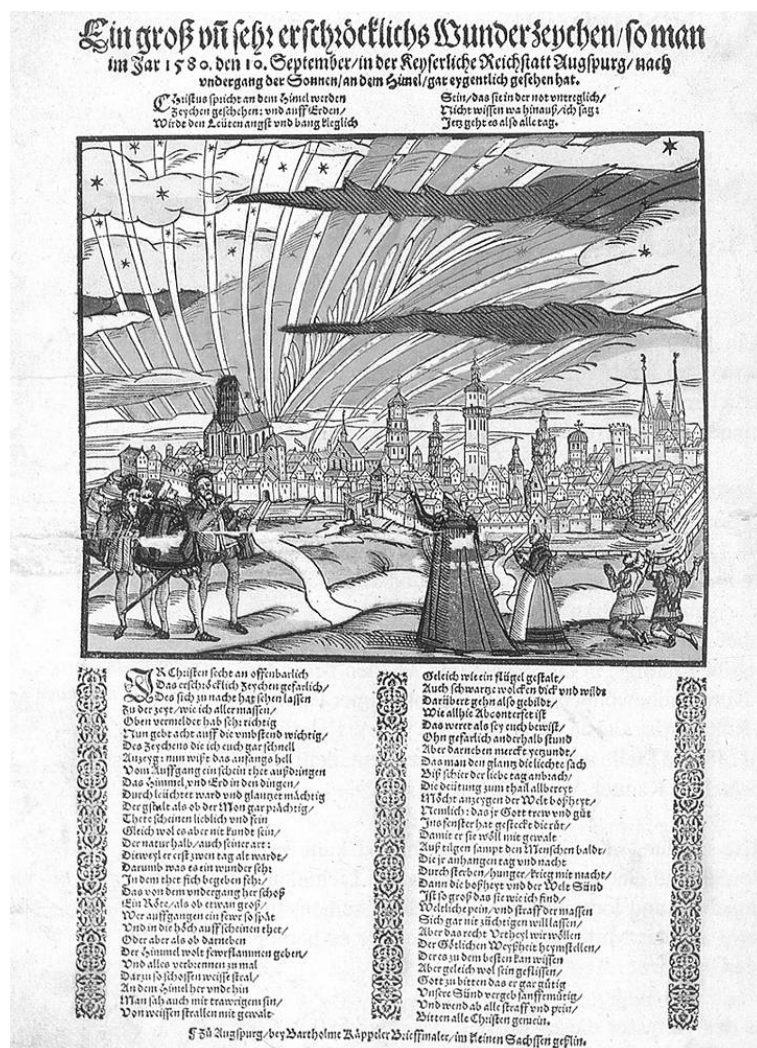


Vortrag: Polarlichter und andere atmosphärische Leuchterscheinungen Hurtig- ruten Polarlicht + Sterne, GRP 103

Polarlichter (Aurora Borealis und Auroa Australis)

„...Ein sehr großes erschrockliches Wunderzeichen, so man im Jahr 1580, den 10. September in der Kaiserlichen Reichsstadt Augsburg nach Untergang der Sonne an dem Himmel gar eigentlich gesehen hat...“



So beschreibt ein Flugblatt aus dem Jahre 1580 eine Polarlichterscheinung über Süddeutschland. Polarlichterscheinungen sind in unseren Breiten überaus selten und so lösten sie Furcht und Schrecken aus (ähnlich wie Kometenerscheinungen), während Sie in den nordischen Ländern, häufig zu beobachten sind, und deshalb Eingang in viele Mythen und Sagen der Nordvölker (z.B. in der Isländischen Edda) fanden.

Warum in unseren Breiten Polarlichter so selten zu beobachten sind, wird später beschrieben.

Historische Beschreibungen zu Polarlichtern kann man fast 2.500 Jahre zurückverfolgen. Die älteste – so glauben Fachleute – ist im alten Testament (Buch des Ezechiel, 1. Kapitel, Vers. 4) zu finden: Dort steht:

„...Ich schaute und siehe ein Sturmwind kam von Norden und eine große Wolke, rings von Lichtglanz umgeben und loderndes Feuer und aus seinem Innern, aus der Mitte des Feuers, leuchtete es hervor, wie Glanzerz....“

Diese Beschreibung, die ca. 580 vor Christi entstand, könnte durchaus die Beschreibung eines Polarlichtes sein.

Es gibt aber auch rund 2000 Jahre alte Beschreibungen aus Japan und China und auch Aristoteles hat sich mit Polarlichterscheinungen bereits auseinandergesetzt, obwohl diese im Mittelmeerraum noch viel seltener als z.B. in Norddeutschland sind.

Polarlichterscheinungen waren damals zwar beschreibbar, aber für die Menschen nicht erklärbar und wurden somit meist als Unglücksboten für große Katastrophen oder Dürreperioden – ähnlich wie bei Kometenerscheinungen - gedeutet.

