



istockphoto.com / nullplus

Polarisierende Filter im Schneesport

Bernd Lingelbach & Gernot Jendrusch

Dieser Artikel hätte thematisch natürlich auch in unserem Spezial „Brillengläser und -fassungen“ Platz finden können. Wir haben uns aber entschieden, ihn im Optometrie-Teil zu belassen.

Polarisierende Filter vermindern unliebsame Reflexe. Deshalb sind sie beliebt, zum Beispiel bei Anglern und Autofahrern. Was steckt dahinter? Nicht nur das gestreute Himmelslicht ist eine natürliche Quelle für zumindest teilweise polarisiertes Licht, sondern auch das reflektierte Licht an nahezu allen Materialien ist mehr oder weniger polarisiert. Ganz besonders sind es die Reflexe an Wasser, Glas oder auch Eis. Polarisierende Filter nehmen einen Teil des reflektierten Lichtes weg. Dieser Effekt kann zu enormen Kontraststeigerungen führen. Seit einigen Jahren werden nun auch polarisierende Ski- und Snowboardbrillen angeboten. Eigentlich sind polarisierende Filter beim Schneesport nicht sinnvoll. Reflexionen von Spuren im Schnee oder von Eisflächen können vermindert werden. Damit werden vereiste Flächen eventuell unsichtbar! Beim Skifahren oder Snowboarden kann das sehr gefährlich sein. Aber mit einem Trick lässt sich dieser Nachteil in einen Vorteil ummünzen.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden kontrastverstärkende Filter für den Schneesport auf nahezu perfektem Niveau entwickelt. Kann es darüber hinaus noch etwas geben? Auf der Suche danach haben Hersteller das polarisierte Licht für alpine Skibrillen entdeckt. Seit circa zehn Jahren gibt es einen wachsenden Markt und ein inzwischen unübersichtliches Angebot an polarisierenden Skibrillen. Der Werbung nach verbessert sich das Sehen, Kontraste werden stärker betont und natürlich sollen potenzielle Gefahrenstellen wie Eisflächen oder festgefahrene Schneespuren besonders auffällig hervorgehoben werden. Stimmt das denn?

Um zu verstehen, warum das beim alpinen Skifahren eigentlich überhaupt nicht der Fall ist, müssen wir ein klein wenig von der Physik des polarisierten Lichts verstehen.

Polarisiertes Licht

Wenn Sie einen Stein ins Wasser fallen lassen, erzeugen Sie eine Welle. Das Wasser geht dabei nur rauf und runter, das heißt, die Welle, die Sie erzeugt haben, schwingt nur in einer Richtung, nämlich senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (Transversalwelle). Licht kann als elektromagnetische Transversalwelle beschrieben werden. Der elektrische Feldvektor schwingt ebenfalls senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, aber gewöhnlich in alle möglichen Richtungen. Nur wenn diese Schwingung – ähnlich wie bei der Wasserwelle – auf eine Ebene beschränkt ist, wird das Licht als polarisiert bezeichnet.

Das blaue Licht des Himmels ist je nach Sonnenstand teilweise polarisiert. Wenn die Sonne, der Punkt am Himmel, den Sie betrachten, und Sie selbst, der Beobachter, eine Art rechtwinkliges Dreieck bilden, dann ist der Effekt am stärksten (Abb. 1). In den meisten praktischen Fällen ist die Richtung der Polarisation vertikal, wie in Abbildung 1 gezeigt. Die Schlussfolgerung ist, dass die Beleuchtung des Schnees teilweise polarisiert ist.

Wir haben nicht nur die Schneespektren, sondern zusätzlich die Spektren mit einem Polarisationsfilter vor dem Messgerät (Spektralphotometer Minolta CS-S1w) gemessen. Die Spektren unterscheiden sich mit der Polarisationsrichtung des Filters. Es stellte sich heraus, dass die vertikale Komponente des vom Schnee reflektierten Lichts gegen die Sonne oft stärker ist als die horizontale Komponente. Daher ist Schnee häufig leicht vertikal polarisiert. Obwohl das gestreute Himmelslicht teilweise polarisiert ist, wird der Polarisationsgrad des vom Schnee reflektierten Lichtes vermindert. Eine ganz andere Situation entsteht, sobald die Schneekristalle zu einer homogenen Oberfläche verbunden sind, wie zum Beispiel bei festgefahrenen Spuren im Schnee oder bei Eisplatten/vereisten Pistenabschnitten. Der Schnee kann dann wie ein Spiegel wirken und das Licht polarisieren.

