

• Polarisationsmikroskopie

Ein Polarisations-Durchlicht-Mikroskop unterscheidet sich zu einem herkömmlichen Durchlicht-Mikroskop lediglich durch eine spezielle Filteranordnung von Polarisator und Analysator. Zudem kommen spezielle Kompensationsfilter und ein Drehtisch, der den typischen Kreuztisch ersetzt.

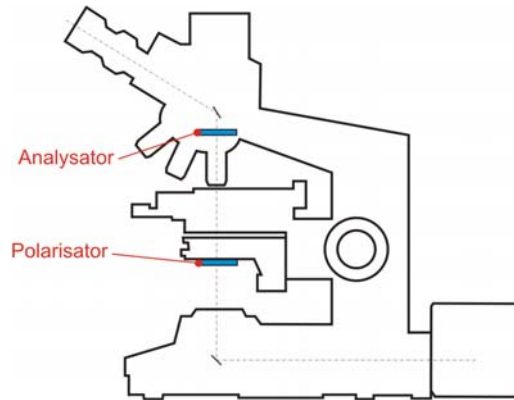


Abb. 1.
Anordnung von Polarisator und Analysator bei einem Polarisationsmikroskop.

Natürliches Licht, das beispielsweise von einer Glühlampe ausgesendet wird, ist weitgehend unpolarisiert, d.h. die elektromagnetischen Wellen breiten sich ungerichtet aus (→ Abb. 2.).

Linear polarisiertes Licht dagegen verfügt über eine definierte Schwingungsebene, die durch Ausbreitungs- und Schwingungsrichtung gekennzeichnet ist (→ Abb. 3.).

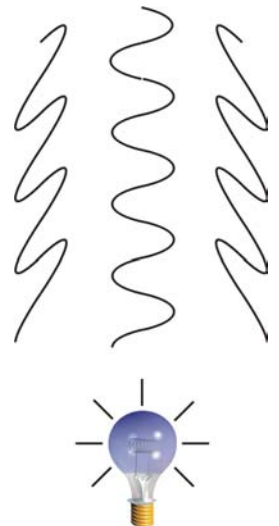
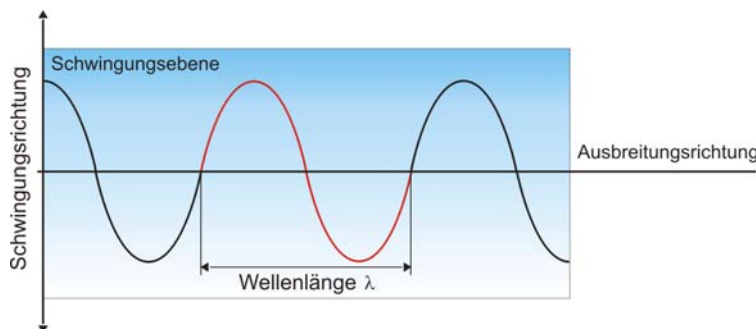


Abb. 2.
Vereinfachte Darstellung von unpolarisiertem Licht einer Glühlampe.

Abb. 3.
Linear polarisiertes Licht mit definierter Schwingungsebene.

(nach: S. WÜLFERT)

Durch einen sogenannten **Polarisator** kann Licht einer bestimmten Schwingungsebene transmittiert (lineare Polarisation) werden. In Polarisationsmikroskopen wird der Polarisator so eingerichtet, dass er den in Ost-West-Richtung polarisierten Anteil des Lichtes transmittiert.

Entsprechend wird dies auf den Polarisationsfiltern durch z.B. Pfeile markiert. Die folgende Abbildung zeigt einen älteren Polarisationsfilter, mit einem sogenannten NICOLschen Prisma (Calcit-Einkristall). Moderne Filter sind aus Spezialkunststofffolien, die diese teuren Konstruktionen abgelöst haben.



