

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

250

Optische Erscheinungen und andere ungewöhnliche Wetterphänomene auf der Wetterwarte Fichtelberg

von

Claudia Hinz unter Mitwirkung von Wolfgang Hinz, Gerd Franze,
Matthias Barth und Stefan Bach



250

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

Optische Erscheinungen und andere ungewöhnliche Wetterphänomene auf der Wetterwarte Fichtelberg

von

Claudia Hinz unter Mitwirkung von Wolfgang Hinz, Gerd Franze,
Matthias Barth und Stefan Bach

Zitationsvorschlag:

Hinz, Claudia, et al. (Hrsg.: Deutscher Wetterdienst): Ungewöhnliche Wetterphänomene und optische Erscheinungen auf der Wetterwarte Fichtelberg - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 2017.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 250)

ISSN: 2194-5969 (Online)
ISBN: 978-3-88148-505-0 (Online)

Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz:



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden. Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Die in den DWD-Berichten veröffentlichten Texte werden allein von ihren jeweiligen Autoren verantwortet; die darin zum Ausdruck gebrachte Meinung entspricht nicht notwendig der Meinung des Herausgebers (Deutscher Wetterdienst).

Fachliche Durchsicht: Dr. Alexander Haußmann (TU Dresden)

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst
Fachinformationsdienst und
Deutsche Meteorologische Bibliothek
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach
bibliothek@dwd.de
www.dwd.de

Korrespondenzadresse:

Deutscher Wetterdienst
Claudia Hinz
Abteilung Messnetze und Daten
Fichtelbergstr. 3
09484 Oberwiesenthal
Claudia.Hinz@dwd.de

Autoren:

Claudia Hinz, Gerd Franze,
Matthias Barth,
Deutscher Wetterdienst,
Wetterwarte Fichtelberg;
Stefan Bach,
Deutscher Wetterdienst,
VBZ Offenbach;
Wolfgang Hinz

Vorwort

Der Fichtelberg im Erzgebirge ist mit 1215 Metern die höchste Erhebung Sachsens und liegt an der Grenze zu Tschechien. Gemeinsam mit dem nahe gelegenen Keilberg (heute tschechisch Klínovec; 1244 m) auf böhmischer Seite bildet er den höchsten Punkt des Erzgebirgskamms. Die von Südwest nach Nordost ansteigende Pultscholle des Gebirges fällt nach Süden hin steil ins Egertal (heute tschechisch Údolí Ohře) ab. In diesem, nach Süden vom Duppauer Gebirge (heute tschechisch Doupovské hory) und dem Kaiserwald (heute tschechisch Slavkovský les) eingerahmten Tal sammelt sich bei herbstlichen und winterlichen Hochdruckwetterlagen die Kaltluft (Böhmischer Nebel). Durch diese Konstellation liegt der Fichtelberg entweder in einer trockenen warmen Luftmasse darüber (Inversion) oder er wird direkt vom Böhmischen Nebel beeinflusst, wenn dieser über den Kamm fließt. Das führt zu zahlreichen optischen Erscheinungen, die es sonst in dieser Fülle nur selten gibt. So besticht der Gipfel bei Inversionswetterlagen nicht nur mit einer außergewöhnlichen Fernsicht, sondern auch mit ungewöhnlich starken Refraktionseffekten wie Luftspiegelungen, stark deformierter oder geteilter Sonnenscheibe sowie mehrfachen Grünen, Blauen und Roten Strahlen an der horizontnahen Sonne. Die Dämmerungsfarben sind bei derartigen Wetterlagen sehr intensiv und neben Purpur- und Gegenpurpurlicht und stark ausgeprägtem Erdschattenbogen zeichnen sich manchmal auch die Schatten weit entfernter Berge oder Wolken am Himmel ab (Crepuscularstrahlen). Fließt der Böhmische Nebel über den Erzgebirgskamm, entstehen bei gleichzeitigem Sonnenschein im Sommer Glorie und Nebelbogen und im Winter atemberaubende Eisnebelhalos.

Insgesamt 70 Mitarbeiter haben in den über 100 Jahren des Bestehens der Wetterwarte Fichtelberg neben umfangreichen Wetterbeobachtungsdaten auch unzählige Besonderheiten festgehalten. Darunter sind einige Beobachtungen, die in dieser Form noch nicht dokumentiert wurden. Diese Beobachtungen sind die Grundlage der Auswertungen, die in dieser Broschüre zusammengefasst werden. Hinzu kommt die ehrenamtliche Arbeit der Autoren Claudia und Wolfgang Hinz im Arbeitskreis Meteore e.V. (www.meteoros.de), der sich unter anderem mit der kontinuierlichen Beobachtung und wissenschaftlichen Auswertungen optischer Lichterscheinungen beschäftigt. Ihre Erfahrung und ihr Hintergrundwissen fließt ebenfalls in diese Publikation ein. In ihrem praxisorientierten Buch „Lichtphänomene – Farbspiele am Himmel“ versuchen sie das Interesse an den wunderschönen Erscheinungen zu wecken, welche uns die Natur, das Licht und die Erdatmosphäre immer wieder bieten. Es betrachtet die physikalischen Vorgänge auf leicht verständliche Weise und versucht den Leser, zu eigenen Beobachtungen anzuregen.

Bedanken möchte ich mich bei Dr. Alexander Haußmann (Institut für Angewandte Physik der TU Dresden) für die fachliche Durchsicht, bei Susanne Schorlemmer und der Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes für die Umsetzung dieser Broschüre und bei allen, die Fotos und Grafiken zur Verfügung gestellt haben.

Claudia Hinz
Wetterwarte Fichtelberg, 19.10.2017

Zusammenfassung

Auf dem Fichtelberg im Erzgebirge sind durch den Einfluss des Böhmisches Nebels besonders oft atmosphärische Erscheinungen beobachtbar. In den über 100 Jahren seit Bestehen der Wetterwarte wurden diese akribisch dokumentiert, so dass nun umfangreiche Abhandlungen möglich sind. Nicht nur beim Studieren des vorhandenen Materials, sondern auch bei eigenen Beobachtungen fällt auf, dass einige Erscheinungen von bisherigen Publikationen abweichen. So ist der Grüne Strahl auf dem Fichtelberg weder selten noch eine Einzelercheinung, bisweilen kann er 20 Mal in Folge und bis weit nach Sonnenaufgang beobachtet werden. Hinzu kommen Refraktionseffekte, die bisher nur aus der Arktis bekannt sind. Auch die zahlreichen Eisnebelhalos im Winter stellen eine Besonderheit dar, denn die Bedingung ihrer Entstehung steht im Widerspruch zu allem, was in meteorologischen Lehrbüchern zu finden ist. So zerfällt der aerosolhaltige Böhmisches Nebel, wenn er über den Erzgebirgskamm fließt, bereits bei geringen Minusgraden in kleinste Eiskristalle, die das Licht zu verschiedenen Haloarten brechen oder spiegeln. Auch die Artenvielfalt von Eisnebelhalos ist mit arktischen Gebieten vergleichbar und sollte für Mitteleuropa einmalig sein. Auch Glorien, die im Flachland kaum zu sehen sind, treten auf dem Fichtelberg auf. Durch kontinuierliche Beobachtung in verschiedenen Höhen konnte herausgefunden werden, dass sowohl Häufigkeit als auch Helligkeit mit steigender Beobachterhöhe zunehmen. Diese und weitere Beobachtungen und Auswertungen beinhaltet diese Veröffentlichung.

Summary

Optical and other unusual weather phenomena on Mount Fichtelberg (Germany's Ore Mountains)

On Mount Fichtelberg in Germany's Ore Mountains, displays of atmospheric phenomena are particularly frequent because of the Bohemian fog. In the more than 100 years since Fichtelberg weather station was founded, the phenomena observed have been documented meticulously, which today allows us to provide comprehensive papers. From studying the records as well as our own observations, it appears that some of the phenomena differ from what has been described in previous publications. The green flash, for example, is neither rare nor is it an isolated phenomenon on the Fichtelberg. On the contrary, sometimes it can be observed there 20 times in a row and long after sunset. There are also refraction effects, which have so far only been known from the Arctic. Numerous diamond dust halos in winter are another speciality, for the conditions under which they form show a marked contrast with what can be read in meteorological textbooks. For example, when the aerosol-laden Bohemian fog flows over the ridge of the Ore Mountain, it already begins to decompose at minus temperatures just below freezing into small ice crystals, which then refract or reflect the light into different types of halos. The diversity of diamond dust halos on the Fichtelberg is as huge as in Arctic regions and can be considered as unique in central Europe. Glories, a very rare phenomenon in lowland areas, can also be observed on the Fichtelberg. Continuous observations at different heights have shown that the frequency and also the brightness of such phenomena increase with the height at which the observations are made. These findings, together with other observations and analysis results, are presented in this report.

Inhalt	Seite
Vorwort	3
Zusammenfassung	4
1 Eisnebelhalos am Fichtelberg von Claudia Hinz, Wolfgang Hinz, Gerd Franze	8
1.1 Entstehung von Halos	8
1.2 Historische Betrachtung und Erstbeobachtung einer Haloerscheinung	8
1.3 Dokumentation und Analyse der Eisnebelhalos am Erzgebirgskamm	10
1.4 Bedingungen für das Auftreten von Eisnebelhalos	12
1.5 Fazit	14
2 Häufigkeit von Glorien in verschiedenen Beobachtungshöhen von Claudia Hinz	15
2.1 Entstehung von Glorien und Begleiterscheinungen	15
2.2 Eigene Beobachtungen und Auswertungen	16
3 Refraktionseffekte an der Sonne oberhalb einer Inversionsschicht auf dem Fichtelberg von Claudia Hinz, Gerd Franze, Matthias Barth	19
3.1 Verzerrte Sonne und Grüner Strahl	19
3.2 Grüne Wolkenkante	22
3.3 Novaya Semlja Effekt	23
3.4 Perlschnurphänomen	24
3.5 Luftspiegelungen	26
3.6 Ungewöhnliche Fernsichtziele	27
4 Weitere besondere Witterungserscheinungen und ihre Auswirkungen von Claudia Hinz, Gerd Franze, Matthias Barth und M. Sc. Met. Stefan Bach	30
4.1 Böhmischer Wind	30
4.1.1 Der Böhmisches Wind und seine Entstehung	30
4.1.2 Auswirkungen von Südströmungen auf Sachsen	31
4.2 Föhn im Erzgebirge	32
4.3 Kelvin Helmholtz-Wellen	34
4.4 Ungewöhnliche Erscheinungen bei Gewitter	35

	Seite
4.5 Besondere atmosphärische Erscheinungen	37
4.5.1 Dämmerungserscheinungen	37
4.5.2 Regenbogen	40
4.5.3 Kranz und Irisieren	41
4.5.4 Erscheinungen durch die an einer Wasserfläche gespiegelten Sonne	42
4.5.5 Weitere Erscheinungen	43
Literatur- und Quellenverzeichnis	45

1. Eisnebelhalos am Fichtelberg

1.1 Entstehung von Halos

Haloerscheinungen sind farbige oder weiße Lichtkreise, -bögen und -flecken am Himmel, die durch Brechung und Spiegelung des Lichts an Eiskristallen entstehen. Sie finden sich vor allem in hohen Schleierwolken, also an Cirrus und Cirrostratus. Daneben können sie auch in fallenden Schneekristallen, in Eisnebel sowie auf einer Schnee- oder Reifdecke beobachtet werden. Die häufigsten Haloarten sind der 22°-Ring, die Nebensonnen, der obere und untere Berührungsbogen (die sich bei einer Sonnenhöhe von 32° zum umschriebenen Halo zusammenschließen), der Zirkumzenitalbogen (ein farbiger Halbkreis um den Zenit) und die obere und untere Lichtsäule.



Abbildung 1-1: Eisnebelhalos um die Wetterwarte Fichtelberg. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 1-2: Eisnebelhalos vom Dach der Wetterwarte. Foto: Gerd Franze

Eine Besonderheit auf dem Fichtelberg und dem benachbarten Keilberg ist im Winter das verhältnismäßig häufige Auftreten von Halos in bodennahen Eiskristallen. Laut Lehrbuch entsteht Eisnebel erst bei Temperaturen unter -12°C und ist daher sehr selten. Nicht so am Erzgebirgskamm, hier kann man mit etwas Glück im Böhmischem Nebel ab circa -2°C prächtige Eisnebelhalos beobachten, die in dieser Artenvielfalt einzigartig in Mitteleuropa sind. Der Grund dafür ist, dass aus dem Böhmischem Becken sehr kalte, mit Feuchte gesättigte und durch zahlreiche Kraftwerke sehr staubhaltige Luft herangeführt wird. Diese besitzt gegenüber der wärmeren Luftmasse am Kamm eine höhere Dichte und folglich einen höheren Luftdruck. Fließt diese über den Erzgebirgskamm, dann gefriert aufgrund von Hebungsprozessen und Druckausgleich an den zahlreichen Kondensationskeimen der Wasserdampf des Nebels zu winzigsten Eiskristallen. Die hohe Anzahl an Kondensationskeimen fördert die Bildung von Eiskristallen, da in der übersättigten Luft ziemlich schnell und verhältnismäßig viele Wassertröpfchen anfrieren. Und je mehr davon vorhanden sind, desto schneller wachsen die Eiskristalle, die dann recht schnell schwer genug sind, um als Niederschlag auszufallen, und das auch schon bei geringen Minustemperaturen. Das Geheimnis liegt also in einem Zusammenspiel aus hohem Feinstaubanteil und Orographie.

An den in der Luft schwebenden Eiskristallen wird das Sonnenlicht schließlich gespiegelt oder gebrochen und es entstehen je nach Kristallart (Plättchen oder Säulchen) und ihrer Lage in der Luft die verschiedensten Haloerscheinungen. Derzeit sind etwa 50 verschiedene Haloarten bekannt und viele von diesen konnten bereits zwischen Keilberg und Fichtelberg beobachtet werden.

1.2 Historische Betrachtung und Erstbeobachtung einer Haloerscheinung

Es scheint, als hätten bereits die ersten Menschen, die im 16. Jahrhundert das obere Erzgebirge besiedelt haben, sich an solchen Erscheinungen erfreut. Einen Hinweis darauf gibt der Keilberg, der früher „Sonnenwirbel“ genannt wurde. Nach der Chronik von Joachimsthal (heute tschechisch Jáchymov) beschreiben Sonnenwirbel eine meteo-



Abbildung 1-3: Gegen Sonnenbögen auf dem Fichtelberg. Foto: Claudia Hinz

rologische Erscheinung, die auf dem Erzgebirgskamm oft beobachtet wird. Vor allem den Oberwiesenthalern sind Sonnenwirbel bis heute ein Begriff. Sie verstehen darunter Eiskristalle, die bunt um die Sonne wirbeln. Wenn also der Keilberg im übertragenen Sinne nach Eisnebelhalos benannt war, dann ist dies ein Indiz dafür, dass es diese Erscheinung dort schon immer gegeben hat und die Schneekanonen, die heutzutage häufig als Ursache angesehen werden, nur bedingt einen Einfluss haben. Auch, wenn diese These nicht schriftlich in der Literatur verankert zu sein scheint, so gibt es einen Film [<http://www.hotel-fichtelberghaus.de/>] und sogar ein Gemälde im Fichtelberghaus (Westenburger, 2004), welche die Erscheinung des Sonnenwirbels als Glitzern um die Sonne beschreiben. Ebenfalls dafür spricht die frühere Existenz einer zu Gottesgab (heute tschechisch Boží Dar) gehörenden Siedlung, die sich „Sonnenwirbelhäuser“ nannte. Diese Häuser standen nahe der Kante, von wo aus es steil ins Böhmisches Becken hinunter geht. Dort sind Eisnebelhalos am häufigsten und etwa dreimal so oft wie am Fichtelberg zu beobachten, da dieser bereits drei Kilometer Luftlinie vom Talrand entfernt liegt und deshalb zumeist nur noch Reste des Böhmisches Nebels und deshalb auch weniger haloerzeugende Eiskristalle abbekommt.

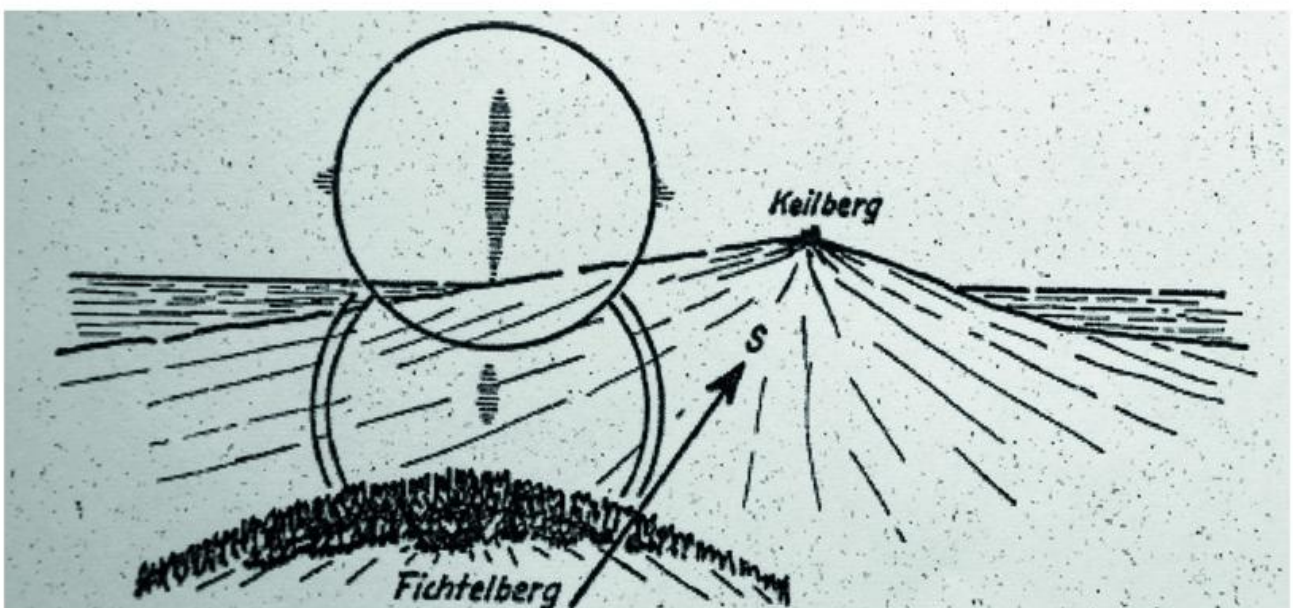


Abbildung 1-4: „Untersonnenhalo“ am 27.01.1954. Skizze: Horst Gäbler, Archiv Wetterwarte Fichtelberg

Auch die früheren Beobachter der 1916 eingeweihten Wetterwarte auf dem Fichtelberg dokumentierten in den Tagebüchern immer wieder spektakuläre Halophänomene in Eisnebel. So wurde zum Beispiel am 07.02.1951 ein umfangreiches Halo mit u.a. 46°-Ring, Parrybogen und sogar den Gegensonnenbögen beschrieben.

