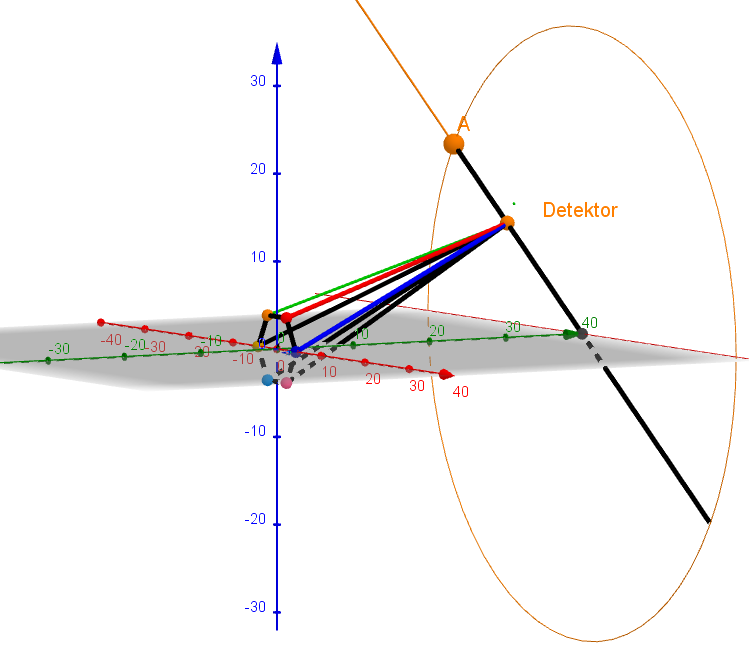
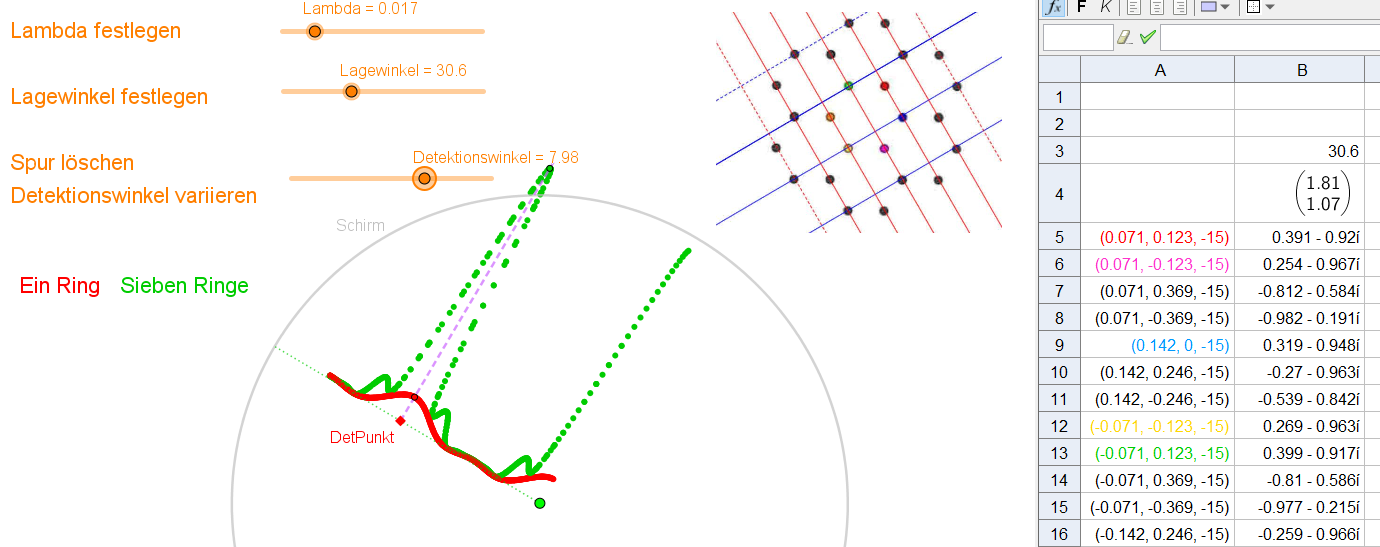
**Anleitung zu den GeoGebra-Dateien zur Beugung am Kohlenstoff-Ring**

