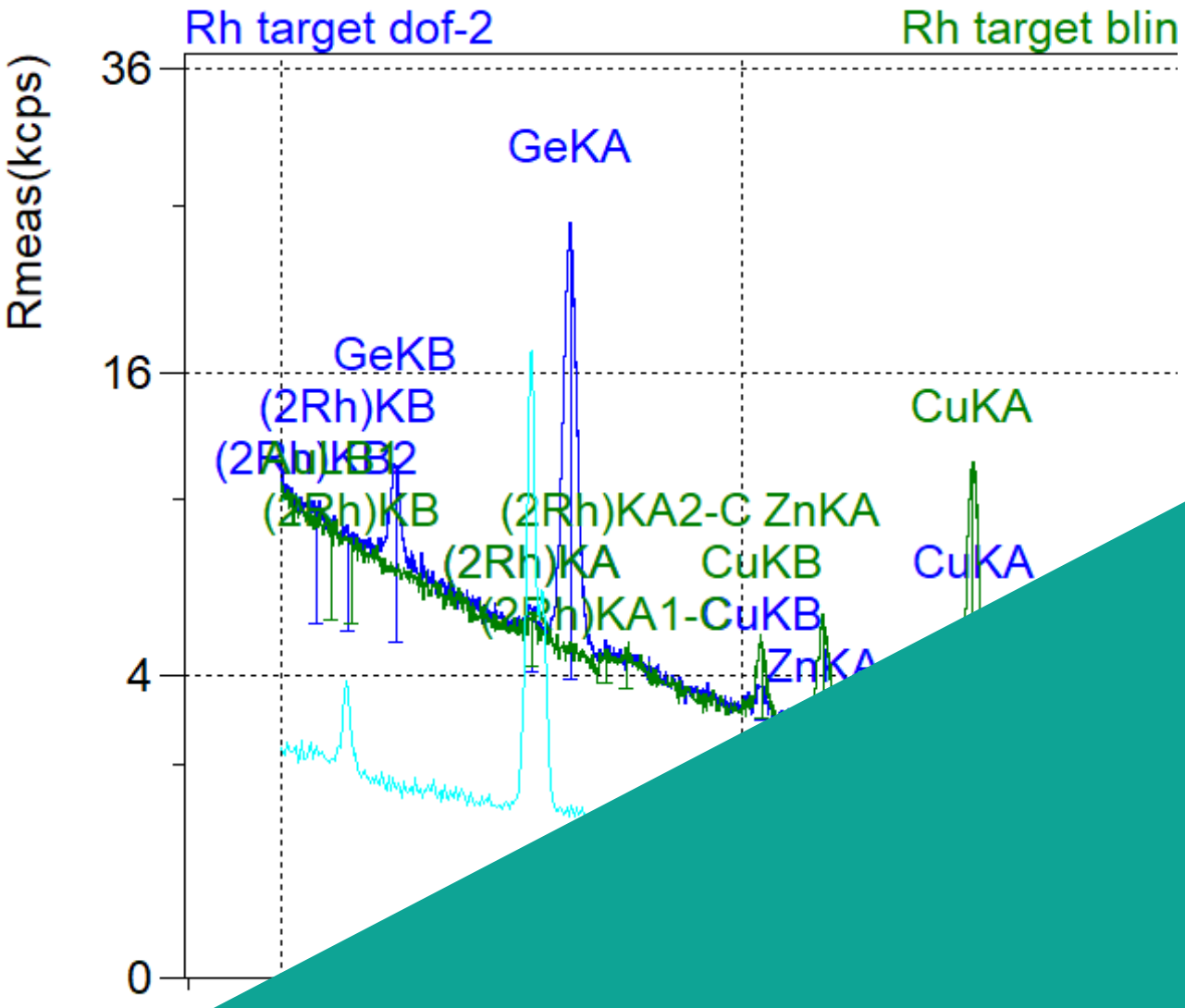
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.



Lesbrief Malvern Panalytical

Hoe kijk je door materiaal heen?

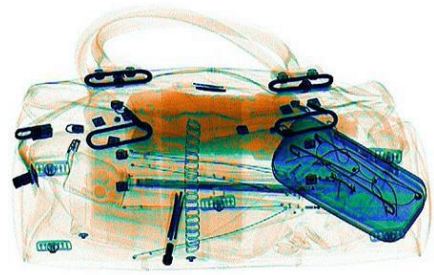
BRAINPORT EINDHOVEN

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.

