

# Mineralen en Gesteenten deel 1

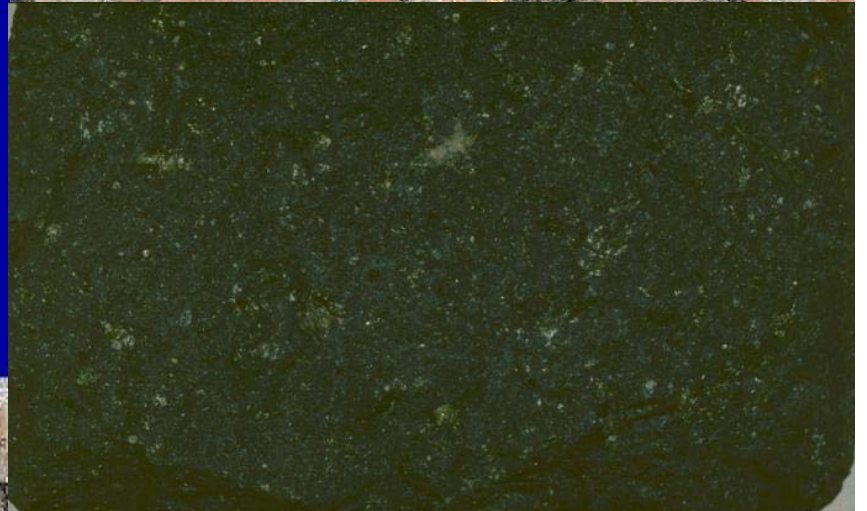
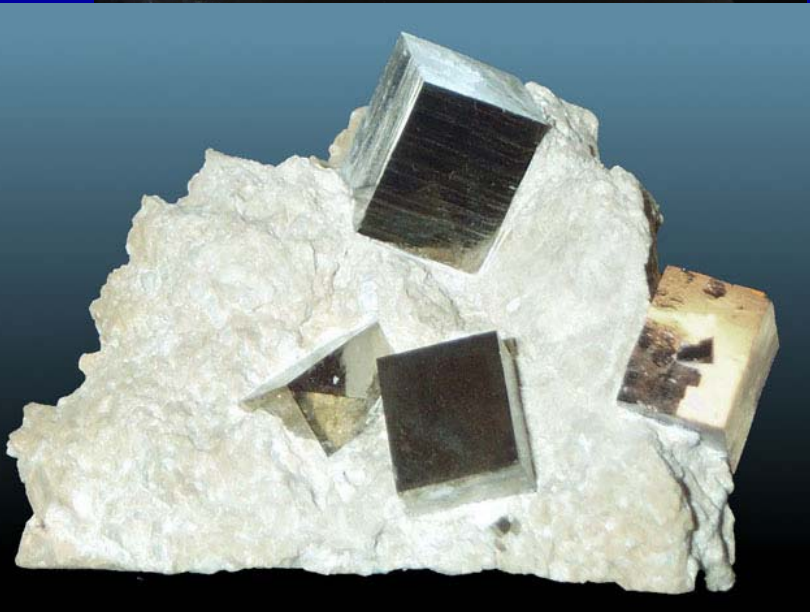
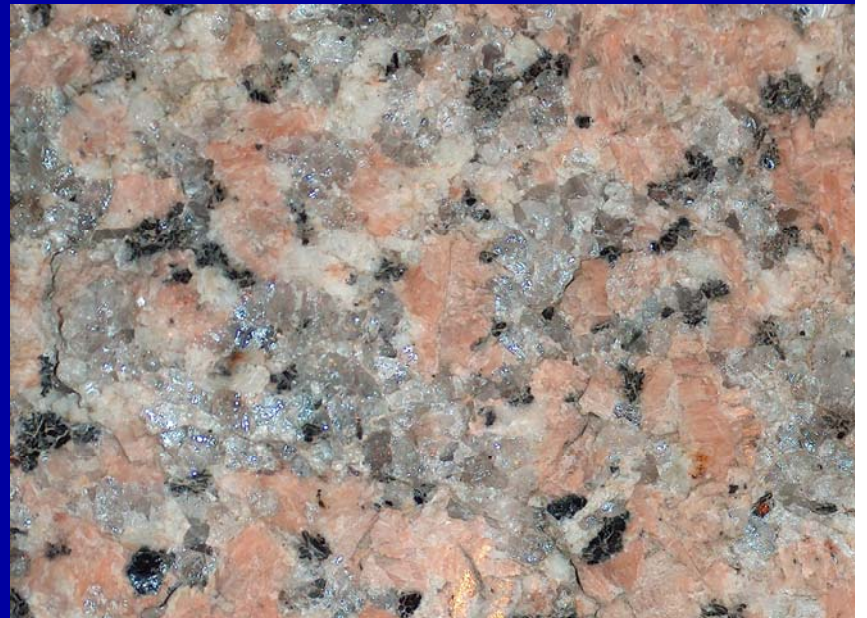
1. Inleiding
2. Chemische basiskennis
3. Kristallografie
4. Mineralogie
5. Optische mineralogie



mineraal:

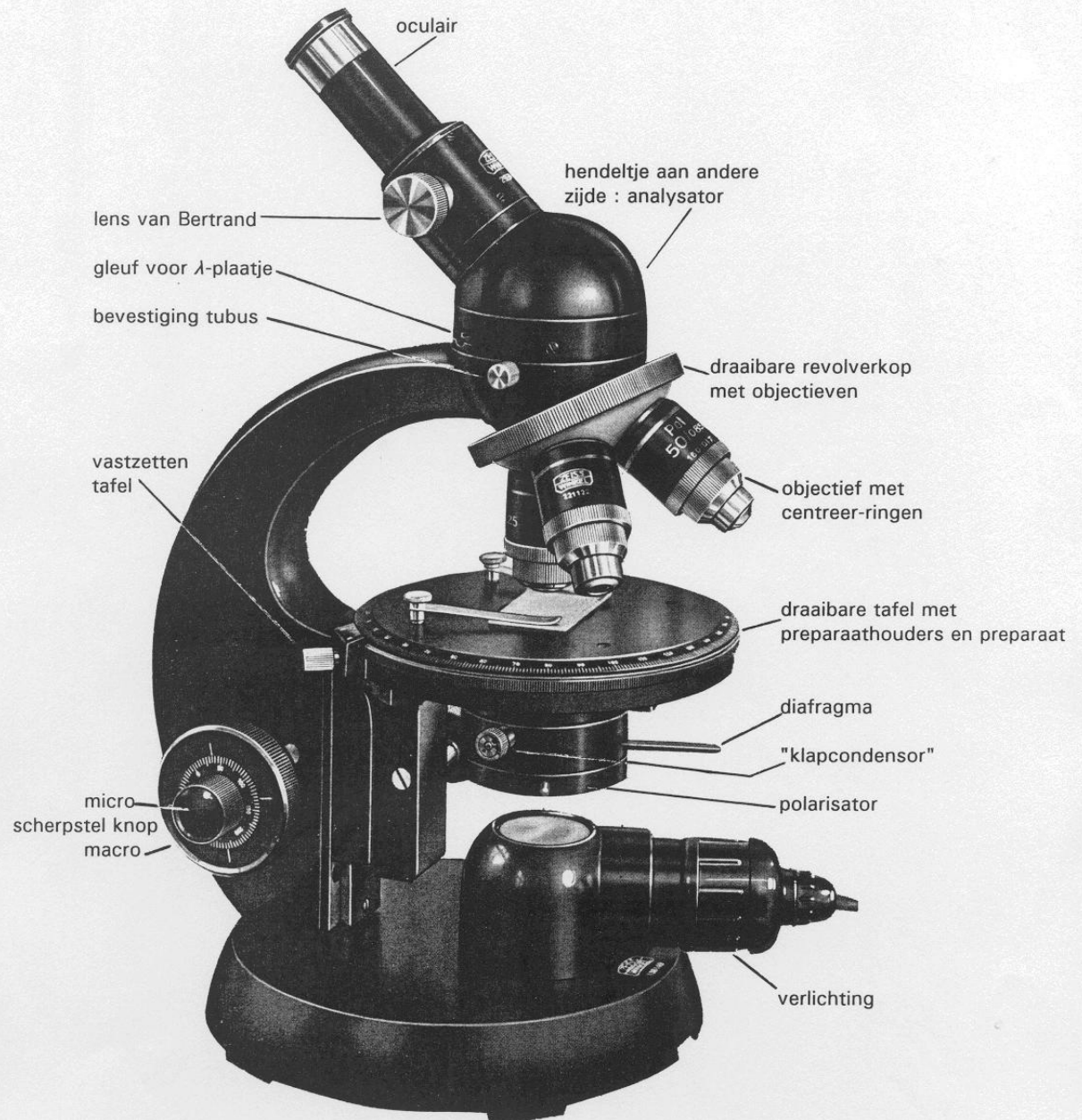


gesteente:





# De polarisatie- microscop



# Optische mineralogie

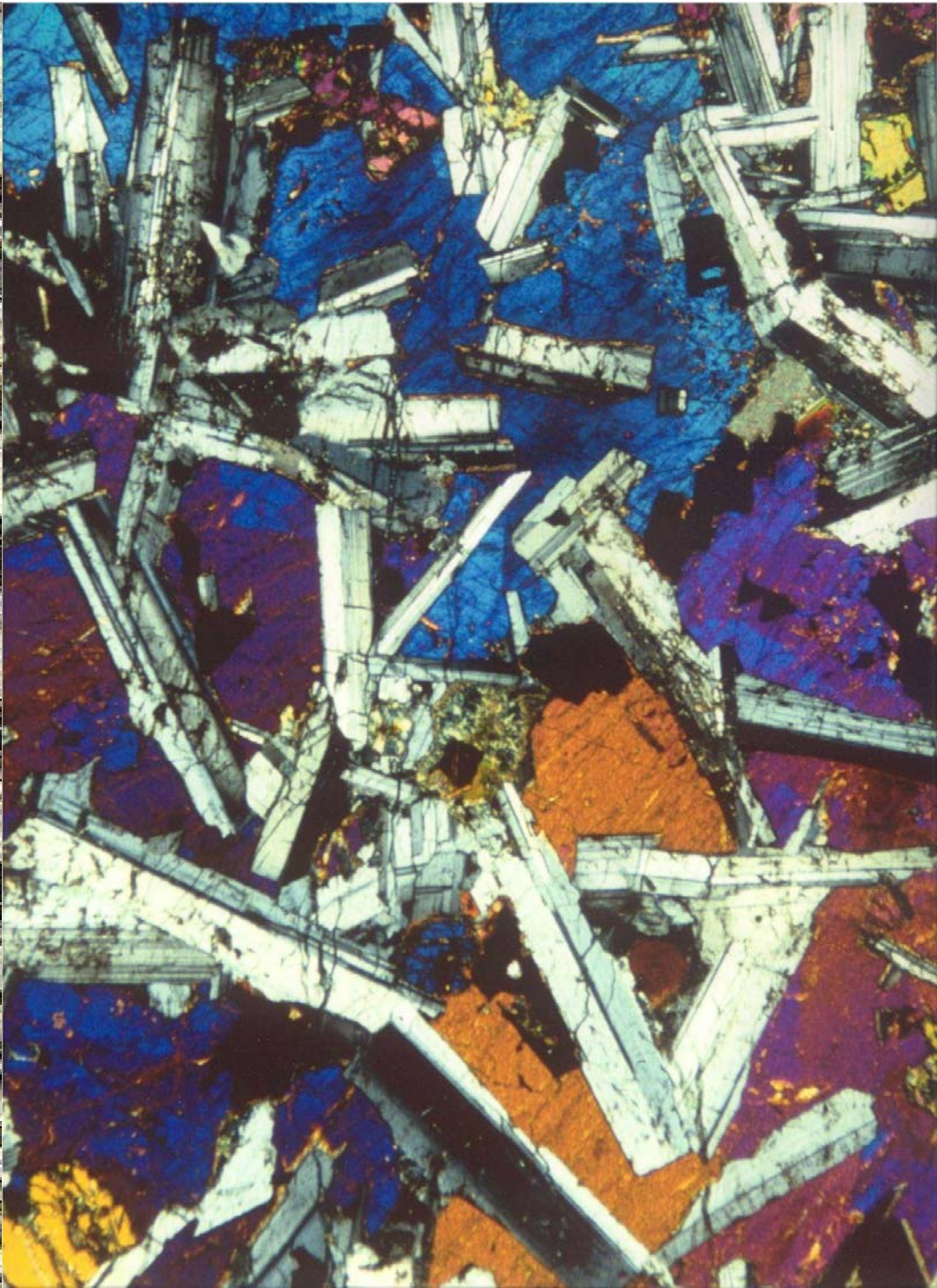
- De interactie van licht en mineralen levert een scala aan optische eigenschappen
- Voor de bestudering van deze eigenschappen worden slijpplaatjes (dunne doorsneden) gemaakt, deze hebben een dikte van  $0.03 \text{ mm} = 30 \mu\text{m}$



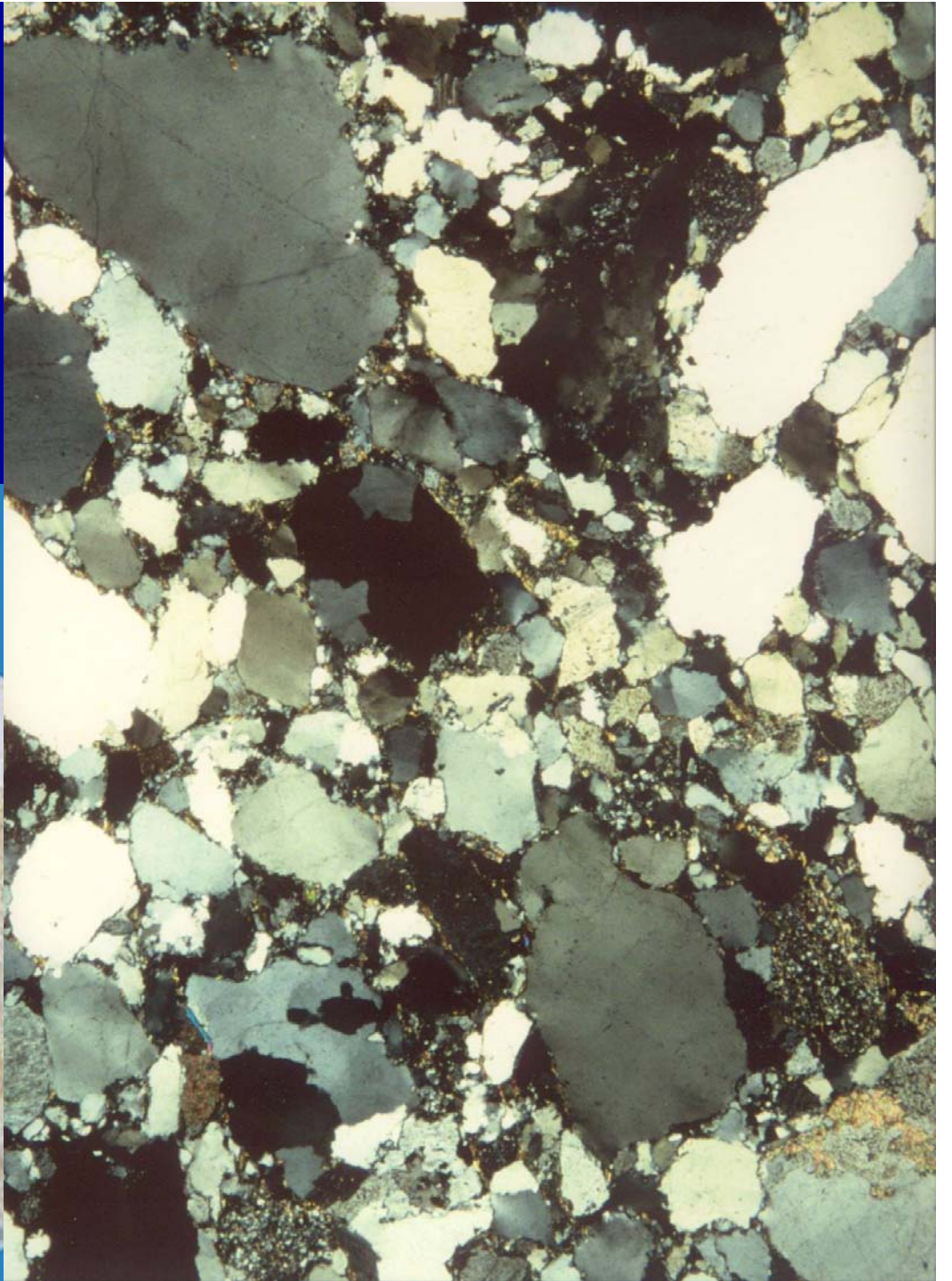
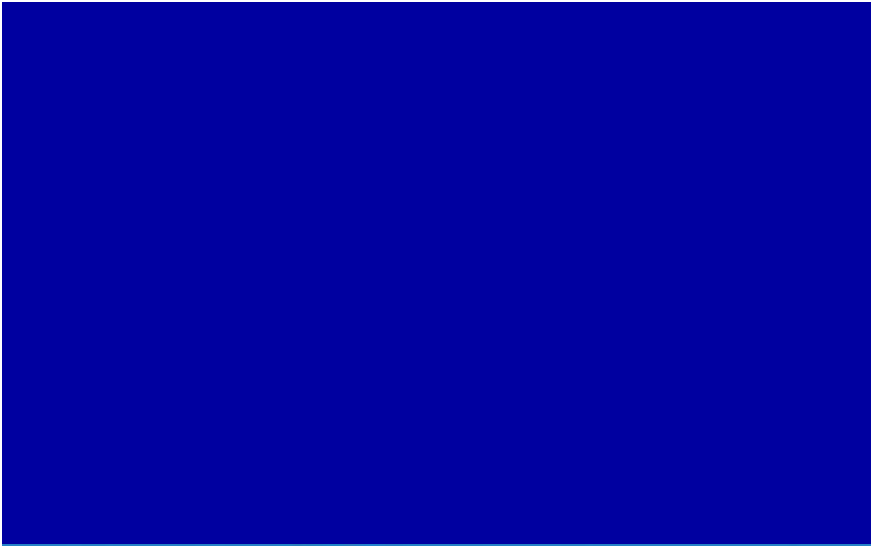
Hoe zien gesteenten eruit als  
we ze bekijken door een  
polarisatiemicroscop?



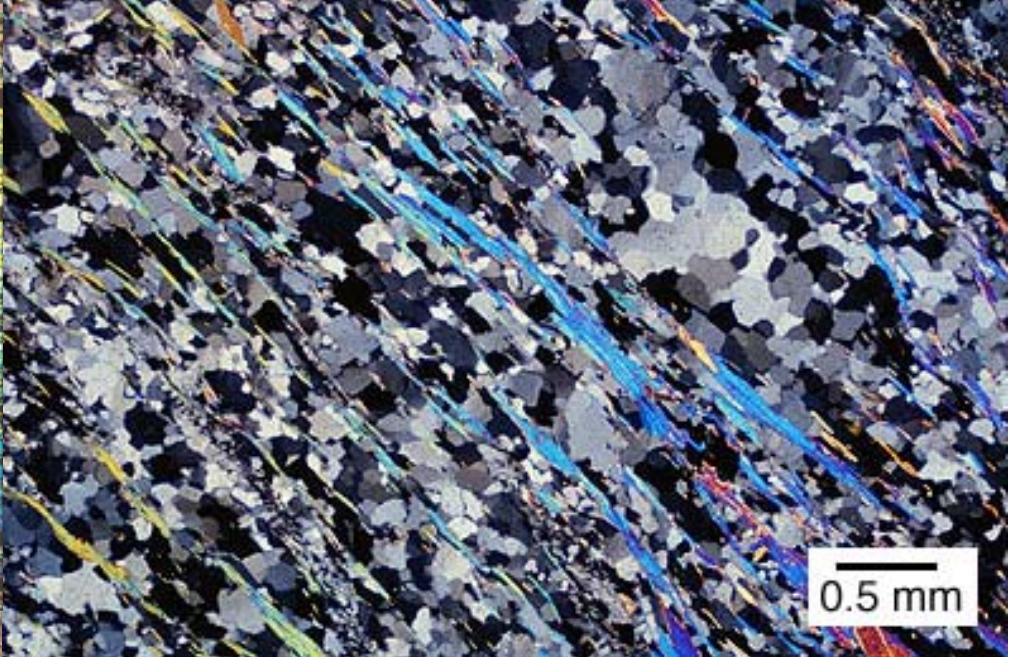
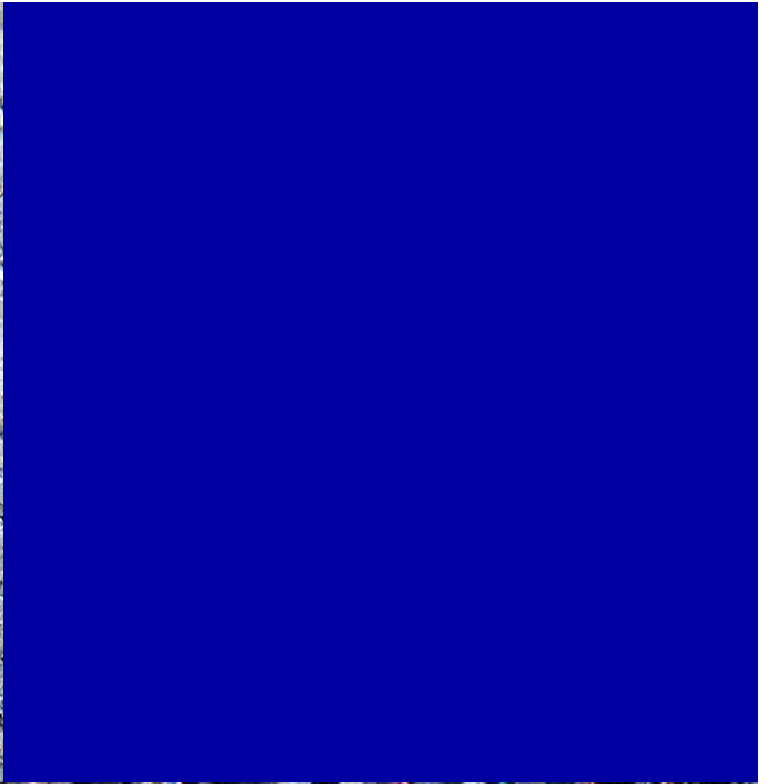












0.5 mm



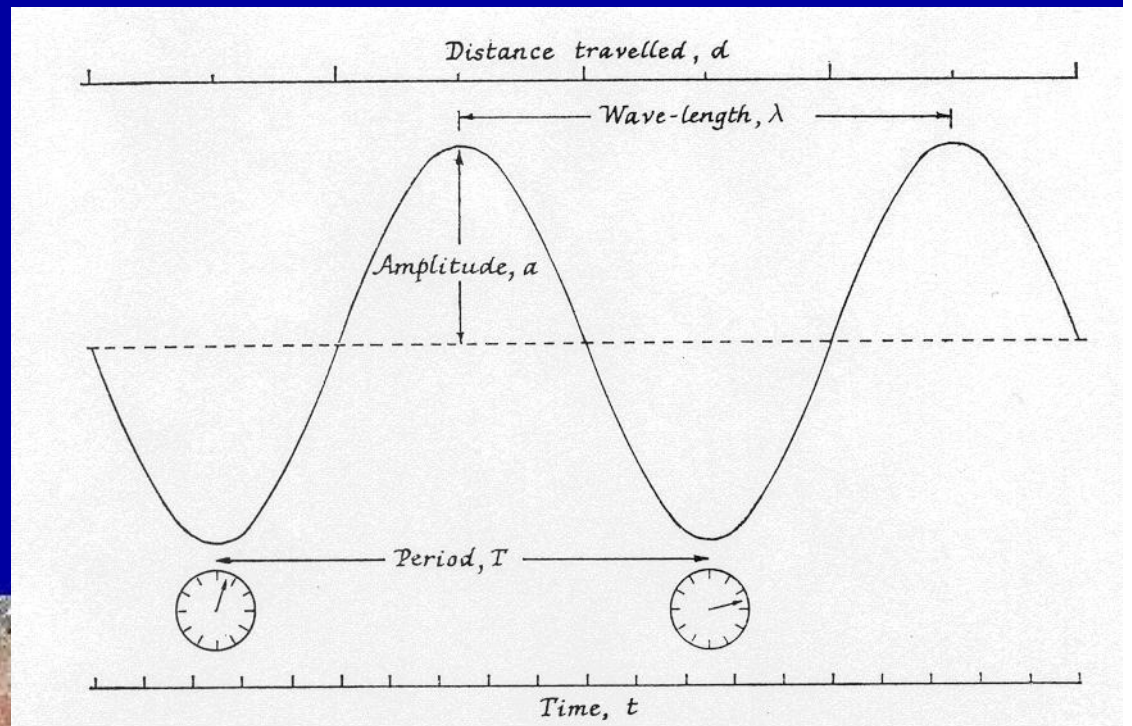
- De interactie van licht en mineralen levert een scala aan optische eigenschappen
- Elk mineraal wordt beschreven door een combinatie van optische eigenschappen die karakteristiek is voor het mineraal





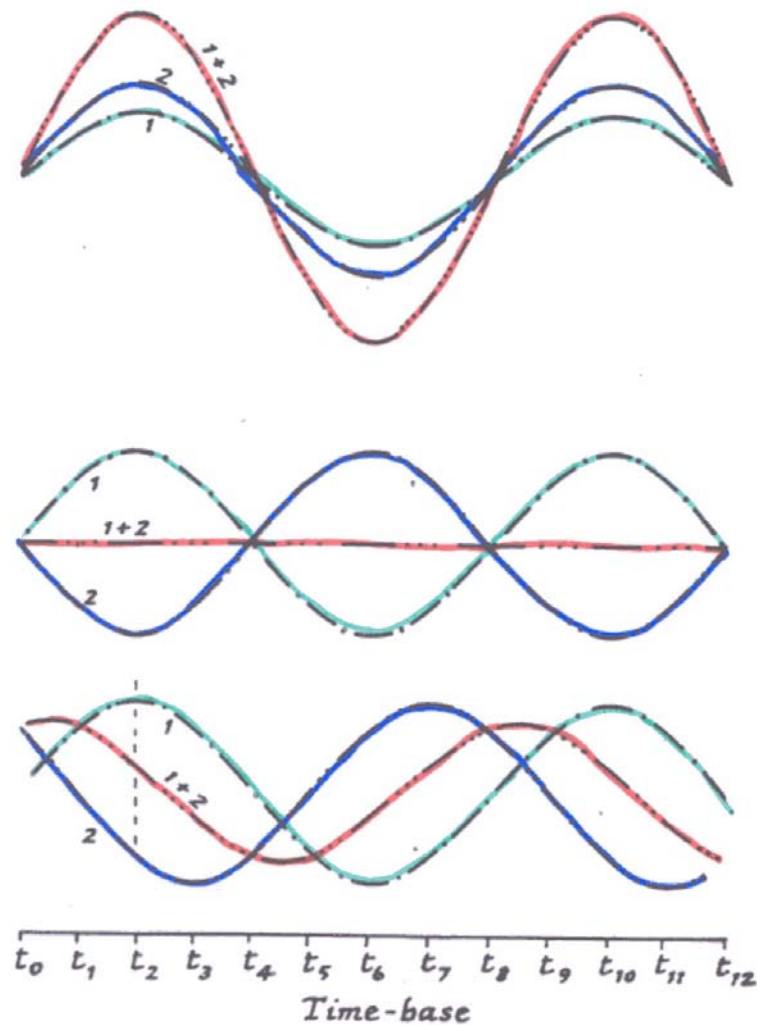
# Licht (1)

Licht is een electromagnetische straling. Het bestaat uit een ontelbaar aantal golfbewegingen die alle loodrecht op de voortplantingsrichting van het licht trillen.