Mit den hier beschriebenen geometrischen Modellen kann die Interferenz auf der Grundlage der Zeigerdarstellung modelliert werden. Allen vorgestellten Modellen liegt diese Vorstellung zugrunde:



Gebeugt wird an den Atomen in einem oder mehreren in einer Ebene miteinander verbundenen Kohlenstoff­ringen (Platelet). Wie im Realexperiment blickt man dem Elektronenstrahl entgegen. Die Mitte des modellier­ten Schirms liegt im Koordinatenursprung, das Target um einige cm vor dem Schirm aus Sicht der Quelle. Die Erscheinung auf dem Bildschirm muss punktweise abgetastet werden. Analog zu einem Radarschirm wird dafür zunächst ein Durchmesser eingestellt, dann werden verschiedene Positionen des Detektors längs dieses Durch­mes­sers abgetastet.

Die Datei <El_Beugg_1_7Rg_orthogonal_neu.ggb> zeigt die folgende Ansicht:



* Am Schieberegler eingestellt ist die Wellenlänge – im Beispiel 17 pm, entsprechend einer Spannung von 5,0 kV.
* Die Lage des gewünschten Durchmessers kann am Schieberegler Lagewinkel mit der Maus gewählt werden. Das gilt auch für die Lage des Detektionspunktes: Schieberegler Detektionswinkel.
* In roter Farbe wird die die Intensität über dem Ort des Detektors für einen einzelnen Kohlenstoffring angezeigt, in grüner Farbe für ein Gebilde aus sieben solchen Ringen.
* Voreingestellt ist der Spur-Modus für die Intensität. Einmal gezeichnete Kurven werden gelöscht durch kurzes Rucken mit linker Maustaste an beliebiger Stelle des Bildschirms.

**Erkundungen**

**Orientierung im Modell, Modellieren des Beugungsbildes eines Platelets aus sieben Kohlenstoff-Ringen**

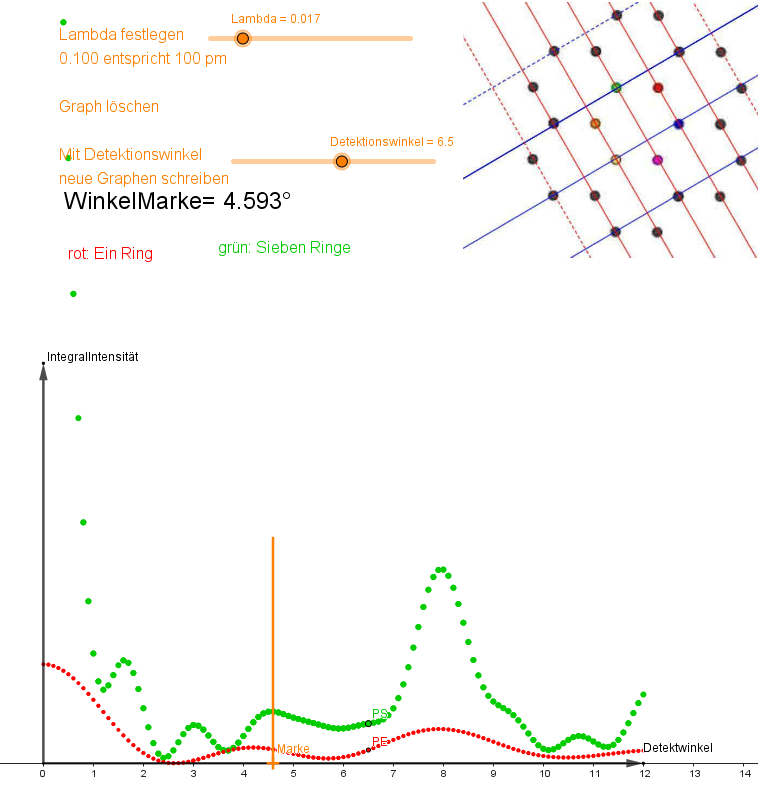
Im ersten Schritt Einstellen der Lagewinkel 30°, 60° und 90°.