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.

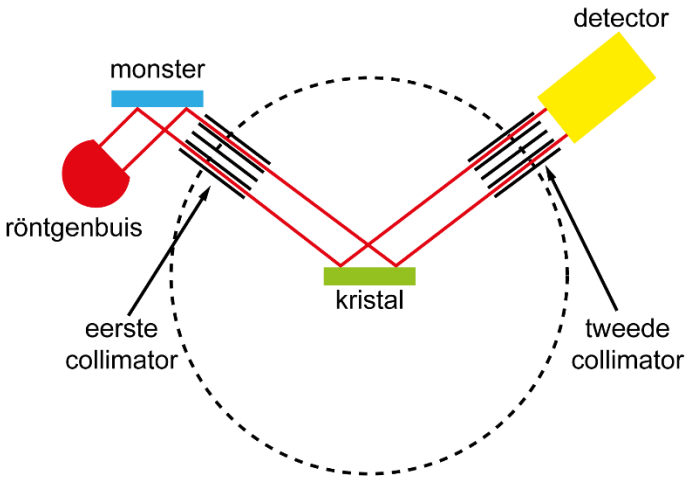
Bij Malvern Panalytical in Eindhoven worden onderdelen gemaakt voor deze röntgenapparatuur.

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

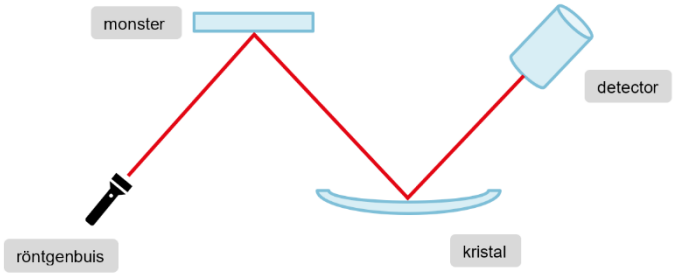
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

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: 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:

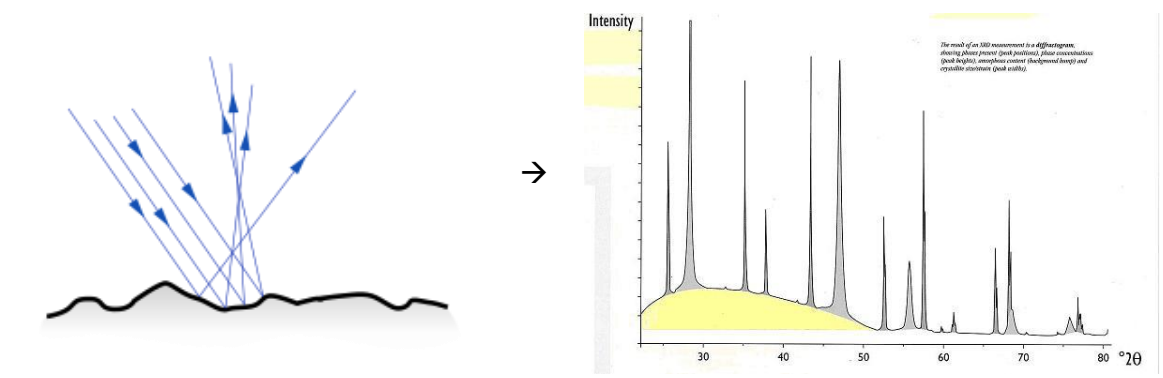
BRAINPORT EINDHOVEN

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.

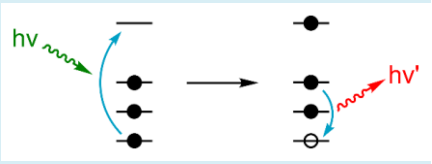
3. Wat moet je daarvoor meten?

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.