Die ersten **wissenschaftlichen** Deutungsversuche gehen etwa auf das Jahr 1716 und den englischen Astronomen Edmond Halley zurück (*Stichwort*: Halleyscher Komet, erste Bahnberechnung einer Kometenbahn und Vorhersage des periodischen Erscheinens von Kometen). Halley hat selber Polarlichter nie gesehen, er soll dazu einmal gesagt haben:

„... ich würde mein Leben geben, um einmal ein Polarlicht zu sehen und glaube nun sterben zu müssen, ohne es gesehen zu haben...“

Halley vermutete durchaus richtig, dass Polarlichterscheinungen mit dem Erdmagnetfeld zusammenhängen.

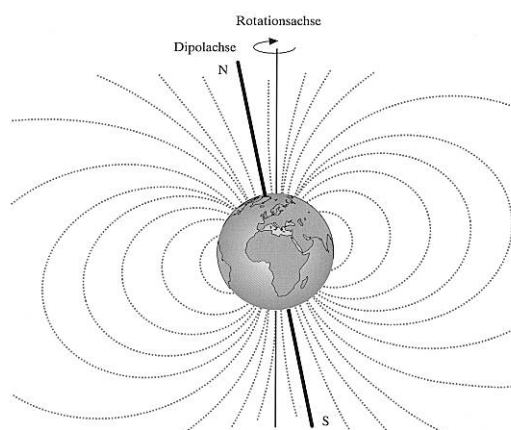
Im Jahre 1741 ließ der schwedische Physiker Celsius einen Assistenten ein ganzes Jahr lang die Stellung einer Kompassnadel beobachten und registrieren. Das Jahr hat 8.760 Stunden und der Assistent brachte es immerhin auf 6500 Eintragungen! Die erfolgreichen Messungen zeigten deutlich einen Zusammenhang zwischen Änderungen des Erdmagnetfeldes und von Polarlichterscheinungen.

Auch „Allroundforscher“ wie Humboldt und Gauß beschäftigten sich mit Polarlichtern. Allen war jedoch bei Ihren Theorien der Fehler gemein, dass Sie die eigentlichen Leuchterscheinungen als reflektiertes Sonnenlicht an Eiskristallen, Wolken oder „atmosphärischen Gasen“ interpretierten.

Dies änderte sich erst im Jahre 1867 (die Spektralanalyse war erst kurz zuvor von Fraunhofer entdeckt worden). Der Schwede Angström konnte durch Spektralanalyse eines Polarlichtes nachweisen, dass Polarlichter **selbstleuchtende** und nicht lichtreflektierende Erscheinungen waren (Spektren von selbstleuchtenden Gasen unterscheiden sich deutlich von Spektren reflektiertem Licht). Somit schied reflektiertes Sonnenlicht als Ursache aus.

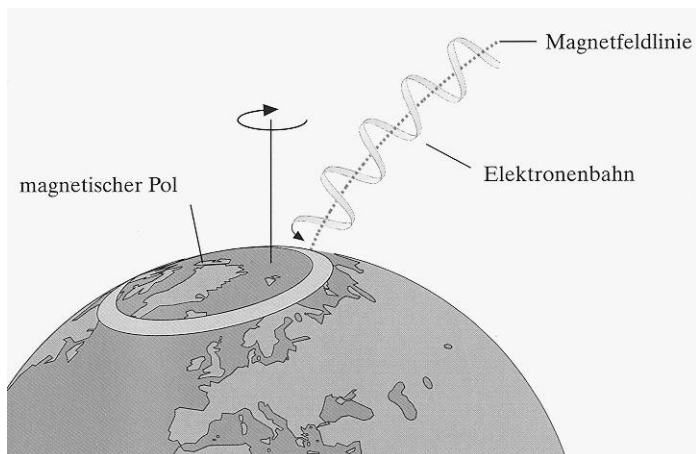
Bahnbrechend für die richtige Deutung von Polarlichtern waren um die Jahrhundertwende Arbeiten des Schwedischen Physikers Birkeland (Pioniere der Polarlichtforschung waren hauptsächlich Schweden, Finnen und Norweger. Wen wundert es, da in geographischen Breiten höher 70 Grad Polarlichter theoretisch in 365 Nächten im Jahr sichtbar sind).

Birkeland brachte eine Eisenkugel in ein luftleer gepumptes Gefäß, legte eine elektrische Spannung an die Kugel (simuliertes Stabmagnetfeld) und schoss Elektronen auf diese Kugel und konnte damit wunderbare Polarlichter simulieren.



Das Erdmagnetfeld (Quelle: Verlag Spektrum der Wissenschaft)

Einer seiner Schüler, Carl Störmer, berechnete später die Flugbahn eines einzelnen Elektrons an einer Erdmagnetfeldlinie (dies dauerte damals 5.000 Stunden, es gab ja noch keine Computer. Heute dauert so eine Rechnung weniger als 1/1000 Sekunde einschließlich der graphischen Darstellung auf dem Bildschirm).



Spiralbahn eines Elektrons an einer Erdmagnetfeldlinie (Quelle: Verlag Spektrum der Wissenschaft)

Somit war klar, wie Polarlichter entstehen aber es war völlig ungeklärt wo die Elektronen herkommen, die dann Polarlichter auslösen.

