

Lichtphänomene in der Atmosphäre

Die Dämmerungsphänomene

Visuell noch spannender als den Sonnenauf- oder -untergang finde ich persönlich die **Dämmerungsphasen** mit ihren sanften Übergängen vom hellen Gelb über ein kräftiges Orange hin zum schwachen Rot am Abend oder umgekehrt am Morgen. Vor allem der famose Kontrast dieser Farbwechsel zu dem darüberliegenden blauen oder purpurnen Himmel fasziniert mich immer wieder aufs Neue. Wie und wann entstehen die spektakulären Farbenspiele aber genau? Beginnen wir zunächst damit, den Begriff zu bestimmen.

„Dämmerung“ meint jene Momente, in denen die Sonne vor ihrem Aufgang beziehungsweise nach ihrem Untergang unter dem Horizont steht, aber trotzdem schon oder noch zur Beleuchtung des Himmels und zu einem kleinen Teil auch der Landschaft beiträgt. Astronomisch gesehen definiert sich die Dämmerung denn auch als der Zeitraum, den die Sonne braucht, um am Abend ihre Position von 0° (Sonnenuntergang) auf einen Winkel von -18° unter dem Horizont zu verringern beziehungsweise am Morgen zu erhöhen. Aber diese Zeitspanne ist wohl zu lang, um sie einfach so hinzunehmen. Deswegen unterteilt man sie in der Regel und nennt den Winkelbereich zwischen 0° und -6° **bürgerliche Dämmerung**, den zwischen -6° und -12° **nautische Dämmerung** und den von -12° bis -18° **astronomische Dämmerung**. Die Unterschiede zwischen diesen Phasen lernen wir gleich genauer kennen.

Doch die Definition ist nur ein Teil. Für wichtiger halte ich, daß die Länge der Dämmerung sowohl mit der geographischen Breite als auch mit dem Jahresverlauf schwankt. Je nach Position des Beobachters und Jahreszeit kann sie in weniger als einer Stunde vorüber sein oder die ganze Nacht dauern. Nur in den tropischen Gefilden rund um den Äquator hält

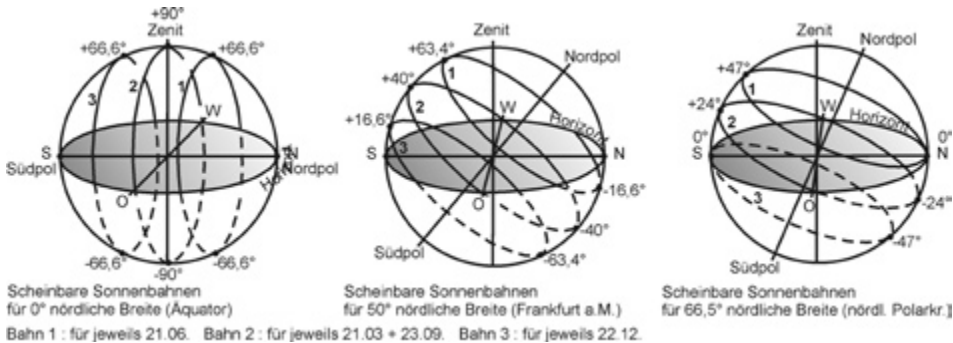


Abb. 23: Scheinbare Sonnenbahn

sie aufgrund der dort übers Jahr relativ konstanten Winkelverhältnisse zwischen Erde und Sonne mit einer guten Stunde beinahe immer gleich lang an.

Der Grund für die Abweichungen in der Dämmerungslänge liegt hauptsächlich in der Stellung der scheinbaren Sonnenbahn zum jeweiligen Breitenkreis. Nahe dem Äquator steht die Bahn nahezu senkrecht zur Horizontebene und die Sonne nimmt in Bezug auf ihren Höhenwinkel einen relativ kurzen Weg, geht also steil auf und unter. Je weiter man sich aber nach Norden oder Süden vom Äquator entfernt, umso stärker weicht die Sonnenbahn aufgrund ihres flacheren Verlaufs von diesem Ideal des kurzen Wegs ab. Und auf einer flachen Bahn braucht die Sonne einfach länger, um einen bestimmten Winkel über oder,

wie in unserem Fall, unter dem Horizont zu erreichen als auf einer steilen. Abb. 23 zeigt dies deutlich, wenn wir die scheinbaren Sonnenbahnen des jeweils selben Datums für 0° und 50° nördlicher Breite miteinander vergleichen. Zur Bestätigung wollen wir auch einige berechnete Werte für die Länge der Dämmerung vergleichen: 30° nördlicher Breite 80 Minu-