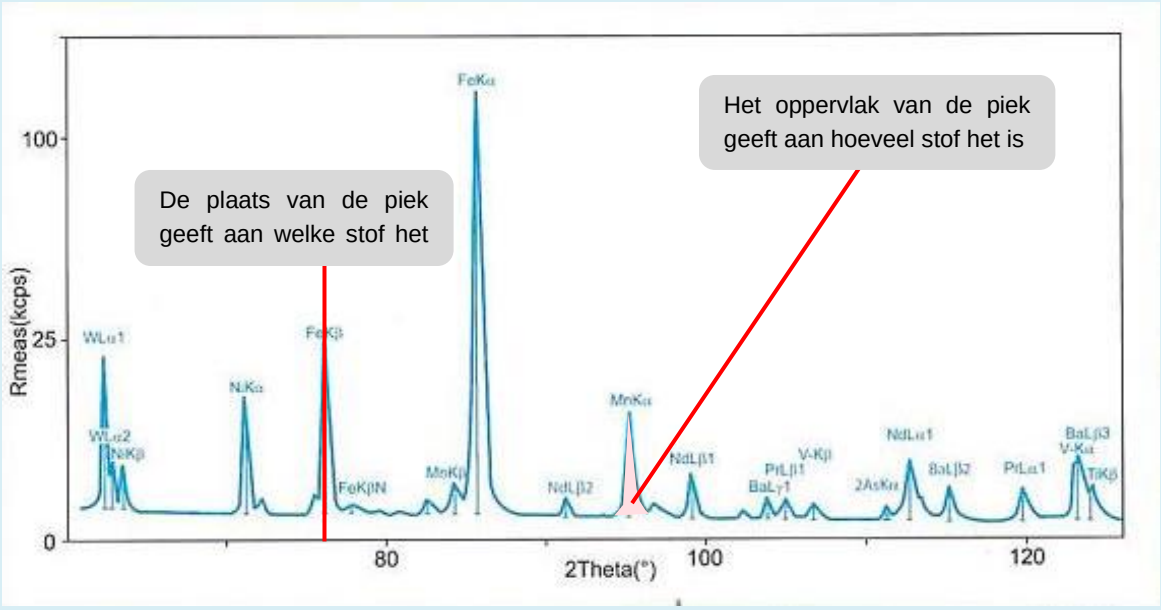
Bij **röntgenfluorescentiespectrometrie** bestraal je materiaal met röntgenstraling[xxiii].



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)			

