

**Veröffentlichungen des Königlich Preussischen Meteorologischen Instituts**

Herausgegeben durch dessen Direktor

**G. Hellmann**

---

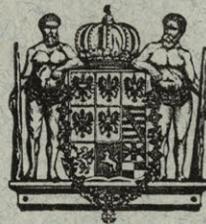
Nr. 257

Abhandlungen Bd. IV. Nr. 8.

Über den  
**Einfluß des Windes**  
auf den  
**Barometerstand an Höhenstationen**

Von

**G. v. Elsner**



---

1913

Springer-Verlag Wien GmbH

**Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts**

Herausgegeben durch dessen Direktor

**G. Hellmann**

---

Nr. 257

Abhandlungen Bd. IV. Nr. 8.

Über den  
**Einfluß des Windes**  
auf den  
**Barometerstand an Höhenstationen**

Von

**G. v. Elsner**



---

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1913

ISBN 978-3-662-22944-6  
DOI 10.1007/978-3-662-24886-7

ISBN 978-3-662-24886-7 (eBook)

## I.

Die Veranlassung zu der vorliegenden Untersuchung war folgende:

Bei der jährlichen Prüfung der Beobachtungsergebnisse der Stationen höherer Ordnung des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts stellte es sich regelmäßig heraus, daß nach Reduktion der Jahresmittel des Luftdrucks auf das Meeresniveau der für die Station auf der Schneekoppe berechnete Wert im Vergleich zu dem für die damalige Basisstation Eichberg ermittelten um 0.4 bis 0.5 mm zu tief ausfiel. Da die Korrekturen der Barometer stets genau bekannt waren, mußte irgend eine andere Ursache als ein fehlerhafter Stand eines der beiden Instrumente dieser Abweichung zugrunde liegen.

Zunächst konnte man daran denken, daß einer der Beobachter beim Ablesen des Barometers prinzipiell den Nonius unrichtig einstellte, also entweder der Beobachter auf der Schneekoppe zu tief oder der in Eichberg zu hoch. Da aber der Unterschied auch nach einem wiederholten Beobachterwechsel auf der Schneekoppe bestehen blieb und die auf das Meeresniveau reduzierten Luftdruckmittel von Eichberg mit denen der sonstigen Nachbarstationen gut übereinstimmten, so konnte dieser Grund nicht stichhaltig sein.

Ferner schien es möglich, daß die Reduktion der Luftdruckwerte auf das Meeresniveau bei der erheblichen Seehöhe der Schneekoppe von 1605 m nicht mehr genügend sicher war und zwar hauptsächlich infolge mangelhafter Kenntnis der in die barometrische Höhenformel einzuführenden Mitteltemperatur der Luftsäule zwischen Schneekoppe und Meeresniveau. Ein Fehler von 1°, um welchen Betrag die Mitteltemperatur etwa zu hoch angenommen war, reichte vollkommen hin, um die negative Abweichung der reduzierten Luftdruckwerte zu erklären. Ein so großer Temperaturfehler war jedoch von vornherein deshalb wenig wahrscheinlich, weil es sich hier um Reduktion nicht eines Einzelwertes, sondern des Jahresmittels des Luftdrucks handelte, im Jahresmittel aber größere Unregelmäßigkeiten in der Temperaturabnahme nach der Höhe, wie sie im Einzelfall eintreten können, sich auszugleichen pflegen. Außerdem sicherten schon die Temperaturbeobachtungen an mehreren Stationen, die zwischen Eichberg und Schneekoppe am Gebirgsabhang liegen, annähernd richtige Werte der in die Rechnung einzuführenden Mitteltemperatur.

Allerdings scheint aus den neueren Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse der freien Atmosphäre hervorzugehen, daß die auf Berggipfeln gemessenen Temperaturen im Mittel etwas tiefer sind als diejenigen, die in gleicher Höhe der freien Atmosphäre herrschen. Die barometrische Höhenformel setzt aber voraus, daß die zur Rechnung benutzten Temperaturen

die der freien Atmosphäre sind. Für den Brocken hat A. Hildebrandt<sup>1)</sup> berechnet, daß er durchschnittlich um 0,7<sup>o</sup> kälter ist, als die freie Atmosphäre in gleicher Höhe. Nimmt man nun an, daß auch die Temperatur auf der Schneekoppe entsprechend tiefer ist, als die der freien Luft, so würde man zur Reduktion der Luftdruckwerte auf das Meeresniveau zu tiefe Temperaturen benutzt haben. Dadurch müßten aber die reduzierten Werte, nicht wie es hier der Fall ist, zu tief, sondern umgekehrt zu hoch ausfallen. Durch Temperaturfehler läßt sich also der zu niedrige Luftdruck auch nicht erklären.