# Licht (2)

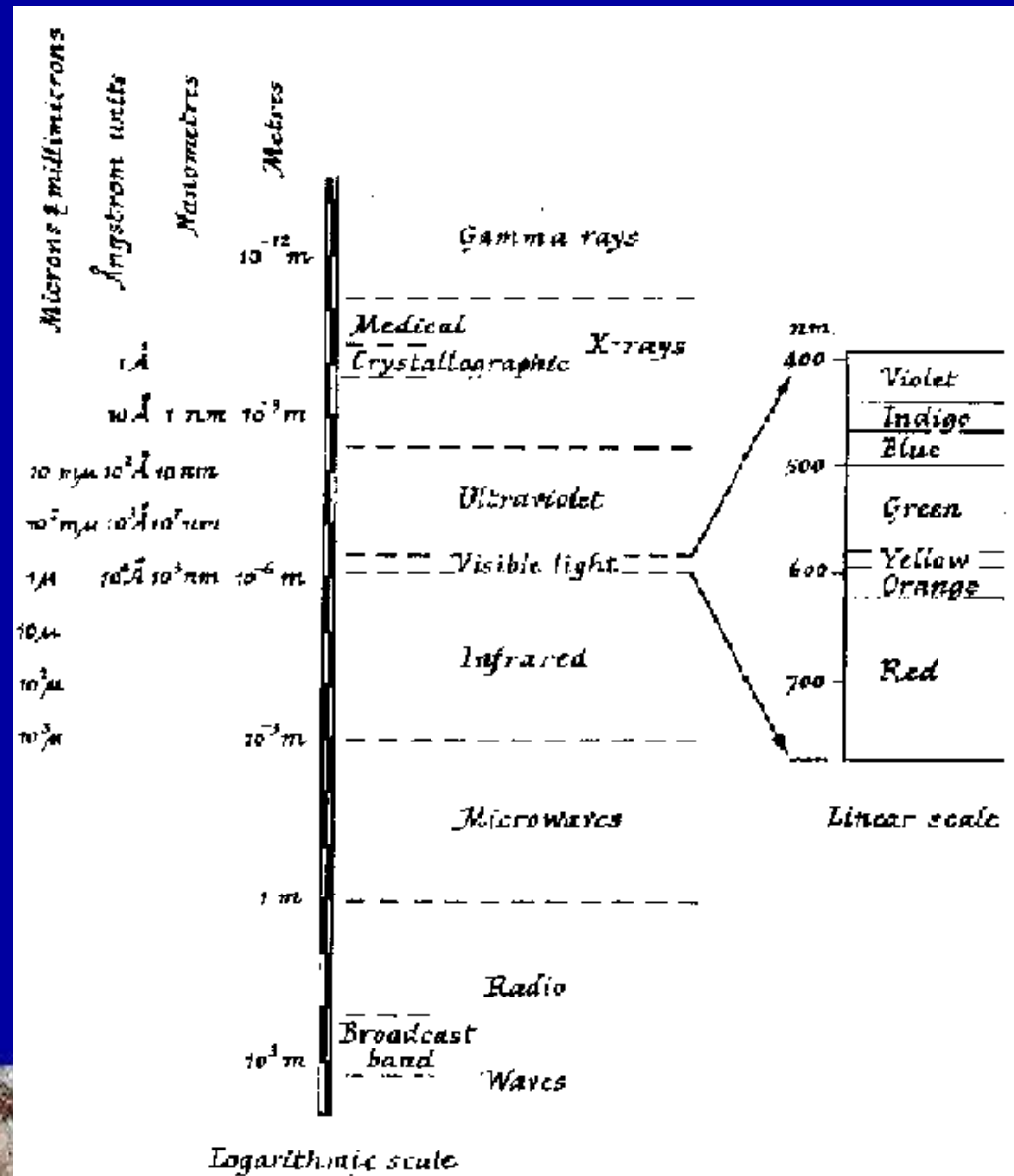


Tussen lichtstralen die in hetzelfde vlak trillen treedt interferentie op



# Licht (3)

Licht met golflengtes tussen 390 en 760 nm. kunnen wij zien als een kleur; het wordt het 'zichtbare licht' genoemd'. Menging van deze kleuren levert 'wit' licht





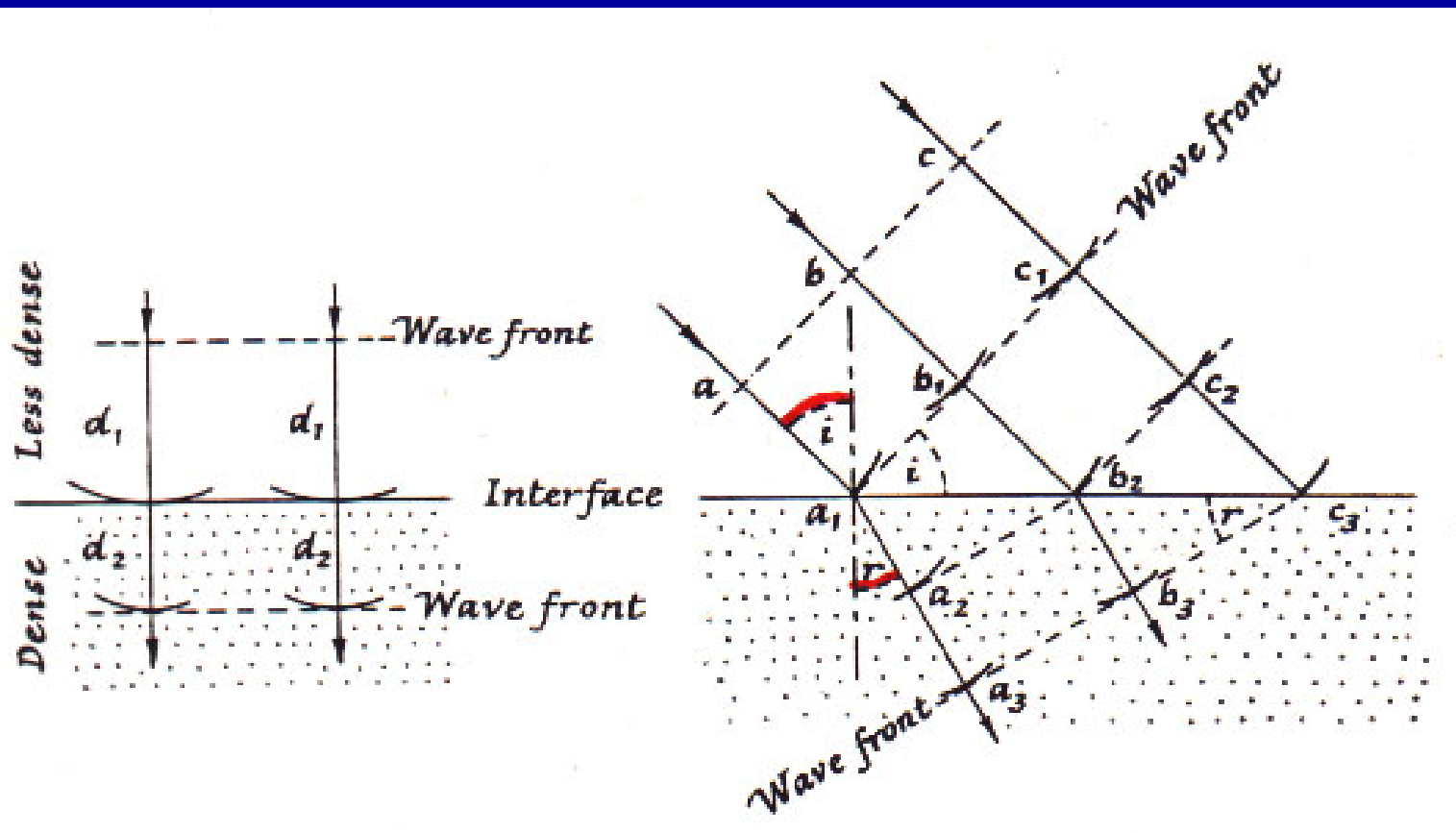
# Interactie licht en mineraal

- Een lichtstraal die op een mineraal valt brengt electronen in trilling en verliest een deel van haar energie: zij ondervindt vertraging
- Deze vertraging is karakteristiek voor het mineraal
- En wordt de **brekingsindex** (n) genoemd
- $n = v_{\text{vacuum}} / v_{\text{mineraal}} \approx v_{\text{lucht}} / v_{\text{mineraal}} \quad (n > 1)$



# Brekingindex (1)

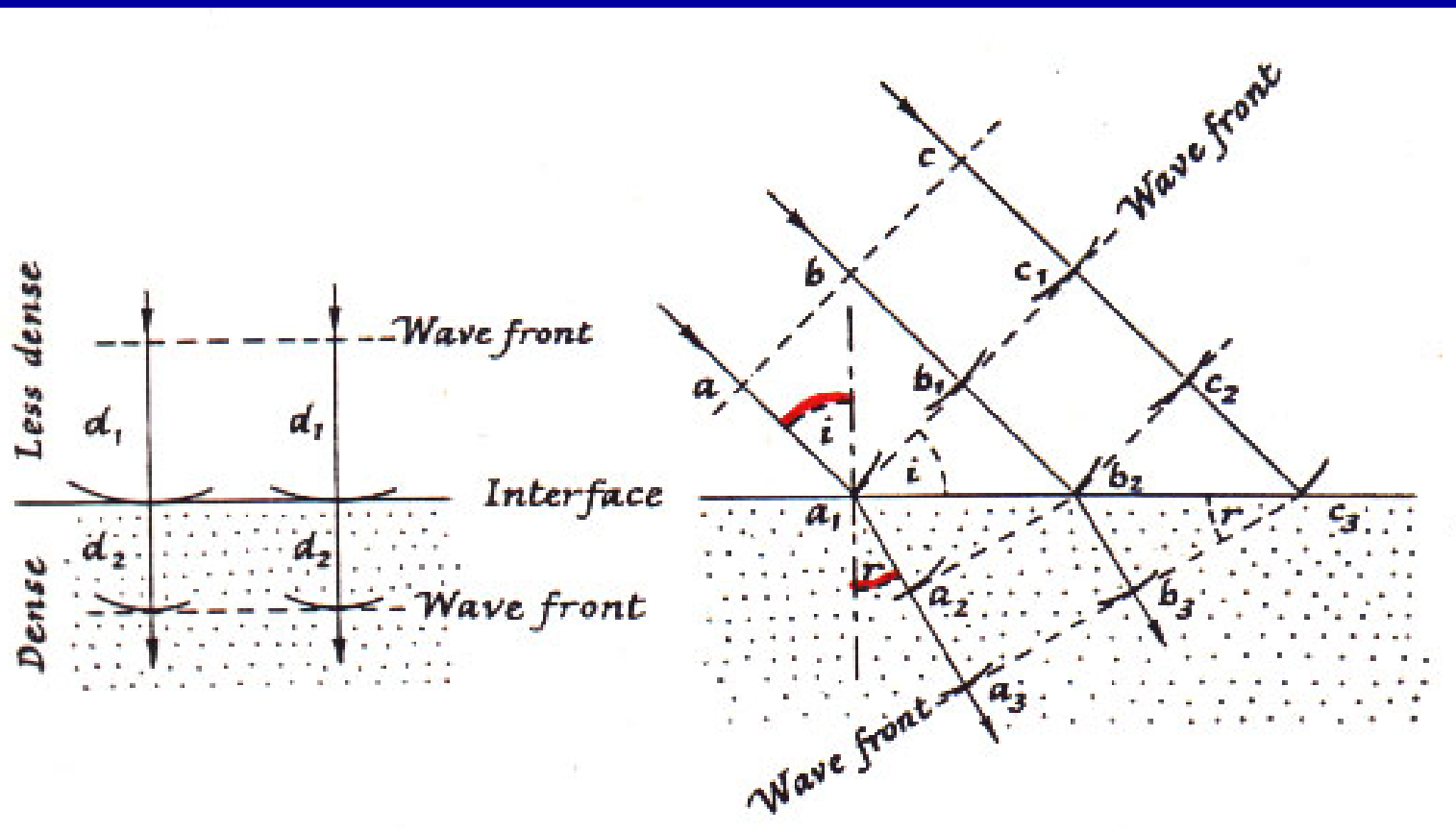
- Een straal die recht invalt wordt vertraagd maar verandert niet van richting





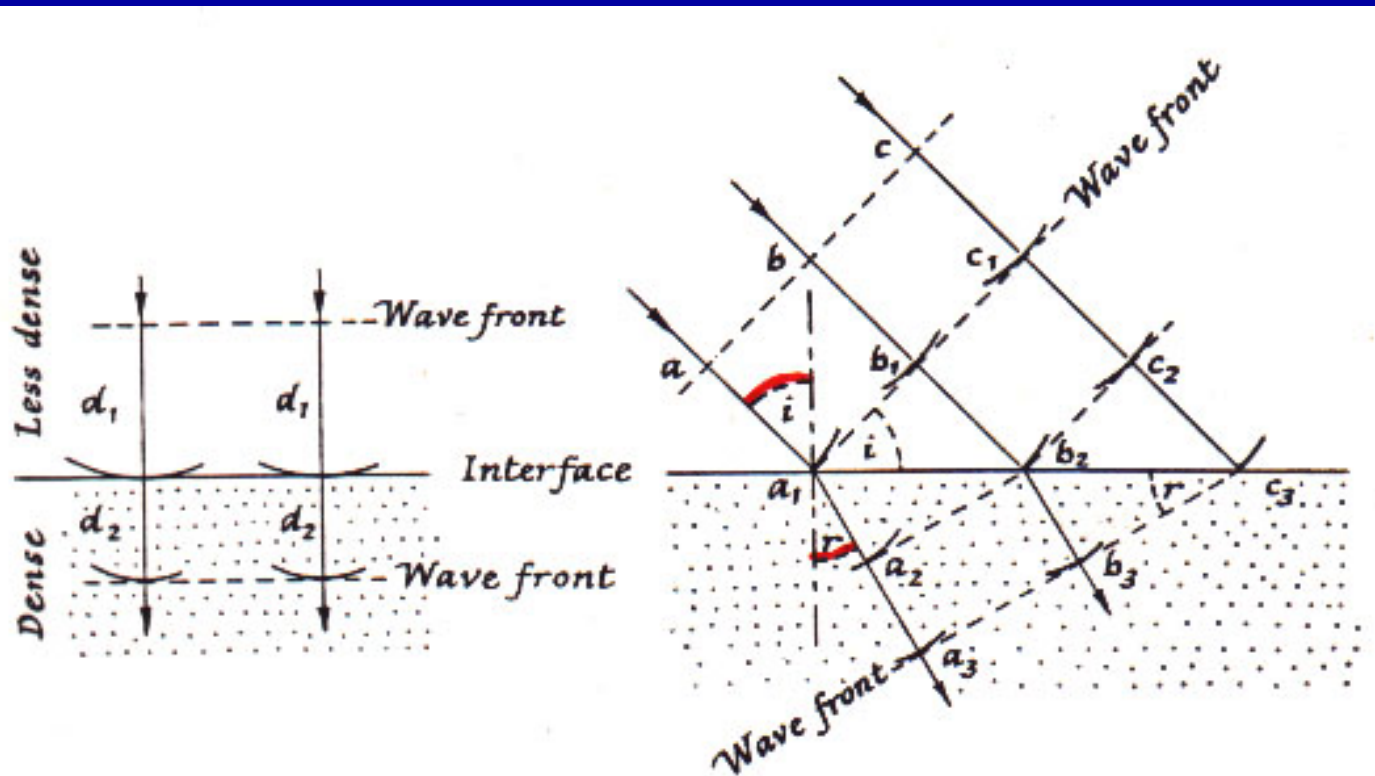
# Brekingindex (2)

- Een straal die scheef invalt wordt vertraagd én verandert van richting



# Brekingindex (3)

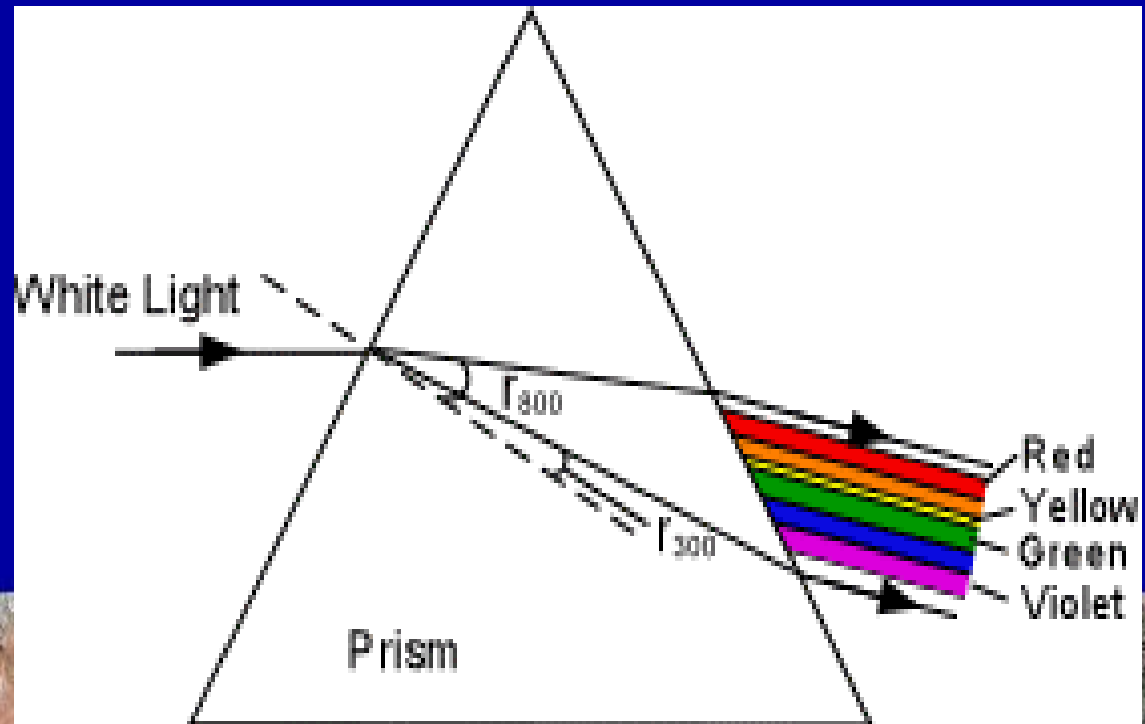
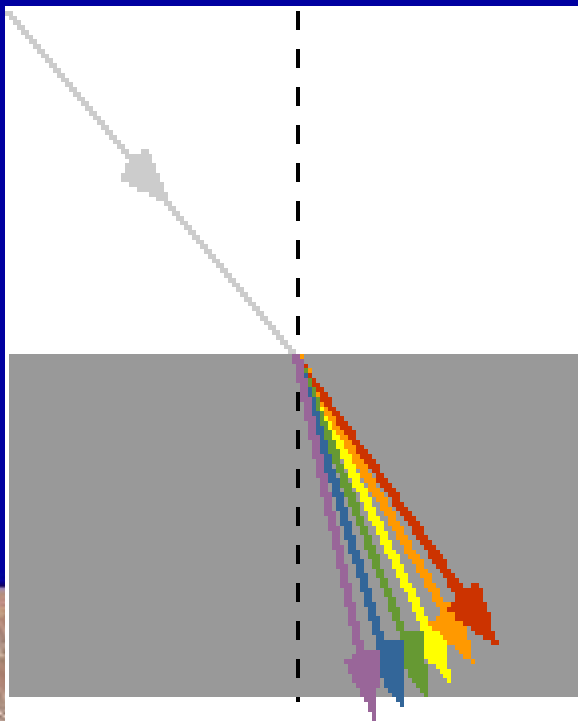
- Van n naar N: breking naar de normaal toe
- Van N naar n: breking van de normaal af
- $n = v_{\text{vacuum}} / v_{\text{mineraal}} = \sin i / \sin r$



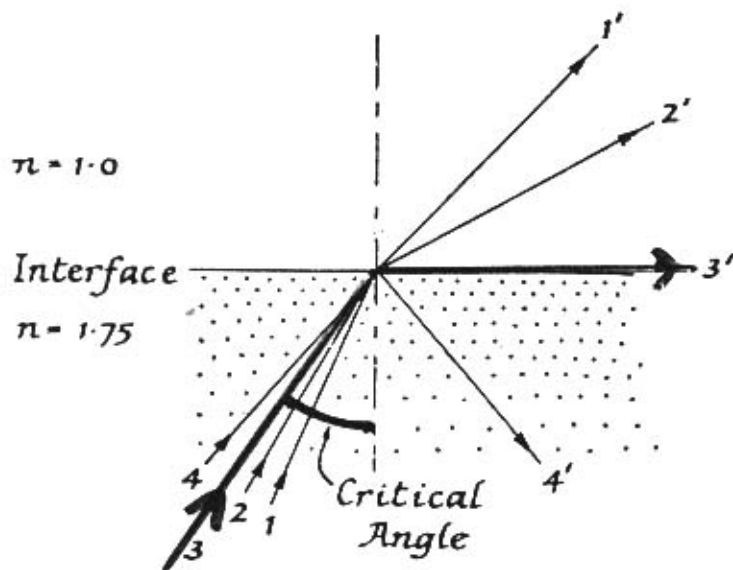
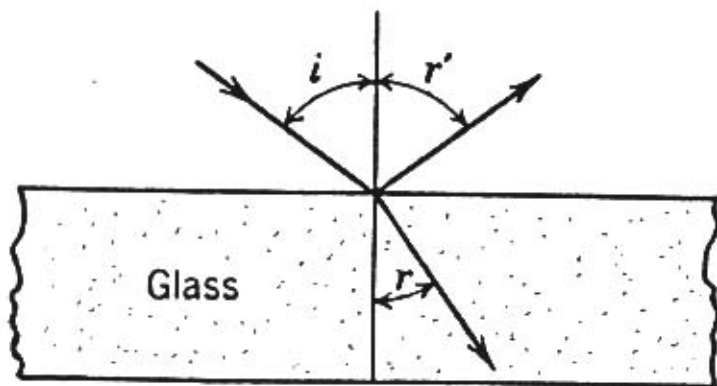


# Brekingindex (4)

De breking van het licht, en dus de brekingindex is afhankelijk van de golflengte van het licht, er treedt **dispersie** op:



# Reflectie en Breking (=refractie)



Naast breking treedt ook reflectie op. De hoek van inval is gelijk aan de hoek van terugkaatsing ( $i = r'$ ).

$N \rightarrow n$ : de hoek tussen de normaal en de lichtstraal kan zó groot worden dat alleen reflectie optreedt. grenshoek=kritische hoek



# Brekingsindex (5)

- Licht valt op een mineraal
- Electronen worden in trilling gebracht
- Het aantal dat in trilling gebracht wordt is afhankelijk van de kristallijne structuur
- Afhankelijk van de 'invalsrichting' van de lichtstraal treedt een zekere vertraging op
- $N$  is een richtingsafhankelijke eigenschap!



# Brekingsindex (6)

- Welke kristalstelsels worden gekarakteriseerd door één brekingsindex?
  - alleen het kubische stelsel
- Welke kristalstelsels worden gekarakteriseerd door een range van waarden voor de brekingsindex?
  - alle andere kristalstelsels





# In het algemeen:

Macroscopische en microscopische eigenschappen zijn afhankelijk van de kristallijne structuur van de mineralen. Afhankelijk van de 'kijkrichting' kan de opbouw er anders uitzien - hierdoor kunnen ook de eigenschappen variaties laten zien.



# Isotroop - Anisotroop (1)

- Een materie is **isotroop** indien het in alle richtingen hetzelfde gedrag vertoont, dezelfde eigenschappen heeft.
- Een materie is **anisotroop** indien de eigenschappen richtingsafhankelijk zijn.



# Isotroop – Anisotroop (2)

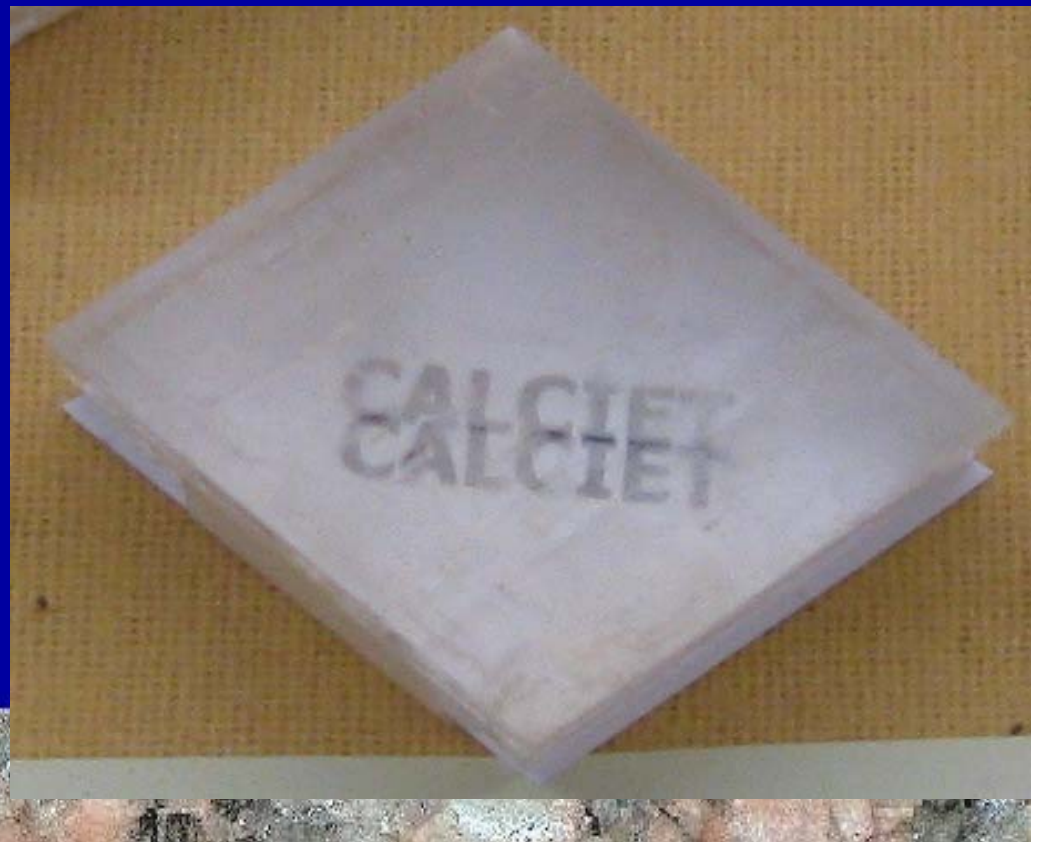
- Anisotrope mineralen:  
triklien, monoklien, orthorhombisch,  
trigonaal, tetragonaal en hexagonaal  
stelsel
- Isotrope mineralen:  
kubisch stelsel  
(ook: gassen, vloeistoffen)



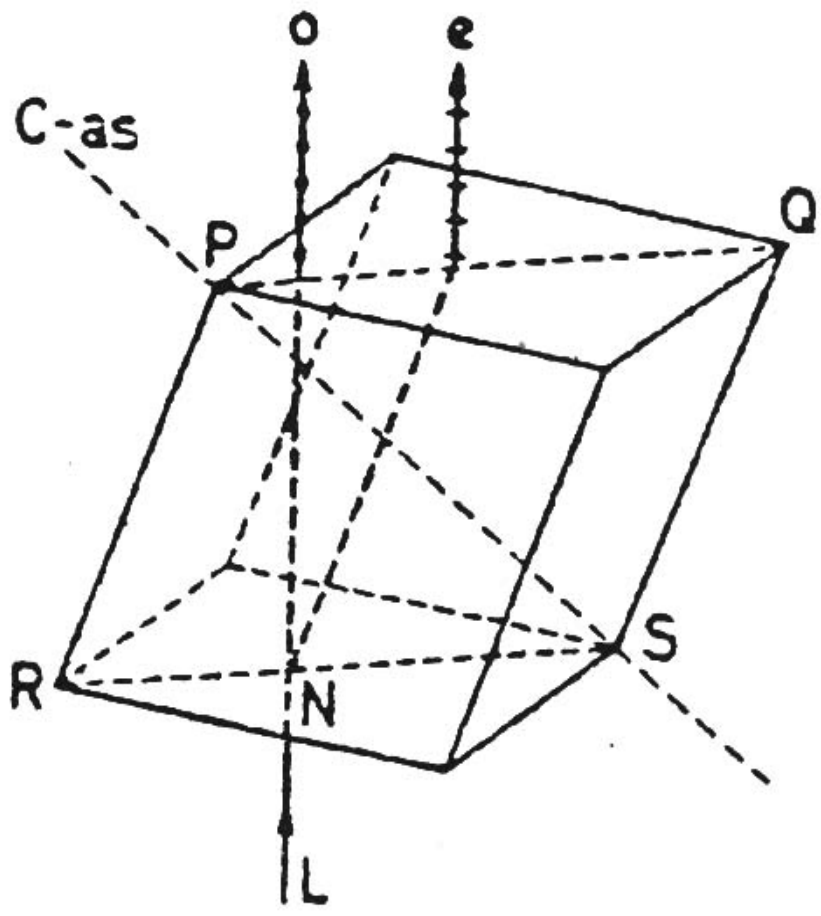


# Dubbelbreking - dB (1)

- Anisotrope mineralen vertonen **dubbelbreking**
- Calciet laat dit in extreme mate zien:



# Dubbelbreking in calciëet (2)

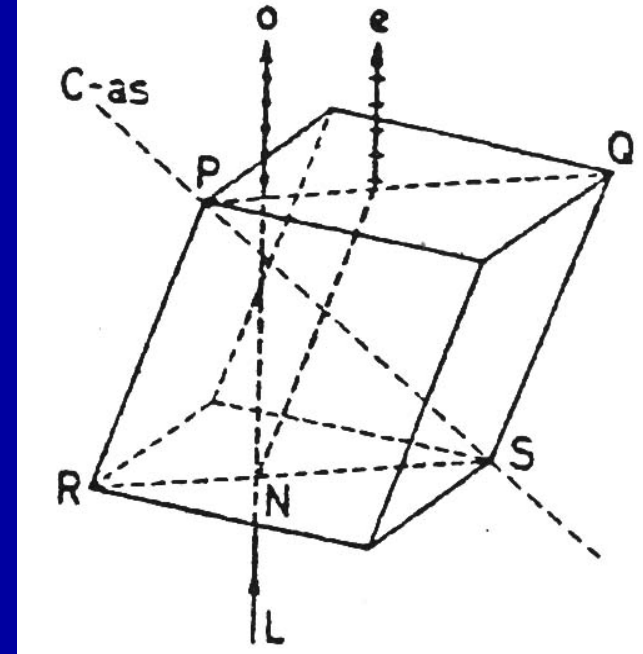


- Een lichtstraal L die loodrecht invalt splitst zich bij N in twee deelstralen.
- Eén deelstraal gaat rechtdoor en ondervindt een zekere vertraging
- De tweede deelstraal wordt afgebroken en ondervindt een andere vertraging