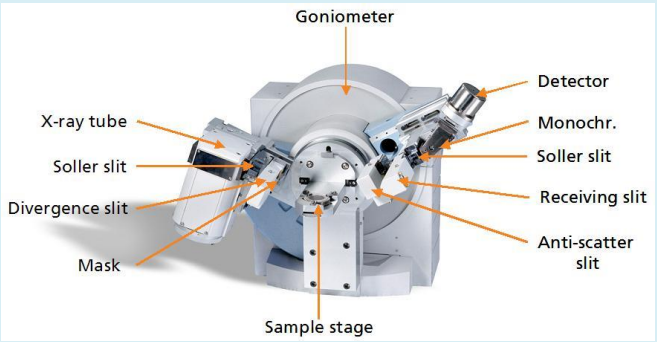
BRAINPORT EINDHOVEN

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

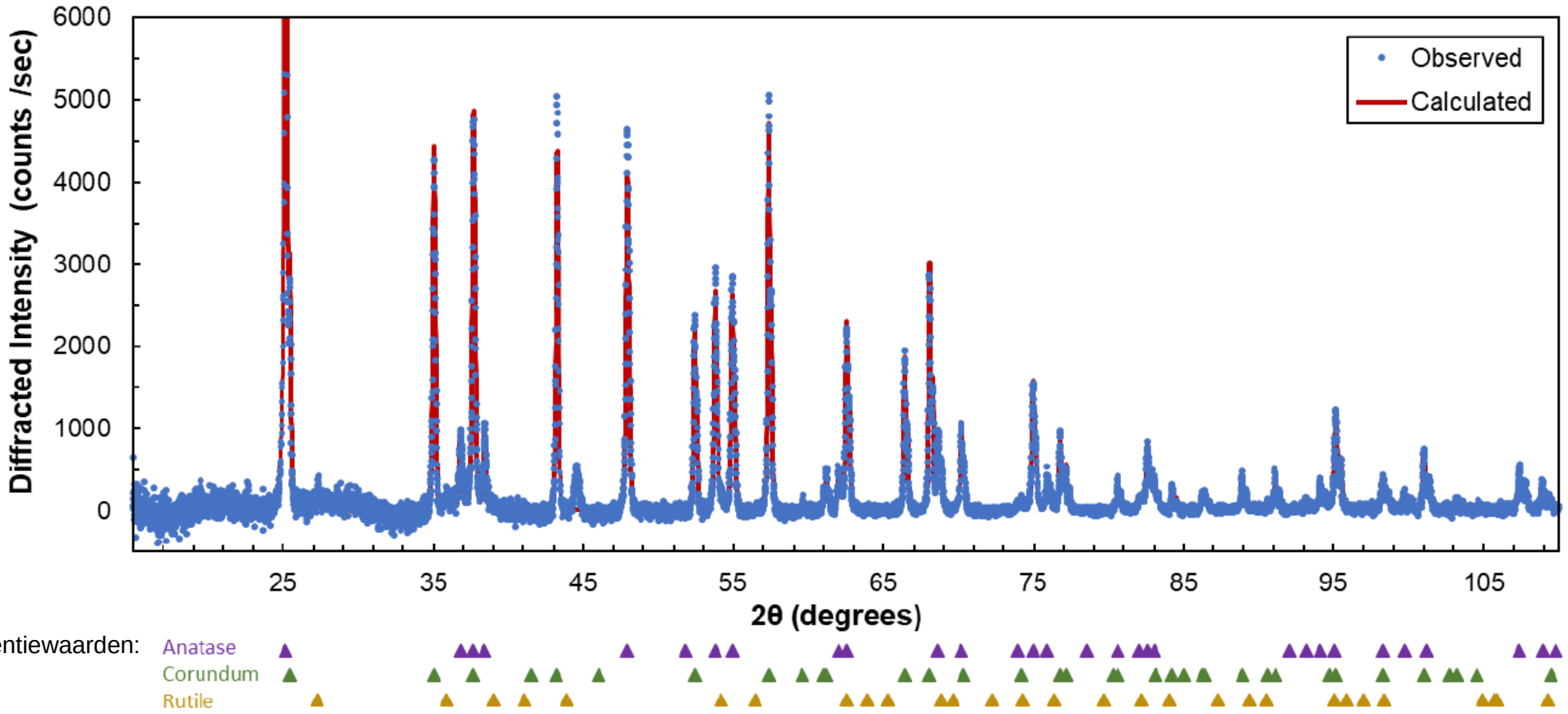
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