Im Allgemeinen sind Skipisten kontrastarm. Deshalb sucht das visuelle System ständig nach irgendwelchen Irregularitäten auf der Piste, die eine Orientierungshilfe darstellen könnten, wie zum Beispiel Fahrspuren oder Eisflächen. Also:

Reflektiertes Licht kann unter besonderen Bedingungen teilweise polarisiert sein. ▶

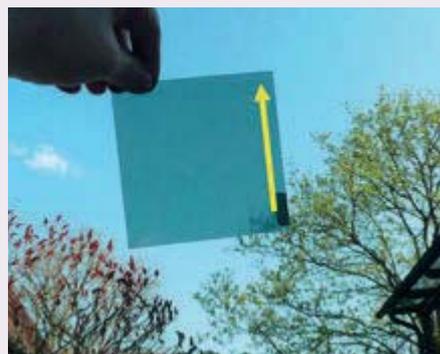


Abb. 1: Polarisationsfolie vor dem blauen Himmel. Die Polarisationsrichtung des Filters ist die Pfeilrichtung. Da mit diesem Filter die Polarisationsrichtung bestimmt werden kann, wird er mitunter auch „Analysator“ genannt. Analysator horizontal (links): dunkel; Analysator vertikal (rechts): hell. Der blaue Himmel ist also partiell vertikal polarisiert.

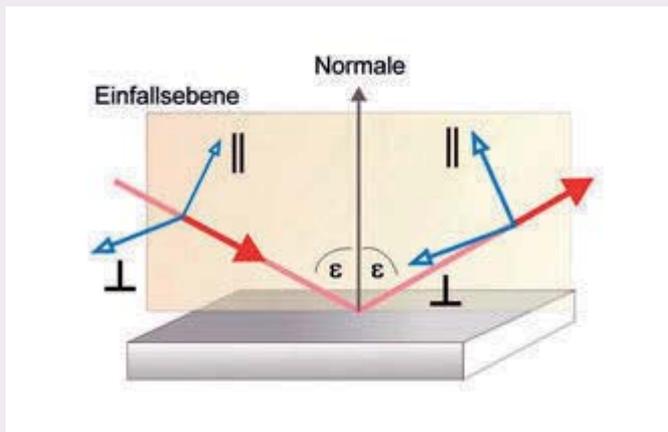


Abb. 2: Einfallsebene. Das einfallende Licht kann zerlegt werden in einen Anteil, der in der Einfallsebene schwingt (\parallel , parallel zur Einfallsebene) und in einen Anteil, der senkrecht dazu schwingt (\perp , senkrecht zur Einfallsebene). Fresnels Formeln beschreiben, wie die Komponenten der reflektierten Anteile in Abhängigkeit vom Einfallswinkel ϵ und dem Brechungsindex n des reflektierenden Materials abhängen. Seine Berechnungen führten zu unterschiedlichen Ergebnissen für die senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisierten Komponenten.

Es war Augustin Jean Fresnel (1788–1827), der Licht in das Geheimnis der Polarisation von reflektiertem Licht brachte. Zuerst reduzierte er das Problem „Reflektion“ auf seine wesentlichen Bestandteile (Abb. 2). Ein einfallender Lichtstrahl wird von einer glatten Fläche so reflektiert, dass Einfallswinkel = Ausfallswinkel ist. Diese Winkel beziehen sich auf die „Normale“, also die Senkrechte auf der Stelle, an der das Licht auftrifft. Einfallendes Licht, die Normale und das reflektierte Licht liegen in einer Ebene, der „Einfallsebene“. Einfallswinkel = Ausfallswinkel sagt nichts darüber aus, wie viel Licht reflektiert wird. An einer nicht absorbierenden Glasfläche teilt sich das Licht auf in den reflektierten Anteil und den Anteil, der in das Glas hinein geht. Fresnel hat diese Anteile berechnet. Je nachdem, wie das einfallende Licht polarisiert ist, sind die Anteile unterschiedlich. Das elektrische Feld schwingt zwar senkrecht zur Einfallsebene, aber in irgendeiner Richtung. Dieser „Lichtvektor“ lässt sich in zwei Anteile zerlegen, einer in der Einfallsebene und einer senkrecht dazu. Fresnel bezeichnet sie mit \parallel für „parallel zur Einfallsebene“ und \perp für „senkrecht zur Einfallsebene“ polarisiert (vgl. Abb. 2). Deshalb reicht es völlig aus, für diese beiden Polarisationsrichtungen die Berechnungen durchzuführen, da sich jeder Lichtvektor in diese beiden Anteile zerlegen lässt.

