Untersuchungen über Ruhe und Durchsicht der Luft in Bamberg

Von H.-U. Sandig

Es werden die Ergebnisse 3½jähriger Untersuchungen über die astronomische Qualität der Luft in Bamberg in ihrem Zusammenhang mit meteorologischen Faktoren mitgeteilt. Die Bestimmung der Bildruhe geschah nach einem Schätzungsverfahren, dessen Maßstab von A. Danjon angegeben wurde. Zur Untersuchung der Durchsicht wurden einerseits photometrische Messungen mit dem Spiegelsextanten bei Nacht und andererseits Sichtbeobachtungen bei Tag angestellt. Die Bildruhe nimmt im Laufe der Nacht ab und zeigt außerdem einen ausgeprägten jährlichen Gang mit einem sommerlichen Maximum, jedoch fast völlige Unabhängigkeit vom Azimut. Bodennahe Schichten sind also fast unbeteiligt, die turbulenten Schichten liegen in größerer Höhe (1—4 km) und dürften daher im mitteleuropäischen Raum nahezu ortsunabhängig sein (abgesehen vom Hochgebirge). Sie sind in kotinentaler Kaltluft am stärksten, in maritimer Tropikluft am wenigsten ausgeprägt. Der jährliche Gang der Sicht ist in den nächtlichen Beobachtungen durch die Mitnahme dunstiger Abende undeutlich geworden, kommt jedoch in den Tagesbeobachtungen mit seinem sommerlichen Maximum gut zum Ausdruck, so daß sowohl in Bezug auf Bildruhe als auch auf Durchsicht im Sommer das bessere „Beobachtungswetter" anzutreffen ist. Es besteht eine Korrelation zwischen Tagessicht und Extinktion, so daß die sehr einfach zu erlangenden Sichtbeobachtungen einen Anhalt für Abweichungen von der mittleren nächtlichen Extinktion zu geben vermögen. Extrem gute Fernsicht tritt bevorzugt in maritimer Kaltluft und (aus orographischen Gründen) bei Südwestwind, jedoch nie bei Ostwind ein.

Der Astronom, der seine Instrumente auf der Erde aufgestellt hat, ist stets gezwungen, durch ein trübes, brechendes und schlieriges Medium, durch die Lufthülle unserer Erde zu beobachten. Zwar kann er die dichtesten und trübsten Teile der Atmosphäre dadurch ausschalten, daß er seine Sternwarte auf einem hohen Berg, besser noch auf einer Hochfläche anlegt, die Luftschlieren jedoch, die sich durch ihre turbulente Bewegung auf das Unangenehmste bemerkbar machen können, sind auch in größerer Seehöhe noch sehr störend, in vielen Fällen treten sie dort sogar noch verstärkt auf. Zu all diesen ungünstigen Einflüssen der Erdatmosphäre kommt noch hinzu, daß sie Träger der für sichtbares Licht undurchdringlichen

Wolken ist, deren Einfluß jedoch für eine Sternwarte in wolkenarmem Klima bis fast zur Bedeutungslosigkeit herabsinkt. Aber auch die übrigen Faktoren des „astronomischen Klimas" sind örtlich und zeitlich veränderlich, wenn auch erst wenige Untersuchungen darüber angestellt wurden.

Seit 1946 werden in Bamberg Beobachtungen der turbulenten Schlieren (Luftunruhe) und der Trübung bei Nacht (Extinktion), sowie der Trübung bei Tag (Sichtweite) angestellt. Über das bis Ende 1949 erhaltene Material soll im Folgenden ein zusammenfassender Bericht gegeben werden.

1. Die Luftunruhe

a) Art und Wirkung der Scintillation. Beobachtungsverfahren. Unter den störenden Einflüssen, die die Notwendigkeit mit sich bringt, alle astronomischen Beobachtungen durch die trübe und brechende Lufthülle der Erde anstellen zu müssen, ist wohl der Umstand am unangenehmsten, daß diese Lufthülle in den optischen wirksamen Schichten fortwährend von mehr oder weniger heftiger, schlieriger Turbulenz durchsetzt wird. Die Folge ist eine Herabsetzung der Trennschärfe der Fernrohroptik, so daß bei einem gegebenen Luftzustand die Auflösungskraft eines Fernrohrs mit wachsender Öffnung des Objektives immer mehr hinter der theoretisch möglichen zurückbleibt. So sind größere und große Rohre selbst in Zenitnähe in unserem Klima wesentlich kleineren Rohren in Bezug auf die Trennschärfe an den meisten Abenden kaum überlegen. Der Vorteil der großen Öffnung kommt in Bezug auf die Auflösungskraft nur an ganz wenigen, besonders ruhigen Abenden einigermaßen zur Geltung.

Es ist seit längerem bekannt, daß diese Luftunruhe oder Scintillation genannte Erscheinung zeitlichen und örtlichen Veränderungen unterworfen ist, doch ist das Verhalten im Einzelnen noch wenig untersucht. Vor allem fehlte es wohl an einem geeigneten Beobachtungsverfahren. Mit den bei Meridianbeobachtungen üblichen Schätzungen des Luftzustandes in einer mehrteiligen Skala ist zwar immerhin ein erster Überblick über das zeitliche Verhalten der Luftunruhe an ein und demselben Ort zu gewinnen, wie die Arbeiten von Wahl[1]) zeigen. Doch bleibt wegen der Willkür in Nullpunkt und Skala der Schätzungen eine Vergleichsmöglichkeit von Beobachter zu Beobachter, bzw. von Ort zu Ort fraglich. Mikrometrische Messungen mit dem Auge am Okular haben zu keinen recht brauchbaren Ergebnissen geführt, dagegen sind Strichspuren auf photographischen Platten mit Erfolg ausgemessen worden, sei es, daß diese durch die Erddrehung bei feststehendem Fernrohr[2]) oder durch eine Bewegung der Platte gegen die optische Achse des bewegten Fernrohrs[3])[4]) erzeugt wurden. Da jedoch nur das zweite Verfahren eine Untersuchung der eigentlichen Luftunruhe ermöglicht und gerade dieses einen ziemlichen Aufwand an Apparatur

und Beobachtungszeit erfordert, so sind größere Meßreihen an Strichspuren auf bewegter Platte bisher nicht bekannt geworden. Nun hat aber A. Danjon[5]) bereits 1935 ein sehr einfaches visuelles Verfahren zur Gewinnung einer Maßzahl für die Luftunruhe gegeben, das mit jedem Refraktor (von 5 Zoll Öffnung an) ohne großen Zeitaufwand und ohne irgendwelche Zusatzeinrichtungen durchgeführt werden kann. Unter der Voraussetzung, daß mit optisch fehlerfreien Objektiven gearbeitet wird, lassen sich die Maßzahlen, die von verschiedenen Beobachtern an verschiedenen Orten erhalten werden, unmittelbar miteinander vergleichen. Das Verfahren eignet sich also wegen seiner einfachen Handhabung nicht nur zu einer neben dem eigentlichen Beobachtungsprogramm laufenden Untersuchung der zeitlichen Änderungen der Luftunruhe, sondern auch zur Feststellung örtlicher Variationen, insbesondere auf provisorischen Feldstationen, wie sie der Aufstellung eines großen Instrumentes voranzugehen hat[6]).

Die die Luftunruhe verursachende Turbulenz entsteht an den Grenzflächen wärmerer und kälterer Luftteile. Die Größe der „Turbulenzelemente" beträgt einige Zentimeter bis etwa 20 Zentimeter. Je nach Windgeschwindigkeit werden pro Sekunde einige wenige oder bis zu einhundert solche Elemente durch den Öffnungszylinder des Fernrohrs hindurchgetrieben[3])[4]). Dem Beobachter ist diese Erscheinung bekannt: Entfernt man das Okular und bringt das Auge in die Brennebene, so daß das Bild eines hellen Sterns auf die Pupille fällt, so sieht man vor dem ausgeleuchteten Objektiv die Schlieren vorüberhuschen und kann Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit, Zahl und Breite der Turbulenzelemente durch geeignete Verfahren bestimmen, insbesondere auf Aufnahmen, wie sie Gaviola mit dem 60zölligen Spiegel in Bosque Alegre gelungen sind[7]). Die dauernd wechselnde Neigung der Grenzflächen verschieden temperierter Luft bewirkt eine fortwährende Richtungsänderung des in das Rohr einfallenden Lichtzylinders, die ein lebhaftes, völlig zufälliges Hin- und Hertanzen des Bildes des Sterns in der Brennebene des Fernrohrs zur Folge hat. Die Bewegungen liegen innerhalb eines kleinen Kreises um den Ort des Sterns und erfolgen nach allen Richtungen. Der Halbmesser dieses Kreises ist zeitlich und örtlich veränderlich und wird zweckmäßig als Maßzahl für die Luftunruhe verwendet. In besonderen Fällen kann neben dieser zitternden Bewegung auch ein „Aufblähen" und „Zerplatzen" der Bilder beobachtet werden. In diesem Falle wirken offenbar langsam bewegte Turbulenzelemente mit gleichmäßig gekrümmten Grenzflächen wie eine „Vorsatzlinse" vor dem Objektiv, die kurzzeitig die Fokalebene des Rohres verlagert. Neben diesen Turbulenzelementen von der Größenordnung des Dezimeters, die meist in mehreren Kilometern Höhe ihren Sitz haben, gibt es auch noch wesentlich größere Elemente. Bei astronomischen Beobachtungen macht sich vor allem noch eine Größenordnung von einigen Metern bemerkbar, die in Bodennähe auftritt und bei den Windregistrierungen