**Modellieren des Effekts regellos angeordneter Kohlenstoffringe**

Man weiß, dass eine regellose Anordnung beugender Platelets die eben erzeugten Maxima auf Kreisen um das Hauptmaximum wandern lässt. Regellosigkeit lässt sich dadurch modellieren, dass man statt einer Drehung des Gitters den Durchmesser, der den Detektor trägt, im Bereich zwischen Lagewinkel = 0° und Lagewinkel = 55° wandern lässt. Da jedes Platelet in allen Richtungen zur Intensität beiträgt, entsteht die beobachtete Intensität auf einem Kreisring zu einem festgelegten Detektionswinkel als Summe aller Intensitäten, die man unter diesem Winkel auf den verschiedenen Durchmessern im Modell abliest: es ist also eine Integration über alle Lagewinkel notwendig. Das ist in der folgenden Datei austomatisiert.

<El_Beugg_7Rg_Integral.ggb>

Zufriedenstellende Ergebnisse erhält man mit kleinschrittigem, systematischem Vorgehen: Händisches Einstellen eines Detektionswinkels. In einer Tabelle automatisiertes, schrittweises Annehmen größerer Lagewinkel, Berechnen der Zeigersumme für alle 24 Pfade Quelle – Atom – festgelegter Detektionspunkt und von deren Betrags-Quadrat (Intensität). Automatisierte Summation der zugehörigen Intensitäten für alle Lagewinkel zum gleichen Detektionswinkel und Anzeige des Ergebnisses als Graph über dem Detektionswinkel.