Es sollte hier schon klar gestellt werden, dass „senkrecht“ und „parallel“ zur Einfallsebene durchaus entgegengesetzt zu der üblichen Orientierung sein kann. Wenn wir zum Beispiel auf den Reflex vom Wasser schauen, dann blicken wir dem Licht entgegen. Die Normale und damit die Einfallsebene stehen auf dem Wasser senkrecht. Die Komponente „parallel zur Einfallsebene“ ist also die, die senkrecht vor uns steht und die Komponente „senkrecht zur Einfallsebene“ würde horizontal auf dem Wasser liegen beziehungsweise parallel dazu.

Fresnels Gleichungen für senkrechte und vertikale Komponenten sind nicht etwa gleich, sondern unterscheiden sich

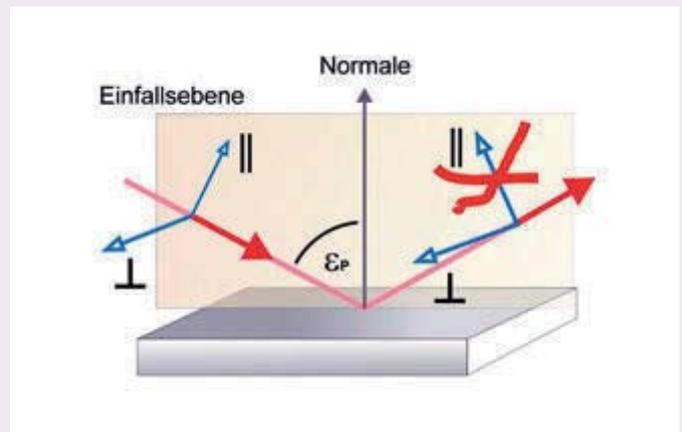


Abb. 3: Wenn der Einfallswinkel die Bedingung $n = \tan(\epsilon_p)$ erfüllt, dann ist nur noch die Komponente senkrecht zur Einfallsebene vorhanden. Der Polarisationswinkel $\epsilon_p = \arctan(n)$ heißt auch Brewster-Winkel. In dem Fall stehen die Richtungen vom in das Material gebrochenen Licht (nicht eingezeichnet) und vom reflektierten Licht senkrecht aufeinander. Für Wasser oder Eis ist ϵ_p ungefähr 53° .

erheblich! Abgesehen vom senkrechten Lichteinfall ($\epsilon = 0^\circ$) ist die Komponente senkrecht zur Einfallsebene immer größer als die Komponente in der Einfallsebene. Reflektiertes Licht ist also immer senkrecht zur Einfallsebene partiell polarisiert.

Aber bei einem speziellen Einfallswinkel verschwindet die parallele Komponente vollständig. In dem Fall ist nur noch die Komponente senkrecht zur Einfallsebene vorhanden. Das reflektierte Licht ist zu 100 Prozent polarisiert (Abb. 3). Dieser Polarisationswinkel ϵ_p wird „Brewster-Winkel“ genannt, zu Ehren von David Brewster (1781–1868), der 1814 den Zusammenhang $n = \tan(\epsilon_p)$ bzw. $\epsilon_p = \arctan(n)$ gefunden hat. Für die gängigen Materialien wie Wasser, Eis, Glas, Plexiglas etc. liegt der Polarisationswinkel zwischen 50° und 60° .

Die Philosophie hinter den polarisierenden Sonnenbrillen

Spiegelungen am Wasser oder auch die Reflexe der Heckscheibe vom vorausfahrenden Auto können polarisiert sein. Die Normale steht senkrecht auf dem Wasser bzw. senkrecht auf der Heckscheibe. Die Einfallsebene ist in beiden Fällen senkrecht zur Blickrichtung. Diese Reflexe können durchaus störend sein, die Polarisationsrichtung ist senkrecht zur Einfallsebene, also horizontal. Um sie wegzubekommen, muss die Polarisationsrichtung in der Sonnenbrille parallel zur Einfallsebene, also senkrecht sein. Nur dann macht eine polarisierende Sonnenbrille Sinn. In einer natürlichen Umgebung ist beim reflektierten Licht die Polarisationsrichtung meistens horizontal. Deshalb:

Die Polarisationsrichtung aller polarisierenden Brillen ist vertikal.