Besonders eindrucksvoll waren zudem die Halos unter dem Horizont, die in dieser Form ausschließlich von erhöhten Standpunkten und in Eisnebel gesehen werden können. So konnten die früheren Kollegen Horst Gäbler, Günter Blume und Theodor Müller am 27.01.1954 einen 22°-Ring um die Untersonne beobachten.

Zudem gab es am Fichtelberg eine weltweite Erstbeobachtung. Horst Gäbler (1921-2014) skizzierte 1975 einen Bogen in Eisnebel, der »V«-förmig ca. 10° oberhalb der Sonne stand. Im November 1995 konnte der Finne Jarmo Moilanen diesen später nach ihm benannten Bogen schließlich fotografieren und mit einem Sonnenabstand von 9° vermessen. Bis heute gibt der Moilanenbogen Rätsel auf, vor allem, weil es sich um eine Kristallform handeln muss, die nur im Eisnebel, nicht aber in Cirren vorkommt, denn dort ist dieser Bogen noch niemals beobachtet worden.

1.3 Dokumentation und Analyse der Eisnebelhalos am Erzgebirgskamm

Claudia Hinz hat seit ihrer Versetzung zum Fichtelberg im Dezember 2012 zusammen mit ihrem Mann Wolfgang, den Kollegen der Wetterwarte Fichtelberg und inzwischen auch einigen Helfern versucht, alle auftretenden Halos zu dokumentieren und zu analysieren. Natürlich ist es nicht möglich, aus diesen wenigen Jahren eine gesicherte Statistik zu erstellen. Dennoch können inzwischen einige fundierte Aussagen gemacht und Besonderheiten belegt werden.

Am 30.01.2014 wurde in Neklid, einem kleinen Skiareal am Keilberg direkt an der Talkante, an Nebelfetzen aus dem Böhmischem Becken das bisher größte Halophänomen Mitteleuropas beobachtet, welches sogar viele große antarktische Eisnebelphänomene in den Schatten stellt. Insgesamt traten 21 verschiedene Haloarten auf, von denen einige in ihrer Ausprägtheit und Helligkeit sehr ungewöhnlich waren. Zudem sorgte ein ausgeprägter 3D-Effekt dafür, dass die Halos nicht am Himmel, sondern als Glitzern im dreidimensionalen Raum schwebten.

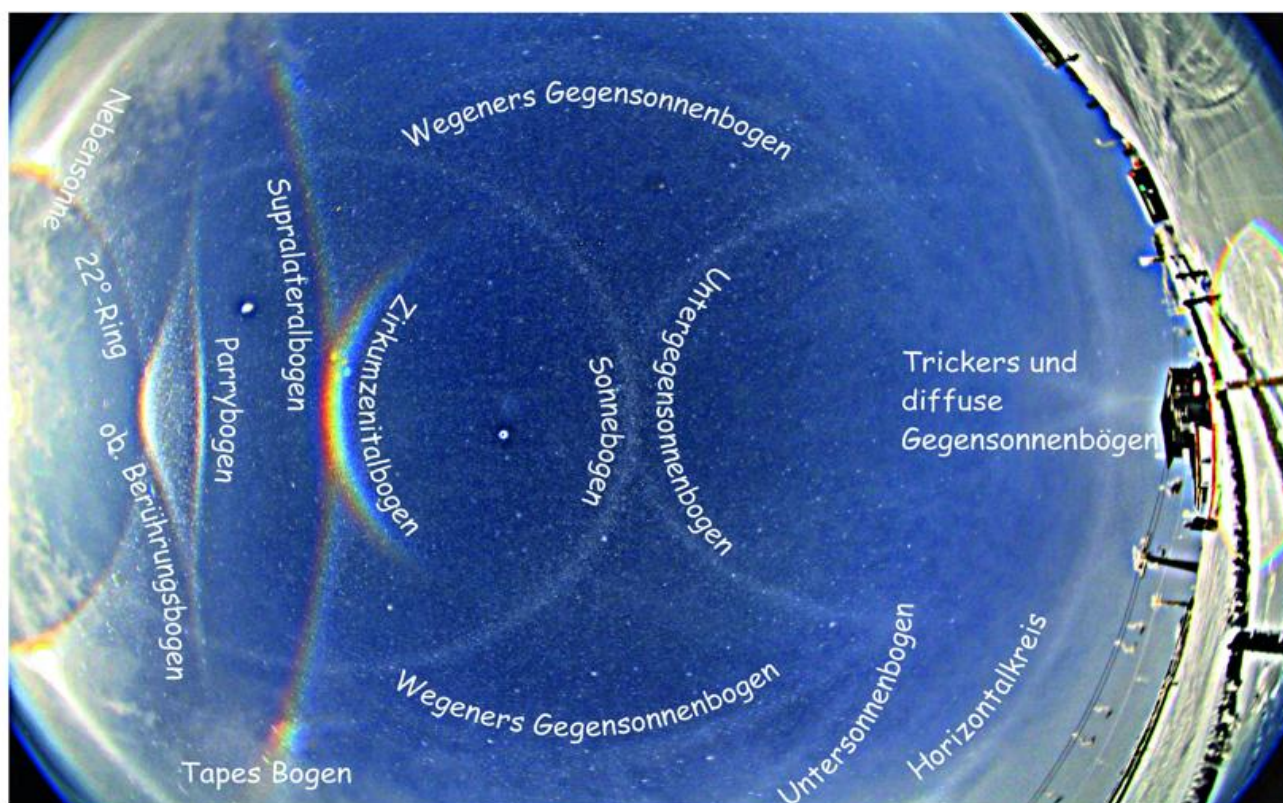


Abbildung 1-5: Größtes in Mitteleuropa beobachtetes Halophänomen am 30.01.2014 auf dem Erzgebirgskamm mit einigen beschrifteten Haloarten. Foto: Claudia Hinz

Dr. Alexander Haußmann widmete sich in zwei theoretischen Abhandlungen [<https://atoptics.wordpress.com/2014/05/09/the-mystery-of-bright-antisolar-arcs/>, <https://atoptics.wordpress.com/2014/05/11/neklid-antisolar-arcs-case-closed/>] den ungewöhnlich hellen Untergegensonnenbögen und und simulierte diese mit Hilfe von trigonalen Plättchen sowie normalen hexagonalen Plättchen in ungewöhnlichen Orientierungen (Haußmann, 2014).

Doch nicht nur um die Sonne, auch am Mond oder sogar an den Scheinwerfern von Autos, können Eisnebelhalos auftreten. Bei einem Treffen des Arbeitskreises Meteore e.V. am Erzgebirgskamm (Schmidt, 2015) konnte am Abend des 27.11.2015 sogar beides beobachtet werden. An den Autoscheinwerfern gab es einen sehr nahen 22° -Ring, dahinter einen eben solchen (und einige Haloarten mehr) am Mond. Bei Temperaturen von nur -5°C hatte sich aus dem Böhmischem Becken heraus eine zarte Wolkenhaube auf dem Keilberg gebildet, die in Eiskristalle zerfiel.



Abbildung 1-6: 22° -Ring am Autoscheinwerfer und am Mond dahinter. Foto: Wolfgang Hinz



Abbildung 1-7: Lichtsäulen an den Lampen des Hotels Sachsenbaude am Fichtelberg. Foto: Claudia Hinz

1.4 Bedingungen für das Auftreten von Eisnebelhalos

Unter welchen Bedingungen treten die Eisnebelhalos letztendlich auf? Welche Rolle spielen die Schneekanonen, die vor allem am Fichtel- und Keilberg in den letzten Jahren zugenommen haben? In einigen Fällen können sie wirklich einen Einfluss auf die Halos haben, nämlich dann, wenn es windstill ist. Dann schweben die fein gesprühten Wassertröpfchen lange in der Luft, können gefrieren und als Kondensationskeime für Eiskristalle fungieren, die nach gewisser Zeit heranreifen. Aber bei den meisten Halophänomenen herrscht ein straffer Wind aus südlichen Richtungen, was einen Einfluss von Schneekanonen nahezu ausschließt.

Bei unseren Beobachtungen konnten wir vier Fälle unterscheiden:

Fall I



Abbildung 1-8: Fall I - Typische Halosituation im Skigebiet Neklid am Keilberg. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 1-9: Teil des bisher umfangreichsten Halophänomens in Mitteleuropa am 30.01.2014. Foto: Wolfgang Hinz

Im Böhmischem Becken hat sich unterhalb einer Inversion ein Kaltluftsee ausgebildet, welcher nicht selten über einen längeren Zeitraum hinweg auskühlt und sich aufgrund vieler Kraftwerke im Tal mit Kondensationskeimen anreichert. Bei leichter Süd- bis Südostanströmung des Erzgebirges werden die Wolken zum Aufsteigen gezwungen und lösen sich langsam am Erzgebirgskamm auf. Halos entstehen bei Temperaturen von -2°C und kälter. Unter dieser Bedingung treten die seltensten Halos auf, die aber häufig sehr kurzlebig sind. Zu beobachten sind sie meistens nur kleinräumig am Rand zum Böhmischem Becken (Skigebiet Neklid, unterhalb Keilberggipfel).

Fall II



Abbildungen 1-10 und 1-11: Fall II - Eisnebel auf dem Fichtelberg. Fotos: Claudia Hinz

Hierbei handelt es sich um den klassischen „Diamond Dust“ oder Eisnebel, der bei Temperaturen unter -10°C und großer Luftfeuchte auftritt. Dieser entsteht im windgeschützten feuchten Tal, oft mit Hilfe von Schneekanonnen, aus deren Wassertröpfchen dann langsam Eiskristalle entstehen und reifen können. Solcher Eisnebel bildet sich häufig zwischen Oberwiesenthal und Boží Dar, manchmal aber auch in Tellerhäuser und anderen Hochtälern am Erzgebirgskamm. Manchmal steigen die feuchten Luftmassen soweit auf, dass sie selbst den Fichtelberg und den Keilberg einhüllen. Charakteristisch ist hier eine enorme Langlebigkeit der Erscheinungen, da die Kristalle länger in der Luft schweben und immer wieder neu gebildet werden.

Fall III



Abbildungen 1-12 und 1-13: Fall III - Orographische Wolke auf dem Keilberg (Foto: André März) mit umfangreichem Halodisplay am Mond und Lichtsäulen an Straßenlampen vor Ort. (Foto: Claudia Hinz)

Eine orographische Wolke bedeckt bei negativen Temperaturen ab ca. -5°C den Berggipfel und führt auf den Gipfeln zum klassischen Eisdunst bzw. Eisnebel mit deutlichem Sichtrückgang. Meist sind die Erscheinungen bei diesem Fall von längerer Dauer und in ihrer Helligkeit und Vollständigkeit sehr beeindruckend.



Abbildungen 1-14 und 1-15: Fall III - Eiskappe auf dem Fichtelberg und Haloerscheinungen. Fotos: Claudia Hinz

Fall IV

Fallstreifen von tiefen Wolken schleifen über den Berg und fallen aus. Die Halos entstehen bei diesen Bedingungen schon bei geringen Minusgraden und sind extrem kurzlebig und stark veränderlich. Seltene Halos sind möglich, aber oft nur für Sekunden sichtbar. Mit zusätzlicher Hilfe von Webcams und einigen Naturfotografen, die solche Sekundenhalos einfangen konnten, hat sich dieser Fall als der häufigste herausgestellt.



Abbildungen 1-16 und 1-17: Fall IV - Auf den Gipfel entlangschleifende Fallstreifen erzeugen Sekundenhalos. Fotos: Claudia Hinz

Vielfach gehen die genannten Fälle in eine andere Form über oder es treten mehrere gleichzeitig auf.

1.5 Fazit

Die mittlere Häufigkeit lässt sich von 2013 bis 2017 mit etwa zehn Halotagen pro Winter angeben, allerdings fielen die letzten Winter relativ warm aus. Zudem ist diese Häufigkeit nicht mit früheren Aufzeichnungen der Wetterwarte Fichtelberg vergleichbar, da diese sich ausschließlich auf Beobachtungen am Gipfel des Fichtelbergs bezogen. Vor allem aber Fall I ist oft auf ein relativ kleines Gebiet am Keilberg beschränkt und auch der Eisnebel (Fall II) bleibt nicht selten am Fuße des Fichtelbergs liegen und bringt Eisnebelhalos in Oberwiesenthal, an der Grenze oder an der Sachsenbaude, nicht aber am Gipfel. Es ist auf jeden Fall lohnend und äußerst interessant, die Häufigkeit und Artenvielfalt der auftretenden Eisnebelhalos am Erzgebirgskamm weiter zu untersuchen.

2 Häufigkeit von Glorien in verschiedenen Beobachtungshöhen



Abbildung 2-1: Glorie, die fast nahtlos in die Interferenzen des Nebelbogens übergeht. Aufgenommen am 13.01.2013 auf der Zugspitze. Foto: Claudia Hinz

2.1 Entstehung von Glorien und Begleiterscheinungen

Glorien sind farbige konzentrische Kränze um den Schatten des Beobachters. Sie können dann auftreten, wenn der eigene Schatten auf kleinste Wassertröpfchen in Form von Nebel oder tiefer liegenden Wolken fällt. Wenn eine Lichtwelle auf ein Wassertröpfchen trifft, dann wird er in die Tropfenoberfläche hinein gebrochen und der totalreflektierte Strahl breitet sich als Welle an der Oberfläche aus. Diese Grenzflächenwelle umläuft den Tropfen und strahlt in Rückwärtsrichtung Licht ab. Durch diese Rückwärtsstreuung entstehen die ringförmigen Farbkreise der Glorie.

Zusammen mit der Glorie treten häufig noch zwei weitere atmosphärische Erscheinungen auf.

Ist der Nebel sehr dicht oder sind die Wolken sehr nahe, dann wird auf der nahen Tröpfchenleinwand der eigene Schatten (oder der der Umgebung) um ein Vielfaches vergrößert dargestellt. Die erste ausführliche Beschreibung von Brockengespenst und Glorie stammt von dem berühmten spanischen Wissenschaftler und Kapitän Ulloa, der mit dem französischen Gelehrten Bouguer 1735 die Anden überquerte. 1780 beschrieb Johann Esaias Silberschlag das Phänomen im dichten Brockennebel: "Durch Luftbewegungen bewegt sich der Schatten, selbst wenn der Beobachter still steht. Dieses scheinbar eigene Wesen kann zudem schweben, ohne sichtbaren Kontakt zum Boden zu haben. Die anderen physikalischen Bedingungen auf dem Berg, kühle und feuchte Luft, Stille, sowie die fehlende Orientierung durch mangelnden Weitblick und fehlende Nachbarberge, verstärken den subjektiven Eindruck der scheinbaren Existenz eines Gespenstes." Nachfolgend entstanden einige Lithografien und Postkarten, die das gespenstige Treiben auf dem Brocken darstellen. Goethe hat schließlich den Begriff Brockengespenst durch "Faust" weltberühmt gemacht und in alle Sprachen eingeführt.

In ca. 40° Radius wird die Symbiose von Brockengespenst und Glorie nicht selten von einem Nebelbogen umringt. Tröpfchengröße im Nebel eher $1\text{-}50\ \mu\text{m}$ ($0,001\text{-}0,05\text{mm}$), siehe auch DWD-Artikel: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2015/9/21.html. Damit sind sie nur 10 – 100 mal so groß wie die Wellenlänge des sichtbaren Lichts, so dass sich die aus dem Tropfen austretenden Lichtwellen überlagern und interferieren, was wie beim normalen Regenbogen zu farbigen überzähligen Bögen führen kann. Bei optimaler Ausprägung können diese nahtlos in das Ringsystem der Glorie übergehen, was dem Beobachter einen atemberaubenden Anblick beschert.



Abbildungen 2-2 und 2-3: Lithographie und Postkarte von Brockengespenstern. Quelle: Historische Postkarten, Archiv Hinz

Im Flachland ist die Glorie mit ihren Begleiterscheinungen nur sehr selten beobachtbar, da bodennahe Nebelfelder mit gleichzeitig einfallender Sonne nicht häufig vorkommen. Erst von höher gelegenen Standpunkten aus befindet man sich häufiger mit Wolken in Augenhöhe oder darüber, was die Beobachtung einer Glorie eher möglich macht. Dennoch galt sie lange Zeit als selten und es gab keine Aussagen über deren Häufigkeit.