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

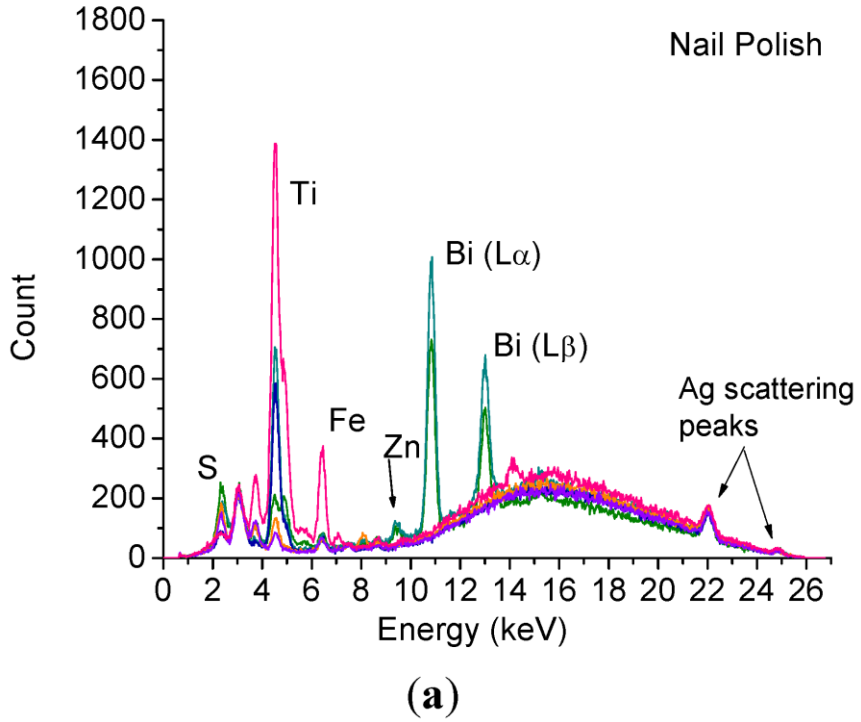


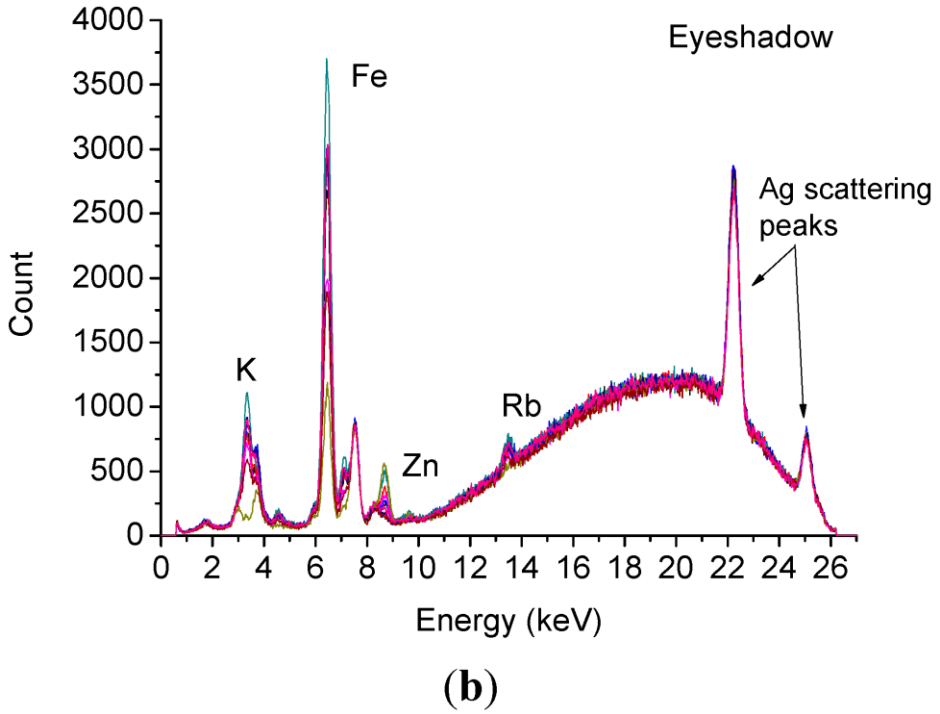
BRAINPORT EINDHOVEN

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



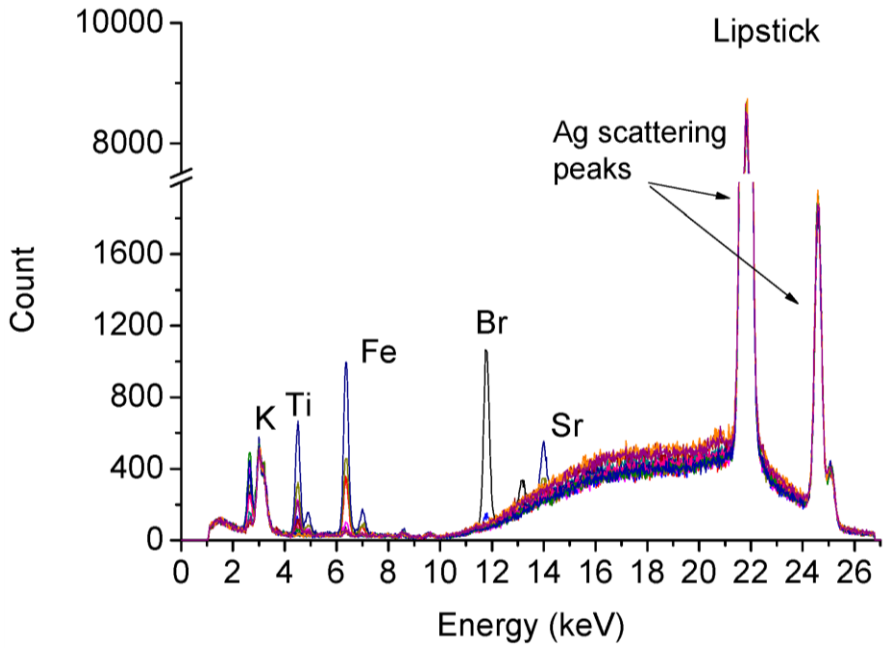


BRAINPORT EINDHOVEN

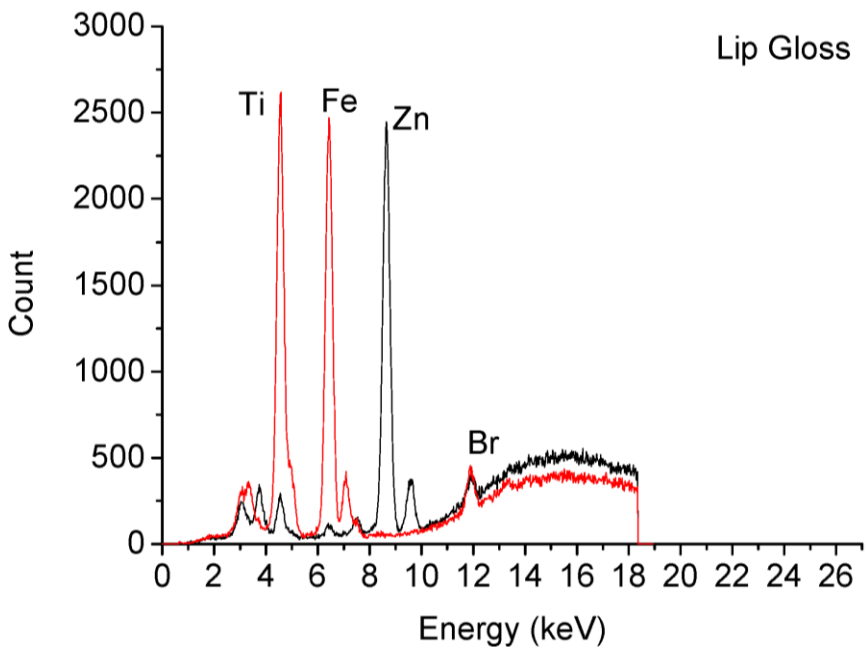
Dit document is gedownload door () op November 1, 2026.
Mag alleen gekopieerd worden voor gebruik binnen de school van 'gebruiker'. Zie ook de abonnementsvoorwaarden van Leapo.

XRF spectra van verschillende cosmetica (c en d)

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



(c)



(d)