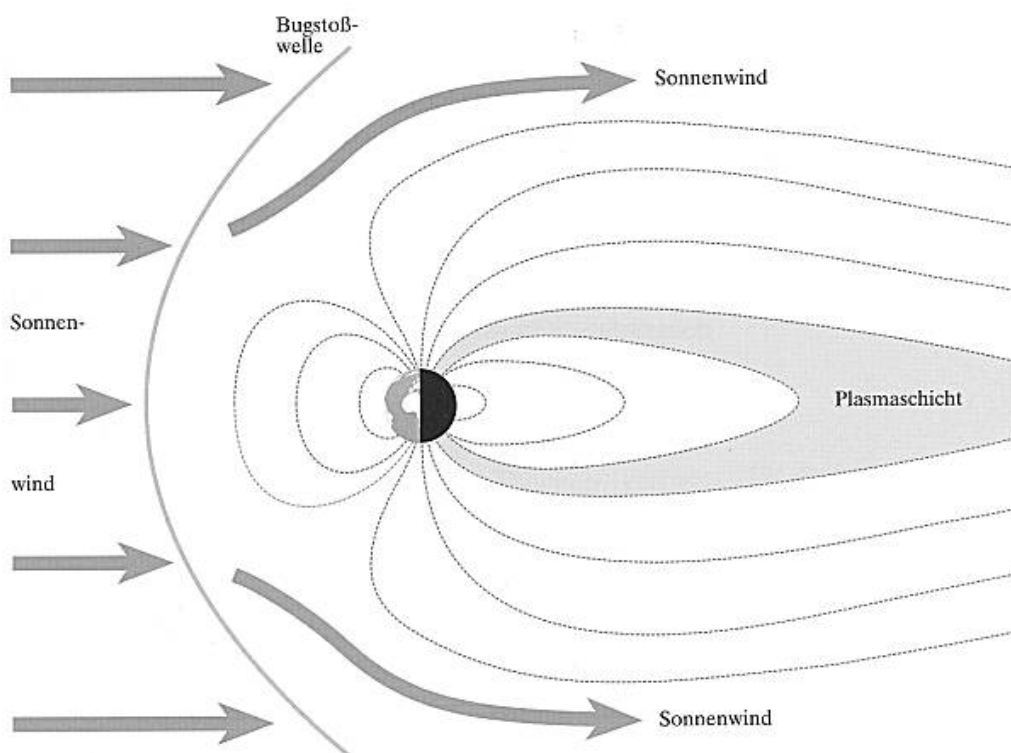
Erst in den 50 Jahren des letzten Jahrhunderts wurde der sogenannte Sonnenwind theoretisch von Biermann und Parker vorhergesagt und in den 60er und 70er Jahren durch Satellitenmessungen dann auch nachgewiesen und der Sonnenwind ist bis heute Gegenstand intensiver aktueller Forschung.

Jetzt war endgültig klar: Auslöser von Polarlichterscheinungen liegen in der Sonne und in Wechselwirkung mit dem Erdmagnetfeld begründet.

Der Sonnenwind

Der Sonnenwind ist ein kontinuierlicher Teilchenstrom aus Elektronen und Wasserstoffionen, der von der Sonne abgestrahlt wird. Diese Teilchen haben Durchschnittsreisegeschwindigkeiten von ca. 300 – 500 km/s und eine Reisezeit von der Sonne bis zur Erde von ca. 100 Stunden (4 Tage).

Die Intensität dieses Teilchenstromes ist enorm. Die Teilchendichte liegt im Durchschnitt bei ungefähr 100 Millionen Elektronen pro cm^3 und Sekunde.



Obige Graphik (Quelle: Verlag Spektrum der Wissenschaft) beschreibt, was passiert, wenn die Teilchen des Sonnenwindes auf das Erdmagnetfeld treffen:

dort wo die Elektronen auf die ersten Ausläufer des Erdmagnetfeldes treffen bildet sich eine Schockfront und die Teilchen werden abgebremst, haben aber immer noch enorme Geschwindigkeiten und verformen das Erdmagnetfeld auf der Sonnenzugewandten Seite. Auf der anderen Seite (Sonnenabgewand) wird das Magnetfeld wie eine flatternde Fahne im Wind „zerzaust“.

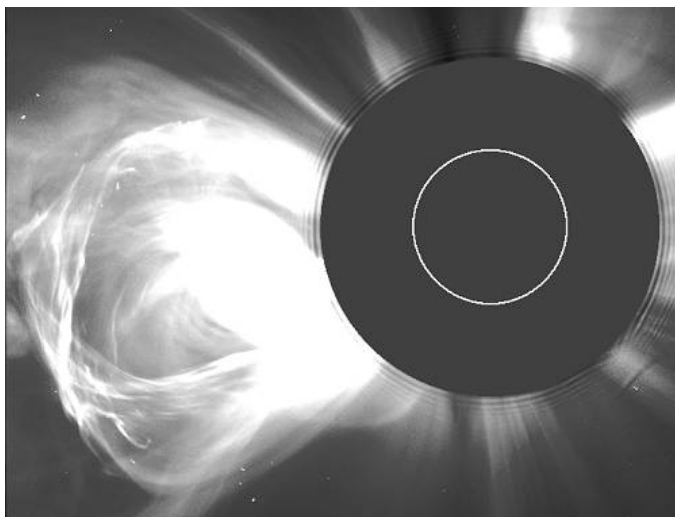
Ein kleiner Anteil der Elektronen wird entlang der Magnetfeldlinien in die Plasmaschicht „der Erdmagnetosphäre „eingesaugt“ und von dort in die obersten Schichten der Erdatmosphäre geführt. Diese Plasmaschicht ist an die Erde bei den geografischen + und – 70 Grad angekoppelt. Dies ist der Grund, warum Polarlichter gehäuft in diesen Breiten auftreten.