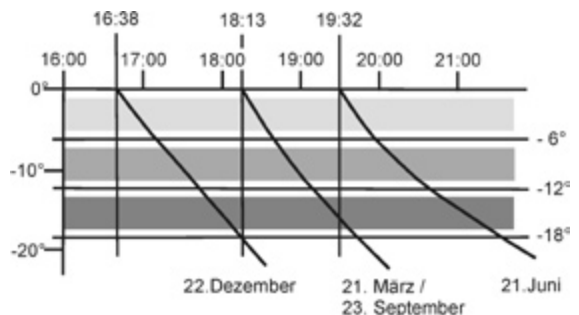


Abb. 24: Höhenwinkel der Sonne (2)

Lichtphänomene in der Atmosphäre

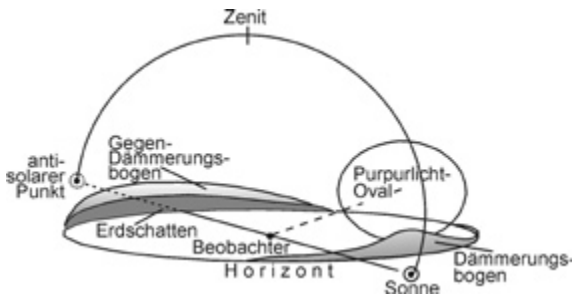


Abb. 25: Dämmerungsphänomene

ten, 40 nördlicher Breite 91 Minuten, 50° nördlicher Breite 110 Minuten, 60 nördlicher Breite 147 Minuten (jeweils für den 21.03.

Zusätzlich dazu ändert sich die Stellung der Erde gegenüber der Sonne im Jahresverlauf. Im Juni neigt sie ihr die Nordhalbkugel zu, im Dezember die Südhalbkugel. Dies wird in den unterschiedlich steil ausgeprägten Bahnen in Abb. 24 deutlich. An ihnen erkennt man, daß die Dämmerung bei 40° nördlicher Breite zur Sommersonnenwende am 21.06. mit 123 Minuten am längsten und zu den Tagundnachtgleichen am 21.03./23.09. mit je 91 Minuten am kürzesten andauert. Aufgrund der Winkelverhältnisse fällt die Wintersonnenwende am 21.12. mit einer Dämmerungslänge von 97 Minuten zwischen die beiden anderen und nicht, wie vielleicht erwartet, auf den dritten Platz. Noch was: Die Länge der Dämmerung nach

Sonnenuntergang ist in jedem beschriebenen Fall identisch zu der vor Sonnenaufgang!

Abb. 25 zeigt die wesentlichen Phänomene der Dämmerung. Den Bereich, in dem sich die morgendliche und abendliche Farbenpracht entfaltet, nennen wir **Dämmerungsbogen**. Ihn können wir nicht nur anhand der Farben, sondern auch seiner räumlichen Verteilung wegen eingrenzen, denn er erstreckt sich im Winkel von 90° zu beiden Seiten der Sonne und aufgrund der dort überproportional mächtigen Luftmasse, die zur Lichtstreuung nötig ist, bis zu 30° hoch über den Horizont.

Der nachstehende „Fahrplan“ veranschaulicht die wichtigsten Phänomene, die die abendliche Dämmerung zu bieten hat. Am Morgen laufen diese zwar grundsätzlich umgekehrt ab, aber zwei kleine Anmerkungen gilt es doch zu machen. Zunächst einmal sind unsere Augen in der Früh vollständig an die vorangegangene Dunkelheit adaptiert und damit empfindlicher als am Abend. Dagegen bezieht die Abend-Dämmerung aus der oft höheren Luftfeuchtigkeit und dem mit der größeren Turbulenz der Luft einhergehenden vermehrten Staub- und Partikelanteil der Atmosphäre reichere, gesättigtere Farben und damit einen qualitativen Vorteil.