2.2 Eigene Beobachtungen und Auswertungen

Bei eigenen Beobachtungen auf verschiedenen hohen Bergen zu arbeiten, waren sehr häufig Glorien zu sehen. Aus allen Beobachtungen wurde versucht, eine Statistik zu erstellen (Abb. 2-4). Betrachtet wurden in den Alpen Beobachtungen auf dem Wendelstein (1838 m) im Mangfallgebirge, auf der Zugspitze (2963 m) im Wettersteingebirge und im Erzgebirge auf dem Fichtelberg (1214 m). Auf dem Fichtelberg treten die Glorien meist

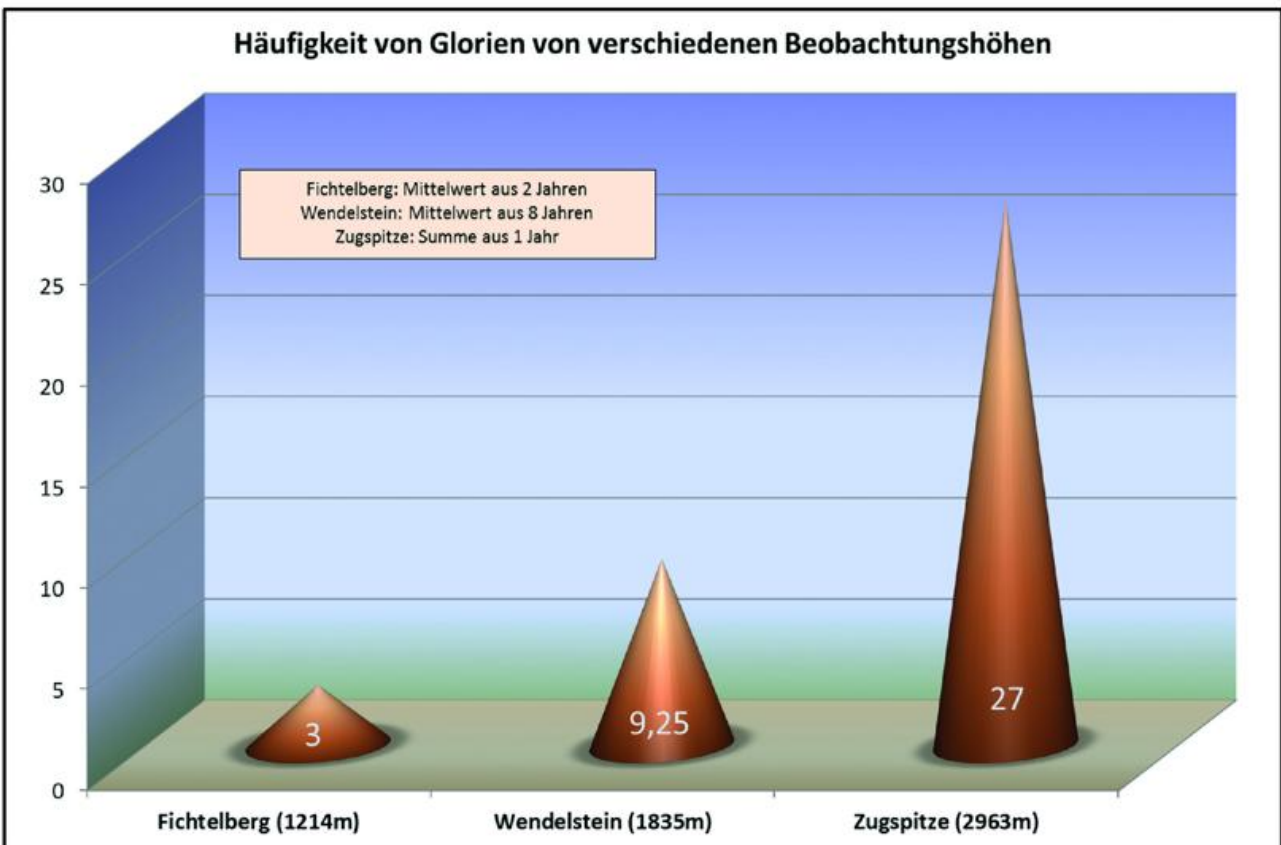


Abbildung 2-4: Häufigkeit von Glorien auf verschiedenen Beobachtungshöhen. Grafik: Claudia Hinz

in den frühen Morgenstunden in aufsteigenden Nebelfetzen auf, nur selten mit Nebelbogen ohne Interferenzen. Auf dem Wendelstein sind die Glorien häufiger und oft von langer Dauer, da sich am Nordhang des Berges oft die Wolken stauen und von Süden die Sonne darauf scheint. Sie sind farbiger als auf dem Fichtelberg und die Nebelbögen weisen manchmal deutliche Interferenzen auf. Auf der Zugspitze sind die Glorien regelmäßige Begleiter, da fast täglich die Sonne auf eine tiefer liegende Wolke scheint. Dort gibt es die farbenprächtigsten Glorien zu beobachten und die Nebelbögen haben oft beeindruckende Interferenzen.

Da die Beobachtungszeiträume unterschiedlich sind, ist diese Häufigkeitsangabe sicher nur eine Näherung, dennoch kann man einige interessante Ergebnisse daraus ableiten.

- Die Häufigkeit der Glorie steigt mit zunehmender Höhe. In meinen Beispielen werden sie alle 1000 Meter dreimal so häufig.
- Je höher der Beobachterstandpunkt, desto eindrucksvoller werden die Glorien und die Interferenzen des Nebelbogens. Eine Erklärung könnte sein, dass mit zunehmender Höhe die Größe der Wassertröpfchen in den Wolken abnimmt und zudem die Verteilung der Tröpfchen in mittelhohen Wolken gleichmäßiger ist als in tiefen Quellwolken.
- Auch die Dauer des Phänomens steigt mit der Beobachterhöhe. Denn wenn der Blick weit genug ins Tal geht, kann eine Glorie bei jeder Sonnenhöhe beobachtet werden.

Es bleibt die Frage offen, wie groß die Häufigkeit vom Flugzeug aus ist. Bei einem zweistündigen Flug vom spanischen Malaga nach Frankfurt machte eine Gewitterlage gezielte Beobachtungen möglich. Es konnte festgestellt werden, dass man bei tieferen Wolken nahezu ständig Glorien sehen kann, allerdings ist die Helligkeit aufgrund der Wolkenentfernung meist nicht sehr hoch. Idealer sind hier die Bedingungen bei der Landung, kurz bevor man in die Wolke eintaucht. Dann zeigen sich die Glorien um den Schatten des Flugzeugs besonders eindrucksvoll.



Abbildungen 2-5 und 2-6: Glorien auf dem Fichtelberg im Erzgebirge (1214 m). Fotos: Claudia Hinz



Abbildungen 2-7 und 2-8: Glorien auf dem Wendelstein (1835 m). Fotos: Claudia Hinz



Abbildungen 2-9 und 2-10: Glorien auf der Zugspitze (2963 m), auf dem ersten Bild ist eine Mondglorie zu sehen.
Fotos: Claudia Hinz

3 Refraktionseffekte an der Sonne oberhalb einer Inversionsschicht auf dem Fichtelberg

Bevor ein Lichtstrahl der Sonne unser Auge erreicht, passiert er unsere Erdatmosphäre. Da in der Lufthülle die Dichte mit kleiner werdender Höhe kontinuierlich zunimmt, wird der Lichtstrahl zum Erdboden hin gekrümmt. Diese so genannte atmosphärische Refraktion bewirkt einen „verfrühten“ Sonnenaufgang bzw. einen „verspäteten“ Sonnenuntergang. Denn da der scheinbare Sonnendurchmesser etwa der Refraktion am Horizont entspricht, ist die Sonne in Wirklichkeit bereits untergegangen, wenn ihr unterer Rand den Horizont berührt. Auch die am Horizont meist abgeplattete Sonne ist auf die Strahlenbrechung zurückzuführen, denn wegen der Krümmung in unserer Atmosphäre wird der Strahl 1 aufgrund des flacheren Winkels stärker gebrochen als Strahl 2 (Abb. 3-1).

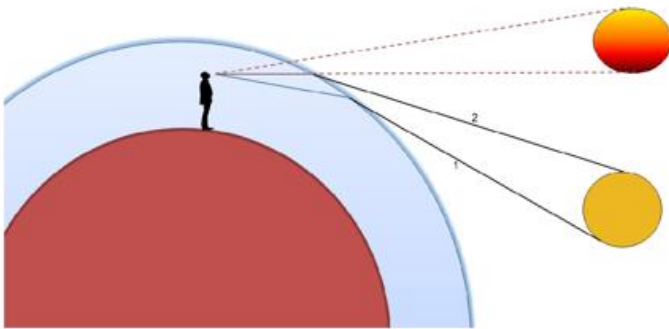


Abbildung 3-1: Entstehung der abgeplatteten Sonne. Grafik: Claudia Hinz

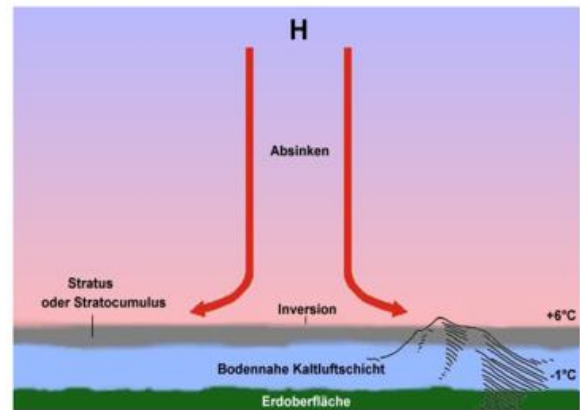


Abbildung 3-2: Refraktionseffekte entstehen auf dem Fichtelberg meistens an einer Inversionsschicht, die kalte und dichtere Luftmassen in den Tälern von warmer Luft in der Höhe trennt. Grafik: Claudia Hinz

Auf dem Fichtelberg entstehen manchmal noch zusätzliche Refraktionseffekte. Vor allem im Winter sammelt sich bei nahezu ortsfesten Hochdruckgebieten im Böhmischem Becken Kaltluft an, die wegen fehlendem Luftaustausch zu Nebel- und Hochnebelbildung neigt. Der Fichtelberg ist mit 1215 Metern Höhe hoch genug, um meistens aus dieser Schicht herauszuragen und ist oft erheblich wärmer (Abb. 3-2). Aufgrund des flachen Blickwinkels entlang der meist nur wenig tiefer liegenden Grenzschicht und der weiten hindernisfreien Sicht auf entfernte Berge oder die Sonne, entstehen oft starke Refraktionseffekte, die denen in arktischen Regionen sehr ähnlich sind.

3.1 Verzerrte Sonne und Grüner Strahl

Die häufigsten Refraktionseffekte oberhalb einer Inversionsschicht sind eine stark verzerrte Sonne bei Sonnenauf- und -untergang mit mehrfachen Segmentabspaltungen und wiederholter Grün- oder Blaufärbung. Schon in den 1950er Jahren beschrieben die Beobachter der Wetterwarte Fichtelberg, dass die Sonne nicht im klassischen Sinne aufgeht, sondern Fragment um Fragment über den Horizont wächst. Einen anschaulichen Bericht verfasste der frühere Wetterwart Horst Gäbler: „Am 18. April 1951 beobachtete ich den Sonnenaufgang mit einem Prismenfernglas, da der freie Horizont die Erscheinung des „Grünen Strahles“ erwarten lassen mochte. Bei ihrem Sichtbarwerden zeigte die Sonnenscheibe die typischen Einschnürungen in ihrer oberen Hälfte, die links und rechts außen immer deutlich zartgrün gefärbt waren. Jedesmal beim „Durchstoßen“ einer Grenzschicht, die sich bisweilen durch einen zarten Dunststreifen verriet, erschien über der Sonnenscheibe ein kleiner grüner Fleck, der bei Vereinigung mit der höhersteigenden Sonne deren Farbe annahm, während das Grün nach links und rechts außen rückte und schwächer wurde. Plötzlich, offenbar bei Erreichen einer besonders ausgeprägten Grenzschicht, plattete sich die Sonnenscheibe stark ab. Hierbei erschien etwa eine Sekunde lang ungefähr ein Drittel Sonnendurchmesser über derselben ein fast ebenso ausgedehntes büscheliges zartgrünes Licht, der Grüne Strahl.“

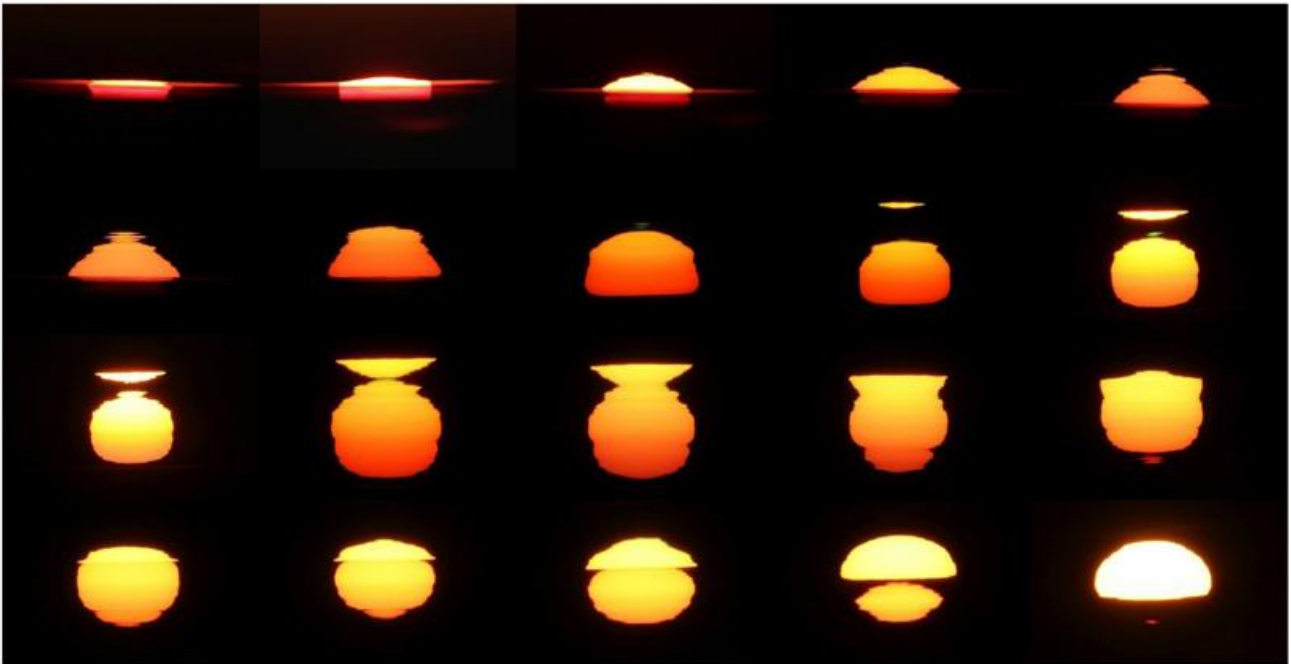
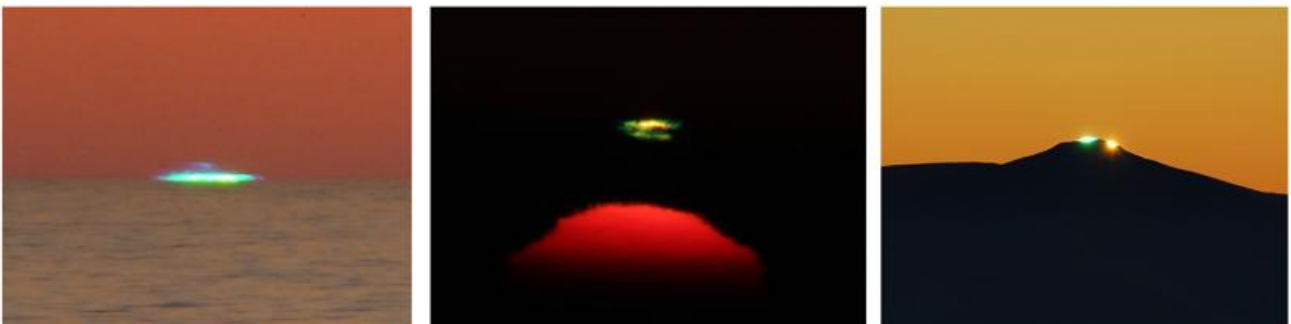


Abbildung 3-3: Stark deformierter Sonnenaufgang mit gespiegeltem Sonnenfragment. Foto: Claudia Hinz

Die ersten Beobachtungen des Grünen Strahl finden sich in alten Tagebüchern von Seefahrern, die ihn meist als Grünes Leuchten zum oder kurz nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang am entfernten Horizont über einer Wasseroberfläche beschrieben.

Bekannt gemacht wurde die Erscheinung von Jules Verne durch seinen Liebesroman „Der Grüne Strahl“. Erzählt wird die Geschichte der jungen Helena Campbell, die von ihren beiden Onkeln erzogen wird. Als sie von diesen verheiratet werden soll, erklärt sie, sie werde nicht heiraten, ehe sie nicht den grünen Strahl gesehen habe, also den letzten Funken grünen Lichts beim Sonnenuntergang, der nur sehr selten an klaren Tagen über dem Meer beobachtet werden kann. Einer alten Legende zufolge kann sich derjenige, der das grüne Licht gesehen hat, in Liebesdingen nicht irren.

Heute wird die Erscheinung des Grünen Strahls in drei verschiedene Typen unterteilt: Das Grüne Leuchten, welches nach Sonnenuntergang noch für mehrere Sekunden über der Meeresoberfläche beobachtet werden kann, das grüne Segment, welches sich, wie oben beschrieben, im Vorfeld oder beim „Verlöschen“ abgespaltenen Segmente bildet und der Grüne Blitz, der für den Bruchteil einer Sekunde dann zu sehen ist, wenn die Sonne am Horizont, hinter einem Berg oder auch hinter einer Wolke verschwindet. (Abb. 3-4a-c)



Abbildungen 3-4a-c: Grünes Leuchten (Links, Foto: Bernd Schwarz), Grünes Segment (Mitte), Grüner Blitz (rechts, Fotos: Claudia Hinz)

Die Physik ist jedoch ähnlich: das weiße Licht der Sonne wird beim Durchgang durch die Erdatmosphäre wellenabhängig gebrochen und in seine Spektralfarben zerlegt. Am Horizont und (von höheren Standpunkten aus geblickt) darunter ist die Lichtbrechung am stärksten und das letzte Segment der Sonne besitzt einen roten, grünen und blauen Sonnenrand. Nach Untergang des roten Sonnenrandes ist für einen kurzen Moment der Grüne Strahl zu sehen. Ein Blauer Strahl zeigt sich dagegen sehr selten, da das kurzwellige Blau in der Erdatmosphäre am meisten gestreut wird. Nur bei sauberer klarer Luft hat man die Chance, ihn zu beobachten (Abb. 3-5).

