

Arktische Luftspiegelung : simultane Beobachtung eines Objektes durch Reflexion an einer meteorologischen Inversion und als arktische Luftspiegelung = Mirage arctique : observation simultanée d'un objet par réflexion sur une inversion météorologique et ...

Autor(en): **Fischer, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen
Gesellschaft**

Band (Jahr): **53 (1995)**

Heft 270

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898750>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Arktische Luftspiegelung Mirage arctique

Simultane Beobachtung eines Objektes durch Reflexion an einer meteorologischen Inversion und als arktische Luftspiegelung

Observation simultanée d'un objet par réflexion sur une inversion météorologique et par mirage arctique

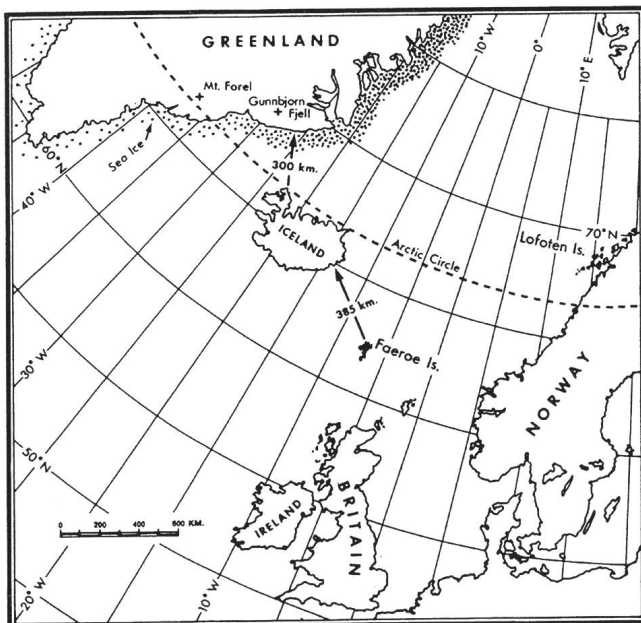
G. FISCHER

In einem Artikel der Zeitschrift Science «The Arctic Mirage and the Early North Atlantic», stellen SAWATZKY & LEHN (1) die arktische Luftspiegelung vor, von den Isländern Hillingar oder Hafgerdingar genannt, eine Variante der «Fata Morgana» (man braucht auch manchmal das französische Wort «Mirage»). Es handelt sich hier um eine Erscheinung, die von einer Temperaturinversion über grosse, kalte Flächen wie Wasser oder Eis hervorgerufen wird und die zu enormen Vergrösserungen der optischen Sichtweite führen kann. Während die beiden Autoren das Phänomen der arktischen Luftspiegelung, dank welcher von den Faeroe Inseln Island und von Island Groenland sichtbar werden können (siehe dazu Fig. 1), wissenschaftlich gut beschreiben, liefern sie davon in ihrem Artikel keine überzeugende Beobachtung. Ihre eigentliche Absicht war vielmehr, darauf hinzuweisen, dass in den hohen Breitengraden zwei unabhängige Erscheinungen die Wikinger dazu hätten ermutigen können, schon

Dans un article de la revue Science «The Arctic Mirage and the Early North Atlantic» Sawatzky et Lehn (1) présentent le mirage arctique, le Hillingar ou Hafgerdingar selon les Islandais, phénomène optique résultant d'une inversion de température à la surface de grandes nappes de glace ou d'eau froide, qui peut conduire à un énorme accroissement de la portée du champ de vision. Si les auteurs précités donnent une explication scientifique de l'apparition du mirage arctique, par lequel on peut quelquefois distinguer l'Islande depuis les Iles Féroé et le Groenland depuis l'Islande (voir la Fig. 1), leur article n'en fournit pas d'exemple très convaincant. Le propos de Sawatzky et Lehn était plutôt de montrer que cette augmentation de portée visuelle, combinée à des distances qui, à cause de la convergence des méridiens, surprennent par leur petitesse, pouvait fort bien expliquer que les Vikings aient eu le courage de s'aventurer jusqu'aux côtes de l'Amérique du Nord bien avant que Christophe Colomb ne le fasse voici quelques 500 ans.

Figur 1. Das Reich des Nordatlantiks. Angegeben sind die minimalen Entfernungen zwischen den Faeroe Inseln und Island und zwischen Island und Groenland. Wegen der Konvergenz der Meridiane zum Pol sind diese Entfernungen erstaunlich klein, besonders wenn man sie mit den Breiten von 5000 bis 6000 km des Atlantischen Ozeans in tieferen Breitengraden vergleicht.

Figure 1. Le domaine de l'Atlantique Nord. On donne les distances minimales entre les Iles Féroé et l'Islande et entre l'Islande et le Groenland. A cause de la convergence des méridiens vers le pôle nord, les distances indiquées sur cette carte surprennent par leur petitesse, surtout si on les compare avec les 5000 - 6000 km de largeur de l'Océan Atlantique à des latitudes moins élevées.