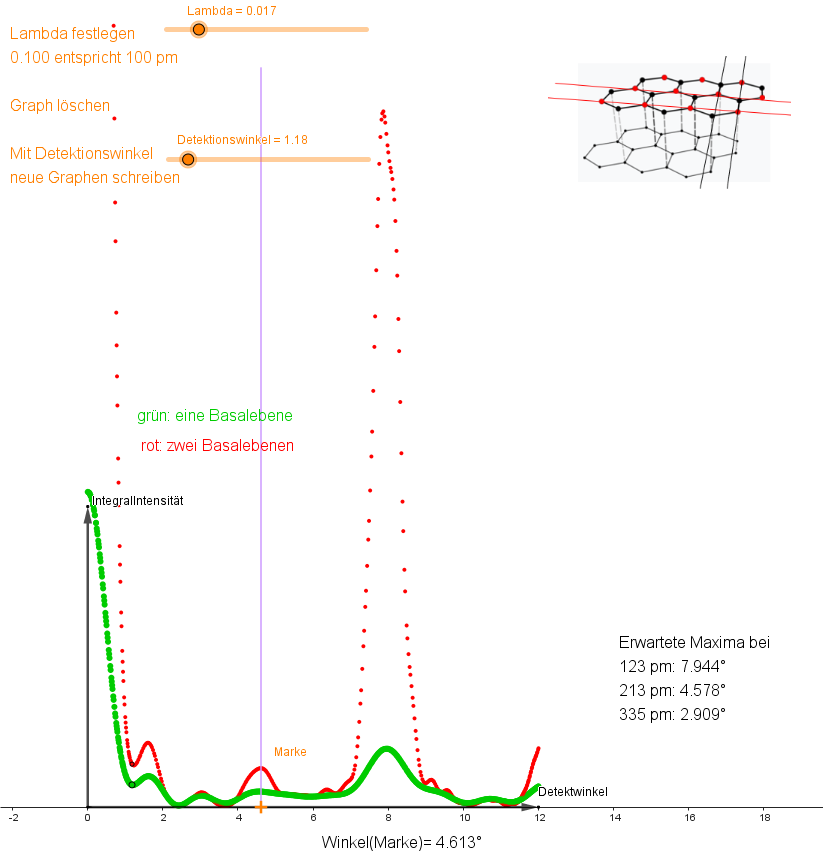


Der rot gezeichnete Graph stellt die modellierte Intensität für den zentralen, einzelnen Ring, der grün dargestellte für alle sieben abgebildeten Ringe dar. Im Bereich kleiner Winkel sind im grü­nen Graphen Zwischenmaxima zu erkennen, die als Folge der geringen Zahl von „Netzgeraden“ genauso auftreten, wie bei Mehrfachspalten.

**Untersuchen auf Vorliegen einer dreidimensionalen Struktur der Basisschichten**

<El_Beugg_002_Integral.ggb>

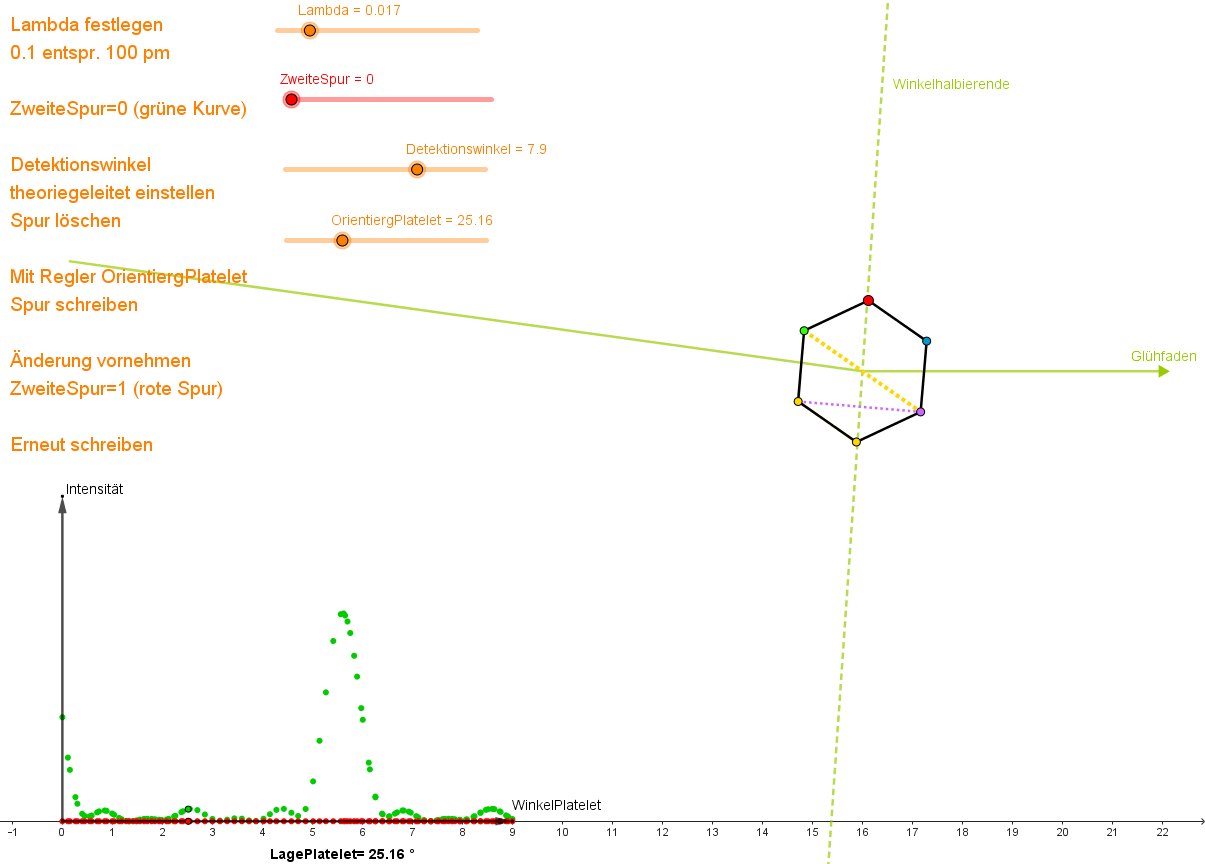
Der Bildschirm der Geometriedatei zeigt das folgende Bild. In roter Farbe wird der Intensitätsverlauf für zwei Basalebenen angezeigt, in grüner für eine, wenn man den Schieberegler Detektionswinkel benutzt.