# Dubbelbreking in calciet (3)

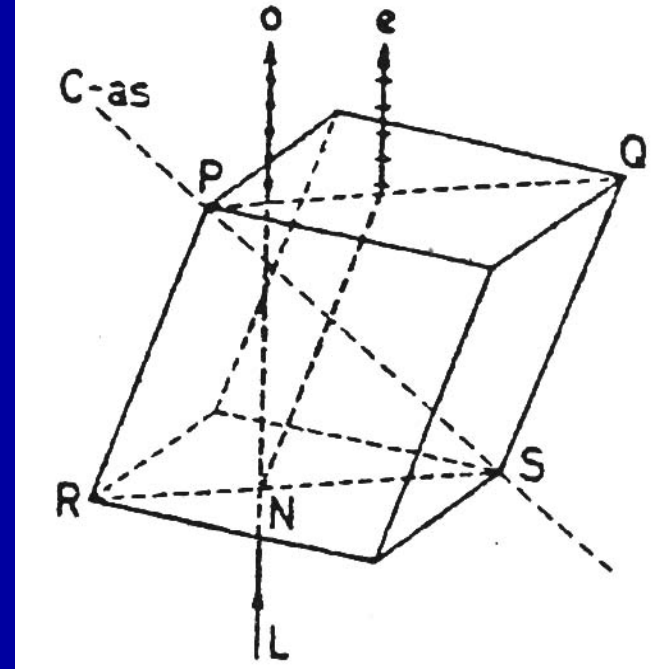
- De rechtdoorgaande straal wordt de ordinaire straal (o-straal) genoemd
- De afgebroken straal wordt de extra-ordinaire straal (e-straal) genoemd
- De o- en de e-straal ondervinden een verschillende brekingsindex:  $n_o$  en  $n_e$





# Dubbelbreking in calciet (4)

- De hoek die tussen de twee deelstralen ontstaat is een maat voor de dubbelbreking
- De dubbelbreking kan ook aangegeven worden als het verschil tussen de hoogste en laagste brekingsindex :  $dB = N - n$
- In calciet :  $dB = n_o - n_e'$



# Dubbelbreking (5)

- Let op: niet alle mineralen worden gekarakteriseerd door een o- en e-straal
- In het algemeen :  $dB = n_z - n_x$   
 $n_z > n_x$



# Dubbelbreking (6)

Algemeen:

- De brekingsindex is een richtingsafhankelijke eigenschap
- Ook de dubbelbreking is dus een richtingsafhankelijke eigenschap
- Elk anisotroop mineraal heeft een range van waarden voor de dubbelbreking



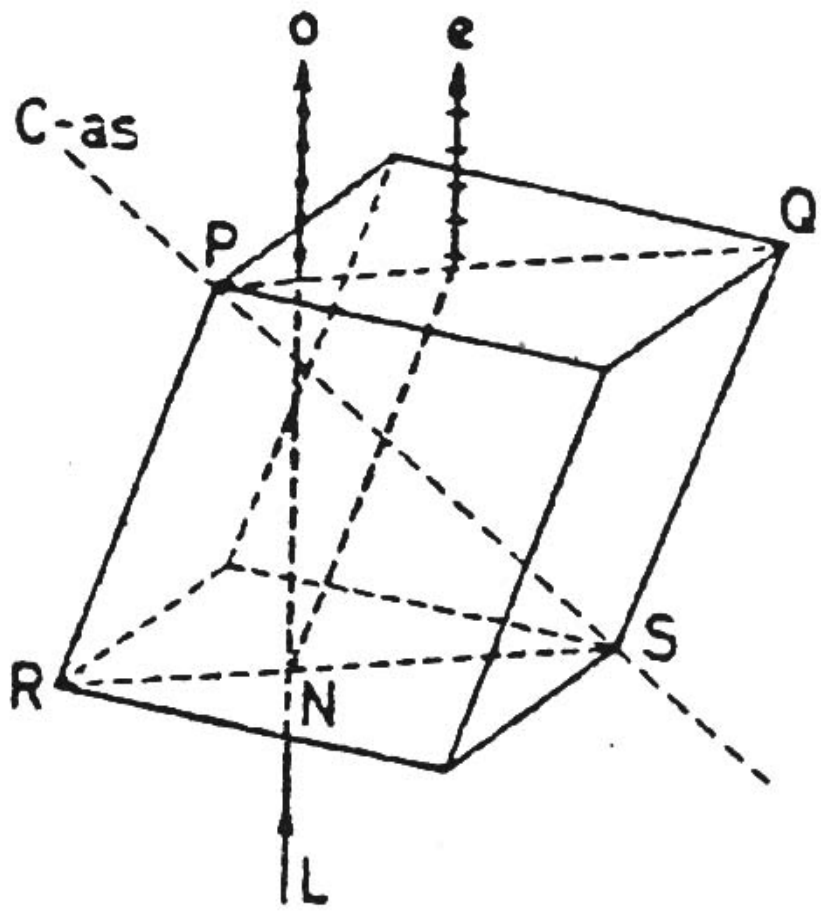


# Dubbelbreking (7)

- Elk mineraal heeft een minimale en een maximale waarde voor de dubbelbreking
- Alleen de maximale waarde is karakteristiek



# Dubbelbreking in calciëet (8)



- Als de calciëet wordt rondgedraaid blijft de ene afbeelding op z'n plaats, de andere afbeelding draait hier omheen.
- De deelstralen worden in het mineraal gepolariseerd

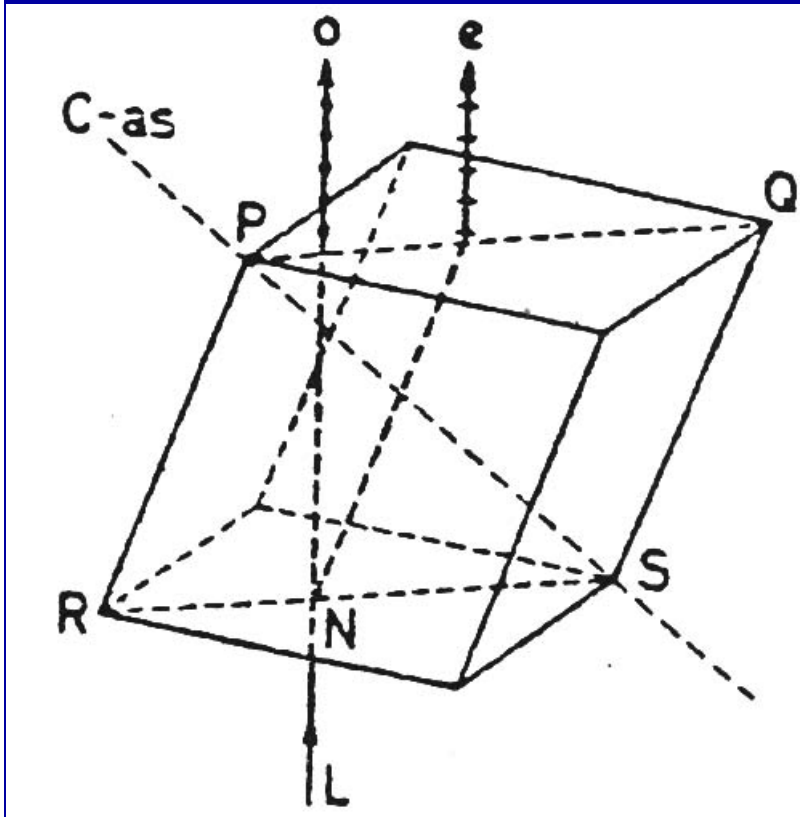


# Polarisatie





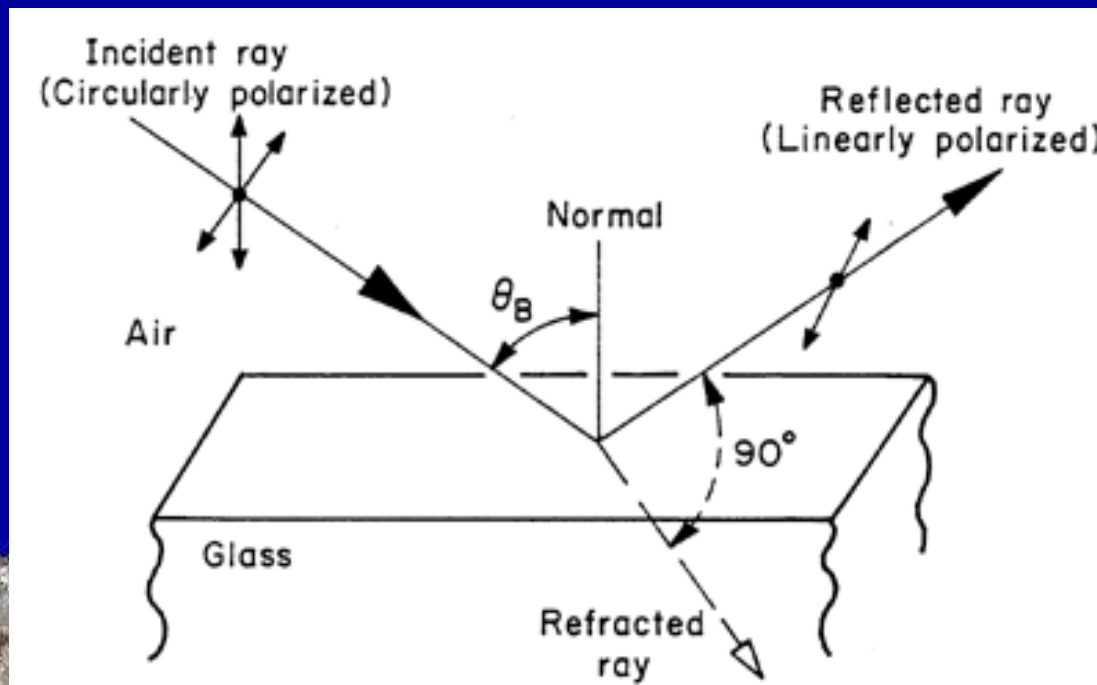
# Polarisatie



- De twee deelstralen zijn gepolariseerd in twee richtingen loodrecht op elkaar
- - : trillingsvlak is evenwijdig aan papier
- • : trillingsvlak is loodrecht op papier

# Polarisatie treedt ook buiten op

- En is maximaal als de hoek tussen de gereflecteerde en gebroken straal  $90^\circ$  is.
- De polarisatie is parallel aan het oppervlak



# Ook:

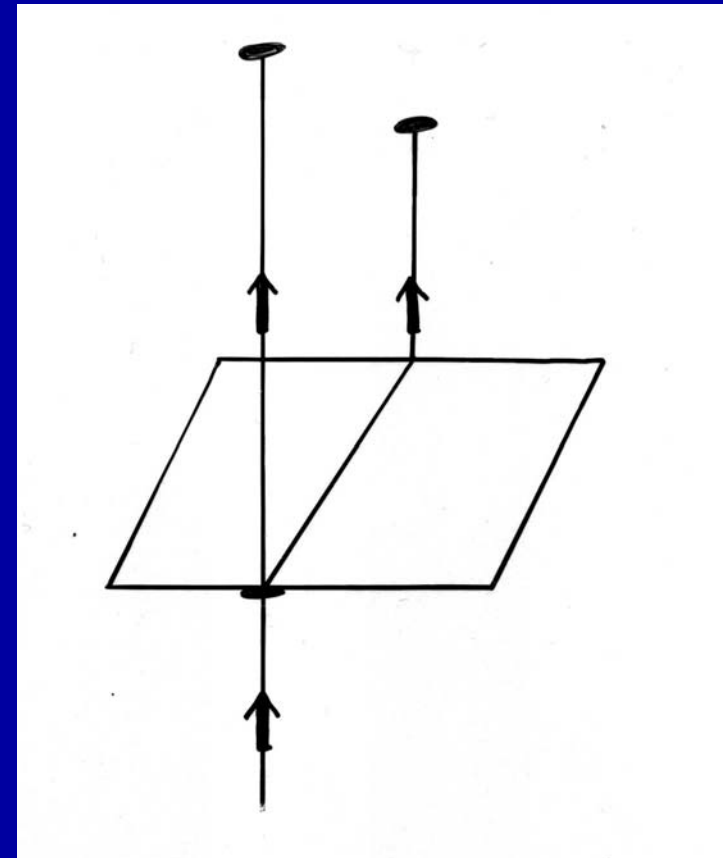


- De twee afbeeldingen liggen niet in hetzelfde vlak
- Ze zijn niet tegelijk scherp



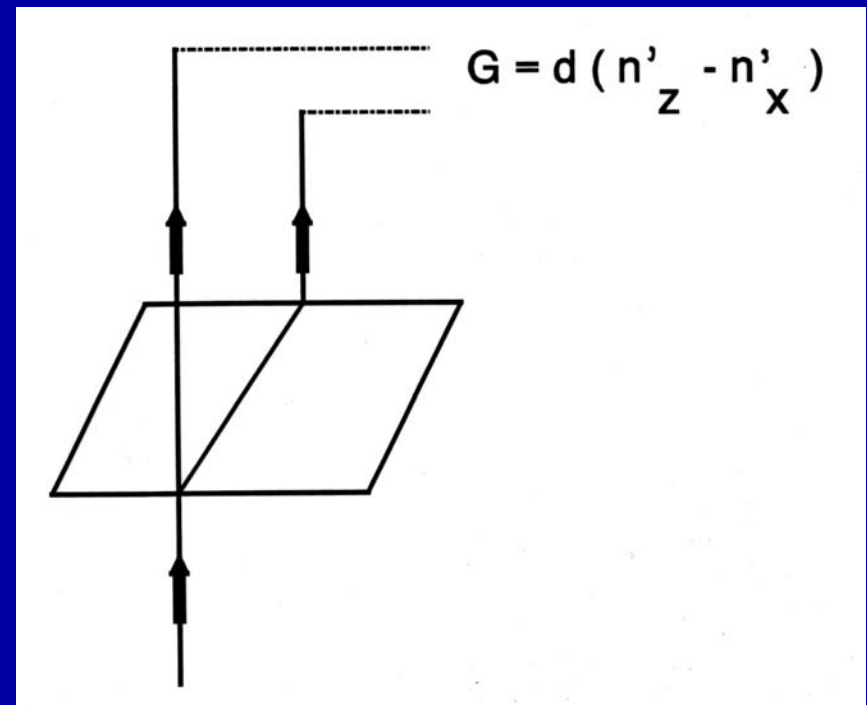


Dit weglengteverschil wordt  
Gangverschil (G) genoemd



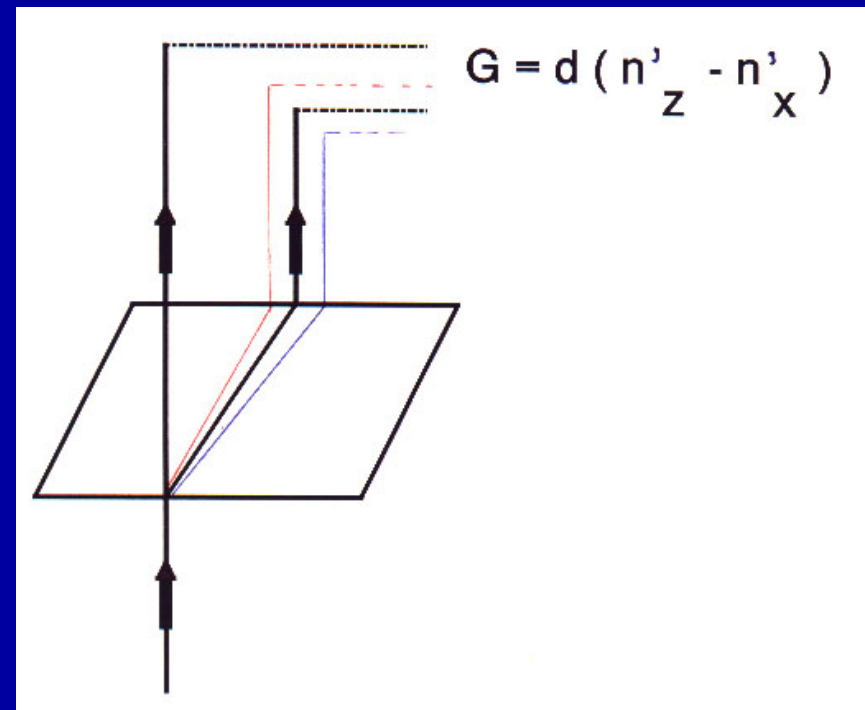
# Gangverschil (1)

- Het gangverschil komt overeen met een **faseverschil**
- Het gangverschil is afhankelijk van de dikte van de  $d$  en van de dubbelbreking



# Gangverschil (2)

- G is tevens afhankelijk van  $\lambda$
- G is een richtingsafhankelijke eigenschap
- G is maximaal als  
 $G = d (n_z - n_x) \text{ nm}$
- $d = 30 \mu\text{m} = 30.000 \text{ nm}$





# Interactie licht en mineraal: resumé 1

- Elke lichtstraal ondervindt vertraging: dit wordt de brekingsindex ( $n$ ) genoemd
- $n$  is een richtingsafhankelijke eigenschap
- Een lichtstraal splitst zich in 2 deelstralen
- Beide deelstralen zijn gepolariseerd, in twee richtingen loodrecht op elkaar



# Interactie licht en mineraal: resumé 1

- De hoek tussen de deelstralen is een maat voor de dubbelbreling:  $dB = (n_z - n_x)$
- dB is een richtingsafhankelijk eigenschap
- Bij het verlaten van het mineraal zijn de twee deelstralen uit fase, dit wordt het Gangverschil G genoemd.
- G is een richtingsafhankelijke eigenschap



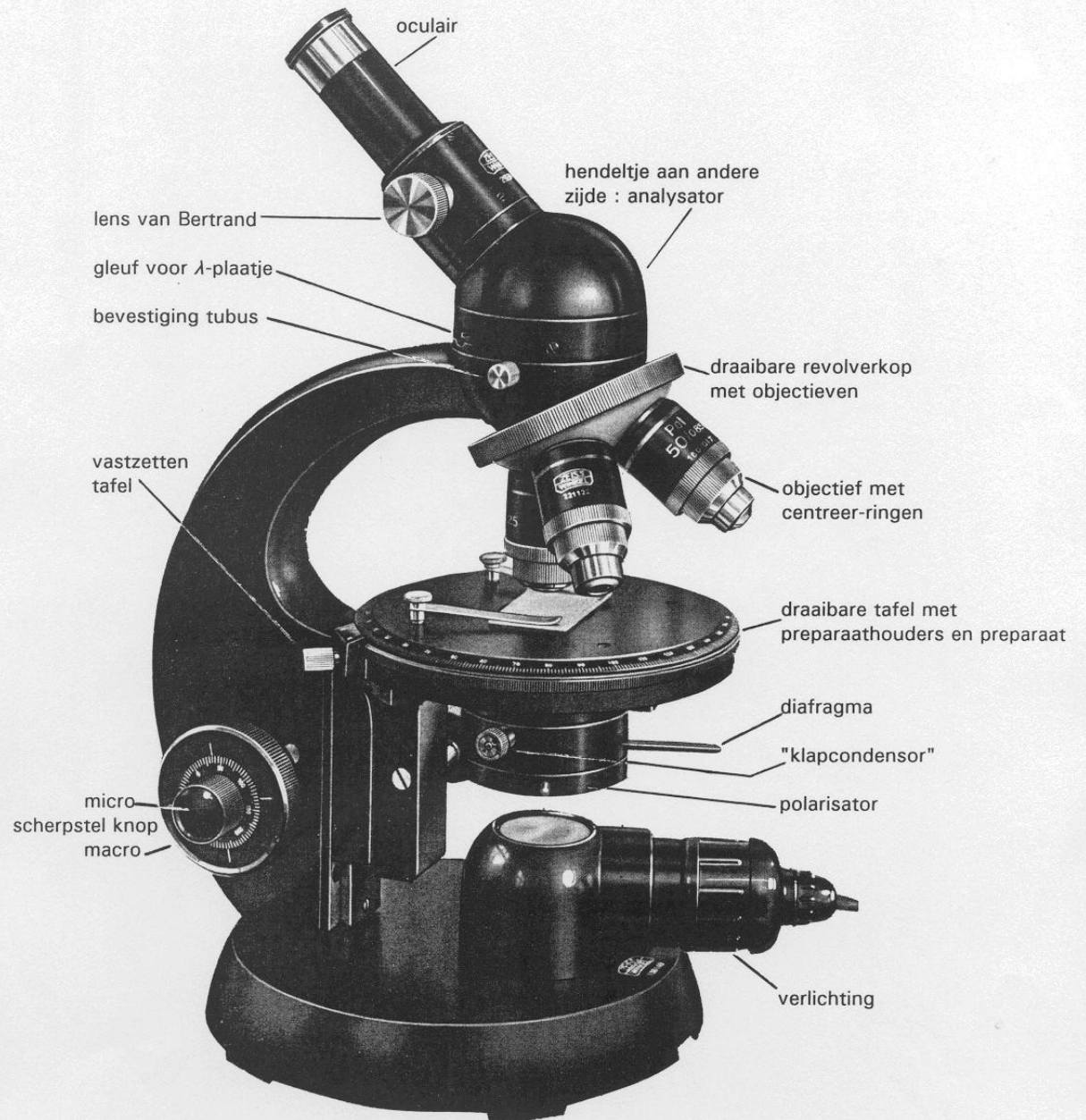
# In diverse talen

- N = brekingsindex  
= index of refraction  
= Brechungsindex
- dB = dubbelbreking  
= double refraction  
= birefringence  
= Doppelbrechung
- G = gangverschil  
= optical path difference  
= (relative) retardation  
= Gangunterschied





# De polarisatie- microscop



# Het vervolg (1)

- Er valt niet één straal op het kristal, maar zeer vele.
- Alle stralen veroorzaken gepolariseerde deelstralen, waartussen een G ontstaat.
- In en boven het kristal treedt interferentie op.
- Zodra de analysator ingeschoven wordt gaat van elke overgebleven straal een resultante door de analysator.



## Het vervolg (2)

- Er treedt in de analysator opnieuw interferentie op
- Elke lichtstraal die de analysator verlaat heeft een bepaalde golflengte en bijbehorende kleur
- Menging van deze kleuren levert een mengkleur op: de **interferentiekleur**





# Interferentiekleur (1)

- Elke combinatie van gangverschillen die bij een bepaalde oriëntatie van het kristal ontstaat, levert een karakteristieke interferentiekleur.
- Het gangverschil is richtingsafhankelijk
- De interferentiekleur dus ook!

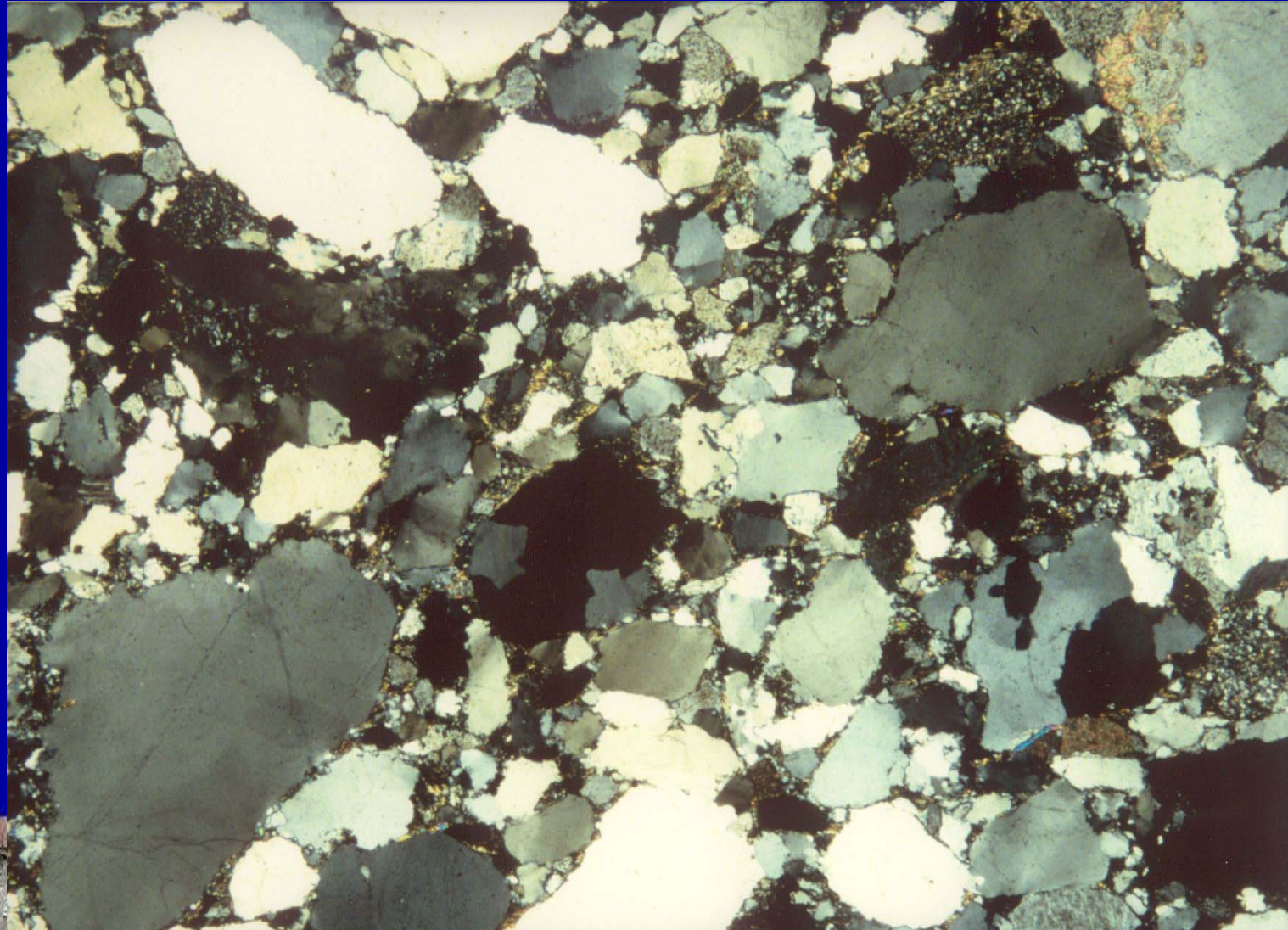


# Interferentiekleur (2)

- Elk anisotroop mineraal kent een range van waarden voor de dubbelbreking, van 0 tot maximaal
- Dus laat elk anisotroop mineraal een scala van interferentiekleuren zien
- De kleur die bij de maximale dubbelbreking hoort is karakteristiek!