Lors d'un voyage sur les bords du Saint-Laurent l'auteur a eu la chance de rencontrer des conditions météorologiques favorables à une double inversion de température. Par le mirage arctique il était possible de voir un navire, à quelques 15 km, et surtout la côte opposée, à plus de 70 km. Par réfraction sur une inversion atmosphérique on en voyait aussi une image renversée. Les deux phénomènes proviennent d'inversions dans la thermocline, c.-à-d. dans le profil de température avec l'altitude. Alors que les thermoclines habituelles ont des températures qui, jusqu'à 10 km au moins, décroissent régulièrement avec l'altitude, il y avait deux inversions du gradient, comme esquissé à la Fig. 2. Tout à la base l'air avait la température de l'eau, alors qu'au dessus il était réchauffé par le Soleil; cela produisait l'inversion inférieure, épaisse de quelques dizaines de mètres. Un tel gradient de température est, bien sûr, accompagné de gradients de densité et d'indice de réfraction, tous deux diminuant avec l'altitude. Un rayon lumineux qui se propage parallèlement à la surface de l'eau, ou incident sur elle sous un très petit angle, est alors réfracté continuellement par ce gradient d'indice et poursuit sa propagation le long de la surface, comme indiqué à la Fig. 3.

En altitude, à des niveaux situés le plus souvent entre 1 et 3 km, surtout après des nuits froides avec ciel clair et en l'absence de vent, on rencontre fréquemment le niveau d'inversion bien connu en météorologie. Ici encore le Soleil réchauffe les masses d'air sec élevées plus facilement que celles chargées d'humidité et situées plus près du sol. Cette couche d'inversion est elle aussi une zone où l'indice de réfraction diminue rapidement avec l'altitude. Ce phénomène d'inversion, qui empêche les masses d'air chaud de monter et s'oppose ainsi à leur brassage, est aussi celui qui retient la pollution atmosphérique sur certaines agglomérations, comme sous un couvercle. De la même façon que plus haut, la couche d'inversion réfracte les rayons lumineux incidents sur



lange vor Kolumbus im Jahre 1492, bis zur Ostküste Nordamerikas vorzudringen. Das sind einerseits die wegen der Meridiankonvergenz zwischen diesen Inseln erstaunlich kleineren Entfernungen, als man sie erwartet, und andererseits die durch den Hillingar stark vergrößerte Sichtweite.

Anlässlich einer Reise entlang den Ufern des Saint-Lawrence Stromes in Canada hat der Autor per Zufall meteorologische Bedingungen vorgefunden, die eine doppelte Temperaturinversion verursachten. Durch den arktischen Hillingar war es möglich, ein Boot (etwa 15 km vom Ufer) und die gegenüberstehende Küste (über 70 km entfernt) deutlich zu sehen. Durch optische Brechung (oder Refraktion) an einer atmosphärischen Inversion gab es davon ein zweites, darüberliegendes und auf dem Kopf stehendes Bild. Beide Erscheinungen werden von Inversionen in der

Figur 3. Skizze der Lichtstrahlen, die sich in einem Medium ausbreiten, wo der Brechungsindex durch ein Temperaturprofil wie dasjenige der Fig. 2 variiert. Die oberen Strahlen ergeben ein auf dem Kopf stehendes Bild der fernen Küste und des Schiffes, wie wenn sie an der oberen Inversionsschicht reflektiert worden wären. Die unteren Strahlen ergeben ein aufrechtstehendes Bild. In diesem Fall hat man aber doch eine Brechung, oder Refraktion, in der Inversionszone direkt über dem Wasser, die es möglich macht, die gegenüberliegende Küste zu sehen, die normalerweise unterhalb des sichtbaren Horizonts stehen sollte. Hätte man in diesem Bild Strahlen eingezeichnet, die noch steiler ins Auge des Beobachters einfallen, würden diese kaum abgelenkt sein und den Himmel abbilden. Bei etwas weniger steilem Einfall würden sie jedoch ein aufrechtes Bild von Küste und Schiff ergeben, welches aber völlig zusammengedrückt und deshalb nicht auflösbar wäre. Bei noch kleinerem Einfallswinkel käme dann der Vordergrund, der aber auch ganz zusammengeschrumpft ist. Erst die auf dem Kopf stehenden Küste und Boot sind dann genau erkennbar und man geht dann stetig vom umgekehrten zum aufrechtstehenden Himmel über. Mit Hilfe der Fig. 5 lässt sich das gut verstehen.

Figure 3. Tracé des rayons visuels à travers un milieu où l'indice de réfraction est modifié par des conditions comme celles décrites à la Fig. 2. Les rais supérieurs produisent une image inversée par réfraction du bateau et de la côte opposée. Les rais inférieurs donnent une vue droite des objets, mais dans le cas présent il y a tout de même réfraction dans la zone d'inversion juste au dessus de l'eau, ce qui permet de voir la côte opposée, qui serait normalement sous l'horizon visuel direct. Si, dans cette esquisse, on avait tracé des rayons incidents sur l'observateur sous des angles toujours plus élevés, ces rayons donneraient une image de la partie supérieure du ciel; mais à des angles intermédiaires on devrait avoir une image droite, verticalement très élargée, du bateau et de la côte opposée. Cet effet est illustré plus clairement à la Fig. 5.