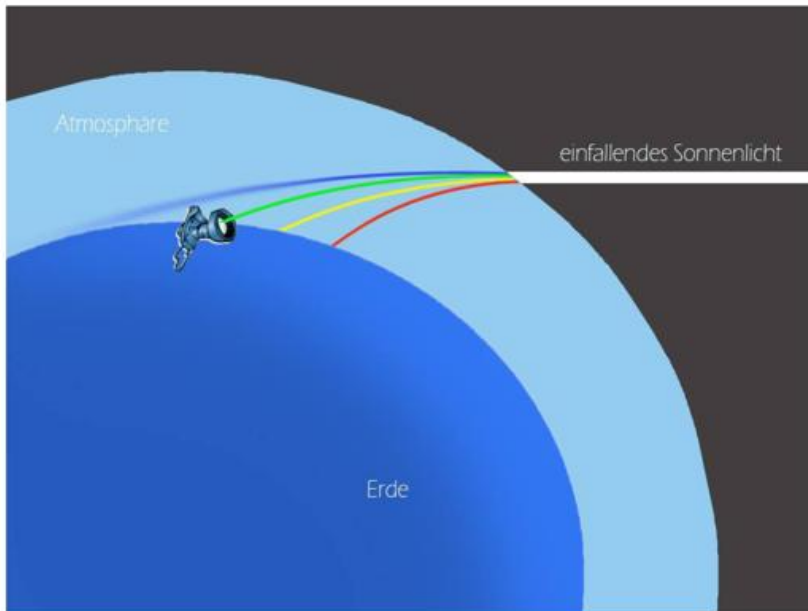


Abbildung 3-5: Entstehung des Grünen Strahls. Grafik: Michael Großmann

Die Grünen Segmente, wie sie auf dem Fichtelberg auftreten, sind ein Zusammenspiel von Lichtbrechung und Reflexion. Da Licht an der Grenzfläche vom dichteren zum dünneren Medium unterhalb eines sehr flachen kritischen Winkels reflektiert wird, erscheinen oberhalb der eigentlichen Sonne Spiegelbilder. Die Strahlen dieser Sonnenspiegelungen legen in der Atmosphäre den längsten Weg zum Beobachter zurück und werden deswegen wellenlängenabhängig am stärksten gebrochen.

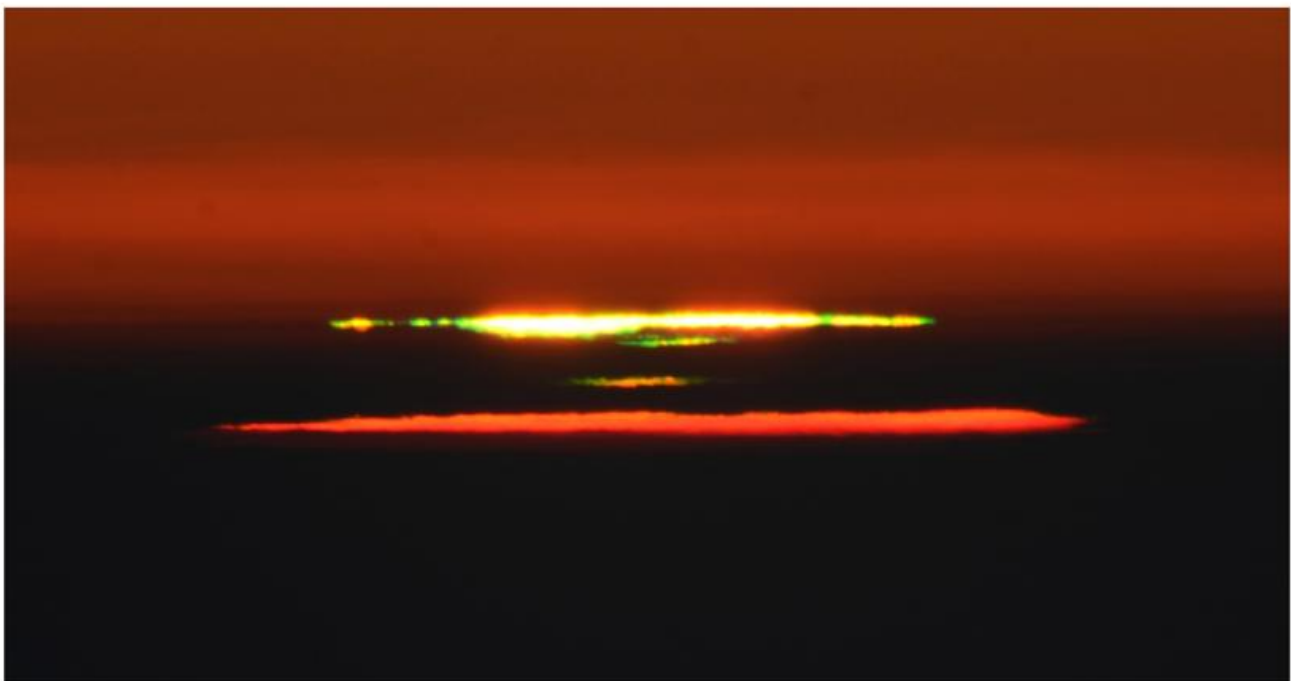


Abbildung 3-6: Grüne Segmente bei Sonnenaufgang. Foto: Gerd Franze

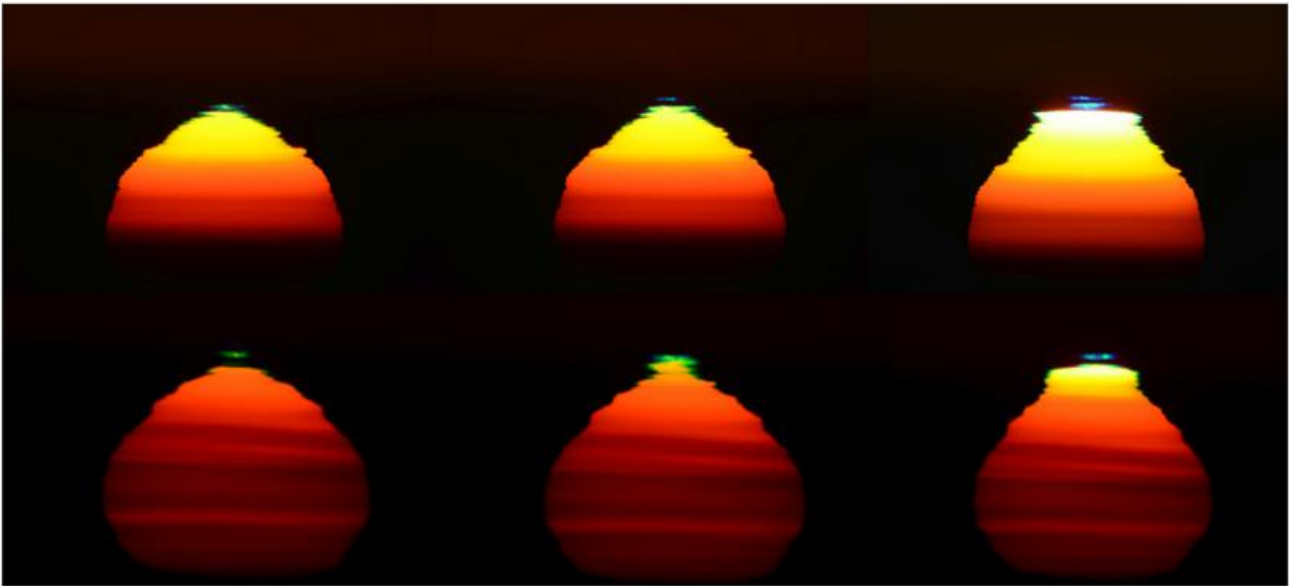


Abbildung 3-7: Grüne und Blaue Segmente bei Sonnenaufgang. Fotos: Gerd Franze

Inzwischen liegt an der Wetterwarte Fichtelberg zahlreiches Foto- und Filmmaterial [<http://glorie.de/videos/>] vor, welches die stark deformierten und zum Teil auch gespaltenen Sonnenauf- und -untergänge zeigt und vor allem beweist, dass der Grüne Strahl nicht nur einfach, sondern mehrere Dutzend Mal auftreten kann.

3.2 Grüne Wolkenkante

Manchmal ist zu sehen, dass sich nicht nur der Sonnenrand grün verfärbt, sondern auch Wolkenränder flackern mitunter deutlich grün. Interessanterweise befinden sich diese Wolken nicht über der Sonne, wo man sie erwarten würde, sondern daneben. Claudia Hinz konnte derartige Effekte bereits auf dem Wendelstein und der Zugspitze beobachten (HINZ, 2017) [<https://atoptics.wordpress.com/2017/03/21/green-rimmed-cloud-at-sunrise/>]. Auf dem Fichtelberg ist es Gerd Franze und Claudia Hinz schließlich gelungen, diese Erscheinung auf Video zu bannen [<https://youtu.be/XJbseOnyED4>]. Da weder in der Literatur noch im Internet adäquate Beobachtungen gefunden wurden, können nur eigene Vermutungen über die Entstehung angestellt werden. Am wahrscheinlichsten ist, dass die von hinten angeleuchtete Wolke als separate Lichtquelle fungiert und durch Spiegelungseffekte das grüne Flammenszenario erzeugt.

Alle Beobachtungen wurden von Bergen gemacht, von wo aus der wahre geographische Horizont bereits unterhalb der Nullhöhe liegt. Hier ist selbst die normale Höhenverschiebung der atmosphärischen Refraktion aufgrund des langen Lichtweges durch die Atmosphäre schon ziemlich hoch. Zudem wurden in allen Fällen gleichzeitig oder später an der Sonne grüne bzw. blaue Strahlen oder Segmente beobachtet, was von zusätzlichen Dichteunterschieden der bodennahen Luftmassen zeugt.

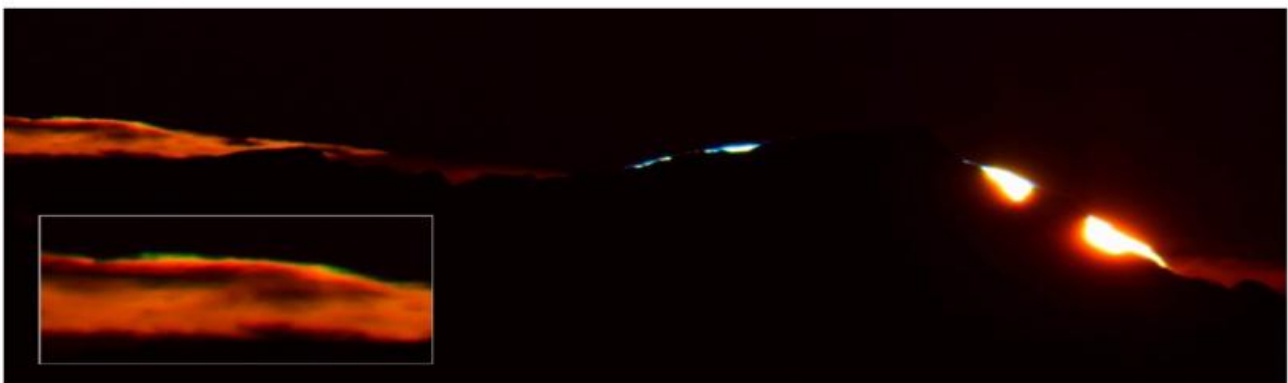


Abbildung 3-8: Grüne Wolkenkante, aufgenommen vom Wendelstein neben Sonnenuntergang mit Blauem Strahl an der Zugspitze. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 3-9: Grüne Wolkenkante, aufgenommen am Fichtelberg. Videosequenz: Claudia Hinz

3.3 Novaya Semlja Effekt

Ein besonders ausgeprägtes Beispiel für Refraktion ist der Novaya Semlja Effekt. Die erste Dokumentation geht auf eine Tagebuchaufzeichnung des Schiffzimmermanns Gerrit de Veer zurück. Dort beschreibt er am 24. Januar 1597 einen Sonnenaufgang auf der russischen Nordpolarmeerinsel Nowaya Semlja, der zwei Wochen früher als berechnet stattfand. Ähnliche Beobachtungen machten auch Nansen (1894, Arktischer Ozean), Shackleton (1915, Antarktis) und Liljequist (1951, Antarktis), welche die zu früh am Horizont stehende Sonne als horizontalen Streifen oder Quadrat beschrieben.

Erst 1998 wurde eine Erklärung dafür gefunden: Eine arktische Luftspiegelung. Während der Polarnacht sackt die Temperatur über der Schneedecke ab und steigt dann nach oben hin erst einmal an. Entlang der Temperaturgrenzlinie wird das Licht zur kälteren Schicht hin gebrochen, das heißt, der Lichtstrahl vollführt eine Art Wellenbewegung um die Grenzschicht herum und kann auf diese Art eine bedeutend größere Entfernung zurücklegen, als auf einer gerade Linie.

Bei einer Inversion herrschen auf dem Fichtelberg ähnliche Bedingungen. Über einer markanten kalten Schicht liegt eine sehr warme Luftmasse, deren Temperatur in der Höhe wieder allmählich abnimmt. Die Folge ist, dass die Sonne bis zu 12 Minuten vor dem astronomischen Sonnenaufgang bereits als Perlschnur oder Quadrat unterhalb der Inversionsschicht zu sehen ist, bevor sie über den Horizont „wächst“.

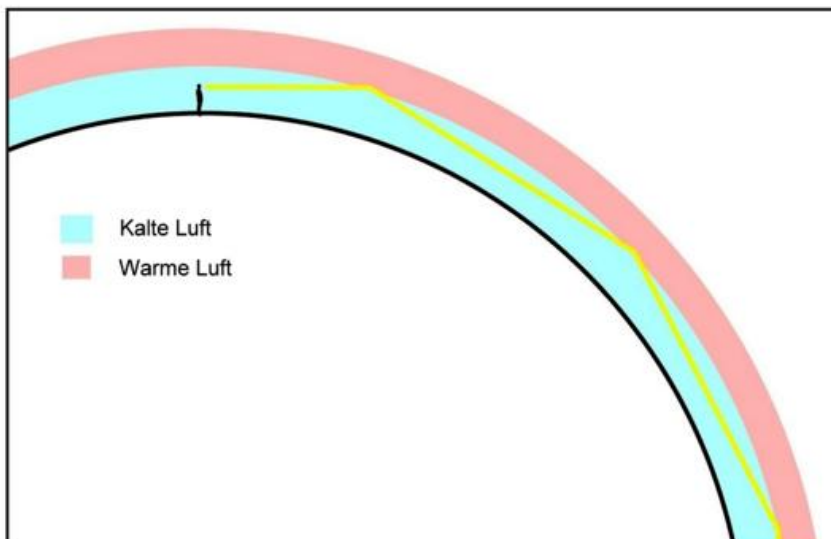


Abbildung 3-10: Strahlengang an einer arktischen Luftmassengrenze. Grafik: Grant Hutchison



Abbildungen 3-11a und 3-11b: Novaya Semlja Effekt an aufgehender Sonne. Fotos: Claudia Hinz

3.4 Perlschnurphänomen

Das Perlschnurphänomen wurde zuerst im Jahre 1901 von dem britischen Amateur-Astronomen John Franklin-Adams dokumentiert. Er beobachtete die Erscheinung mehrfach vom Schiff aus und führte sie auf den Wellengang am Horizont zurück.

Die Bedingungen bei einem Wolkenmeer ähneln denen auf dem Ozean. Die fließenden Wolken haben eine wellige Oberfläche und wie auf dem Meer ist es auch an der Wolkenoberfläche am kältesten, so dass der Lichtstrahl reflektiert und das Objekt (in diesem Fall die Sonne selbst) nach oben angehoben wird. Durch die Lücken von Meeres- oder Wolkenwellen blinzeln dann die leuchtenden Perlen hindurch, die oft erst nach Minuten verglühen.



Abbildungen 3-12a und 3-12b: Perlschnureffekt über dem Wasser (links, Foto: Sven Aulenberg) und über einer Inversion (rechts, Foto: Claudia Hinz)

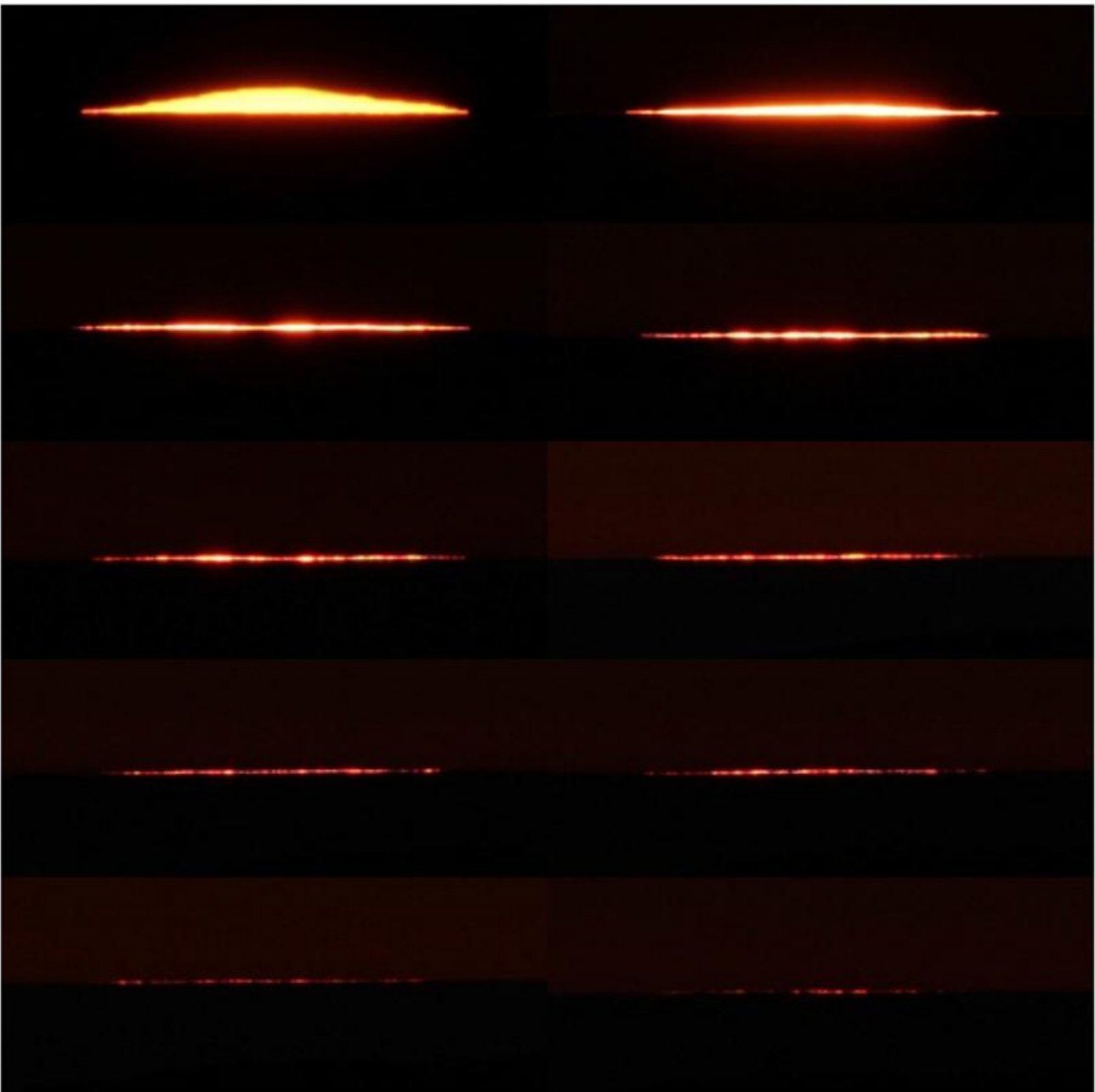


Abbildung 3-13: Mehrminütiger Perlschnureffekt oberhalb einer Inversion am Fichtelberg. Fotos: Claudia Hinz