Was passiert nun dort? Die Elektronen (immer noch sehr schnell) stoßen dort mit Atomen der Atmosphäre regelrecht zusammen. Durch die hohe Energie dieser Stöße werden Elektronen von Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen auf weiter außen liegende Bahnen um den Atomkern katapultiert. Fallen Sie wieder auf ihre ursprüngliche Bahn zurück, so geben sie dabei Lichtphotonen ab (*Stichwort*: Prinzip einer Neonröhre).

Die Farbe des Lichtes - genauer die Wellenlänge - ist dabei abhängig vom Element und der Höhenschicht der Erdatmosphäre in der die Zusammenstöße geschehen. Dabei leuchtet Sauerstoff rot und grün, Stickstoff dagegen leuchtet in blauer- und violetter Farbe. Die Energie und damit die Lichtintensität von Sauerstoff ist wesentlich größer als die von Stickstoff, deshalb herrschen in Polarlichtern die Farben grün und rot vor. Blau und violett sind deutlich seltener.

Polarlichter entstehen in Höhen über dem Erdboden zwischen etwa 90- und 500 km. Die blau/violetten leuchten bei ca. 90– 100 km, die roten bei ca. 120 km und die grünen von 200- bis 500 km Höhe.

Zu Zeiten der maximalen Sonnenaktivität (*Stichwort*: Sonnenfleckenzyklus) gibt es große Eruptionen. Dies können Sonnenflares, aber auch die koronalen Massenauswürfe sein.



Gigantischer koronaler Massenauswurf (Quelle: NASA/ESA, SOHO)

Diese beeinflussen natürlich den Sonnenwind. Der wird dann zu einem Sonnensturm mit Elektronengeschwindigkeiten von weit über 1000km/s und „Sturmböen“, wie wir sie von den Luftstürmen in unserer Erdatmosphäre kennen. Sie lösen im Magnetfeld der Erde dann auch sogenannte Magnetische Stürme aus (Störungen im Funkverkehr, etc).

Diese Stürme wiederum lösen dann heftige Polarlichtaktivität aus. Die Polarlichter sind heller als die der ruhigen Sonne und die Leuchterscheinungen sind nicht mehr statisch, sondern die Polarlichter „flackern und wehen“ wie Vorhänge im Wind. Auch die Farbwechsel sind schnell und dramatisch. Hier spiegeln sich dann die Sonnenwindböen visuell wider.

Jetzt ist fast alles geklärt, bleibt noch die Frage warum Polarlichter nur im sogenannten Polarlichtoval am nördlichen und südlichen Pol der Erde sichtbar und in unseren Breiten so seltene Erscheinungen sind.

Zur räumliche Verteilung der Polarlichterscheinungen

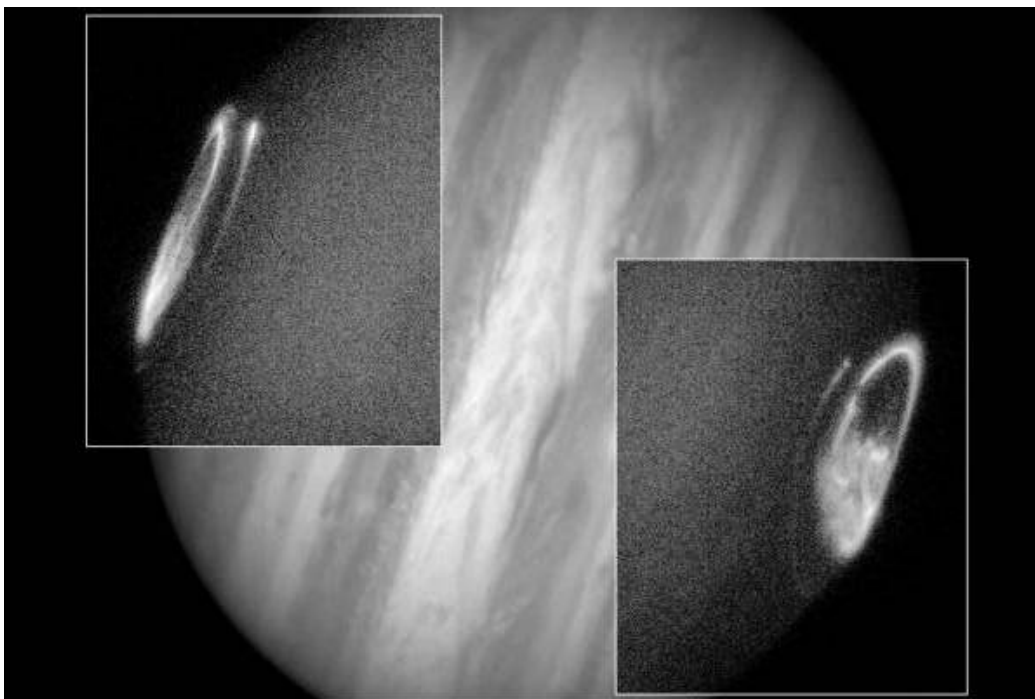
Zuerst ist zu bemerken, dass die Pole der (gedachten) Erdrotationsachse und der Magnetpole nicht identisch sind (siehe Abbildung oben: Erdmagnetfeld). Die Elektronen des Sonnenwindes können nur in einem schmalen Bereich in Polnähe in die Atmosphäre eindringen, nämlich da, wo der Plasmaschweif mit der Erde verbunden ist. Diese Zone liegt bei ca. 65 - 75 Grad nördlicher und südlicher Breite (bei etwa 70 Grad stößt die Magnetfeldachse aus der Erdkugel).