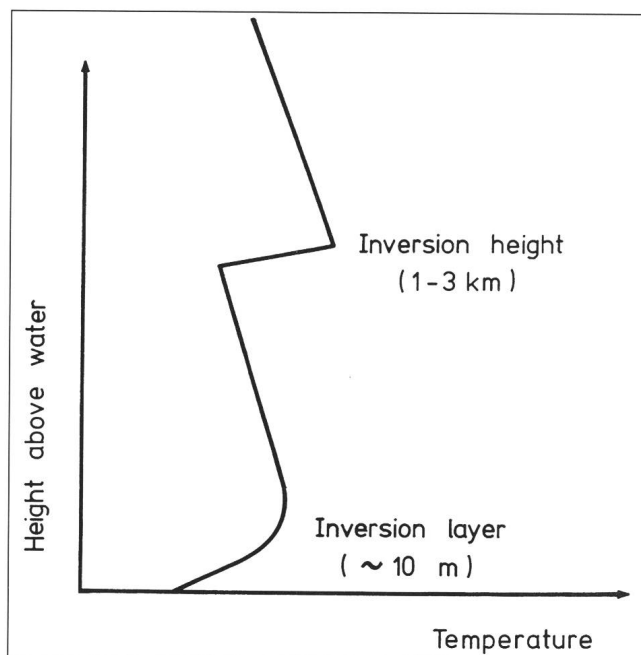
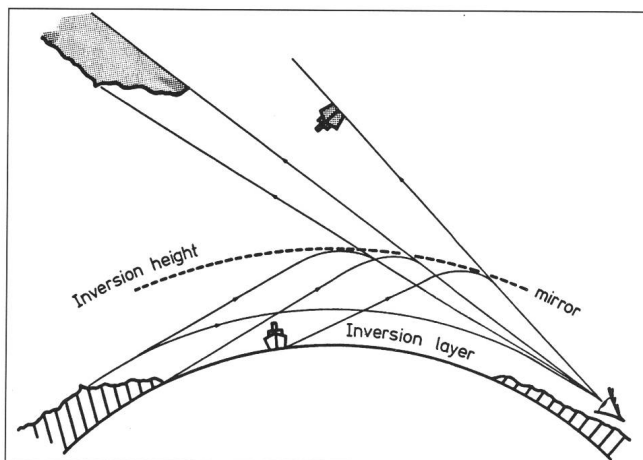


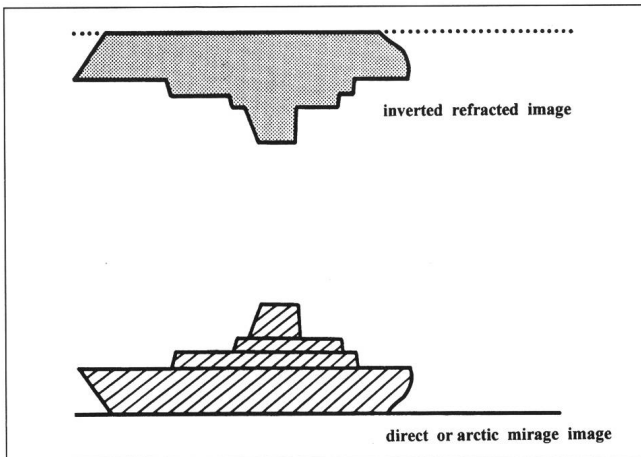
Figure 2. Profil des températures au dessus d'une nappe d'eau froide ou de glace pendant un après-midi ensoleillé, sans vent et après une nuit claire. Le Soleil réchauffe les masses d'air froid à la surface et crée ainsi un fort gradient de température juste au dessus de la nappe d'eau ou de glace. A de plus hautes altitudes on a le niveau d'inversion bien connu en météorologie, causé une fois encore par le Soleil qui réchauffe plus facilement les masse d'air sec élevées que celles chargées d'humidité plus bas. Dans ces deux régions de forte thermocline inversée il y a de grands gradients de la densité de l'air, de l'humidité et de l'indice de réfraction optique.

Figur 2. Temperturprofil über einer Eis- oder Kaltwasserdecke, an einem sonnigen Nachmittag, nach einer klaren Nacht und bei Windstille. Die Sonne erwärmt die darüber liegenden Luftmassen und es stellt sich auf der kalten Decke ein scharfer Temperaturgradient ein. In viel höheren Lagen findet man oft die in der Meteorologie wohlbekannte Temperaturinversion, die ebenfalls von der Sonne hervorgerufen wird, denn diese erwärmt die oberen, trockneren Luftmassen leichter als die darunterliegenden feuchten. In diesen beiden Zonen findet man also gegenüber der normalen invertierte Thermokline. Mit dem starken Temperaturgradienten verknüpft sind auch starke Änderungen der Dichte und des optischen Brechungsindex.

elle sous un petit angle, selon l'esquisse de la Fig. 3. Cette réfraction est souvent décrite comme une «réflexion», mais il s'agit effectivement d'un phénomène de «réfraction» dans une zone à fort gradient de cet indice optique. Lehn en a donné une belle démonstration photographique (2).

La réfraction de lumière sur la couche d'inversion est très semblable à la réfraction des ondes de radio sur l'ionosphère par le changement d'indice de réfraction dans cette couche qui renvoie les ondes vers le sol. Lorsque le récepteur n'est pas très éloigné de l'émetteur, il est bien connu qu'on reçoit d'abord l'onde de sol, suivie quelques dizaines ou centaines de micro-secondes plus tard de l'onde réfractée par l'ionosphère. Une fois encore on parle souvent à tort d'ondes «réfléchies sur l'ionosphère».