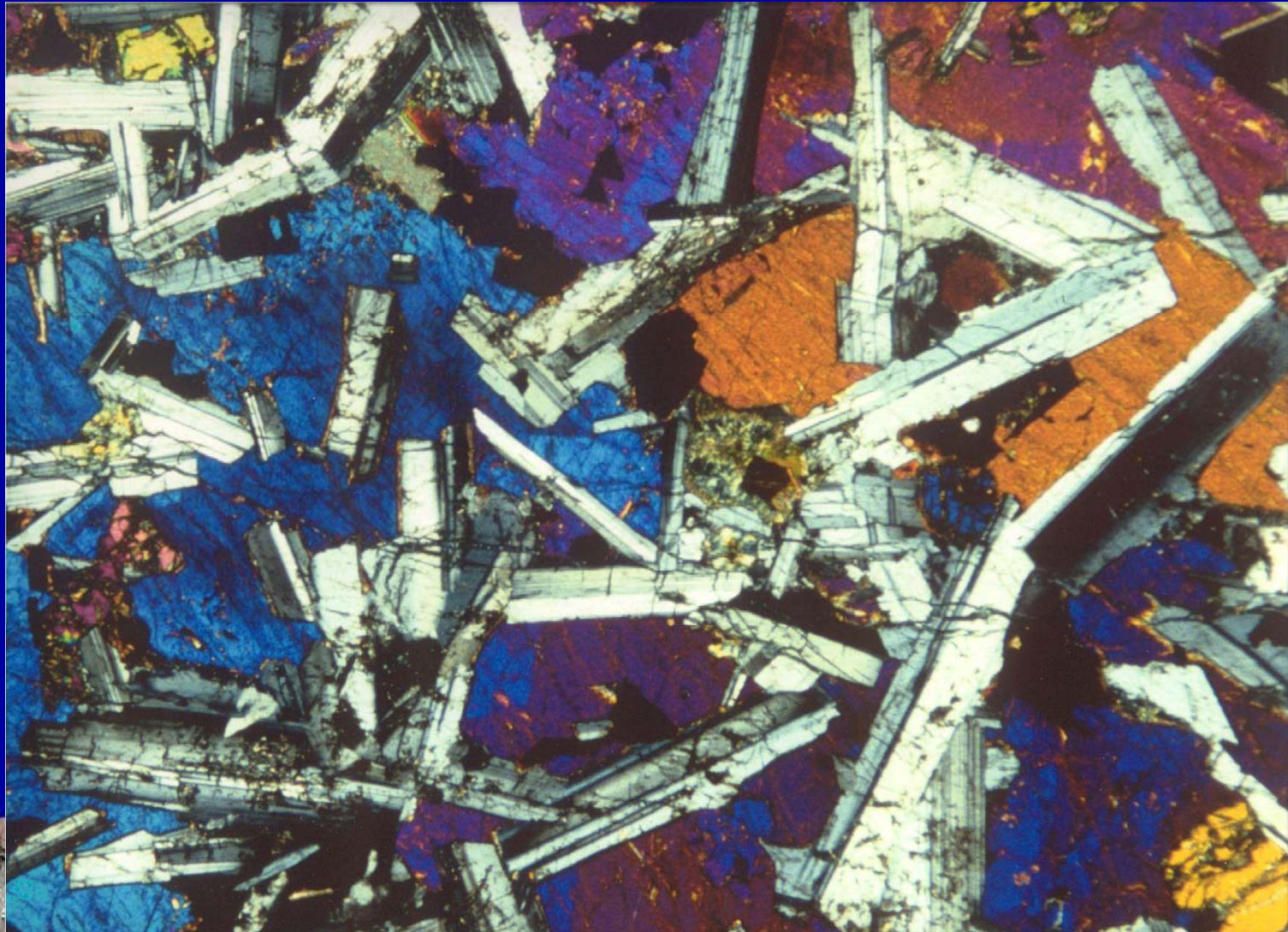


# Kwarts in zandsteen





# Augiet en plagioklaas in gabbro

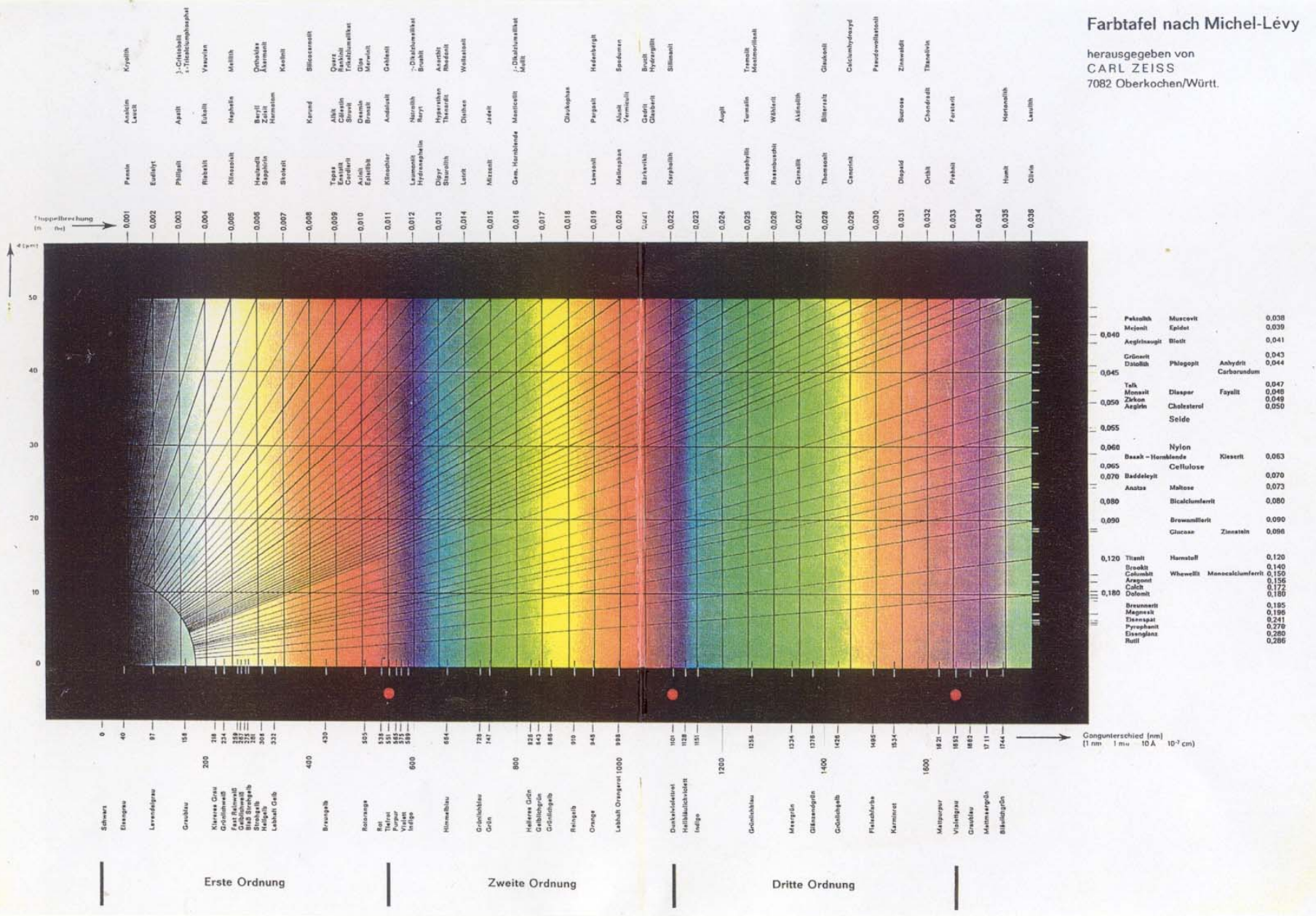




# Interferentienfarben (3): Michel Lévy

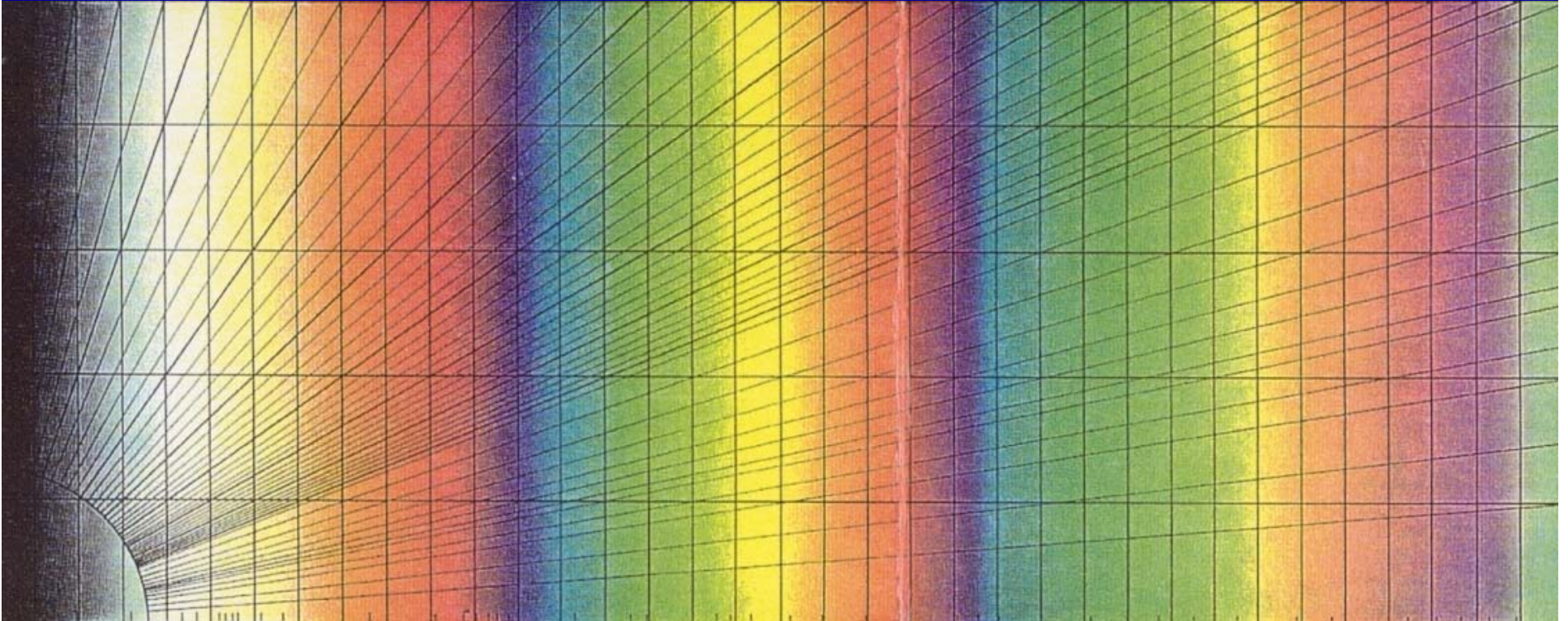
Farbtafel nach Michel-Lévy

herausgegeben von  
CARL ZEISS  
7082 Oberkochen/Württ.





# Interferentiekleur (4)



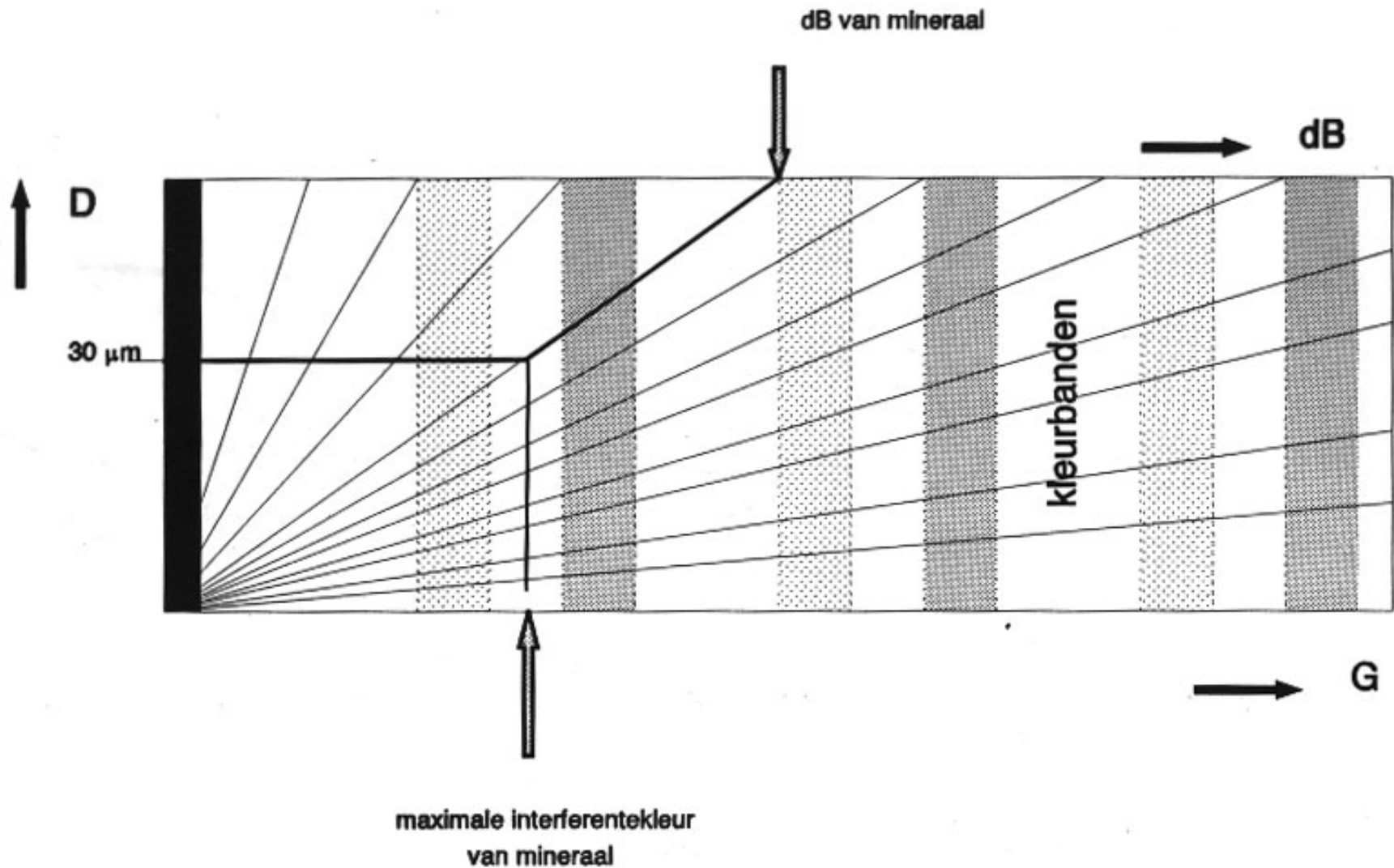
$$G = d(n_z - n_x) = d(\text{dB})$$

- Er is dus een lineair verband tussen G en dB
- G is een faseverschil, eenheid: nm
- $d = 30\mu\text{m} = 30.000 \text{ nm}$
- $\text{dB} = G/d$ : getal zonder eenheid
- dB is af te lezen op de kleurenkaart





# Van G naar dB (1)

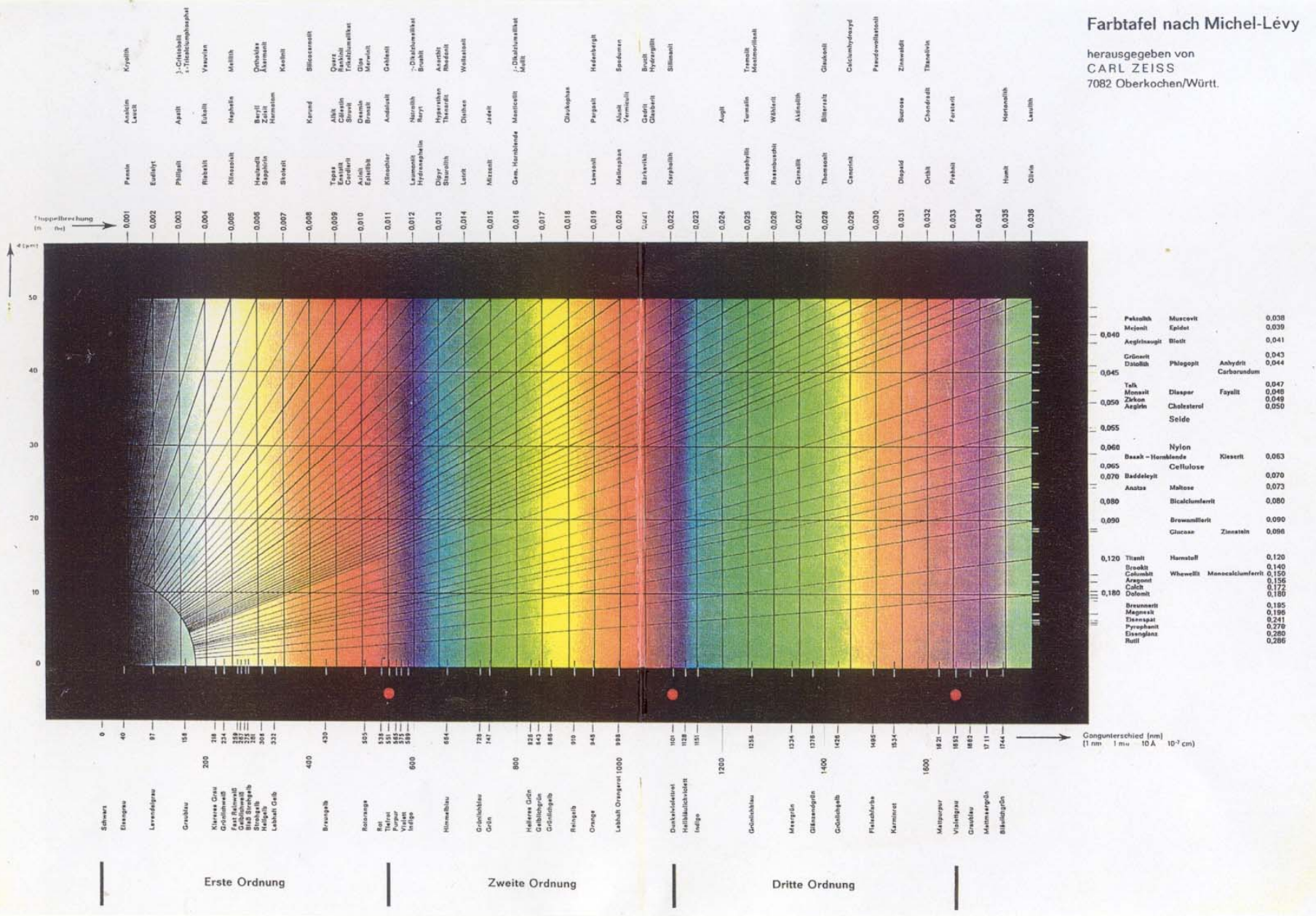




# Van G naar dB (2)

Farbtafel nach Michel-Lévy

herausgegeben von  
CARL ZEISS  
7082 Oberkochen/Württ.



# Indicatrix (1)

- Voor alle mineralen zijn de waarden voor de brekingsindex vastgelegd in een ruimtelijk lichaam
- Ook de waarden voor de dubbelbreking zijn dus in ditzelfde geconstrueerde lichaam vastgelegd.
- Dit lichaam wordt een **indicatrix** genoemd



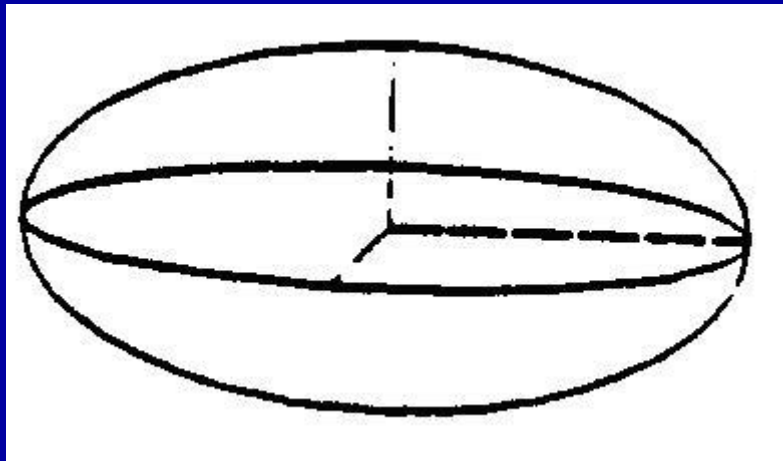
# Indicatrix (2)

- De indicatrix kent vier basisvormen:
  - bol
  - omwentelingsymmetrische ellipsoïde:
    - met een langgerekte vorm
    - met een afgeplatte vorm
  - algemene ellipsoïde
- Elk mineraal heeft een indicatrix met karakteristieke afmetingen





# De indicatrix van calciëet (1)



# Ellips van doorsnede (1)

- Wordt een mineraal doorgesneden dan wordt ook de indicatrix doorgesneden, altijd door z'n middelpunt.
- De doorsnede van een indicatrix geeft altijd een ellips, de zogenaamde 'ellips van doorsnede'



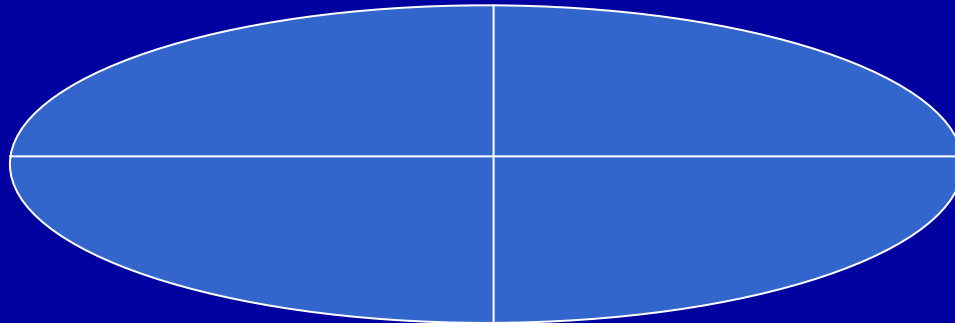
## Ellips van doorsnede (2)

- De ellipticiteit van deze ellips van doorsnede is variabel
- Elke indicatrix heeft een ellips van doorsnede met een minimale ellipticiteit
- Elke indicatrix heeft een ellips van doorsnede met een maximale ellipticiteit
- Tussen deze uiterste waarden varieert de vorm van de ellips van doorsnede 'traploos'



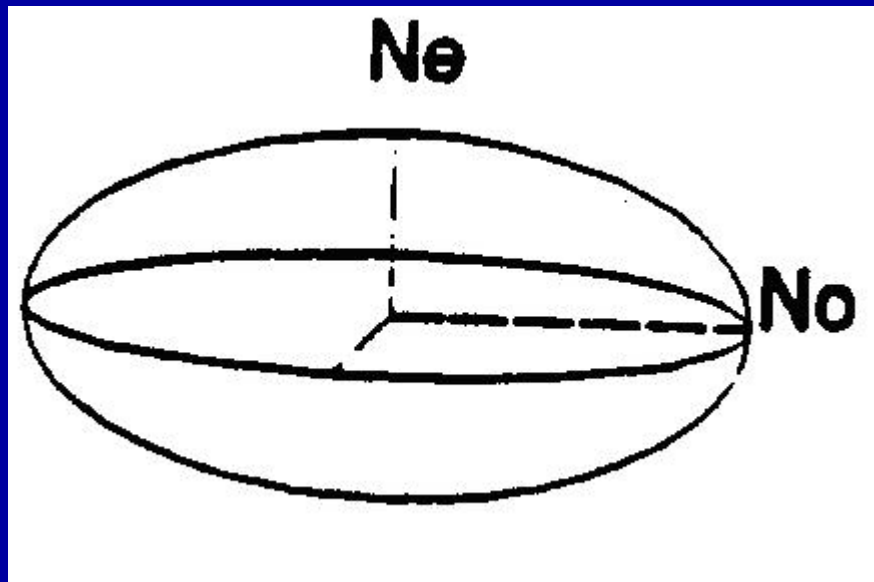


# Ellips van doorsnede (3)

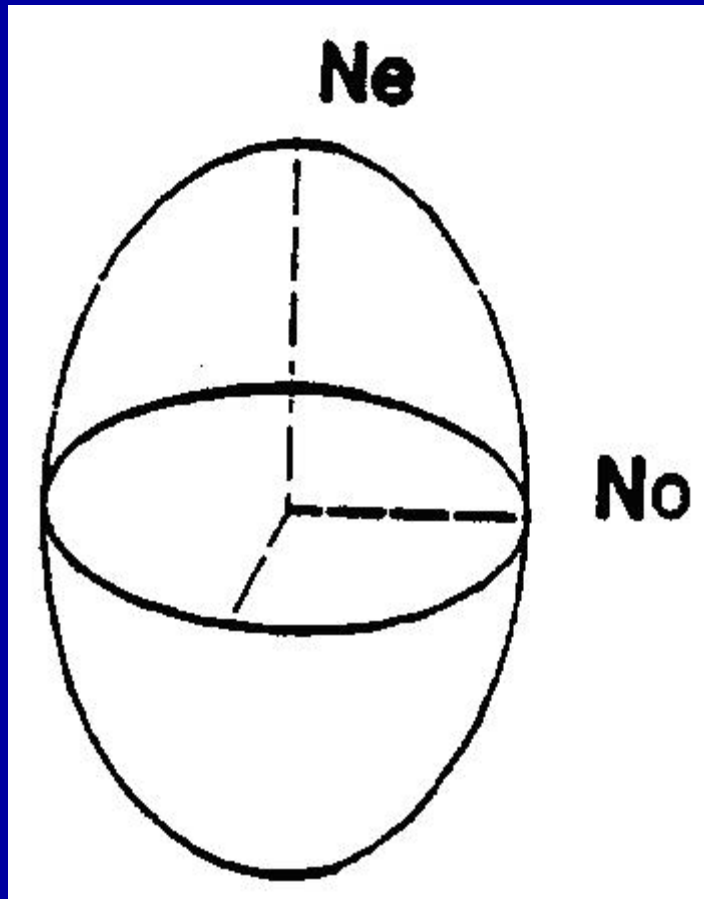


- De assen geven de polarisatierichting van de twee deelstralen weer
- De lengten van de assen geven de waarden voor  $n$  van de deelstralen weer
- Het verschil in lengte geeft de dB weer

# De indicatrix van calciëet (2)



# De indicatrix van kwarts





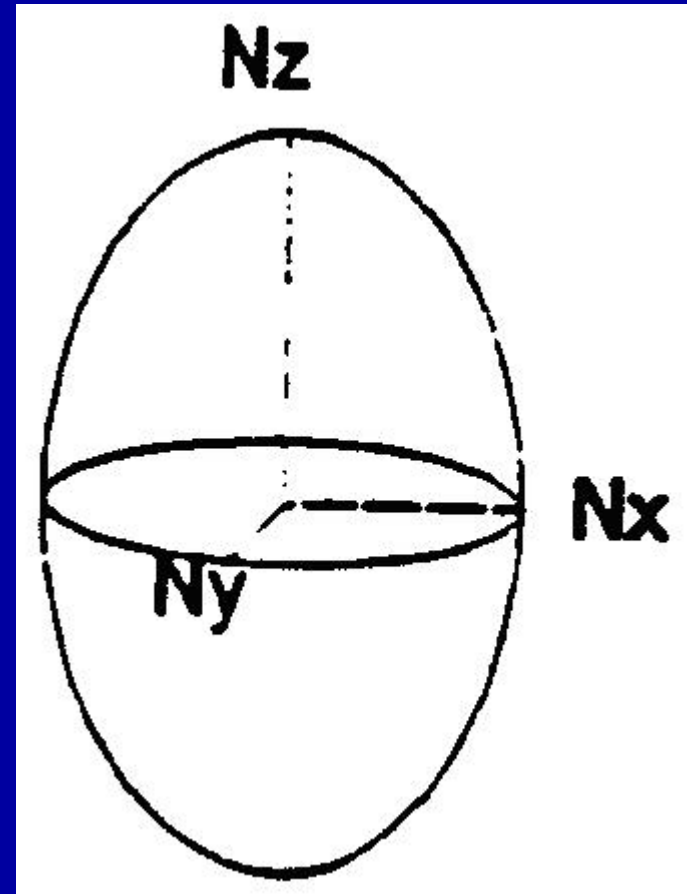
Welke kristalstelsels hebben een indicatrix die omwentelings-symmetrisch is?

trigonaal, tetragonaal en hexagonaal  
stelsel



# Algemene ellipsoïde

- $n_z > n_{ij} > n_x$
- Bij welke kristalstelsels hoort deze indicatrix?



# Bolvormige indicatrix

- Welke kristalstelsels hebben een bolvormige indicatrix?
- Wat is de maximale dB van mineralen met een bol als indicatrix?
- Welke interferentiekleur hoort daarbij?