3.5 Luftspiegelungen

Bereits 1958 bemerkte Horst Gäbler bei einer Beobachtung: „Luftspiegelungen oder auch nur Verzerrungen sehr weit entfernter Sichtziele am Horizont (z. B. des Riesengebirges oder des Böhmerwaldes) sind in der kalten Jahreszeit auf dem Fichtelberg trotz ihrer Eigenartigkeit nichts Außergewöhnliches.“

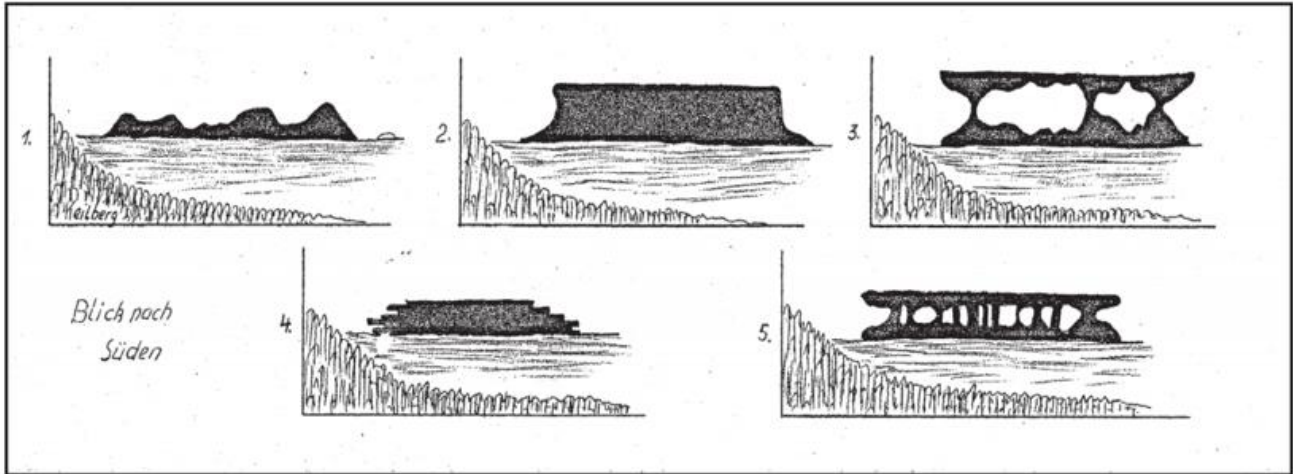
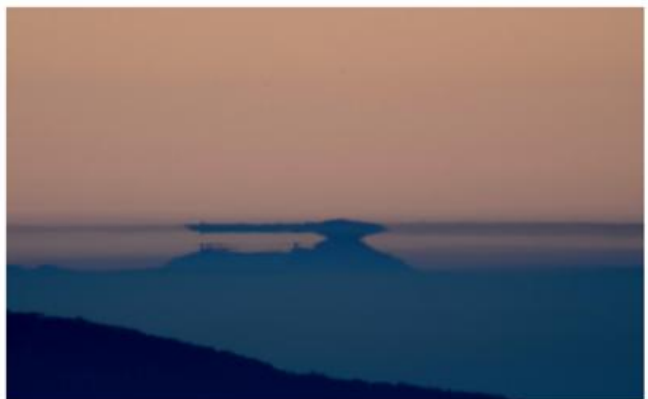
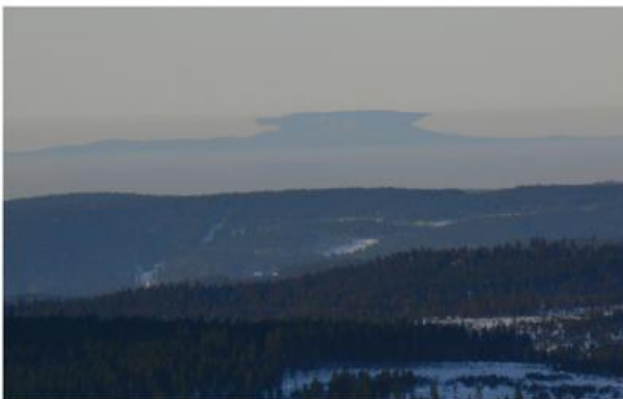


Abbildung 3-14: Luftspiegelungen am Bayerischen Wald/Böhmerwald am 17.11.1953. Das erste Bild zeigt das Gebirge unverzerrt, die anderen Abbildungen die Veränderung der Luftspiegelung innerhalb einer halben Stunde. Skizze: Horst Gäbler, Archiv Wetterwarte Fichtelberg

Aufgrund des starken Dichtesprungs an der Grenzschicht winterlicher Inversionen entstehen sehr häufig Luftspiegelungen an entfernten Bergen. Da die Temperatur nach oben hin zunimmt, sind die Strahlenbahnen stark nach unten gekrümmt. Die Spiegelungen, die in diesem Falle auftreten, sind obere Luftspiegelungen. Diese Art von Luftspiegelungen tritt auch über eisigen Schneeflächen in arktischen Regionen oder über kaltem Meerwasser auf. Allerdings werden in diesen Fällen nur Objekte angehoben, die sich weit entfernt über der Oberfläche befinden. Bei den Inversionswetterlagen können vom Fichtelberg aus dagegen auch tiefer liegende Berge über den Horizont gehoben und bis zur Unkenntlichkeit verzerrt werden.

Auch Mehrfachspiegelungen sind keine Seltenheit, da es neben der eigentlichen Inversion oft auch orografisch bedingte Mehrfachschichtungen gibt, die zu einer Doppel- oder Mehrfachablenkung führen.



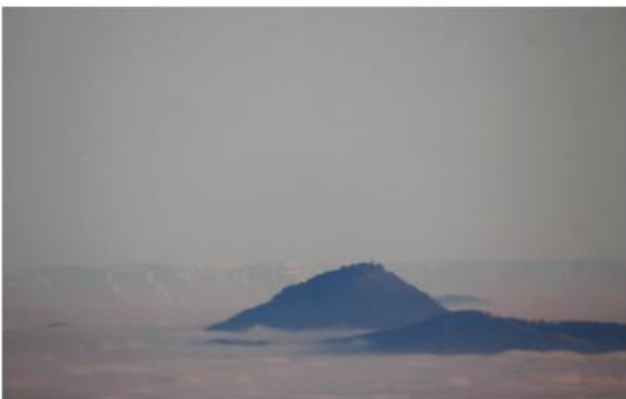
Abbildungen 3-15a und 3-15b: Spiegelungen am Fichtelgebirge (Links) und Lausitzer Gebirge (Rechts). Fotos: Gerd Franze



Abbildungen 3-16a und 3-16b: Mehrfachspiegelung an Böhmerwald (Links) und Isergebirge (Rechts). Fotos: Claudia Hinz



Abbildungen 3-17a und 3-17b: Ungewöhnliche Luftspiegelung, Ursprung wahrscheinlich Sendeanlagen am Schwarzwald im Bayerischen Wald. Fotos: Claudia Hinz



Abbildungen 3-18a und 3-18b: Starke Refraktionen am 200 km entfernten Riesengebirge. Fotos: Claudia Hinz

3.6 Ungewöhnliche Fernsichtziele

Ungewöhnlichen Sichtweiten wurden auf dem Fichtelberg schon immer großer Bedeutung beigemessen und die visuelle Beobachtung von Fernsichten wurde regelmäßig in den Beobachtungstagebüchern festgehalten sowie tabellarisch, graphisch und durch Häufigkeitsverteilungen ausgewertet. Dabei ergaben sich wertvolle Erkenntnisse über den jährlichen Verlauf und refraktionsbedingte Besonderheiten und Begleiterscheinungen.

So wird zum Beispiel der wechselnde visuelle Eindruck von Entfernungen neben Sichttrübung auch durch atmosphärische Strahlenbrechung beeinflusst. Wenn bei Dichtegradienten das Gebirge angehoben wird, wirkt es näher, als wenn es sich vom Horizont kaum abhebt.



Abbildung 3-19: Wird der Bayerische Wald durch Refraktion angehoben, ist er bei klarer Luft besonders gut zu sehen. Foto: Claudia Hinz

Im Jahresgang treten an durchschnittlich 12 Tagen ungewöhnliche Fernsichten (>150 km) auf. Am häufigsten entstehen sie bei Inversionswetterlagen (41,4 %), da sich die Luftaerosole (Staub, Feuchtigkeit) unterhalb der Inversionsschicht sammeln. Darüber ist die Luft meist klar und durchsichtig. Die weitesten Sichtmarken sind der Bayerische Wald bzw. der Böhmerwald (130-175 km), der Thüringer Wald (130-175 km), das Riesengebirge (185-220 km) und der Brocken (220 km).

Die Beobachtung der entferntesten Sichtmarken ist allerdings nur mit Refraktionsunterstützung möglich, denn sie wird durch die so genannte Geodätische Krümmung der Erde begrenzt. Mit der Formel der geodätischen Sichtweite kann man die maximale Sichtweite für Berge unterschiedlicher Höhe mit (Faktor 3,9) und ohne atmosphärische Refraktion (3,57) berechnen. Dabei entspricht die ungefähre sichtbare Entfernung s (in Kilometer) zwischen zwei Bergen in der Höhe h_1 und h_2 (in Metern) ohne Refraktion:

$$s \approx 3,57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Vom Fichtelberg aus ($h_1=1215$ m) wäre also ein 1000 m hoher Berg noch in 237 km zu sehen, mit Refraktion sogar in 260 km. Zwar ist der Brocken als entfernteste Sichtmarke nur 220 km entfernt, jedoch würde er sich ohne Refraktion kaum vom Horizont abheben. Kommen zur normalen atmosphärischen Refraktion noch weitere Refraktionseffekte durch unterschiedlich dichte Luftschichtung hinzu, dann sind sogar noch die Harzgifel Wurmberg (971 m) und Achtermannshöhe (925 m) auszumachen, die ohne Refraktion nicht mehr zu sehen wären.



Abbildung 3-20: Brocken und Wurmberg, durch Refraktionseffekte leicht angehoben. Foto: Claudia Hinz

Das Riesengebirge und die ebenfalls 200 km entfernte und 1603 m hohe Schneekoppe sollten dagegen auch ohne Refraktionseffekte sichtbar sein. Jedoch ist sie vom Fichtelberg aus gesehen hinter dem Hochwiesenberg (Luční hora, 1555 m) versteckt. Erst durch starke Refraktionseffekte wird sie über den Hochwiesenberg angehoben und wird als eigenständiger und dank Aufbauten gut identifizierbarer Berg sichtbar.



Abbildung 3-21: Stark refraktierter Hochwiesenberg mit dahinter liegender Schneekoppe im Riesengebirge (rechts hinten). Foto: Claudia Hinz

4 Weitere Besondere Witterungserscheinungen und ihre Auswirkungen

Der Fichtelberg und das Erzgebirge bieten sowohl Meteorologen als auch dem passionierten Beobachter viele Besonderheiten. Neben regionalen Windsystemen, der kalten Luftansammlung im böhmischen Becken oder ungewöhnlichen Wolkenformationen bietet der Erzgebirgskamm auch atmosphärische Erscheinungen, die sehr selten oder wie die Eisnebelhalos einmalig sind. Diese sollen in diesem Kapitel näher beleuchtet werden.

4.1 Böhmischer Wind

4.1.1 Der Böhmischer Wind und seine Entstehung



Abbildung 4-1: Kaltluft im Böhmischen Becken. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-2: Der Nebel fließt über den Erzgebirgskamm. Foto: Claudia Hinz

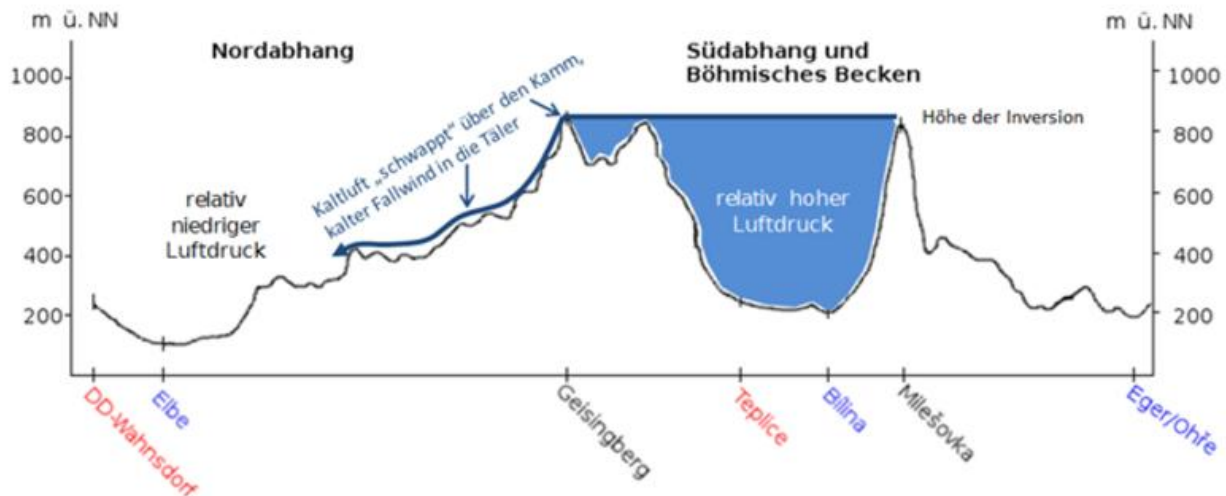
Beim Böhmischem Wind handelt es sich um ein regionales Windsystem. Eine Vorbedingung für seine Entstehung ist ein nahezu ortsfestes Hochdruckgebiet über dem östlichen Mitteleuropa, in dem die Luft großräumig absinkt. Im Böhmischem Becken herrscht dann höherer Luftdruck als westlich davon. Zudem bildet sich im Winterhalbjahr im Einflussbereich des Hochs oft eine über mehrere Tage anhaltende Inversion, sodass sich das Böhmisches Becken mit einer etwa 800 bis 1000 Meter mächtigen Kaltluftschicht anfüllen kann. Aufgrund der Tatsache, dass kalte Luft schwerer ist als warme, sinkt sie zu Boden. Daher bildet sich dort ein kleinräumiges Kältehoch. Die nun vor Ort lagernde Kaltluft neigt wegen des fehlenden Austauschs mit darüber liegenden Luftschichten außerdem noch zu Nebel- und Hochnebelbildung. Ins angrenzende Sachsen und Bayern kann sie sich aufgrund der Orografie nicht ausbreiten. Nicht nur, aber auch dadurch, herrscht in Sachsen und Bayern aber relativ gesehen niedrigerer Luftdruck. Nun ist die Natur bestrebt, diese Unterschiede auszugleichen, was durch Wind geschieht, welcher bekanntlich vom hohen zum tiefen Luftdruck weht. Jedoch behindern die Randgebirge, durch die Böhmen von drei Seiten umgeben ist, diesen Ausgleich. Dieser ist nur auf zwei verschiedenen Wegen möglich:

Einerseits kann die Inversionsobergrenze etwas höher liegen als die Kammlagen des Osterzgebirges. Dann schwappt die Kaltluft über die Kammlagen, wo sie für eine ziemlich dicke „Nebelsuppe“ sorgt. Die Kaltluft, die über den Kamm streicht, weht als Fallwind in die Täler. Weiter westlich ist das Erzgebirge höher, weshalb dort die Kamm- und Gipfellagen wolkenfrei und wärmer sind. Veranschaulicht wird dies durch die Grafik in Abb. 4-3.

Andererseits kann die Kaltluft auch bei niedrigerer Inversionsobergrenze direkt in die Durchbruchtäler als kalter Fallwind abfließen. Der Wind wird in den Durchbruchstälern durch Kanalisationseffekte noch verstärkt. Aufgrund des Gefälles fließt die Kaltluft im Tal selbst immer schneller, sodass Sturmböen, teilweise sogar schadensträchtige Orkanböen, auftreten können.

Im Winter können sich daher bei vorhandener Schneedecke innerhalb kurzer Zeit hohe Schneeverwehungen bilden. Außerdem liegen die Temperaturen im Elbtal aufgrund der einfließenden Kaltluft deutlich niedriger als im Umland, im Winter herrscht oft Dauerfrost.