als „Böigkeit“ erscheint. Sie verursacht bedeutend langsamere Ortsänderungen des Sterns (viele Sekunden) und betrifft eine größere scheinbare Fläche des Himmels (mehrere Quadratgrad) in gleicher Weise. Diese von Danjon „zufällige Refraktionsänderungen“ genannten Ortsveränderungen können im allgemeinen für Himmelsaufnahmen dadurch unschädlich gemacht werden, daß das Rohr den Bewegungen des Leitsterns sorgfältig nachgeführt wird. Bei der eigentlichen Luftunruhe (Scintillation) ist dies nicht nur wegen der außerordentlich raschen Änderungen unmöglich, sondern wäre auch zwecklos, da selbst nahe benachbarte Sterne völlig unabhängig voneinander scintillieren. Oberguggenberger[2]) erfaßte mit seinen Strichspuren bei geklemmtem Fernrohr nur die langsamen Ortsänderungen des Sterns, die bei der ungünstigen Lage Innsbrucks, insbesondere bei Föhn, gelegentlich bis zu mehr als 6 Bogenminuten betrugen!

Das Verfahren von Danjon liefert den halben Öffnungswinkel t des Kegels, innerhalb dessen die Achse des Strahlenzylinders eines Sternes im Zenit ihre Richtung infolge der Scintillation ändert. Die langsameren Schwankungen werden also nicht erfaßt. Es wird mit hinreichend starker Vergrößerung (mindestens dreifacher Normalvergrößerung) das Brennpunktsbild heller Sterne in verschiedener Zenitdistanz betrachtet. Das Aussehen des Beugungsscheibchens und das Aussehen bzw. Vorhandensein oder Verschwinden der Beugungsringe liefert das Verhältnis $\frac{t}{a}$ der maximalen Ortsänderungen t zum theoretischen Radius a des Beugungsscheibchens. Danjon[5]) hat mit einem Interferometer den größten Neigungswinkel der scintillierenden Wellenfläche zur mittleren Lage dieser Wellenfläche (also t) bestimmt und damit die Möglichkeit gegeben, aus dem verschiedenen Anblick der Beugungsfiguren t in Bogensekunden zu erhalten. Ist t wesentlich kleiner als a, so hat die Beugungsfigur im wesentlichen ihr theoretisches Aussehen. Für $t = \frac{a}{4}$ zeigen sich rasch herumlaufende Knötchen in den Beugungsringen. Bei $t = \frac{a}{2}$ wallt der Rand des Beugungsscheibchens, und die Ringe sind nicht mehr geschlossen, sondern in lebhafter Brandung begriffen. Bei t=a beginnen die Ringe in dem brodelnden Bild unsichtbar zu werden und bei t größer als $\frac{3}{2}$ a nimmt das Bild schließlich ein „planetarisches“ Aussehen an. Diese fünfteilige Skala, die bei einiger Übung noch unterteilt und erweitert werden kann, liefert zunächst $\frac{t}{a}$ und dann t in Bogensekunden, da für ein Objektiv der Öffnung D (cm) für die Wellenlänge $\lambda = 0.55\mu$

$$a \text{ (Bogensekunden)} = \frac{14}{D} \text{ ist.}$$

Der halbe Öffnungswinkel t des Scintillationskegels ergibt sich für Sterne in verschiedenen Zenitdistanzen verschieden groß. Schon mit bloßem Auge erkennt man deutlich die Zunahme des Funkelns der Sterne zum Horizont. Da die Lichtstrahlen für horizontnahe Sterne eine wesentlich größere Weglänge in der Erdatmosphäre

haben als für zenitnahe Sterne, ist der Unterschied in der Stärke der Scintillation einleuchtend. Um für alle Beobachtungen eine Reduktion auf das Zenit vornehmen zu können, muß eine Annahme über die Lage der turbulenten Schicht gemacht werden. Danjon nimmt eine verhältnismäßig dünne Schicht in 3.5 Kilometern Höhe über dem Boden an und berechnet dafür das Gesetz der Abhängigkeit von der Zenitdistanz z unter Berücksichtigung der Erdkrümmung 5, Seite 78). Die Formel gibt erst ab $z = 70^0$ merkliche Abweichungen von dem einfachen Gesetz $f(z) = \sec z$. Für die aus unserer Kenntnis vom Aufbau der Atmosphäre gefolgerte Annahme, daß die die Scintillation erzeugende Turbulenz in größeren Höhen zu suchen ist, spricht — abgesehen von einem gleich noch zu erörternden Ergebnis der Bamberger Beobachtungen — der Befund einer Untersuchung von Minnaert und Houtgast[3]), die am 26. 2. 1935 bei Tagesbeobachtungen an der Sonne zwei übereinanderliegende und gegeneinanderbewegte Schichten von Turbulenzelementen in 600 m und 2600 m Höhe fanden. Es ist anzunehmen, daß die untere Schicht nur bei Tage ausgebildet ist. Dem auch nachts wirksamen Einfluß der höheren Schicht wird man dann innerhalb großer Gebiete auch durch noch so sorgfältige Wahl des Beobachtungsortes nicht entgehen können, zumal der zeitliche Wechsel in der Stärke der Turbulenz in dieser hohen Schicht offenbar mit großräumigen meteorologischen Elementen (Luftkörpern) zusammenhängt. Es wäre wichtig, wenn an anderen Beobachtungsorten gleichartige Beobachtungen der Luftunruhe angestellt würden, um diese Behauptung durch Beobachtungsmaterial erhärten zu können.

b) Die Beobachtungen und ihre Genauigkeit. In der Zeit von 1946 Juni bis 1949 Dezember wurden in Bamberg in 280 Nächten 293 Beobachtungen der Luftunruhe nach dem Dajonschen Verfahren erhalten. Es wurde mit dem zehnzölligen Refraktor von Schroeder mit einer 480fachen Vergrößerung gearbeitet. Das Objektiv war im allgemeinen auf D=14 cm abgeblendet, so daß also der Radius des Beugungsscheibchens 1" betrug. Bei sehr unruhiger Luft, wenn schon bei Sternen in Zenitnähe keine oder verschwindende Beugungsringe zu sehen waren, wurde noch weiter (auf D = 8 cm) abgeblendet, um die 5teilige Stufenskala nach Möglichkeit ausnutzen zu können. Die optische Qualität des Schroederschen Objektives ist ausgezeichnet. Bei sehr ruhiger Luft konnte mit voller Öffnung der Doppestern 16 Vul (d=0"8) noch einwandfrei getrennt und χAql (d=0"5) noch länglich gesehen werden. Bei absolut ruhiger Luft haben die Beugungsfiguren heller Sterne bei D=14 cm ein völlig symmetrisches Aussehen, bei voller Öffnung, die ja aber für die vorliegenden Untersuchungen nicht verwendet wurde, ist eine geringe Asymmetrie zu erkennen. Ein Versuch, die Zentrierung völlig fehlerfrei zu machen, wurde nicht unternommen, da der Erfolg bei dem alten Holzrohr fraglich gewesen wäre. Es wurden für jede Bestimmung der Luftunruhe 5 bis 6 helle Sterne in möglichst verschiedenen Zenitdistanzen beobachtet, wobei, vor allem an ruhi-

gen Abenden, darauf gesehen wurde, daß mindestens ein Stern in mehr als 75° Zenitdistanz stand. Die Neigung des Rohres, bzw. die Zenitdistanz wurde an einem einfachen Pendelquadranten auf etwa 1° genau abgelesen, der auf das Rohr aufgesetzt wurde. Für ein halbes Dutzend Sterne wurde einschließlich Kuppeldrehung, Einstellen usw. keine halbe Stunde gebraucht. Die Reduktion auf die Unruhe t im Zenit geschah nach der Danjonschen Formel für die Zenitdistanzabhängigkeit, teils auf graphischem, teils auf rechnerischem Wege unter Erteilung gleichen Gewichtes für alle Zenitdistanzen. Es ist dies berechtigt, da der Gewinn an Genauigkeit durch den größeren Faktor f(z) durch den Verlust an Schätzgenauigkeit mit wachsendem t etwa ausgeglichen wird.