# Uitdoving (1)

Anisotrope mineralen kunnen zo doorgesneden zijn dat ze géén interferentiekleur laten zien:

- Het mineraal ligt in de uitdovingsstand
- Ellips van doorsnede heeft een cirkelvorm



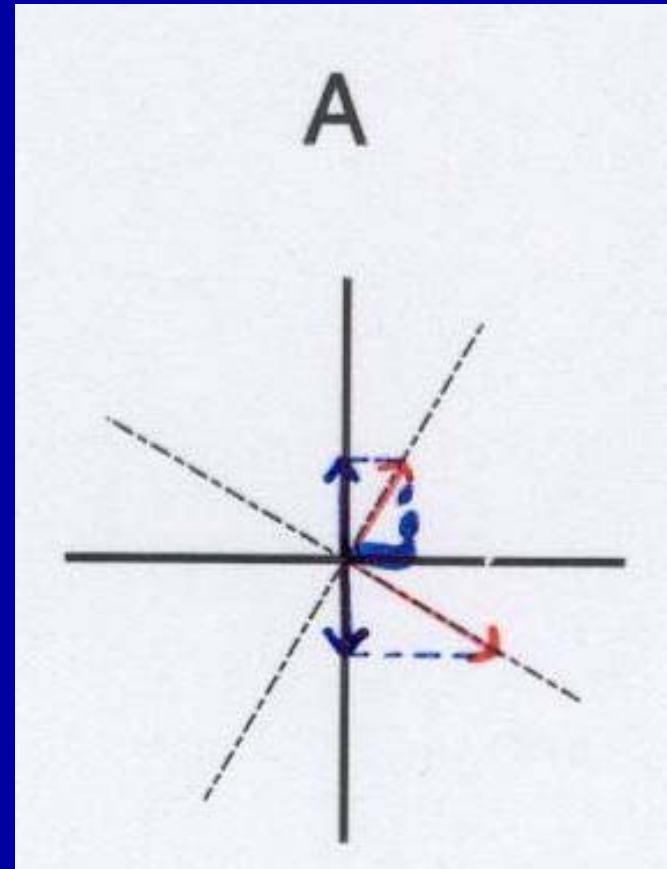
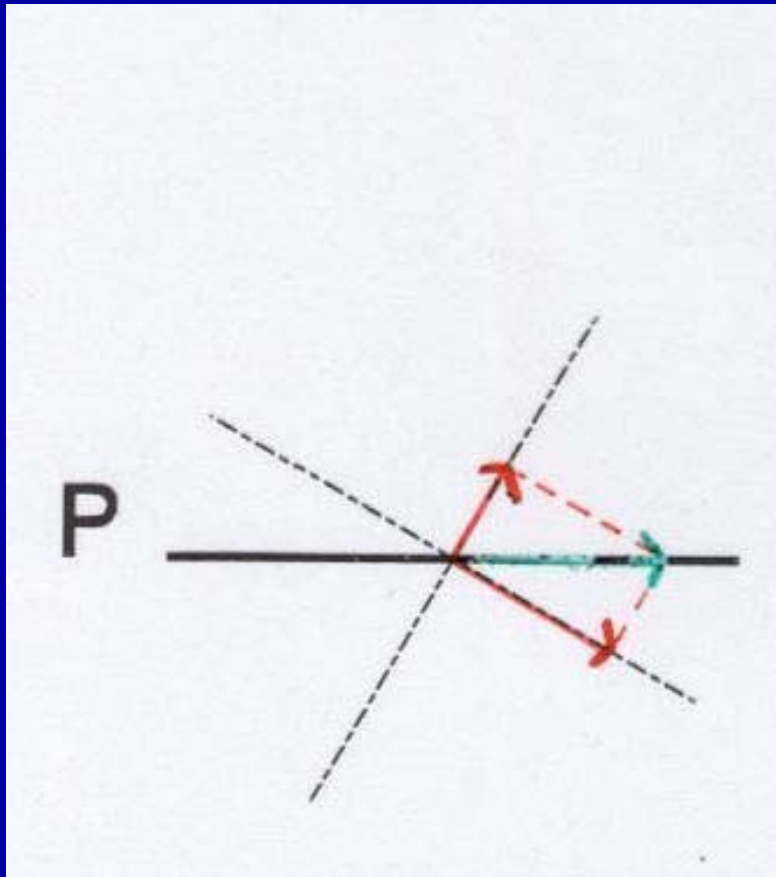
# Uitdoving (2)

Anisotrope mineralen kunnen zo doorgesneden zijn dat ze géén interferentiekleur laten zien:

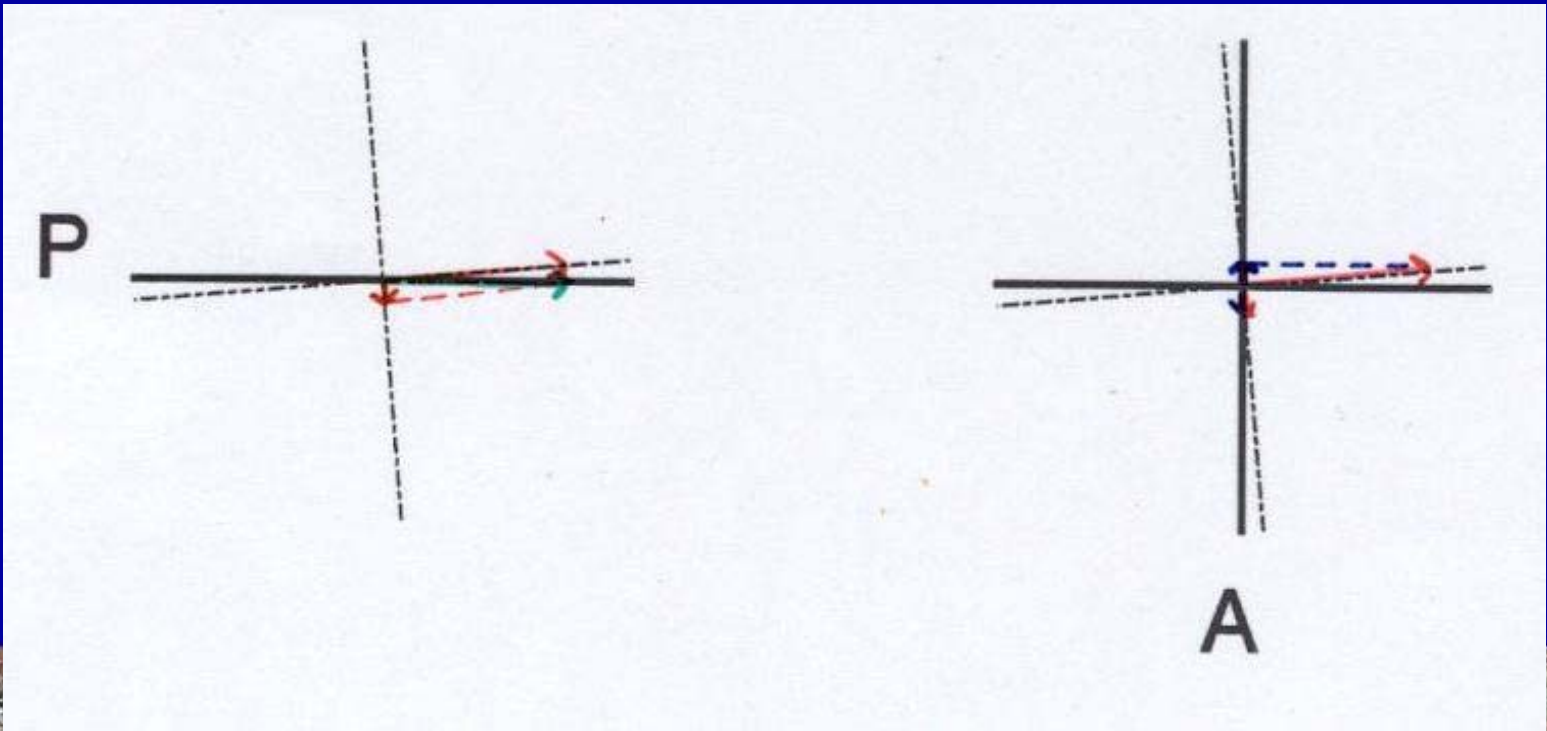
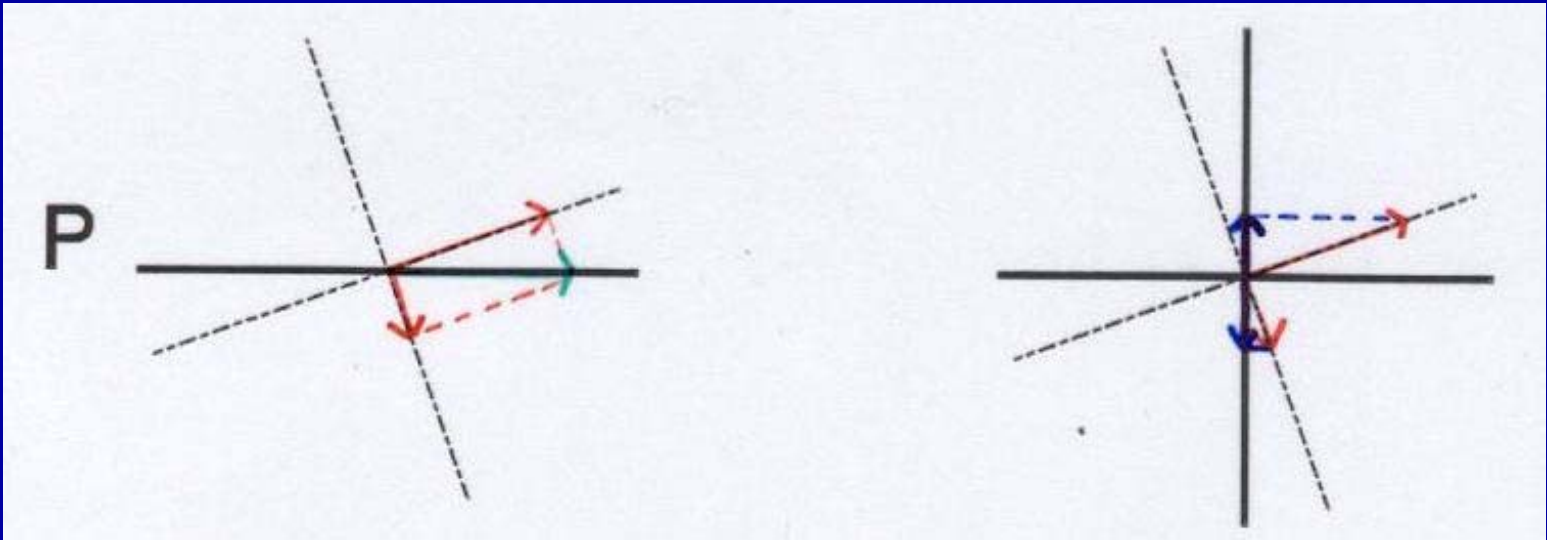
- Het mineraal ligt in de uitdovingsstand
- Ellips van doorsnede heeft een cirkelvorm



# Uitdovingsstand (1)

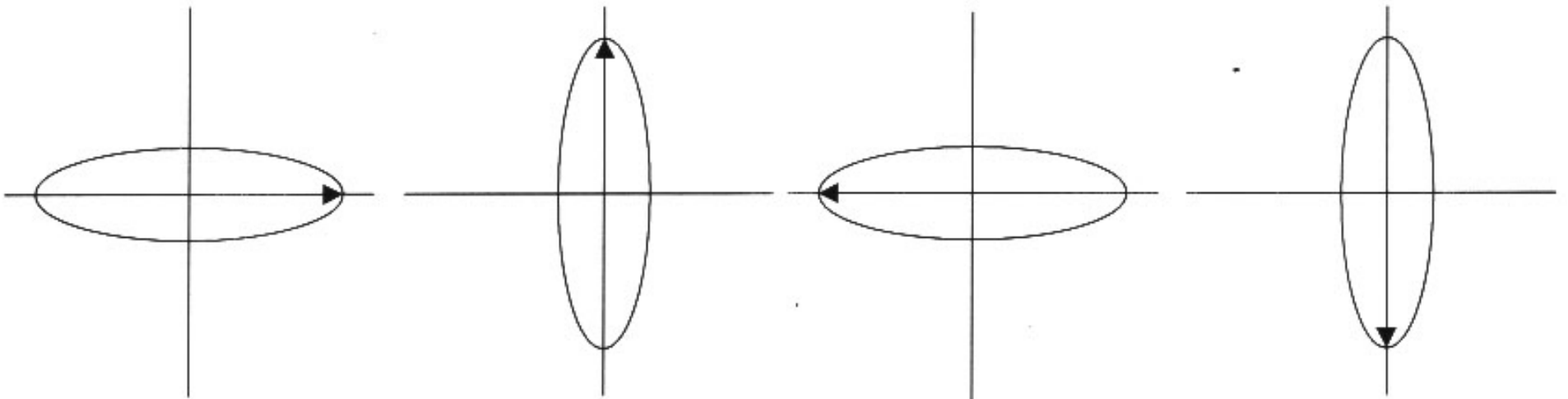






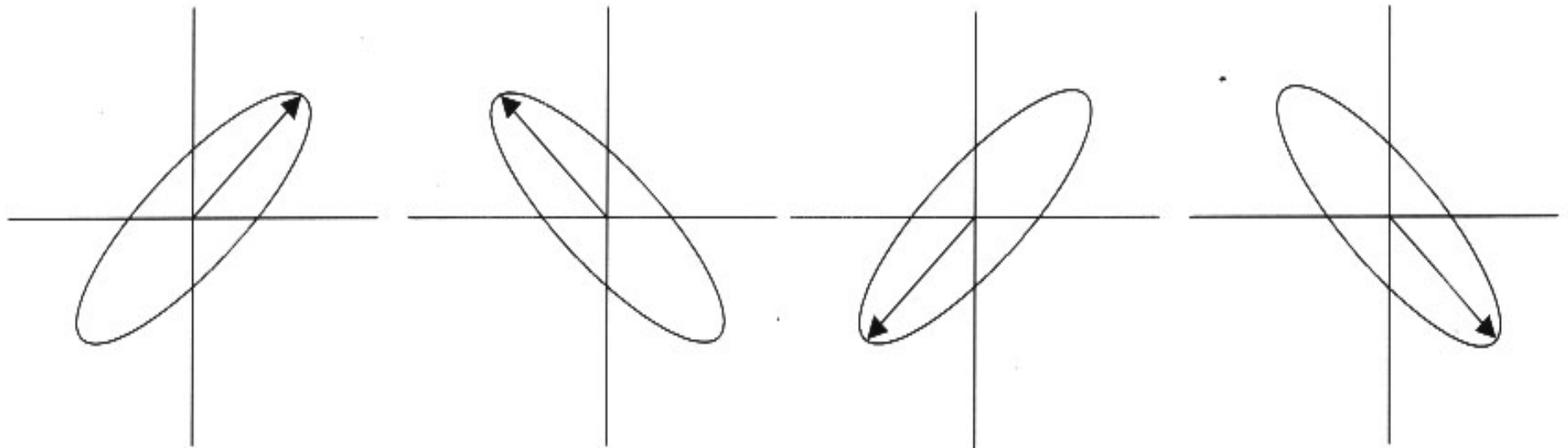
uitdoovingsstand =  $0^\circ$ -stand

Tijdens  $360^\circ$  ronddraaien vindt 4 x uitdooving plaats.



# 45°-standen

- De standen met de helderste interferentiekleuren zitten precies tussen de uitdovingsstanden in





# Uitdoving (3)

Anisotrope mineralen kunnen zo doorsneden zijn dat ze géén interferentiekleur laten zien:

- Het mineraal ligt in de uitdovingsstand
- Ellips van doorsnede heeft een cirkelvorm
- Waarom vindt uitdoving plaats als de ellips van doorsnede cirkelvormig is?



- De cirkelsnede van de ellips van doorsnede van een anisotroop mineraal gedraagt zich als een isotroop mineraal
- Het wordt de '**isotrope snede**' genoemd
- De loodlijn op de cirkelsnede wordt de '**optische as**' genoemd



Alle indicatrices van anisotrope mineralen hebben ten minste één doorsnede die cirkelvormig is.



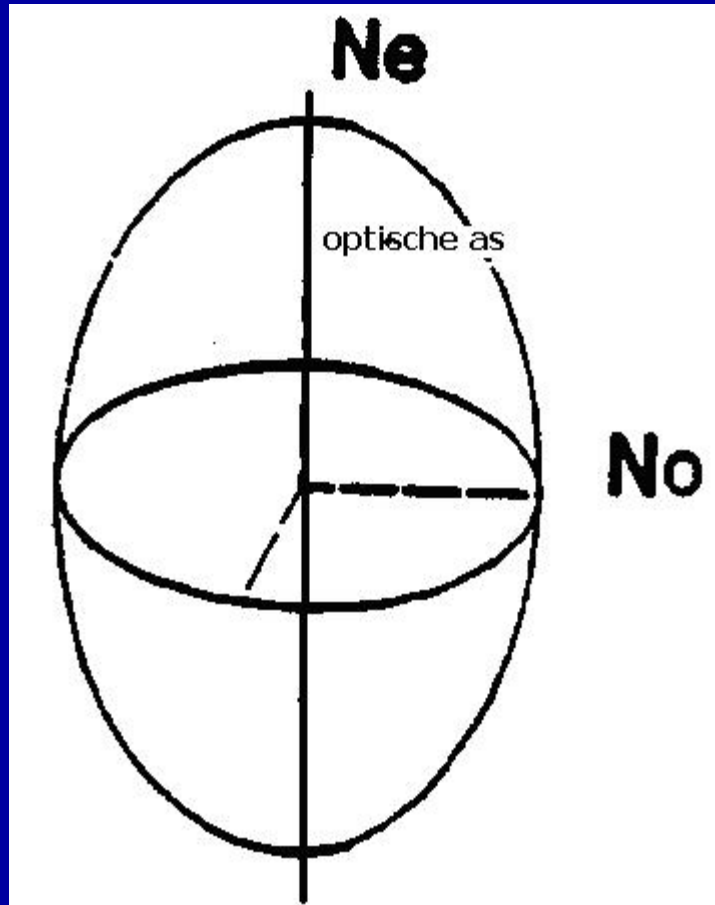


# De optische as (1)

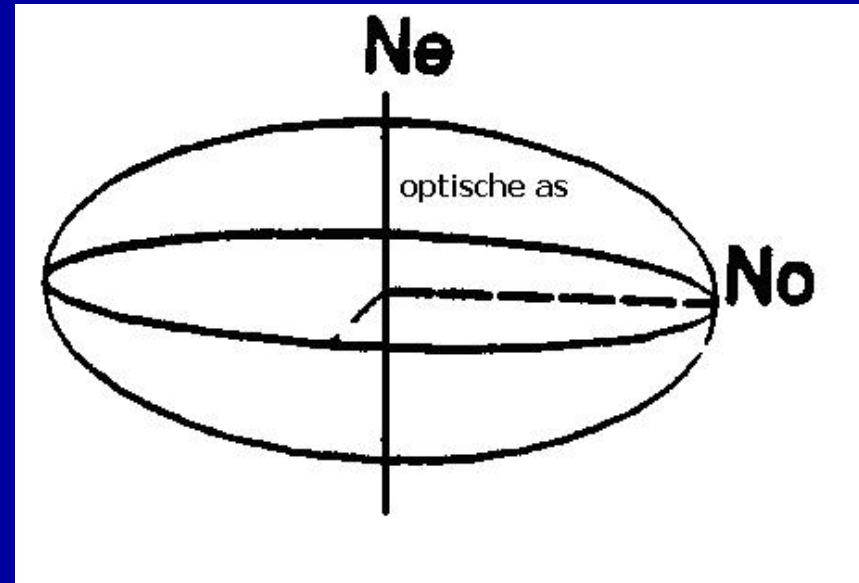
- Een indicatrix met de vorm van een omwentelings-ellipsoïde heeft 1 cirkelvormige doorsnede.
- Mineralen met een dergelijke indicatrix zijn dus **optisch 1-assig**.
- Er bestaan zowel optisch 1-assige positieve als optisch 1-assige negatieve mineralen.



1-assig positief:



1-assig negatief:



## De optische as (2)

- Heeft de indicatrix die de vorm heeft van een algemene ellipsoïde ook een cirkelsnede?
- Ja, deze indicatrices hebben zelfs twee cirkelvormige doorsneden
- en dus twee optische assen.



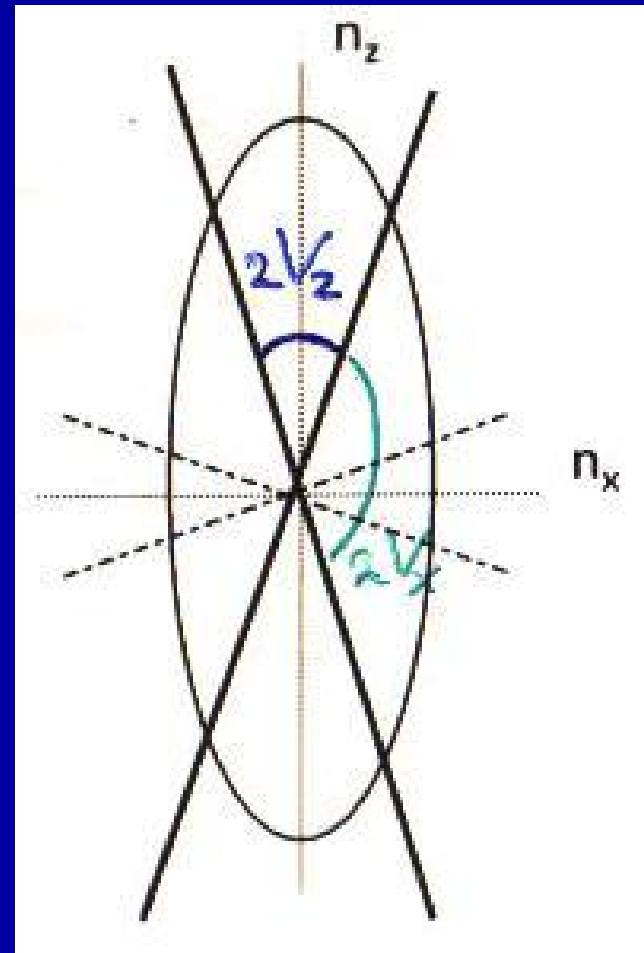
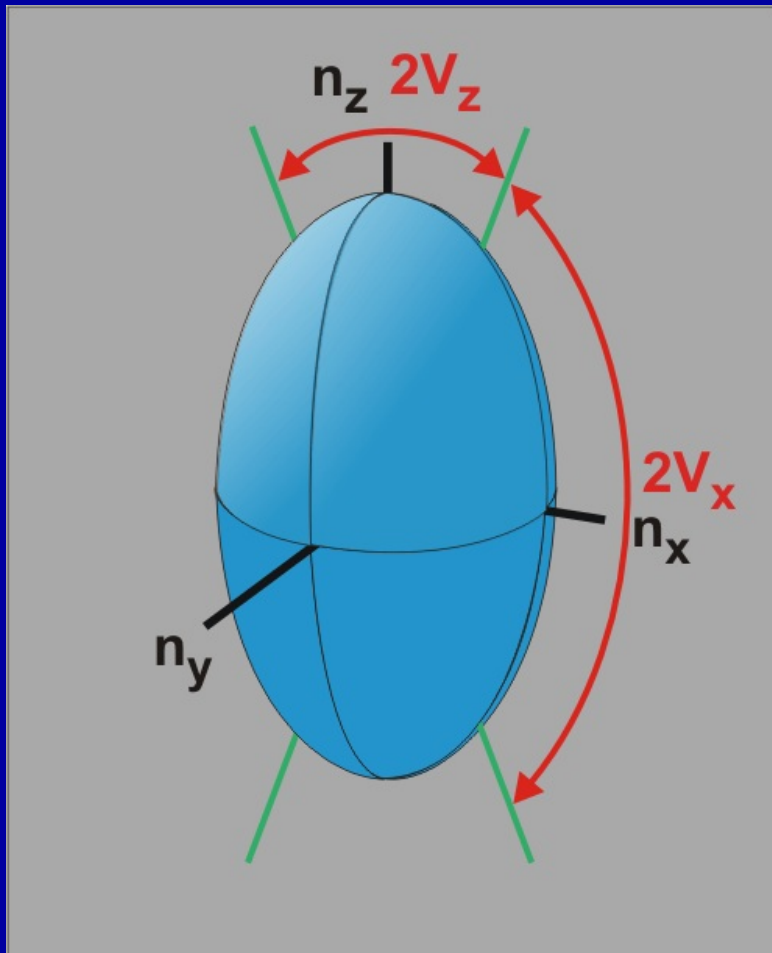
# De optische as (3)

- Mineralen die een algemene ellipsoïde als indicatrix hebben zijn dus **optisch 2-assig**.
- Er bestaan zowel optisch 2-assige positieve als optisch 2-assige negatieve mineralen.

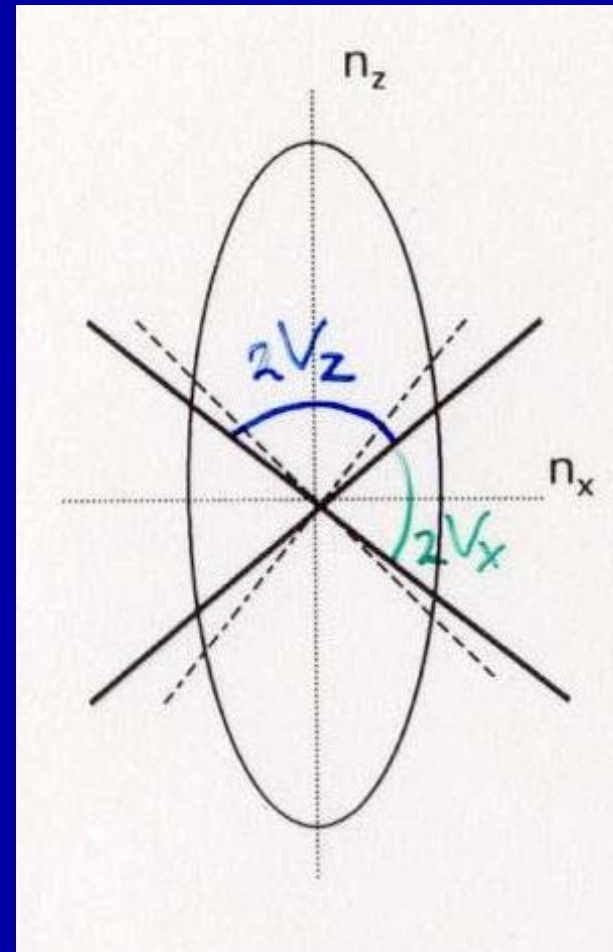
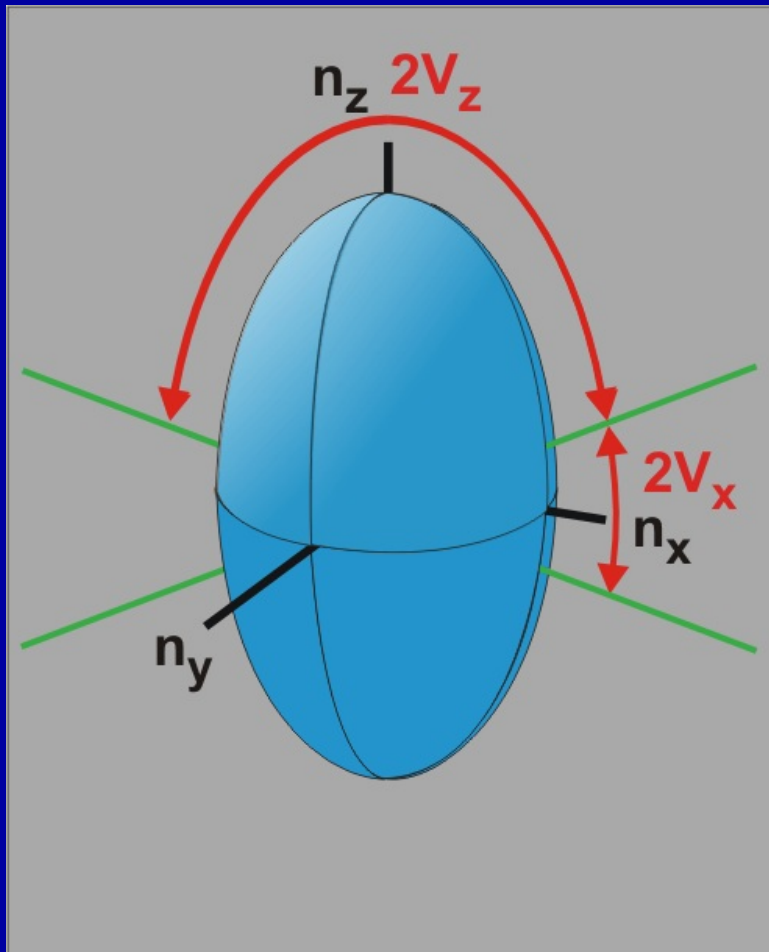


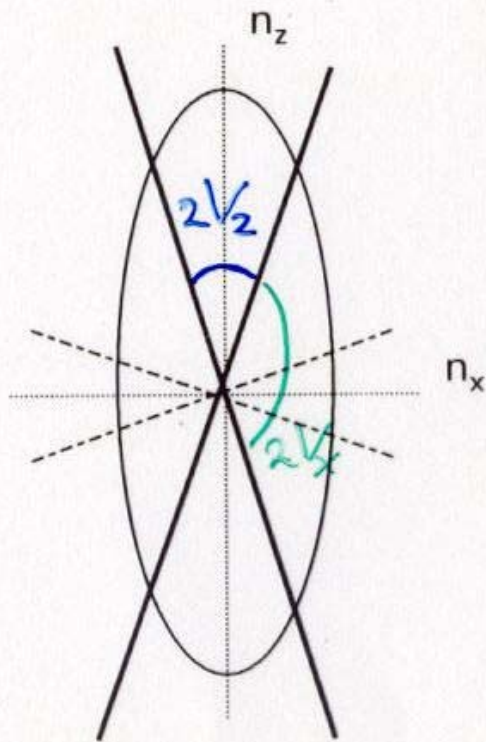


# 2-assig positief



# 2-assig negatief

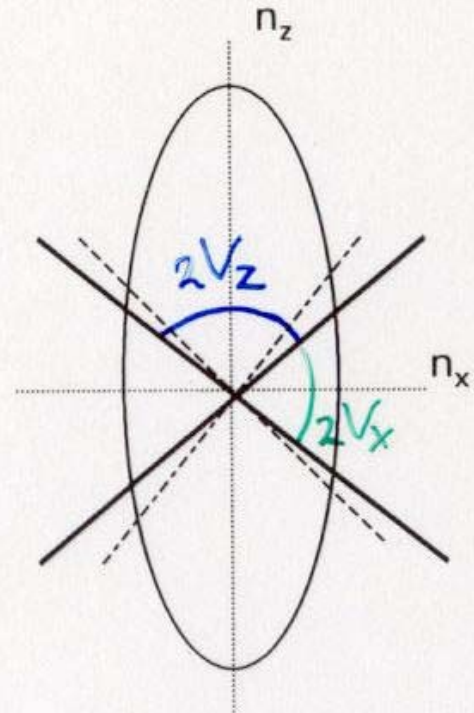




2-assig positief

$$2V_z < 90^\circ$$

$$2V_x > 90^\circ$$



2-assig negatief

$$2V_z > 90^\circ$$

$$2V_x < 90^\circ$$

# De optische as (4)

- Optische assen zijn zichtbaar te maken
- Hiervoor wordt een 'interferentiefiguur' gemaakt
- Dit wordt ook wel een 'assenbeeld' genoemd