Endlich könnte man, da die Schneekoppe von Eichberg etwa 18,5 km entfernt ist, vielleicht noch annehmen, daß die Abweichung der reduzierten Luftdruckwerte beider Stationen wenigstens zum Teil auf Rechnung eines barometrischen Gradienten zu setzen wäre. Ganz abgesehen aber davon, daß dieser im Jahresdurchschnitt nur klein sein kann, ist er auch tatsächlich im Mittel so gerichtet, daß der Luftdruck von Eichberg nach der Schneekoppe hin zunimmt. Der auf das Meeresniveau reduzierte Luftdruck der Schneekoppe müßte daher eigentlich eher etwas höher sein als der von Eichberg.

Eine stichhaltige Erklärung für die eigentümliche Erniedrigung des mittleren Luftdrucks auf der Schneekoppe ließ sich vorläufig also nicht finden. Erst gelegentlich einer größeren im Meteorologischen Institut angestellten Untersuchung ergaben sich gewisse Anhaltspunkte für die vermutliche Ursache der Erscheinung. Es wurden nämlich für bestimmte Wetterlagen möglichst genaue Isobarenkarten für das Meeresniveau hergestellt, bei denen die Luftdruckbeobachtungen fast aller in dem in Betracht kommenden Gebiet gelegenen Stationen mit nicht zu großer Seehöhe Verwendung fanden. Ab und zu wurden aus gewissen Gründen auch die Luftdruckbeobachtungen von der Schneekoppe auf das Meeresniveau reduziert. Dabei fiel es mir auf, daß diese reduzierten Werte im Vergleich zu denen der nächstgelegenen Stationen bisweilen außerordentlich tief waren, obwohl der ganzen Wetterlage nach eine abnorme Temperaturschichtung in der Atmosphäre nicht vorausgesetzt werden konnte. Eine nähere Prüfung dieser Fälle ergab, daß gleichzeitig auf der Schneekoppe stets stürmische Winde herrschten. Die Untersuchung einer Anzahl anderer Fälle bestätigte es, daß bei stürmischen Winden auf der Schneekoppe die auf das Meeresniveau reduzierten Luftdruckwerte meist recht erheblich zu tief ausfielen, während umgekehrt bei ganz schwachen Winden oder Windstille diese Abweichung sich nicht bemerkbar machte. Es bestand anscheinend ein bestimmter Zusammenhang zwischen Windstärke und Erniedrigung des Barometerstandes. Dieser Umstand legte es nahe, auch die zu tiefen Werte der Jahresmittel des Luftdrucks auf die gleiche Ursache zurückzuführen, da ja auf der Schneekoppe größere Windstärken häufig sind und die jedesmaligen Erniedrigungen des Barometerstandes infolgedessen auch das Jahresmittel des Luftdrucks beeinflussen müssen.

Um die Frage, inwieweit die Barometerstände auf der Schneekoppe durch den Wind beeinflußt werden, nach Möglichkeit zu klären, entschloß ich mich, sie zum Gegenstand einer eingehenderen Untersuchung zu machen. Nachdem ich die hierfür erforderlichen Vorarbeiten bereits zu einem großen Teile beendet hatte, wurde ich von Herrn Hellmann darauf aufmerksam

<sup>1)</sup> Alfred Hildebrandt, Vergleich der Temperatur auf dem Brocken und in gleicher Höhe der freien Atmosphäre auf Grund neuerer Ballon- und Drachenaufstiege. Inaug.-Diss. Rostock 1911. 8<sup>o</sup>.