Eine Genauigkeitsbetrachtung für 15 Beobachtungsabende ergibt folgendes Bild: Für 5 ruhige Abende mit 26 Sternen (t=0".17 im Mittel) ergibt sich eine Unsicherheit von ± 0"036, wenn t aus der Beobachtung nur eines Sternes bestimmt wird. Für 5 Abende mittlerer Unruhe mit 31 Sternen (t=0".37 im Mittel) steigt der Fehler für eine Schätzung auf ± 0".072 und für 5 unruhige Abende mit 27 Sternen (t=0".95 im Mittel) ergibt sich die Schätzungsunsicherheit der Einzelbeobachtung zu ± 0".29. Der Schätzfehler steigt also noch stärker als der Betrag der Luftunruhe. Im Durchschnitt kann angenommen werden, daß wegen der inneren Unsicherheit die aus Schätzung an 5 Sternen errechneten Abendkonstanten mit folgenden Unsicherheiten behaftet sind:

t = 0".2	(Ruhig)	± 0".02
t = 0.4	(Mittlere Ruhe)	± 0.04
t = 1.0	(Unruhig)	± 0.13

Die systematischen Unterschiede, die dem Verfahren anhaften, können nicht erfaßt werden. Sie werden aber die angegebenen Fehler kaum mehr als verdoppeln. Wenn auch das Aussehen der Beugungsfiguren mit der Quasifrequenz und der Elementengröße der Turbulenz etwas wechselt, so ist doch schließlich der Gesamteindruck der Beugungsfigur ziemlich sicher zu beurteilen und wird so immer ein für die eigentlichen astronomischen Arbeiten brauchbares Maß der Luftunruhe geben, auch wenn die mehr den Meteorologen interessierenden Einzelheiten über den jeweiligen turbulenten Zustand der Atmosphäre durch das angewandte Beobachtungsverfahren nicht mit Sicherheit erhalten werden können.

c) Die Änderungen der Luftunruhe mit der Zeit und Richtung. Es wurde sowohl der nächtliche als auch der jährliche Gang der Luftunruhe untersucht, sowie die Richtungsabhängigkeit geprüft.

Für die Untersuchung des nächtlichen Ganges standen 10 Nächte zur Verfügung, in denen mindestens zweimal die Luftunruhe bestimmt worden war. Tabelle 1 gibt die Einzelwerte mit den zugehörigen Zeiten.

Tabelle 1

Nächtlicher Gang der Luftunruhe

Datum		MEZ	t	Datum		MEZ	t
1946 Sept.	25	19^h54^m	0".17	1948 Aug.	30	22^h19^m	0".33
		23 20	0.33			0 53	0.39
	26	20 05	0.18			2 41	0.40
		23 20	0.55		31	21 04	0.30
	27	19 57	0.14			23 11	0.40
		23 12	0.38			2 43	0.30
Okt.	11	19 07	0.32	1949 Okt.	11	19 29	0.13
		21 39	0.60			22 32	0.27
1947 Sept.	11	20 33	0.25			1 34	0.33
		23 01	0.45		31	22 43	0.40
Okt.	4	20 15	0.17			2 38	0.59
		23 31	0.23				

Um die Nächte miteinander vergleichen zu können, wurden die Werte alle auf einen gemeinsamen Mittelwert für 22^h reduziert und in Abb. 1 dargestellt. Es ergibt sich die dem Beobachter bekannte Zunahme der Unruhe in den ersten Nachtstunden. Über den

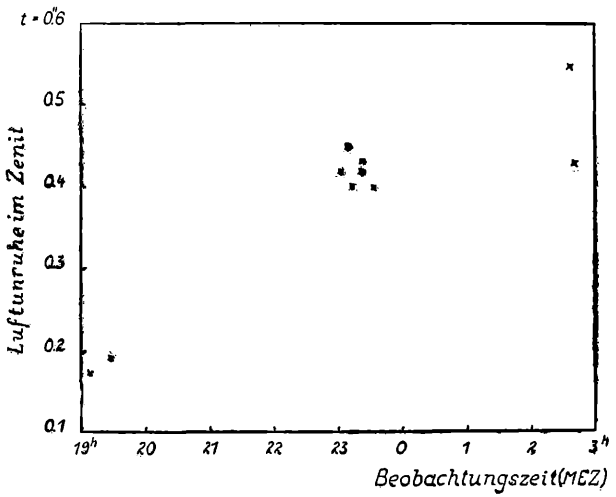

Abb.1
Nächtlicher Gang der Luftunruhe in 10 Nächten.
(befreit von den Unterschieden von Nacht zu Nacht.)

Verlauf in der zweiten Hälfte der Nacht läßt sich aus dem Material nichts aussagen. Nach meinen Erfahrungen findet keine weitere Zunahme statt, die in einem Falle beobachtete Abnahme der Unruhe ist wohl eine Ausnahme. Der Anstieg der Scintillation beginnt schon in der hellen Dämmerung. Nach allen Erfahrungen der Geodäten bei der Triangulation 1. Ordnung liegen die günstigsten Beobachtungsbedingungen um die Zeit des Sonnenuntergangs. Allerdings beob-

achtet der Geodät mit Vorteil bei bedecktem Himmel. Auch von Astronomen ist neuerdings hervorgehoben worden, daß gelegentlich die größte Bildruhe bei Planetenbeobachtungen schon in der hellen Dämmerung wahrgenommen wird[8]). Lettau[1]) findet aus terrestrischen Beobachtungen ebenfalls eine starke Zunahme der Luftunruhe in den ersten Abendstunden, jedoch dann eine noch stärkere Abnahme im weiteren Verlauf der Nacht, die schon vor Mitternacht beginnt. E. Wahl[1]) findet aus den Schätzungen der Babelsberger Meridiankreisbeobachter am Zenitstern β Draconis ebenfalls eine Zunahme in den Abendstunden, die allerdings wesentlich weniger ausgeprägt ist und nach Mitternacht in eine nur geringfügige Abnahme übergeht. Daß der Anstieg erst 21 Uhr beginnt, liegt daran, daß der Beginn der Dunkelheit Ende Juli, wenn β Draconis um 21 Uhr kulminiert, erst so spät liegt. Es steckt außerdem in diesen Schätzungen der Luftunruhe an β Draconis noch der jährliche Gang der Luftunruhe drin, der durchaus nicht so klein ist, wie Wahl annimmt und wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Zur Untersuchung des jährlichen Ganges wurden alle Beobachtungen zu Monatsmitteln zusammengefaßt. Tab. 2. Das Material

Tabelle 2

Jährlicher Gang der Luftunruhe

Monat	Anzahl d. Beob.	Luftunruhe
Januar	11	0″87
Februar	9	1.20
März	19	0.39
April	16	0.35
Mai	10	0.43
Juni	21	0.34
Juli	39	0.34
August	33	0.39
September	47	0.41
Oktober	45	0.46
November	20	0.36
Dezember	23	0.94
1946 — 1949	293	0.48

ist wohl ausreichend, um einen Überblick über das mittlere Verhalten zu geben. Lediglich für Januar, Februar und Mai ist die Anzahl der Beobachtungen etwas gering, doch fügen sich die Mittelwerte auch für diese Monate gut in das allgemeine Bild ein. Es zeigt sich, daß die Luftunruhe in den Wintermonaten November bis Februar im Durchschnitt etwa doppelt so groß wie in den übrigen Monaten ist. Es ergibt sich also ein Verhalten, das dem jährlichen Gang der mittäglichen Unruhe entgegengesetzt läuft.[1]) Dies liegt daran, daß die mittägliche Unruhe in erster Linie von der Sonneneinstrahlung beeinflußt wird, während nachts hauptsächlich die Unterschiede in der Turbulenz der verschiedenen Luftkörper maßgebend sind. Die hohen nächtlichen Werte im Winter sind vor

allem dem Umstand zuzuschreiben, daß es im Winter meist in Kaltluft aufheitert. Kaltluft, insbesondere Polarluft, ist nun aber am meisten turbulent, wie wir gleich sehen werden.