Si l'on suit le parcours des rais de lumière de la Fig. 3, on comprend aussitôt la formation des deux images esquissées à la Fig. 4, où l'image supérieure est renversée. En traçant des rais toujours plus verticaux il deviendrait même évident qu'on



Figur 4. Das Bild des Schiffes, wie es vom Beobachter durch die Thermokline der Fig. 2 gesehen wird. Das untere Bild ist entweder direkt, d. h. mit ungebrochenen Lichtstrahlen sichtbar, oder als arktische Lichtspiegelung in der unteren Temperaturinversion. Das darüberliegende Bild entsteht durch Brechung an der oberen Inversion. Es erscheint wie ein an einem Spiegel reflektiertes Bild, ist aber das Resultat einer Brechung, und nicht einer Reflexion.

Figure 4. Image du bateau perçue par l'observateur, à travers la thermocline de la Fig. 2. L'image inférieure est, soit directe (rayons rectilignes), soit légèrement réfractée par le mirage arctique dans l'inversion inférieure de la thermocline. L'image supérieure est formée par réfraction dans l'inversion supérieure. Elle apparaît comme une image réfléchie, et est donc inversée, mais c'est effectivement le résultat d'un phénomène de réfraction et non pas de réflexion.

Thermokline verursacht, d. h. im vertikalen Temperaturprofil der Atmosphäre. Während normale Thermokline bis zu Höhen von mindestens 10 km einen gleichmässigen Temperaturabfall aufweisen, gab es zwei Inversionen des Gradienten, wie auf Fig. 2 skizziert. Zuunterst nahm die Luft die Temperatur des Wassers an, wurde darüber aber schnell von der Sonne erhitzt, dass sich dort eine 10-20 Meter dicke Inversionszone bildete. Ein solcher Temperaturgradient verursacht natürlich auch Gradienten der Dichte und des Brechungsindex, wo beide mit der Höhe abnehmen. Ein Lichtstrahl, der sich über die Wasserfläche ausbreitet oder auf diese unter einem sehr kleinen Winkel einfällt, wird dann stetig gebrochen und schreitet darauf parallel zur Oberfläche weiter, wie Fig. 3 zeigt.

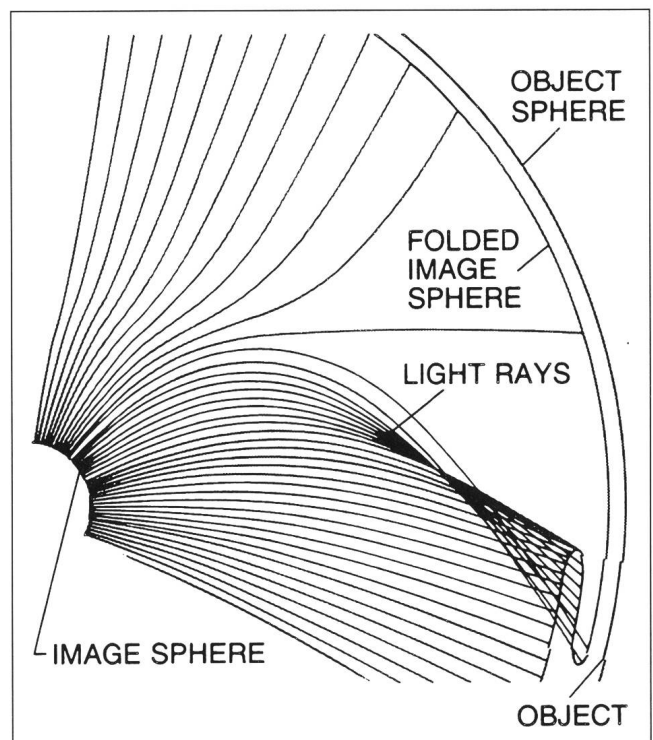
In Höhen von 1 bis 3 km, hauptsächlich nach kalten Nächten bei klarem Himmel und Windstille, findet man die wohlbekannte meteorologische Temperaturinversion. Die Sonne wärmt die höherliegenden, trockneren Luftmassen schneller als die feuchteren in Bodennähe. Diese obere Inversion ist ebenfalls eine Zone, in der der Brechungsindex mit der Höhe steil abnimmt. Sie ist in der Meteorologie auch deshalb gut bekannt, weil sie sich dem Aufsteigen der warmen Luftmassen entgegenstellt und somit ihre Durchmischung verhindert; über dichtbesiedelten Gebieten führt das dann zu einer Anreicherung der schmutzigen Gase, wie unter einem Deckel, und zur Bildung des sog. «Smogs» der Grosstädte. Die unter einem kleinen Winkel einfallenden Lichtstrahlen werden auch hier gebrochen und nach Fig. 3 wieder nach unten geschickt. Diese Lichtbrechung wird oft als «Reflexion» beschrieben, ist jedoch tatsächlich eine

