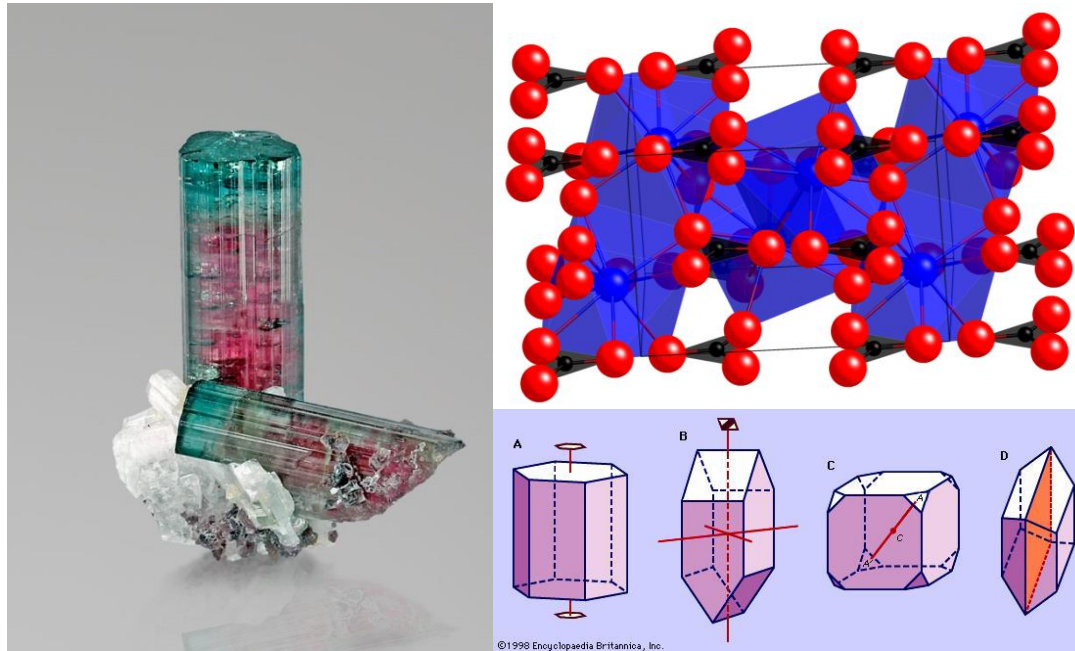


# Inleiding tot de mineralogie



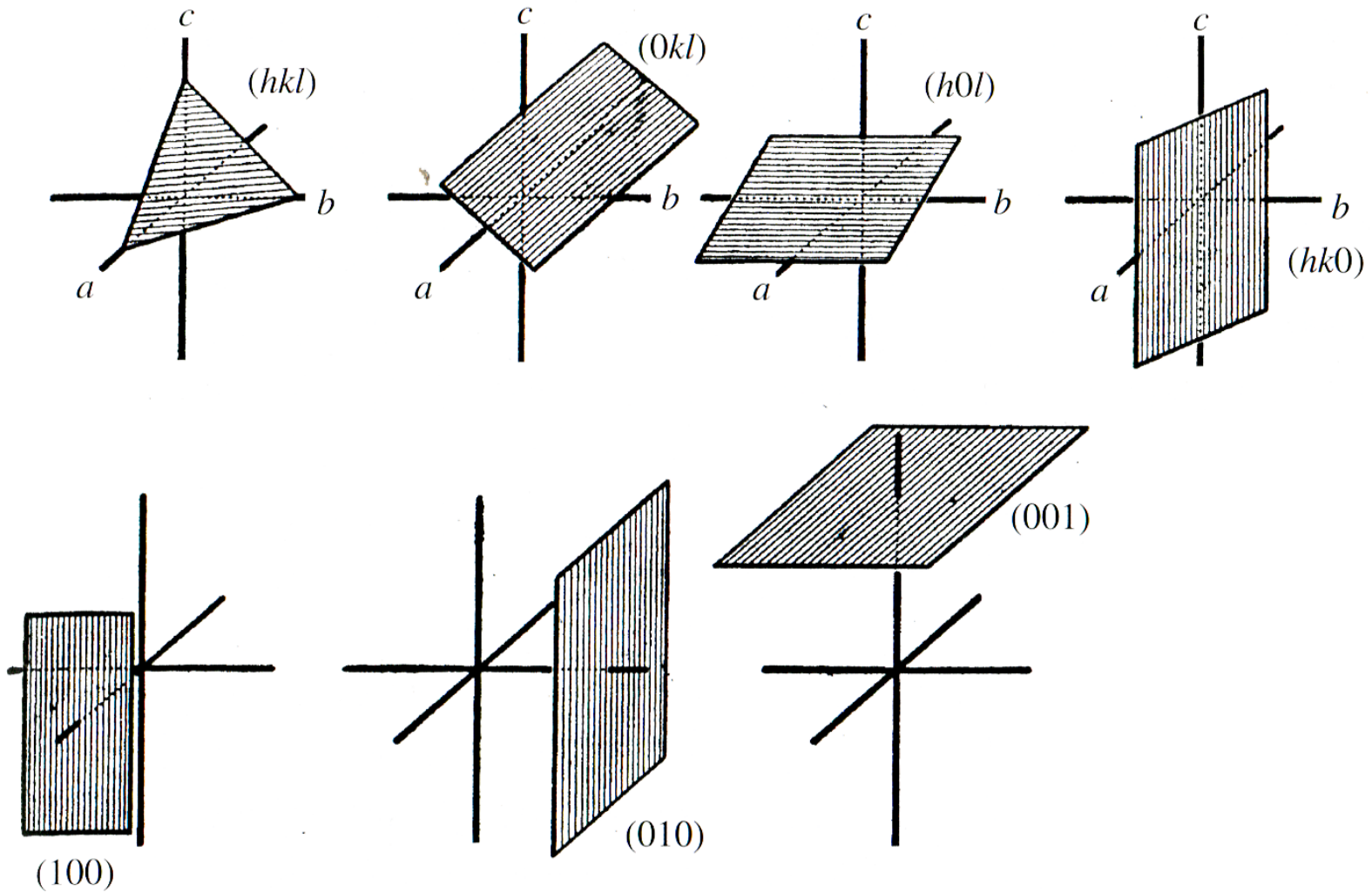
## Algemene Mineralogie

### Stereografische projecties

Prof. Dr. Stijn Dewaele  
Stijndg.dewaele@UGent.be

# 1. Inleiding

\* Herinner: Miller indices

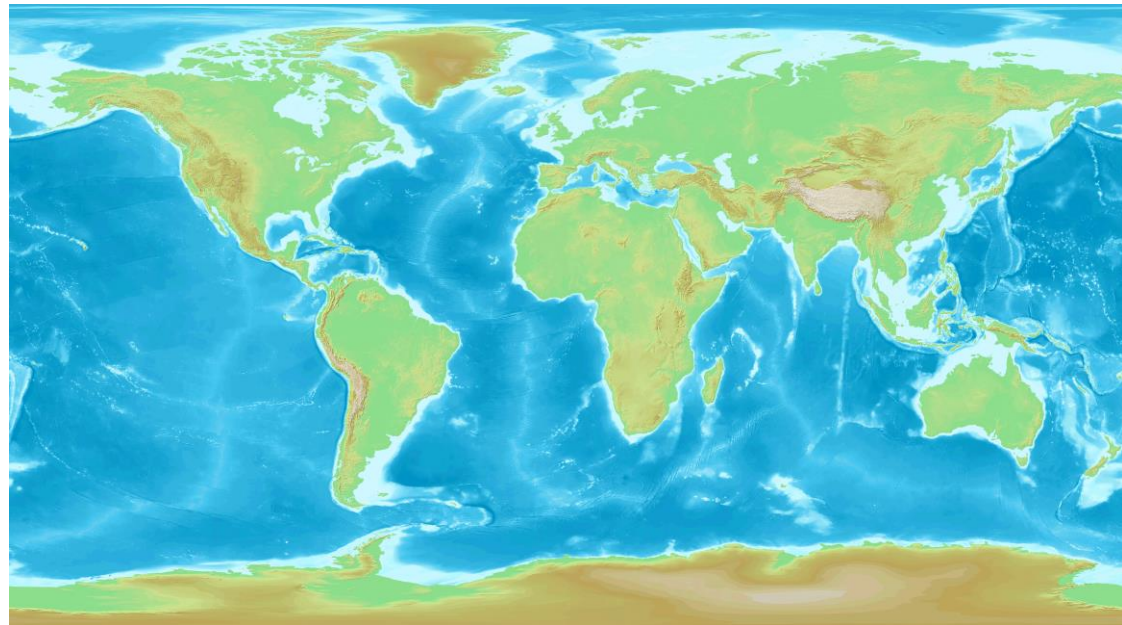


\* Wat is een stereografische projectie?

= manier van kristallen voorstellen en hun symmetrie in 2-D



Projectie



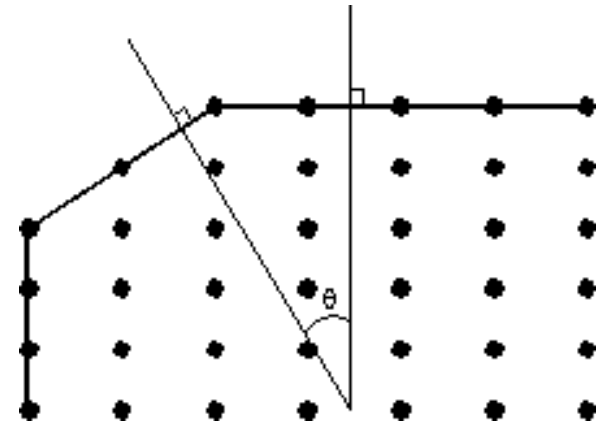
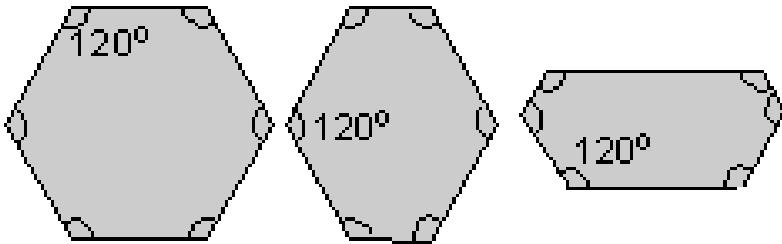
\* Ter herinnering

(1) De wet van constante hoeken tussen kristalvlakken (of 'first law of crystallography'):



Hoeken tussen kristalvlakken zijn constant, wat de dimensies van deze vlakken ook zijn.

(2) Hoeken tussen kristalvlakken worden gemeten als de hoeken tussen de normalen (loodrechte lijnen) op deze kristalvlakken.

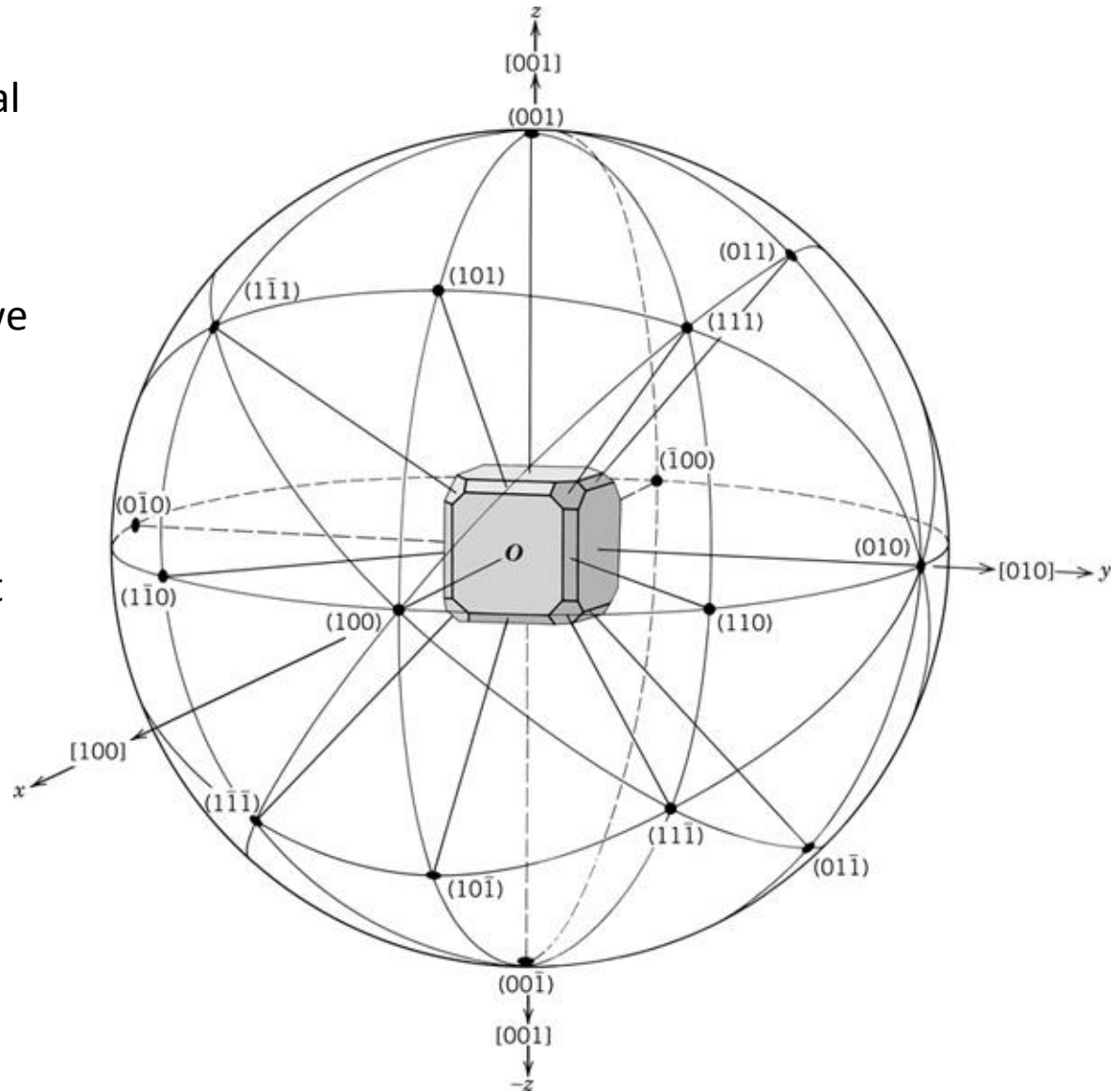


## 2. Sferische projectie

\* We hebben een kubisch kristal van binnen in een sfeer.

\* Voor elk kristalvlak tekenen we een lijn loodrecht op dit oppervlak (een poolvlak)

\* Polen worden aangeduid met de Miller Indices

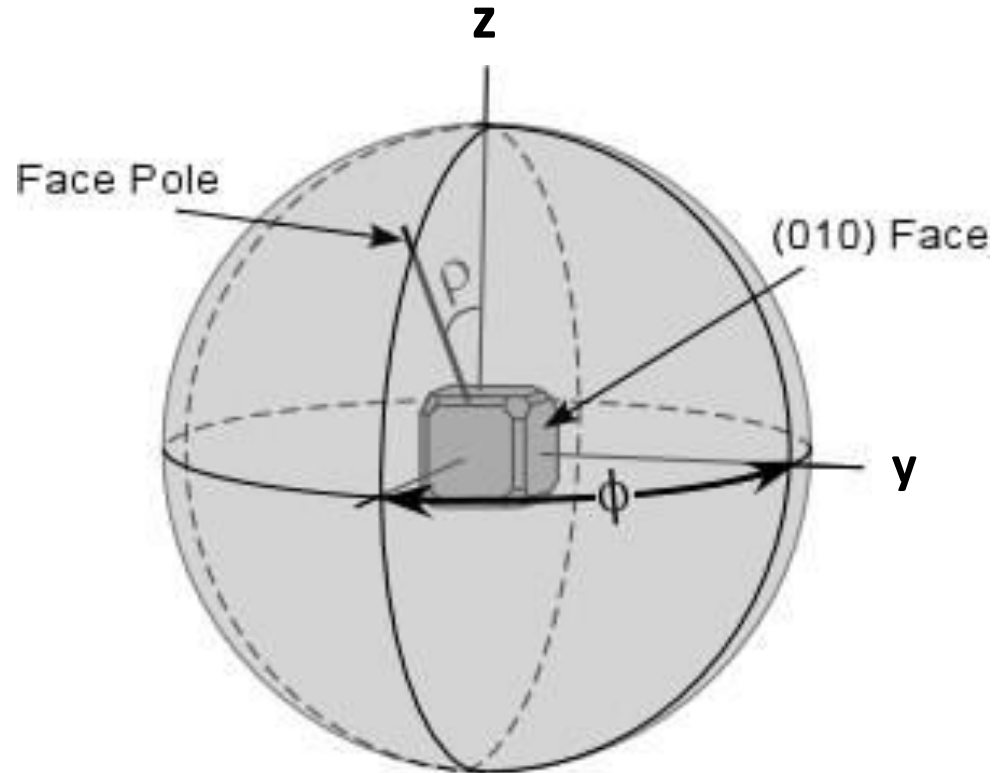


\* Beschouwen we de poolas van het (010) vlak. Deze valt samen met de kristallografische as b.

\* We definiëren dat dit vlak (face 010) een hoek  $\phi$  (phi) heeft van  $0^\circ$ .

Het referentiepunt is de kristallografische as b.

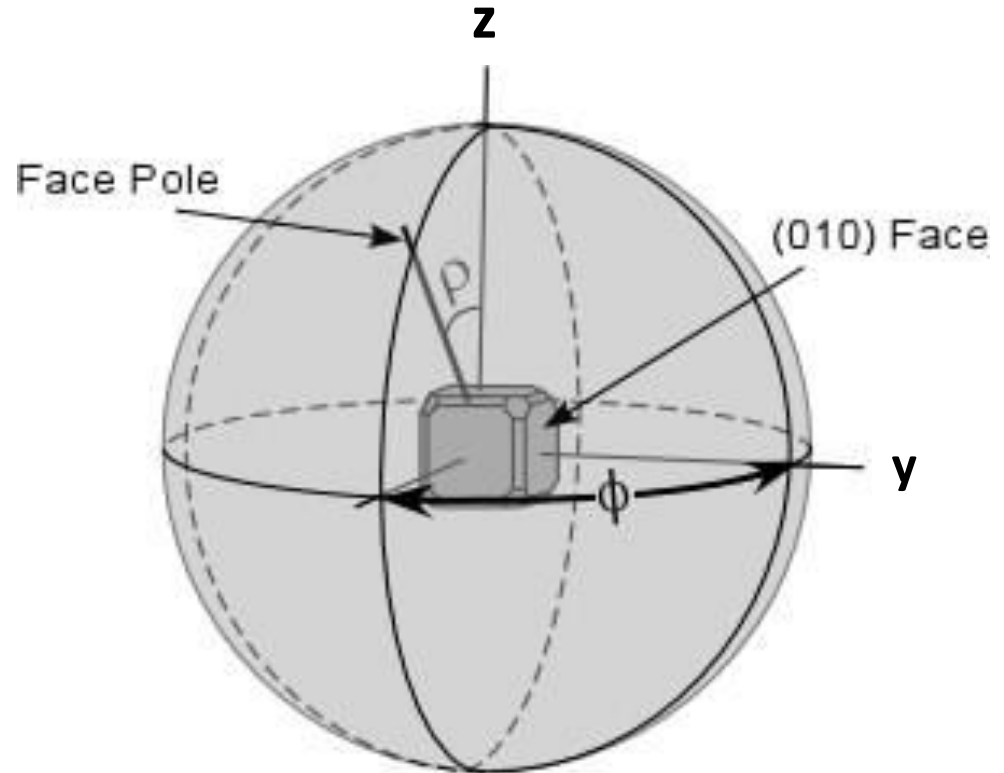
\* Voor elk ander vlak, wordt de hoek  $\phi$  angle gemeten t.o.v. de b-as in wijzerzin en dit in het evenaarsvlak.