Abb. 4.
Polarisationsfilter mit einem Kristallprisma. Die Pfeilmarkierung gibt die Transmissionsrichtung (Durchlassrichtung) des Filters an.

Ein **Polarisations-Dunkelfeld** entsteht dann, wenn das **linear polarisierte Licht** durch einen zweiten Polarisator, der dann entsprechend als **Analysator** bezeichnet wird, komplett gesperrt wird.

Die Transmissionsrichtungen (Durchlassrichtungen) von Polarisator und Analysator müssen wie 90° zueinander gewählt werden. Dementsprechend ist die Durchlassrichtung vom Analysator Nord-Süd, wenn die des Polarisator Ost-West ist. Es wird dann von **gekreuzten Polarisatoren** gesprochen. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies schematisch.

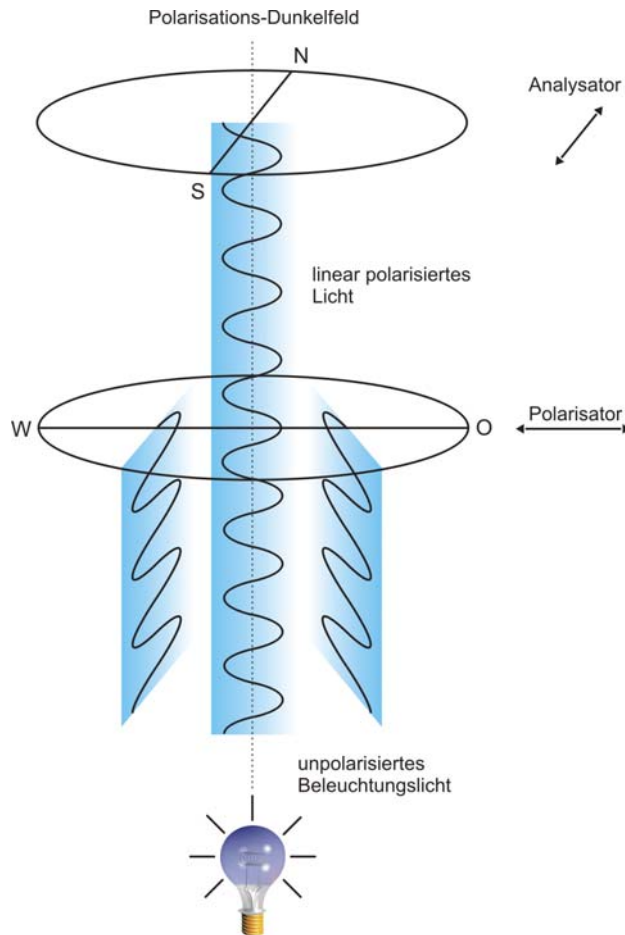


Abb. 5. Erzeugung eines Polarisations-Dunkelfeld durch Polarisator und Analysator.

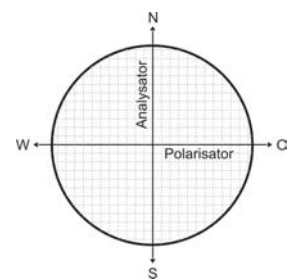


Abb. 6. Einschubrichtung von Polarisator und Analysator.

Im Polarisationsmikroskop ist der Polarisationsfilter meist unterhalb des Kondensators angebracht, der Analysator dagegen oberhalb des Objektivs. Um ein exaktes Polarisations-Dunkelfeld zu erzeugen muss mindestens ein Filter drehbar konstruiert sein.

Kristalline Objekte besitzen einen regelmäßigen inneren Aufbau. Bei Kristallen anorganischer Salze beispielsweise, nehmen die Ionen bestimmte Gitterplätze ein, wodurch ein periodisches, dreidimensionales Raumgitter entsteht. Dieses Raumgitter ist durch bestimmte Symmetrieelemente bestimmt, die sich zu drei kristallographische Achsen mit geometrischen Grundrichtungen zusammenfassen lassen.