Abb. 4: Beispiele für die Wirkung von horizontaler und vertikaler Richtung des Analysators. Bei der Wasserpfütze ist die Normale N leicht zu finden: senkrecht nach oben. Die Polarisationsrichtung ist senkrecht zur Einfallsebene, also horizontal. Bei horizontaler Polarisationsrichtung des Filters vor der Kamera ist die Pfütze zu sehen, bei senkrechtem Polarisator kaum.

Angler brauchen keine Angel mehr. Da die Reflexe vom Wasser weg sind, können die Angler die Fische sehen und direkt fangen ...! Nun, bei nahezu jeder Art von Wassersport können polarisierende Brillen hilfreich sein. Auch für Autofahrer wird das Sehen kontrastreicher, weil störendes Blendlicht und viele störende Reflexe, zum Beispiel bei nasser Straße, weggenommen oder zumindest abgeschwächt werden. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für die Wirkung von senkrechtem (in der Einfallsebene) und waagrechtem (senkrecht zur Einfallsebene) Polarisator.

Einfach nur peinlich sind viele Werbebilder, in denen suggeriert wird, dass ein Polarisationsfilter alles störende reflektierte Licht wegnimmt. Das ist natürlich totaler Unsinn und erweckt

unnötig hohe Erwartungen seitens des Benutzers. Hersteller sollten sich hüten, dermaßen dumme Werbebilder zu verwenden. Leider sind sie aber immer noch bei vielen auch renommierten Firmen zu finden.

Polarisierende Ski- und Snowboardbrillen

Eine Schneelandschaft zeichnet sich naturgemäß durch außerordentlich schwache Kontraste aus. Abbildung 5 ist unter optimalen Bedingungen aufgenommen worden und trotzdem gibt es nur schwache Kontraste und kaum etwas Farbiges. In Sonnenrichtung sind einige Reflexe von festgefahrenen Skispuren und auch andere helle Reflexe zu sehen. Im linken Bild ist die Ausrichtung des Analysators horizontal und im rechten Bild vertikal vor der Kameralinse. Die Bilder unterscheiden sich scheinbar nur ganz wenig. In dieser Landschaft gibt es wenig polarisiertes Licht. Die wenigen Spiegelungen sind scheinbar rechts und links vorhanden. Das rechte Bild, Analysator senkrecht, entspricht dem Blick durch eine polarisierende Brille.

Die Unterschiede sind erst dann deutlich sichtbar, wenn wir uns nur einem Bildausschnitt zuwenden. In Abbildung 6 ist der gleiche Ausschnitt, jeweils die linke untere Ecke (von Abb. 5), vergrößert. Die Polarisationsrichtungen sind die gleichen wie in Abbildung 5. Die Skispuren sind gut zu sehen, aber nur im Bild links! Nochmal: das rechte Bild entspricht dem Blick durch eine polarisierende (Ski-)Brille! Die wenigen Kontraste sind nahezu verschwunden oder zumindest deutlich abgeschwächt. Klar: Wenn das reflektierte Licht polarisiert ist, dann eben horizontal. Durch den vertikalen Analysator werden gerade die wenigen Bildanteile vernichtet, die etwas Information in sich tragen, zum Beispiel: „Hier könnte es vereist sein!“. Eine polarisierende Skibrille ist also ideal, um vereiste Flächen zu verbergen! Der Skifahrer verliert sicherheitsrelevante Information. Gerade die für das Skifahren wichtigen Details werden unsichtbar. Ohne Polfilter sind die Spuren im Schnee oder auf Eisflächen ein ▶



Abb. 5: Eine typisch kontrastarme Schneelandschaft, links durch „Analysator horizontal“ und rechts durch „Analysator vertikal“ fotografiert. Die Bilder unterscheiden sich kaum. In dieser Landschaft gibt es wenig polarisiertes Licht. Die wenigen Spiegelungen sind scheinbar rechts und links vorhanden. Das rechte Bild entspricht dem Blick durch eine polarisierende Brille.