\* De positie van elke pool kan beschreven worden gebruik makende van hoekcoördinaten

\* De  $\rho$  (rho) hoek is de polaire hoek, i.e., de hoek tussen de c-as en de pool van het kristalvlak, gemeten neerwaarts van de noordpool van de sfeer.

→ De projectie van elk vlak kan beschreven worden door de hoeken  $\phi$  en  $\rho$



\* De positie van elke pool kan beschreven worden gebruik makende van hoekcoördinaten

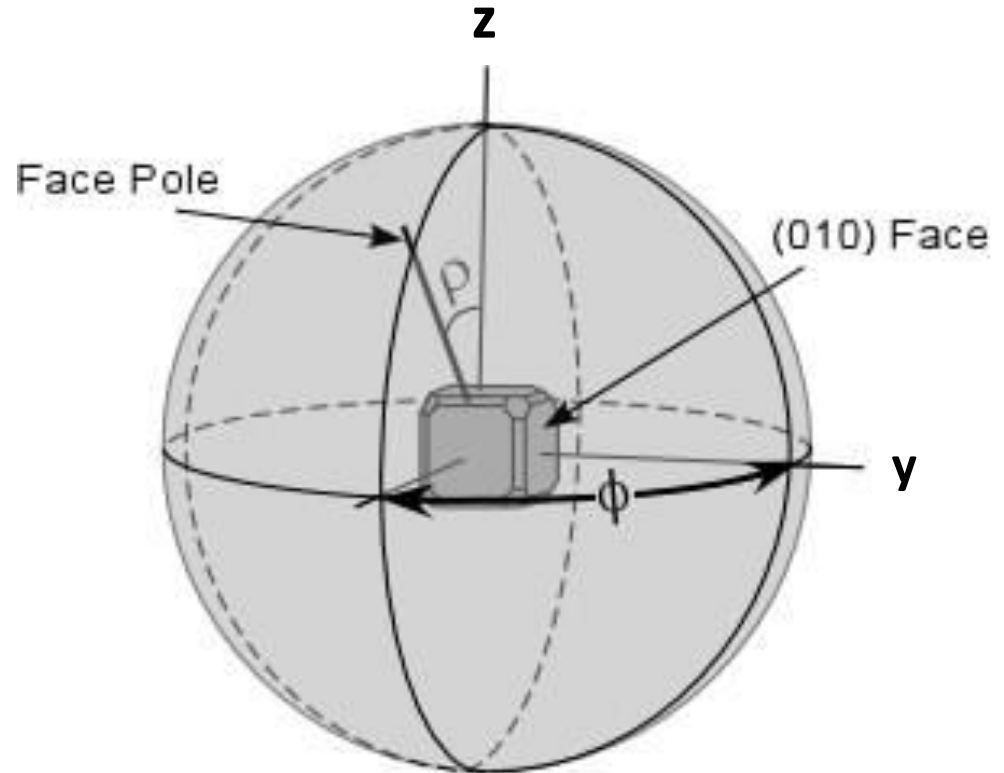


$\phi$  : 90 to  $-90^\circ$

$\rho$  : 0 to  $180^\circ$

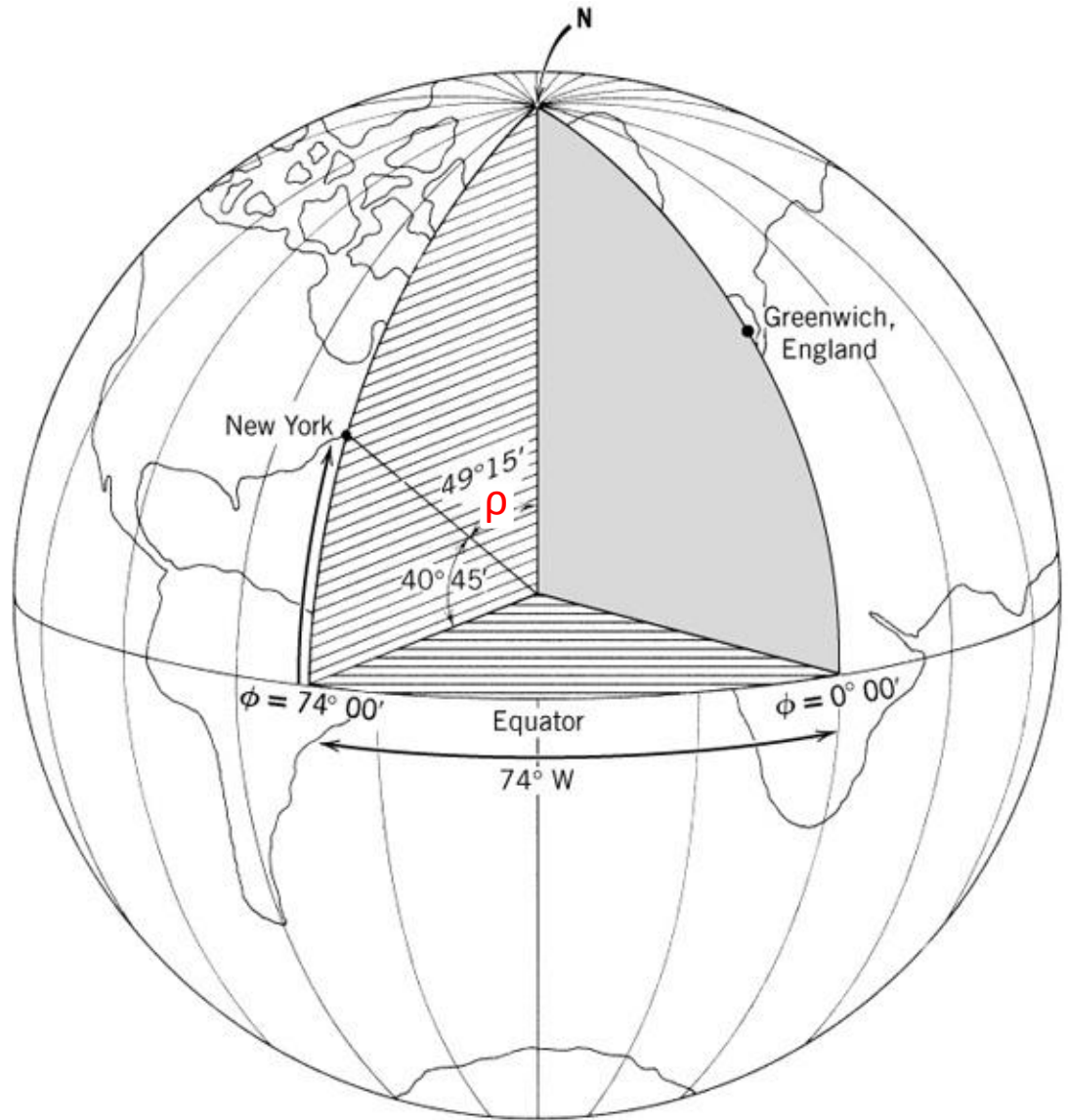
- 0- $90^\circ$  in de "Northern Hemisphere"

-  $90$ - $180^\circ$  in de "Southern Hemisphere"





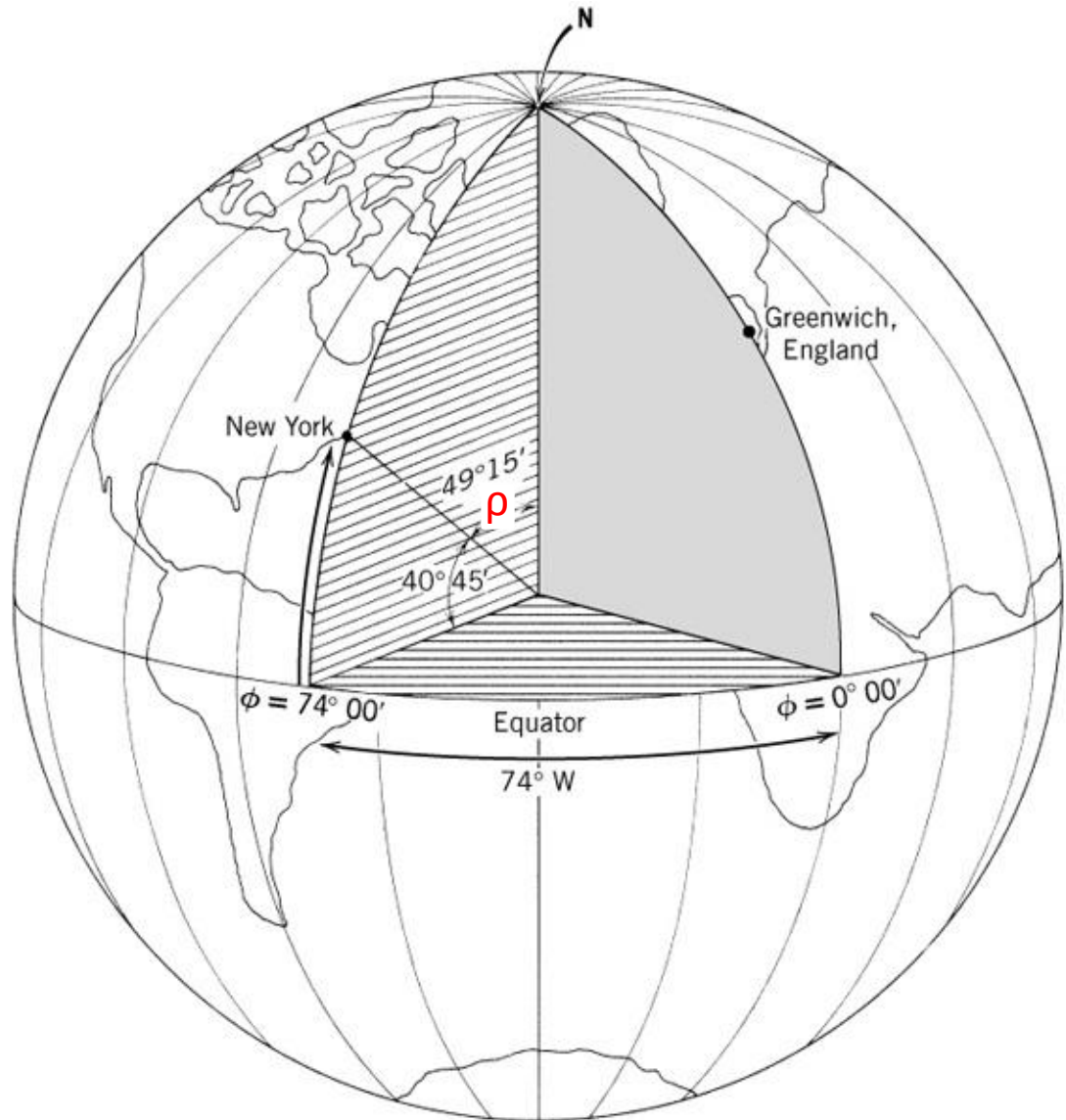
\* Deze hoeken zijn dezelfde als deze die gebruikt worden voor het plotten van de lengtegraad en de breedtegraad van posities van punten op het oppervlakte van de aarde.



\* Twee verschillen

- Voor aarde is de **lengtegraad** gelijk aan de  $\phi$  (phi) hoek, behalve dat deze gemeten wordt ten opzichte van de Greenwich Meridiaan, gedefinieerd als  $\phi = 0^\circ$ .

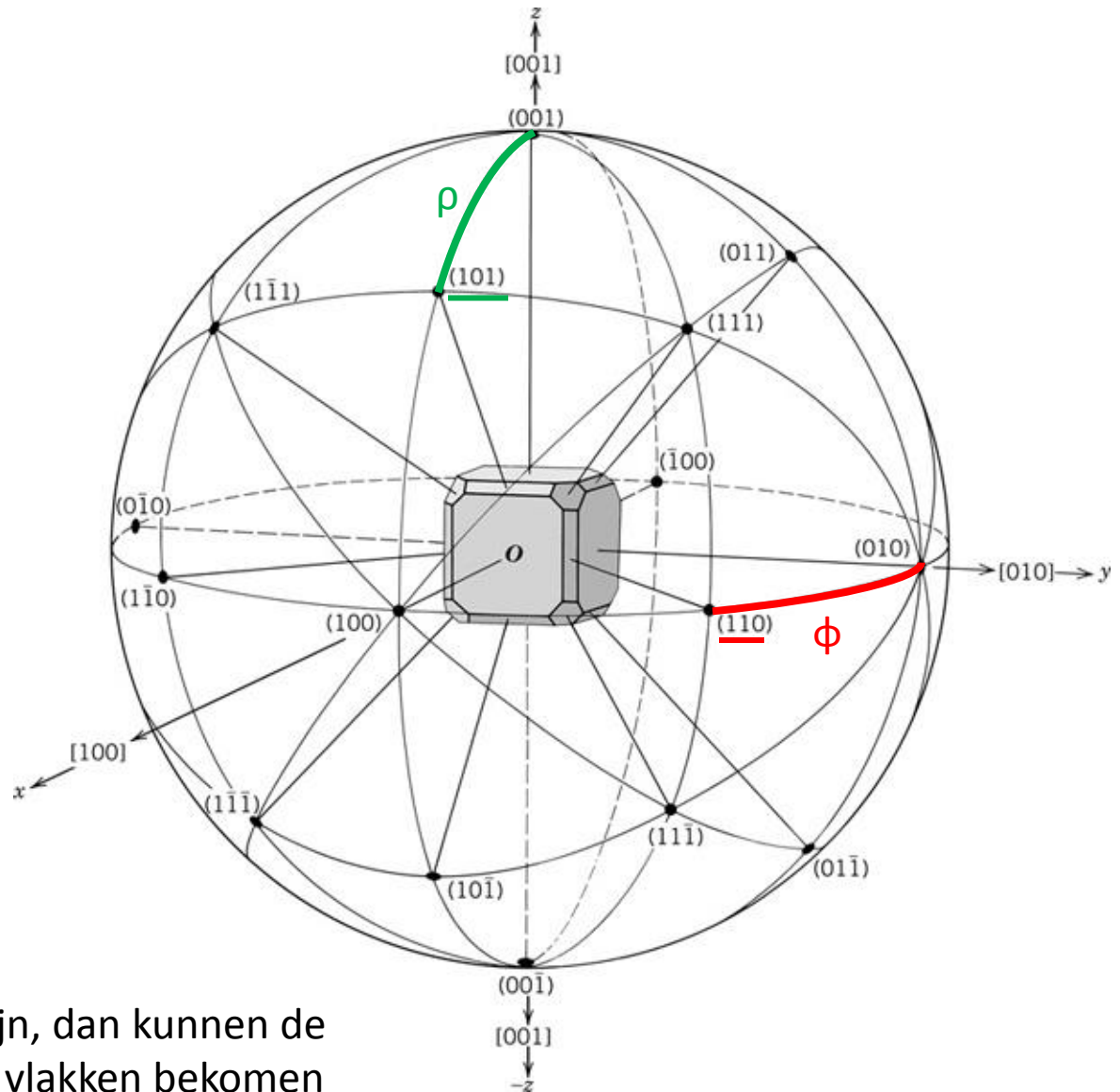
- **breedtegraad** op aarde is gemeten in een verticaal vlak, vertrekkende van de evenaar. Dus, de  $\rho$  (rho) hoek is hetgeen een co-breedtegraad wordt genoemd ( $90^\circ$  - latitude).



**Kristalvlak (110):**  
 $\phi$  (phi) hoek van  $45^\circ$   
( $\rho = 90^\circ$ )

**Kristalvlak (101):**  
 $\rho$  (rho) hoek van  $45^\circ$   
( $\phi = 90^\circ$ )

**... maar steeds in 3D!**

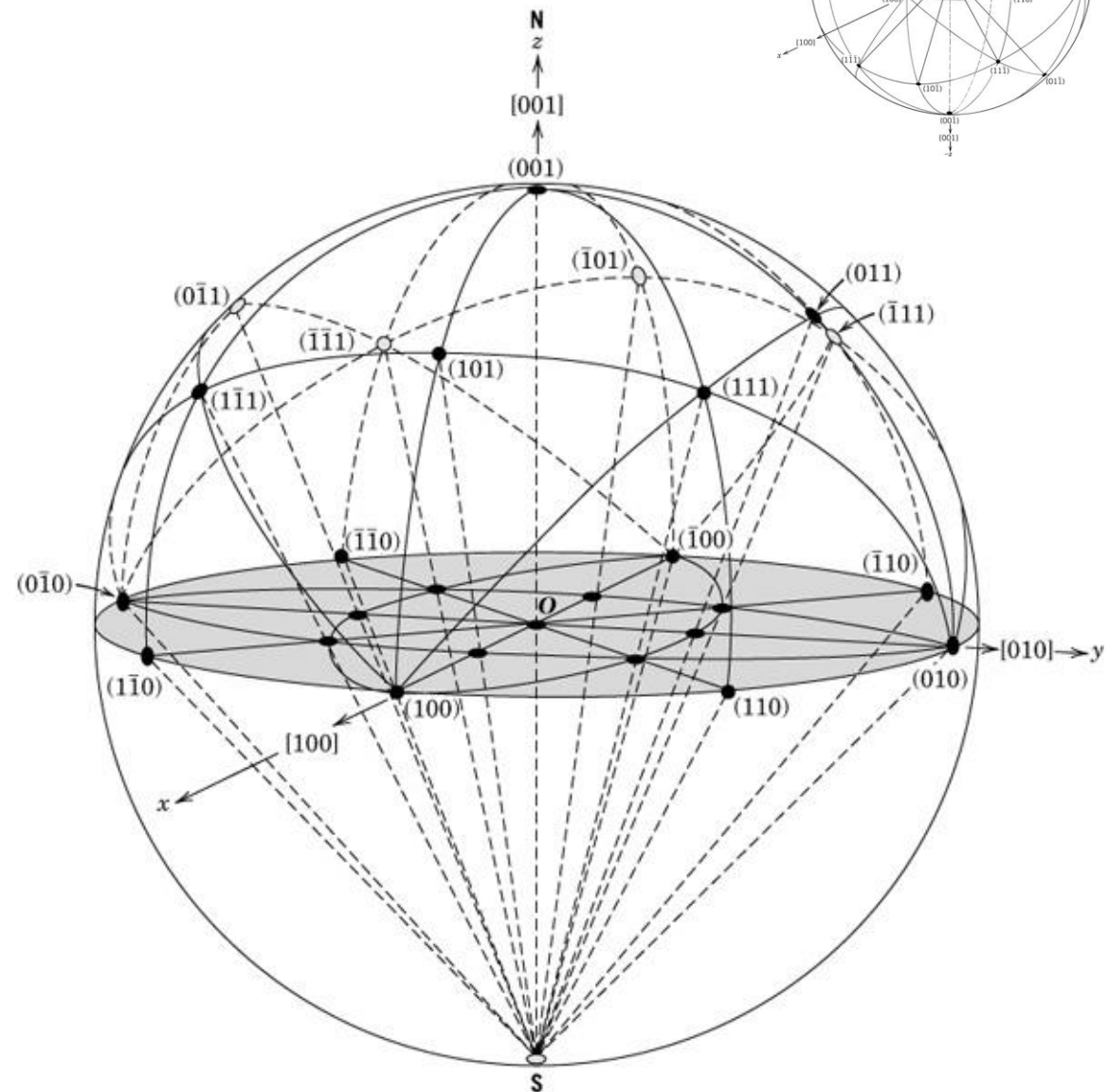
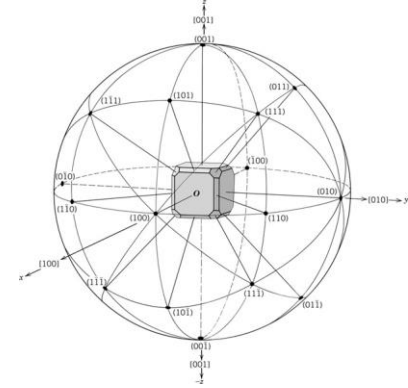


Als de hoeken  $\rho$  en  $\phi$  gekend zijn, dan kunnen de echte hoeken tussen elke twee vlakken bekomen worden met behulp van trigonometrie

### 3. Stereografische projectie

\* De poolvlakken worden geprojecteerd op het evenaarsvlak.