Höhenprofil Osterzgebirge



Höhenprofil Westerzgebirge

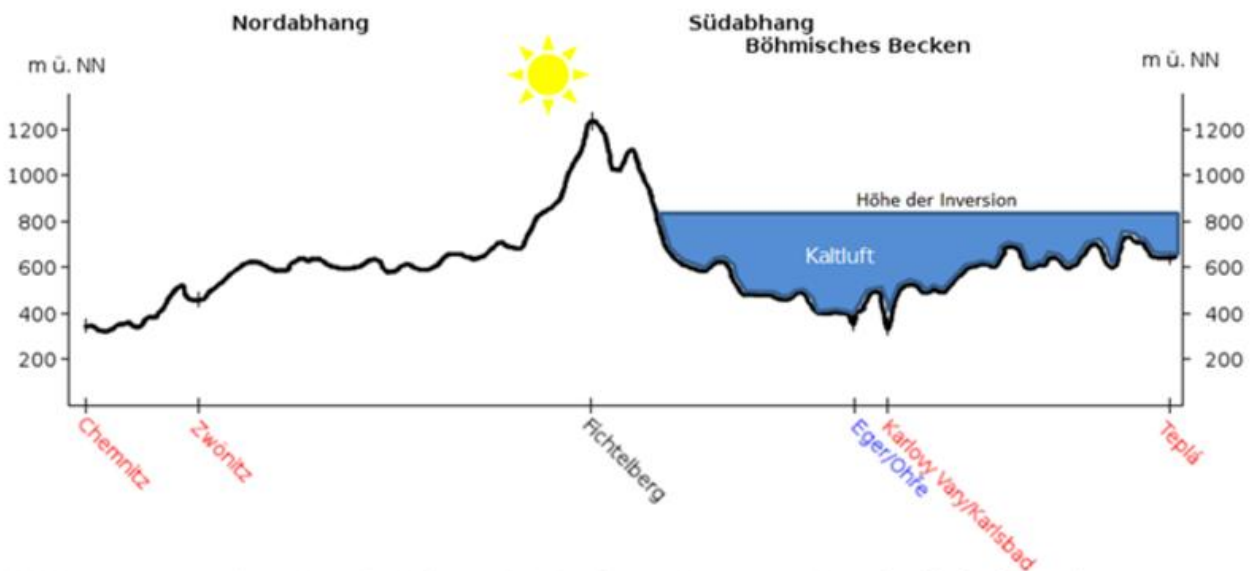


Abbildung 4-3: Darstellung des Böhmisches Nebels im Ost- und Westerzgebirge. Grafik: Stefan Bach, DWD

Die Ausgleichströmung hält so lange an, wie über dem Böhmisches Becken höherer Luftdruck herrscht, was im Winter mitunter ein bis drei Wochen dauern kann. Oft haben heranziehende Warmfronten nicht die nötige Kraft, die lagernde Kaltluft auszuräumen. Erst eine Durchmischung, wie sie beispielsweise durch eine kräftige Kaltfront verursacht wird, bringt den Böhmisches Wind zum Erliegen.

4.1.2 Auswirkungen von Südströmungen auf Sachsen

Das Erzgebirge ist eine Pultscholle, die in Sachsen allmählich ansteigt und nach Böhmen hin steil in das Egertal abfällt. Die höchsten Berge sind der 1215 Meter hohe Fichtelberg im Westerzgebirge und der benachbarte 1243 Meter hohe Keilberg auf tschechischer Seite. Das Egertal, welches auf der Südseite vom Duppauer Gebirge und dem Kaiserwald abgegrenzt wird, liegt nur 200-300 Meter hoch und ist für die Bildung von Kaltluftseen prädestiniert.

Am nördlichen Abfall des Erzgebirges ist Südwind die Hauptwindrichtung des Böhmisches Windes. Besonders ausgeprägt ist er immer dann, wenn die eingeflossene Luft im Böhmisches Becken ein paar Tage Zeit



Abbildungen 4-4 und 4-5: Im Egertal bildet sich besonders häufig Nebel aus. Fotos: Claudia Hinz

und Ruhe hatte, deren Eigenschaften anzunehmen, im Winter bodennah kalt und feucht, im Sommer heiß und trocken. Diese Windsituation kann über mehrere Tage anhalten und mit dem Wetterbericht Katz und Maus spielen. Alle sprechen von Tauwetter und Regen, aber in der Lausitz ist strahlend blauer Himmel und Frost, dazu pfeift ein eisiger Südwind, der zu Schneeverwehungen führt. Zur gleichen Zeit sind am Nordrand des Erzgebirges rund um Chemnitz, Mittweida, Oederan, Aue und Stollberg im Föhn 15 bis 18 Grad und Sonnenschein möglich (Zinnwald häufig $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Nebel, Fichtelberg bis $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Sonne), während es in Nordwestsachsen bedeckt ist und etwas regnet. In der warmen Jahreszeit weht dagegen ein heißer und trockener, besonders in Ostsachsen recht böiger Wind aus Tschechien bzw. über den Erzgebirgskamm, der den Erdboden binnen kurzer Zeit staubig föhnt. Selbst die Pflanzen werden dadurch zum Teil welk. In der Lausitz sind rekordverdächtige Temperaturen von 38 bis $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ keine Seltenheit (Preschen: $40,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, offiziell anerkannt $39,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ am 30.07.1994, Bautzen: $38,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ am 29.07.1921). Durch Föhnwirkung des Böhmisches Windes (besonders im Winter, Frühjahr und Herbst) haben die Gegenden um Annaberg, Aue, Chemnitz und Königsbrück, Kamenz, Bautzen, Löbau die meisten jährlichen Sonnenstunden in Sachsen aufzuweisen.

In den Sommermonaten kann aber auch das ganze Gegenteil auftreten. Es kommt zwar selten vor, aber sollte aus Nordwesten feuchte Kaltluft zu uns einsickern, entsteht über dem Elbsandsteingebirge ein Mischungsgebiet zu der über Tschechien liegenden schwül heißen Luft. Es bilden sich dort kleinräumige Gewittertiefs (sogenannte Warmlufteinschubgewitter), die sehr langsam über das Elbtal und die Westlausitz nach Nord oder Nordosten ziehen und örtlich eng begrenzte Unwetter verursachen. Das schlimmste ereignete sich in der Nacht vom 8. zum 9. Juli 1927 im Gebiet um Gottleuba, es fielen 226 l pro m^2 Niederschlag in wenigen Stunden. In den Tälern der Gottleuba und der Müglitz erreichte die Flutwelle stellenweise eine Höhe von 5 m, wobei 146 Menschen ertranken.

Eine Besonderheit bildet auch das Flöhatal bei Olbernhau. Die meisten Flusstäler im Erzgebirge weisen eine Südost-Nordwestrichtung auf und sind relativ schmal sowie ziemlich tief in den felsigen Untergrund eingeschnitten. Nur das obere Flöhatal bildet eine 10 km lange und 2 km breite Talwanne, da hier im Tertiär das Grundgebirge in Schollen zerbrach. Die Südseite der Erzgebirgsscholle wurde gehoben, während die Nordseite in ihrer Lage verblieb. Dadurch kann die feuchte Luft aus dem Böhmisches Becken ungehindert in das Tal hineinfließen. Dadurch kann die feuchte Luft aus dem Böhmisches Becken ungehindert in das Tal hineinfließen, wo sie, wie im Kapitel 4.1.1 beschrieben, kanalisiert zu Wind- und Orkanböen führen kann.

4.2 Föhn im Erzgebirge

Der Föhn ist ein warmer, trockener Fallwind, welcher auf der Luftströmung abgewandte Leeseite von größeren Gebirgen auftritt. Ursprünglich wurde der Begriff ausschließlich für die warmen Winde im Alpenraum verwendet. Bei bestimmten Wetterlagen kommt es allerdings auch an den Rändern der deutschen Mittelgebirge zu Föhneffekten, wenn auch nicht in alpinen Größenordnungen. Das Erzgebirge macht davon keine Ausnahme. In seiner von Südwest nach Nordost gerichteten Lage sind es nicht nur West- oder Nordwestwetterlagen, die am Südrand des Erzgebirges föhnartige Fallwinde erzeugen. Auch auf der sächsischen Nordseite treten bei

Südwest-, Süd- und Südostwetterlagen unter bestimmten Voraussetzungen Föhneffekte auf. Im Gegensatz zu den Alpen, die hoch und breit genug sind, um jegliche kälter temperierten Luftmassen zurückzuhalten, sind Föhneffekte im Erzgebirge regional sehr unterschiedlich. Es steigt, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, von Norden her aus der sächsischen Tiefebene (ca. 150 Meter über NN) wie eine breite, schrägaufgerichtete Pultplatte sanft an, im Osterzgebirge auf etwa 900 Meter, im Westerzgebirge auf über 1000 Meter bis zum Fichtelberg (1215 m) und Keilberg (1244 m). Auf der Südseite fällt das Gebirge sehr steil ab (ca. 600-700 m auf 4-5 km Luftlinie). Der Föhneinfluss auf das Wettergeschehen ist deshalb regional sehr unterschiedlich und Temperaturunterschiede von über 10°C zwischen Ost- und Westerzgebirge sind deshalb keine Seltenheit.

Zwei Föhnarten sind den in den Alpen dennoch recht ähnlich. Im Sommerhalbjahr sorgen Wetterlagen, die vom Mittelmeer her verstärkt Warmluft heranführen, an den Nordflanken des Erzgebirges für warmen Fallwind und Wolkenauflösung. Auch bei Südwestwetterlagen, wo von der Biskaya Wolkengebiete von, mit oder hinter Warmfronten herangeführt werden, sind regional vor allem bei südöstlicher Gebirgsausrichtung föhnlige Wolkenauflösungserscheinungen zu beobachten.

Sehr unterschiedliche Auswirkungen zwischen Ost- und Westerzgebirge hat der Westerzgebirgsföhn, im Volksmund auch Böhmischer Föhn genannt. Er entsteht meist im Winter, wenn sich bei einer südlichen Luftströmung die oft über dem böhmischen Becken liegende Inversion knapp über dem Gebirgskamm befindet. Dann bildet sich zwischen dem manchmal nur wenigen Höhenmeter voneinander entfernten Höhenwarmluftuntergrenze und der Obergrenze des böhmischen Kaltluftsees eine regelrechte Föhndüse. Diese führt warme Luft aus dem Süden über die Nordhänge des Erzgebirges hinauf, die auf sächsischer Seite in die Täler fällt. Im Kammbereich bleibt es bei größeren Windstärken meist ganztägig kühl und neblig trüb, erst mit dem Überschreiten des Erzgebirgskamms löst sich föhnbedingt der Hochnebel auf und es herrscht warmes und sonniges Wetter. In einigen Fällen ist dieser markante Lee-Effekt bis in die Tallagen von einem starken Föhnsturm mit eindrucksvollen Lenticulariswolken begleitet, die sich manchmal sogar mehrstöckig in die Höhe schrauben. Der Blick von deutscher Seite zum Erzgebirgskamm zeigt in diesen Fällen eine Föhnmauer mit zerfetzter Obergrenze. Manchmal bricht der Föhn bis nach Chemnitz durch und teilt die Stadt in zwei Wetterhälften.



Abbildungen 4-6 bis 4-9: Föhnwolken über dem Erzgebirge. Fotos: Claudia Hinz

Am Kamm des Osterzgebirge bleibt es dagegen häufig kalt und neblig, da der Kaltluftsee aufgrund der geringeren Höhe über den Kamm schwappt und nur ein geringer Teil durch die engen Täler von Neiße und Elbe abfließen kann. Das führt zu einem Stau der kalten Luft, in der dicke Nebelfrostablagerungen nicht selten Äste und Bäume abbrechen

In seltenen Fällen setzt Böhmischer Wind auch ein, ohne dass ein ausgeprägter Kaltluftsee in Böhmen liegt. Dies ist dann der Fall, wenn ein kleinräumiges Tief von Bayern oder Baden-Württemberg direkt nach Norden zieht; die aus seiner Vorderseite herrschende Ost- bis Südostströmung saugt förmlich Luft aus dem Böhmisches Becken heraus. Der Böhmische Wind hält nur so lange an, bis der Kern des Tiefs den Thüringer Wald bzw. Südhessen überquert hat, und besitzt in diesem Fall ebenfalls Eigenschaften des Föhns. Diese Wetterlage tritt allerdings nur selten auf.

4.3 Kelvin Helmholtz-Wellen

Manchmal ist über dem Erzgebirge ein besonderes Wolkenphänomen zu beobachten, dann sehen Wolken aus wie Wellen, die auf dem Meer zu brechen scheinen. Diese so genannten Kelvin-Helmholtz-Wellen sind nach dem britischen Physiker, Mathematiker und Ingenieur Lord Kelvin (1824 bis 1907) und dem deutschen Mediziner, Physiker und Mathematiker Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894) benannt. Kelvin (1871) und Helmholtz (1868) behandelten die Entstehung der Wellen in detaillierten Abhandlungen. Häufig findet man sie unter dem Begriff Kelvin-Helmholtz-Instabilität, welcher das Phänomen besser beschreibt, denn sie entstehen durch wellenförmige Instabilitäten einer Scherströmung. Sie sind also durch Wolken sichtbar werdende Scherungswellen. Im neuen Wolkenatlas der WMO werden die Wolkenwellen auch als Unterart Fluctus bezeichnet.

Wenn Warmluft auf Kaltluft aufgleitet, bewegen sich die verschieden warmen und unterschiedlich dichten Luftschichten anfangs mit konstanter Geschwindigkeit gegeneinander. Wird diese Grenzfläche durch vertikale

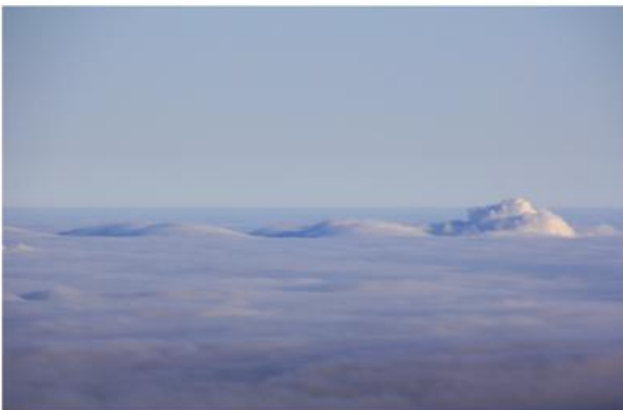


Abbildung 4-10: Seeungeheuer im Wolkenmeer. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-11: Kelvin-Helmholtz-Welle auf Wolkenmeer. Foto: Claudia Hinz



Abbildungen 4-12 bis 4-13: Kelvin-Helmholtz-Wellen am Erzgebirgskamm. Fotos: Claudia Hinz

Windscherungen (zum Beispiel durch orografische Störungen) gestört, wird der Strömungsverlauf instabil und wellenförmig. Durch die Windscherung werden die Wellenberge und -Täler gegeneinander versetzt, wodurch die Grenzfläche die Form einer brechenden Welle annimmt. Letztendlich sind die Kelvin-Helmholtz-Wellen also ein Zeichen dafür, dass sich die verschiedenen Luftmassen allmählich vermischen.

Normalerweise ist dieses Wolkenphänomen recht selten, aber über dem Erzgebirge ist es recht oft zu beobachten. Am häufigsten tritt es bei einer tiefer liegenden Wolkendecke auf, welche kalte Luft über dem Egertal deckelt. Dort befinden sich viele Kraftwerke, deren warmer Wasserdampf zu Instabilitäten und manchmal auch zu Kelvin-Helmholtz-Wellen führen. Die aufgetürmten Wellen sehen dann häufig so aus, wie die Buckelwölbungen eines Seeungeheuers. Manchmal entwickeln sich kurzlebige kräuselnde Wellen, die Ähnlichkeit mit Meereswellen im Sturm haben. Aber auch am Himmel sind Helmholtz-Wellen oft zu finden, nämlich dann, wenn eine Luftmassengrenze genau über dem Erzgebirge liegt oder wenn Föhn verschieden warme Luftmassen verwirbelt.

4.4 Ungewöhnliche Erscheinungen bei Gewitter

Zu den eindrucksvollsten Naturscheinungen auf den Bergen gehören die Gewitter. Entscheidend für die Feststellung, ob es sich um ein Gewitter handelt, ist das Hören des Donners. Auf dem Fichtelberg werden im Jahr im Mittel etwa 23 Gewittertage gezählt. In der Nähe einschlagende Blitze vermitteln nicht selten den Eindruck einer niederprasselnden Feuersäule. Der Blitzkanal kann bis zu 50 cm Durchmesser aufweisen!

In früheren Jahren gab es mehrere Einschläge an der Station selbst, wobei trotz vorhandener Blitzableiter die unterschiedlichsten Nebenwirkungen auftraten, es kamen Funken aus dem Telefon, die Glühbirnen leuchteten auf oder die Klingel sprang an. Einmal waren nach einem Blitzschlag sogar die Sicherungen auf der Marmortafel festgeschmolzen. Die Einschläge in die Wetterwarte wurden 1967 seltener, als der um einiges höhere Fichtelberghausturm gebaut wurde und die Blitze anzog. Heute ist die Station aufgrund moderner Blitzschutzanlagen vor derartigen verirrten Entladungen sicher. Nachts kündigen sich Gewitter bereits in großer Ferne (bis etwa 100 km) als Wetterleuchten an, d.h. infolge der großen Entfernung der Gewitter ist kein Donner hörbar.

Am Fichtelberg wurde bereits zweimal der interessante Perlschnurblitz, bestehend aus zahllosen Lichtpunkten, beobachtet. Auch der umstrittene Kugelblitz konnte am 10.05.1965 durch exakte Beobachtung mehrerer Personen dokumentiert werden. Während eines Gewitters, das von orkanartigen Böen bis Windstärke 12 und heftigem Schneetreiben begleitet wurde, erschien plötzlich vor dem Fenster eine „Leuchtende Kugel, die sich über das Antennenkabel Einlass in das Gebäude verschaffte. Eine Beschreibung stammt aus dem Buch „Geschichten“ von Helga Gäbler: „Beim Frühstück am Tisch vor dem Fenster sahen wir vom Süden her, am Haus entlang, etwas Helles auf uns zukommen, eine Art Kugel, aus der Erinnerung heraus würde ich von Fußballgröße sprechen. Ihre Geschwindigkeit würde ich mit der einer Armbewegung bezeichnen. Man nahm alles genau wahr, es ging aber zu schnell, um Einzelheiten festzustellen. Bevor wir uns noch ganz klar über diese Erscheinung waren, verschwand sie in der Luke des angebauten Schuppens. Während



Abbildung 4-15: Flächenblitz am Keilberg. Abbung 4-16: Naheinschlag am Fichtelberg. Fotos: Claudia Hinz



Abbildung 4-17: Perlschnurblitz. Foto: Markus Heinemann

wir noch auf diese Stelle starrten, gab es in der Ecke unseres Zimmers einen ganz eigenartigen Knall. Es schien weniger ein Knall, mehr ein ‚Platsch‘, vielleicht so, als ob jemand einen großen, wassergefüllten Luftballon kräftig an die Wand geworfen hätte und dieser wäre zerplatzt. Horst fing sich als erster. ‚Das war ein Kugelblitz, doch die soll es ja eigentlich gar nicht geben!‘ Den Weg dieser Erscheinung erkannten wir inzwischen auch klar; denn durch die Wand dieses Schuppens hatte man ein Loch in unsere Wohnstube gebohrt und das Kabel zu einem wichtigen Sender in unsere Stube hindurchgeleitet. Über dieses Kabel, den Sender und die elektrische Leitung führte also der Weg bis zur Entladung an der Steckdose in unserer Zimmerecke, wo es dieses ‚Platsch‘ gegeben hatte.“

Eine weitere häufige Begleiterscheinung von Gewittern ist das St. Elmsfeuer. Diese Funkenentladung, die bei starken Spannungsdifferenzen zwischen dem Boden und der Luft auftritt, ist vorzugsweise an Metallspitzen, Masten oder Türmen zu beobachten. Tagsüber verrät sich das Elmsfeuer durch knisternde Geräusche. Älteren Berichten zufolge kann es bei entsprechend exponierter Stellung des Beobachters auch am menschlichen Haar oder an den hochgehaltenen Fingerspitzen auftreten, entweder in Form einer leuchtenden Haut (negative Entladung) oder als büchelförmiges Flämmchen bis 5 cm Länge (positive Entladung). Körperlich ist dabei ein empfindliches Kribbeln zu verspüren und der „ausgelichene Heiligenschein“ verursacht Kopfschmerzen. Deshalb verbietet heute der Arbeitsschutz derartig gefährliche Experimente.