Abb. 6: Ausschnitt aus Abbildung 5 (linke untere Ecke). Links: Analysator horizontal; rechts: Analysator vertikal. Das rechte Bild entspricht dem Blick durch eine polarisierende Brille. Die Skispuren sind rechts nahezu verschwunden! Die Reflexe, die rechts zu sehen sind, sind auch links im Bild vorhanden. Aber nicht umgekehrt! Wenn also Polarisation vorkommt, dann gewöhnlich horizontal.

wenig heller oder glitzern im direkten Sonnenlicht (vgl. Abb. 6, links). Mit einem Polarisationsfilter können diese sogar unsichtbar werden (vgl. Abb. 6, rechts). Ein Polarisationsfilter kann die Umgebung kontrastreicher erscheinen lassen, aber auf der Skipiste kann alles noch kontrastärmer werden.

Im Grunde bringt eine polarisierende Brille beim Skifahren oder Snowboarden keinen Vorteil. In den meisten Fällen wird ein Polarisationsfilter kaum das Erscheinungsbild der Piste ändern, da das Licht kaum polarisiert ist. Dazu kommt, dass bei einer Abfahrt mit der Sonne sowieso nichts polarisiert ist. In dem Fall schadet die Polarisationsbrille wenigstens nicht. Doch sowie Polarisation auftritt, ist es horizontale Polarisation. Dies wird auch deutlich in Abbildung 5 und 6. Spiegelungen, die im rechten Bild (horizontale Polarisation) vorhanden sind, sind jeweils auch links vorhanden. Aber nicht umgekehrt! Ein senkrecht polarisierender Filter nimmt also immer Information weg, er „maskiert“ die Wahrnehmung!

Grundsätzlich sind polarisierende Skibrillen also gut beim Angeln, Segeln oder Autofahren, aber kaum für das Skifahren geeignet.

Trick

Bei einem normalen Polarisationsfilter ist gewöhnlich unabhängig von der Wellenlänge über den gesamten sichtbaren Spektralbereich von 380 bis 780 nm die Transmission fast null Prozent, wenn sie senkrecht zur Polarisationsrichtung gemessen wird. Einige Hersteller sind dazu übergegangen, die Polarisation nicht über das ganze Spektrum bis 780 nm laufen zu lassen, sondern vorher abubrechen. Im Beispiel, bei unserer Test-Skibrille 4, sind drei Transmissionskurven eingezeichnet (Abb. 7). Rot eingezeichnet ist die Transmissionskurve für vertikal polarisiertes Licht. Achtung, 100 Prozent Transmission würde bedeuten, dass 100 Prozent vertikal polarisiertes Licht durchgelassen würde. Die blaue Kurve ist die Transmission für

horizontal polarisiertes Licht. Wie es sich für einen ordentlichen Polarisator gehört, fängt die Transmission bei 380 nm mit null Prozent an. Die null Prozent werden beibehalten bis etwas oberhalb von 500 nm. Dann steigt die Kurve flach an bis circa 570 nm und geht dann steil nach oben. Bei 600 nm ist sie nicht mehr weit von der roten Kurve entfernt. Die grüne Kurve ist schließlich die Transmissionskurve, die ein normales Messgerät finden würde. Es ist die mittlere Transmission zwischen den beiden Polarisationsrichtungen.

Dieser spektrale Verlauf führt zu einem ganz eigenartigen Phänomen. Bei jeder „normalen“ Polarisationsbrille werden – wie vorher beschrieben – Reflexe, die horizontal polarisiert sind, weitgehend vollständig eliminiert. Bei diesem speziellen