Zur Untersuchung der Richtungsabhängigkeit wurde eine grobe Trennung der horizontnahen Sterne in nördliche und südliche Sterne vorgenommen und der Mittelwert der Luftunruhe nach beiden Richtungen getrennt ermittelt. Die Visur geht nach Norden über die Regnitz-Main-Ebene, in der sich die Stadt Bamberg ausbreitet, nach Süden jedoch über einige Villen und die flache Hügellandschaft der Ausläufer des Steigerwaldes. Wenn die untersten Luftschichten einen Einfluß auf die Luftunruhe ausüben, dann müßte dies wohl bei der sehr verschiedenen Beschaffenheit des Geländes nach Norden und Süden zum Ausdruck kommen. Es ergibt sich aus 11 ruhigen Abenden (t = 0″.28 im Mittel), die eine geeignete Verteilung im Azimut aufweisen, im Mittel eine um 0″.03 größere Unruhe nach Norden als nach Süden, bei ziemlicher Streuung der Einzelwerte. Tab. 3. Es dürften also bei der Luftunruhe die bodennahen Schichten

Tabelle 3

Luftunruhe und Azimut

1946	Juni 9	Juli 1	Juli 4	Juli 11	Juli 12	Juli 24	Juli 26	Aug 17	Aug 28	Aug 30	Spt 13
N	0″.32	0″.16	0″.30	0″.18	0″.33	0″.33	0″.39	0″.33	0″.27	0″.33	0″.32
S	.15	.19	.28	.26	.38	.41	.51	.15	.25	.17	.20
Diff.	+.17	— 03.	+.02	—.08	—.05	—.08	—.12	+.18	+.02	+.16	+.12

ziemlich unbeteiligt sein. Die über der Stadt aufsteigenden turbulenten Warmluftströme werden wohl in den sich in der Nacht bildenden Inversionen abgefangen. Daß die unteren Schichten nicht gänzlich ohne Einfluß sind, geht neben dieser geringen Azimutabhängigkeit auch aus der Zunahme der Unruhe im Laufe der Nacht hervor, die ihre Ursache zweifellos in der Ausstrahlung des Bodens und der bodennahen Schicht hat. In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß das Objektiv des Refraktors sich etwa 12 m über dem Erdboden befindet und ein Vergleich mit Ergebnissen nicht ohne weiteres möglich sein wird, die mit Instrumenten erhalten wurden, die unmittelbar zu ebener Erde aufgestellt sind. Gelegentlich hat sich auch Turbulenz in unmittelbarer Nähe des Objektivs störend bemerkbar gemacht, die bei verschiedener Temperatur innerhalb und außerhalb der Kuppel im Kuppelspalt entstand. Die Bildverschlechterung war in solchen Fällen in Zenitnähe am stärksten, offenbar weil dort die wärmere Kuppelluft nach oben hinauswirbelte. Es wurde nach Möglichkeit der Kuppelspalt eine halbe bis eine Stunde vor Beginn der Beobachtungen geöffnet, inbesondere nach warmen Sommertagen.

Daß der Sitz der die Luftunruhe erzeugenden Turbulenz in größeren Höhen zu suchen ist, geht auch daraus hervor, daß das von Danjon angegebene Luftmassengesetz (s. S.3), das auf der Annahme einer dünnen Schicht in 3.5 km Höhe beruht, sich bei der Reduktion

der vorliegenden Beobachtungen sehr gut bewährt hat. Es wurde die Korrelation zwischen den f(z) nach Danjon einerseits und den Abweichungen $\triangle$ t vom Abendmittel t für jeden Stern andererseits gebildet. Es ergab sich keinerlei Zusammenhang. Die Einzelwerte weichen auch in großen Zenitdistanzen nicht einseitig vom Abendmittel ab. Für die je 5 ruhigen, mittleren und unruhigen Abende, für die oben die Genauigkeitsbetrachtungen angestellt wurden, lauten die Korrelationskoeffizienten zwischen $\triangle$ t und f(z):

ruhig: $r = -0.2 \cdot 10^{-4}$ mittel: $r = +0.4 \cdot 10^{-4}$ unruhig: $r = -0.6 \cdot 10^{-4}$.

d) Die Beziehungen der Luftunruhe zu den Luftkörpern. Das der mittäglichen Turbulenz entgegengesetzte Verhalten der nächtlichen Luftunruhe, die geringe Abhängigkeit von der nächtlichen Ausstrahlung sowie die verschwindende Abhängigkeit vom Azimut legten schon die Vermutung nahe, daß die starken Änderungen der Luftunruhe von Nacht zu Nacht ihre Ursache in verschieden starker Turbulenz der jeweils herrschenden Luftkörper (Luftmassen) haben. Es wurde daher der Zusammenhang zwischen Luftmasse und Luftunruhe an Hand der Angaben des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Zentralamt Bad Kissingen, untersucht, die in dem monatlich erscheinenden „Witterungsbericht" in der 3. Spalte der monatlichen Wetterübersichten gemacht werden. In Zweifelsfällen wurde auch die 2. Spalte zur Entscheidung mit herangezogen. Die Beobachtungen aus dem Jahre 1946 mußten für diese Untersuchung außer Betracht bleiben, da die Berichte erst 1947 beginnen.

Es wurde zunächst eine grobe Einteilung in Kaltluft und Warmluft getroffen, sodann wurde die Luftunruhe von Kontinentalluft und von maritimer Luft einander gegenübergestellt. Schließlich

Tabelle 4

Luftkörper und Luftunruhe

Es bedeuten: A Polarluft — G_A Gemäßigte Kaltluft
T Tropikluft — G_T Gemäßigte Warmluft
m maritim — c kontinental

Luftkörper	Zahl d. Beob.	Mittlere Luftunruhe
mA	21	0".48
cA	35	0.57
mG_A	33	0.39
cG_A	32	0.62
mG_T	23	0.46
cG_T	51	0.36
mT	5	0.24
cT	22	0.35

wurde noch eine detaillierte Untersuchung für alle wichtigen Luftarten durchgeführt. Für die Temperaturen ergibt sich ein erheblicher Unterschied. In 120 Nächten, in denen Bamberg im Bereich von Kaltluft lag, war die Luftunruhe im Durchschnitt um fast 50 % höher (t = 0".52) als in 100 Warmluftnächten des gleichen Zeitraums (t = 0".37). 135 Nächte mit Kontinentalluft (t = 0".48) unterschieden sich dagegen nur wenig von 80 Nächten mit maritimer Luft (t = 0".43). Die Herkunft der Luft spielt also im Mittel eine geringe Rolle, für den Feuchtigkeitsgehalt ist ein Einfluß auf die Luftunruhe ohnehin nicht zu erwarten. Die detaillierte Untersuchung zeigt diese Einflüsse noch ausgeprägter. Tab. 4. Die größte Unruhe mit t = 0".6 haben die gemäßigte kontinentale Kaltluft (0".64) und die kontinentale Polarluft (0".57), am ruhigsten zeigt sich die maritime Tropikluft mit t = 0".24, ein Wert, der allerdings auf nur 5 Abenden beruht. Für die Tropikluft besteht auch ein merklicher Unterschied in der Herkunft 22 Abende mit kontinentaler Tropikluft ergeben eine um 50 % größere Luftunruhe (t = 0".35). Auch für gemäßigte Kaltluft besteht ein solcher Unterschied in der gleichen Richtung, sogar von noch etwas höherem Betrag, während er für die gemäßigte Warmluft aus einem ziemlich großen Material merkwürdigerweise in umgekehrter Richtung, wenn auch von geringerem Betrag (25 %) sich ergibt.

Es folgt eine Zusammenstellung der ruhigsten ($t \leq 0".15$) und der unruhigsten Abende ($t \geq 1".5$). Tab. 5. Auf einen vollständigen Ab-

Tabelle 5

Ruhigste Abende					Unruhigste Abende				
Datum			t	Luftkörp.	Datum			t	Luftkörp.
1947	April	13	0".13	mT	1947	Jan.	4	1".83	cA
1948	März	14	0.15	mG_T			5	1.55	cA
1949	Aug.	20	0.15	cG_T			25	1.70	cA
	Okt.	11	0.13	cG_T		Sept.	26	2.10	cG_T
	Dez.	28	0.15	—		Okt.	25	1.9	cG_A
					1948	Febr.	26	4.5	cG_A
							27	1.9	cG_A
					1949	Okt.	27	1.76	mA

druck aller 293 Beobachtungen muß wegen Raummangel leider verzichtet werden. Die Zusammenstellung gibt aber schon einen guten Begriff von den erheblichen Unterschieden in der Scintillation, die dem beobachtenden Astronomen nur zu gut bekannt sind. Als Mittelwert der Luftunruhe für Bamberg für den Zeitraum Juni 1946 bis Dezember 1949 ergibt sich t aus 293 Beobachtungen zu 0".48.