Von den Elmsfeuern sind einige persönliche Eindrücke überliefert:

Theodor Müller: „Bevorzugt in den Frühlingsmonaten stellte sich in Begleitung kräftiger Reifgraupelschauer Elmsfeuer ein. Ich selbst habe Elmsfeuer mehrfach an den höchsten Spitzen auf dem Turm der Wetterwarte, an Blitzableitern und der Windfahne beobachtet. Verbunden mit knisternden Geräuschen sah ich dann kugelförmige, bläuliche Feuer sprühen. Trat in der Natur beispielsweise ein Mensch an die Stelle einer Turmspitze oder eines Blitzableiters, dann übertrug sich die Entladung auf dessen Körper. Hier standen die Haare steil nach oben und an den Haarspitzen sprühte, je nach Intensität, ein Elmsfeuer zwischen einigen Millimetern und mehreren Zentimetern. Schaute man in den Himmel, waren diese unangenehmen Entladungen als kleine Kügelchen an den Augenwimpern besonders lästig. Ein juckendes Kitzeln beeinträchtigte das Sehvermögen.“



Abbildung 4-18: St. Elmsfeuer an meteorologischen Messgeräten. Foto: Hermann Scheer



Abbildung 4-19: Bei hoher Spannung stehen Kopf- und sogar Nackenhaare zu Berge. Foto: Claudia Hinz

Helga Gäbler: „Sobald es im Radio zu rauschen begann, stürzten wir nach oben. Elmsfeuer wurde für uns einen Sommer lang zu einer Art Unterhaltung mit viel Spaß, aber auch genauen Beobachtungen. Bei einem der Dienstbesuche durch unsere vorgesetzte Dienststelle aus Potsdam berichteten wir von unserer Entdeckung. ‚Ja, seid ihr denn noch zu retten?‘ hieß es da, ‚So eine kalte Entladung kann ganz schnell in eine heiße umschlagen, dann ist es aus mit euch!‘ – Ganz wollten wir dies zwar nicht glauben, wir wurden aber vorsichtiger.“

4.5 Besondere atmosphärische Erscheinungen

Die Höhenlage der Gipfel macht es möglich, besondere Wettererscheinungen zu beobachten. Neben den schon im Kapitel 3 beschriebenen extremen Fernsichten und an Inversionswetterlagen gebundene Luftspiegelung an entfernten Gebirgen und dem Grünen Strahl sind vor allem Dämmerungserscheinungen wie Erdschattenbogen, Gegendämmerungsfarben und Alpenglühen sehr eindrucksvoll. Optische Phänomene wie Regenbögen, Halos in Cirren und Glorien komplettieren die Vielzahl der Möglichkeiten. Die wichtigsten sollen hier näher betrachtet werden.

4.5.1 Dämmerungserscheinungen

Der Dämmerungsverlauf ist vom Berg aus besonders eindrucksvoll zu beobachten. Zu erwähnen sind in Sonnenrichtung vor allem das Purpurlicht, welches später vom horizontnahen Nachpurpurlicht abgelöst wird, welches erst intensiv farbig ist und später als letzter Dämmerungsschein am Horizont verblasst. In Gegenrichtung der Sonne sind vor allem die farbige Gegendämmerung und der blaugraue Erdschattenbogen auffällig, welcher langsam aufsteigt und auf dem manchmal der Fichtelbergsschatten als Kegel erkennbar ist.



Abbildung 4-20: Purpurlicht über dem Messfeld nach Aetna-Ausbruch. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-21: Aus dem Erdschatten erhebt sich der Bergschatten des Fichtelberges. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-22: Gegendämmerungsstrahlen hinter dem Fichtelberghaus. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-23: Dämmerungsstrahlen durch horizontnahe Wolken. Foto: Claudia Hinz



Abbildungen 4-24 und 4-25: „Alpen“glühen an der Wetterwarte Fichtelberg und an den umliegenden Bäumen. Fotos: Claudia Hinz

Ist die Troposphäre sehr aerosolhaltig (z. B. höhere Feuchteschichten), sind häufig Crepuscular- und Anticrepuscularstrahlen zu sehen, also Schatten horizontnaher Hindernisse (meist Berge oder entfernte Wolken), die in den Himmel projiziert werden.

An Wolken auftretendes Morgen- und Abendrot gehört nicht direkt zu den Dämmerungen, aber es tritt ebenfalls bei tiefstehender Sonne auf oder dann, wenn sie knapp unter dem Horizont steht. Ursache ist der lange Weg, den das Licht bei flachem Einfallswinkel durch unsere Atmosphäre zurücklegt. Dabei werden die kurzwelligigen Lichtanteile herausgefiltert, so dass uns nur noch das langwellige Licht erreicht, welches sich in den Wolken oder seltener auch an den Bergen oder Gebäuden der Umgebung (Alpenglühen) widerspiegelt.

Es gibt einige Ereignisse, welche das Purpurlicht intensivieren, in dem sie die Troposphäre oder die unteren Stratosphärenschichten mit zusätzlichen Aerosolpartikeln anreichern und somit die Lichtstreuung verstärken. Dazu gehören Verfrachtungen von Saharastaub, Vulkanausbrüche, Waldbrände aber auch Eiskristalle in der Ozonschicht (Polare Stratosphärische Wolken).

Die wohl schönsten und intensivsten Dämmerungen wurden am Fichtelberg 1991 und 1992 nach dem Ausbruch des philippinischen Vulkans Pinatubo beobachtet. In mehreren Eruptionswellen wurden insgesamt 10 km³ Tephra (vulkanische Aerosolpartikel) herausgeschleudert, die sich in der Folgezeit in der unteren Stratosphäre verteilten. Besonders die Schwefelsäuretröpfchen konnten sich über Monate hinweg halten und sorgten weltweit für auffällige und in Kunst und Literatur viel zitierte leuchtende Dämmerungsfarben. Auch auf dem Fichtelberg wurde in dieser Zeit von zahlreichen hellen Purpurlichtern berichtet, die teilweise bis zum Zenit reichten (Gäbler, 1992).

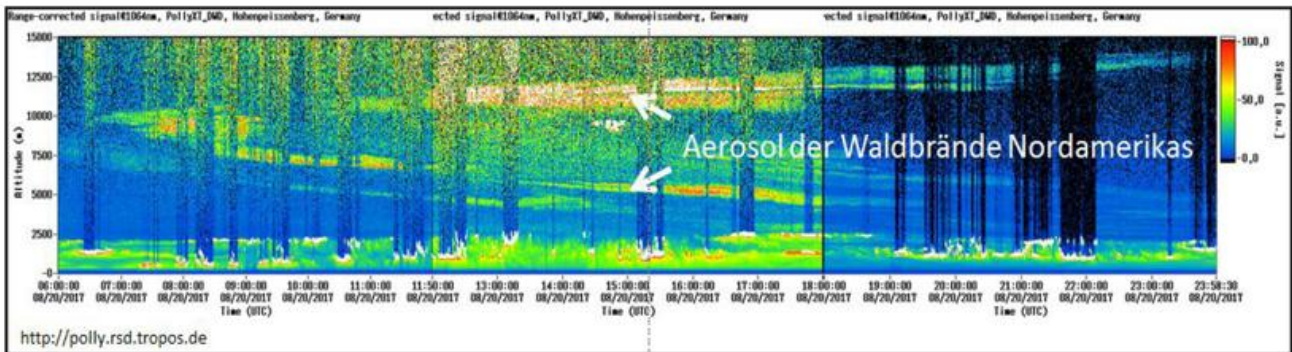


Abbildung 4-26: Lidarmessungen vom 20.08.2017 zeigen die verschiedenen Schichten der Waldbrandaerosole aus Kanada. Quelle: Observatorium Hohenpeißenberg/DWD

Auch in den letzten Jahren gab es einige Vulkane, die ihre Partikel hoch genug schleuderten, damit sie sich zumindest über die gesamte Nordhemisphäre verteilen konnten. Besonders nach den Ausbrüchen des Aleutenvulkans Kasatochi im Jahre 2008 (<https://atoptics.wordpress.com/2011/05/27/volcanic-twilight-over-europe/>) und des russischen Kurilenvulkans Sarytschew 2009 (<https://atoptics.wordpress.com/2011/05/27/volcanic-twilight/>) wurden prächtige Dämmerungsfarben und vor allem auffällige Crepuscularstrahlen dokumentiert.

Es gibt aber auch ungewöhnliche Dämmerungen, die keinem Vulkanausbruch zuzuordnen sind. So wurde zum Beispiel im August 1975 eine „ungewöhnlich orangerot gefärbte und schlierige Dämmerung mit roter Sonne“ (GÄBLER, 1975) beobachtet. Ursache war hier wahrscheinlich ein Waldbrand in der Lüneburger Heide, bei dem 8000 Hektar an Wald-, Moor- und Heideland vernichtet wurde. Aus dem Orbit fotografierte der sowjetische Wettersatellit Meteor 22 damals eine 250 Kilometer lange Rauchfahne, deren Partikel sich über große Teile Mitteleuropas verteilten.

Auch im Herbst 2017 gab es gleich zwei Zeiträume mit ungewöhnlichen Dämmerungen durch Waldbrände. Ende August trieb eine westliche Höhenströmung in verschiedenen Höhen die Aschepartikel eines riesigen Waldbrandes von Kanada zu uns. Neben intensiven Dämmerungen wurden bei diesem Ereignis auch ungewöhnliche Wolkenstrukturen beobachtet, die in ihrer Feinheit an Leuchtende Nachtwolken erinnern.

Im Oktober 2017 saugte Ex-Hurrikan OPHELIA die Aerosole eines Waldbrandes in Portugal auf und verteilte diese in einer Höhe bis etwa 5 km über Norddeutschland und den Britischen Inseln. Während direkt unter der Rauchschrift die tiefrot gefärbte Sonne kaum hindurchschien und die Lichtstimmung eher an

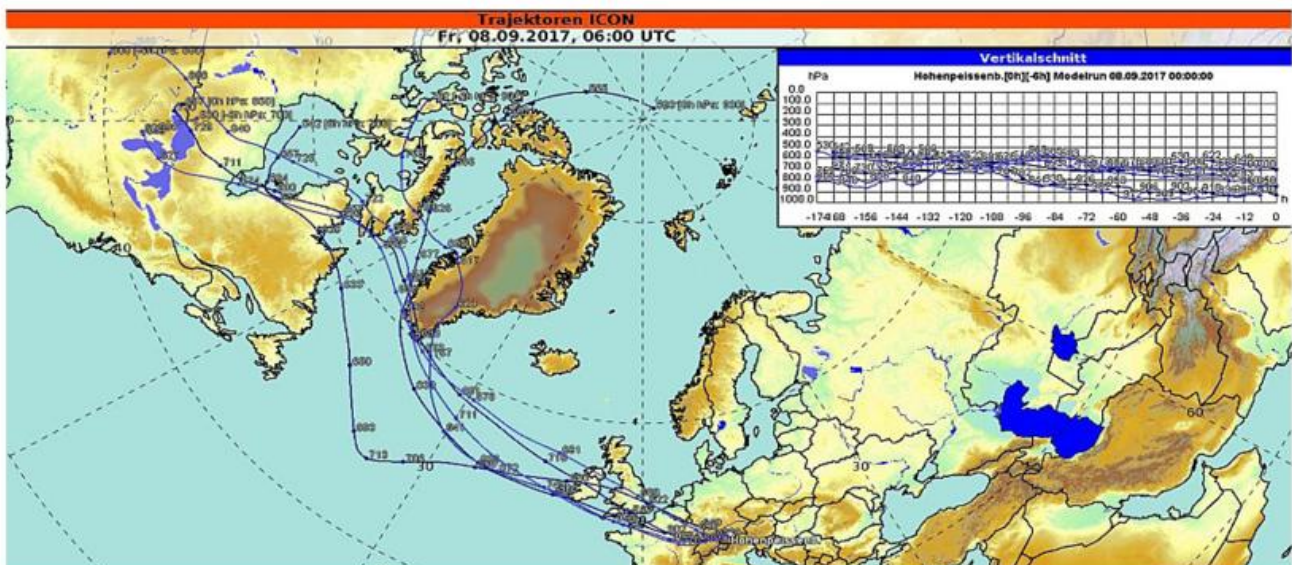


Abbildung 4-27: Zugrichtung der Waldbrandaerosole aus Kanada im September 2017. Quelle: Observatorium Hohenpeißenberg/DWD



Abbildung 4-28: Zarte Strukturen durch Waldbrandaerosole aus Kanada, aufgenommen am 30.09.2017. Foto: Claudia Hinz



Abbildung 4-29: Schlieriger und tieferer Sonnenaufgang durch Waldbrandaerosole aus Portugal, aufgenommen am 17.10.2017. Foto: Claudia Hinz

Filmszenen vom Mars erinnerte, machte sich die hohe Staubkonzentration am südlicher gelegenen Fichtelberg durch sehr lange andauernde intensiv gelb-orangene Dämmerungen und leuchtendes Purpurlicht bemerkbar. Diese beiden Ereignisse konnten durch Lidarmessungen des Deutschen Wetterdienstes bestätigt werden.

4.5.2 Regenbogen

Der Regenbogen entsteht durch Lichtbrechung beim Eintritt des Sonnenlichts in den Wassertropfen, einfacher oder doppelter Reflektion im Tropfen selbst und nochmaliger Brechung beim Austritt aus dem Tropfen. Dabei wird das Licht in seine Spektralfarben zerlegt und erzeugt um den Sonnengegenpunkt in 42° bzw. 51° Sonnenabstand farbige Bögen außerordentlicher Brillanz. Die Besonderheit auf dem Fichtelberg ist, dass der Regenbogen nicht nur als Halbkreis gesehen werden kann, der am Horizont endet. Sind auch in den Tälern Wassertröpfchen vorhanden, werden untere Teile des eigentlichen Regenbogenkreises sichtbar.

Auf zwei Beobachtungen soll an dieser Stelle gesondert eingegangen werden.

Am 1. August 2015 beobachtete Claudia Hinz auf dem Fichtelberg an einem roten Regenbogen kurz vor Sonnenuntergang schiefe Interferenzbögen. Eine Regenfront war gerade vorübergezogen und der letzte Niederschlag aus den abziehenden Wolken verdunstete in der Luft, sodass die Regentropfen nicht mehr den Boden erreichten. Fallstreifen (Virga) waren deutlich sichtbar und gleichzeitig konnte um die Sonne herum ein intensives Zero Order Glow beobachtet werden. Dieser leuchtend orangefarbene oder rote halbkreisförmige Lichteffect wurde schon von Isaac Newton im 17. Jahrhundert diskutiert. Er glaubte, dass es einen „Regenbogen Nullter Ordnung“ zur Sonne hin geben müsste. Es wurde aber schnell klar, dass es für Strahlengänge ohne Reflexion im Tropfen keine Extremalablenkung gibt, also folglich auch keinen abgegrenzten farbaufgespaltenen Regenbogen. Da dennoch das Licht zu einem diffusen Leuchten um die Sonne abgelenkt wird und weil die Idee der "Nullten Ordnung" noch in den Köpfen war, hat sich der Name "Zero Order Glow" für die diffus leuchtende Fläche um die Sonne eingebürgert.



Abbildung 4-30: Roter Regenbogen mit gleichzeitig auftretendem Zero Order Glow auf der Sonnengegensseite. Foto: Claudia Hinz



Abbildungen 4-31 und 4-32: Schräg stehende Interferenzbögen. Fotos: Claudia Hinz

Aber zurück zu den schrägen Interferenzbögen. Diese lassen sich am ehesten mit verschiedenen Tröpfchengrößen erklären. Eine Simulation von Les Cowley [<http://www.atoptics.co.uk/rainbows/supdrsz.htm>] zeigt die Änderung der Interferenzen bei unterschiedlichen Größen. Allerdings verhält sich der Abstand der Interferenzbögen umgekehrt zur Tropfengröße. Das heißt, wenn die Interferenzen nach unten hin zusammenlaufen, müssten dort die größeren Tröpfchen sein. Das passt aber nicht zur beschriebenen Wittersituation, denn bei Fallstreifen verdunsten die Tröpfchen nach unten hin, sie werden also kleiner. Weitere Beobachtungen wären hier für eine Klärung des Phänomens sinnvoll.

Am 9. Juni 2017 konnte im Westerzgebirge Regenbögen 3. und 5. Ordnung fotografisch nachgewiesen werden. Statt ein- und zweifacher Reflektion wird hier der Lichtstrahl drei- und fünffach im Regentropfen reflektiert. Da der Bogen zwar deutlich, aber nur recht schwach erkennbar ist, soll an dieser Stelle auf Fotos verzichtet und per Link [<https://fichtelbergwetter.wordpress.com/2017/06/27/regenboegen-dritter-und-fuenfter-ordnung-im-erzgebirge/>] auf die Beobachtung mit detaillierter Erklärung hingewiesen werden.

4.5.3 Kranz und Irisieren

Durch Beugung des Sonnen- oder Mondlichtes an Wassertröpfchen entsteht um die Sonne oder dem Mond eine kreisförmig flächenhafte Aufhellung, oft mit rötlichen Außenrand, den man in der Meteorologie als Hof (lateinisch Aureole) bezeichnet. Haben die Wassertröpfchen die gleiche Größe, schließt sich nach außen ein farbiger Kranz (lateinisch Corona) an. Diese werden desto eindrucksvoller, je kleiner und gleichmäßiger die Wassertröpfchen sind. Weil höhere Schichtwolken häufiger einheitlich große Wassertröpfchen enthalten, als tiefe Wolken, sieht man auf Bergen besonders häufig Mehrfachkränze. Auf dem Fichtelberg wurden bereits 5-fache Ringsysteme beobachtet!