In höhere Breiten zum Nord- und Südpol sind Polarlichter wieder seltener. Die Magnetfeldlinien bilden einen Trichter um die magnetischen Pole und hier werden die Teilchen des Sonnenwindes entlang der Magnetfeldlinien in die obere Erdatmosphäre gelenkt.

Es braucht Sonnenstürme erheblicher Energie, um die Teilchen des Sonnenwindes bis in unsere Breiten zu tragen. Dann wird auch der Plasmaschweifbereich der Erde ausgedehnt und Teilchen können auch in geringeren Breiten an den Feldlinien entlang eindringen.

Polarlichter in unseren mittleren Breiten gibt es im langjährigen Durchschnitt etwa einmal pro Jahr (Im Frühjahr 2000 spektakulär, diese waren bis Spanien zu sehen). In den Mittelmeerlandern reduziert sich die Anzahl der Erscheinungen auf ca. 1 Polarlicht alle 15 – 20 Jahre.

Abschließen möchte ich den Polarlichtteil dieses Scriptes mit einem Bild, welches zeigt, dass Polarlichter nicht nur ein irdisches Phänomen sind, sondern auch auf anderen Planeten mit Magnetfeldern und Gasatmosphären zu beobachten sind.



Polarlichtovale auf dem Planeten Jupiter (Quelle NASA, Weltraumteleskop Hubble)

Andere atmosphärischen Leuchterscheinungen – Beschreibungen einiger ausgewählter Phänomene

Warum ist der Himmel blau ?

Die Sonne erscheint uns – wenn sie mittags hoch am Himmel steht - doch weiß, allenfalls leicht gelblich. Warum ist also der Himmel dann blau gefärbt?

Über Jahrhunderte haben sich Gelehrte mit dieser Frage beschäftigt. Der erste war das Universalgenie Leonardo da Vinci. Da der Himmel nicht immer blau ist (Nachts ist er schwarz, bei Sonnenauf und -untergang ist er rötlich), schloss da Vinci, dass die Farbe Blau keine Eigenfarbe der Luft sein könne.

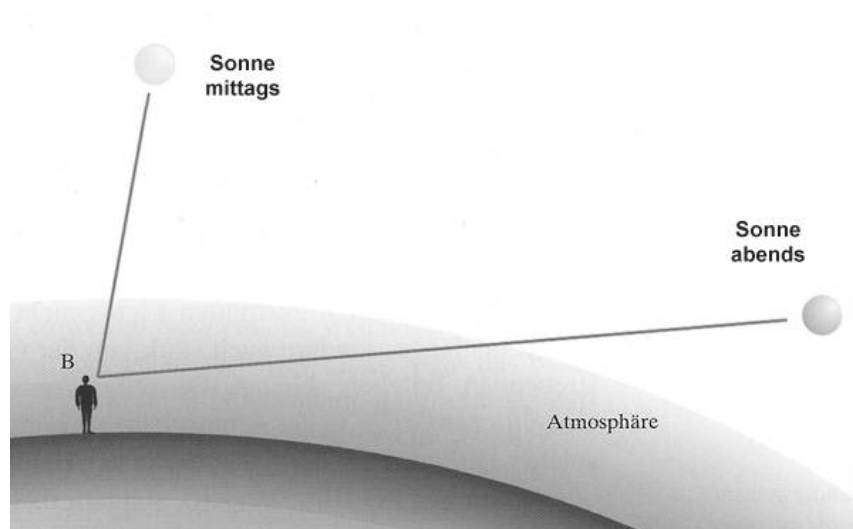
Goethe vermutete in seiner Farbenlehre (1810), dass die blaue Himmelsfarbe durch Streuung des Lichtes an „atmosphärischen Dünsten“ entsteht. Das war noch nicht ganz korrekt, aber doch die richtige Spur.