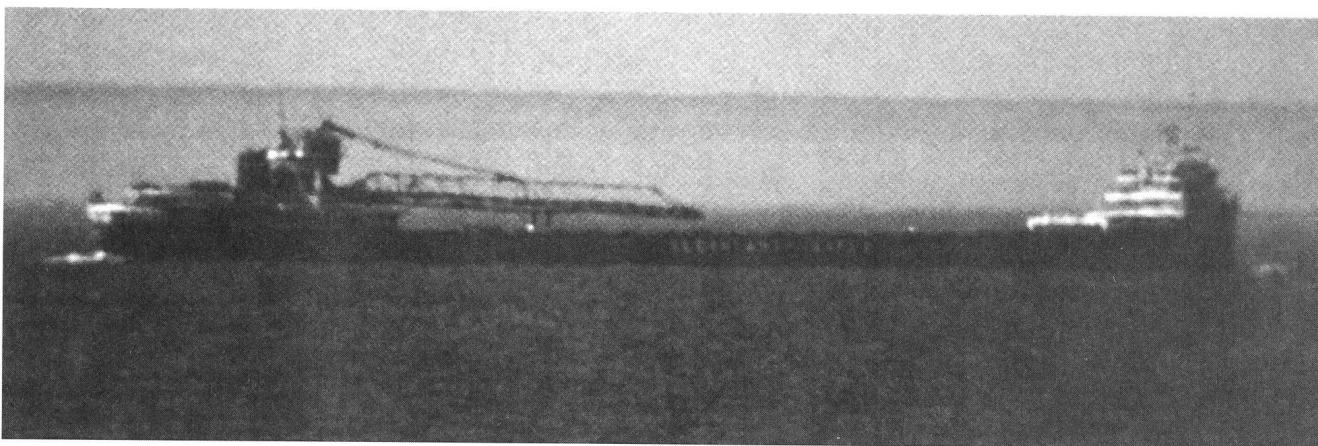
devraut voir une troisième image juste au dessus de la deuxième, en position droite cette fois et fortement écrasée, ou réduite verticalement. En effet, Tape (3), a montré que les rayons de lumière produisent toujours une application continue de la sphère des objets sur celle des images, même lorsque l'application est déformée parce que les rais doivent se propager dans un milieu où l'indice de réfraction varie avec la position. Si dans certaines parties du milieu traversé les variations d'indice conduisent à de fortes réfractions des rais, il pourra en résulter des mirages, c.-à-d. des multiplications d'images; mais les conditions de continuité requièrent que le nombre des images soit toujours impair. C'est en fait un problème de topologie que la Fig. 5 permet de mieux comprendre et qui est illustré par les Fig. 6 et 7.

Nous avons pu observer une telle multiplication d'images sur le Saint-Laurent, près de la Pointe-au-Père, Québec, Canada (4). A cet endroit la rivière dépasse 50 km en largeur et nous étions à une quinzaine de mètre de la rivière. Un

Figure 5. Tracé des rais de lumière se propageant entre la sphère des objets et celle des images à travers un milieu où il y a de fortes variations de l'indice de réfraction. A cause de la continuité du faisceau des rais, il est évident que si de multiples images sont formées, leur nombre sera toujours impair. En suivant la succession des rais à partir du bas on voit que l'image inférieure est droite, l'intermédiaire est inversée et la supérieure est à nouveau droite, mais en général fortement écrasée ou réduite dans le sens vertical. [tiré de Tape (3)]

Figur 5. Ausbreitung von Lichtstrahlen zwischen Objekt- und Bildsphäre in einem Medium, welches starke Schwankungen des Brechungsindex aufweist. Da angrenzende Lichtstrahlen stetig ineinander übergehen müssen, tauchen mehrfache Bilder immer in ungerader Anzahl auf. Verfolgt man die Strahlen, von unten anfangend, so sieht man, wie das untere Bild aufrecht erscheint, das mittlere steht auf dem Kopf und das obere ist wieder aufrecht, obgleich dieses Bild in der Vertikalen oft stark komprimiert wird. [nach TAPE (3)]





Figur 6. Unverformtes Bild eines erzführenden Schleppers auf einem der grossen Inlandseen von Nord Amerika. [aus TAPE (3)]

Figure 6. Image non-déformée d'un chaland de minerai sur un des Grands-Lac nord-américains. [tiré de Tape(3)]

Figur 7. Lichtspiegelungen des Erzschleppers der Fig. 6, hervorgerufen durch starke thermische Störungen und entsprechenden Verformungen der Lichtwege. Eines der Prinzipie des Theorems der ungeraden Anzahl von Bildern besagt, dass unter gewissen Umständen jeder Teil des Objektes eine ungerade Zahl von Abbildungen aufweisen muss. Ein gutes Beispiel davon findet man hier mit dem Buchstaben C auf dem Kamin des Schleppers : auf dem obersten Mirage-Bild sieht man es dreimal und auf den Bildern 3 und 4 wohl fünfmal. Auf dem oberen Bild sieht man auch den vorderen weissen Fahnenmast dreimal, wobei er auf dem mittleren Bild nach unten neigt. Mit dem unteren Mastbild kombiniert erscheint es als eine zu einem Halbkreis gebogene, weisse Linie. Diese scheinbare Krümmung ist eine Folge der Verformung aller Abbildungen, hier hauptsächlich längs der Vertikalen. Mehrere Photographien zeigen nur zwei Abbildungen gewisser Teile des Schleppers. Eine genauere Überprüfung zeigt jedoch, dass in den meisten Fällen die obere Abbildung aus zwei entgegengesetzten Bildern besteht, wobei das obere stark komprimiert ist. Die vierte Photographie dagegen gibt den Anschein, dass man wirklich nur zwei Bilder sieht und deutet darauf hin, dass unter gewissen Umständen die Regel der ungeraden Bildzahl doch verletzt werden kann : in der Tat gibt es Fälle, wo das passieren kann; in den meisten Fällen hat man es jedoch mit Situationen zu tun, in denen das oberste Bild ganz zusammengedrückt wird, wie im Beispiel der Fig. 8. [aus TAPE (3)]