Man erkennt, dass das Maximum bei 8° für zwei Basalebenen extrem hoch wird. Dies ist ein Kennzeichen für das Vorliegen einer zweiten Basalebene. In <Online-Ergänzung_2023.docx> und zusammen mit den beiden Excel-Dateien [EBeugg\_ortho\_002\_eineEbene\_Integral.xlsx](file:///C:\Users\Michael%20Rode\Desktop\Kohletarget_2023_03\EBeugg_ortho_002_eineEbene_Integral.xlsx) [EBeugg\_ortho\_002\_zweiEbenen\_Integral.xlsx](file:///C:\Users\Michael%20Rode\Desktop\Kohletarget_2023_03\EBeugg_ortho_002_zweiEbenen_Integral.xlsx) kann man den Intensitätsverlauf an das Experiment anpassen, daraus auf die Größe der beugenden Atome schließen und die Annahme von Platelets aus mehreren Basalebenen als unwahrscheinlich ausschließen.

Zur Untersuchung streifender Anordnung (Bragg-ähnlich) verwendet man die Datei

<El_Beugg_7Rg_streifend_Glanzwinkel.ggb> und ggf. auch deren Vorläufer <EBeugg_streifend_002.ggb>



Da bei streifender Bestrahlung im Wesentlichen nur in der Ebene des Platelets gebeugt wird, kommt es auf die Einstellung des Glanzwinkels an. Das erkennt man im Bild. Für einen voreingestellten Detektionswinkel (hier: 7,9° wegen 17 pm/213 pm) schreibt das Modell nach Betätigen des Schiebereglers OrientierungPlatelet den Intensitätsverlauf. Gleichzeitig wird die Orientierung mittels Sechseck-Ring angezeigt. Man kann erkennen, dass das Maximum genau dann auftritt, wenn die Bragg-Bedingung (Reflexionsgesetz) erfüllt ist.

Man braucht für ein Bragg-analoges Verhalten nur wenige und durchaus nicht räumlich angeordnete Kohlenstoff-Ringe!

Beim Nachdenken über eine zweite Ebene kann die Frage auftauchen, was der Unterschied zwischen einer grafitischen bzw. einer regellosen Anordnung ist.

In grafitischer Anordnung, die dem eben angeführten Argument zugrunde liegt, erzeugen die beiden Gebilde ihre Interferenzmaxima in identischen Richtungen. Man kann also aus Sicht des Detektors nicht unterscheiden, woher die zugehörige Strahlung kommt. „Welcher-Weg-Information“ liegt nicht vor. In diesem Fall sind die zugehörigen Zeiger erst zu addieren, dann zu quadrieren. Das Ergebnis ist oben zu sehen.

Bei gegeneinander gedrehter Anordnung von Kohlenstoff-Ringen erhält man Maxima in unterscheidbaren Rich­tungen. Diese sind ja abhängig von der Orientierung der Kohlenstoffringe. Nun liegt Unterscheidbarkeit der Pfade vor. In der Folge muss man erst quadrieren und dann addieren. Unter dieser Voraussetzung tragen die einzelnen Kohlenstoffringe zum selben Detektionswinkel bei. Das ist der Grund, warum die Intensität regellos liegender Platelets addiert werden kann und nicht zuerst die zugehörigen Zeiger. Eine Ausnahme bilden solche Platelets, die zufällig grafitisch angeordnet liegen. Diese Ausnahme ist offenbar sehr selten, wie das beobach­tete Interferenzmuster im Vergleich mit den modellierten zeigt.