\* Deze methode wordt eveneens in de structurele geologie gebruikt (2de Bachelor).

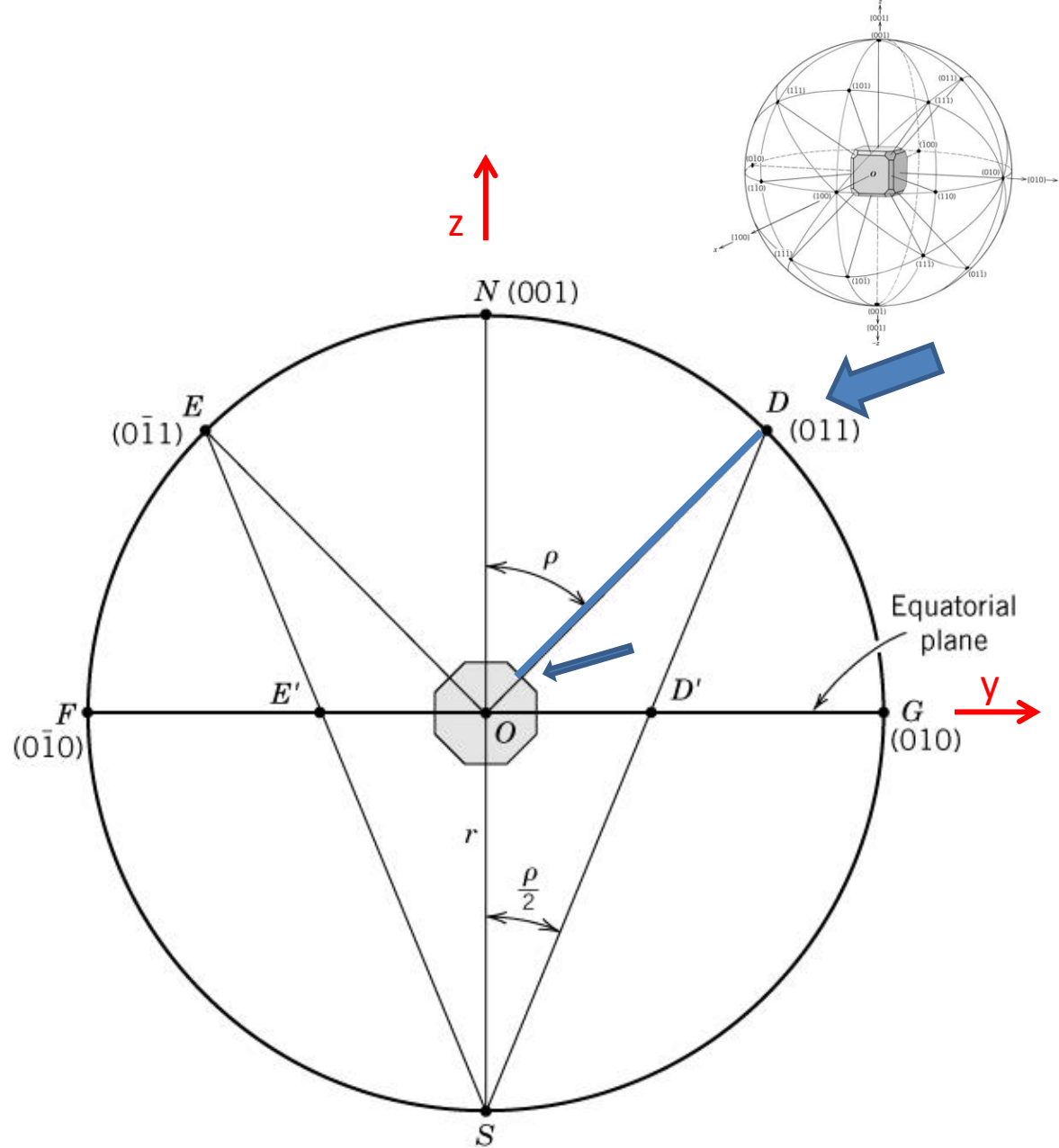


\* Zelfde kristal van binnen in de sfeer (verticale doorsnede).

Kristallografische as **a** is naar voren gericht.

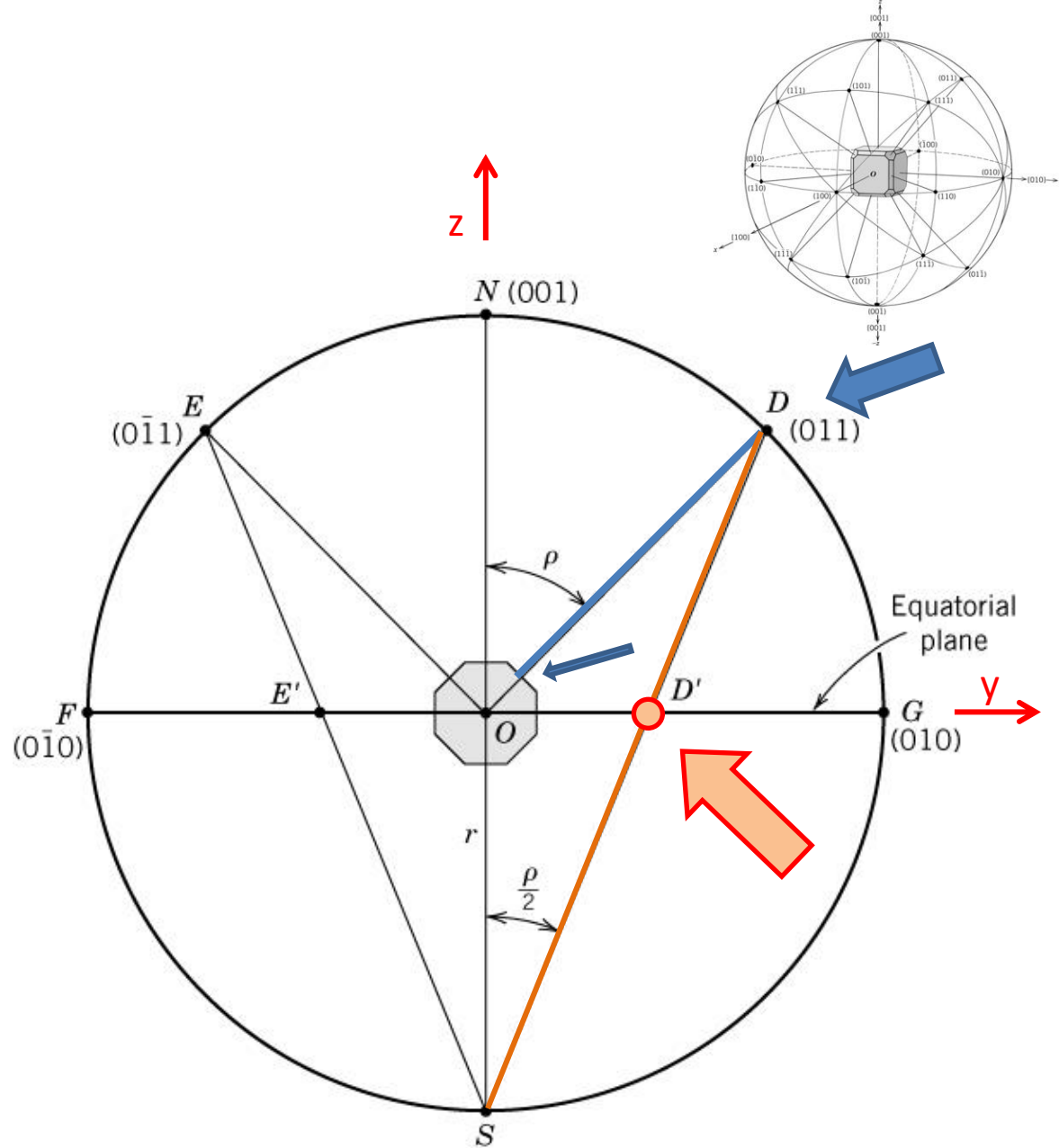
Beschouw het vlak (011)

(1) Teken de pool van het kristalvlak en verleng deze om de buitenkant van de sfeer te snijden, i.e. punt D.

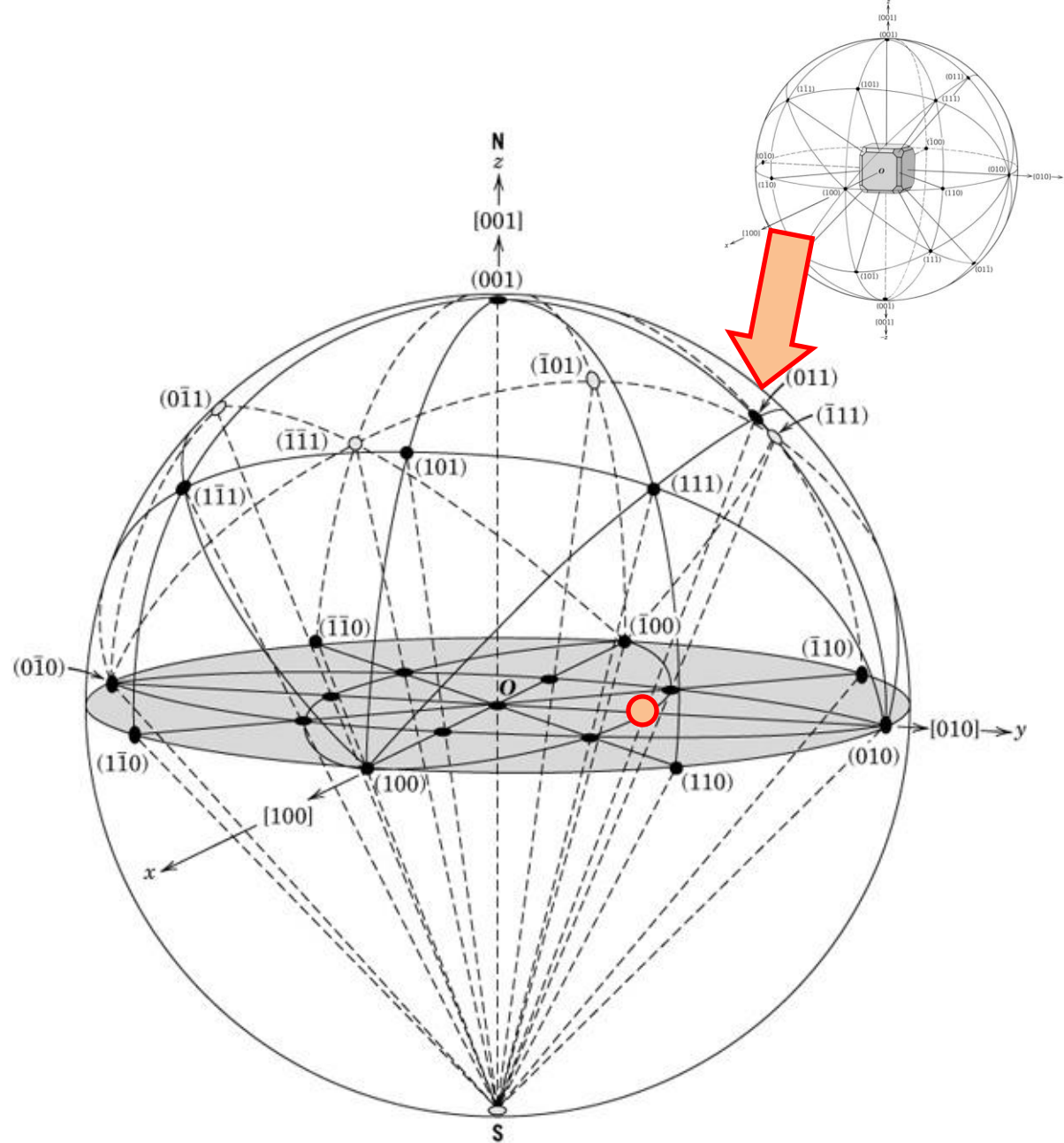


(2) Teken een lijn van het punt D op de sfeer naar de **zuidelijke pool** van de sfeer.

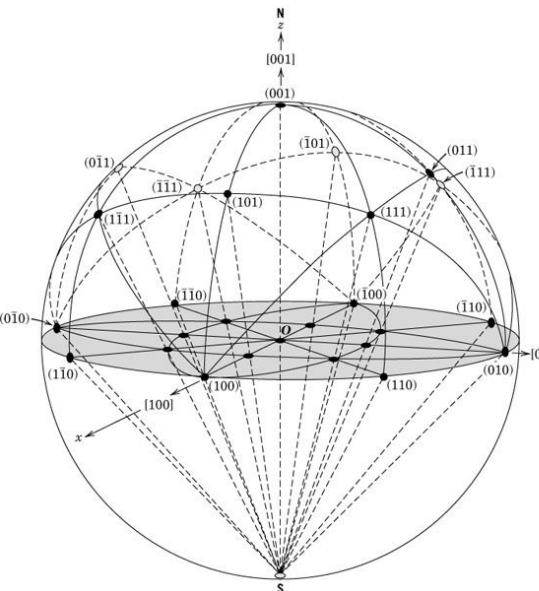
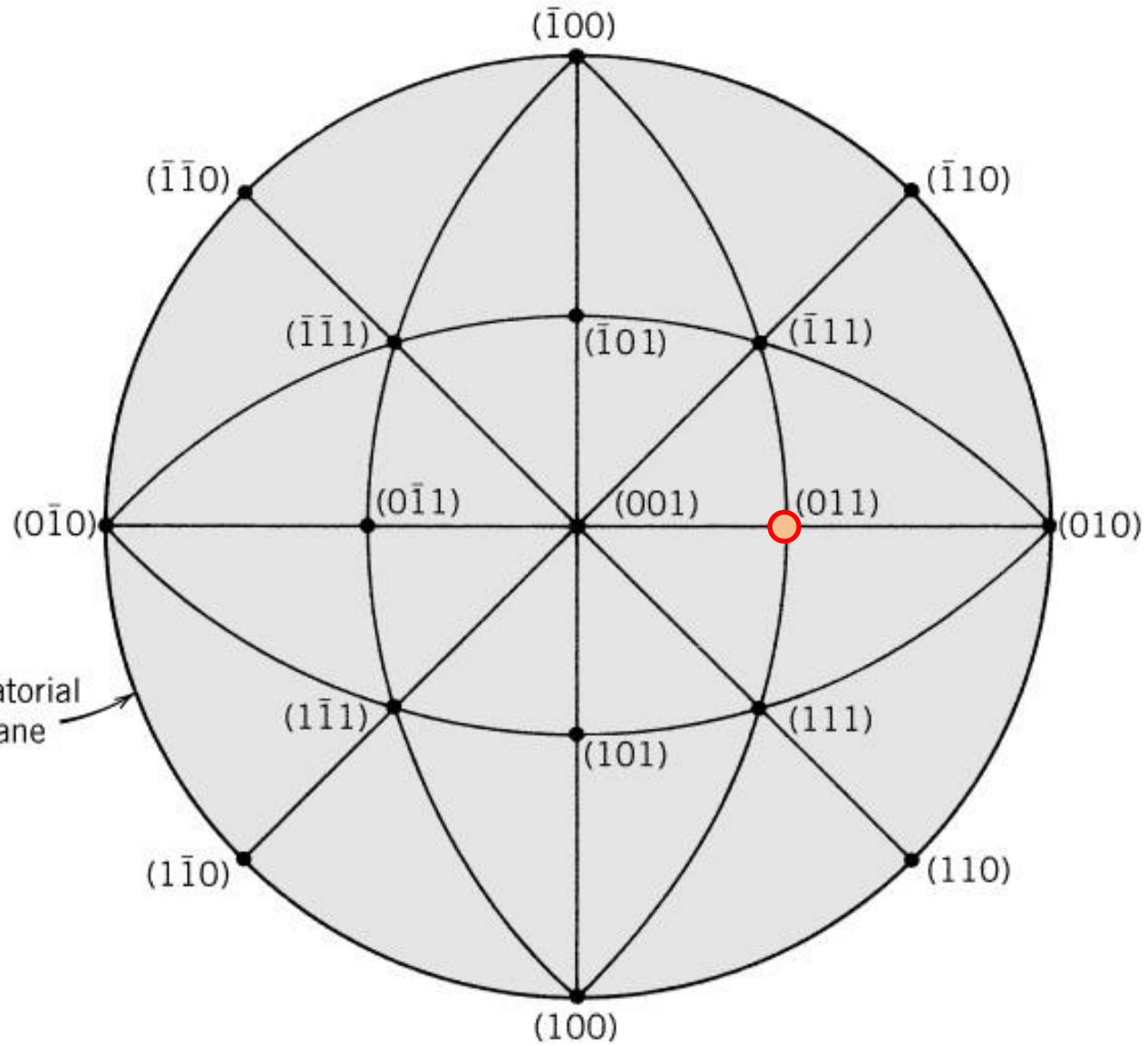
↓  
het snijpunt tussen deze lijn en het evenaarsvlak van de sfeer is de stereografische projectie van het kristalvlak.



\* Stereografische projectie voor de vlakken van een kubisch kristal.



\* Stereografische projectie voor de vlakken van een kubisch kristal.