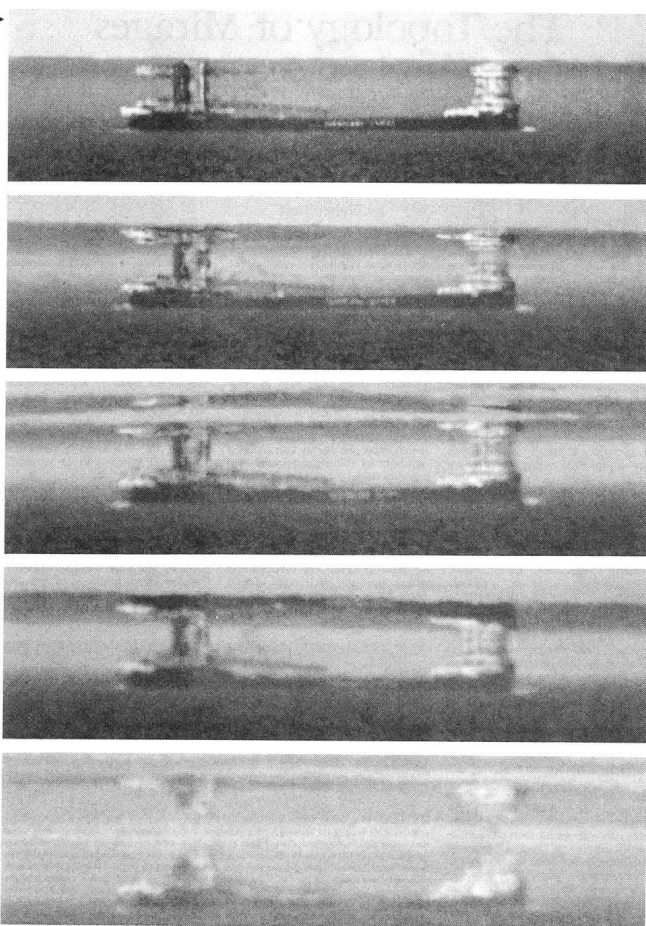


Figure 7. Jeu de mirages du bateau de minerai de la Fig. 6, causé par le passage des rayons de lumière dans une zone fortement perturbée thermiquement. Un des principes du théorème du nombre impair d'images affirme que, sous certaines conditions, toute partie de l'objet doit avoir un nombre impair d'images. Un bel exemple est fourni par la lettre C sur la cheminée du chaland : il y en a trois images sur la photographie de mirage supérieure, et probablement 5 sur les 3^e et 4^e. Sur la photographie du haut on voit aussi trois fois le mât blanc à l'avant du bateau; l'image intermédiaire le montre pointant vers le bas et en combinaison avec l'image inférieure donne l'impression qu'il s'agit d'une ligne blanche courbée en forme d'arc. Cette courbure apparente provient du fait que le mirage déforme toutes les images, ici surtout dans la direction verticale. Plusieurs photographies n'ont que deux images de certaines parties du bateau. Une inspection plus attentive nous montre que dans la plupart des cas il y a bien deux images d'orientation opposées, mais que la supérieure est fortement écrasée. La 4^e photographie, par contre, donne véritablement l'impression qu'on ne voit que deux images et suggère que le théorème du nombre impair d'images doit quelquefois être mis en question: dans certaines conditions il arrive que ce théorème puisse être violé, mais dans la plupart des cas l'image supérieure est tout simplement écrasée jusqu'à devenir invisible, comme c'est le cas dans la Fig. 8. [tiré de Tape (3)]

navire rouge à une quinzaine de km était vu deux fois. A cette distance il paraissait se trouver exactement à l'horizon du niveau de l'eau. La rive opposée, à 70 km dans cette direction - celle de Baie Comeau, où l'altitude des collines ne dépasse pas 100 à 150 m - n'aurait pas dû être visible. Mais comme le montre la Fig. 8, on la voyait bien, au même niveau que le bateau, et ceci grâce au mirage arctique. Au dessus de cette



Brechung in einer Zone mit höherem Brechungsindex. LEHN (2) gibt davon ein sehr eindrucksvolles photographisches Beispiel.

Die Brechung von Lichtstrahlen an der Inversionsschicht kann verglichen werden mit der Brechung von Radiowellen an der Ionosphäre, bei der auch eine rapide Änderung des Brechungsindex vorkommt, die die Wellen zum Boden zurückschickt. Bekannt ist ja, dass, wenn Empfänger und Sender nicht weit voneinander liegen, man zuerst die direkte Welle empfängt; einige zehn oder hundert Mikrosekunden später folgt dann die an der Ionosphäre refraktierte Welle. Auch hier spricht man unrichtig von «an der Ionosphäre reflektierten Wellen».

Betrachtet man die verschiedenen Lichtwege der Strahlen in Fig. 3, so versteht man ohne Mühe die Entstehung der zwei Bilder der Fig. 4, wobei das obere Bild auf dem Kopf steht. Hätte man am Auge immer steiler einfallende Strahlen gezeichnet, so würde man über dem zweiten Bild sogar ein drittes erwarten, wieder aufrecht stehend, in der Vertikale aber stark verkleinert oder zusammengedrückt. TAPE (3) hat in der Tat zeigen können, dass Lichtstrahlen, auch wenn sie in ihrer Ausbreitung durch Zonen variierenden Brechungsindex abgelenkt werden, die Objektsphäre immer lückenlos auf die Bildsphäre projizieren. Wenn die Schwankungen des Brechungsindex sehr stark werden, können Lichtspiegelungen auftreten, Fata Morgana Erscheinungen, die zu einer Vermehrung der Objektbilder führen, wobei aber die Zahl der Bilder immer ungerade sein muss. Es handelt sich hier um ein Topologieproblem, welches durch Fig. 5 verständlicher und mit den Figuren 6 und 7 schön illustriert wird.