Als **Elementarzelle** wird der minimale Aufbau eines Kristalls durch seine Gitterbausteine bezeichnet. Die Seitenlängen, sowie der Winkel der kristallographischen Achsen einer Elementarzelle bestimmt die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Kristallsystems. Dabei werden das kubische (optisch isotrop), das tetragonale, das hexagonale, das trigonale, das (ortho)-rhombische, das monokline und das triklone (alle optisch anisotrop) Kristallsystem unterschieden (↗ Tab. 1.).

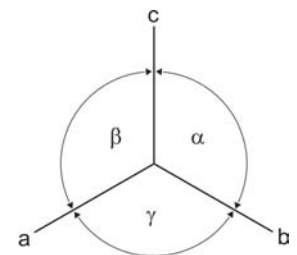
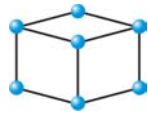
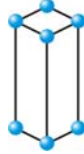
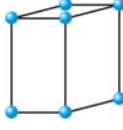
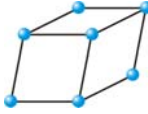
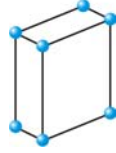
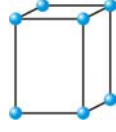
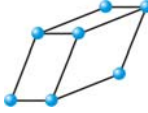


Abb. 7. Darstellung der kristallographischen Achsen mit den dazugehörigen geometrischen Grundrichtungen.

Kristallsystem	Elementarzelle	Längen	Winkel
kubisch		$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
tetragonal		$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
hexagonal		$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
trigonal		$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
(ortho)-rhombisch		$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
monoklin		$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$
triklin		$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

Tab. 1.
Die sieben verschiedenen Kristallsysteme und deren Elementarzellen.

(nach: S. WÜLFERT)

Kristalline Objekte, wie Pigmente haben die Eigenschaft, durchstrahlende Lichtwellen umzupolarisieren. Die Lichtwellen werden entlang ihrer Ausbreitungsrichtung, entsprechend der **Durchlassrichtungen** des Kristalls, in zwei senkrecht zueinander stehende Ebenen zerlegt. Dieses Phänomen wird als **optische Anisotropie** bezeichnet. Der sich daraus ergebende optische Effekt als **Doppelbrechung**.

Wird nun solch ein doppelbrechender Kristall zwischen gekreuzten Polarisatoren positioniert, dann wird die ursprünglich linear polarisierte Beleuchtungswelle beim Durchgang durch den Kristall unpolarisiert, d.h. sie tritt in Form von zwei getrennten, senkrecht zueinander polarisierten Wellenzügen aus dem Kristall aus.

- Entspricht nun eine der Durchlassrichtung des Kristalls der Polarisationsrichtung, also in unserem Fall der des Polarisators (Ost-West), dann kommt es zu keiner Komponentenzerlegung und der Kristall erscheint in **Auslöschung** (Normalstellung).
- Liegt aber der Kristall mit seinen beiden Durchlassrichtungen schief zur Polarisationsebene, dann kommt es zu einer Komponentenzerlegung und der Kristall erscheint in **Hellstellung**.

Im zweiten Fall wird also das linear polarisierte Licht so verdreht, dass Komponenten den Analysator passieren können; das Polarisations-Dunkelfeld wird im Bereich des Kristalls aufgehoben.