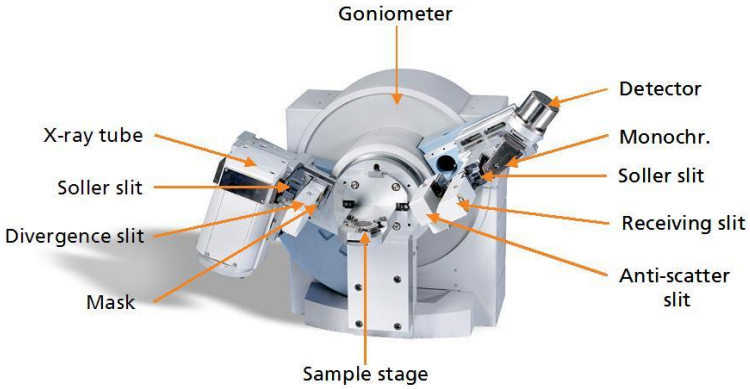
BRAINPORT EINDHOVEN

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

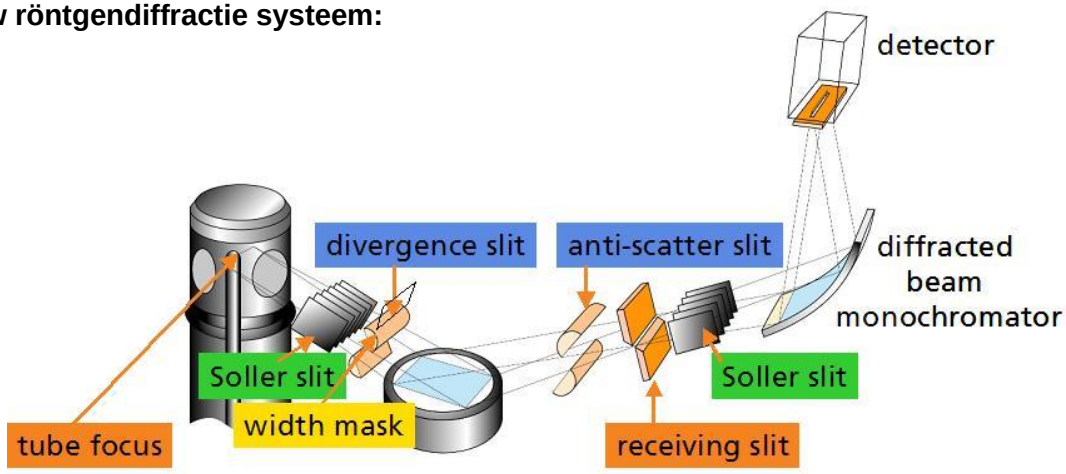


Röntgenapparaat

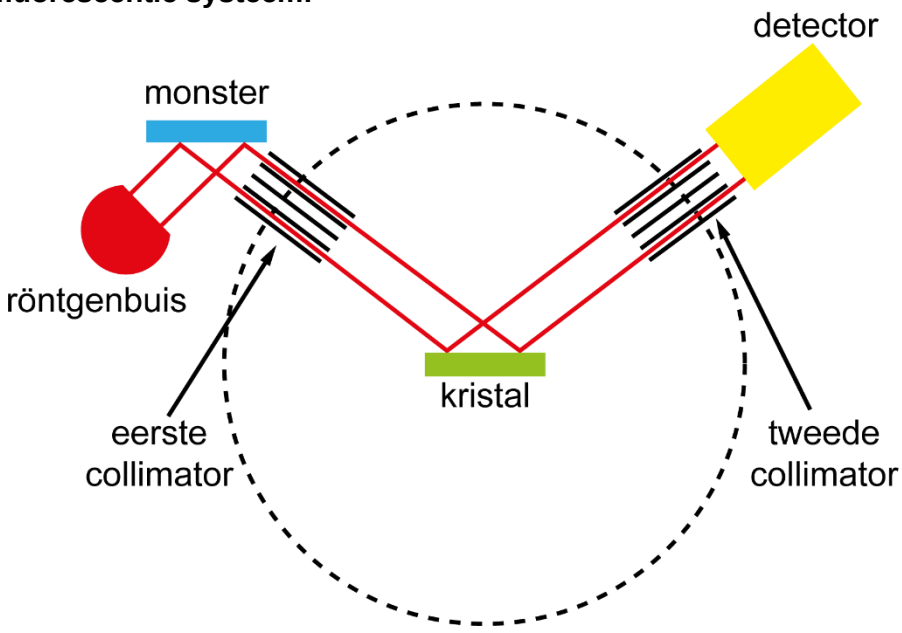


röntgenanalyse systeem

Opbouw röntgendiffractie systeem:



Opbouw röntgenfluorescentie systeem:

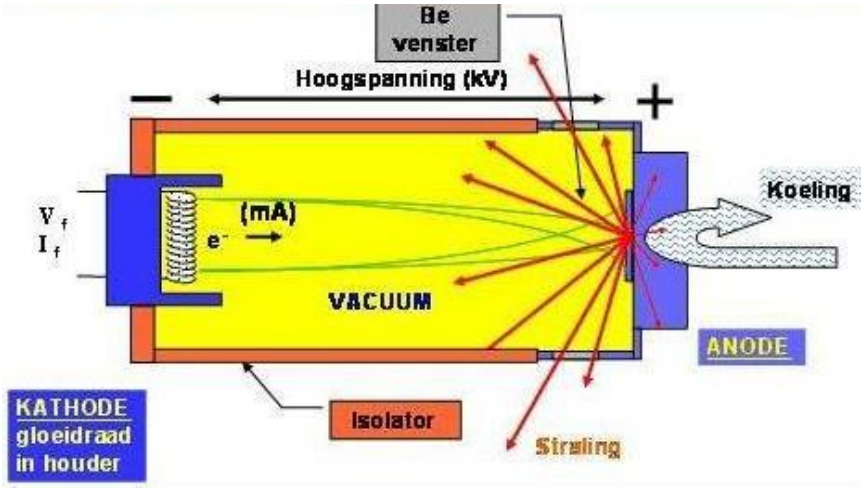


BRAINPORT EINDHOVEN

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

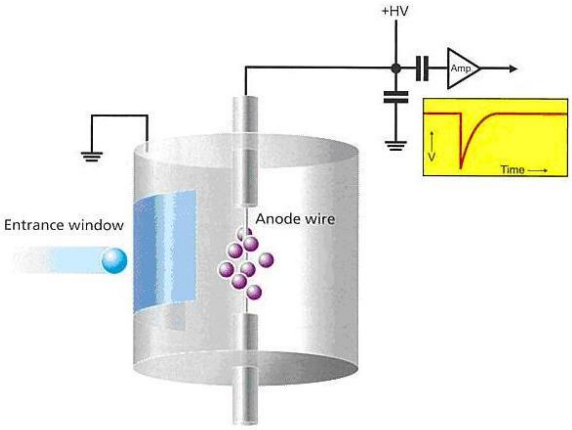


XRF-buis

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.

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