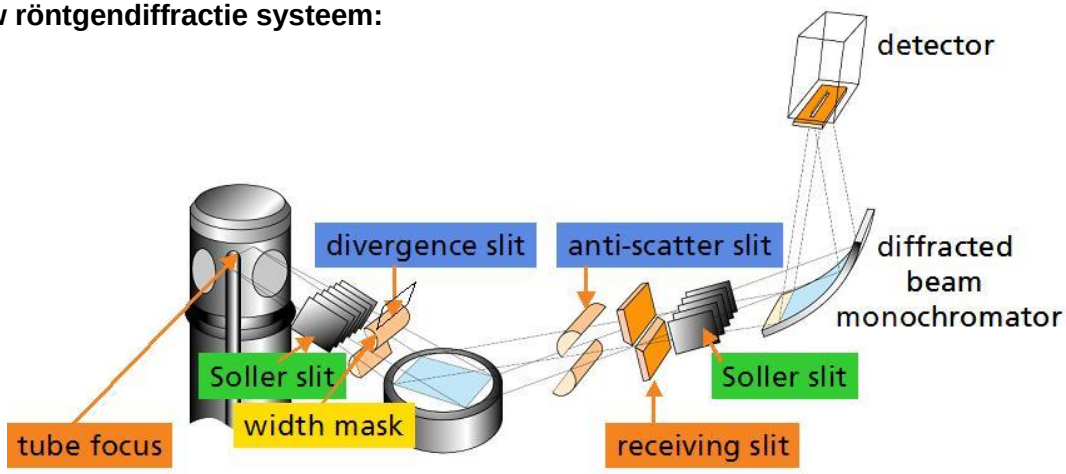


Röntgenapparaat

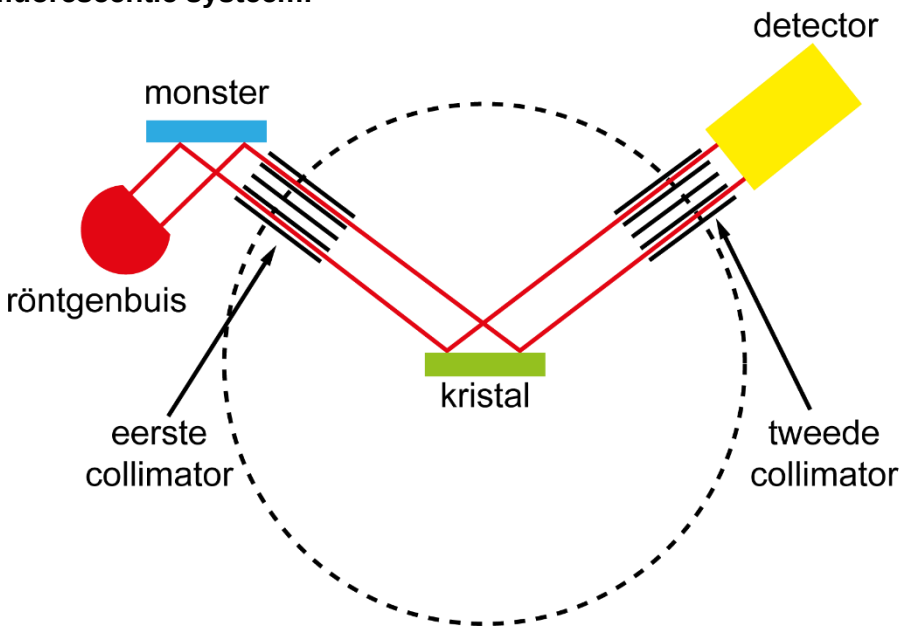



röntgenanalyse systeem

**Opbouw röntgendiffractie systeem:**




**Opbouw röntgenfluorescentie systeem:**

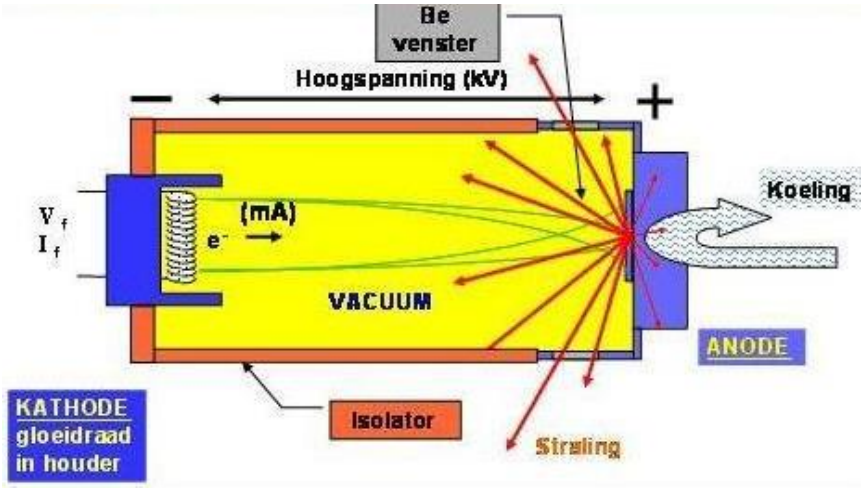



BRAINPORT EINDHOVEN

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

### Röntgenbuis

Hier wordt de röntgenstraling opgewekt: De kathode zendt elektronen uit doordat de gloeidraad door stroomdoorgang wordt verhit tot ca. 2400 $^{0}$C. Door een hoog spanningsverschil (40 tot 100 kV) tussen anode en kathode worden elektronen met hoge snelheid naar de positieve anode getrokken. Door dit elektronenbombardement geeft de anode röntgenstraling af die door berylliumvensters de buis verlaat.






XRD-buis

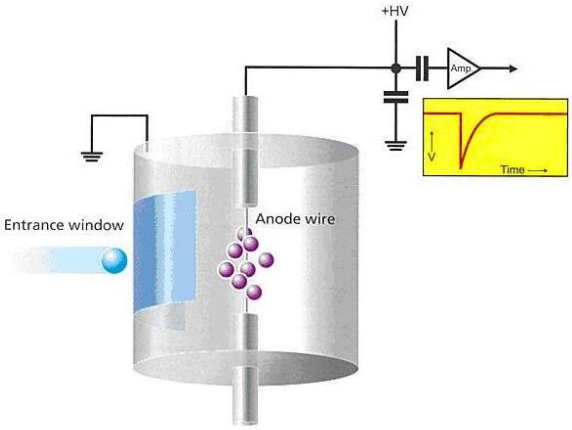


XRF-buis

### Röntgendetector

In een afgesloten ruimte bevindt zich een telgas en een teldraad (anode wire).

Röntgenstraling komt via het – zeer dunne - beryllium venster binnen en reageert met het telgas. Afhankelijk van de hoeveelheid straling wordt een aantal elektronen vrijgemaakt wordt. De elektronica die aan de detector is gekoppeld meet dat signaal gemeten.



Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

**Collimator**



Deze bestaan uit een collimatorhuis met daarin een aantal dunne metalen plaatjes op een bepaalde afstand van elkaar.

De plaatjes zijn bedekt met een speciale lak. Wanneer nu een bundel straling op de ingang van de collimator komt, wordt alleen de straling die evenwijdig aan de platen binnenkomt, doorgelaten.

Stralen die scheef invallen worden door de laklaag op de platen tegengehouden. Het resultaat is een mooie evenwijdige bundel die uit de collimator komt.

**Kristal**



Er zijn verschillende typen kristallen nodig om alle elementen te kunnen analyseren. Panalytical in Eindhoven maakt kunstmatige kristallen. Dit zijn pakketjes van heel dunne laagjes van twee verschillende materialen, die op een dun silicium plaatje zijn aangebracht.

Dit pakket kan wel uit enkel tientallen lagenparen zijn opgebouwd. Zo kennen we o.a. een multilayer die is opgebouwd uit dunne laagjes wolfraam (W) en silicium (Si), of bijv de combinatie nikkel (Ni) en koolstof (C).