gemacht, daß schon früher einmal in England eine Abhandlung über die Beziehungen zwischen Windstärke und Barometerstand erschienen wäre. Tatsächlich hat, wie sich bald feststellen ließ, Alexander Buchan schon vor 20 Jahren eine der vorliegenden entsprechende Arbeit veröffentlicht, welche die Beziehungen zwischen Windstärke und Barometerstand auf dem Ben Nevis erörtert<sup>1)</sup>. In dieser Abhandlung kommt der Verfasser zu ähnlichen Ergebnissen, wie ich sie durch meine eigene Untersuchungen gefunden habe. Trotzdem dürfte es aus bestimmten Gründen nicht überflüssig sein, diese ebenfalls zu veröffentlichen. Soweit ich feststellen konnte, scheint nämlich die Buchansche Arbeit, die nur einen Teil einer größeren Abhandlung über die Meteorologie des Ben Nevis bildet, in Deutschland recht wenig Beachtung gefunden zu haben, vielleicht weil man sich der allgemeineren Bedeutung, die sie hat, nicht recht bewußt geworden ist. Daher ist es wohl gerechtfertigt, durch eine nochmalige, auf einige andere Höhenstationen sich erstreckende Untersuchung der hier in Frage kommenden Erscheinung den Nachweis zu erbringen, daß sie vermutlich bei den Barometerbeobachtungen aller Höhenstationen in Rechnung gezogen werden muß.

Die Untersuchung wurde in folgender Weise geführt. Um feststellen zu können, inwieweit die Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe durch den Wind beeinflusst werden, mußten sie in hinreichend großer Zahl mit den gleichzeitigen Beobachtungen der zugehörigen Basisstation auf dasselbe Niveau reduziert werden. Da seit dem Jahre 1907 die anfangs genannte Basisstation Eichberg durch die Station Zillerthal ersetzt ist, deren Entfernung von der Schneekoppe nur 12,5 km beträgt, wurden als Vergleichsbeobachtungen die von Zillerthal verwendet. Natürlich wäre es nicht zweckmäßig gewesen, die Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe und in Zillerthal auf das Meeresniveau zu reduzieren, vielmehr wurden lediglich die Beobachtungen der Schneekoppe auf die Höhe von Zillerthal reduziert. Allerdings war dieses Verfahren im Grunde genommen auch noch nicht das richtigste. Da es sich nämlich darum handelte, die Größe der Abweichungen des Luftdruckes auf der Schneekoppe von dem eigentlich in dieser Höhe zu erwartenden Stande nachzuweisen, so hätten von Rechts wegen die Luftdruckwerte von Zillerthal auf die Höhe der Schneekoppe reduziert werden müssen. Die in den beiden Fällen sich ergebenden Luftdruckdifferenzen zwischen den auf dasselbe Niveau bezogenen Luftdruckablesungen beider Stationen sind nämlich nicht ganz gleich, vielmehr fallen sie durch Reduktion der Beobachtungen von der Schneekoppe auf das Niveau von Zillerthal etwas größer aus, als bei dem umgekehrten Verfahren. Bezeichnet man nämlich den auf der Schneekoppe beobachteten Luftdruck mit  $b$ , den gleichzeitig in Zillerthal abgelesenen mit  $B$ , ferner den von der Schneekoppe auf die Höhe Zillerthal reduzierten Luftdruck mit  $B'$  und den von Zillerthal auf die Höhe der Schneekoppe reduzierten mit  $b'$ , so ist nach der barometrischen Reduktionsformel einmal  $\log B' = \log b + \frac{h}{A}$  und ferner  $\log b' = \log B - \frac{h}{A}$ , worin  $h$  den Höhenunterschied

<sup>1)</sup> A. Buchan, The influence of High Winds on the Barometer at the Ben Nevis Observatory. (Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh. Vol. XLII, 1892, S. 490. — Auch abgedruckt im Journal of the Scottish Meteorological Society. Third Series. Vol. IX, Nos. VII—IX, 1893, S. 132.) — Eine Mitteilung unter dem gleichen Titel erschien schon etwas früher in den Proceedings of the Roy. Soc. of Edinburgh, Vol. XVIII, 1890—91, S. 88.

Nachträglich ließ sich feststellen, daß der Einfluß des Windes auf den Barometerstand auch schon früher erkannt worden und wiederholt Gegenstand von Untersuchungen gewesen ist, auf die, ebenso wie auf die Buchansche Arbeit, später zurückzukommen sein wird.