Unter **Streuung von Licht** ist folgendes zu verstehen: Die weißen Lichtstrahlen, die von der Sonne kommen, gelangen nicht direkt in unser Auge, sondern treffen in der Atmosphäre auf die Luftmoleküle des Sauerstoffs und des Stickstoffs. Jedes dieser Teilchen streut nun die Lichtwelle und wird somit seinerseits zum Ausgangspunkt der Lichtwelle (*Stichwort*: Wasserwelle. Ein im Wasser stehender Holzpfahl wird von einer Welle getroffen. Um den Pfahl entsteht eine kreisförmige Welle, die der Pfahl erzeugt).

1871 konnte der britische Physiker Rayleigh beweisen, dass die Intensität (Helligkeit) des gestreuten Lichtes von seiner Wellenlänge (Schwingungsfrequenz) abhängig ist. Je kürzer die Lichtwellenlänge ist, desto höher die Lichtintensität des gestreuten Lichtes. Da blaues Licht eine kürzere Wellenlänge als rotes Licht hat, sehen wir einen blauen und keinen rötlichen Himmel. Eine weitere alltägliche Beobachtung dazu ist die folgende:

Warum ändert sich die Farbe des Himmels bei einem Sonnenauf bzw. -untergang von blau nach rot?

Auch dieses konnte Rayleigh erklären. Hier kommt allerdings noch ein weitere Effekt dazu, nämlich die sogenannte **Extinktion**. Extinktion ist der Fachausdruck für die Abschwächung eines Lichtstrahles. Tritt ein Lichtstrahl aus dem Vakuum des Weltalls auf ein Medium (gleich welcher Art) wird die Strahlungsintensität geringer.



Die Extinktion eines Lichtstrahls in der Atmosphäre (Quelle; Verknag Spektrum d. Wissenschaft)

Auch die Extinktion ist abhängig von der Wellenlänge des Lichtes. Je kürzer die Lichtwellenlänge desto stärker die Extinktion. Da am Abend oder am Morgen für einen Beobachter der Weg

des Lichtes durch die Atmosphäre viel länger ist, als z.B. mittags, sehen wir den Himmel in einer rötlichen Farbe, da der blaue Lichtanteil wesentlich stärker abgeschwächt wird.

Übrigens wird das Licht nicht nur an Luftmolekülen gestreut, sondern ebenfalls an allen Schmutz- und Staubteilchen in der Luft. Nennen wir diese Teilchen Luftverschmutzung. Der Fachausdruck heißt Aerosole.

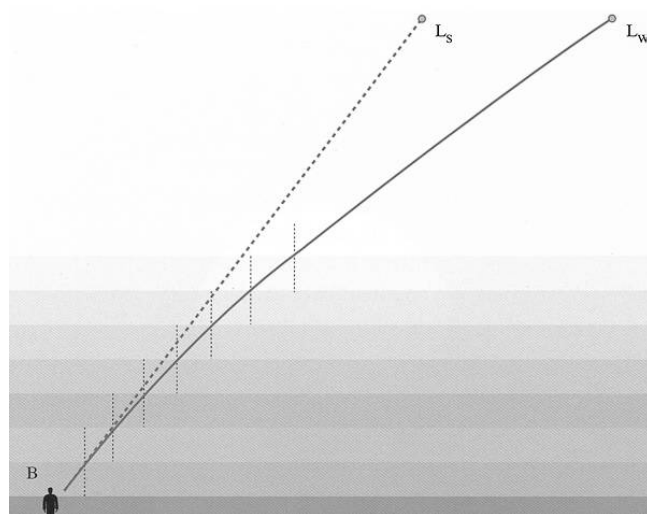
Die Streuwirkung des Lichtes an Teilchen in der Luft ist nicht nur von der Wellenlänge abhängig, sondern auch von der Größe der Schmutzteilchen. Je größer die Teilchen, desto größer auch der Streueffekt. Sind viele große Teilchen in der Luft, wird das rote Licht bei tiefstehender Sonne noch verstärkt.

Deshalb erleben wir – z.B. nach größeren Vulkanausbrüchen - wo viele Staub- und Asche- teilchen in die Atmosphäre gelangen – besonders farbenprächtige Sonnenuntergänge. In der Nähe des Meeres sind zusätzlich feinste Salzkristalle und Wassertröpfchen in der Luft für besonders rote Sonnenuntergänge verantwortlich.

Warum verformen sich Himmelskörper (Sonne, Mond) beim Auf- bzw. Untergang

Oben wurde ja bereits beschrieben, dass der Weg des Lichtes für einen Beobachter bei tief über dem Horizont stehenden Himmelsobjekten ein sehr langer ist.

Hier kommt nun ein Effekt zum Tragen, den man **terrestrische Refraktion** nennt. Refraktion bedeutet nichts anderes als Lichtbrechung. Diese Lichtbrechung ist nun wiederum nichts anderes als die Ablenkung des Lichtstrahls, wenn dieser von einem Medium in dem er sich ausbreitet in ein anderes Medium unterschiedlicher Dichte eintritt (*Stichwort*: Sie kennen den Effekt aus alltäglicher Beobachtung: Ein Holzstock in klares Wasser gestellt, scheint an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser abzuknicken).