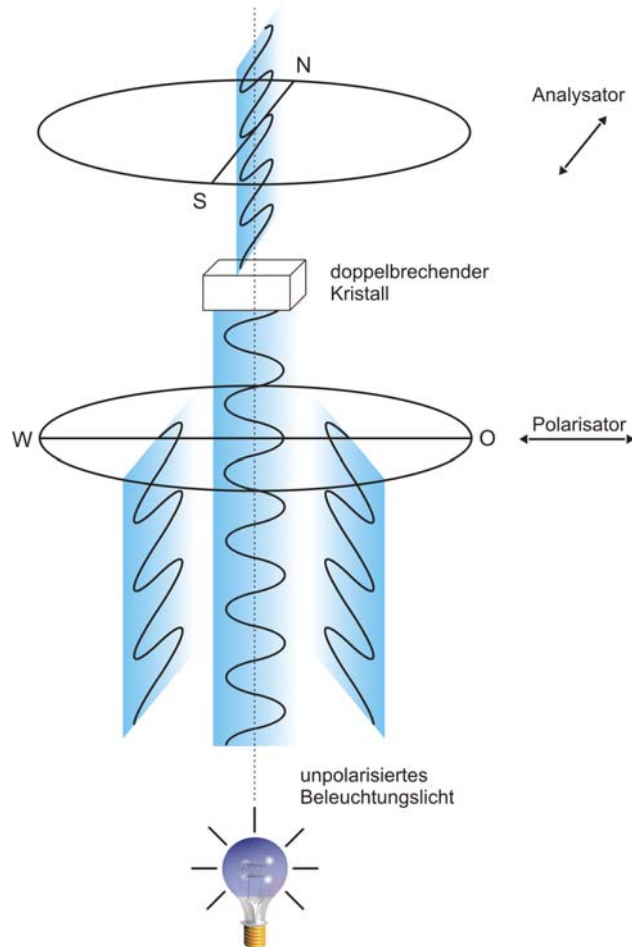


Abb. 8. Wirkung eines doppelbrechenden Kristalls zwischen gekreuzten Polarisatoren.

Diese Positionen, Auslöschung und Hellstellung, wiederholen sich alle 90° , d.h. der Kristall ist bei Drehung um 360° viermal in Auslöschung und viermal in Hellstellung zu beobachten (↗ Abb. 9.).

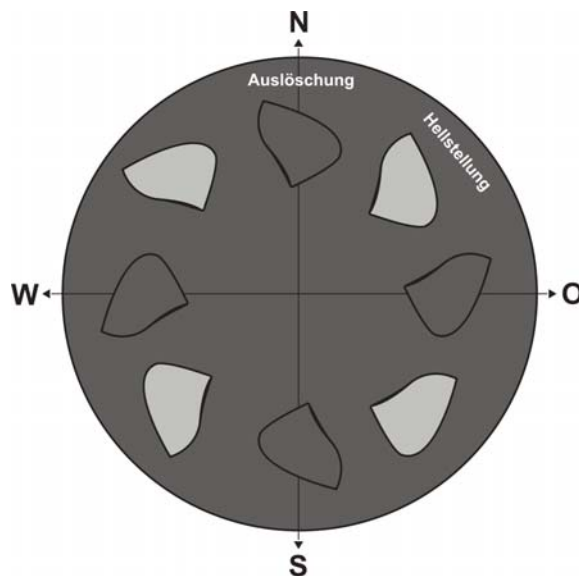


Abb. 9. Auslöschung und Hellstellung eines Kristalls bei Drehung um 360° .

In Dunkelstellung liegen die beiden Durchlassrichtungen des Kristalls deckungsgleich mit dem Kreuz aus Polarisator und Analysator. Aus diesem Grund wird diese Position auch als **Normalstellung** bezeichnet. Aus der Auslöschungsstellung (Normalstellung) kann man also auf die Lage der Schwingungsrichtungen in einem Kristall schließen. Bringt man diese opti-

sche Richtung in Beziehung zu Begrenzungsflächen oder Spaltflächen, dann können wichtige analytische Hinweise gewonnen werden.

So wird von **symmetrischer** Auslöschung (↗ Abb. 10. Mitte) gesprochen, wenn das Kreuz aus Polarisator und Analysator die Winkel zwischen Kristall- oder Spaltflächen halbiert. **Parallele** (gerade) Auslöschung (↗ Abb. 10. links) liegt vor, wenn bei Auslöschungsstellung die Begrenzungs- oder Spaltflächen wechselweise parallel zu Polarisator oder Analysator liegen. Ist keine Symmetriebeziehung zu erkennen, dann wird von **schiefer** Auslöschung (↗ Abb. 10. rechts) gesprochen.