Schneekoppe — Zillerthal bedeutet, während A für alle übrigen Glieder der Höhenformel mit Ausnahme des auf den Luftdruck bezüglichen gesetzt ist. Das Glied A bleibt natürlich unverändert, ob man nun den Luftdruck von oben nach unten oder von unten nach oben reduziert. Aus beiden Gleichungen folgt  $\log B' - \log b = \log B - \log b'$  oder  $\log \frac{B'}{b} = \log \frac{B}{b'}$ . Daher ist auch  $\frac{B'}{b} = \frac{B}{b'}$  und  $\frac{B - B'}{b - b'} = \frac{B'}{b} = \frac{B}{b'}$ . Die Luftdruckdifferenz in der Höhe von Zillerthal verhält sich mithin zu der im Niveau der Schneekoppe wie der reduzierte Luftdruck der Schneekoppe zu dem beobachteten oder wie der beobachtete Luftdruck von Zillerthal zu dem reduzierten. Da der reduzierte Luftdruck der Schneekoppe dem beobachteten von Zillerthal und der reduzierte Luftdruck von Zillerthal dem beobachteten der Schneekoppe nahe kommt, so verhalten sich die Differenzen also annähernd wie die unten und oben beobachteten Luftdruckwerte. In roher Annäherung ist das Verhältnis zwischen dem Luftdruck auf der Schneekoppe und dem in Zillerthal gleich 6 : 7. Die wirklichen Abweichungen der Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe betragen daher nur  $\frac{6}{7}$  von denen, die man nach Reduktion der Beobachtungen auf der Schneekoppe auf die Höhe von Zillerthal erhält. Wenn trotzdem die Reduktion in der zuletzt genannten Weise ausgeführt wurde, so geschah dies mit Rücksicht darauf, daß zur Erleichterung der Rechnung eine besondere Reduktionstafel angefertigt wurde, über die nachher noch weiteres gesagt werden soll. Um diese noch für andere Zwecke brauchbar zu machen, mußte sie so angelegt werden, daß mit ihrer Hilfe die Reduktion auf das Niveau von Zillerthal stattfinden konnte. Außerdem war mit dem angewandten Verfahren noch der Vorteil verbunden, daß gewisse Gesetzmäßigkeiten in den Beziehungen zwischen Windstärke und Luftdruckdifferenzen um so deutlicher hervortraten.

Da es sich hier darum handelte, eine sehr große Zahl von Luftdruckbeobachtungen der Schneekoppe auf das Niveau von Zillerthal zu reduzieren, mußte daran gedacht werden, ein möglichst einfaches Rechnungsverfahren zu verwenden. Die bekannten „Barometrischen Höhentafeln“ von Jordan<sup>1)</sup>, die sonst sehr gut für derartige Reduktionen geeignet sind, konnten nicht benutzt werden, da sie nur für Temperaturen bis zu 5° herab berechnet sind, während die zu reduzierenden Luftdruckablesungen sich über das ganze Jahr erstreckten. Außerdem reichen sie auch nur für Luftdruckwerte bis zu 630 mm herab aus, während der mittlere Luftdruck auf der Schneekoppe ungefähr 625 mm beträgt. Eher konnten noch die „Graphischen Barometertafeln“ von Vogler<sup>2)</sup> in Frage kommen, in denen auch eine Tafel für Luftdruckwerte unter 630 mm enthalten ist. Da in dieser aber die Intervalle für den Luftdruck ein ganzes Millimeter und die für die Höhenlinien 10 m betragen, so wird die Rechnung durch die vorzunehmenden Schätzungen etwas unsicher. Überdies ist ein längeres Arbeiten mit diesen Tafeln recht anstrengend für die Augen. Da die sonstigen Reduktionsverfahren zu umständlich oder zu ungenau für den vorliegenden Zweck waren, blieb mir nichts anderes übrig, als eine besondere Reduktionstafel zu berechnen. Dieser Ausweg machte es außerdem möglich, die Feuchtigkeit, die in den oben genannten Tafeln nur mit einem mittleren Betrage in Rechnung gezogen ist, etwas genauer zu berücksichtigen. Da die Seehöhen der Barometer auf der Schnee-

<sup>1)</sup> 2. Auflage. Stuttgart 1886. 8°.