Einige Bemerkungen seien noch zu dem extrem hohen Wert t = 4".5 angeschlossen, der sich für 1948 Febr. 26 ergab. Zunächst ist zu sagen, daß bei einer derartig enormen Unruhe das Danjonsche Verfahren selbst mit der Blende D = 8 cm nur zu einer rohen Schätzung von t führt, denn selbst mit dieser kleinen Blende

zeigten Sterne in Zenitnähe schon ein völlig verwaschenes, planetarisches Aussehen. Die ganz außergewöhnliche Unruhe fiel auch schon mit bloßem Auge durch eine enorme Scintillation sogar im Zenit auf. Selbst Venus flackerte bei einer Zenitdistanz von 60°! Es sei für diesen Abend die Wetterlage noch näher charakterisiert. Nach dem „Täglichen Wetterbericht" vom 27. Februar 1948, herausgegeben vom Zentralamt Kissingen hatte sich durch eine am Vortage erfolgte Verlagerung des seit Tagen herrschenden mitteleuropäischen Hochdruckgebietes nach Osten und vor allem nach Südosten eine Südostströmung eingestellt, die in den ersten Stunden des 26. in der Höhe einen Kaltlufttropfen von dem über dem Balkan lagernden Kaltluftreservoir nach Nordwesten führte. Dieser Kaltluft folgte über Süddeutschland im Laufe des Tages eine wärmere Luftmasse, die sich in der Nacht vor allem in bodennahen Schichten in der sich auch dort allmählich durchsetzenden Südostströmung bemerkbar machte: Wind in Bamberg 21¼ Uhr NE 3, 7¼ Uhr SSE 2; Minimum — 3°,3, in der Nacht vorher jedoch — 8°,5, bei etwa gleichen wolkenfreien Strahlungsverhältnissen. Die Radiosonden-Aufstiege in Erlangen zeigen in 1000 m Höhe einen Temperaturanstieg um 6° in der Zeit vom 26. 2. 16 Uhr bis zum 27. 2. 4 Uhr MEZ. In 2000 m Höhe betrug dieser Anstieg nur 3°, in noch größeren Höhen ist in dem genannten Zeitraum keine nennswerte Temperaturzunahme mehr zu verzeichnen gewesen, dort war in den vorangegangenen 12 Stunden die Temperatur kräftig angestiegen (5° Anstieg in 5000 bis 6000 m), bei gleichzeitigem, jedoch geringerem Anstieg in den unteren Schichten. Tab. 6.

Tabelle 6

Radiosonden-Aufstieg in Erlangen

Luftdruck	Genäherte Höhe	26. 2. 4 h	26. 2. 16 h	27. 2. 4 h MEZ
96 mb	15 000 m	— 54°	— 53°	—
225	10 000	— 53	— 55	— 57°
300	7 500	— 51	— 49	— 48
400	6 200	— 39	— 34	— 34
500	5 000	— 28	— 23	— 21
600	4 000	— 18	— 14	— 12
700	3 000	— 9	— 6	— 3
800	2 000	— 5	— 0	+ 3
900	1 000	— 6	— 2	+ 4
1000	0			

Durch diese Luftströmungen war also schon am Tage ein überadiabatischer Temperaturgradient entstanden, der sich in der Nacht zum 27. in der optisch besonders wirksamen Schicht zwischen 3000 und 4000 m Höhe sogar noch etwas verstärkte und Anlaß zu kräftigem, turbulentem Austausch gab, der die Ursache zu der enormen Luftunruhe in jener Nacht war.

2. Extinktion

Mit einem umgebauten Spiegelsextanten[9]) wurden in 143 Nächten Messungen der visuellen Extinktion angestellt und diese sodann mit Hilfe der Luftmassenwerte von Bemporad auf das Zenit reduziert. Es wurden die Helligkeitsunterschiede von in der Regel zwei bis drei Horizontsternen mit einem Zenitstern durch je vier Einstellungen der Schubschraube am Sextantenfernrohr bestimmt. Die Zenitdistanzen wurden einem Nomogramm entnommen. Bezüglich weiterer Einzelheiten des Verfahrens sei auf die zitierte frühere Arbeit verwiesen. Es ist hier lediglich noch nachzutragen, daß sich herausgestellt hat, daß bei sehr großen Sterndistanzen Schwierigkeiten durch Vignettierungseffekte auftreten. Das Programm mußte daher so eingerichtet werden, daß Sterndistanzen über 70° vermieden wurden. Versuche hatten ergeben, daß bei dem verwendeten Sextanten bis zu dieser Distanz keine störenden Vignettierungseffekte auftraten. Die Beobachtungen wurden in der Regel nur an völlig wolkenfreien Abenden angestellt, insbesondere wurde sorgfältig auf die Sauberkeit der horizontnahen Gegenden geachtet. Dagegen wurde keine Auswahl nach der Güte der Durchsicht getroffen. Es wurde auch in ausgesprochen dunstigen Nächten die Extinktion gemessen, wenn keine Wolken erkennbar waren. Die Beobachtungen wurden auf dem Dach des Verwaltungsgebäudes der Sternwarte angestellt, das nach allen Richtungen freien Blick bis zum Horizont gewährt.

Wegen Raummangels muß auch bei der Extinktion von einer Wiedergabe der einzelnen Abendwerte abgesehen werden. Der höchste Wert mit einer Zenitextinktion von $k = 0^m.94$ wurde an einem Abend gewonnen, an dem die Bemerkung „Dunstig und leicht neblig" ins Beobachtungsbuch eingetragen worden war, während einige Abende mit „außerordentlicher Durchsicht" bei dem theoretischen Höchstwert von $k = 0^m13$ für trockene, staubfreie Luft liegen, und ihn sogar innerhalb der Streugrenze noch unterschreiten. Als mittlere Extinktion im Zenit ergibt sich aus allen 143 Abenden $k = 0^m.42$. Daß dieser Wert höher als die meisten der von anderen Sternwarten mitgeteilten Extinktionswerte[10]),[11]) ist, erklärt sich aus der oben erwähnten Mitnahme von ausgesprochen dunstigen Abenden. Die große Verschiedenheit der Durchsicht von Abend zu Abend läßt bei vielen photometrischen Arbeiten eine Berücksichtigung der Extinktion, selbst der differentiellen, mit angenommenen Mittelwerten recht ungenügend erscheinen. Vor allem bei der Arbeit mit blauempfindlichen Platten, wo die Extinktionswerte etwa zu verdoppeln sind, sollte der Abendwert der Extinktion jeweils bestimmt werden. Die mit dem Spiegelsextanten gemachten Erfahrungen lassen dieses Beobachtungsverfahren für diesen Zweck sehr geeignet erscheinen. Die Beobachtungen beanspruchen einen minimalen Aufwand an Gerät und Zeit und liefern die Zenitextinktion mit einem Fehler, der unter einem Zehntel Größenklasse liegt.[9])

Für Bamberg liegen keine früheren Bestimmungen der Absolutwerte der Zenitdurchsicht vor, jedoch hat Zinner[12]) den Unterschied der Durchsicht in Bamberg gegenüber einigen hochgelegenen Orten in der Schweiz bestimmt. Unter der Annahme, daß in Muottos Muraigl und Gornergrat nur noch die Extinktion der staubfreien, trockenen Luft wirksam war, die in dieser Höhe im photographischen Bereich etwa $0^{m}.2$ betragen wird, ergibt sich unter Addition der von Zinner bestimmten Differenz mit einer Zenitextinktion von $1^{m}.0$ für Bamberg ein Wert, der nur wenig höher liegt als die von mir bestimmte mittlere Zenitextinktion, die für den photographischen Bereich mindestens zu verdoppeln ist.[13])

Der jährliche Gang der Extinktion ist verschwindend, wie die in Tab. 7 dargestellten Monatsmittel zeigen. Von der zweifellos besseren sommerlichen Sicht, wie sie auch aus den im 3. Abschnitt be-