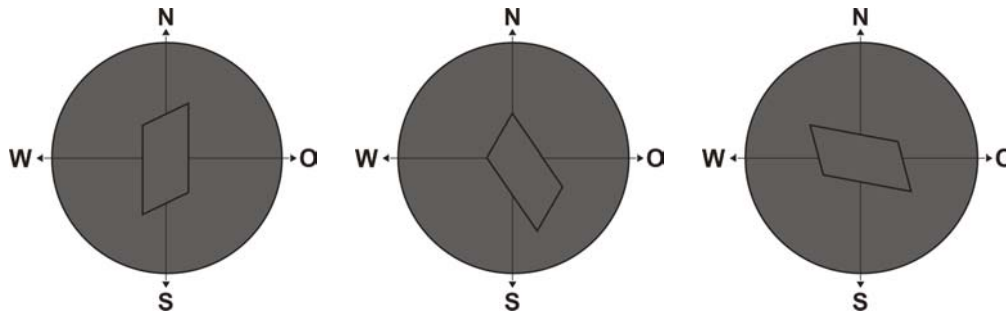


Abb. 10. Parallele Auslöschung (links), symmetrische Auslöschung (Mitte) und schiefe Auslöschung (rechts).

(nach: RINNE/BEREK)

Die beobachtbare Auslöschung kann zudem **vollständig** oder **unvollständig** sein. Unvollständige Auslöschung liegt vor, wenn der Kristall in seiner Normalstellung nicht vollständig dunkel erscheint. Löscht der Kristall unvollständig aus und zeigt einen unruhigen Wechsel zwischen Hell und Dunkel, so wird dies als **undulöse** Auslöschung bezeichnet.

In der Hellstellung eines Kristalls können ebenfalls wertvolle analytische Hinweise gewonnen werden. So zeigen einige Objekte zwischen gekreuzten Polarisatoren leuchtende Farben, sogenannte **Interferenzfarben**, die in Farbtafeln zusammengefasst sind. Den Zusammenhang zwischen Dicke, maximaler Doppelbrechung und Gangunterschied eines Kristalls hat A. Michel-Lévy 1888 in einer sehr übersichtlichen Form (Farbenskala nach Michel-Lévy) zusammengestellt. Dabei sind die sich periodisch wiederholenden Farben in Ordnungen unterteilt. Ist die höchste Interferenzfarbe und die Dicke eines Teilchens ermittelt oder bekannt, dann lässt sich die wirksame Doppelbrechung direkt auf der Farbskala ablesen.

Das Auftreten von **anormalen Interferenzfarben** ist für manche Objekte sehr charakteristisch und kann ebenfalls zur Bestimmung herangezogen werden. Hierunter versteht man eine Erscheinung, die darauf beruht, dass sich der Wert der Doppelbrechung mit der Wellenlänge ändert.

Kristalle des kubischen Kristallsystems sind **optisch isotrop**. Hier werden die Lichtwellen nicht umpolarisiert, d.h. der Kristall erscheint auch bei Drehung um 360° immer dunkel und es kann weder eine Auslöschung noch Interferenz beobachtet werden.

Durch sogenannte Kantendepolarisierung oder Spannungsdoppelbrechung (↗ Smalte) kann die Beurteilung in der Praxis zuweilen erschwert werden. Ob es sich um ein doppelbrechendes Teilchen handelt, kann mit Hilfe eines Kompensators entschieden werden. Zu diesem Zweck wird ein Lambda-Plättchen (Kompensator 1λ , 550 nm) in der korrekten 45° -Ausrichtung zum Kreuz aus Polarisator und Analysator eingeschoben. Beim Drehen des Tisches zeigen nur anisotrope Kristalle einen Wechsel der Interferenzfarben der ersten und zweiten Ordnung.