Wir konnten eine solche Vermehrung von Bildern am «Saint-Lawrence River» in Pointe au Père, Québec, Canada, beobachten (4). An diesem Ort ist der Strom mehr als 50 km breit und wir standen etwa 15 m über der Wasseroberfläche. Ein roter Dampfer, in etwa 15 km Entfernung, konnte zweimal gesehen werden. Bei diesem Abstand war er fast genau am Horizont des Wasserspiegels. In dieser Richtung - Baie Comeau, wo die Hügel 100 bis 150 m nicht übersteigen - war das gegenüberliegende Ufer 70 km entfernt und hätte nicht sichtbar sein sollen. Wie jedoch Fig. 8 zeigt, war dieses Ufer gut sichtbar, genau auf der gleichen Bildhöhe wie das Schiff, dank der arktischen Luftspiegelung. Über diesem Küstenbild sieht man es nochmals, auf dem Kopf, wie in einer Spiegelung. Den umgedrehten Dampfer sieht man auch. Der Winkelabstand dieser zwei Bilder beträgt etwa 30 Bogenminuten, wohingegen die vertikale Ausdehnung des Schiffes nur 5' bis 10' ausmacht.

Nimmt man an, dass die Länge des Bootes etwa 150 bis 200 m beträgt, dann erstreckt es sich über einen Winkel von 35 bis 45 Bogenminuten, in guter Übereinstimmung mit dem, was auf Fig. 8 zu sehen ist. Das Foto konnten wir leider nur mit einer gewöhnlichen 50 mm Linse aufnehmen, sodass das Bild in keiner Weise die Klarheit der direkten, visuellen Beobachtung wiedergeben kann. Mit der Photographie werden aber die Parameter bestätigt, die man aus der Geographie und Topographie des Ortes ableitet.

Es lohnt sich nochmals, auf die Frage der ungeraden Anzahl von Bildern eines Objektes zurückzukommen. In unserem Falle ist das oberste, dritte Bild gar nicht sichtbar, denn es wird in der Vertikalen völlig zusammengedrückt und ist vom mittleren Bild nicht zu trennen. Der Vordergrund dieses mittleren Bildes - genauer gesagt, der Bildteil, der zum Beobachter am nächsten wäre - ist auch völlig zusammengeschrumpft; er müsste über dem mittleren Bild



Figure 8. Photographie du Saint-Laurent dans des conditions favorables à la formation de mirages arctiques et de l'inversion météorologique (voir la Fig. 2). Le bateau sur la droite (à environ 15 km) et la côte opposée (à environ 70 km dans cette direction), sont visibles deux fois dans cette image. En bas on les voit par le phénomène du mirage arctique (avec des rayons rectilignes la côte opposée serait sous l'horizon visible). Au dessus on a une image inversée du bateau et de la côte, fournie par réfraction des rayons dans la zone d'inversion météorologique à quelques km d'altitude. La troisième image droite, qui serait au dessus, est si écrasée qu'elle ne peut pas être identifiée. La séparation apparente des deux images de la côte est d'environ 30 minutes d'arc.

Figur 8. Photographie des Saint-Lawrence Stromes unter Bedingungen, die zur Bildung einer doppelten Temperaturinversion günstig sind, wie auf Fig. 2 skizziert. Das Schiff auf der rechten Seite (in etwa 15 km Entfernung) und die gegenüberliegende Küste (etwa 70 km weit in dieser Richtung) sind in diesem Bild zweimal zu sehen. Unten sieht man sie dank der arktischen Lichtspiegelung (bei geradliniger Stahlenausbreitung wäre die entferntere Küste unter dem sichtbaren Horizont). Darüber hat man ein invertiertes Bild von Küste und Schiff, das durch Brechung an der meteorologischen Inversion in einigen km Höhe entsteht. Das dritte, aufrechte Bild, das darüber liegen sollte, ist so stark komprimiert, dass es nicht mehr sichtbar ist. Der scheinbare Abstand der beiden Küstenbilder ist etwa 30 Bogenminuten.

côte on en voit l'image inversée, de même que celle du bateau, inversée elle aussi. La séparation angulaire de ces deux images est d'environ 30 minutes d'arc, alors que le navire n'a qu'une extension verticale de 5 à 10 minutes.

Si l'on admet que le bateau a une longueur d'environ 150 à 200 m, il sous-tend un angle horizontal de 35 à 45 minutes d'arc, en bon accord avec ce qu'on voit sur la photographie de la Fig. 8. Pour la prise de vue nous ne disposions malheureusement pas d'un téléobjectif, de sorte que l'image ne donne aucune idée de la clarté du phénomène, tel qu'il apparaissait lors de l'observation visuelle, mais la photographie permet au moins de confirmer les paramètres qu'on déduit de la géographie et de la topographie des lieux.