Abbildungen 4-33 und 4-34: Sonnen- und Mondkranz über der Wetterwarte Fichtelberg. Fotos: Claudia Hinz



Abbildungen 4-35 und 4-36: Irisieren an Lenticulariswolken und an Böhmischem Nebel. Fotos: Claudia Hinz

Wenn bei Erzgebirgsföhn Föhnfische (*Alto cumulus lenticularis*) an der Sonne vorbeiziehen, beginnen die Ränder häufig farbig zu irisieren. Ursache für die leuchtenden Farben ist die Beugung (Diffraktion) des Sonnenlichtes an den kleinen Wassertröpfchen der Wolke. Durch die Wellennatur des Lichtes bilden sich an den winzigen Tröpfchen (die kaum größer sind als die Wellenlänge des Lichtes) neue Wellen, die sich in bestimmte Richtungen überlagern und verstärken können. Für das Farbenspiel ist letztendlich die Wellenlänge des Lichtes im Verhältnis zur Größe des Hindernisses, also des Wassertröpfchens verantwortlich. Hieraus ergibt sich der Winkel, in dem die jeweilige Farbe verstärkt in Erscheinung tritt.

4.5.4 Erscheinungen durch die an einer Wasserfläche gespiegelten Sonne

Manchmal treten auf dem Fichtelberg Wetterphänomene auf, die man dort überhaupt nicht vermutet. Eins davon konnte am 20.07.2017 von Claudia Hinz und Matthias Barth beobachtet werden. Die Sonne stand nicht sichtbar hinter einer Wolkendecke und dennoch waren auf dieser Strahlen zu sehen. Diese gingen nicht, wie es physikalisch sein sollte, radial von der Sonne aus, sondern schienen ihren (gedachten verlängerten) Schnittpunkt am Horizont genau unterhalb der Sonne zu haben.

Normale Strahlenbündel gehen von der Sonne aus und entstehen, wenn Schatten von Wolken bei Dunst oder nach Regen auf eine Leinwand aus unzähligen Wassertröpfchen fallen und dort als Schatten abgebildet werden (Abbildung 4-38). Ihre fächerartige Ausbreitung beruht auf einem perspektivischen Effekt, denn eigentlich sind alle Strahlen parallel. Aber genauso wie Eisenbahnschienen in der Ferne zusammengehen, laufen auch die Wolkenstrahlen in einem Punkt zusammen. Wenn die Sonne sehr tief steht oder gerade untergegangen ist, können sich die Licht- und Schattenstrahlen über den gesamten Himmel erstrecken (Dämmerungsstrahlen) und am Sonnenegepunkt zusammenlaufen (Gegendämmerungsstrahlen, Abbildung 4-22).



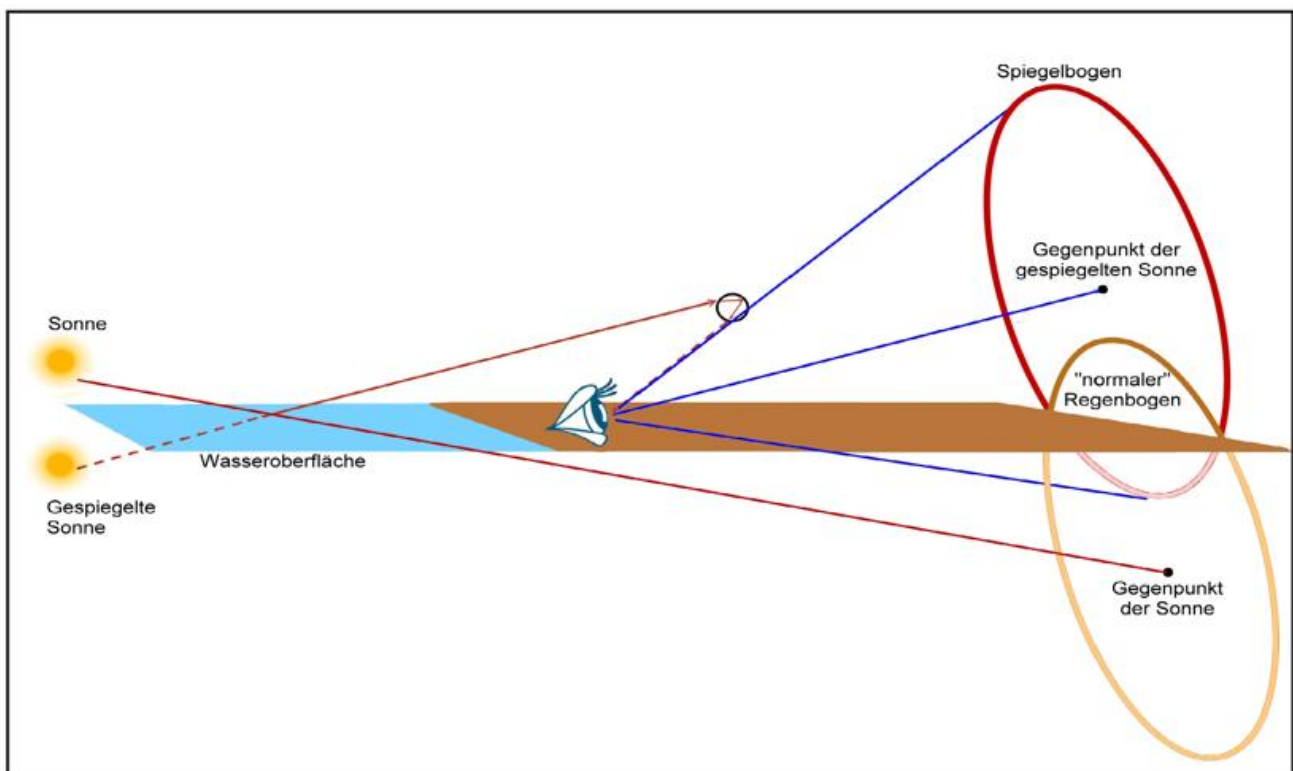
Abbildungen 4-37: Strahlen an der Wolkenunterseite durch die in einer Talsperre gespiegelten Sonne. Foto: Claudia Hinz



Abbildungen 4-38: Intensive Wolkenstrahlen bei tief stehender Sonne. Foto: Claudia Hinz

Da Strahlen also in ihrer erzeugenden Lichtquelle zusammenlaufen, muss sich bei der beschriebenen Beobachtung eine Zweite am Horizont befinden. Bei dieser Lichtquelle handelt es sich wahrscheinlich um die etwa 30 km entfernte Talsperre Eibenstock. Dort hat die Sonne geschienen und sich auf der Wasseroberfläche gespiegelt. Diese gespiegelte Sonne hat schließlich ihre durch die Wolkenkante entstandenen Strahlen auf die Wolkenunterseite reflektiert, so dass sie vom Fichtelberg aus sichtbar wurden. Auf der Zugspitze konnte Claudia Hinz bereits eine ähnliche Beobachtung machen, hier fungierte der viel größere Bodensee als Spiegelfläche. [<https://atoptics.wordpress.com/2012/05/15/reflected-crepuscular-rays/>]

Eine zweite derartige Beobachtung wurde am 11.04.2015 aufgezeichnet. Kurz vor Sonnenuntergang (Sonnenhöhe 1°) war am entfernten Südosthorizont ein kurzes rötliches und nicht sehr helles Regenbogenfragment zu sehen. Etwas später zeigte sich in einem Virga-Streifen ein zweites, etwas farbigeres Fragment, welches - wenn man den Bogen gedanklich fortsetzt, den ersten berühren würde. Auch in diesem Fall lag die Beobachtung in Richtung einer Wasserfläche, dem Stausee der Preßnitztalsperre. Diese wirkte auch hier wie ein großer Spiegel. Das Sonnenspiegelbild befindet sich ebenso weit unterhalb des Horizontes wie der Sonne darüber steht (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Der Sonnengegenpunkt der gespiegelten Sonne liegt demnach oberhalb des Horizontes und ist der Mittelpunkt des zweiten Regenbogenkreises des gespiegelten Sonnenlichts. Das zusätzliche Regenbogenfragment ist daher gegenüber dem gewöhnlichen Hauptregenbogen um den zweifachen Betrag der Sonnenhöhe nach oben versetzt und läuft an den Seiten auf den Hauptregenbogen zu (Abbildung 4-39), so wie es auf dem Fichtelberg beobachtet wurde.



Abbildungen 4-39: Entstehung des "normalen" und des gespiegelten Regenbogens. Grafik: Claudia Hinz

4.5.5 Weitere Erscheinungen

Weitere Erscheinungen, die auf dem Fichtelberg beobachtet wurden und werden:

- Blaue Sonne. Anormale Verfärbung der Sonne im September 1950 als Folge von ausgebreiteten Waldbränden in Kanada

- Gelb gefärbter flüssiger Niederschlag. Diese Naturerscheinung war im Frühjahr 1956 am stärksten ausgeprägt. Ursache für den bunten Regen waren feine staubartige Blütenpollen infolge starker Fichtenblüte.
- Leuchtende Nachtwolken. Silberig-weiße Wolken in 83 km Höhe, die bei Sonnenhöhen zwischen -8 und -16° noch von der Sonne beleuchtet werden, während tiefe Wolken längst im Schatten liegen. Sie wurden auf dem Fichtelberg vereinzelt zwischen Mitte Juni und Mitte Juli beobachtet.
- Helle Nächte. Bei entsprechenden atmosphärischen Voraussetzungen bleibt der Dämmererschein Mitte Juni während der ganzen Nacht über dem Horizont sichtbar.
- Zodiakallicht. Als regelmäßige Erscheinung im Frühjahr am Abendhimmel und im Herbst am Morgenhimmel möglich. Es tritt als schwache silbergraue Lichtpyramide schräg in der Ekliptik auf und ist für den Ungeübten schwer erkennbar. Während es in früheren Zeiten häufiger beobachtet werden konnte, ist es in den letzten Jahren aufgrund zunehmender Lichtverschmutzung, die leider auch am Fichtelberg fortschreitet, kaum noch visuell auszumachen.
- Nordlicht (Polarlicht). In unseren Breiten überwiegend rötliche Leuchterscheinung, die durch das Auftreffen geladener Teilchen des Sonnenwindes auf die Erdatmosphäre (Sauerstoffatome und Stickstoffmoleküle) hervorgerufen werden. Es tritt meist während der Maxima in den 11-jährigen Sonnenzyklen auf und wurde in diesen Zeiträumen auf dem Fichtelberg mehrfach beobachtet, am intensivsten am 21./22. Januar 1957, mehrere Male im September 1957 sowie am 30. Oktober und 20. November 2003.
- Kometen. Beobachtung je nach Auftreten. Die auffälligste Erscheinung war zu Ostern 1957 der Komet Ahrend Roland mit Doppelschweif.
- Meteore. Neben den bekannten Perseiden kann vom Fichtelberg aus besonders gut der Meteorstrom der Tauriden beobachtet werden. Er tritt jedes Jahr im Oktober und November auf, also zu einer Zeit, wo es die meisten Inversionswetterlagen gibt und der Gipfel häufig über die Nebelschicht hinausragt. Aufgrund sauberer Luft und meist durch tiefere Wolken abgedunkelte Stadtlichter heben sie sich markant vom dunklen Himmelshintergrund ab. Auch wenn die stündliche Meteorrate im Gegensatz zu den sommerlichen Perseiden sehr gering ist, wurden und werden vor allem zum Monatswechsel bis in die erste Novemberwoche hinein immer wieder sehr helle und oft grünliche Feuerkugeln beobachtet.



Abbildungen 4-40: Leuchtende Nachtwolken im Sommer 2015. Foto: Claudia Hinz



Abbildungen 4-44: Polarlicht am 18.03.15 über dem Erzgebirge. Foto: Claudia Hinz

Literatur- und Quellenverzeichnis

- BARTH, MATTHIAS: „Die Auswertung guter Fernsichten auf dem Fichtelberg im Erzgebirge für den Zeitraum 1961-1980“, Hausarbeit, Fichtelberg 1980
Datenarchiv der Wetterwarte Fichtelberg
- DER SPIEGEL, 1975: „Unser Feuer machen wir selber aus“, Nummer 34/1975: <http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-41458053.html>
- FREYDANK, EBERHARD, 2014: „150 Jahre staatliche Wetter- und Klimabeobachtungen in Sachsen“, Tharandter Klimaprotokolle, Band 21
- HAUSSMANN, DR. ALEXANDER, 2014: “The mystery of bright antisolar arcs”: <https://atoptics.wordpress.com/2014/05/09/the-mystery-of-bright-antisolar-arcs/>
- HAUSSMANN, DR. ALEXANDER, 2014: “Neklid Antisolar arcs: Case closed?”: <https://atoptics.wordpress.com/2014/05/11/neklid-antisolar-arcs-case-closed/>
- HINZ, CLAUDIA, 2009: “Volcanic Twilights”: <https://atoptics.wordpress.com/2011/05/27/volcanic-twilights/>
- HINZ, CLAUDIA, 2017: “Wüsten Sonne”: <https://fichtelbergwetter.wordpress.com/2017/10/17/wuestensonne/>
und „Wüsten Sonne II“: <https://fichtelbergwetter.wordpress.com/2017/10/18/wuestensonne-ii/>
- HINZ, CLAUDIA; HINZ, WOLFGANG: „Lichtphänomene: Farbspiele am Himmel“, Oculum Verlag, 2016
- HINZ, CLAUDIA, 2017: “Green-rimmed cloud at sunrise”: <https://atoptics.wordpress.com/2017/03/21/green-rimmed-cloud-at-sunrise/>
- KRAEMER, PETER, 2017: “Unusual Twilight Phenomena in Europe”: <https://atoptics.wordpress.com/2017/09/20/unusual-twilight-phenomena-in-central-europe/>
- KRAEMER, PETER, 2008: “Volcanic Twilights over Europe”: <https://atoptics.wordpress.com/2011/05/27/volcanic-twilights-over-europe/>
- LAUBE, DR. GUSTAV C.: „Vergangenheit Joachimsthal“, Prag 1873
Meteorologisches Jahrbuch des Königl. Sächsischen meteorologischen Instituts 1892
- SCHMIDT, DR. ELMAR, 2015: “Two Days of Diamond Dust Halos in Boží Dar (CZ) Nov. 27th/28th, 2015”: <https://atoptics.wordpress.com/2016/01/18/two-days-of-diamond-dust-halos-in-bozi-dar-cz-nov-27th28th-2015/>
- Statistisches Jahrbuch für Sachsen 1861
- TIETZ, MANFRED, 1995: „Drei Arten von Föhn im sächsischen Erzgebirge“, Beilage zur Wetterkarte 181/1995
- VAN DER WERF, SIBREN; KÖNNEN, GÜNTHER P.; LEHN, WALDEMAR H.; STEENHUISEN, FRITS AND DAVIDSON, WAYNE P. S.: “Gerrit de Veer’s true and perfect description of the Novaya Zemlya effect, 24–27 January 1597”, Applied Optics, 20 January 2003, Vol. 42, No. 3
- VOLLMER, MICHAEL: „Lichtspiele in der Luft: Atmosphärische Optik für Einsteiger“, Spektrum Akademischer Verlag 2012
- WESTENBURGER, CARL-HEINZ, 2004: „Sonnenwirbel“, Sammlung Meinel Fichtelberghaus
Webseite Fichtelberg im Erzgebirge und Umgebung: <https://fichtelbergwetter.wordpress.com/>
Webseite des Arbeitskreises Meteore e.V.: <http://www.meteoros.de>
- 75 Jahre Wetterwarte Fichtelberg, Oberwiesenthal 1991

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

Nr. 251 T. Winterrath

Erstellung einer radargestützten Niederschlagsklimatologie

Nr. 249 H. Noppel:

Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz: Abschlussbericht zum Arbeitspaket 3 des Projekts KLIMPRAX Wiesbaden/Mainz - Stadtklima in der kommunalen Praxis

Nr. 248 U. Sievers:

Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. - Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen

Nr. 247 K. Trusilova; W. Riecke:

Klimauntersuchung für die Metropolregion Hamburg zur Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter bis zum Jahr 2050

Nr. 246 Hänsel, Stephanie; Schucknecht, Anne; Böttcher, Falk; Bernhofer, Christian; Matschullat, Jörg:

Niederschlagsveränderungen in Sachsen von 1901 bis 2100 - Starkniederschlags- und Trockenheitstrends

Nr. 245 P. Winkler:

Untersuchung zu historischen und neuzeitlichen Dampfdruckmessungen am Observatorium Hohenpeißenberg

Nr. 244 Ch. Brendel; E. Brisson; F. Heyner; E. Weigl; B. Ahrens:

Bestimmung des atmosphärischen Konvektionspotentials über Thüringen

Nr. 243 K. Hoffmann; W. Bivour; B. Früh; M. Koßmann; P.-H. Voß:

Klimauntersuchungen in Jena für die Anpassung an den Klimawandel und seine erwarteten Folgen - ein Ergebnisbericht

Nr. 242 C. Stein; G. Malilitz:

Das Hochwasser an Elbe und Donau im Juni 2013: Wetterentwicklung und Warnmanagement des DWD: Hydrometeorologische Rahmenbedingungen

Nr. 241 A. Hoff; C. Drüe; H.-R. Sonnabend:

Messphysik und Datenverarbeitung der Verkehrsflugzeuge als meteorologische Sensorträger

Nr. 240 U. Sievers:

Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. - Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung

Nr. 239 F. Herbert:

Die Erschließung der Rossby-Welle durch Lärmfilterung

Nr. 238 G. Augter:

Vergleich der Referenzmessungen des Deutschen Wetterdienstes mit automatisch gewonnenen Messwerten

Nr. 237 B. Früh, M. Koßmann, M. Roos:

Frankfurt am Main im Klimawandel: Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung

Nr. 236 G. Augter, M. Roos:

Berechnung von Sturmintensitäten für Deutschland

Gesamtliste der „Berichte des Deutschen Wetterdienstes“ unter www.dwd.de/bibliothek.



Deutscher Wetterdienst

Fachinformationsdienst und Deutsche Meteorologische Bibliothek
Frankfurter Straße 135
63067 Offenbach