Tabelle 7

Monatsmittel der Extinktion

Monat	Anzahl d. Beob.	Mittl. Extinktion
Januar	10	$0^{m}38$
Februar	8	0.40
März	14	0.40
April	7	0.40
Mai	2	0.56
Juni	5	0.41
Juli	14	0.49
August	17	0.39
September	25	0.45
Oktober	21	0.33
November	4	0.51
Dezember	16	0.50
Jan.—Dez.	143	0.42

handelten Sichtbeobachtungen deutlich zum Ausdruck kommt, ist in den nächtlichen Extinktionsmessungen nur das sekundäre Minimum im Herbst mit dem winterlichen Anstieg zu erkennen. Durch die Zusatzbedingung der Wolkenfreiheit, die im Winter gerade für die durchsichtigen Nächte erfüllt ist und durch die Mitnahme dunstiger und leicht nebliger Abende, wird der jährliche Gang in der Extinktion, wie er in Zinners photographischen Grenzgrößen[12]) zum Ausdruck kommt, fast völlig verwischt. Auch der Zusammenhang zwischen Extinktion und Luftkörper ist nur sehr undeutlich, wie ein Blick auf Tab. 8 lehrt. Nur die maritime Polarluft fällt durch größere, die indifferente Luft und die kontinentale Tropikluft fallen durch geringere Durchsicht aus dem übrigen Einerlei heraus. In diesem hohen Wert der Extinktion für die 8 Abende mit indifferenter Luft äußert sich die sogenannte „Alterung" der Luftkörper, die mit einer Erhöhung der Staubtrübung verbunden zu

Tabelle 8

Extinktion und Luftkörper

(i = indifferente Luft)

Luftkörper	Anzahl d. Beob.	Extinktion
mA	11	0.32
cA	21	0.40
mG_A	16	0.41
cG_A	19	0.41
mG_T	11	0.43
cG_T	26	0.41
mT	4	0.42
cT	17	0.46
i	8	0.51

sein pflegt. Diese Alterungserscheinungen kommen in mehreren Reihen hintereinanderliegender Extinktionsabende sehr schön zum Ausdruck, namentlich bei herbstlich ruhigem Strahlungswetter. Als Beispiele seien die Reihen von 1947, Oktober 5 bis 14 und 1949, September 23 bis Oktober 2 angeführt. Tab. 9. 1947 herrschte von Oktober 5 bis 14 eine gemäßigte Festlandswarmluft, die am 10. vor-

Tabelle 9

Alterung der Luftkörper

(Zunahme der Extinktion)

1947 Oktober	5	$k = 0^m.13$	1949 Septemb.	23	$k = 0^m.21$
	6	0.34		24	0.29
	8	0.50		25	0.38
	9	0.50		26	0.54
	11	0.37		27	0.94
	12	0.47		29	0.58
	13	0.42	Oktober	2	0.64

übergehend von einem Vorstoß von gemäßigter Meereswarmluft unterbrochen wurde. Bewölkungsaufzug verhinderte an diesem Abend die Beobachtungen. Die am 11. wieder zur Herrschaft gelangte Festlandsluft zeigt wieder erneuten Alterungsprozeß. 1949 herrschte von Sept. 23 kühle Festlandsluft, die zusehends alterte. Der abnorm hohe Wert Sept. 27, der höchste der ganzen Reihe, wurde durch Kondensation in den unteren Luftschichten verursacht. (Eintragung „leicht neblig" im Beobachtungsbuch.)

Die dem Beobachter bekannte Erscheinung, daß die durchsichtigsten Nächte häufig auch die unruhigsten zu sein pflegen, die auch darin zum Ausdruck kommt, daß für mA sowohl die Durchsicht als auch die Unruhe sich größer als im Mittel ergeben, brachte mich auf den Gedanken, die Korrelation zwischen Extinktion und Luftunruhe zu untersuchen. Es zeigte sich jedoch, daß sich der Effekt im Mittel fast völlig verwischt. Der Korrelationskoeffizient liegt

mit r = —0.07 ± 0.09 zwar in der erwarteten Richtung (kleinere Extinktion ist mit größerer Unruhe verbunden und umgekehrt), jedoch noch innerhalb der Fehlergrenze. Es gibt also zweifellos auch unruhige Nächte mit schlechter Durchsicht und — glücklicherweise — auch ruhige Nächte mit guter Durchsicht! Dagegen zeigen die nächtlichen Extinktionen einen deutlichen Zusammenhang mit der Sichtweite am Tage, wovon im nächsten Abschnitt noch die Rede sein wird.

3. Sichtbeobachtungen

Die erhöhte Lage der Bamberger Sternwarte und der freie Blick, insbesondere nach Norden, gaben 1946 Anlaß zu täglichen Sichtbeobachtungen, ähnlich wie sie von M. Wolf auf dem Königsstuhl bei Heidelberg durchgeführt wurden, worüber H. Berg[14]) berichtet hat. Obwohl die Bamberger Reihe erst 3½ Jahre umfaßt, möge im Zusammenhang mit den vorliegenden nächtlichen Untersuchungen der Luftdurchsicht darüber berichtet werden, da sich interessante Vergleichsmomente beider Sichtmaße ergeben.

Die Sichtschätzungen geschahen dreimal täglich — morgens, mittags und abends —, jedoch nicht zu festen Zeiten. Bei kurzzeitiger Sichtverschlechterung durch Regen, Schnee oder tiefe Wolken wurde meist ein günstiger Moment abgewartet, der die wahre Sichtigkeit des herrschenden Luftkörpers zu bestimmen gestattete. Im Winter mußte die Abendbeobachtung wegen des zeitigen Eintritts der Dunkelheit früher angestellt werden. Die Beobachtungen konnten von meiner Frau und mir nahezu lückenlos durchgeführt werden. Bei unserer Verhinderung war Herr J. Busch so freundlich, die Sichtbeobachtungen zu übernehmen.

Es wurde der Grad der Sichtbarkeit einer Reihe ausgewählter Sichtziele in einer 5teilen Skala bestimmt, wobei, genau wie bei Wolf, 5 die beste Sichtbarkeit, 1 die Grenze der Wahrnehmbarkeit und 0 Unsichtbarkeit bedeuten, (also umgekehrt wie bei Löhle[15])). Während des ersten Jahres (Juli 1946 bis Juni 1947) wurde die Sicht nach 20 Zielen beobachtet, die von W über N nach E nahezu gleichmäßig im Azimut verteilt waren. Es erwies sich jedoch, daß die verschiedene Beleuchtung bei verschiedenem Sonnenstand für östliche und westliche Ziele erhebliche Unterschiede erzeugte, so daß nur die Beobachtungen nach nördlichen Zielen brauchbar waren. Es wurde daraufhin eine neue Liste von 15 Sichtzielen aufgestellt, die 7 Ziele der ersten Liste umfaßt und sich nur auf nördliche Richtungen beschränkt. Die Tab. 10 gibt eine Übersicht über die seit 1. Juli 1947 ausschließlich verwendeten 15 Ziele. Es mußte dabei in Kauf genommen werden, daß die Visur über Teile der im Norden der Sternwarte liegenden Stadt Bamberg verlief. Durch Rauchentwicklung in der Nähe des Bahnhofs wurde gelegentlich die Sicht in Richtung der Ziele 9 und 10 erheblich verschlechtert. In den hier mitgeteilten Mittelwerten wird sich dies jedoch kaum auswirken, da eine gesonderte Behandlungen der Sichtverhältnisse nach den

Tabelle 10

Sichtziele von Bamberg, Sternwarte, 295 m Seehöhe

	Entfernung	Azimut	Seehöhe
1. Kreuzberg	6 km	341°	368 m
2. Schlachthof	2.3	345	240
3. Hallstadt	5	350	242
4. Grehberg	11	350	366
5. Gr. Finsterberg	86	356	944
6. Martinskirche	1.0	358	245
7. Breitengüßbach	9	359	250
8. Abtenberg	17	2	363
9. Bleßberg	62	8	866
10. Eierberge	23	9	455
11. Aufbauschule	0.1	15	270
12. Weyermann, Fabrik	2.0	16	240
13. Umspannwerk	4	17	245
14. Sassendorfer Wald	12	20	375
15. Staffelberg	26	24	539

einzelnen Zielen (mit Ausnahme der Thüringerwald-Sicht) mit Rücksicht auf die Kürze der Beobachtungsreihe ohnehin nicht erfolgversprechend erschien. Die Beobachtungen wurden in der Regel mit bloßem Auge durchgeführt. Nur für die Ziele 5 und 9, die unter einem sehr kleinen Winkel erscheinen, wurde gelegentlich ein lichtstarkes Feldglas mit 7facher Vergrößerung hinzugezogen.