Alle Minutenangaben verstehen sich als Näherungswerte für die Breiten Europas und Nordamerikas, die, wie wir gesehen haben, je nach Position und Jahreszeit abweichen können.

30 Minuten vor Sonnenuntergang Höhenwinkel der Sonne +5°

Sinkt die Sonne auf eine Höhe von 5° über dem Horizont, so tritt der Dämmerungsbogen das erste Mal in Erscheinung und kündigt den bevorstehenden Sonnenuntergang mit einer deutlich sichtbaren Farbveränderung des Himmels nahe dem **westlichen Horizont** hin zu einem warmen Gelb oder Rot-Gelb an.

Zur gleichen Zeit, oft durch die größere Intensität auf der anderen Seite übersehen, ändert sich auch die Farbe des **östlichen Horizonts** und der eventuell darüberstehenden Wolken in ein schwaches Rosa.

Sonnenuntergang, Höhenwinkel der Sonne 0° Beginn der bürgerlichen Dämmerung, Abb. 28

Nun beginnt die auch **ziviles Zwielficht** genannte Phase der Dämmerung, in der noch genügend Licht für präzise Arbeiten oder das Lesen im Freien zur Verfügung steht.

In den meisten Ortschaften müssen zu dieser Zeit die Straßenlaternen eingeschaltet werden und die Rezeptoren in unseren Augen werden noch genügend stark erregt, um uns Farben wahrnehmen zu lassen.

Sinkt die Sonne unter die Horizontlinie, so verstärkt sich der gelb-rote Schein **im Westen** zu einem immensen Glühen. Zeitgleich erheben sich **im Osten** das flache bläuliche Band des **Erdschattens** und der darüberliegende zart rosafarbene **Gegendämmerungsbogen** über die Grenze zwischen Himmel und Erde.

Der **Erdschatten** ist nichts weiter als die durch die tiefstehende Sonne hervorgerufene Projektion der Erdkrümmung auf die Atmosphäre. Je höher wir uns befinden und je weiter unser Blick reicht, umso deutlicher nehmen wir ihn wahr. Weiter als bis 6° über dem Horizont können wir ihm aber normalerweise nicht mit unseren Augen folgen. Darüber hinaus hängt die Dauer seiner Sichtbarkeit vom Grad der Reinheit der Atmosphäre ab: je mehr Dunstpartikel diese enthält, umso eher entschwindet er unseren Blicken. Wenn es scheint, als sei der Erdschatten schon lange vor Sonnenuntergang sichtbar, handelt es sich in der Regel um eine reflektierende Dunstschicht. Der **Gegendämmerungsbogen** wird

Lichtphänomene in der Atmosphäre

durch das Zurückstreuen des Lichts in der sehr dichten unteren Atmosphäre hervorgerufen.

12 Minuten nach Sonnenuntergang Höhenwinkel der Sonne -2°

Mit dem Sonnenstand von -2° steigt der **Erdschatten** höher und umfängt alles in seinem Bereich mit einem dumpfen Blau-Grün. Der darüberliegende **Gegendämmerungsbogen** zeigt nun von unten nach oben einen Farbverlauf von Violett über Orange und Gelb nach Blau. In westlicher Richtung dunkelt der gelbliche **Dämmerungsbogen** bei verstärkter Intensität nun ein wenig ab.

30 Minuten nach Sonnenuntergang, Höhenwinkel der Sonne -5° , Abb. 29

Gute 30 Minuten nach ihrem Untergang steht die Sonne bei -5° und der **westliche Horizont** hat eine gelb-orangene Farbe angenommen. In einer Höhe von 45° über der Sonne breitet sich der **Dämmerungshof** über einem diffus begrenzten ovalen Teil des Himmels aus. Belichtungstechnisch beachtenswert ist die Tatsache, daß das Licht hier eher in vertikaler (auf kurzer Strecke

um zwei Belichtungswerte) als in horizontaler Richtung (schnell um einen Belichtungswert, der dann lange konstant bleibt) schwindet.