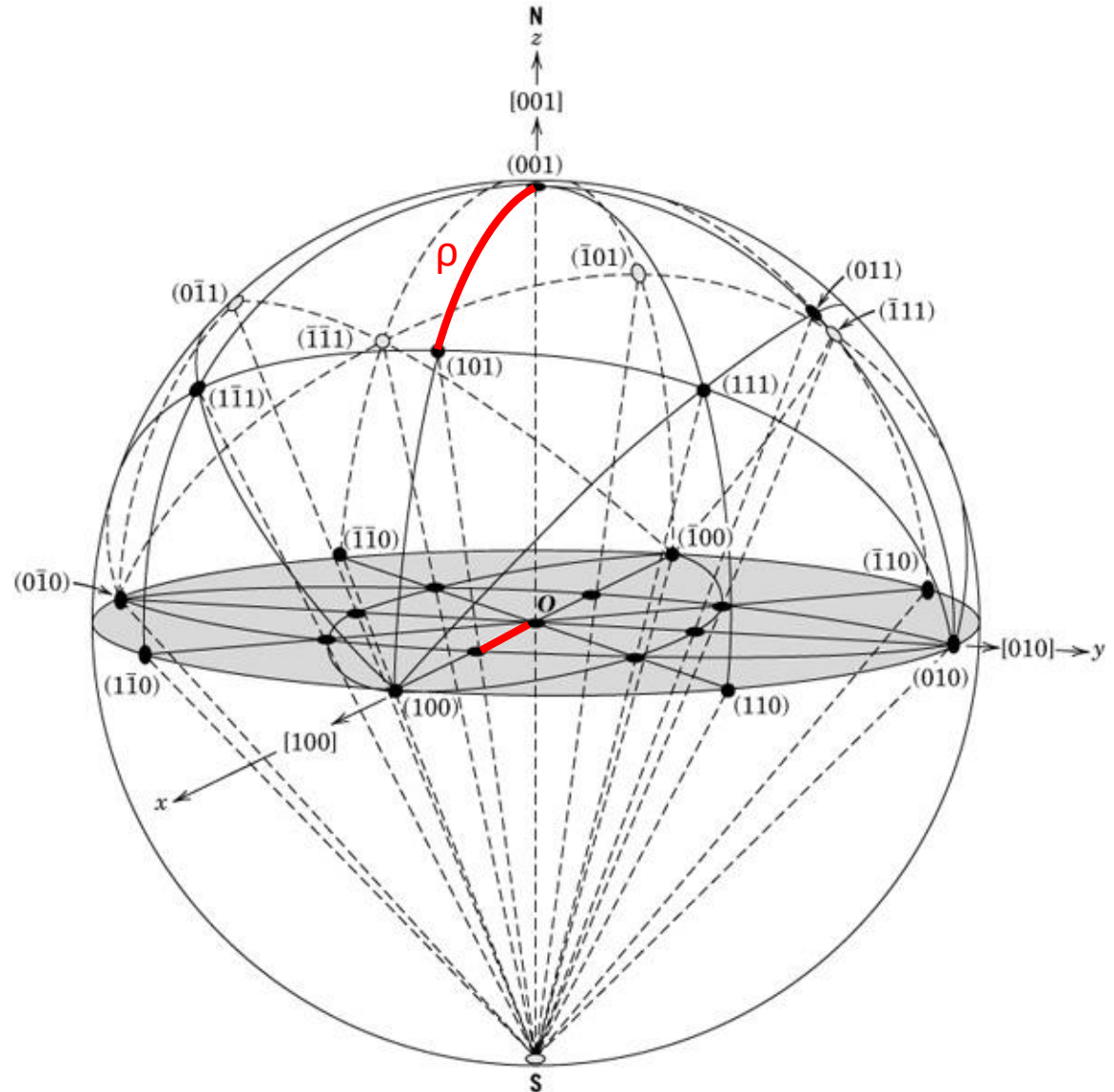


\* Hoeken:

-  $\rho$  (rho) hoek, i.e., de co-breedtegraad:



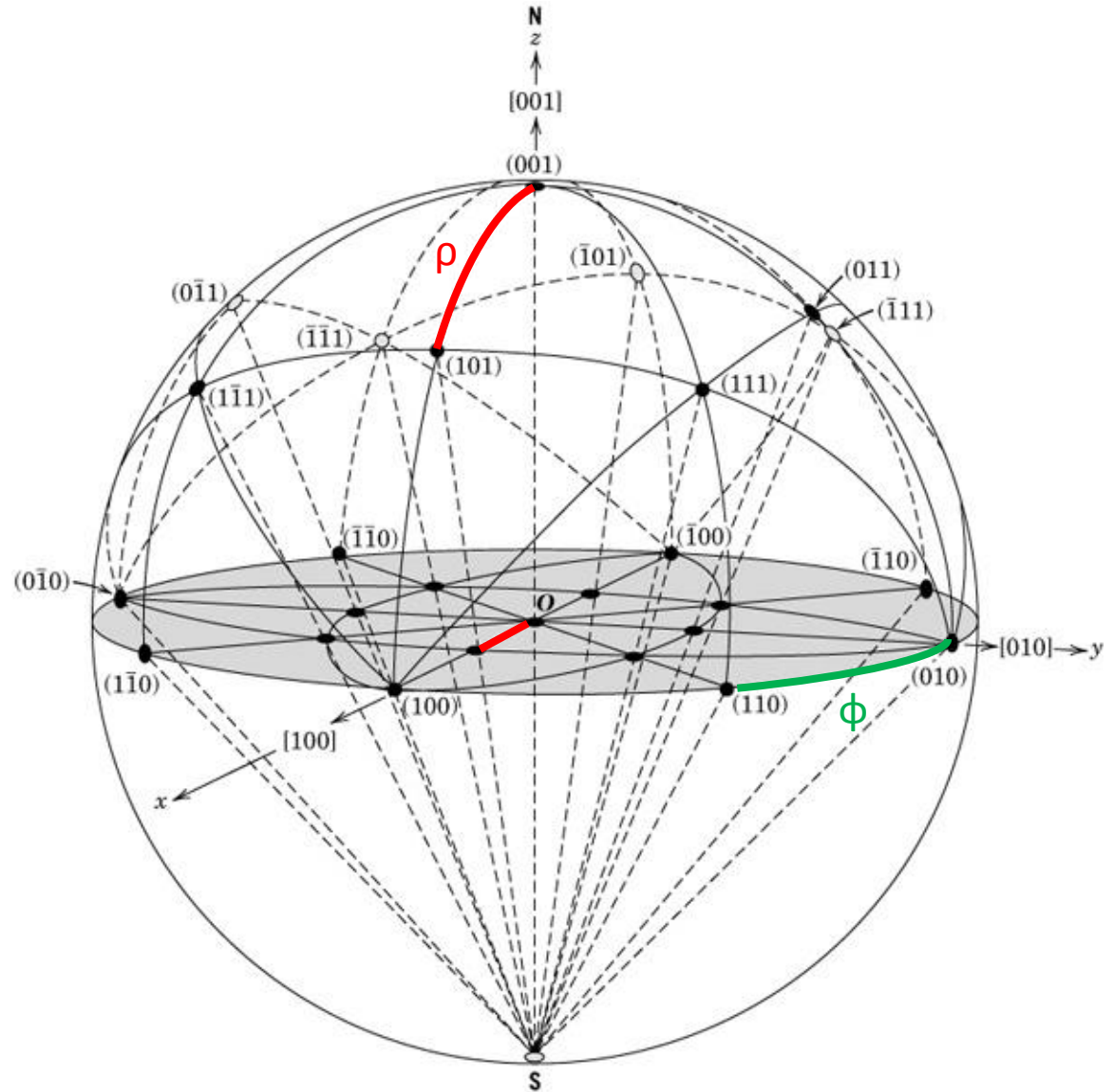
Kan gemeten worden als de afstand van het centrum van de projectie tot de positie waar het kristalvlak geplot wordt.



-  $\phi$  (phi) hoek

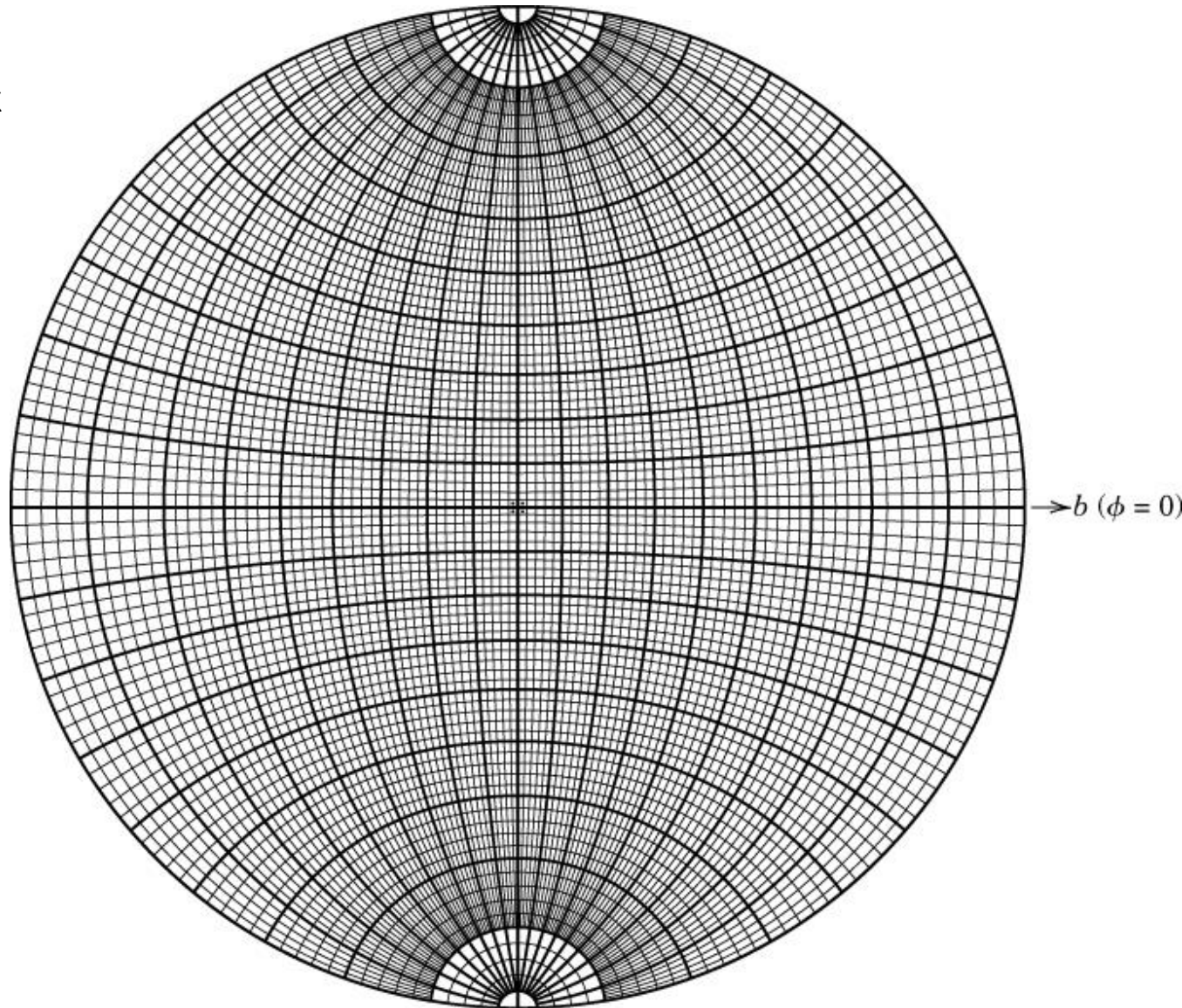


Wordt gemeten als de omtrek van de cirkel, in wijzerzin gemeten in richting weg van de kristallografische as b.



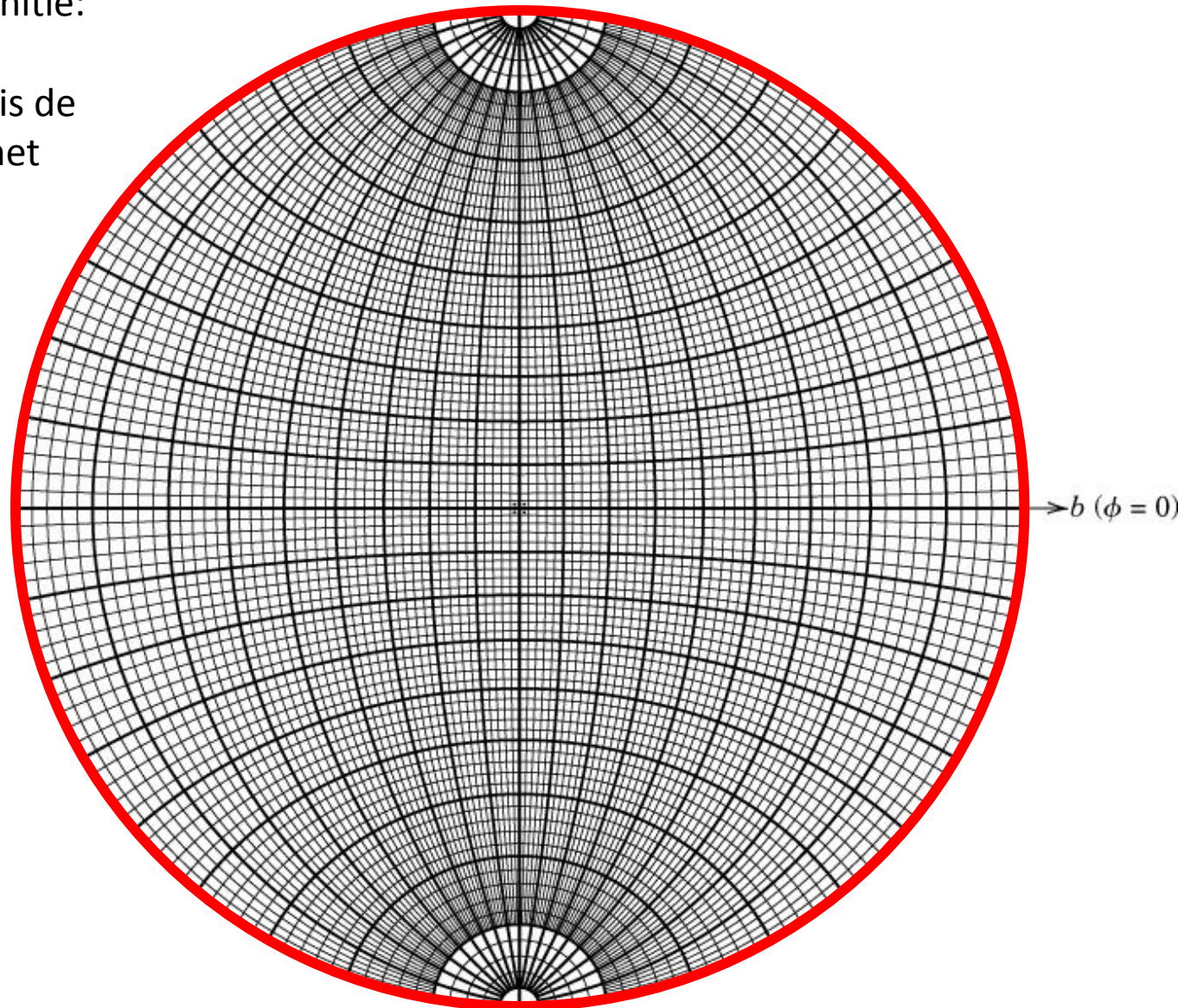
\* Om de stereografische projectie makkelijk uit te voeren, wordt er gebruik gemaakt van een stereografisch net of stereonet.

Ook Wulff net genoemd



\* Enkele belangrijke definitie:

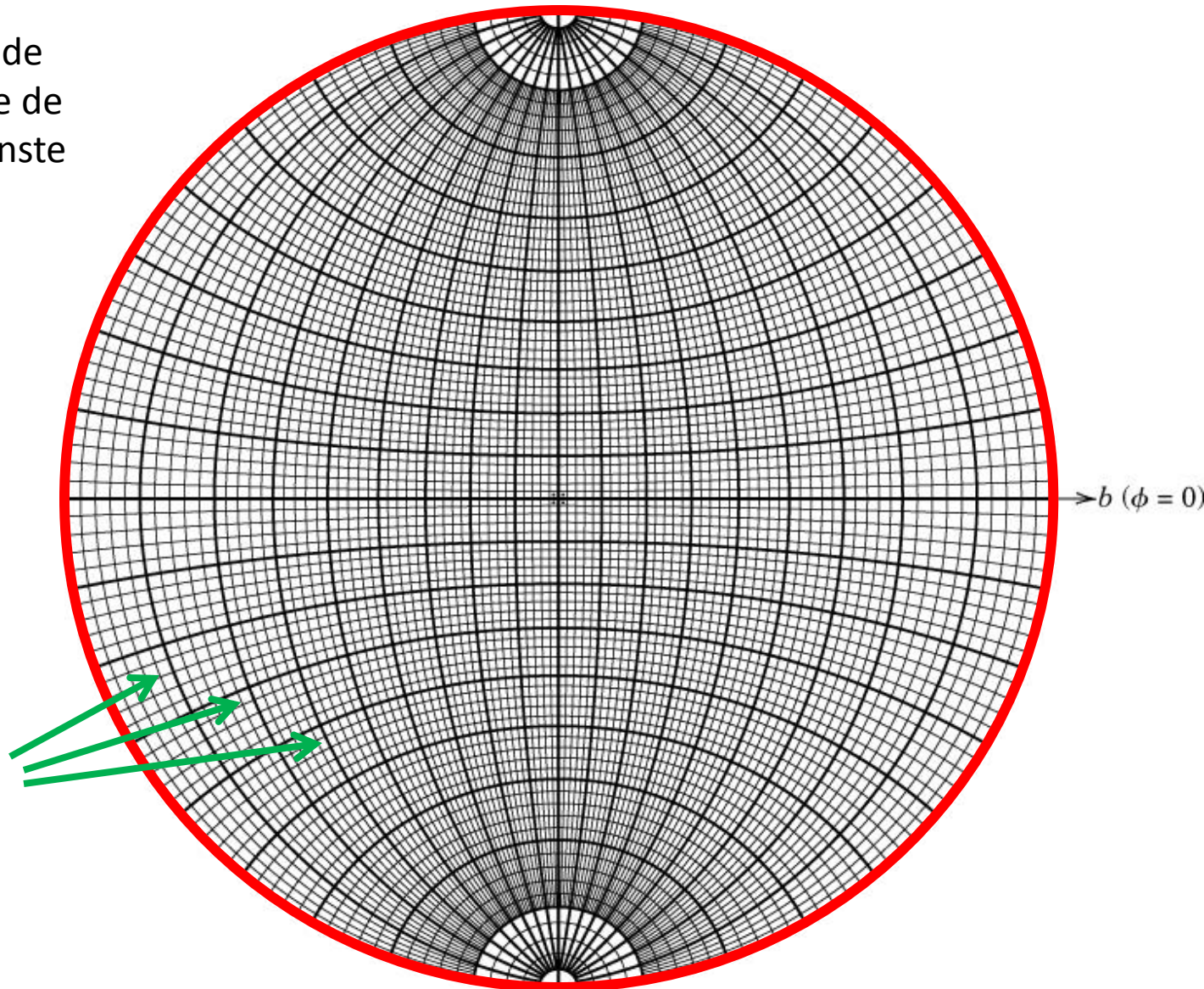
(1) De **Primitieve Cirkel** is de cirkel die het stereonet omringd.