Tabelle 11

Verhältniszahlen V der Luftdurchsicht

Früh	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1946	—	—	—	—	—	—	1.51	2.23	1.25	1.17	1.07	0.91
1947	0.96	0.96	1.40	1.53	1.40	1.49	1.88	2.18	1.75	1.11	1.43	1.31
1948	1.65	1.66	1.19	1.98	2.45	2.31	1.90	1.83	1.19	1.62	0.88	0.79
1949	1.41	0.97	1.68	2.02	2.35	2.42	2.43	2.24	1.32	1.57	1.20	1.54
Mittel	1.34	1.20	1.42	1.84	2.06	2.07	1.93	2.12	1.38	1.37	1.14	1.14

Mittag	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1946	—	—	—	—	—	—	2.50	2.48	2.18	1.80	1.43	1.14
1947	1.30	1.14	1.74	1.92	1.96	2.06	2.93	3.22	2.79	2.43	2.08	1.71
1948	2.08	2.29	2.30	2.96	3.11	3.22	2.82	2.97	2.70	2.77	1.64	1.36
1949	1.76	1.75	2.86	2.41	3.12	3.24	3.19	3.15	2.51	2.58	2.05	1.89
Mittel	1.71	1.73	2.30	2.43	2.73	2.84	2.86	2.96	2.54	2.40	1.80	1.53

Abend	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1946	—	—	—	—	—	—	2.59	2.46	2.28	1.50	1.37	0.98
1947	1.33	1.05	1.64	1.99	1.92	2.22	2.97	3.06	2.89	2.24	1.57	1.56
1948	1.92	2.22	2.19	2.79	2.91	2.97	2.42	3.05	2.40	2.17	1.25	1.27
1949	1.47	1.50	2.20	2.74	2.79	3.15	3.04	3.11	2.64	2.16	1.71	1.83
Mittel	1.57	1.59	2.01	2.51	2.54	2.78	2.75	2.92	2.55	2.02	1.47	1.41

Die Bearbeitung der Beobachtungen geschah zunächst einmal ohne Berücksichtigung des Grades der Sichtbarkeit, indem nur die Anzahl der Tage, sowie die Anzahl der Früh-, Mittag- und Abendtermine bestimmt wurde, an denen das Sichtziel überhaupt sichtbar war. In einem zweiten Rechengang wurde dann die Güte der Sichtbarkeit als eine Gewichtsverteilung berücksichtigt. Tab. 11 gibt die Monatsmittel der Sichtweite in Einheiten der Schätzungsskala. Der Wert 5.0 würde also vollkommen klare Sicht nach allen 15 Zielen zu sämtlichen Terminen des betreffenden Monats bedeuten, was natürlich nicht vorkommen kann. Wenn G die Schätzung nach den 15 einzelnen Zielen in der 5teiligen Skala und B die Zahl der Beobachtungen (früh, bzw. mittags, bzw. abends) in dem betreffenden Monat bedeutet, dann sind die Verhältniszahlen V der Sicht der Tab. 11

$$V = \frac{\Sigma G}{15 \cdot B}$$

In Abb. 2 ist eine Darstellung der durchschnittlichen Monatsmittel

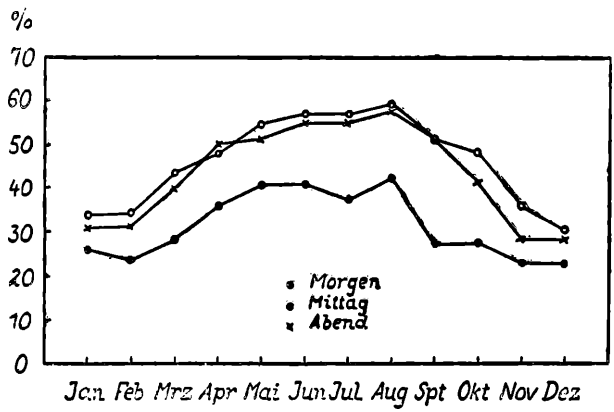

Abb. 2

Mittelwerte der Sicht.
(in % einer trübung- und extinktionsfreien Sicht.)

aus dem gesamten Material gegeben, in Prozenten der vollkommen extinktionsfreien Sicht (100 % = 5 der Schätzungsskala). Es ergibt sich im wesentlichen dasselbe Bild wie aus den Wolf'schen Beobachtungen vom Königsstuhl: Tiefes Minimum im Winter, Maximum im Sommer. Auch das sekundäre Minimum im Juli ist aus den Heidelberger Beobachtungen zu erkennen. Die stark verminderte Sicht am Morgen ist auf dem Königsstuhl ebenfalls in gleicher Weise beobachtet worden. Die fehlende Konvektion in der Nacht läßt die trübenden Beimengungen der Luft, das „Luftplankton" absinken, wodurch der Trübungsgrad der unteren Atmosphärenschichten erhöht wird. Mit der durch die tägliche Einstrahlung beginnenden Konvektion der aufsteigenden warmen Luftströme wird der Staub wieder in größere Höhen verfrachtet und die Sichttrübung wird ge-

ringer, so daß die Sichtweiten in der Regel mittags und abends erheblich größer als am Morgen sind. Auffallend ist die starke Abnahme der Morgensicht vom August zum September auf kaum mehr als die Hälfte. Neben einer größeren Nebelhäufigkeit im September drückt sich darin vor allem dieses allnächtliche Absinken des Dunstes aus, das bei dem im September häufigen ruhigen Strahlungswetter besonders auffällig wird. Daß in Heidelberg dies nicht so stark zum Ausdruck kommt, liegt offenbar daran, daß der Königsstuhl mit 570 m Seehöhe (450 m über dem Neckar) schon aus den dichtesten Schichten des nachts abgesunkenen herbstlichen Dunstes herausragt. Für die Bamberger Sternwarte (295 m, 50 m über der Regnitz) trifft dies nicht in dem Umfang zu, wenngleich sie auch meist über dem größten Dunst liegt, der sich über der Stadt und der Mainebene bildet. So ist z. B. die 130 m über den Main aufragende Kuppe des Kreuzberges häufig morgens besser zu sehen als die sogar etwas näher liegende Hallstädter Kirche am Fuße des Berges in der Mainebene. Im September tritt diese Erscheinung besonders häufig auf, 1947 12mal, 1948 und 1949 je 11mal, also stets mehr als an einem Drittel aller Tage. Noch auffälliger ist die meist bessere Sicht nach der Sassendorfer Höhe, obwohl diese dreimal entfernter ist als das in gleicher Richtung aber in der Niederung gelegene Umspannwerk.

Eine besondere Behandlung verdienen die Tage mit extrem guter Fernsicht. In Tab. 12 ist die Häufigkeit der Tage mit Thüringerwald-Sicht angegeben, also die Tage, an denen das Ziel 5 (Finsterberg) in 86 km Entfernung sichtbar war, in Abb. 3 sind die Monatsmittel veranschaulicht.

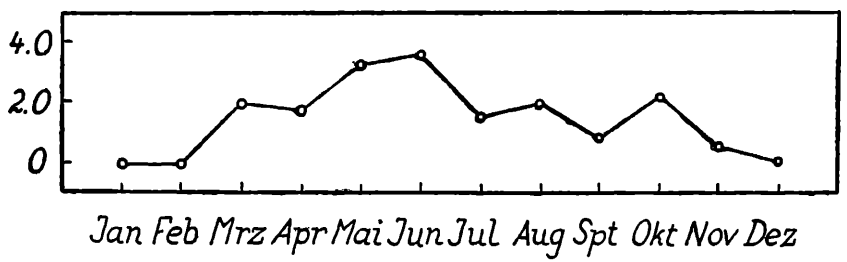

Abb. 3
Thüringerwald-Sicht.
Monatsmittel der Tage mit Finsterbergsicht.