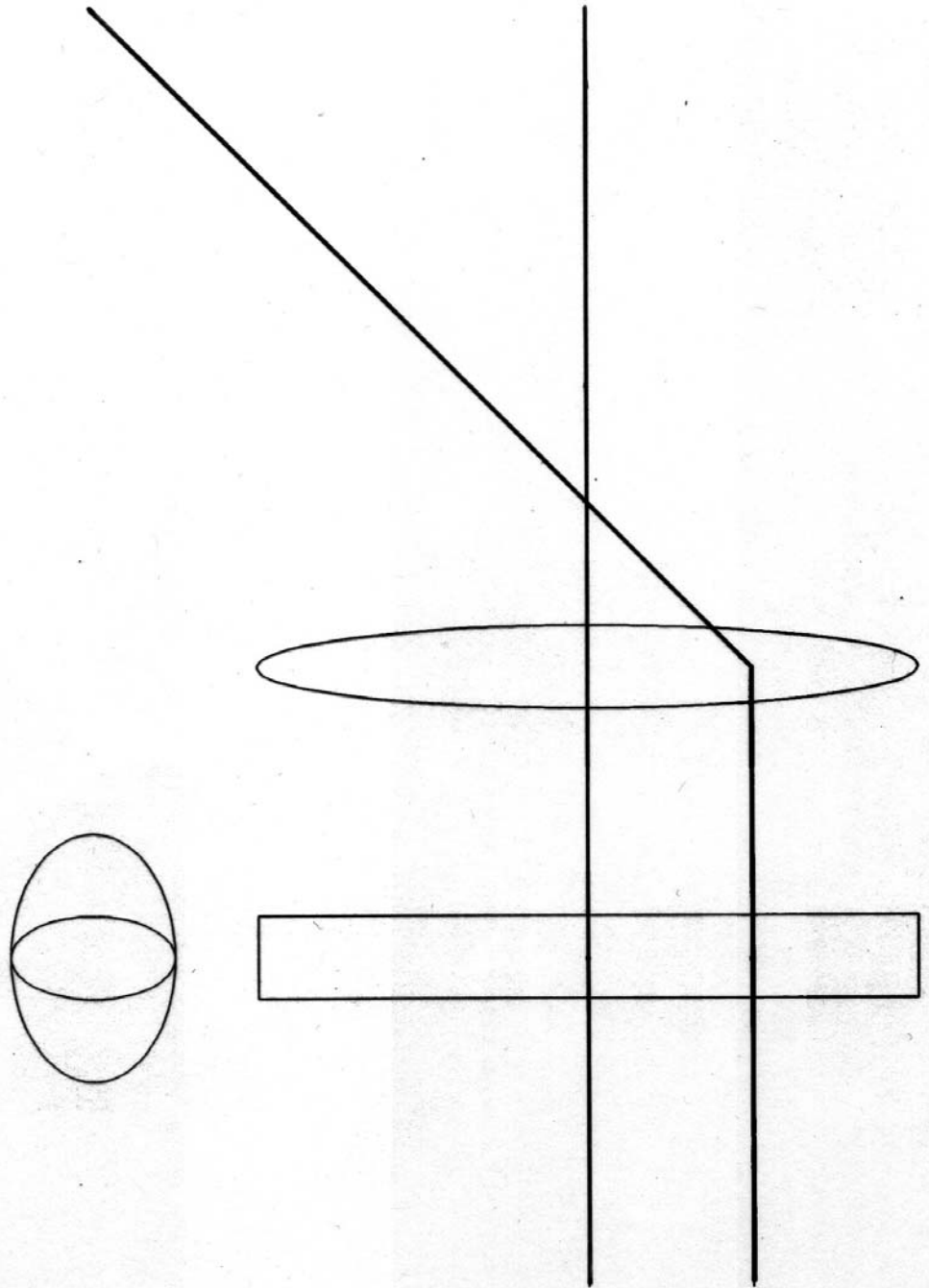
# Interferentiefiguur of assenbeeld

- Een assenbeeld wordt gemaakt door een kegelvormige lichtbundel (conoscopisch licht) op een specifieke doorsnede van het mineraal te laten vallen
- Voor 1-assige mineralen is hiervoor de cirkelsnede van de indicatrix nodig
- Deze snede staat immers loodrecht op de optische as

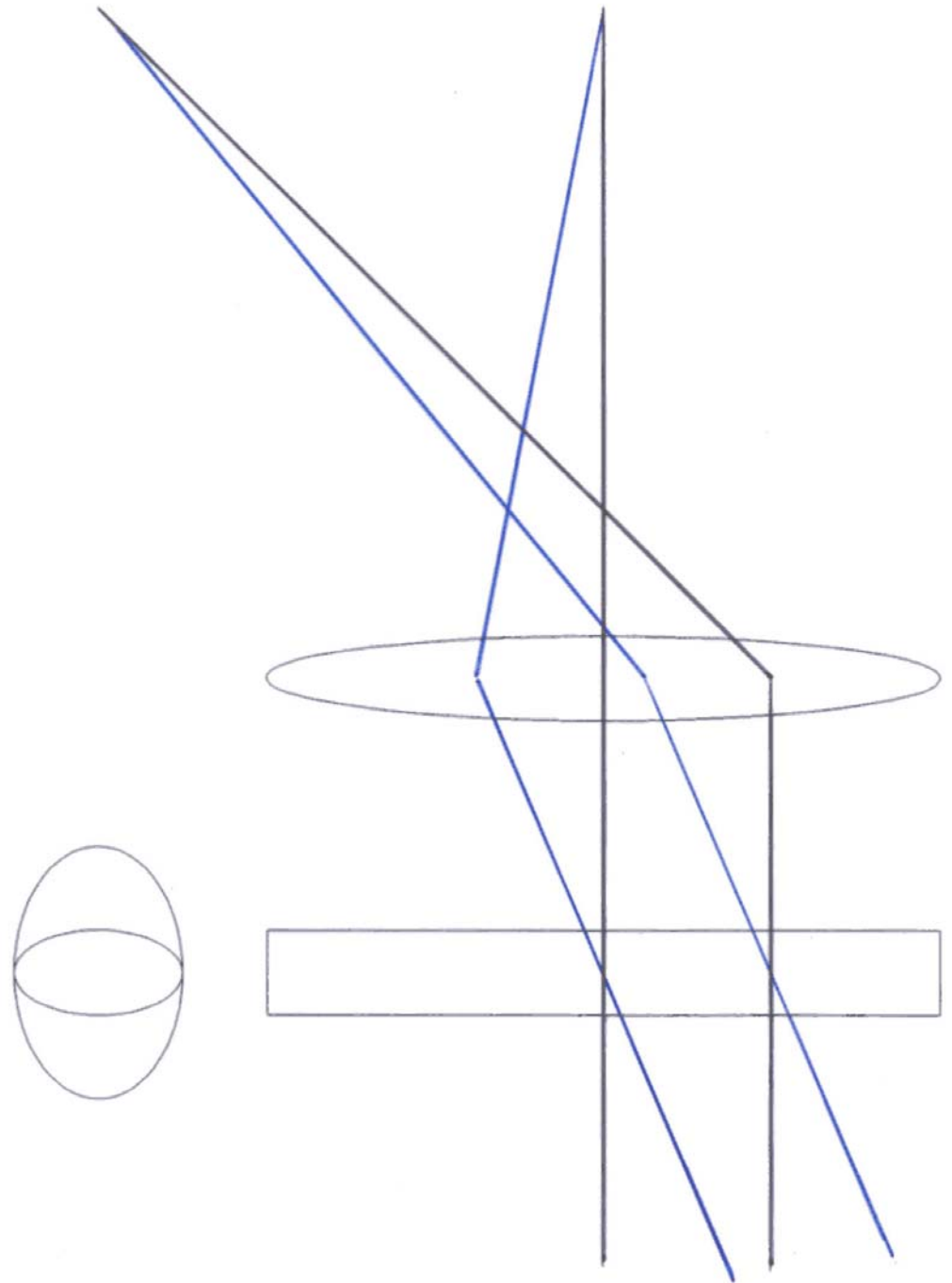


# Assenbeeld kwarts (1)

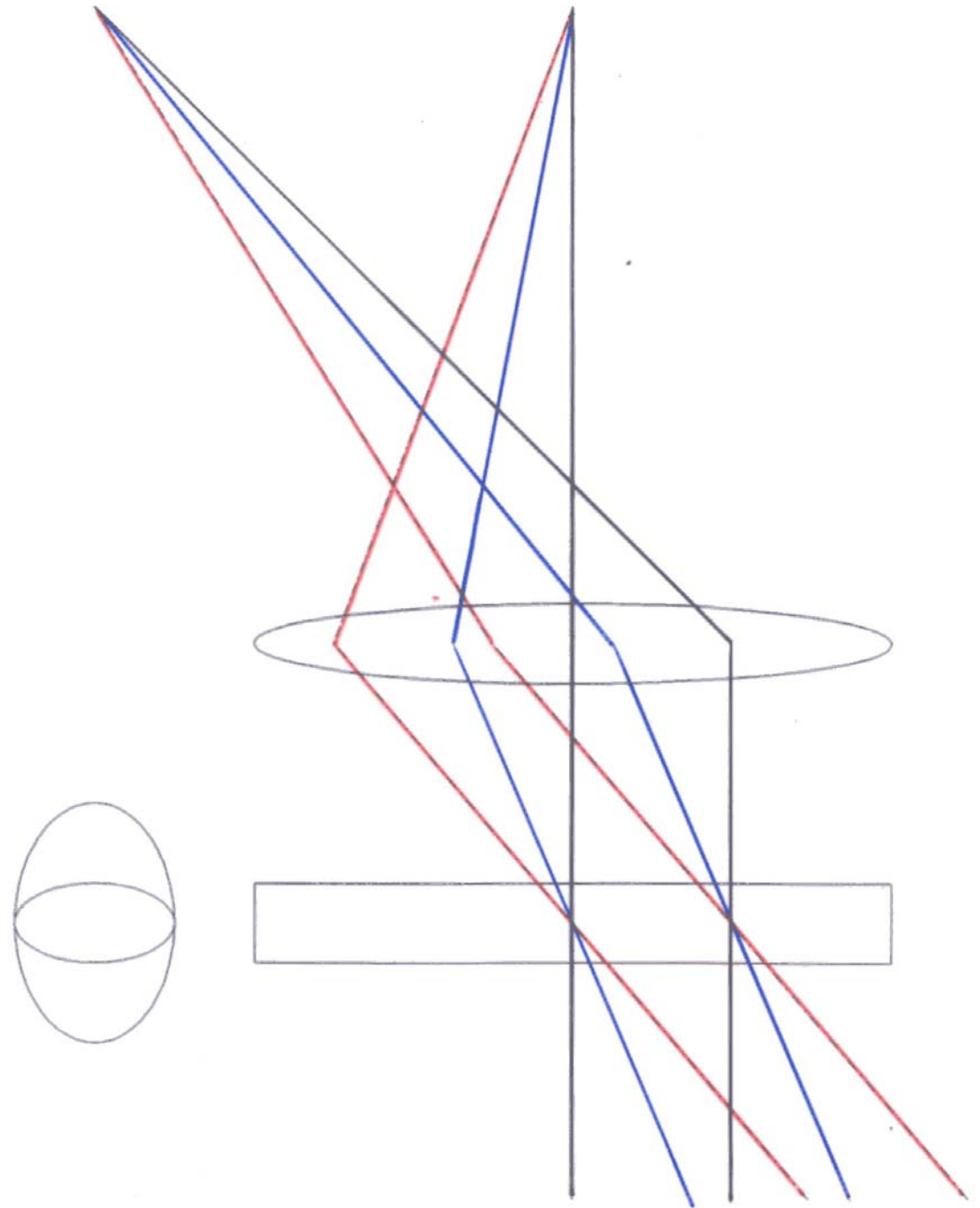
In de schematische  
tekening is alleen de dd en  
het objectief weergegeven



# Assenbeeld kwarts (2)

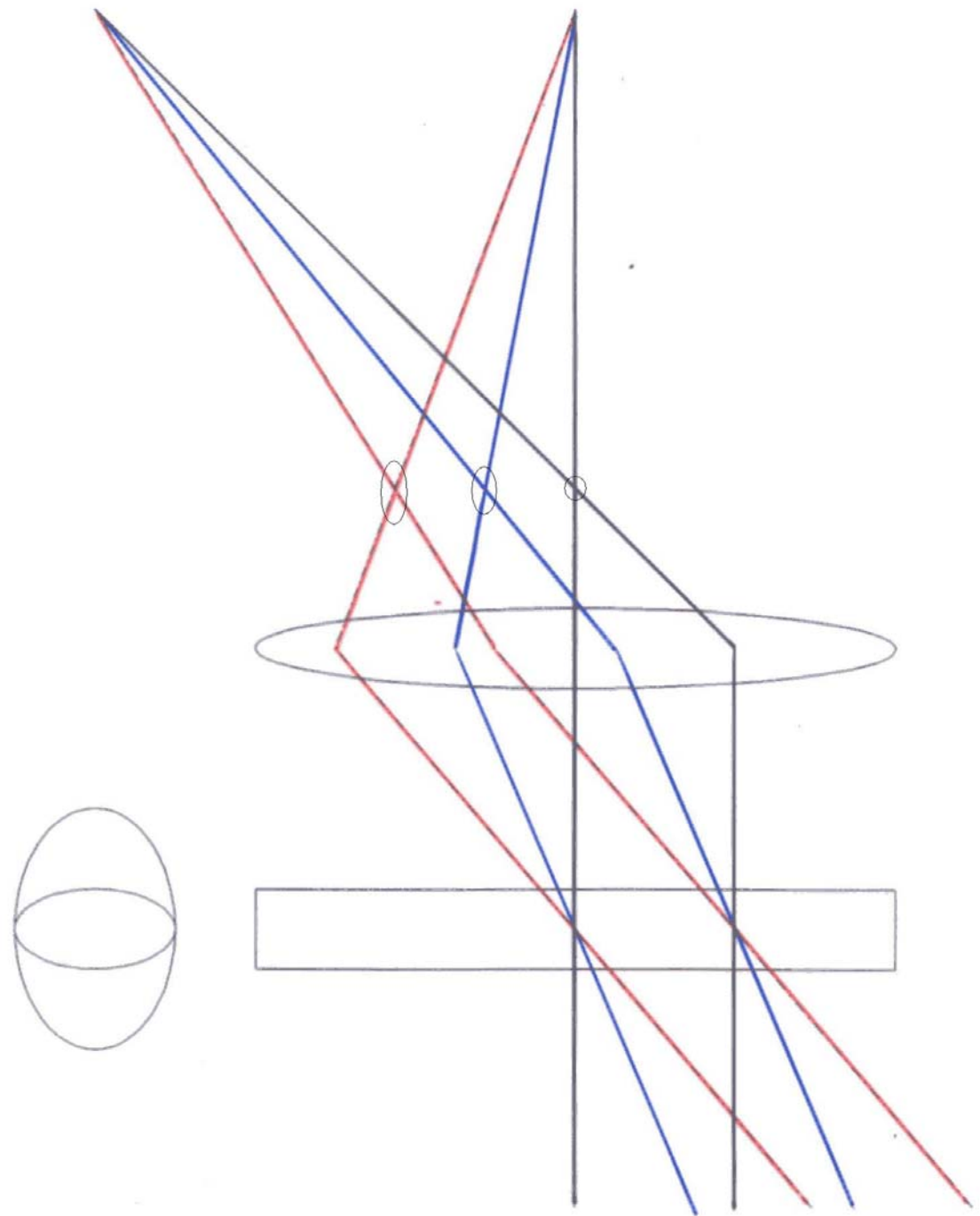


# Assenbeeld kwarts (3)



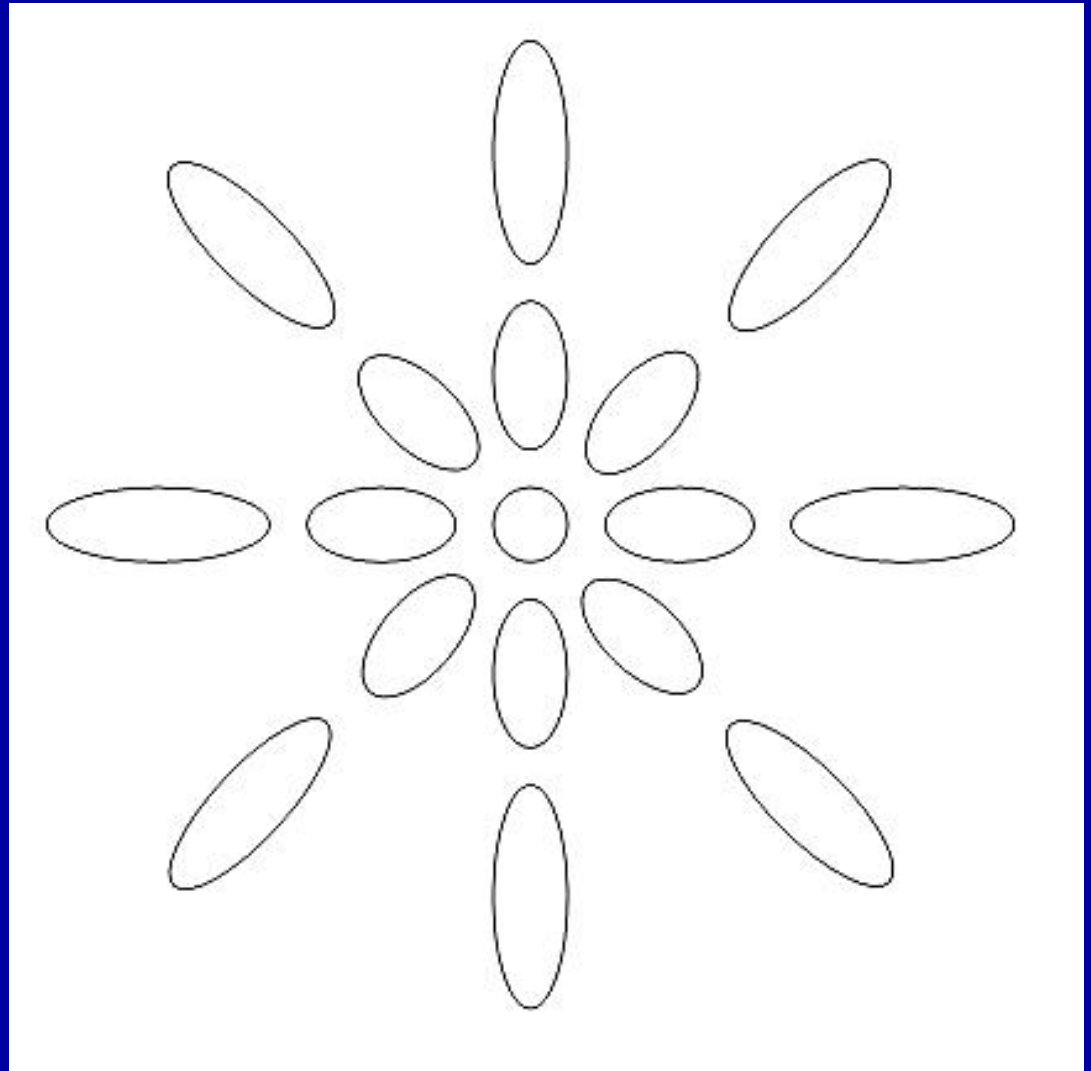


# Assenbeeld kwarts (4)

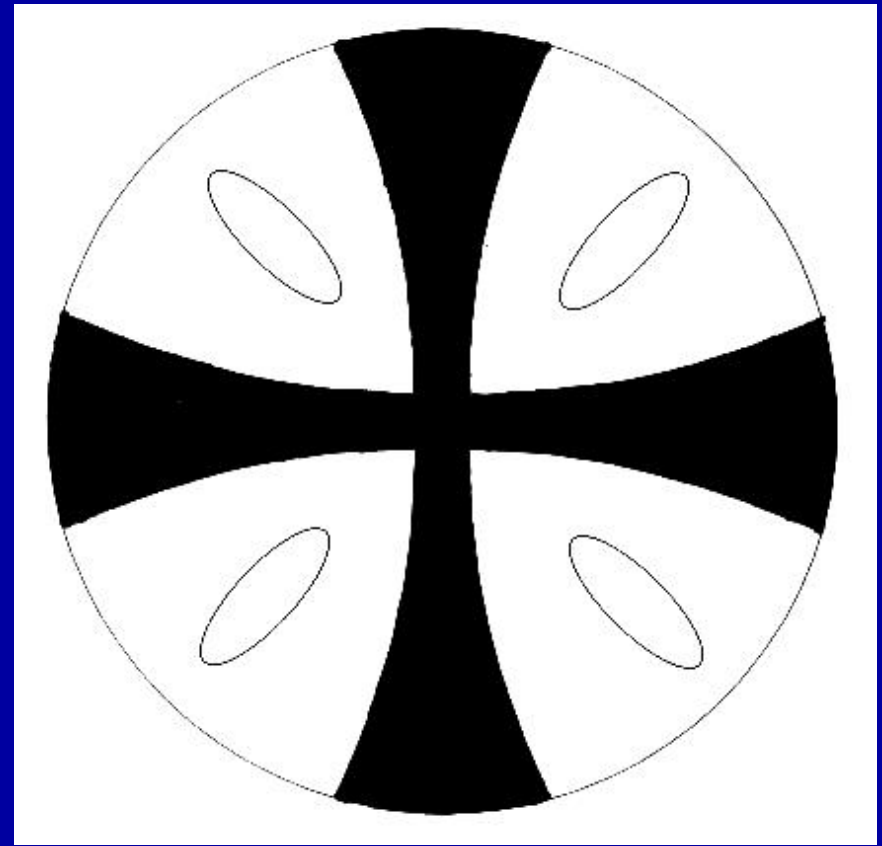
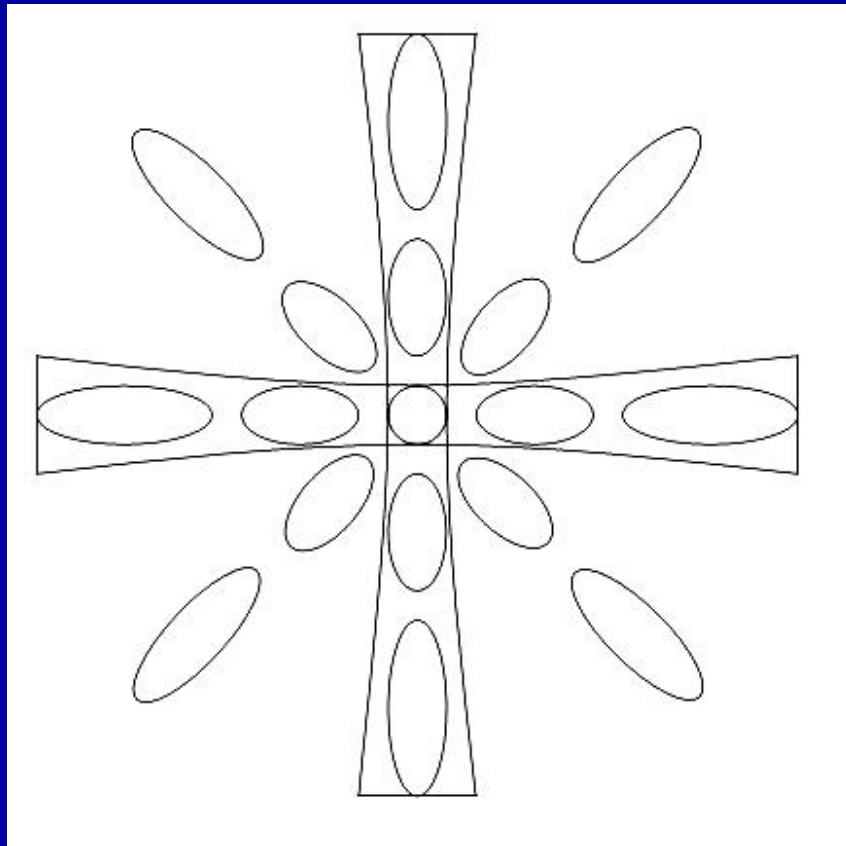


# Assenbeeld kwarts (5): van boven gezien

Schematische weergave: in  
werkelijkheid zijn ontelbaar  
veel ellipsen aanwezig

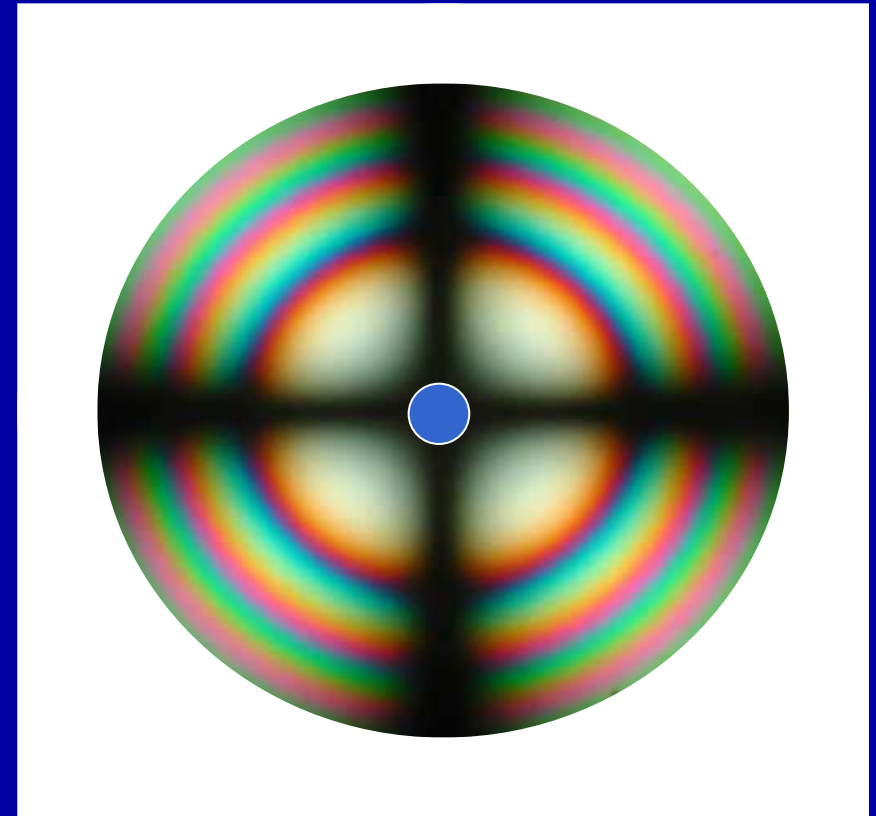


# Assenbeeld kwarts (6)



# Assenbeeld algemeen (1)

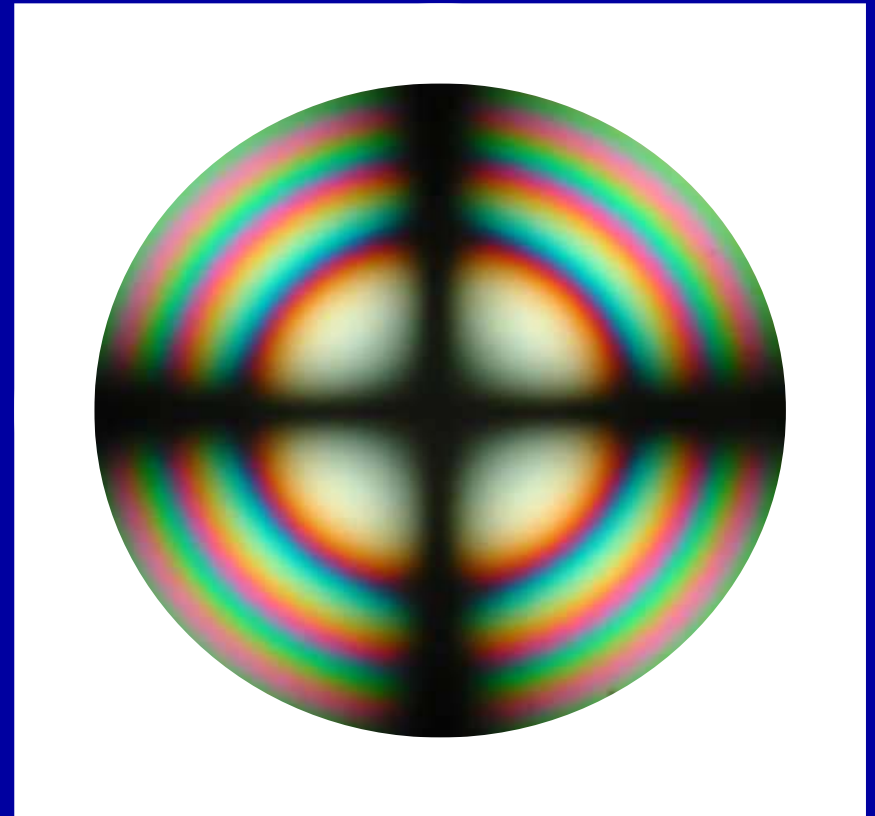
- Ellipsen die in de uitdoovingsstand liggen vormen een zwart kruis
- ● : 'doorprikpunt' van optische as
- Ellipsen met gelijke ellipticiteit geven cirkels met dezelfde interferentiekleuren: **isochromaten**