Il vaut la peine de mentionner, lorsqu'on contemple l'image supérieure inversée, que l'on ne distingue pas la troisième image droite, requise par le théorème de topologie. En effet, cette image est totalement écrasée verticalement et se confond avec l'image inversée, au dessus de laquelle elle devrait se trouver. Le premier plan de l'image inversée, c.-à-d. le plan d'eau entre le bateau et la rive proche, est lui aussi complètement réduit selon la verticale; il devrait se trouver



der invertierten Fernküste zu suchen sein. Schwenkt man die Sicht vom Bild des oberen, auf dem Kopf stehenden Bootes langsam hinunter, so sieht man zuerst den umgedrehten Himmel. Die Lichtstrahlen kommen dann aber langsam in die Zone der unteren Temperaturinversion, die für die arktische Lichtspiegelung verantwortlich ist, und der obere, verkehrte Himmel wandelt sich stetig in den unteren, aufrechtstehenden Himmel. Darunter sieht man dann die ferne Küste – dank der arktischen Luftspiegelung – und den Dampfer auf gleicher Bildhöhe. Schliesslich sieht man via ungebrochenen Lichtstrahlen den nahen Vordergrund ganz unten auf dem Bild.

Referenzen/Références

(1) SAWATZKY, H. L. and LEHN W. H., 1976 : The Arctic Mirage and the Early North Atlantic. *Science*, Vol. 192, pp. 1300-1305, June 25, 1976.

(2) LEHN, W. H., 1980 : On the Sighting of Distant Unidentified Objects. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 42, pp. 471-475.

(3) TAPE, W., 1985 : The Topology of Mirages. *Scientific American*, Vol. 252, pp. 120-129, June, 1985. See also FRASER,

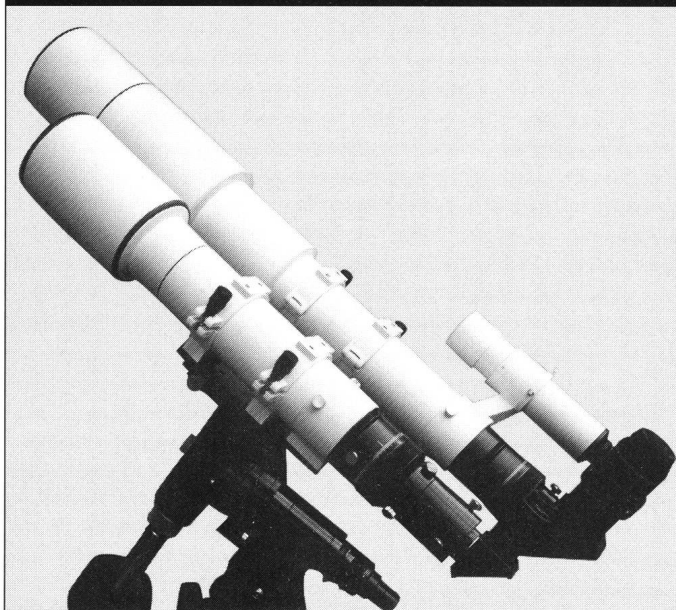
au dessus de l'image inversée de la côte opposée. Si on baisse les yeux depuis l'image du bateau renversé, on voit d'abord le ciel renversé, mais les rayons lumineux sont alors progressivement dominés par l'inversion de température inférieure, celle qui produit le mirage arctique, et le ciel inversé en haut devient ciel droit en bas. Au dessous on voit la côte opposée par le mirage arctique et le bateau au même niveau. Finalement, au bas de la photographie on a le premier plan, visible par des rayons qui n'ont subi aucune réfraction.

A. B. and WILLIAM H. M., 1976 : Mirages. *Scientific American*, Vol. 234, pp. 102-111, January, 1976.

(4) FISCHER, G., 1982 : Observation simultanée d'un objet par réflexion et par mirage arctique. *Geophysik / Géophysique, Supplément à l'Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, 1977 - 1982, pp. 53-54.

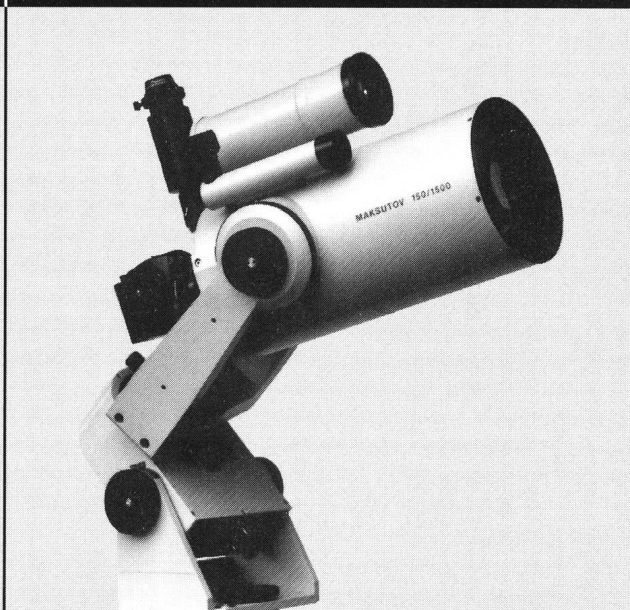
GASTON FISCHER, Université de Neuchâtel
Institut de Géologie, CH-2000 Neuchâtel

BORG 125/100 ED Refraktor



Preisgünstige Refraktoren mit hohem Kontrast und brillanter Schärfe

"INTES" Maksutov 150/1500



Spiegelsysteme höchster Schärfe zu sehr günstigen Preisen

Bestellen Sie bitte Unterlagen

RYSER *20 Jahre* **OPTIK**

Kleinhüningerstrasse 157 - 4057 Basel

☎ 061/631 31 36 - Fax 061/631 31 38