Refraktion eines Lichtstrahls in der Atmosphäre (Quelle: Verlag Bild der Wissenschaft)

Das Bild erläutert schematisch die Schichtung unserer Lufthülle. Unsere Atmosphäre ist in Schichten aufgebaut (über dem Erdboden ist sie dicht und je höher man kommt, desto dünner wird die Luft). Auch verschiedene Temperaturen in den Schichtungen spielen hier große eine Rolle).

Die Lichtbrechung verläuft immer Richtung Horizont, deshalb wird die Horizontalachse der Sonne „verkürzt“ und die

Sonne (auch ein aufgehender Vollmond) erscheint deutlich abgeplattet als Ellipse.

Nebenstehendes Bild zeigt eine untergehende Sonne, die sowohl durch Refraktion als auch durch verschiedene Temperaturschichtungen in der Atmosphäre deutlich verformt ist.

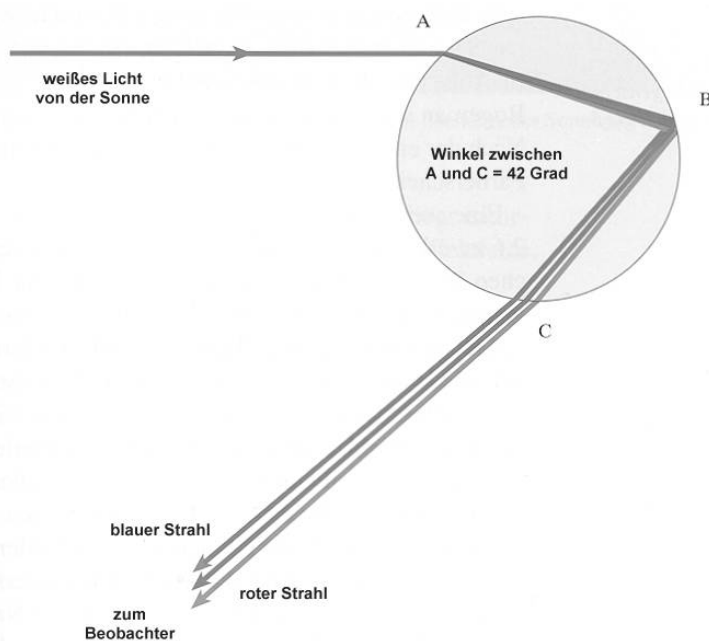


Quelle: Verlag Spektrum der Wissenschaften

Der Regenbogen

Auch der Regenbogen ist eine atmosphärische Leuchterscheinung, die wir ja alle im Vergleich zu einigen anderen Leuchterscheinungen relativ häufig sehen können.

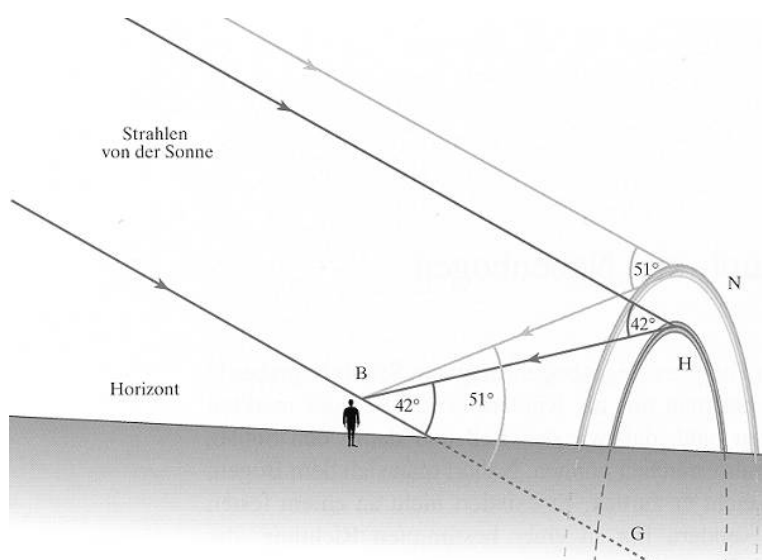
Ein Regenbogen entsteht durch Reflexion und Lichtbrechung in und an Wassertropfchen. Jedes Wassertropfchen fungiert hier als Miniprisma und spaltet das weiße Sonnenlicht dabei in die Spektralfarben auf, wie folgende Abbildung zeigt.



Wassertropfchen mit Aufspaltung des Lichtes in seine Spektralfarben (Quelle: Verlag Spektrum der Wissenschaften)

Zwischen Ein- und Austrittspunkt des Lichtstrahls (A – C) liegen genau 42 Grad, deshalb sehen wir einen Regenbogen immer als einen Kreisausschnitt von 42 Grad Durchmesser um den Sonnengegenpunkt (siehe unten) herum.