Primitieve cirkel

(2) **Grote Cirkels** zijn de gebogen lijnen die de onderste en bovenste polen verbinden

Grote cirkels  
(om de  $10^\circ$ )

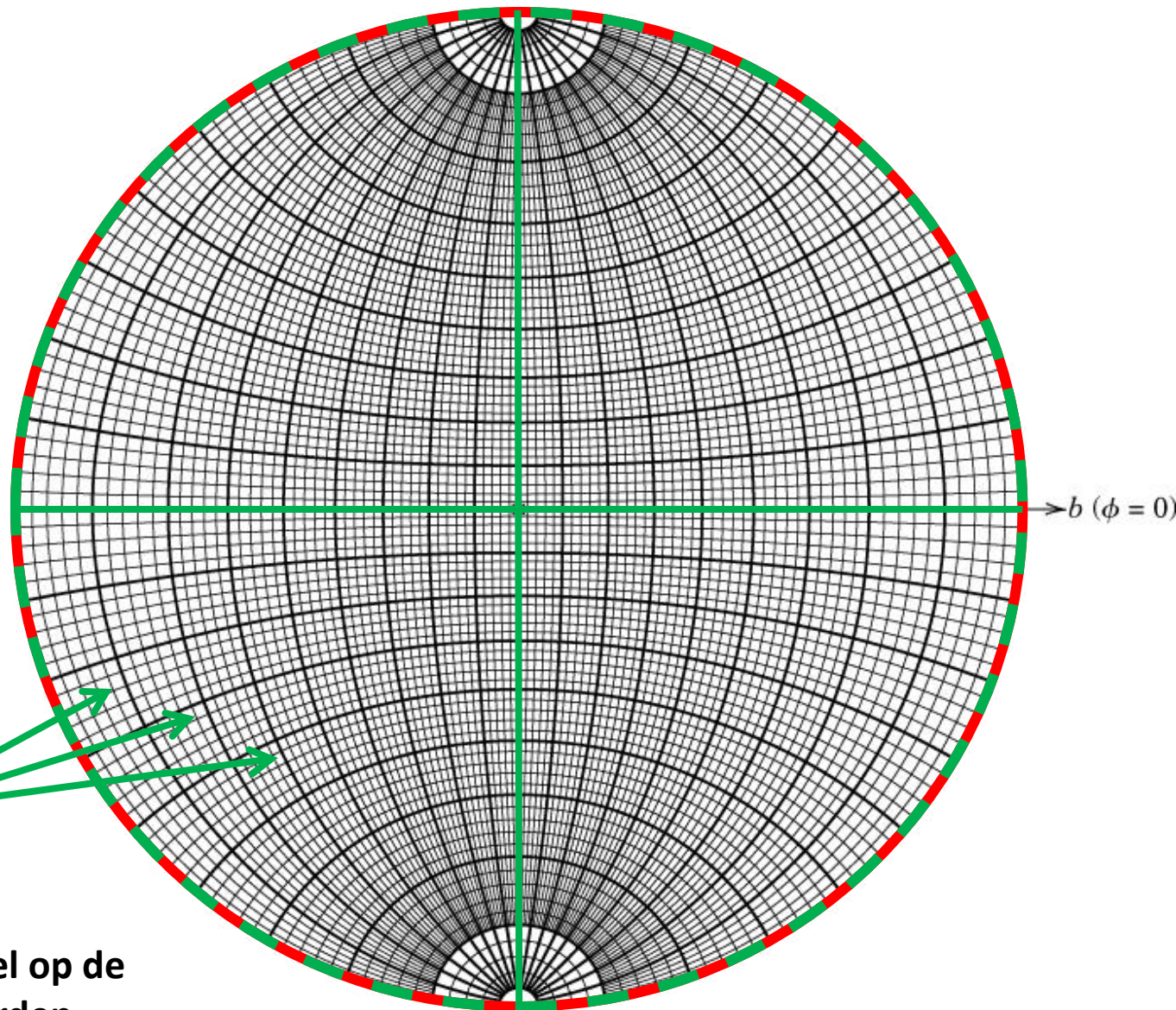


Primitieve cirkel

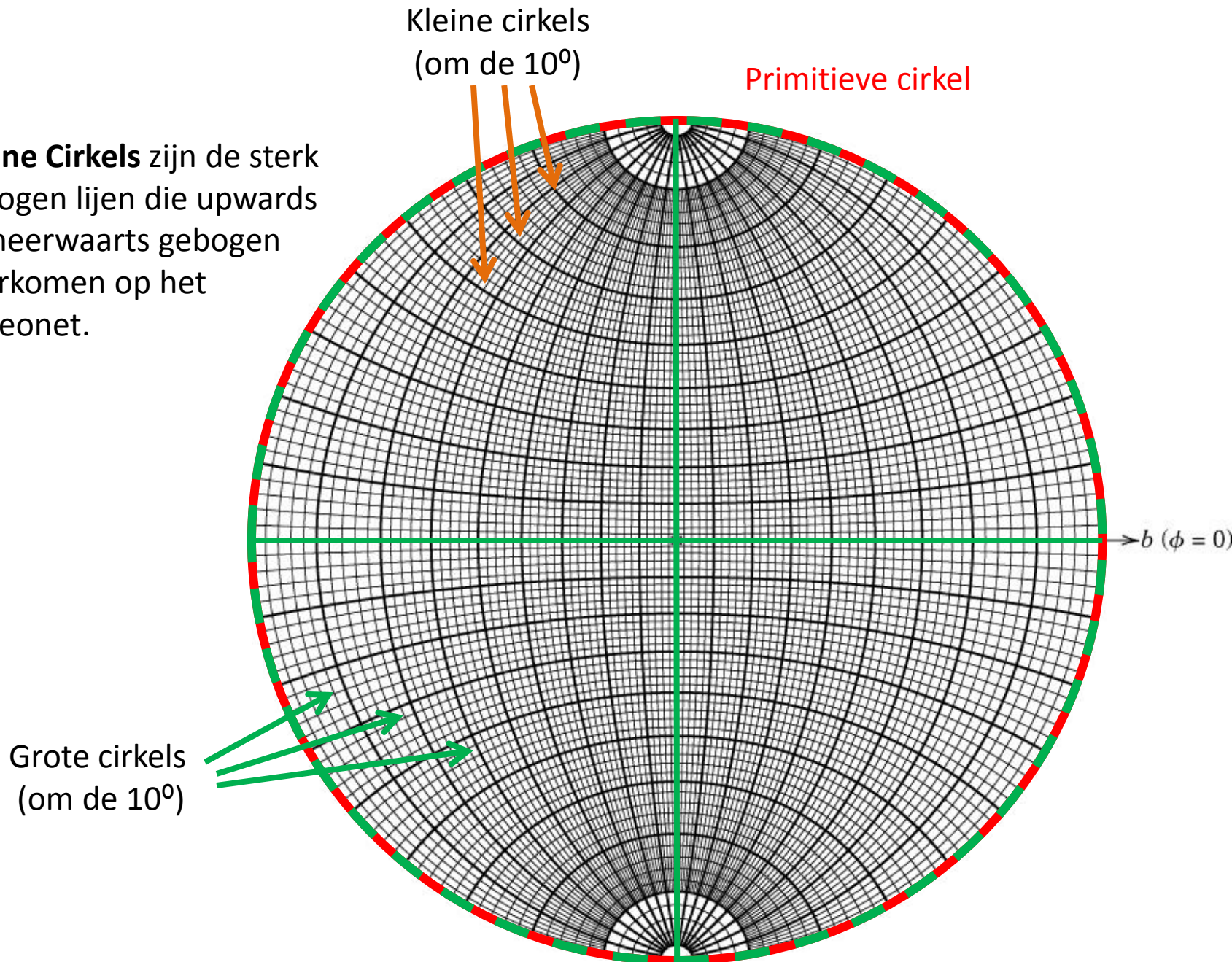
De horizontale en verticale lijnen, als ook de primitieve cirkel zijn grote cirkels.

Grote cirkels  
(om de  $10^{\circ}$ )

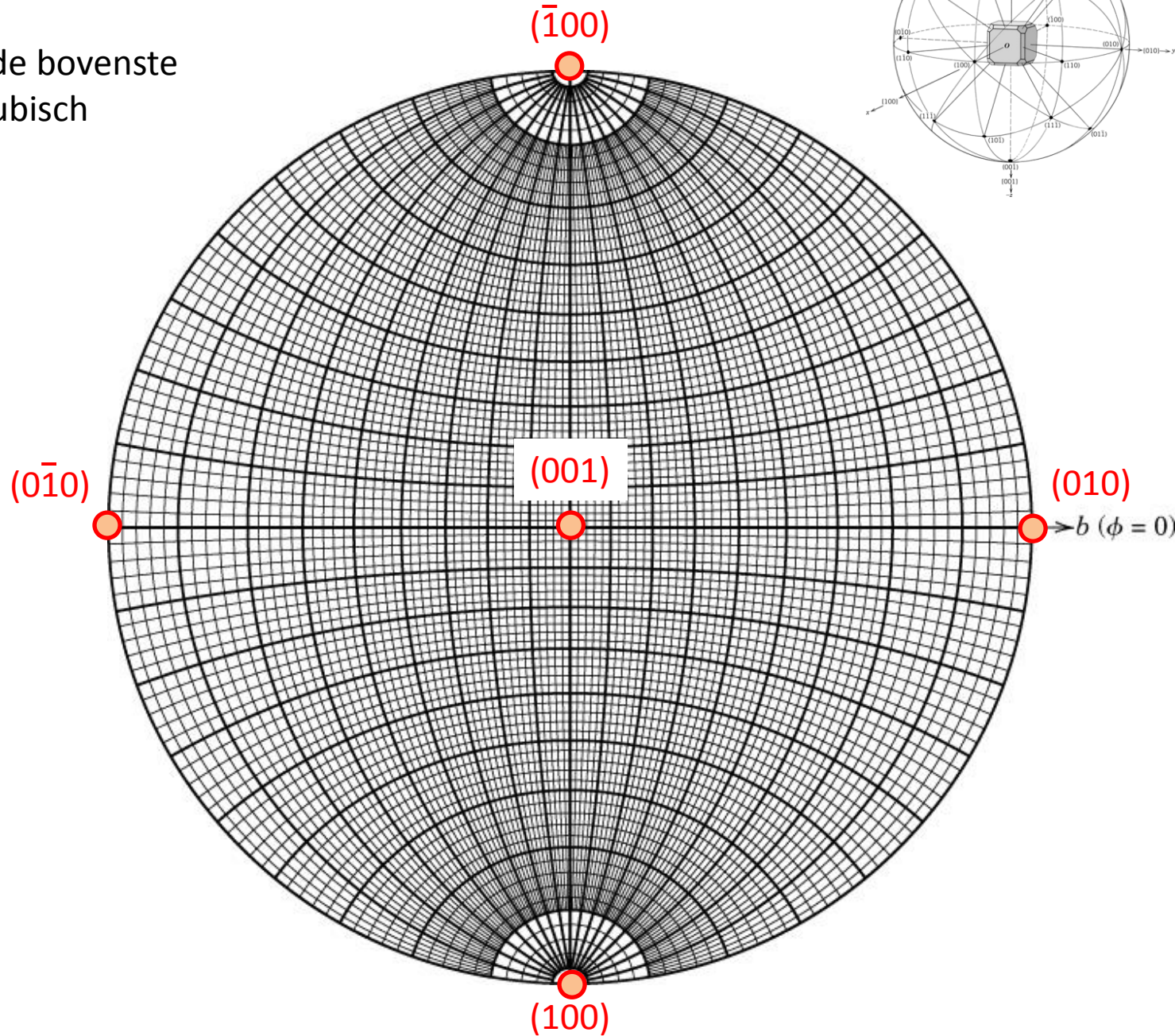
**Hoekrelaties kunnen enkel op de grote cirkels gemeten worden.**



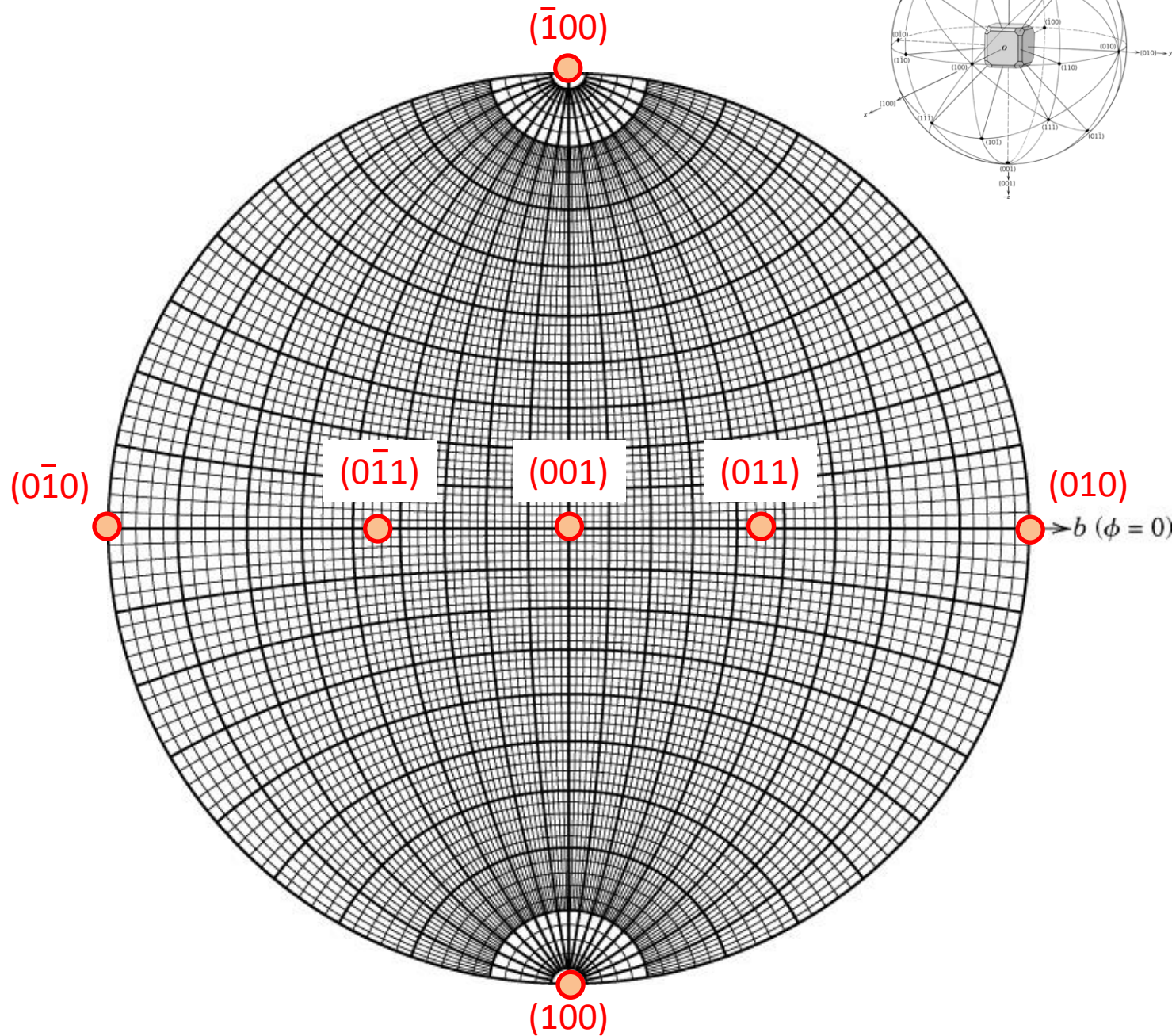
(3) **Kleine Cirkels** zijn de sterk gebogen lijnen die upwards en neerwaarts gebogen voorkomen op het stereonet.