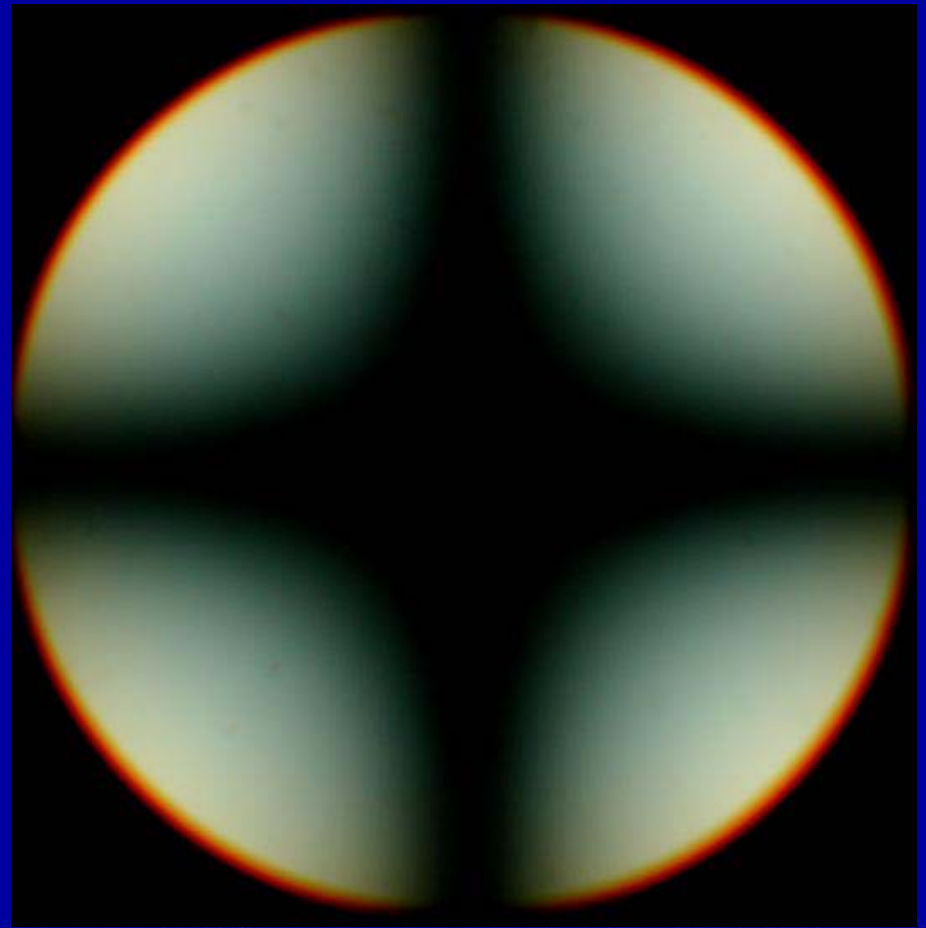
# Assenbeeld algemeen (2)

- Welke interferentiekleuren zichtbaar zijn is afhankelijk van de maximale dB van het mineraal

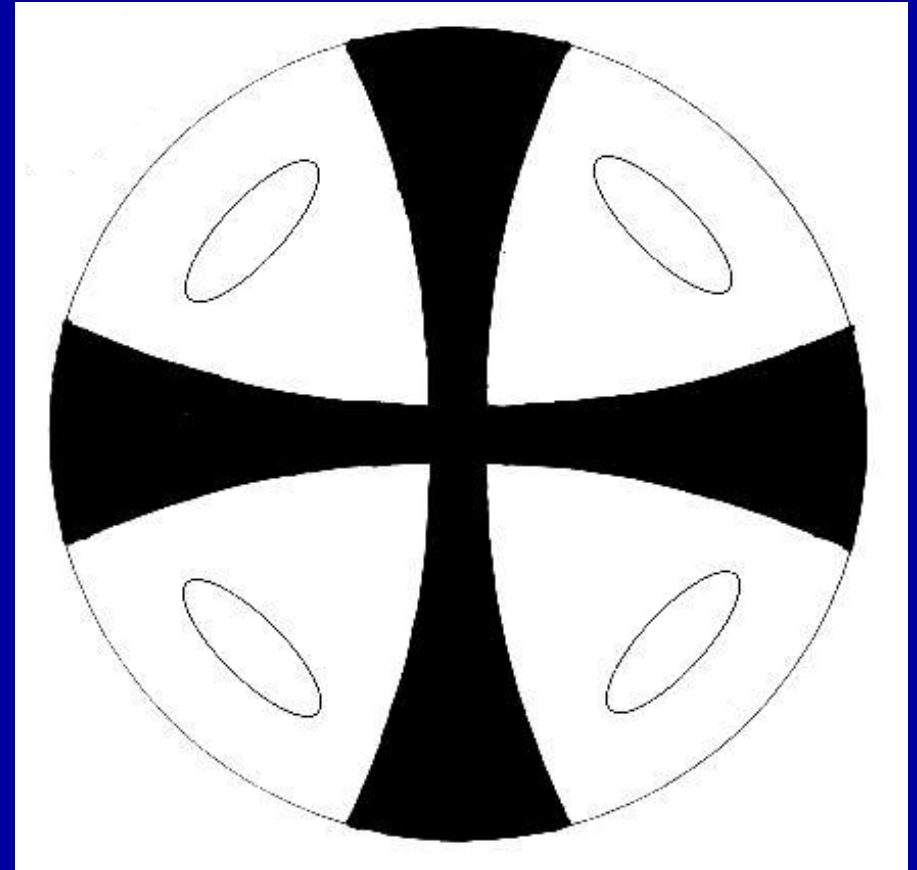
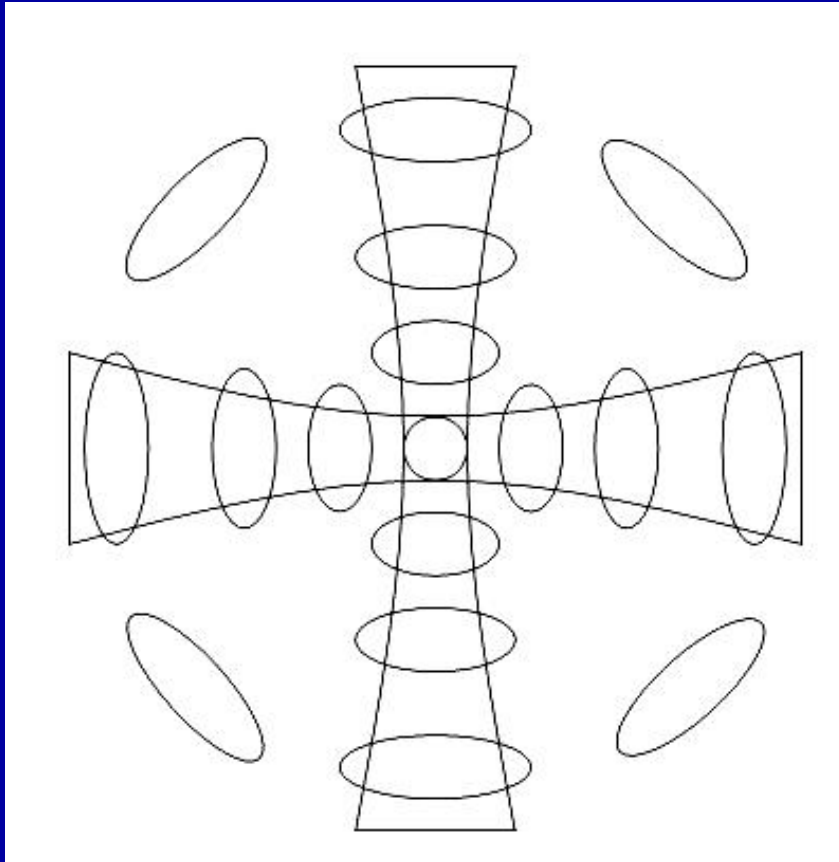


# Assenbeeld kwarts (7)

- Kwarts is 1-assig positief
- maximale dB: 0.009
- In het assenbeeld is maximaal lichtgeel van de eerste orde zichtbaar

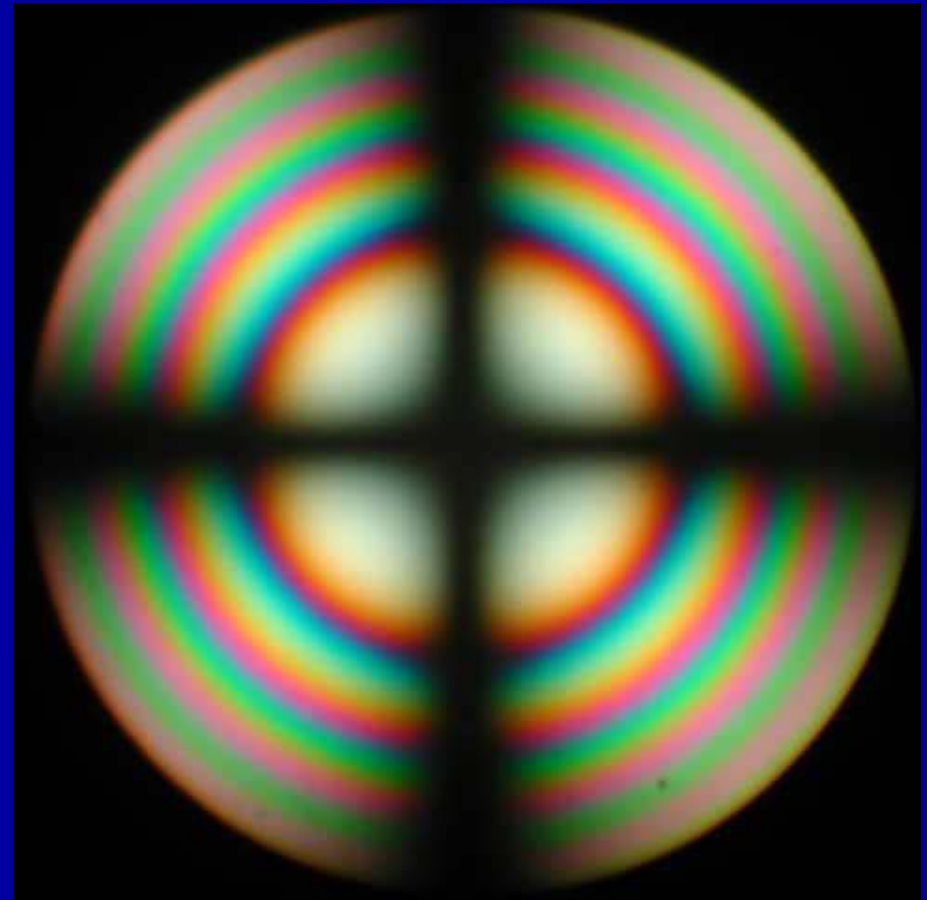


# Assenbeeld calciëet (1)



# Assenbeeld calciëet (2)

- Calciëet is  
1-assig negatief
- maximale dB:  
0.180
- In het assenbeeld  
is maximaal 'wit  
hoger orde'  
zichtbaar



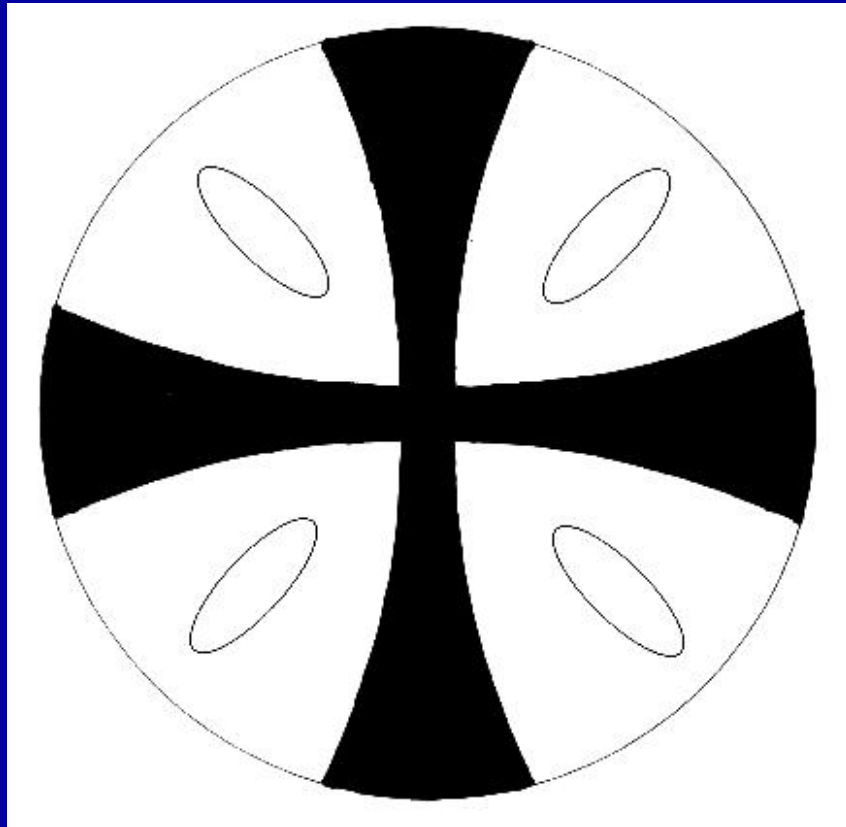


Wat zie je als je doorsnede niet precies evenwijdig is aan de circelsnede van de indicatrix?

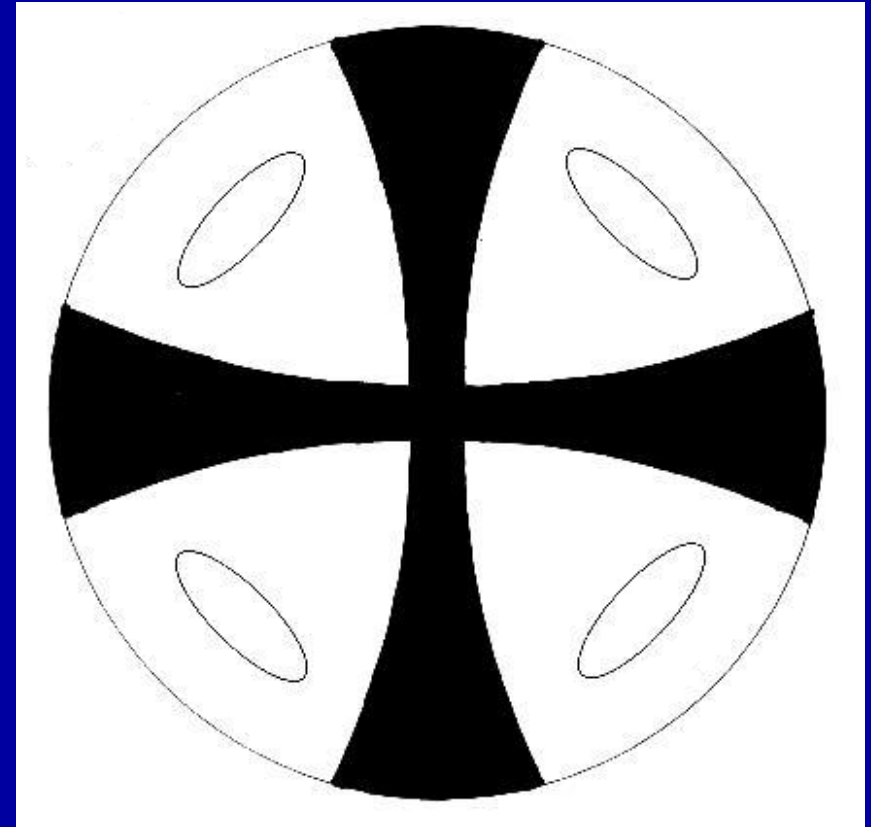
- een excentrisch kruis
- alleen de 'armen' van het kruis
- 'flitsfiguur'



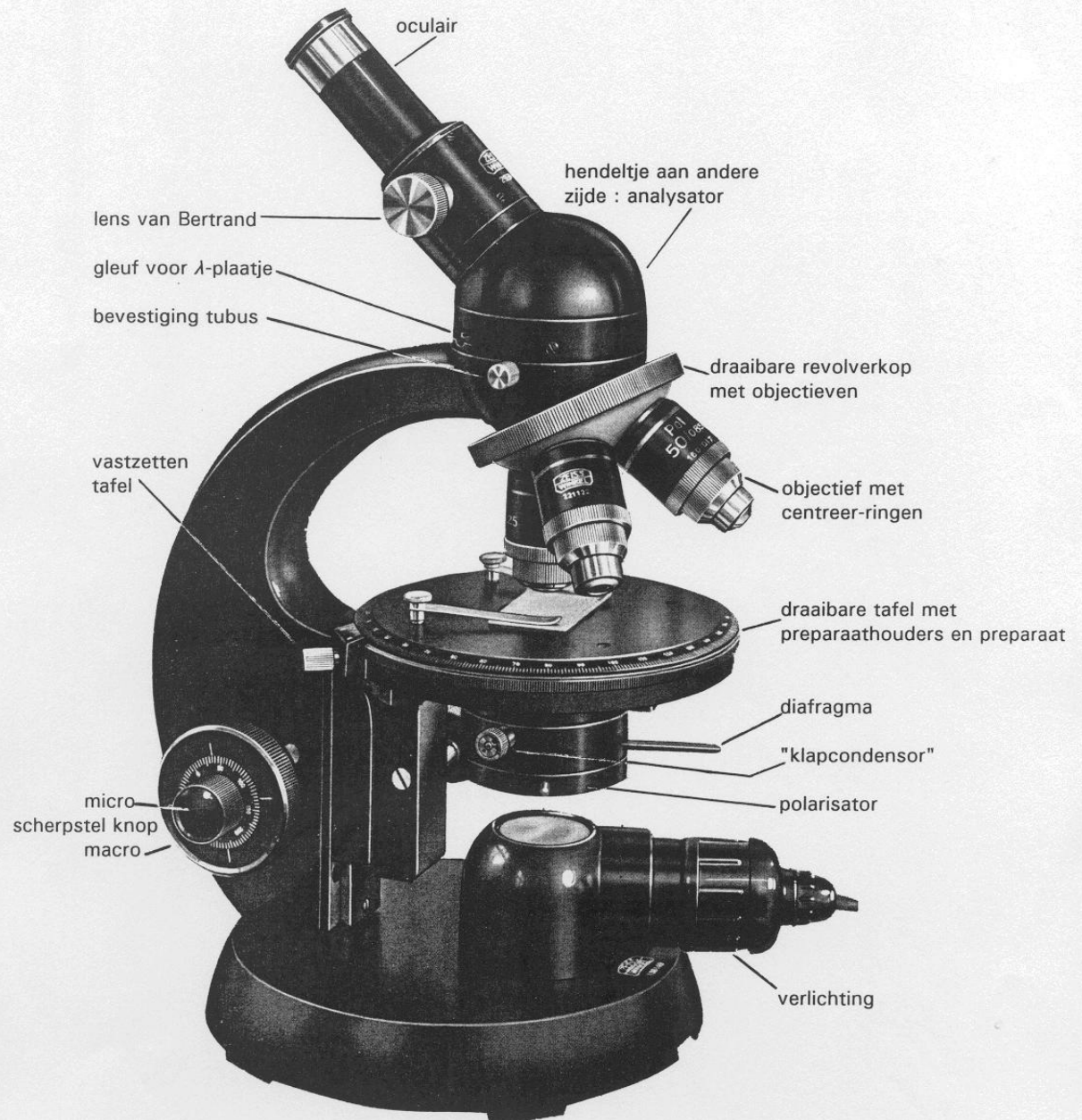
1-assig positief:



1-assig negatief:



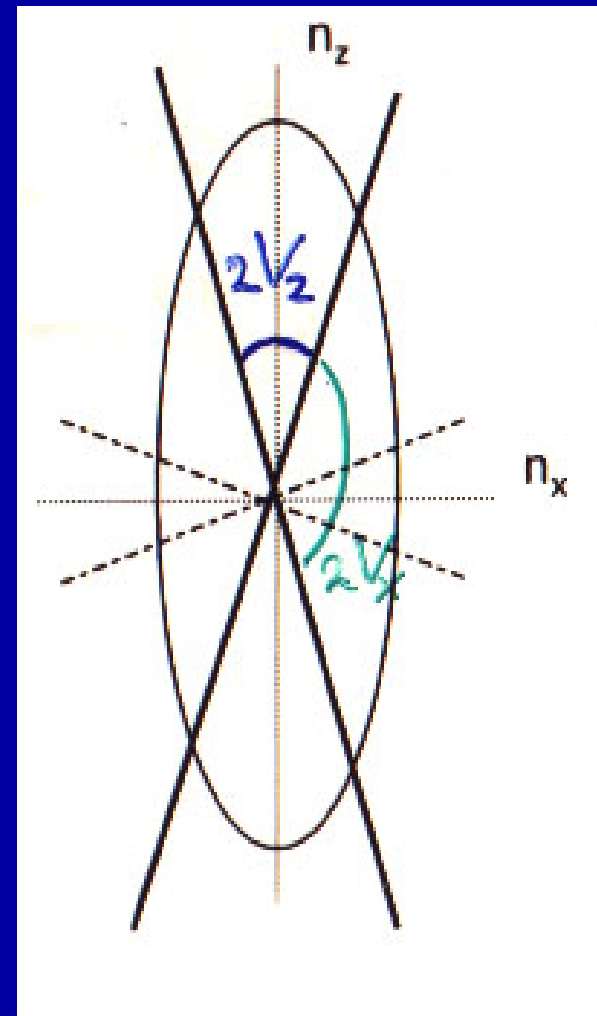
Het assenbeeld  
ontstaat direct  
boven het  
objectief: het  
is zeer klein!





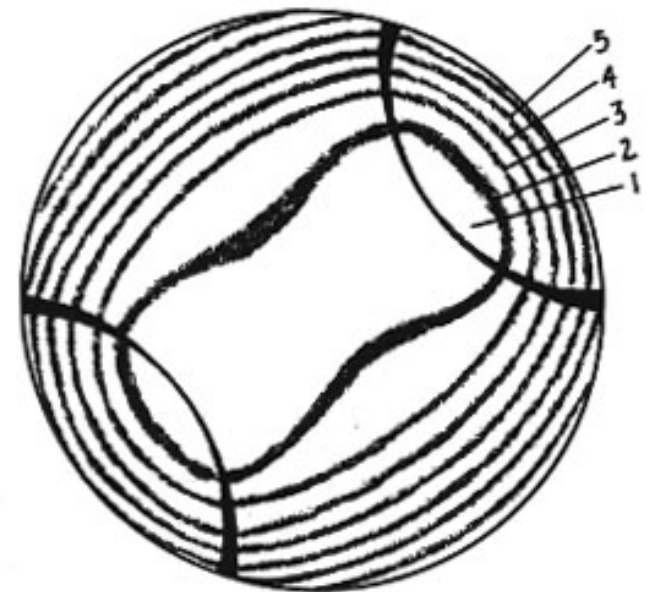
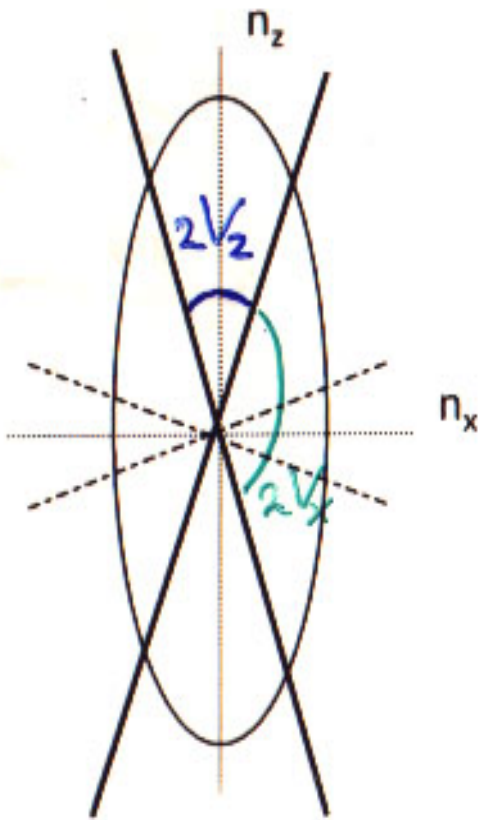
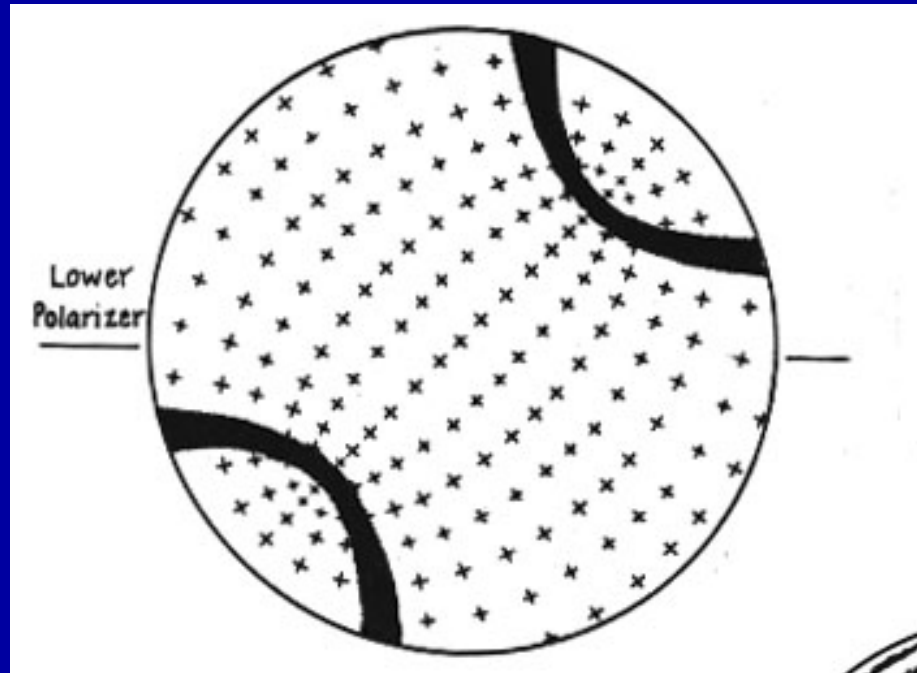
# Optisch 2-assige mineralen (1)

- Voor een assenbeeld waarin beide optische assen zichtbaar zijn is een snede loodrecht op de scherpe hoek tussen de optische assen nodig



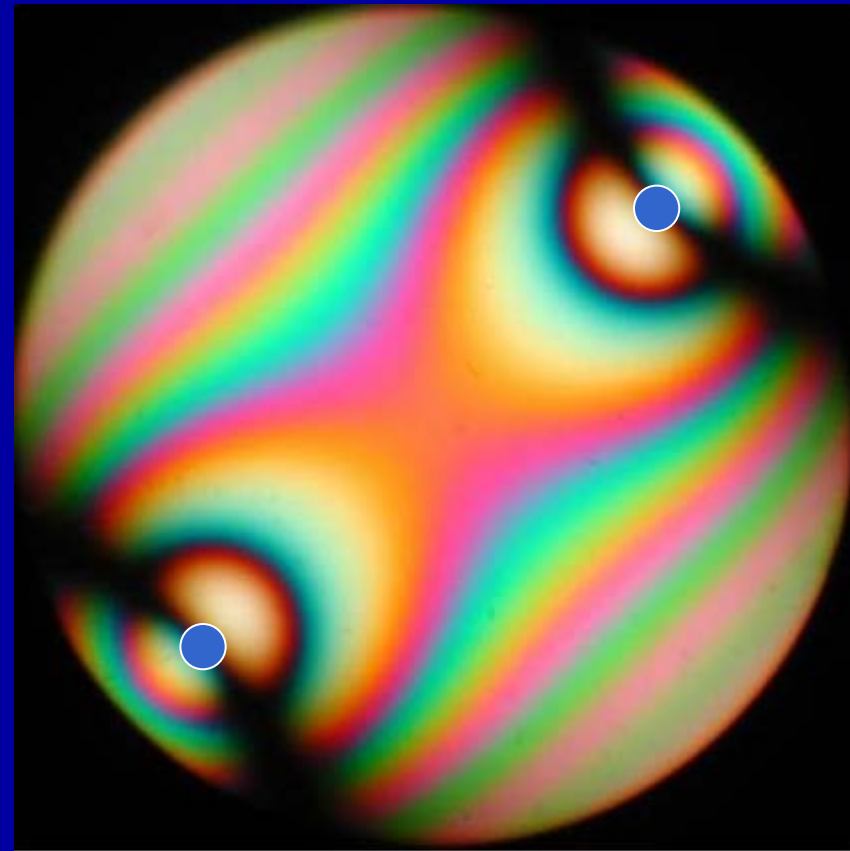


# Optisch 2-assige mineralen (2)



# optisch 2-assige mineralen (3)

- Isogyren: ellipsen in uitdovingsstand
- ● : 'doorprikpunten' van optische assen
- Isochromaten: ellipsen met dezelfde ellipticiteit geven dezelfde int. kleur

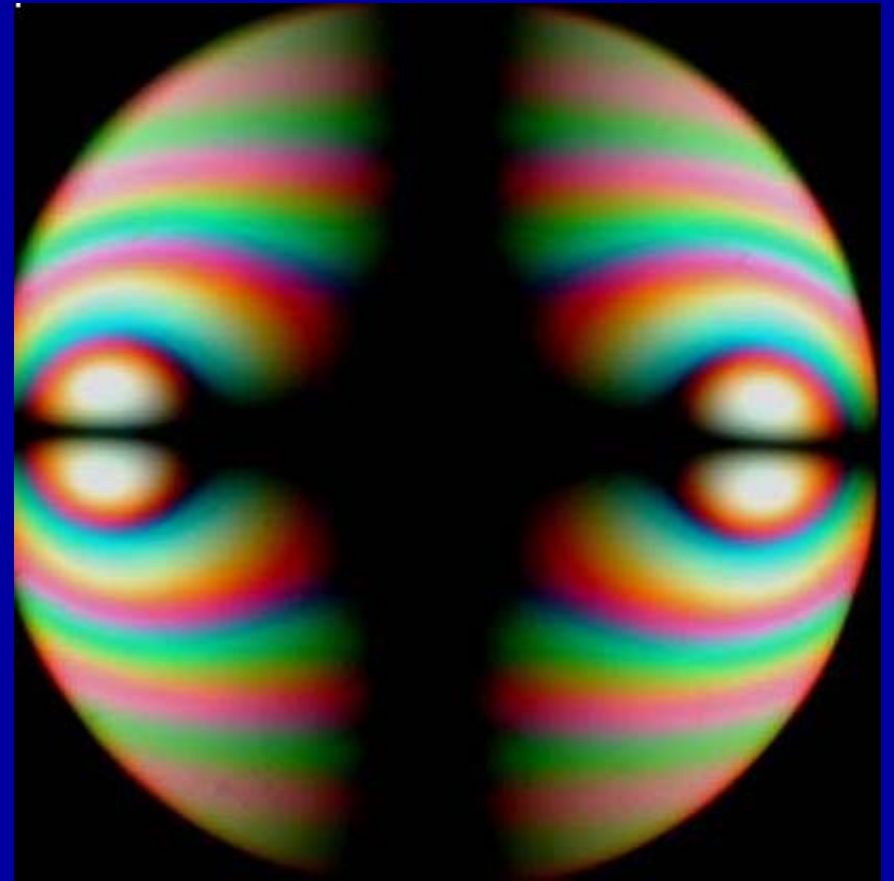


45°-stand



# Optisch 2-assige mineralen (3)

Bij het ronddraaien van de tafel komen er steeds andere ellipsen van doorsnede in de uitdovingsstand. De isogyren veranderen van positie en vormen op een gegeven moment een kruis