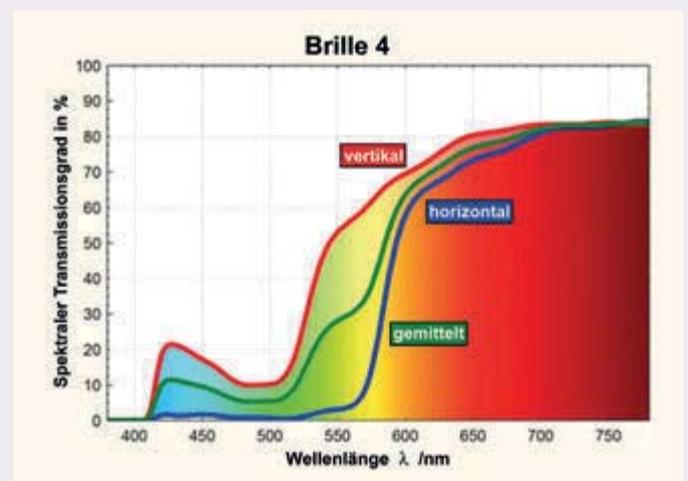


Abb. 7: Transmissionskurven von „Test-Skibrille 4“. Rote Kurve (vertikal): spektrale Transmission für die vertikale Komponente, blaue Kurve (horizontal): Transmission für die horizontale Komponente. Die grüne Kurve zeigt den Mittelwert der beiden Kurven und gibt den relativen Transmissionsgrad bei nicht polarisiertem Licht an. Wenn nun horizontal polarisiertes Licht vorliegt, dann wird es durch diesen Filter als Rot wahrgenommen.

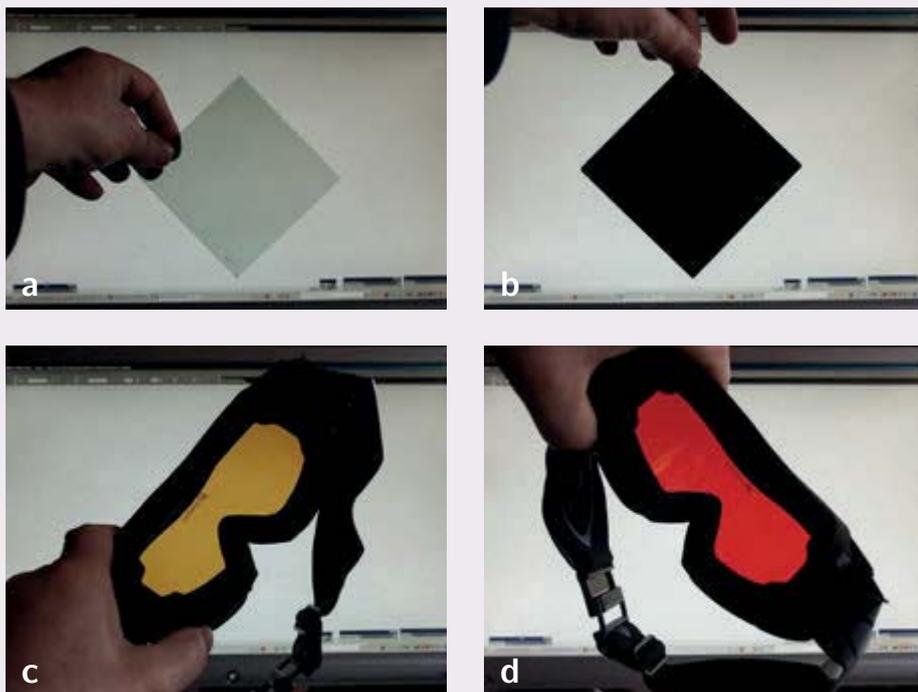


Abb. 8: Einfacher Test über die Polarisations-eigenschaften einer Polarisationsbrille vor einem Flachbildschirm. Die Flachbildschirme sind meistens in -45° polarisiert.

- a) Richtung des Polarisationsfilters in -45° . Das -45° polarisierte Licht wird durchgelassen.
- b) Richtung des Polarisators in $+45^\circ$. Der Polarisator sperrt das Licht und erscheint tief schwarz. Das wäre auch der Blick durch eine „normale“ Polarisationsbrille.
- c) Polarisationsrichtung der Schneebrille parallel zur Polarisationsrichtung des Bildschirmes. Die Brille lässt das Licht durch. Die leicht gelbliche Tönung ist auf den spektralen Transmissionsverlauf der Brille zurückzuführen und nicht auf Polarisierungseffekte.
- d) Polarisationsrichtung der Skibrille senkrecht zur Polarisationsrichtung des Bildschirmes. Die Brille sperrt alles Licht, für das sie polarisiert ist. Die Polarisation reicht nur bis etwa 600 nm. Rot kommt durch. Der weiße Bildschirm erscheint durch die Brille gesehen in gesättigtem Rot.**

Filterdesign nicht, denn vom horizontal polarisierten Licht wird der Rotanteil durchgelassen.