<sup>2)</sup> Braunschweig 1880. Fol.

koppe und in Zillerthal 1610,5 und 396,8 m betragen, zwischen beiden also eine Höhendifferenz von 1213,7 m besteht, ist der Einfluß größerer Abweichungen von dem vorausgesetzten mittleren Feuchtigkeitsbetrage nicht mehr ganz unbedeutend. Ein Fehler von 1 mm im mittleren Dampfdruck ändert den reduzierten Luftdruck ungefähr um 0,06 mm. Die Berücksichtigung der beobachteten Feuchtigkeit brachte auch noch den Vorteil mit sich, daß bei Untersuchungen über die Größe der Fehler, die bei der Reduktion von Einzelwerten des Luftdrucks entstehen konnten, als wesentliche Fehlerquelle nur noch die Temperatur in Frage kam.

Die Reduktionstafel wurde berechnet für eine geographische Breite von  $50^{\circ}/4^0$ , entsprechend der Lage von Schneekoppe und Zillerthal, sowie für einen mittleren Dampfdruck der Luftsäule zwischen den beiden Stationen von 6 mm. Als Eingänge diente der Luftdruck auf der Schneekoppe von Millimeter zu Millimeter und die Summen der oben und unten beobachteten Temperaturen von Grad zu Grad. Der Eingang für Luftdruck in ganzen Millimetern machte natürlich eine Interpolation wegen der beobachteten Zehntel Millimeter nötig. Um diese möglichst zu vereinfachen, wurden als Tafelwerte nicht die für das Niveau von Zillerthal gültigen reduzierten Luftdruckwerte selbst berechnet, sondern die Beträge, um die der reduzierte Luftdruck größer war als der beobachtete. Während sich nämlich für ein Millimeter Luftdruckdifferenz auf der Schneekoppe die reduzierten Werte durchschnittlich um 1,16 mm unterscheiden, betragen die Differenzen der Unterschiede zwischen beobachtetem und reduziertem Luftdruck nur 0,16 mm. Allerdings wurde dieses Verfahren nur dadurch vorteilhaft, daß die Unterschiede zwischen beobachteten und reduzierten Werten nahe um 100 mm herum schwankten und die Addition zum beobachteten Luftdruck dadurch sich sehr vereinfachte.

Behufs Berücksichtigung des oben und unten beobachteten Dampfdrucks mußte eine kleine Tabelle berechnet werden, welche die an die Tafelwerte anzubringenden Korrekturen für andere Feuchtigkeitsbeträge, als die Tafel sie voraussetzte, enthielt. Allerdings galt diese Tabelle genau genommen nur für eine Mitteltemperatur der Luftsäule von  $3,5^{\circ}$  und einen mittleren Luftdruck von 675 mm; die Änderungen für andere Temperaturen und andere Luftdruckwerte sind aber so gering, daß sie nicht in Betracht kommen.

Für die Temperatur diente, wie schon oben erwähnt, als Eingang die Summe der oben und unten beobachteten Temperaturen. Nimmt man wie üblich an, daß die mittlere Temperatur der Luftsäule zwischen oberer und unterer Station gleich dem Mittel aus den oben und unten beobachteten Temperaturen ist, so gab der Eingang also die Mitteltemperatur für Intervalle von  $1/2$  zu  $1/2$  Grad. Dies könnte an sich als genügende Genauigkeit angesehen werden, da ja die wirkliche Mitteltemperatur der Luftschicht sich doch nicht ganz sicher bestimmen läßt. Da aber einer Änderung der Mitteltemperatur um  $1/2^{\circ}$  im vorliegenden Falle immer noch eine Änderung des reduzierten Luftdrucks um rund 0,2 mm entspricht, so wurde doch wenigstens in den Fällen, wo die Dezimalen der Temperatursummen zwischen 0,4 und 0,6 lagen, der nächstgelegene Tafelwert um 0,1 mm erniedrigt oder erhöht.