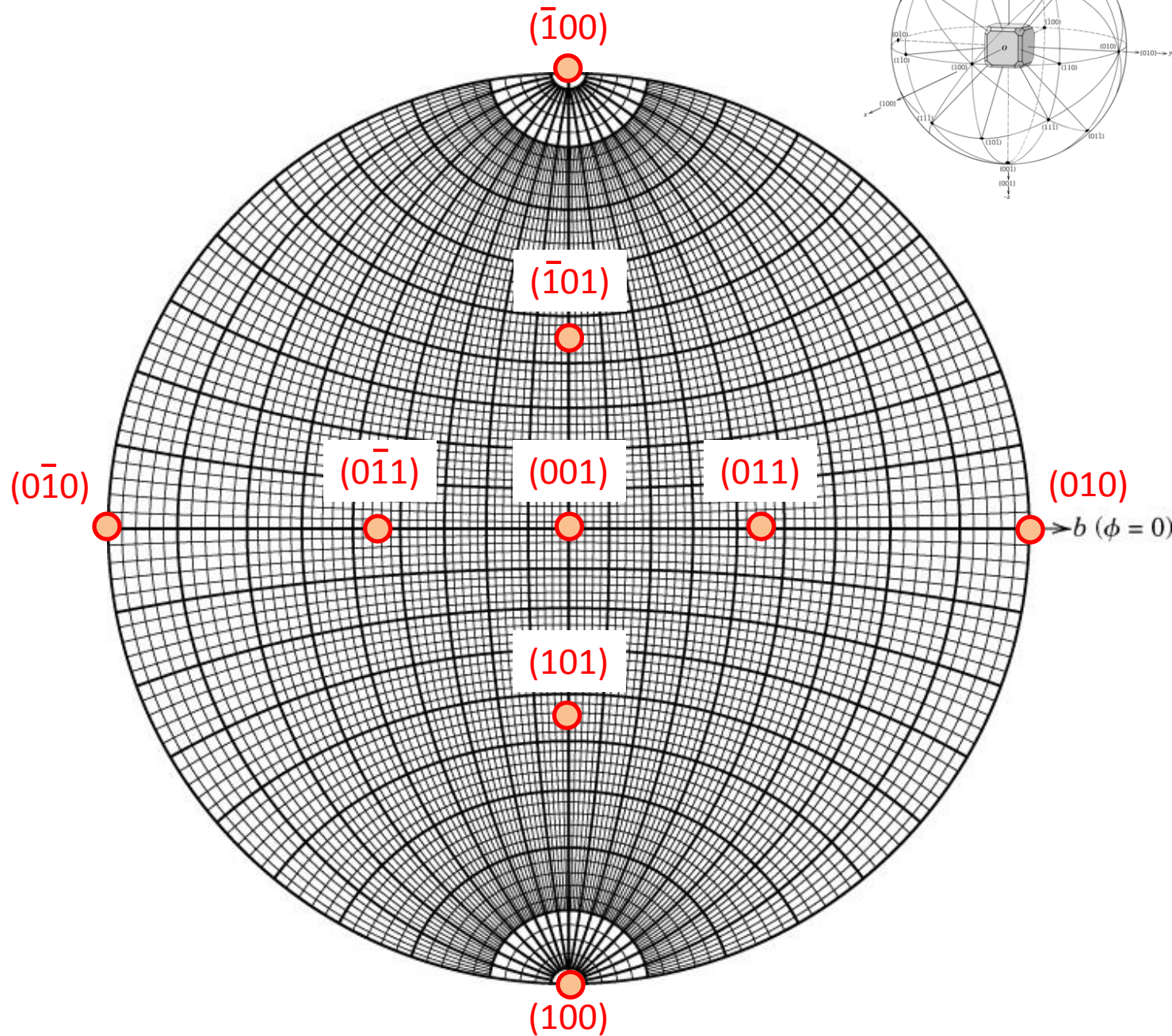


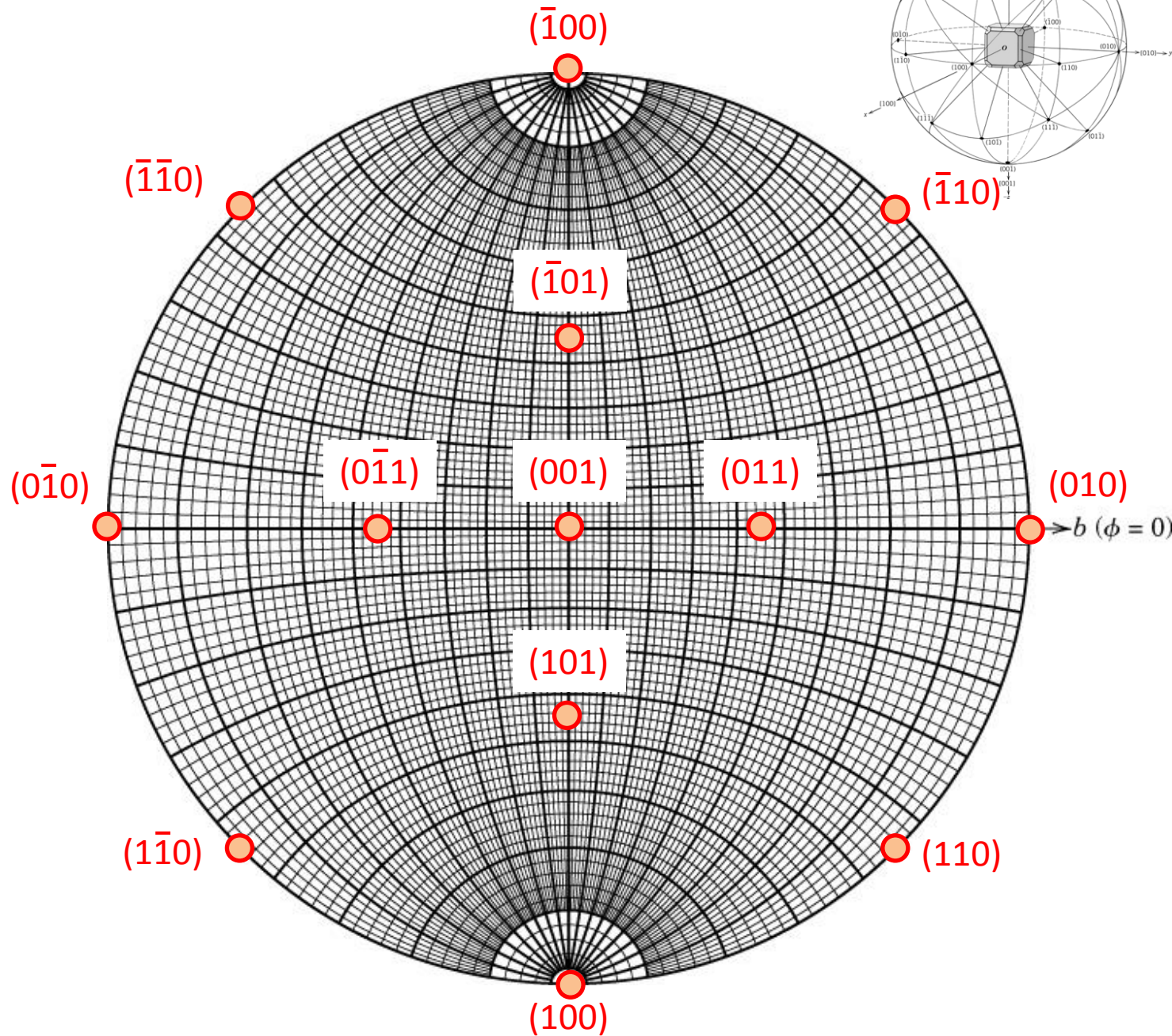
\* Vb. Plotten van de bovenste vlakken van een kubisch kristal.

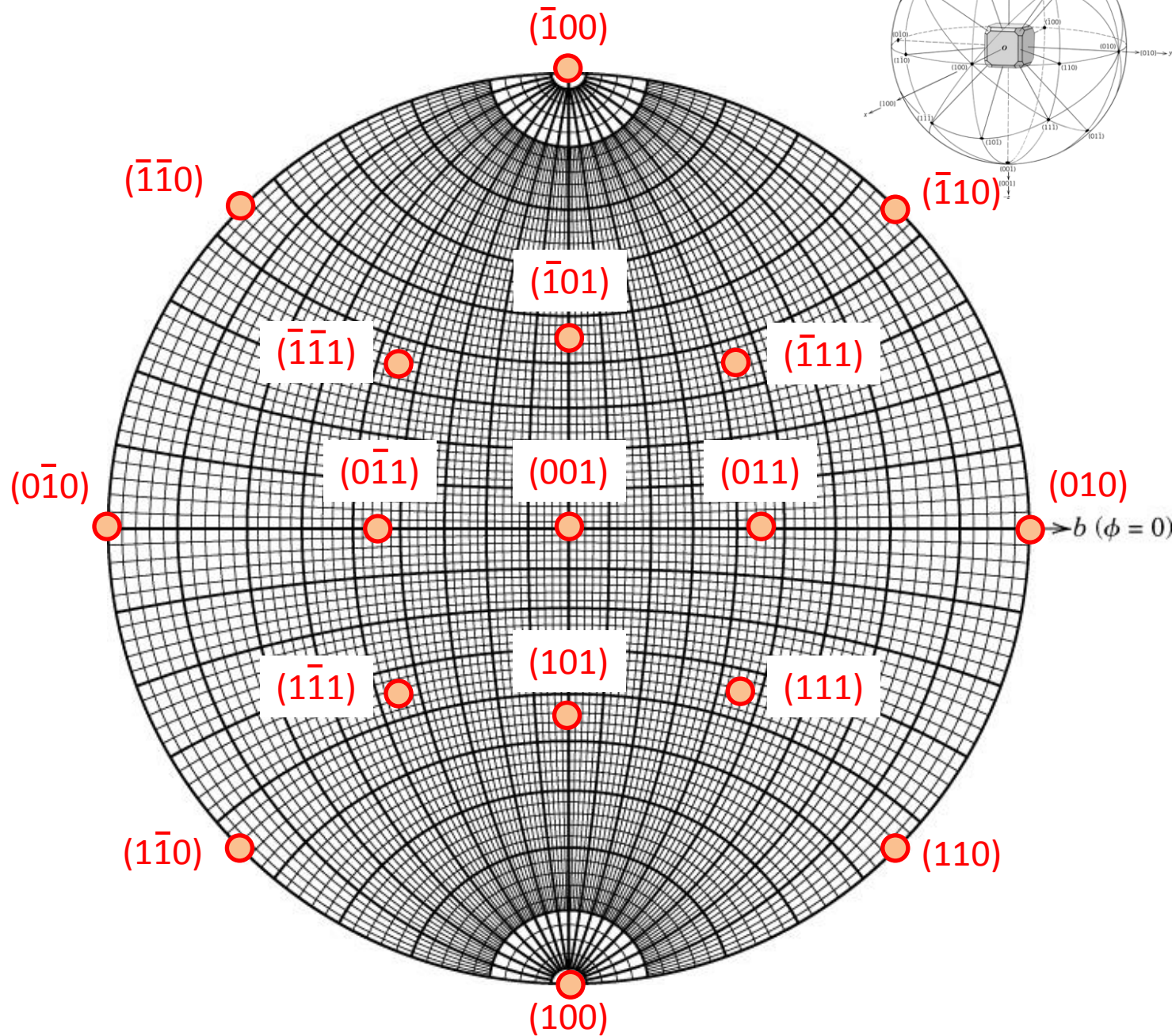




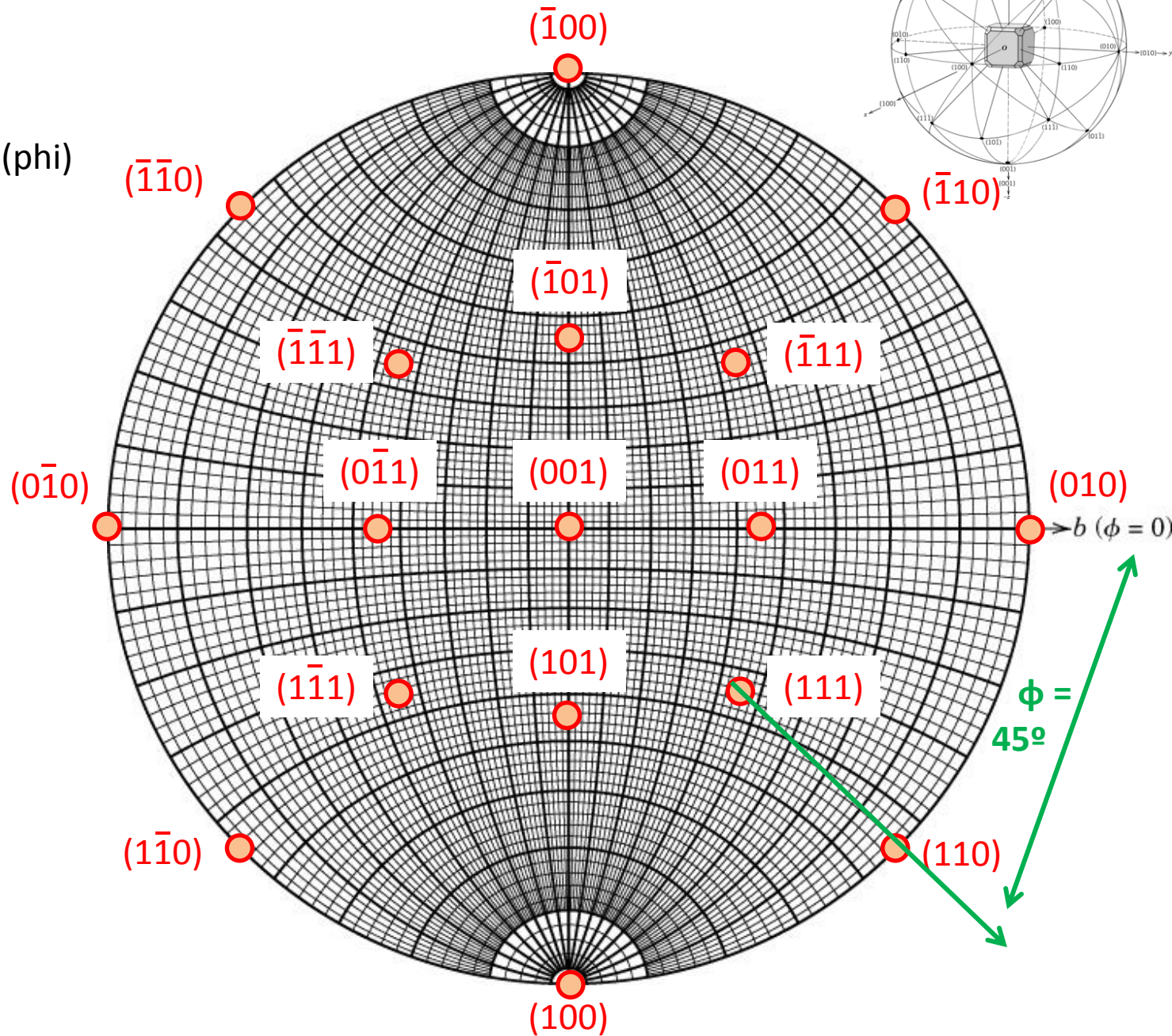








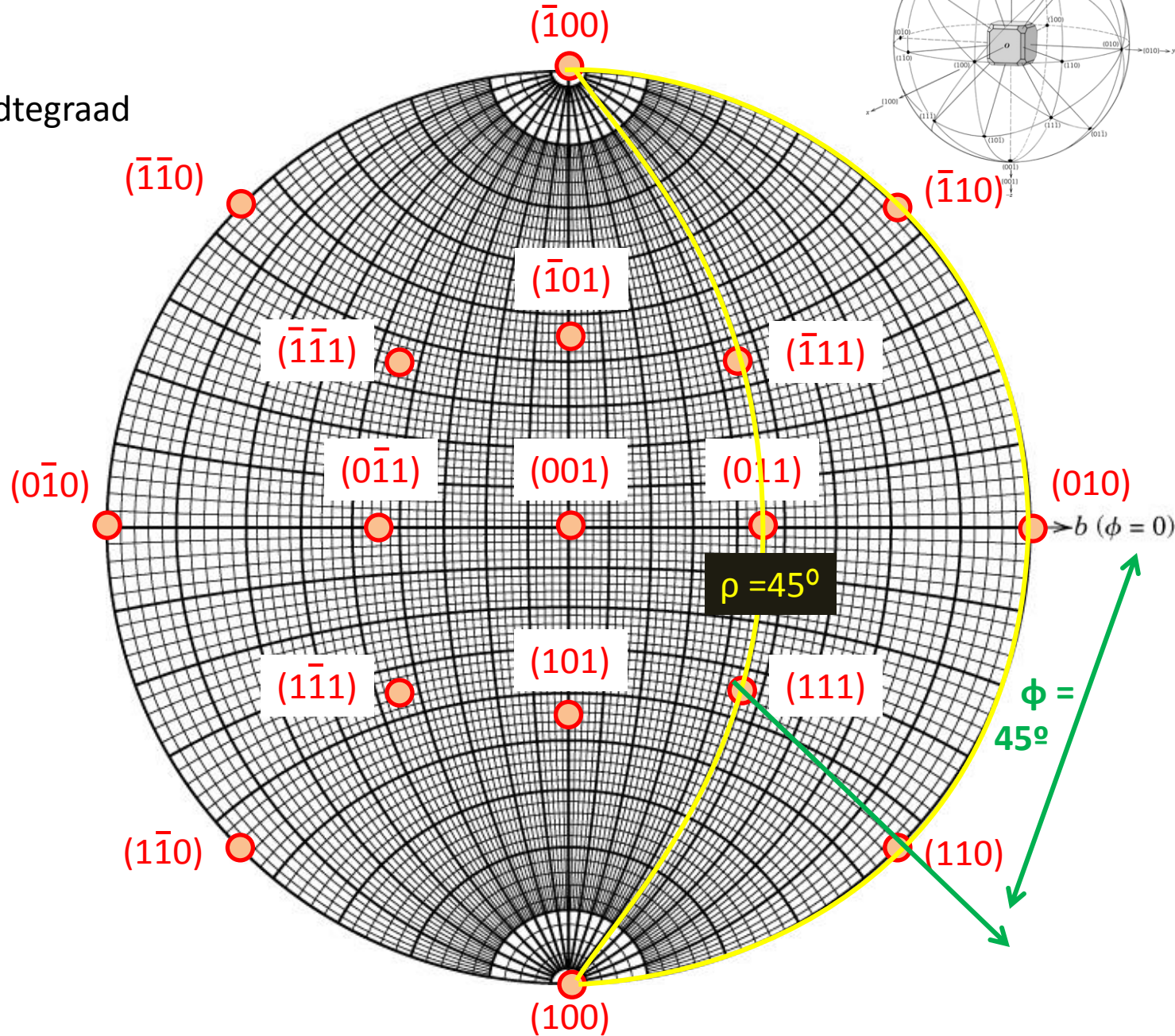
\* (111) en (110):  
Hebben elk een  $\phi$  (phi)  
"lengtegraad"  
hoek van  $45^\circ$



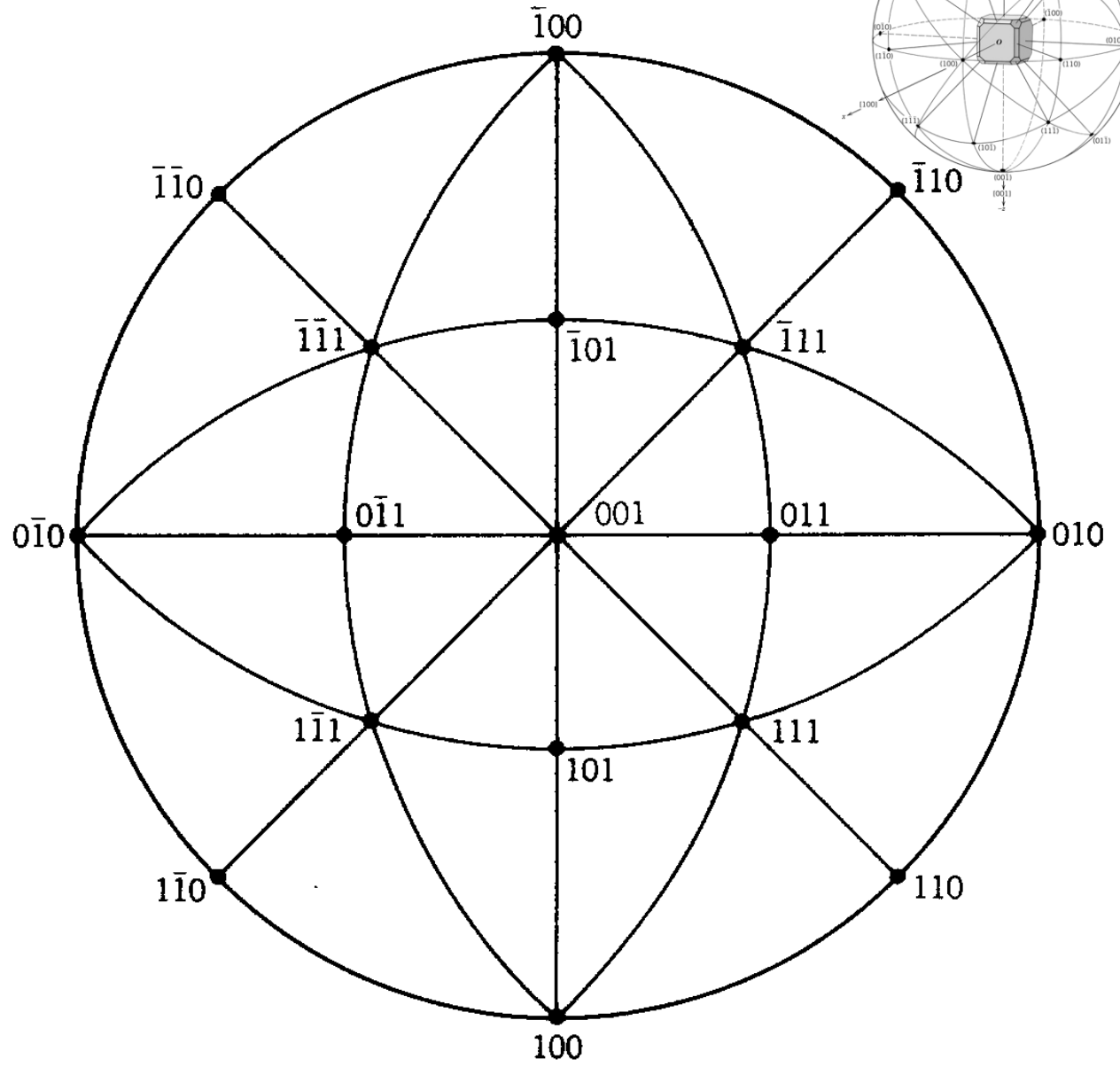
\* Voor de co-breedtegraad  $\rho$  (rho) hoek:

↓  
 $(111)$ :  $45^\circ$   
 $(110)$ :  $90^\circ$

... gemeten op de grote cirkels



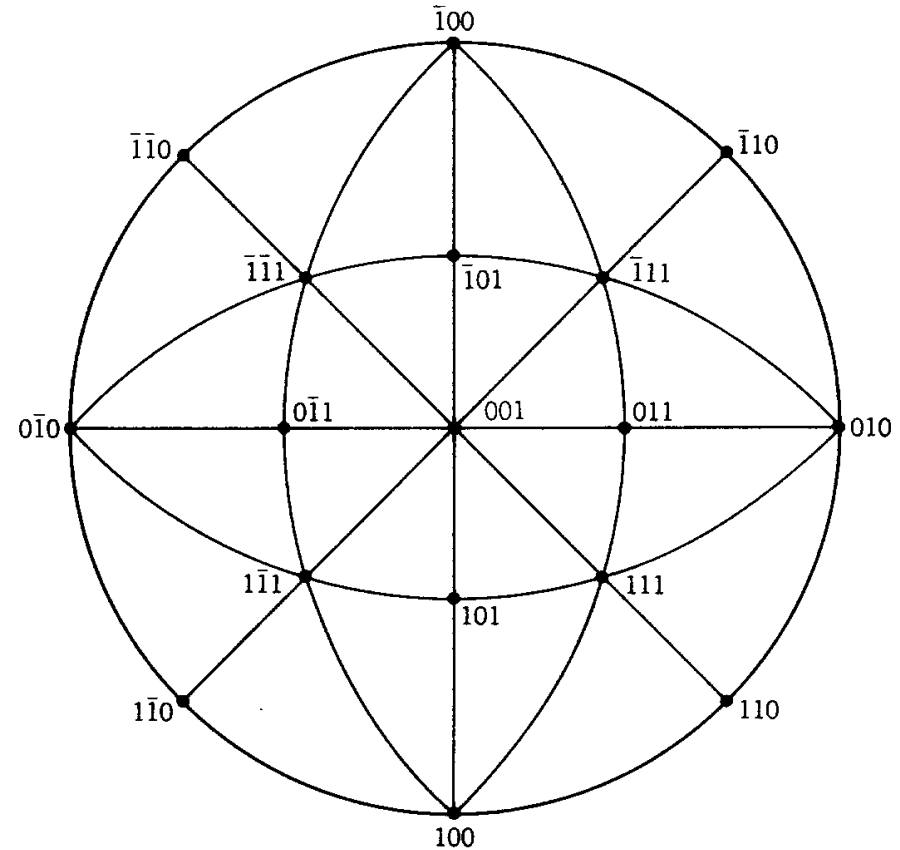
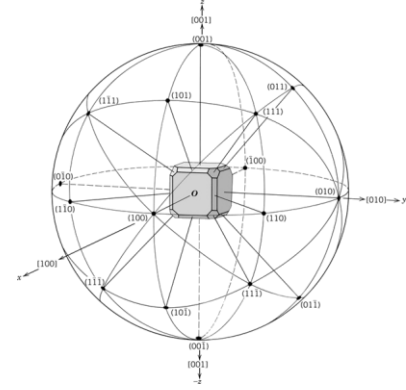
\* Finaal resultaat



\* Opmerkingen

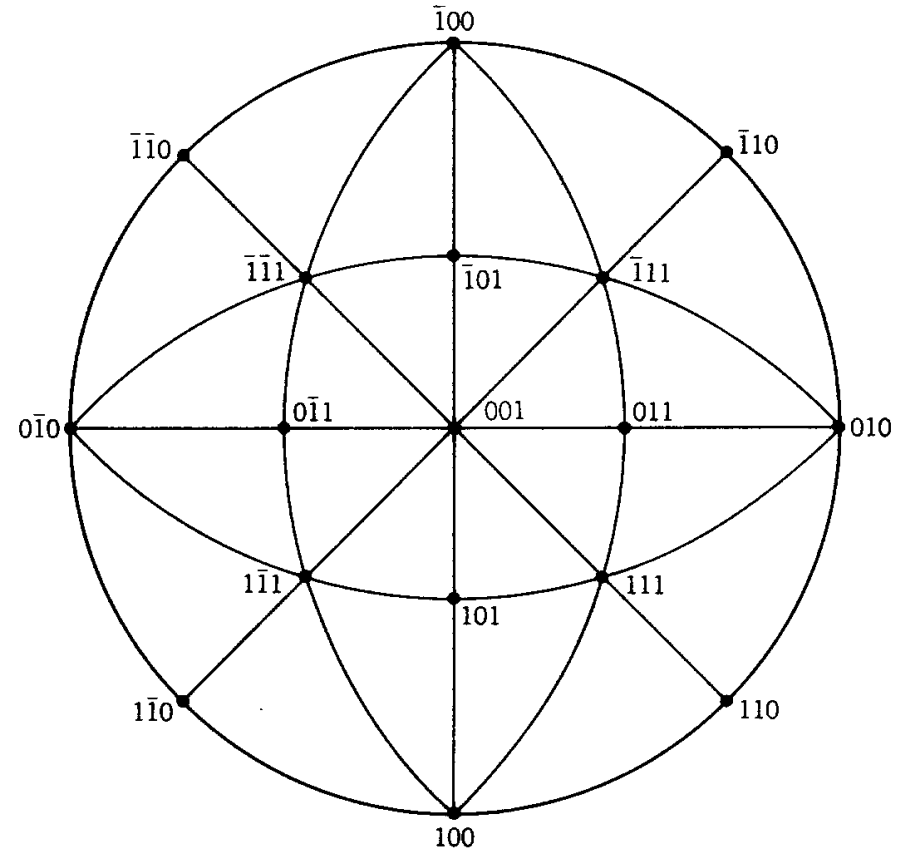
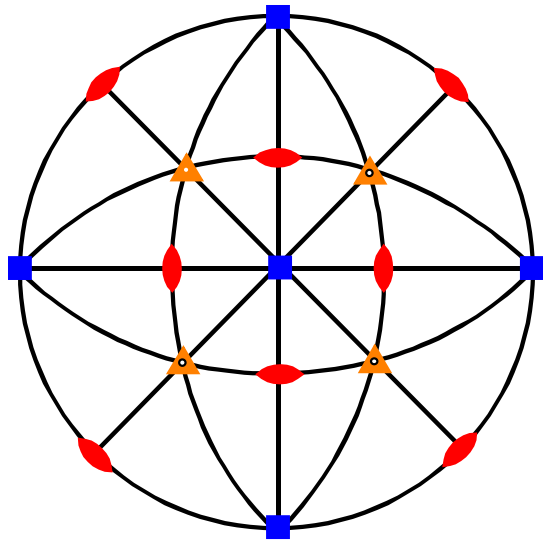
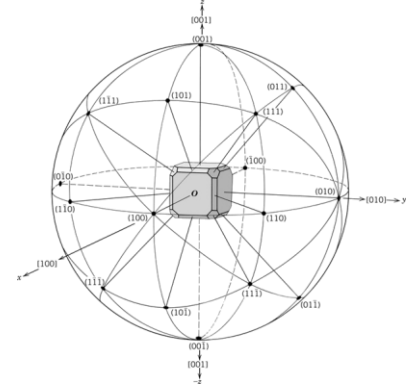
1. Kristalvlakken op het bovenste deel van het kristal (“Noordelijke Hemisfeer”) van het kristal ( $\rho < 90^\circ$ ) worden aangeduid met volle symbolen ( $\bullet$ ).

- Kristalvlakken op het onderste deel van het kristal ( $\rho > 90^\circ$ ) worden aangeduid met een open cirkel ( $\circ$ ).





2. Stereografische projecties kunnen ook gebruikt worden voor het plotten van symmetrie elementen.



\* Overzicht:

- Polen van kristalvlakken: lijn loodrecht op het kristalvlak, gelabeld met Miller indices
- Hoeken:
  - $\phi$  (phi) wordt gemeten van de b-as in een wijzerzinrichting in het evenaarsvlak.
  - $\rho$  (rho) is de hoek tussen de c as en de pool van het kristalvlak (“co-breedtegraad”)
- Stereografisch net = Wulff net
  - Meet  $\phi$  (phi) op de primitieve cirkel
  - Meet  $\rho$  (rho) met de grote cirkels

## 4. Kristalvormen

\* Morfologie = uitwendig voorkomen of vorm van kristallen

\* Habit = uitwendige vorm



kristalvorm: meer speciale en beperkte betekenis



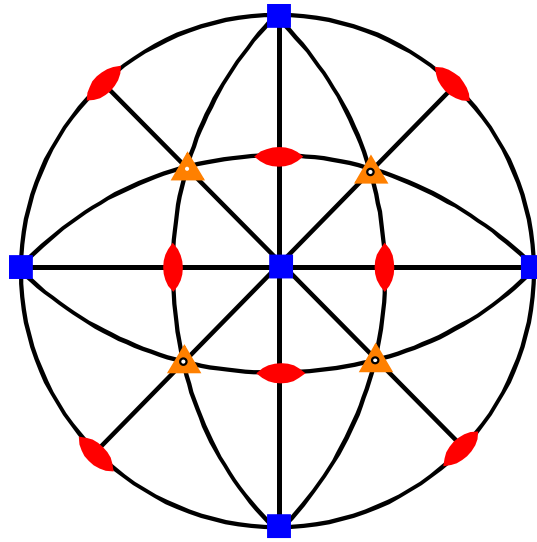
= groep van kristalvlakken die door symmetrie aan elkaar gerelateerd zijn

\* Relatie tussen vorm en symmetrie-element belangrijk



Toepassen van symmetrie-operaties op principiële vlakken laat reconstructie resterende vlakken toe, ontstaan kristalvorm

\* De symmetrie-elementen in een kristal verdelen de poolbol in een aantal boldriehoeken (of bolsectoren): op de stereoplot geprojecteerd worden als driehoekige figuren en die congruent zijn of elkaars spiegelbeeld.



\* Een kristalvlak kan t.o.v. dergelijke pooldriehoek



7 *principeel* verschillende standen innemen:

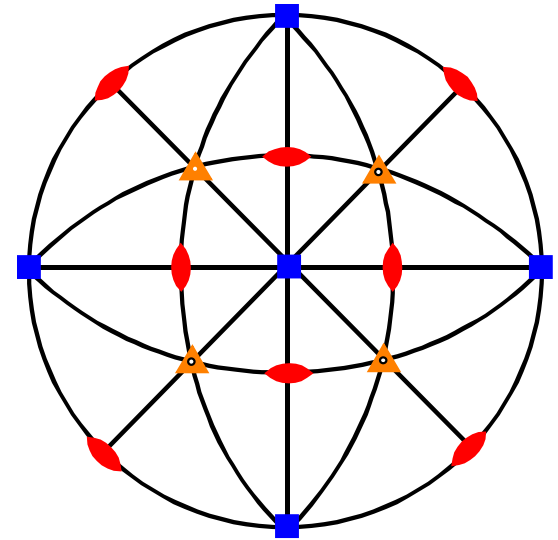
- vlakkenpool op een van de drie hoekpunten
- vlakkenpool op een van de drie zijden
- vlakkenpool of ergens in de driehoek.



7 principiële standen:



in elke kristalklasse maximaal 7 kristalvormen



\* Een kristalvorm kan open of gesloten zijn



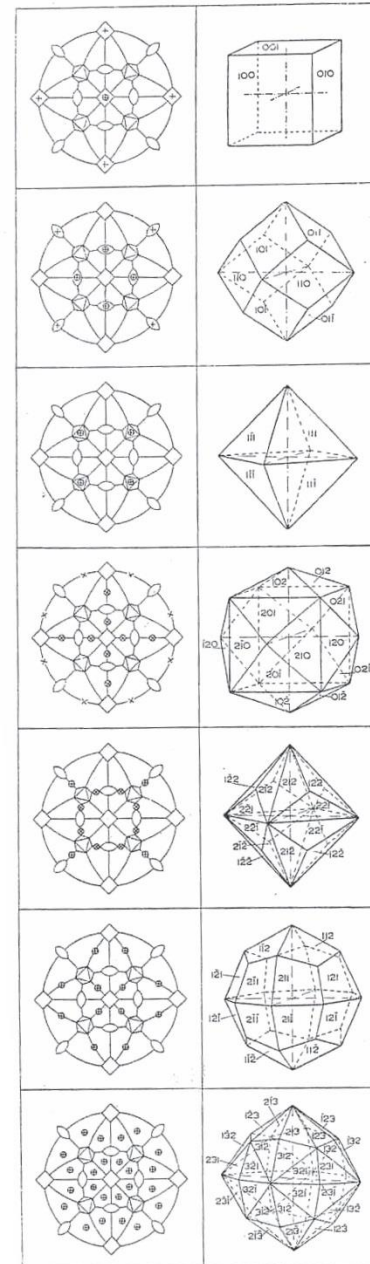
gesloten = symmetrieoperaties leveren een volledig gesloten polyeder

\* voorbeeld: regulair stelsel : gesloten kristalvormen

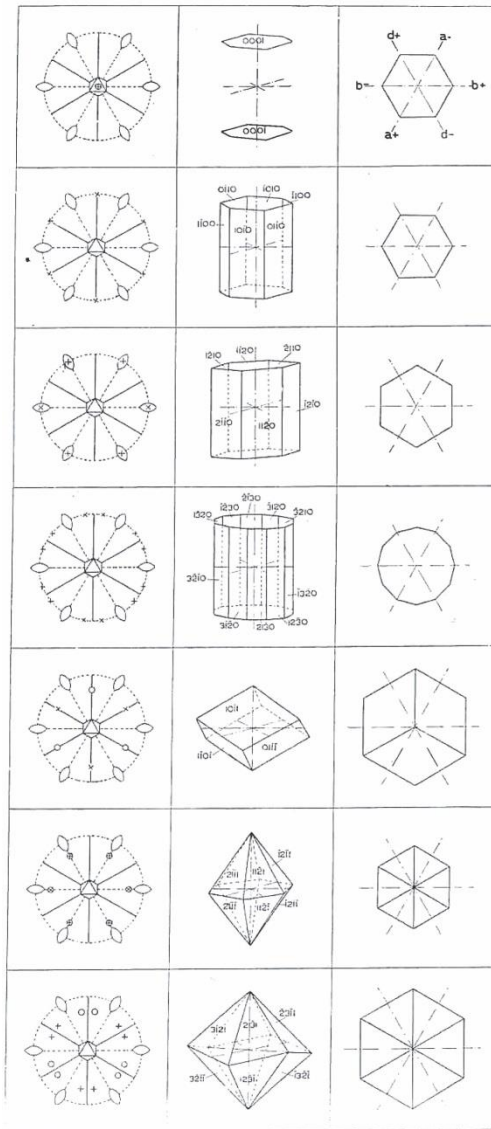


vormen van deze *holoëdrische klasse* zijn:

- de hexaëder {100},
- de octaëder {111},
- de rombendodecaëer {110},
- de tetrakisheptaëder {hk0},
- De triakisoctaëder {hhl},
- Deltoid-ikositetraëder (trapezoëder) {hkk},
- de hexakisoctaëder {hkl}.



	Regulair (kl. 1)	$4/m \bar{3} 2/m$
Vorm.		
No. 1	{100}	
96	Hexaëder	
No. 2	{110}	
97	Rhombendodekaëder	
No. 3	{111}	
98	Octaëder	
No. 4	{210}	
99	Tetrakisheptaëder	
No. 5	{221}	
100	Triakisoctaëder	
No. 6	{211}	
101	Deltoid-ikositetraëder	
No. 7	{321}	
102	Hexakisoctaëder	



TRIGONAAL  
 $\bar{3} 2/m$   
 Vorm  
 No. 1  $\{0001\}$   
 Basisvlakken  
 327

No. 2  $\{10\bar{1}0\}$   
 Hexagonaal prisma  
 v. d. 1e soort  
 328.

No. 3  $\{11\bar{2}0\}$   
 Hexagonaal prisma  
 v. d. 2e soort  
 329

No. 4  $\{21\bar{3}0\}$   
 Dihexagonaal  
 prisma  
 330

No. 5  $\{10\bar{1}1\}$   
 Rhomboëder v. d.  
 1e soort  
 331

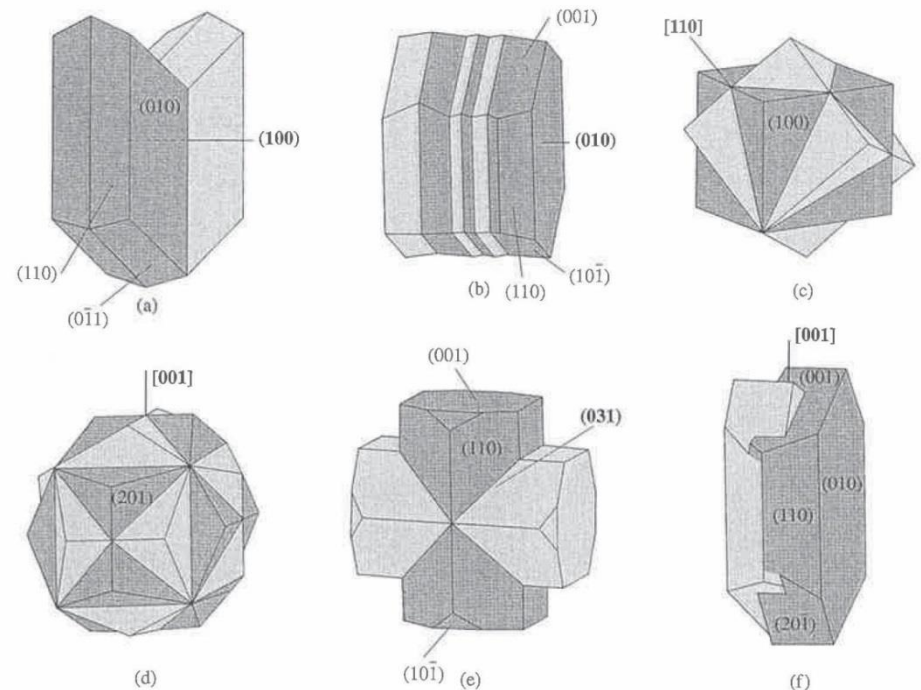
No. 6  $\{11\bar{2}1\}$   
 Hexagonale dipyramide  
 v. d. 2e  
 332 soort

No. 7  $\{21\bar{3}1\}$   
 Hexagonaal  
 skalenoeëder  
 333

voorbeeld: trigonaal stelsel :  
 Open +  
 gesloten kristalvormen

## 5. Kristaltweelingen en -veelingen

- \* Kristaltweelingen zijn regelmatige vergroeiingen van twee kristalindividuen, die ten opzichte van elkaar in een bepaalde symmetrieverhouding staan.
- \* Bij sommige kristallen treden ook drielingen en zelfs veelingen op.
- \* De beide individuen zijn ofwel elkaars spiegelbeeld t.o.v. een tweelingsvlak ofwel zijn zij t.o.v. elkaar gedraaid over  $180^\circ$  om een tweelingsas.