**Röntgenbeugung**

Hierzu sind eigene Geometrie-Modelle vorhanden, da wegen der deutlich größeren Detektionswinkel so starke Veränderungen an der Darstellung nötig sind, dass diese nicht sinnvoll in einer Datei mit der Elektronen­beugung dargestellt werden können.

<Rö_Beugg_1_7Rg_orthogonal_neu.ggb> <Rö_Beugg_7Rg_Integral.ggb> <Rö_Beugg_002_Integral.ggb>

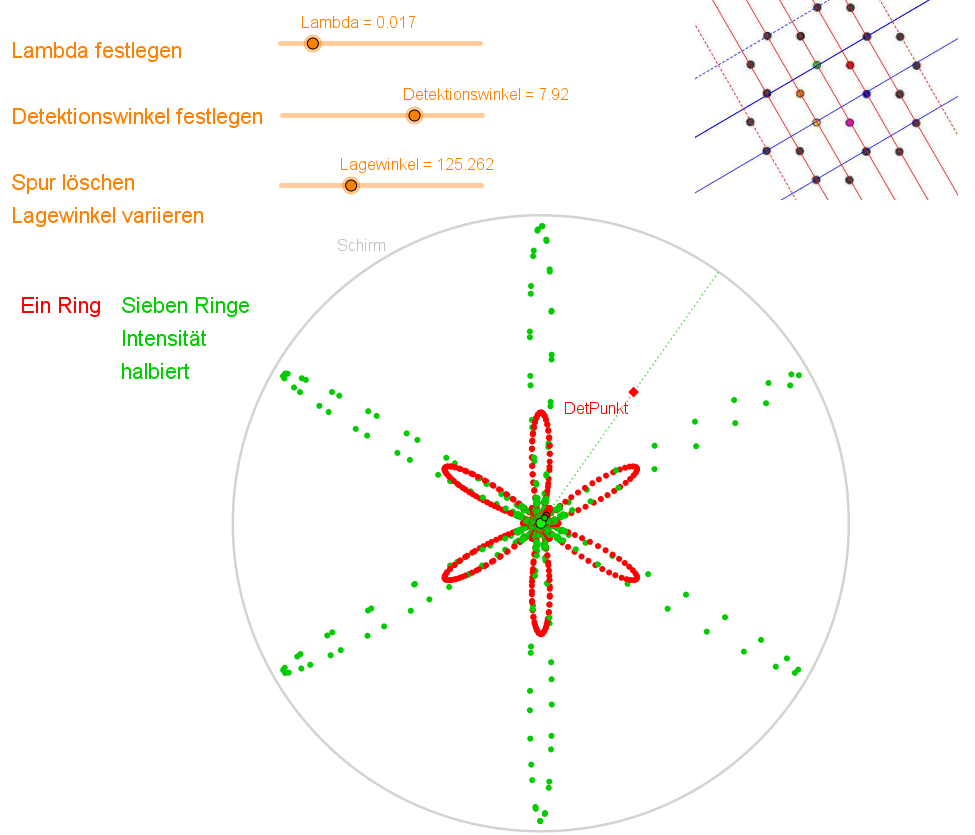
**Begründung für unterschiedliche Höhe der Maxima aus Bragg-Reflex und orthogonaler Durchstrahlung**

Im Röntgen-Experiment kann man beide Beiträge unterscheiden, weil der zugehörige Detektionswinkel ausreichend groß ist.