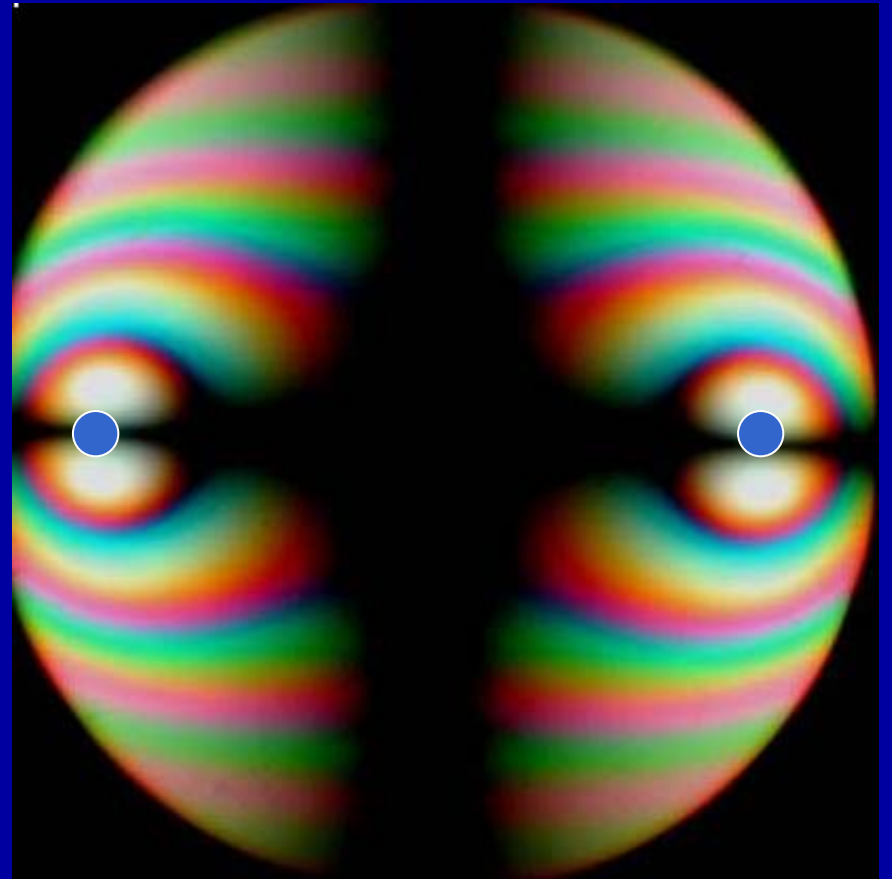
0°-stand





# Optisch 2-assige mineralen (4)

- Doorprikpunten van de optische assen



0°-stand

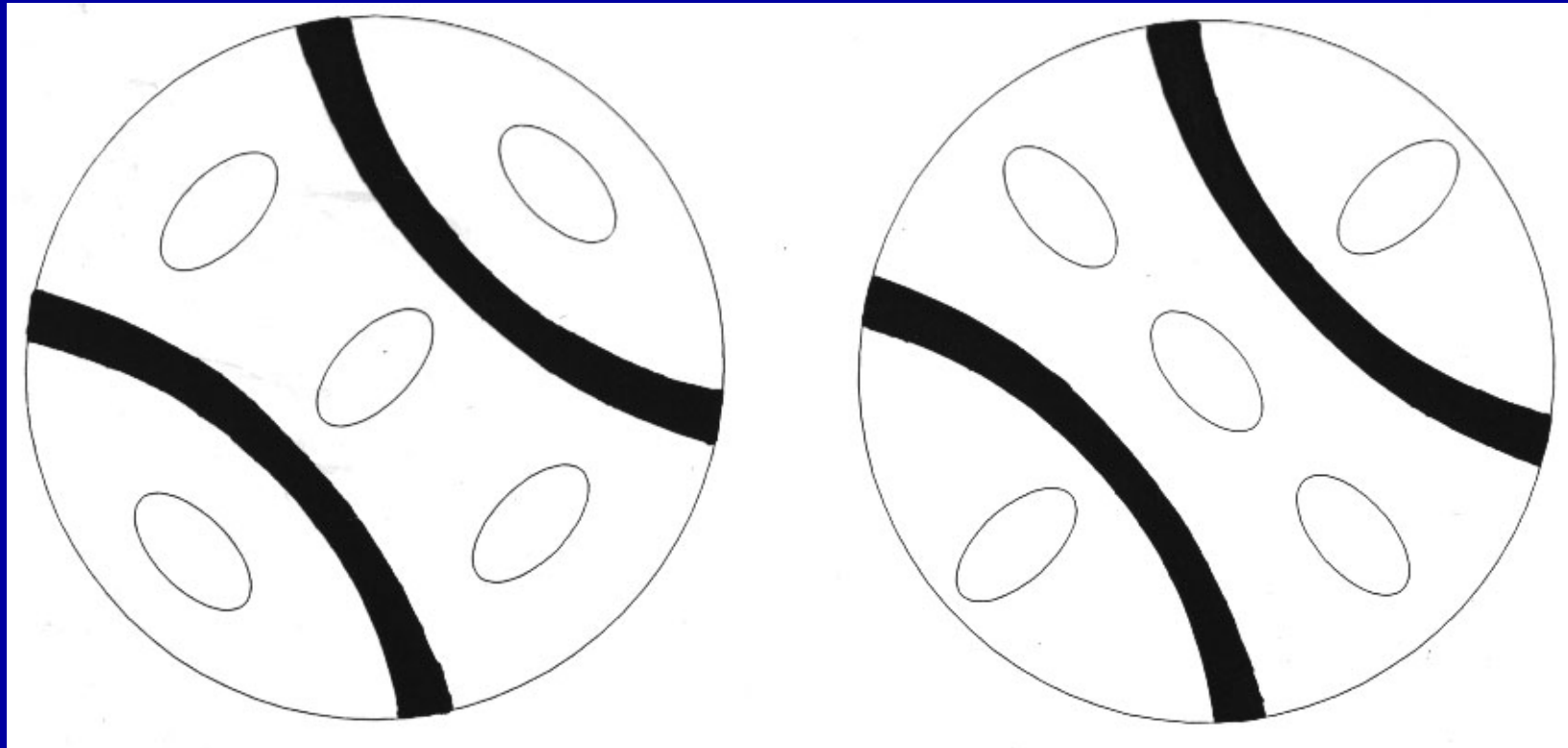




# Optisch 2-assige mineralen (5)

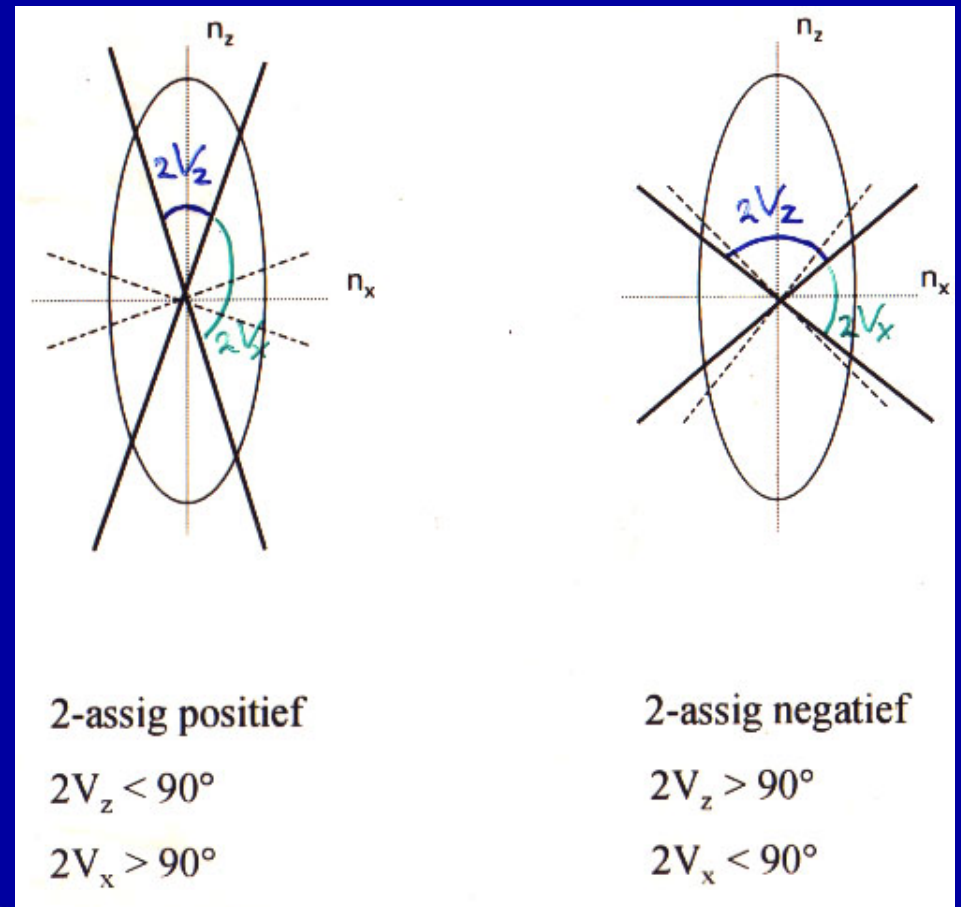
2-assig negatief:

2-assig positief:

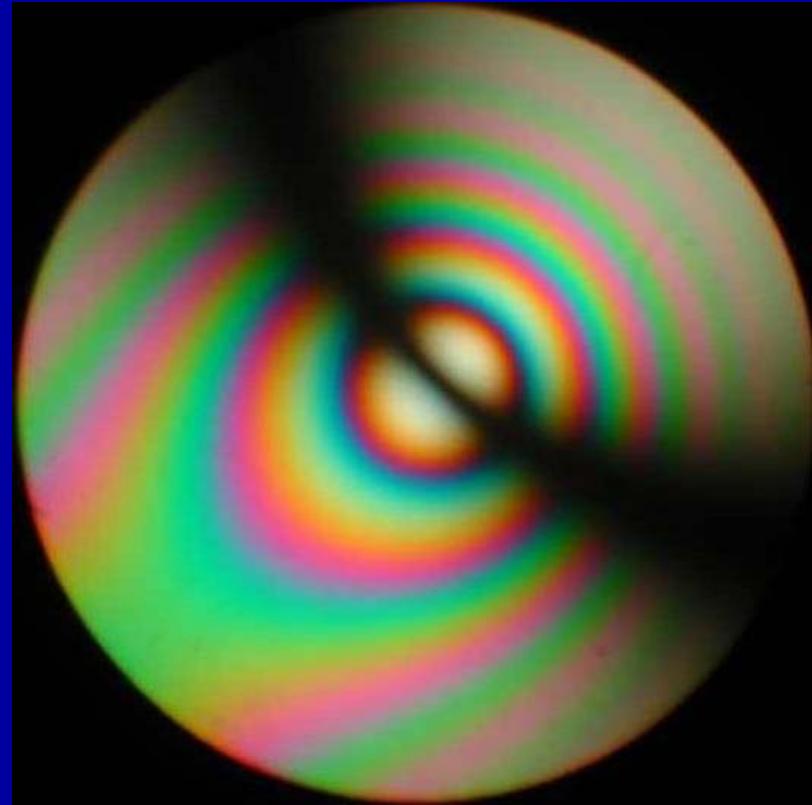
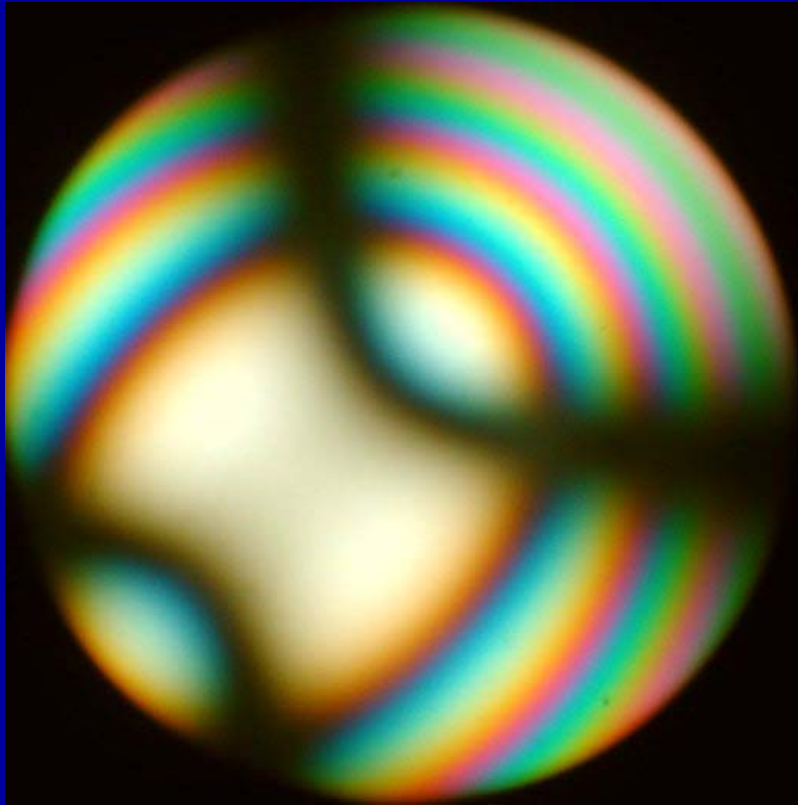


# Optisch 2-assige mineralen (6)

- Het is moeilijk een doorsnede  $\perp$  op de scherpe hoek tussen de assen te vinden – waarom?
- De doorsnede  $\perp$  op één van de assen is wel makkelijk te vinden – hoe?

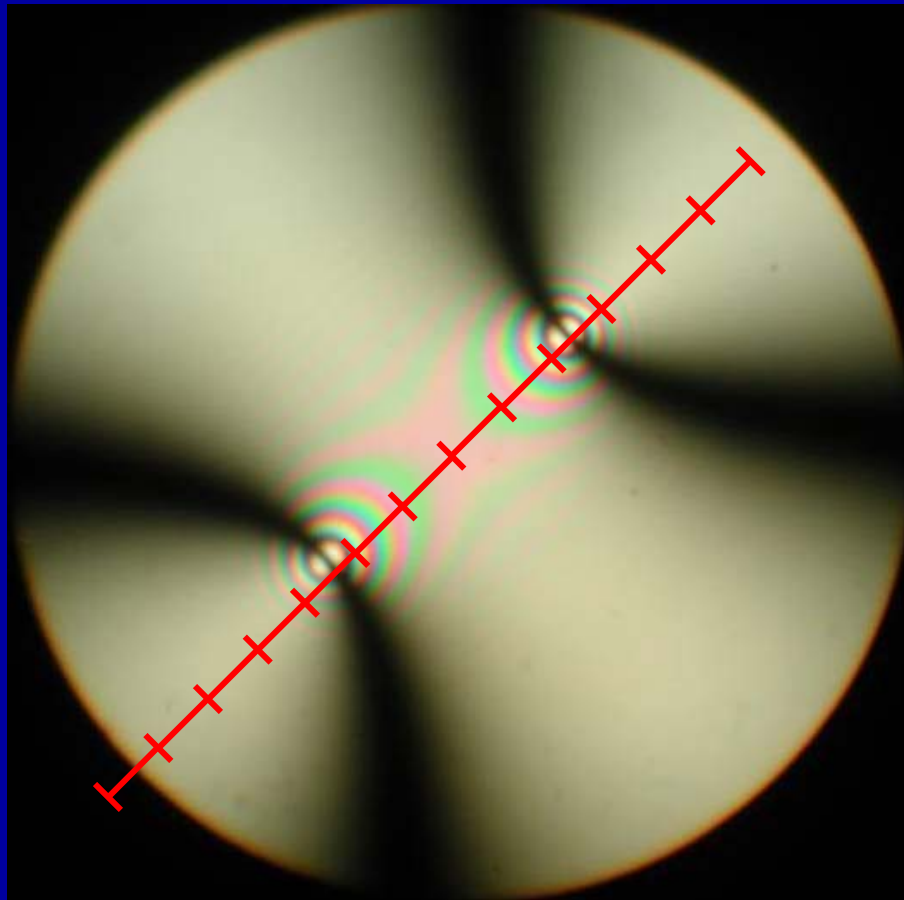


# Optisch 2-assige mineralen (7)





# Optische assenhoek 2V (1)

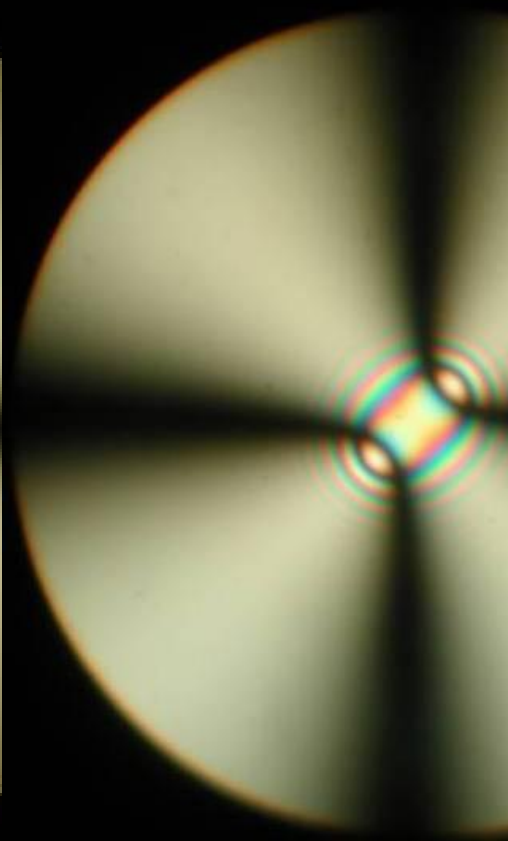




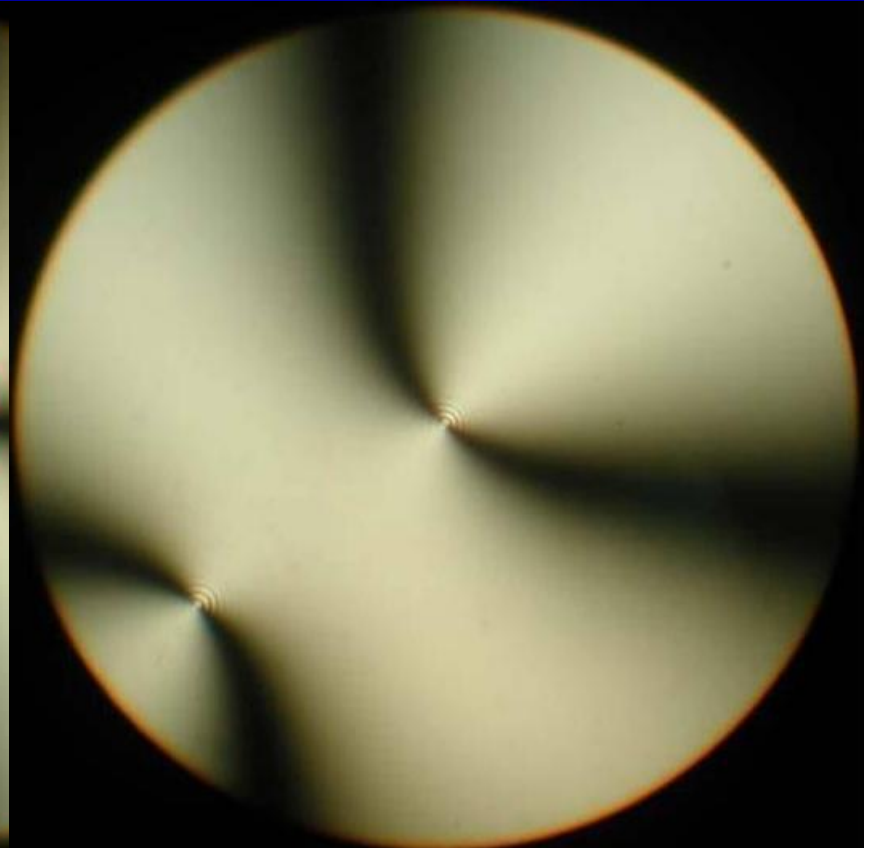
# Optische assenhoek $2V$ (2)



$2V=0^\circ$



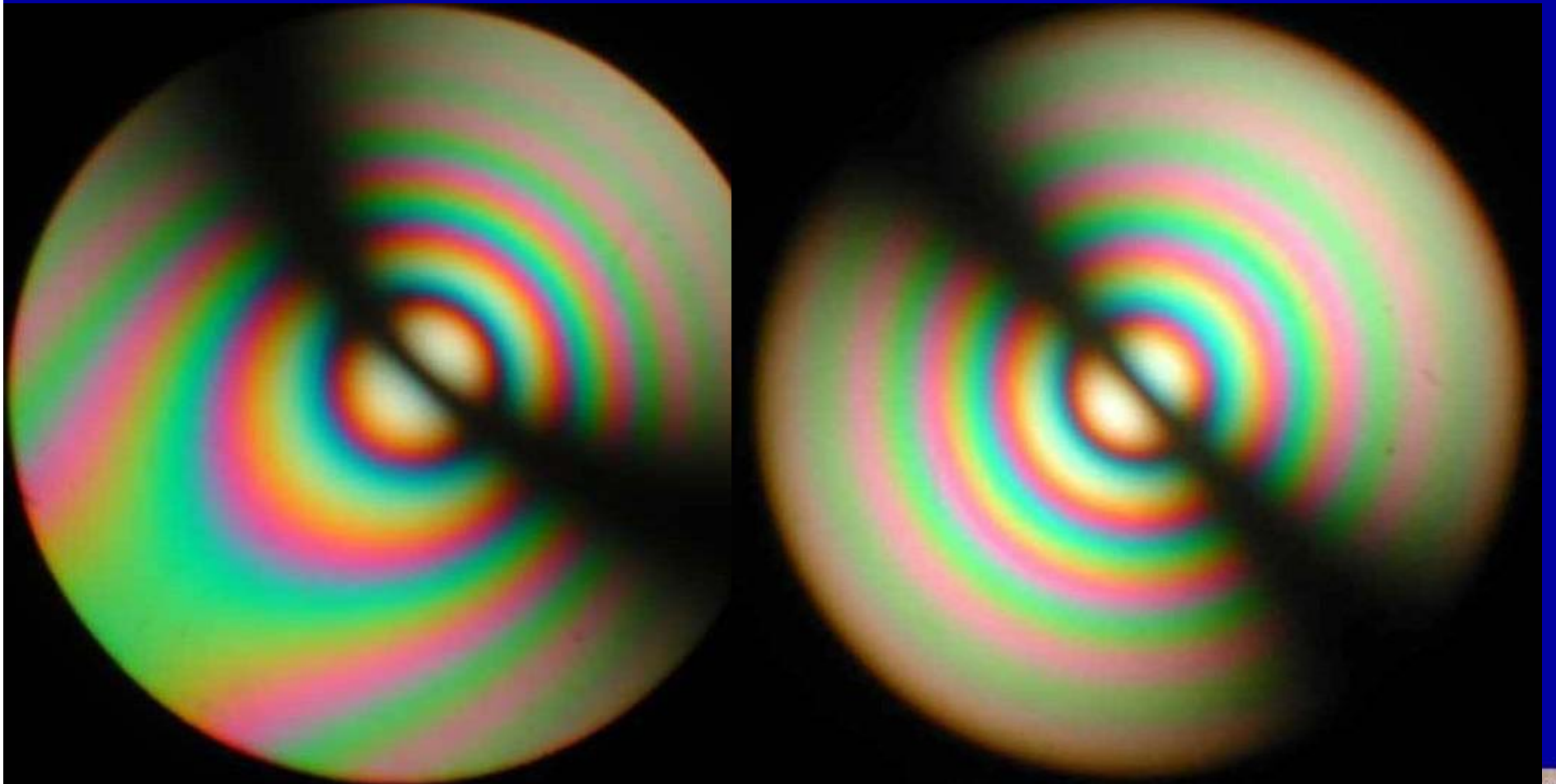
$2V=7^\circ$



$2V=33^\circ$



# Optische assenhoek 2V (3)

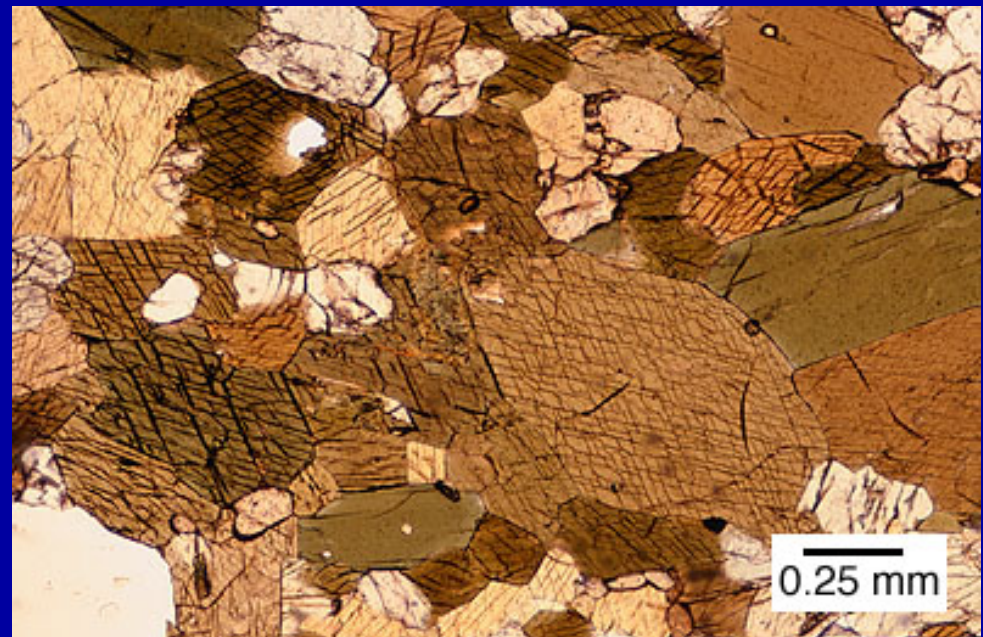




# Samenvatting (1)

## Orthoscopisch onderzoek

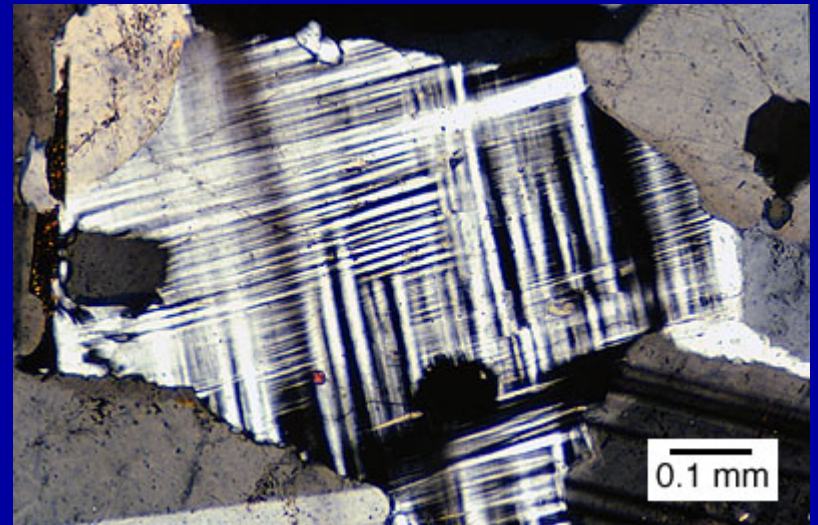
- Zonder analysator:
  - Kleur en kleurverandering (pleochroïsme)
  - Schatting van  $n$
  - Reliëf =  $n$ -verschillen
  - splijting



# Samenvatting (2)

## Orthoscopisch onderzoek

- **Met analysator:**
  - Interferentiekleur, gangverschil, dubbelbreking
  - Relatie tussen splijting en indicatrix
  - Tweelingsvormen
  - Andere vergroeiingen





# Samenvatting (3)

## conoscopisch onderzoek

- Assenbeeld (interferentiefiguur)
- Optisch teken (+ of -)
- Hoek tussen de optische assen ( $2V$ )