Unter guten Bedingungen ist in diesem Bereich des Himmels auch das sogenannte **Purpurlicht-Oval** zu sehen. Diese spektakuläre Darbietung entsteht durch die Mischung des in der Atmosphäre durch die Rayleigh-Streuung geröteten direkten Sonnenlichts mit dem indirekten, mehr blauen, Anteil der Stratosphäre. Da die Menge des zur Entstehung des letzteren Anteils nötigen Dunstes in der 20-25 km hoch gelegenen Stratosphäre schwankt, fällt das Purpurlicht mal mehr mal weniger stark aus und kann an manchen Orten sogar für Jahre unsichtbar bleiben. Im Mittel ist es im Spätsommer und im Herbst häufiger zu sehen als im Frühjahr. Tragischerweise ist es einige Monate nach einem heftigen Vulkanausbruch, wenn sich die dabei freigesetzten Schwefeldioxyd-Aerosole in den hohen Luftschichten rund um den Globus verteilt haben, am ausgeprägtesten. Seinen ganzen Bereich am Himmel zu photographieren ist schwierig, da der Kontrast zwischen dem Horizont und den ins Dunkle übergehenden Rändern sehr groß ist. Sollten Sie das Glück haben, das Purpurlicht irgendwo anzutreffen, wer-

den sie nicht umhinkommen einen Grauverlauffilter zu benutzen und den durchzeichnenden Bereich nach genauen Kontrastmessungen einzugrenzen.

Der **östliche Himmel** sieht nun den immer diffuser werdenden **Erdschatten** und den schwinden **Gegendämmerungsbogen**, weil die Sonne in einem Winkel zur Atmosphäre steht, in dem zu wenig Licht gestreut wird, um sie am Leben zu erhalten.

Höhenwinkel der Sonne -6° Beginn der nautischen Dämmerung

Zu diesem Zeitpunkt beginnt das **nautische Zwielficht** mit dem der Horizont „verschwindet“, das heißt nicht mehr klar vom Himmel unterschieden werden kann. Objekte auf der Erde können wir nun nur noch schemenhaft erkennen und die Farben schwinden in unserer Wahrnehmung zu einem Grau, aber dafür sind einzelne helle Sterne sichtbar.

Sobald der Sonnenmittelpunkt rund 40 Minuten nach Sonnenuntergang eine Position von 6° unter dem **westlichen Horizont** erreicht hat, nimmt dieser eine markante orangene Färbung an. Der **Dämmerungshof** und das vielleicht vorhandene **Purpurlicht**