Tabelle 12

Zahl der Tage mit Thüringerwald-Sicht
(Gr. Finsterberg sichtbar)

	Jan	Febr	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1946	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1	0	0
1947	0	0	5	3	1	1	2	2	2	4	0	0
1948	0	0	1	2	5	6	0	2	0	1	1	0
1949	0	0	0	0	4	4	2	2	0	3	0	0
Mittel	0.0	0.0	2.0	1.7	3.3	3.7	1.5	2.0	0.8	2.2	0.3	0.0

Das allgemeine Bild ist dasselbe wie in Abb. 2. Im Sommer ist die hervorragende Fernsicht am häufigsten. Die beste Sicht während des ganzen Beobachtungszeitraumes trat am 15. Juni 1947 ein, wo in den Abendstunden der Thüringerwald in ungewöhnlicher Klarheit sich darbot. Die Aussichtstürme auf dem Bleßberg, Gr. Finsterberg, Schneekopf und Gr. Beerberg (?) waren im Glas mühelos zu erkennen. In den kältesten Monaten ist Thüringerwald-Sicht äußerst selten. (Nur einmal ist der Finsterberg im Dezember sichtbar gewesen, doch nur für kurze Zeit, so daß das bei den Beobachtungsterminen nicht in Erscheinung getreten ist: Am 4. Dezember 1949 war 9½ Uhr der Bleßberg eben zu sehen (Güte 1), zwischen 11 und 12 Uhr war vollständige Thüringerwald-Sicht (Güte 1—2), aber schon zum Wetterablesetermin (14¼ Uhr) war die Sichtweite auf 20 km herabgesunken, da ein leichter Regen eingesetzt hatte.) Der März bringt dann sogleich eine kräftige Zunahme der Häufigkeit der Thüringerwald-Sicht. Während wir das sekundäre Minimum im Juli und die schlechte Septembersicht schon aus den Kurven des Gesamtmaterials kennen, ist der bemerkenswerte Anstieg im Oktober, der auch in den Extinktionsbeobachtungen deutlich zum Ausdruck kam, in den Gesamtmitteln der Sicht verwischt. Sicherlich hängt diese Sichtsteigerung, genau wie die gute Sicht im Frühjahr, mit dem häufigen Westwetter in diesen Jahreszeiten zusammen. Wenn auch die Deutung dieses Sichtbefundes mehr Sache des Meteorologen ist, so sei doch noch kurz ein Blick auf die Zusammenhänge der extremen Fernsicht mit der Windrichtung und mit dem Luftkörper geworfen, die unsere soeben geäußerte Vermutung bestätigen.

Die Untersuchung der 60 Tage mit Thüringerwald-Sicht auf einen Zusammenhang mit der Windrichtung zeigt, daß unter den 60 beobachteten Fällen kein einziger ist, bei dem der Finsterberg bei östlichen Winden sichtbar war. In 31 Fällen herrschte Süd- oder Südwestwind, in 15 Fällen Nordwest- oder Nordwind. Im einzelnen verteilen sich die Tage auf die Richtungen wie folgt:

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Still
6	0	0	0	22	9	13	9	1

Noch ausgeprägter ist der Zusammenhang mit den Luftkörpern. Von 54 Tagen, für die die Luftmasse angegeben werden konnte, trat Finsterberg-Sicht in 39 Fällen bei maritimer Kaltluft ein. Bei Tropikluft, sowie bei kontinentaler Polarluft war in keinem Falle Thüringerwald-Sicht zu verzeichnen. Die Verteilung ist im einzelnen die folgende:

cA	mA	cG_A	mG_A	cG_T	mG_T	cT	mT
0	14	8	25	5	2	0	0

Die verschiedene Durchsicht von Luftkörpern verschiedener Herkunft ist bekannt und hängt in erster Linie mit der Zahl der Staubkerne zusammen, die der betreffende Luftkörper in der Volumen-

einheit mit sich führt.[16]) Nach den Untersuchungen von Burckhardt[17]) ist für den Unterschied im Staubgehalt der verschiedenen Luftkörper in der Hauptsache die Länge des überstrichenen Landweges maßgebend, was mit dem Überwiegen der Finsterberg-Sicht in maritimen Luftkörpern übereinstimmt. Der Windzusammenhang ist weniger durchsichtig, das Vorherrschen von Südwinden bei hervorragender Sicht muß auf orographischen Besonderheiten der Lage Bambergs beruhen. Solche Anomalien sind auch an anderen binnenländischen Orten beobachtet worden und erst in ungestörter Küstenlage bringt Nordwestwind die beste Sicht, wie es ja zu erwarten wäre.

Zum Schluß sei noch das Ergebnis einer Untersuchung über den Zusammenhang zwischen der am Tage an terrestrischen Zielen bestimmten Sicht und der nachts an Sternen bestimmten Extinktion mitgeteilt. Es wurden für die Tage, an denen in der folgenden Nacht Extinktionsbeobachtungen angestellt worden waren, für die terrestrische Sichtschätzung des Abendtermins die gewichteten Mittel (wie oben) gebildet. Diese Sichtwerte wurden auf eine Korrelation mit den in der folgenden Nacht bestimmten Extinktionswerten untersucht. Es ergab sich ein Korrelationskoeffizient von $r = -0.34 \pm 0.09$, in dem erwarteten Sinne, daß einem höheren Sichtwert eine geringere Extinktion entspricht. Es ist dies vielleicht insofern von praktischer Bedeutung, als in manchen Fällen in Ermangelung eines Abendwertes der Extinktion die Sichtbeobachtung nach terrestrischen Zielen vom vorangehenden Nachmittag herangezogen werden kann. Der Sichtwert ist bedeutend einfacher und rascher zu erlangen als die Extinktion. Wenn er auch für größere Genauigkeitsansprüche im Einzelfall die Extinktionsbestimmung nicht ersetzen kann, so wird er zum mindesten eine Entscheidung ermöglichen, ob mit einem Mittelwert der Extinktion gerechnet werden darf oder nicht, und er wird die Aufklärung mancher Unstimmigkeiten sowie eine Begründung für den Ausschluß von unbrauchbaren Helligkeitsbeobachtungen ermöglichen. Damit gewinnen terrestrische Sichtbeobachtungen eine unmittelbare astronomische Bedeutung neben dem mittelbaren Interesse, das ihnen der Astronom entgegenbringt, da sie ihm Auskunft über die Lage seiner Beobachtungsstation in Bezug auf die unteren Dunstschichten der Atmosphäre geben.

LITERATUR

1) E. Wahl, Meteorologische Erkenntnisse durch astronomische Bildruheschätzung. Die Sterne 22. 65 (1942)
2) V. Oberguggenberger, Über die Scintillation der Fixsterne. Mitt. d. Sternwarte Innsbruck, Nr. 3. (1926)
3) M. Minnaert u. J. Houtgast, Photometrische Untersuchungen über das Funkeln der Sterne. Zeitschr. f. Astrophysik 10. 86—99 (1935)
4) H. Siedentopf, Über Luftunruhe und Scintillation. Die Sterne. 19. 145—151 (1939)
5) A. Danjon u. A. Couder, Lunettes et Telescopes, Paris (1935) S. 91

6) H. U. Sandig, Über die Beurteilung der astronomischen Beobachtungsmöglichkeiten mit besonderer Berücksichtigung der Luftunruhe. Die Himmelswelt 51. 144 (1941)
7) E. Gaviola, On shadow bands at total eclipses of the sun. Obs. de Cordoba, Tirade Aparte Nr. 26 (1948)
E. Gaviola, On seeing, fine structure of stellar images and inversion layer spectra. Obs. de Cordoba, Tirade Aparte Nr. 34 (1949)
8) M. Beyer, Die zeichnerische Darstellung der Marsoberfläche. Die Himmelswelt 56. 132 (1949)
9) H. U. Sandig, Extinktionsbestimmungen mit dem Spiegelsextanten. Astron. Nachr. 275. 258—262 (1948)
10) S. Vocke, Visuelle Extinktionsbeobachtungen an den Sternwarten Breslau und Belkawe nebst einer Untersuchung der photometrischen Mire. Zeitschr. f. Astroph. 17, 15—60 (1939)
11) J. W. Goethe, Über die Berücksichtigung der atmosphärischen Extinktion bei Messungen von Sternhelligkeiten. Gerlands Beiträge zur Geophysik 58. 307—369 (1942)
12) E. Zinner, Die Durchsichtigkeit der Luft zu Bamberg, Davos, Muottas Muraigl und Gornergrat. Astron. Nachr. 243. 261—280 (1931)
13) A. Danjon, Annales de l'Observ. de Strasbourg. 5. 61 (1928)
14) H. Berg, Ergebnisse 25jähriger Sichtbeobachtungen auf dem Königsstuhl bei Heidelberg. Wiss. Abh. d. Reichsamts f. Wetterdienst. Bd. V, 1938
15) F. Löhle, Sichtbeobachtungen vom meteorologischen Standpunkt. Berlin 1941, S. 1 und 2
16) H. U. Sandig, Die astronomischen Beobachtungsbedingungen in der Großstadt. Die Himmelswelt 50. 103. (1940)
17) H. Burckhardt, Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. 24. 190 (1937)

G.D. Landesmuseum BIBLIOTHEK

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Bericht der Naturforschenden Gesellschaft Bamberg

Jahr/Year: 1950

Band/Volume: 32

Autor(en)/Author(s): Sandig H.-U.

Artikel/Article: Untersuchungen über Ruhe und Durchsicht der Luft in Bamberg 59-80