Die Ursache kann man in der Polardarstellung erkunden mit

<El_Beugg_1_7Rg_orthogonal_Polar_neu.ggb> <El_Beugg_7Rg_streifend_7Rg_Polar.ggb>

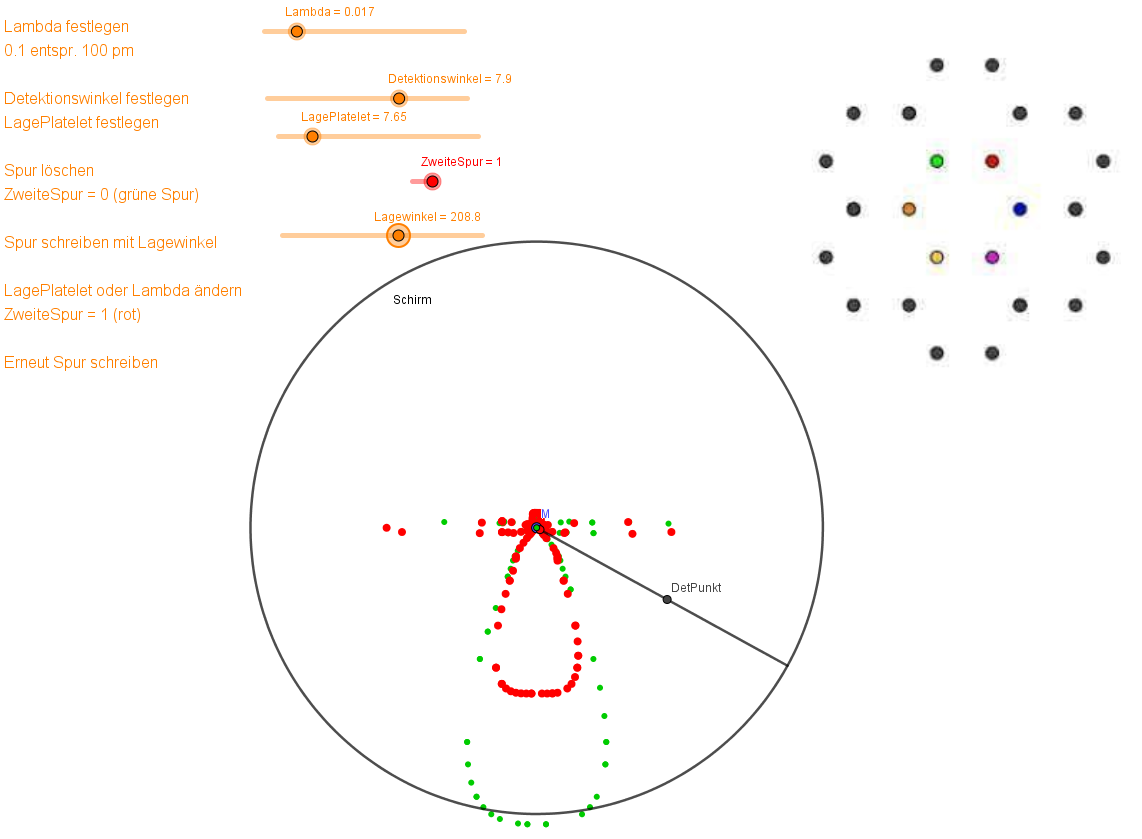
Für orthogonale Durchstrahlung sieht man:



Man legt einen Detektionswinkel fest (im Beispiel 7,9° zu 17 pm Wellenlänge und dem Netzgeraden-Abstand 123 pm).

Die Polardarstellung zeigt, dass ein durchstrahltes Objekt in sechs Richtungen zur Intensität beiträgt.

Im Fall streifender Bestrahlung sieht man für den gleichen Detektionswinkel:



Man erkennt, dass neben stets auftretender Beugung in die 0°-Richtung („Beugung am Draht“) vor Allem in die 90°-Richtung gebeugt wird. Die zugehörige Intensität ist dabei stark von der passenden Orientierung des beugenden Platelets abhängig, wie der Vergleich von grüner bzw. roter Kurve (leicht veränderte Orientierung) zeigt.

Selbst, wenn es gleich viele und gleich große Platelets in je streifender bzw. orthogonaler Bestrahlung gäbe, würde der Effekt der streifend (Bragg-ähnlich) bestrahlten Platelets geringer sein, da diese im Wesentlichen nur in einer Richtung (Glanzwinkel) zur Intensität beitragen, während die orthogonal durchstrahlten Platelets unabhängig von ihrer Orientierung immer in sechs Richtungen zum zugehörigen Interferenzring beitragen.