Abb. 28: Dämmerungsphänomene Sonnenuntergang

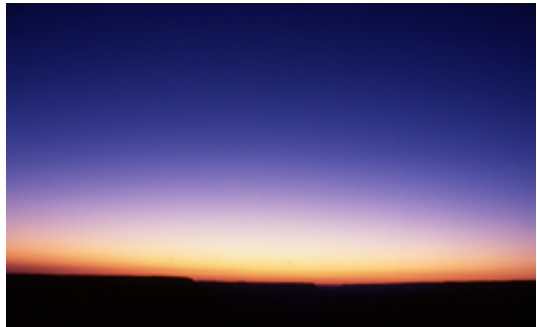


Abb. 29: Dämmerungsphänomene -5°

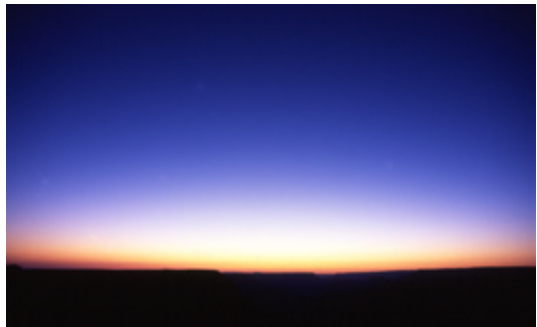


Abb. 30: Dämmerungsphänomene -8°

Lichtphänomene in der Atmosphäre

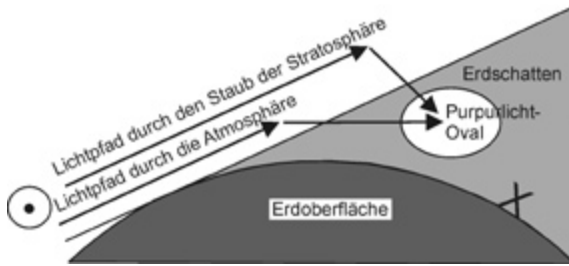


Abb. 26: Entstehung des Purpurlichts



Abb. 27: Echtes Purpurlicht über der Tampa Bay / Florida

darüber weichen nun langsam einem wieder blauen Himmel. Im **Osten** sind der Erdschatten und der Gegendämmerungsbogen vergangen, aber das zuerst purpurne und dann rote **Alpenglühen** verleiht den in dieser Himmelsrichtung gelegenen höheren Erhebungen nun bemerkenswerte Akzente.

Das **Alpenglühen** ist der an Ort und Stelle bereits untergegangene und nur noch für weiter westlich stehende Beobachter sichtbare Dämmerungsbogen, den die hohen Berge oder auch hochstehende Wolken gegenüber der Sonne einfangen beziehungsweise reflektieren. Licht also, das durch die Rayleigh-Streuung einen Großteil seines blauen Spektrums verloren hat und uns nun in den verbleibenden kräftigen Rottönen erscheint. Entgegen der oben hervorgehobenen Wichtigkeit der Dunstpartikel für die rote Qualität des Sonnenuntergangs ist das Alpenglühen um so intensiver, je reiner die Luft ist. Denn aufgrund des langen Weges genügt hier allein die Sortierung der Wellenlängen durch Streuung.

Aufgrund des großen Kontrastes zwischen dem beleuchteten Horizont und dem im völligen Dunkel liegenden Vordergrund lässt sich die Landschaft nun selbst bei Verwendung

eines starken Grauverlauffilters nur noch als Silhouette mit ins Bild einbeziehen. Alle aussagekräftigeren Kompositionen brauchen die Beleuchtung der zumindest knapp über dem Horizont stehenden Sonne.

50 Minuten nach Sonnenuntergang, Höhenwinkel der Sonne -8° , Abb. 30

Eine gute dreiviertel Stunde nach Sonnenuntergang reicht der zusehends verblässende rötliche **Dämmerungshof** noch immer bis zu 10° in den Himmel über dem **westlichen Horizont**. Im **Osten** ist der **Gegendämmerungsbogen** dagegen einer letzten schwachen Reflexion vor dem ansonsten dunklen Firmament gewichen.

Höhenwinkel der Sonne -12° Beginn der astronomischen Dämmerung

Nach 70 Minuten hat der Himmel über dem **westlichen Horizont** alle Farbe verloren und das nautische weicht dem **astronomischen Zwielficht**, welches bis zur völligen Dunkelheit bei einem Sonnenstand von -18° andauert. Von diesem Moment an trägt die Sonne auch nicht mehr mit dem an der oberen Atmos-

phäre gestreuten Licht zur Erhellung des Himmels bei und bei unbewölktem Himmel sind viele Sterne sichtbar.

Die folgenden Zahlenreihen geben einen handhabbaren Eindruck von den tatsächlichen Dämmerungslängen in Abhängigkeit von geographischer Breite und Jahreszeit. Die Dämmerungslängen (bürgerliche-, nautische- und astronomische Dämmerung) sind in Minuten angegeben, SA = Sonnenaufgang, SU = Sonnenuntergang. Für die jeweiligen Breiten der Südhalbkugel gilt: Die Daten für den 21.03. und den 23.09. sind wegen der Tagundnachtgleiche identisch, der 21.06. auf der Nordhalbkugel entspricht dem 22.12. auf der Südhalbkugel und der 22.12. im Norden dem 21.06. im Süden.

0° N Äquator

21.03. bürgerlich: 21, nautisch: 24, astronomisch: 24, SA 06:04 SU 18:10
21.06. bürgerlich: 23, nautisch: 24, astronomisch: 26, SA 05:58 SU 18:06
23.09. bürgerlich: 21, nautisch: 24, astronomisch: 24, SA 05:49 SU 17:56
22.12. bürgerlich: 23, nautisch: 26, astronomisch: 26, SA 05:55 SU 18:03