Elke multilayer is geoptimaliseerd voor het analyseren van één of een paar elementen.

Deze dragers moeten voldoen aan hoge eisen v.w.b. vlakheid en vormnauwkeurigheid van de kromming.

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Antwoord opdracht C3

| Uitdaging | onderdeel | ontwikkeling |
|---|---|---|
| Nog betere analyses, zodat je kleinere hoeveelheden van een stof kunt detecteren | | |
| hogere spectrale zuiverheid (zo ‘scherp’ mogelijke golflengtes) | Röntgenbuis | Apparaat zo ontwikkelen dat er superstrakke golflengtes uitkomen. |
| röntgenstraling ondervindt geen uit de röntgenbuis komt | Beryllium vensters | hoe dunner het venster, hoe beter de analyse |
| Veilig werken | | |
| Berylliumstof is kankerverwekkend | Beryllium vensters | Afschermen, opletten bij de bewerking en wellicht zoeken naar ander materiaal |
| Gebruiksgemak | | |
| De apparaten moeten makkelijk te plaatsen en/of mee te nemen zijn | Alle onderdelen kleiner, maar vooral röntgenbuizen en detectoren | Met minder ‘power’ toch goede resultaten. Dus dan moet de rest nauwkeuriger,<br>Kleinere detector, dus goed ‘mikken’ bijvoorbeeld |
| De apparaten moeten door iedereen te bedienen en uit te lezen zijn | Software | Moet geen spectrum geven, maar gewoon ‘het antwoord’. Hoeveel lood zit hierin? Zoveel. |
| Onderhoud is door risico op straling ingewikkeld | Hele apparaat | Hoe kun je het makkelijk onderhouden, loshalen zonder risico?<br>Of zelfs zonder los te halen – door van een afstand de apparaten te kunnen uitlezen. |

Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

# Bijlage – gebruikte links bij QR-codes

[i] https://nl.wikipedia.org/wiki/Reflectie_(straling)

[ii] https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenfluorescentie

[iii] https://vimeo.com/564333735/858f3fe059

[iv] https://youtu.be/YujXF6NKORM

[v] https://youtu.be/sJHWwLkB0Dc

[vi] https://www.ebatco.com/wp-content/uploads/2013/12/Quantitative-Composition-Determination-of-Powder-Mixtures-Using-XRD.pdf

[vii] https://www.mdpi.com/2079-9284/2/3/277/htm

[viii] https://www.malvernPanalytical.com/en/products/category/x-ray-fluorescence-spectrometers/

[ix] https://www.malvernPanalytical.com/en/products/category/x-ray-diffractometers

[x] https://www.malvernPanalytical.com/

[xi] https://www.youtube.com/c/MalvernPanalytical/videos

[xii] https://youtu.be/FsHF_EYwMSw

[xiii] https://youtu.be/1hI7UUV-2Mk

[xiv] https://youtu.be/qFawCSGH2R8

[xv] https://youtu.be/ZTKwgyp4UsA

[xvi] https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenstraling

[xvii] https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenkristallografie#De_fysica

[xviii] https://youtu.be/YujXF6NKORM

[xix] https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenfluorescentiespectrometrie

[xx] https://youtu.be/sJHWwLkB0Dc

[xxi] https://youtu.be/ZTKwgyp4UsA

[xxii] https://nl.wikipedia.org/wiki/Reflectie_(straling)

[xxiii] https://nl.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenfluorescentie

[xxiv] https://www.douglas.nl/productbrand_690413.html

[xxv] https://www.thermofisher.com/blog/mining/better-together-xrf-and-xrd/

[xxvi] https://lab-training.com/2016/07/23/x-ray-diffraction-xrd-x-ray-fluorescence-xrf-different/

[xxvii] https://youtu.be/V03maUsrlnc

[xxviii] https://vimeo.com/564333735/858f3fe059