Wie lässt sich leicht herausfinden und auch demonstrieren, dass ein Filter diese Eigenschaft hat? Nicht alle sind Besitzer eines Spektralphotometers und selbst dann ist es nicht einfach, die Transmissionseigenschaften für senkrecht und waagrecht polarisiertes Licht zu messen.* Die üblichen Flachbildschirme sind polarisiert. Die Polarisationsrichtung ist gewöhnlich -45° , manchmal auch $+45^\circ$, von der vertikalen Bildschirmrichtung aus gemessen. Ein Analysator in -45° lässt das Licht durch, senkrecht dazu, also $+45^\circ$ sperrt er den Lichtdurchgang (Abb. 8). Auch wenn der Bildschirm auf „höchste Stufe Weiß“ eingestellt ist, kommt kein Licht durch den Polfilter. Er erscheint schwarz.



Abb. 9: Wirkung von „Test-Skibrille 4“ (vgl. Abb. 7) auf vereisten Flächen (links). Rechts im Bild der gleiche Bereich ohne Polarisationsfilter aufgenommen. Im roten Bereich polarisiert die Brille nicht. Deshalb können Eisflächen rötlich erscheinen.

Genau so würde es sich mit jeder „normalen“ Polarisationsbrille verhalten. Wird eine Skibrille, in dem Fall „Test-Skibrille 4“, vor den Bildschirm gehalten und um 45° nach rechts gedreht, dann ist die Polarisationsrichtung -45° , da die Brille doch senkrecht polarisiert. Sie lässt ebenfalls alles Licht durch. Wird sie nun in die andere Richtung gedreht, dann ist die Polarisationsrichtung der Brille senkrecht zur Polarisation des Bildschirmes. Also kommt nur der Teil des Spektrums durch, der im Filter nicht polarisierend wirkt. Der Bildschirm erscheint in gesättigtem Rot, wenn die Polarisation nur bis circa 600 nm reicht.

Im Schnee, zum Beispiel bei Eisflächen, festgefahrenen Ski-spuren oder auch Autospuren (Abb. 9) erscheinen polarisierte Bereiche rötlich. Während ein normaler polarisierender Filter genau diese sicherheitsrelevanten Bereiche/Informationen unsichtbar machen kann, kommt hier die Warnfunktion von Rot voll zum Tragen. Beim passenden Lichteinfall werden so Gefahrenbereiche deutlich sichtbar. Polarisierende Brillen dieser Art können die Sicherheit beim Skifahren erhöhen!

Zusammenfassung

Polarisationsfilter ändern in den meisten Fällen kaum das Erscheinungsbild der Piste, da das vom Schnee reflektierte Licht kaum polarisiert ist. Eine natürliche Lichtquelle für polarisiertes Licht ist zum einen blaues Himmelslicht. Es ist, je nach Blickrichtung, mehr oder weniger vertikal polarisiert. Zum anderen können Reflexe auf spiegelnden Oberflächen wie zum Beispiel von Glas, Wasser, Eis oder auch festgefahrene Schneedecken partiell polarisiert sein, gewöhnlich aber horizontal. Die Polarisationsrichtung aller polarisierenden Brillen ist senkrecht. Damit werden in einer schon von vornherein kontrastarmen ▶

Schneelandschaft gerade die sicherheitsrelevanten Reflexe von Eisflächen, festgefahretem Schnee oder ähnlichem eliminiert. Genau die für den Skifahrer wichtigen Informationen sind weg. Ohne Polfilter sind die Spuren im Schnee ein klein wenig „heller“ oder glitzern im direkten Sonnenlicht. Mit Filter können sie sogar unsichtbar werden. Ein Polarisationsfilter kann zwar die Umgebung kontrastreicher erscheinen lassen, aber auf der Skipiste kann alles noch kontrastärmer werden.

Einige Hersteller haben deshalb ganz besondere Polarisationsfilter entwickelt. Die Polarisation ist nicht durchgängig für das gesamte sichtbare Spektrum. Im roten Bereich ist die Polarisationswirkung aufgehoben. Wenn nun Eisflächen oder ähnliches im Blickfeld liegen und bei „richtigem“ Lichteinfall die Reflexe partiell polarisiert sind, dann erscheinen sie rötlich. Nur den roten Anteil lassen solche Filter von der horizontalen Polarisationsrichtung durch. Solche Filter können die Sicherheit im Schneesport erhöhen. Der Sportler wird durch „rote Spiegelungen“ auf Gefahrenstellen hingewiesen. ■

Die Rechte zu den Abbildungen/Fotos liegen bei den Autoren, wenn nicht anders angegeben.