Der Regenbogen erscheint uns auf einem Vorhang von Wassertropfchen, der von der Sonne beschienen wird. Deshalb erscheint er dem Betrachter immer der Sonne entgegengesetzt. Ein Regenbogen erreicht seinen maximalen Durchmesser, wenn die Sonne nur noch dicht über dem Horizont steht. Im Sommer, bei einem hohen Sonnenstand gegen Mittag wäre ein Regenbogen überhaupt nicht sichtbar, wie untenstehendes Bild verdeutlicht.



Der Hauptregenbogen (H) liegt in konzentrischen, farbigen Kreisen um den Sonnengegenpunkt (G). Er ist ein fiktiver Punkt, genau auf der Verlängerung Sonne – Beobachter. Oft sieht man nur den Hauptbogen (H) der einen Kreisdurchmesser von 42 Grad um den Sonnengegenpunkt hat, seltener einen Nebenbogen (N) mit einem Kreisdurchmesser von 51 Grad. Dieser wird dann sichtbar, wenn in den Regentropfen eine Doppelreflexion stattfindet. Dann verlässt ein zweiter Licht-

strahl den Tropfen im zusätzlich im Winkel von 51 Grad. Die Größe der Wassertropfchen hat einen Einfluß auf die Farben, die wir in einem Regenbogen sehen.

Sehr selten ist die Erscheinung eines Nebelregenbogens. Durch die Feinheit der Wassertropfchen sehen wir ihn nur von weißer Farbe. Auch im Mondlicht kann man in sehr seltenen Fällen einen Regenbogen sehen. Auch er wirkt nur in weißer Farbe, dies liegt aber in der schlechten Farbsichtigkeit des Auges bei Dunkelheit begründet.

Haloerscheinungen

Haloerscheinungen entstehen ähnlich wie ein Regenbogen, jedoch erfolgt die Lichtbrechung und Reflexion hier immer an Eiskristallen, die sehr verschiedenförmig ausgestaltet sein können (betrifft die geometrische Form des Eiskristalls und der daraus resultierenden Anzahl von Brechungen und Reflexionen).

Weitere Haloerscheinungen, die alle auf Reflexion und Brechung in Eiskristallen erzeugt werden sind:

- Lichtsäulen
- Nebensonnen
- Berührungsbögen zu Sonnenhalos

Aureolen (Höfe) und Glorien

Höfe und Glorien sind Erscheinungen, die durch **Lichtbeugung** entstehen. Häufig kann man um den Vollmond einen farbigen Hof beobachten. Glorienerscheinungen – wie z.B. das sogenannte Brockengespenst - sind sehr selten.

Lichtbeugung entsteht folgendermaßen: Läßt man einen Lichtstrahl durch ein sehr kleines Loch fallen und projiziert das Bild auf einen Schirm, so wird die Lichtquelle als ein Muster konzentrischer - abwechselnd dunkler und heller – Ringe abgebildet. Dieses Muster entsteht durch die Beugung des Lichtes an der kreisförmigen Blende.

Das Licht wird auch gebeugt, wenn es auf ein Scheibchen oder ein Kügelchen fällt. Wichtig ist nur die kreisförmige Begrenzung des Hindernisses. Der oben angesprochene Mondhof entsteht an feinsten Wassertropfchen.

Weitere atmosphärische Leuchterscheinungen sind unter anderem:

- Leuchtende Nachtwolken
- Sternschnuppen
- Blitze

© 2009 Wolfgang Paech

Literaturhinweise (Bücher vielleicht teilweise vergriffen):

- Ytter, H.-F.: Das Polarlicht, Verlag freies Geistesleben, 2. Auflage 1999, ISBN 3-7725-0761-1
Prachtvoller Bildband mit wunderschönen Polarlichtbildern und vielen geschichtlichen Zitaten und Überlieferungen, teilweise sehr esorischer Text, teuer
- Bullrich, K.: Die farbigen Dämmerungserscheinungen, Birkhäuser verlag 1982, ISBN 3 – 7643 – 1355 – 2
Beschäftigt sich ausschließlich mit den Dämmerungsfarben, teilweise sehr theoretisch aber durchaus empfehlenswert, preiswert

- Schlegel, K.: Vom Regenbogen zum Polarlicht, Spektrum Verlag 1999, ISBN 3 – 8274 – 0530 – 0
Beschreibung aller Erscheinungen mit guten Graphiken, schönen Beispielbildern und gut erklärten Texten, preiswert
- Minnaert, M.: Licht und Farbe in der Natur, Birkhäuser Verlag 1992
Sehr umfangreiches Buch, Übersetzung aus dem Holländischen, gilt als Standardwerk der atmosphärischen Optik, teuer
- Hoeppe, Götz: Blau – Die Farbe des Himmels, Spektrum Verlag 1999
Brandneu, gut geschrieben, viel Geschichtliches zur atmosphärischen Optik, mittelteuer

Surftipps:

Polarlichtaktivität und Sonnenwetter

<http://www.spaceweather.com>

Atmosphärische Erscheinungen allgemein

<http://www.vds-astro.de/fachgruppen/atmosphaerische-erscheinungen.html>

Meteore, Sternschnuppen etc

<http://www.meteoros.de/>