\* Bij tweelingen: additionele symmetriebestanddelen op die in het enkelvoudig kristal ontbreken



- inversiecentrum
- Symmetrievlak
- Symmetrie-as
- Verhoging symmetrie van een bestaande as



Kristaltweelingen zijn geen gewone vergroeiingen van twee of meer afzonderlijke individuen.



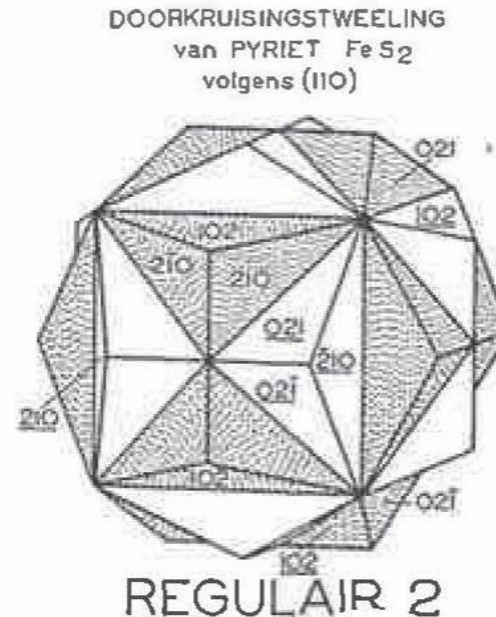
Tweelingen zijn gegroeid uit een zelfde kristalkiem: inwendig kristalrooster continu is.

\* Sommige tweelingen hebben specifieke namen,

- zoals bijvoorbeeld ijzeren kruis (pyriet [001]), speerpunt (gips), zwaluwstaart (gips), Karlsbad (veldspaat), Baveno (veldspaat) enz.

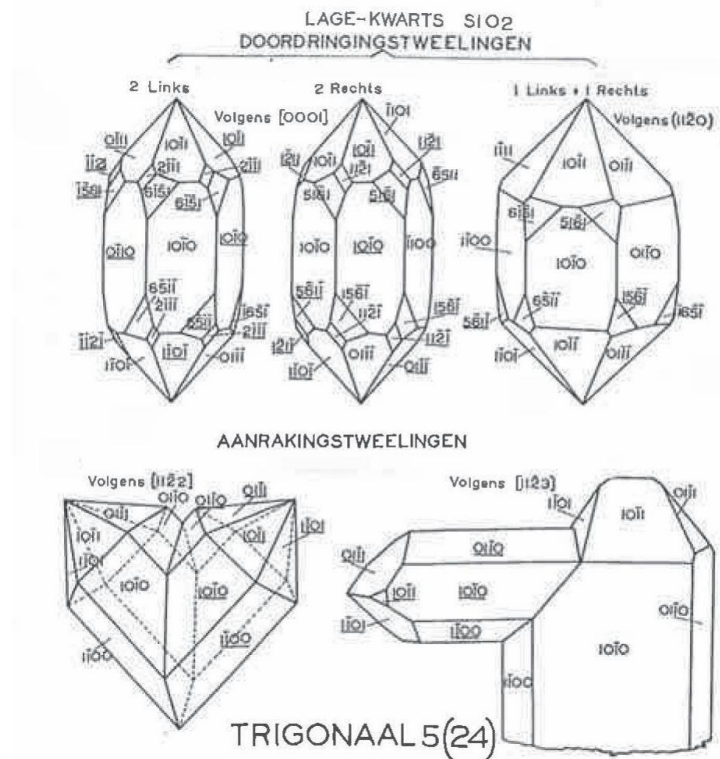
\* Men onderscheidt drie soorten tweelingen:

- contacttweelingen: de individuen raken elkaar aan volgens een plat vlak;  
bvb aragoniet (110), gips (100) en (101) (zwaluwstaart) en albiet (010).
- doorkruisingstweelingen: de individuen zijn schijnbaar door elkaar heen gegroeid en de vorm die hieruit ontstaat vertoont inspringende hoeken  
bvb. pyriet zowel [001] als (110) en galeniet (111).



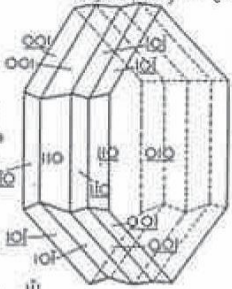
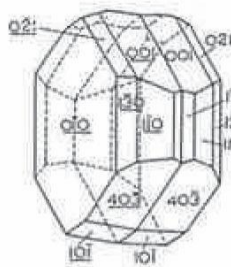
- Doordringingstweelingen: de individuen zijn zodanig door elkaar heen gegroeid dat er geen inspringende hoeken voorkomen zodat men de indruk heeft met slechts een enkel individu te maken te hebben.

bvb. Bij kwarts kunnen linker of twee rechter individuen kunnen vergroeid zijn (Dauphine tweeling) ofwel een linker-en een rechterindividu (Braziliaanse tweeling).

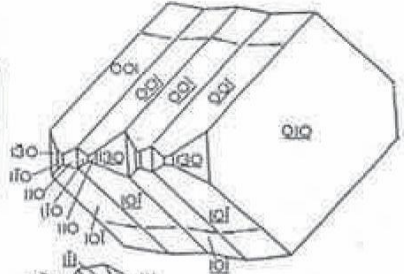


ALBIET  $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$   
 POLYSYNTHETISCHE TWEELINGEN  
 ALBIET WET + KARLSBADER WET  
 volgens (010) en (001)

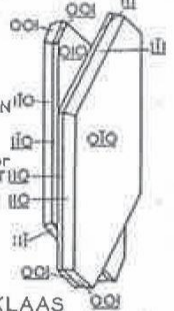
ALBIET WET  
 volgens (010)



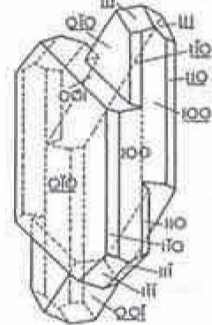
TWEEMAAL ALBIET WET  
 volgens (010)



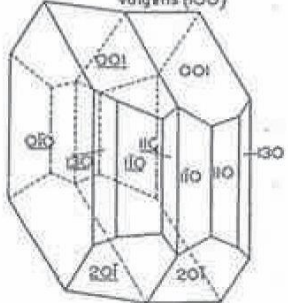
ALBIET  
 VIERLING  
 TWEË TWEELINGEN  
 volgens (010)  
 ALBIET WET  
 gecombineerd door  
 KARLSBADER WET  
 volgens (001)



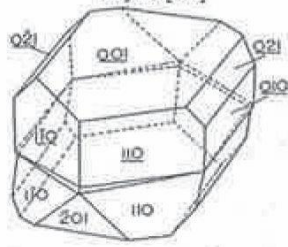
ANORTIET  
 KARLSBADER WET  
 volgens (100)



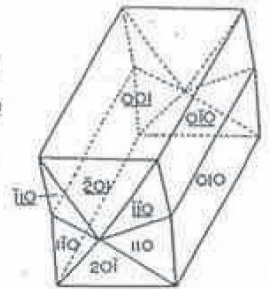
OLIGOKLAAS  
 KARLSBADER WET  
 volgens (100)



LABRADORIET  
 PERIKLIEN WET  
 volgens (010)



LABRADORIET  
 MANEBACHER WET  
 volgens (001)



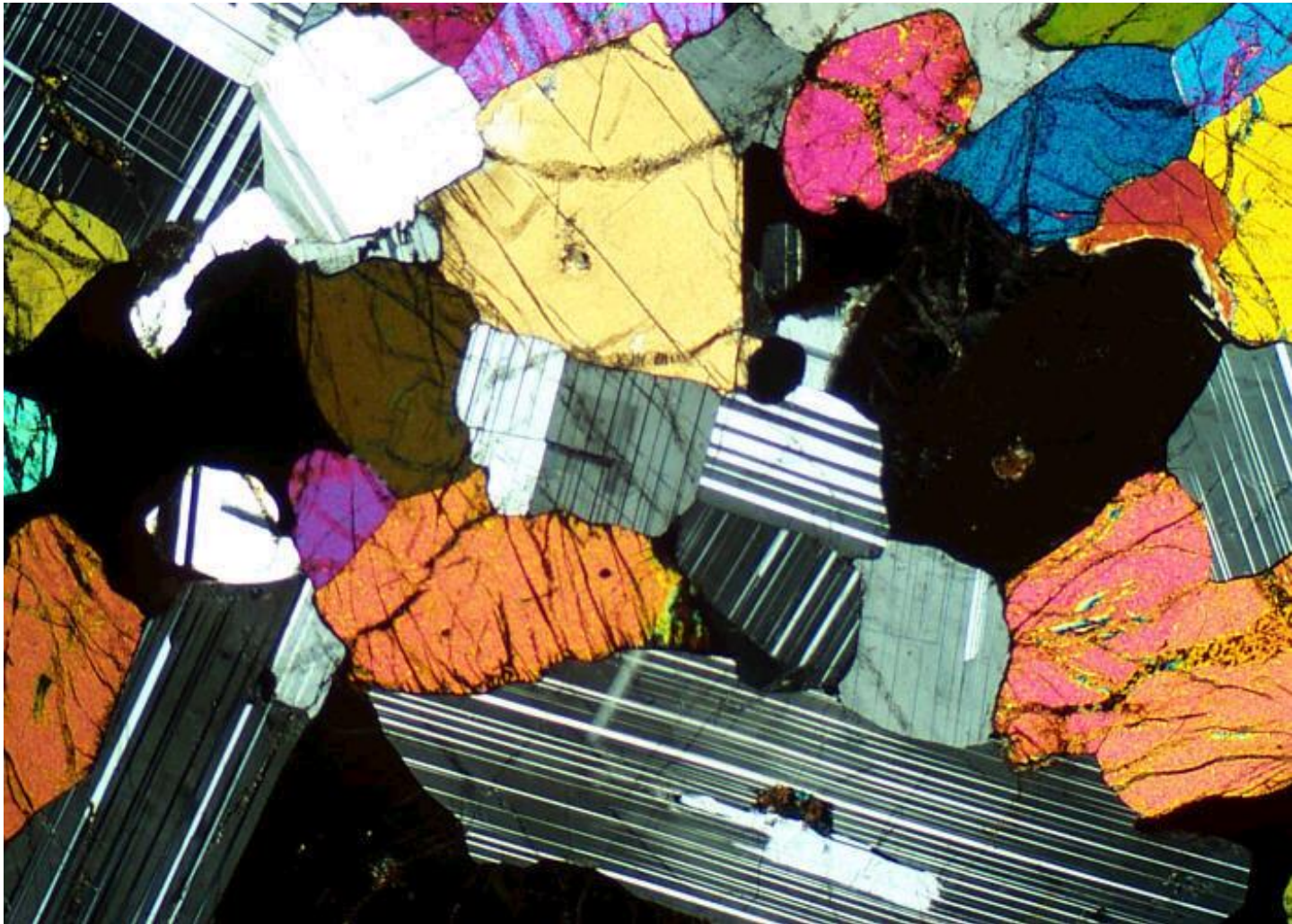
TRIKLIEN 1(31)

\* Polysynthetische tweelingen treden op als drie of meer kristalindividuen elkaar systematisch opvolgen door de aanwezigheid van een reeks evenwijdige **tweelingsvlakken** met dezelfde indices.

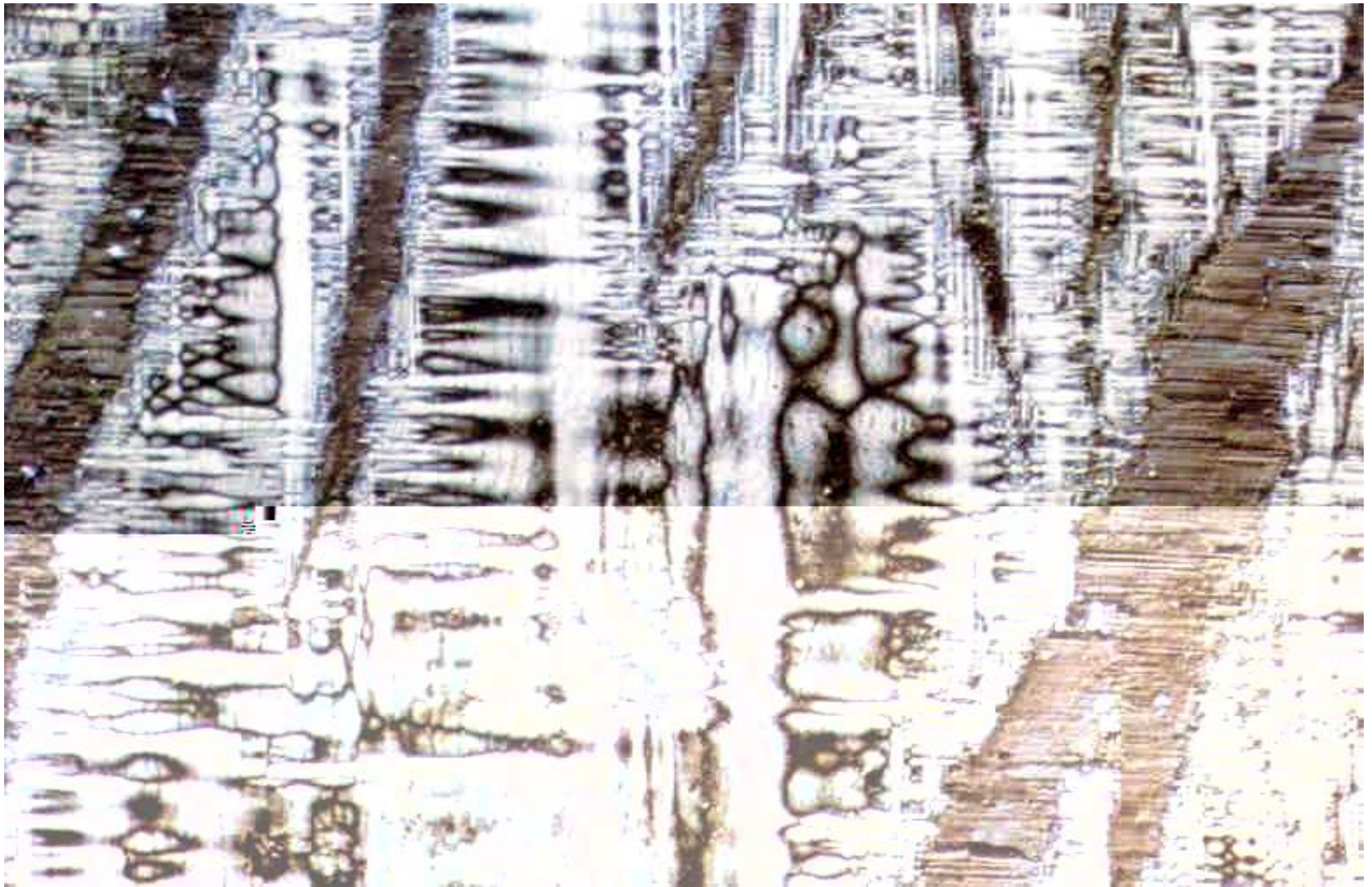
vb. calciet of gips.

\* Polycyclische tweelingen zijn vergroeiingen waarbij **verschillende** vlakken van een zelfde kristalvorm als tweelingsvlak optreden.

vb. aragonietkristallen

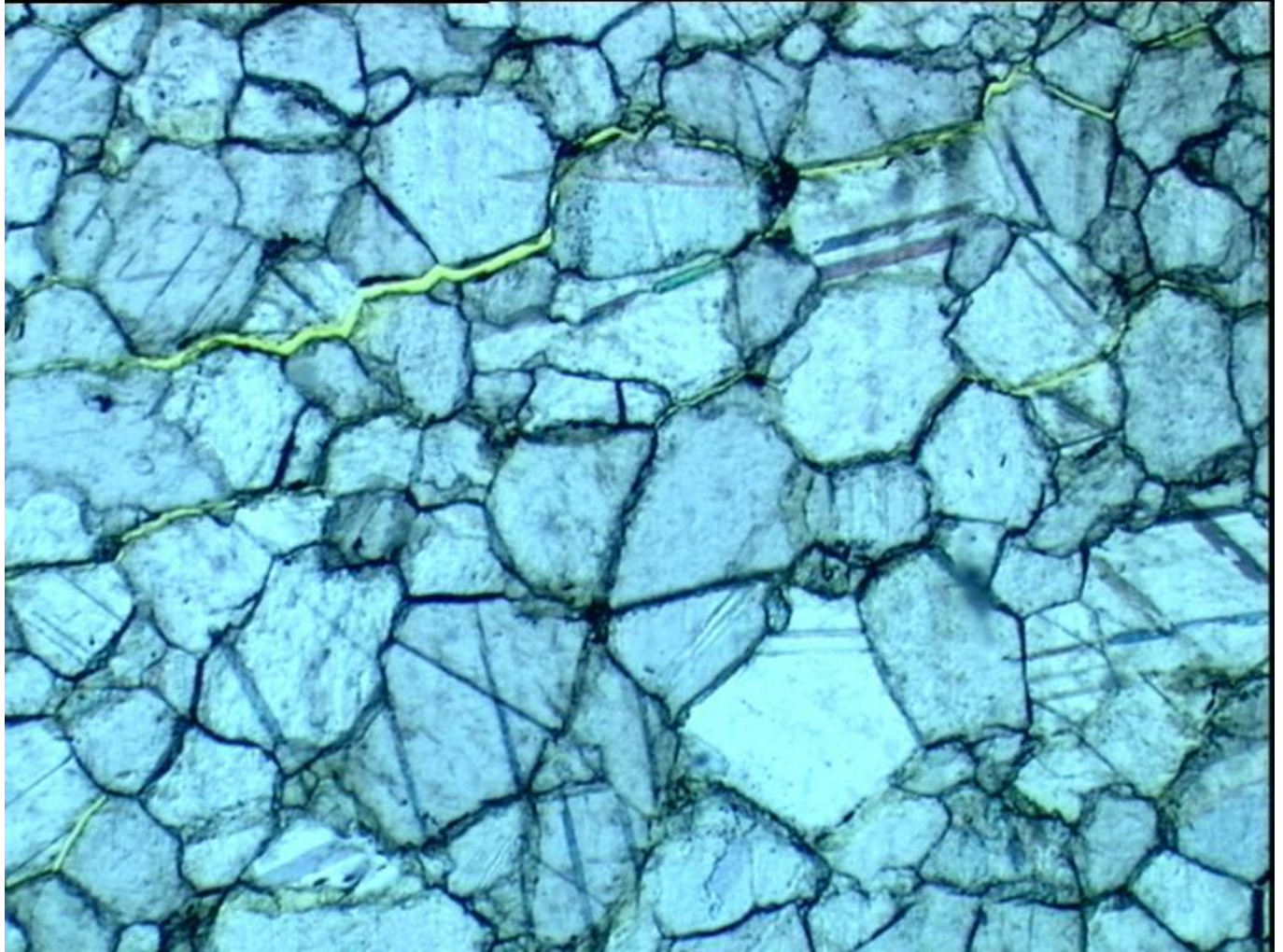


Vb. Albiet tweeling (010) symmetrievlak



Vb. Microklien - polysynthetische tweelingen (tartan)

\* Deformatie-tweelingen: secundair gevormd



calciet in Carara marmer