** Die Autoren danken Herrn Dr. Bernhard Schmitz vom ECS (European Certification Service), dass er die Messung der spektralen Transmissionskurven unter Polarisationsbedingungen überhaupt erst ermöglicht hat.*

*** Bei einem zweiten Typ der „low polarisation“ steigt die Transmission für die Horizontalkomponente schon ab 400 nm an. Der Unterschied der Transmission zwischen Vertikal- und Horizontalkomponente ist durchweg nicht besonders groß. Diese Filter sind so zu erkennen: Wenn mit einem Bildbearbeitungsprogramm die Rot-Komponente des Bildschirms herausgenommen wird, also $(R, G, B) = (0, 255, 255)$, dann erscheint der Bildschirm türkis. Durch eine „Brille vom Typ 2“ bleibt der Bildschirm in -45° und der $+45^\circ$ -Stellung türkis, nur bei $+45^\circ$ ein wenig dunkler. Durch eine Brille wie „Test-Skibrille 4“ erscheint der Bildschirm dunkelrot bis braun, da trotz der Einstellung $(0, 244, 244)$ der Bildschirm ein klein wenig rot enthält. Türkis hingegen ist nicht mehr zu sehen.*

Autoren:



Bernd Lingelbach
Prof. Dr. rer. physiol.
*Institut für Augenoptik Aalen
 (Leinroden)
 Untere Gasse 17
 73453 Abtsgmünd
 E-Mail: ifaa@leinroden.de*



Gernot Jendrusch
Dr. rer. nat.
*Lehrstuhl für Sportmedizin und
 Sporternährung, Ruhr-Universität
 Bochum
 Gesundheitscampus-Nord 10
 44801 Bochum
 E-Mail: Gernot.Jendrusch@rub.de*

Literatur

- Charman, W. N. & MacEwen, C. J. (1995). Light and Lighting. In D. F. C. Lorán & C. J. MacEwen (Eds.), Sports Vision (pp. 88–112). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Jendrusch, G., Senner, V., Schaff, P. & Heck, H. (1999). Vision – An Essential Factor for Safety in Skiing: Visual Acuity, Stereoscopic Depth Perception, Effect of Colored Lenses. In R. J. Johnson (Ed.), Skiing Trauma and Safety, Twelfth Volume. ASTM STP 1345 (pp. 23-34). West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Jendrusch, G. & Lingelbach, B. (2012). Optimales Sehen und Filtereinsatz beim Schneesport – Mythen und Fakten. DOZ (Deutsche Optiker Zeitschrift) Optometrie & Fashion, 67 (11), 2-7.
- Lingelbach, B. & Jendrusch, G. (2005). Contrast Enhancing Filters in Ski Sports. Journal of ASTM International, 2 (1), 1-8.
- Lingelbach, B. & Jendrusch, G. (2010). Polarizing Filters in Ski Sports. Journal of ASTM International, 7 (10), 1-7.
- Reichow, A. W., Citek, K., Erickson, G. E. et al. (2002). The Effect of Polarized Lenses on Golf Putting Performance (Abstract). Optometry and Vision Science, 79, 239.
- Senner, V., Jendrusch, G., Schaff, P. & Heck, H. (1999). Vision – An Essential Factor for Safety in Skiing: Perception, Reaction and Motion Control Aspects. In R. J. Johnson (Ed.), Skiing Trauma and Safety, Twelfth Volume. ASTM STP 1345 (pp. 11-22). West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Sheldon, B. & Sheldon, N. C. (2002). Eyewear with Polarized Lens for Water Sports. U.S. Patent No. 2002/0,191,148 A1 2002.

Die DOZ veröffentlicht unter der Rubrik Optometrie Beiträge, die vom Wissenschaftlichen Beirat der DOZ begutachtet, auf ihre fachwissenschaftliche Tragfähigkeit überprüft und freigegeben wurden. Nähere Auskünfte erteilt die Chefredaktion unter ruetten@doz-verlag.de