Das ganze Reduktionsverfahren war in Wirklichkeit weit einfacher, als man vielleicht aus der vorstehenden Schilderung schließen möchte, da es sich bei den an die Tafelwerte noch anzubringenden Korrekturen nur um kleine, sehr rasch zu überblickende Beträge handelte. Tatsächlich nahm die Reduktion kaum so viel Zeit in Anspruch, als bei Benutzung der Jordan-

sehen Tafeln erforderlich gewesen wäre, hatte aber dabei noch den Vorteil größerer Genauigkeit. Ein nennenswerter Fehler in den reduzierten Luftdruckwerten konnte nur dadurch entstehen, daß die in die Rechnung eingeführte Mitteltemperatur der Luftsäule von der wirklichen in erheblicherem Betrage abwich. Allerdings hätte man durch Benutzung der Temperaturbeobachtungen an den zwischen Zillerthal und Schneekoppe gelegenen Stationen Krummhübel (605 m) und Wang (872 m) den vertikalen Temperaturverlauf vielfach bis zu einem gewissen Grade kontrollieren können, darauf mußte jedoch, abgesehen von einzelnen besonderen Fällen, verzichtet werden, da dieses Verfahren zu zeitraubend gewesen wäre. Außerdem ließ sich erwarten, daß in den meisten Fällen, wo stärkere Winde wehten, allzu abnorme Temperaturschichtungen nicht vorhanden waren. Im übrigen durfte man auch damit rechnen, daß, da die Beobachtungen sich über das ganze Jahr erstreckten, nach Zusammenfassung der Einzelergebnisse etwa darin enthaltene Fehler sich annähernd aufheben würden.

Mit Hilfe dieser Tafel wurden die gesamten dreimal täglich während der Jahre 1907 und 1909 auf der Schneekoppe angestellten Luftdruckbeobachtungen auf die Höhe von Zillerthal reduziert. Nach Bildung der Differenzen zwischen den gleichzeitig an der Basisstation abgelesenen und den reduzierten Luftdruckwerten wurde neben jeder Differenz die zu demselben Termin auf der Schneekoppe beobachtete Richtung des Windes und seine Stärke nach der Beaufortskala vermerkt, außerdem auch noch, aus einem später zu erörternden Grunde, die entsprechende Windbeobachtung von Zillerthal. Da naturgemäß die Zahl der Beobachtungen für jeden einzelnen Stärkegrad in den höchsten Stufen stark abnahm und auch die Zahl der Windstillen auf der Schneekoppe sehr gering war, schien es zur Erzielung eines von Zufälligkeiten weniger abhängigen Ergebnisses ratsam, noch diejenigen Luftdruckbeobachtungen der Schneekoppe aus zwei weiteren Jahren, nämlich 1908 und 1910, zu reduzieren, bei denen gleichzeitig eine Windstärke von mindestens 9 der Beaufortskala oder Windstille geherrscht hatte. Es sei übrigens hier gleich erwähnt, daß während der Jahre 1907 bis 1910 auf der Schneekoppe ebenso wie in Zillerthal ein Beobachterwechsel nicht stattgefunden hat, so daß die Windschätzungen an beiden Stationen in sich als homogen anzusehen sind.

Für jede der auf der Schneekoppe beobachteten 16 Windrichtungen wurden sodann, nach Graden der Beaufortskala gesondert, die zugehörigen Luftdruckdifferenzen zusammengestellt und daraus Mittelwerte gebildet. Ebenso geschah dies mit den auf die Windstillen entfallenden Differenzen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die unter den Mittelwerten für die Differenzen stehenden Zahlen geben an, wieviel Einzelwerte zur Bildung der Mittel Verwendung finden konnten.

Man sieht zunächst, daß trotz der Hinzunahme der Luftdruckbeobachtungen bei den größten Windstärken aus zwei weiteren Jahrgängen die Zahl der auf die höchsten Grade der Beaufortskala entfallenden Differenzenwerte immer noch recht klein bleibt. Auf diesen Umstand dürften vorzugsweise manche noch vorhandenen Unebenheiten im Gange der Differenzen zurückzuführen sein. Bei den Winden aus östlichen Richtungen fehlen die stärkeren Grade fast ganz. Im übrigen geht aus der Tabelle folgendes hervor. Bei den Windrichtungen von N über W bis SW zeigt sich, abgesehen von einigen Schwankungen in den höchsten Stufen, ein

sehr erhebliches Anwachsen der Differenzen mit der Windstärke etwa von Grad 3 oder 4 ab. Auch bei der Richtung NNE ist trotz des Fehlens der Beobachtungen von Stärkegraden über 7 die Zunahme der Differenzen unzweifelhaft. Bei Winden aus NE scheint der große Differenzenwert bei Stärke 9, der allerdings nur auf einer Beobachtung beruht, ebenfalls dafür zu sprechen, daß eine Zunahme des Windes auch ein Anwachsen der Differenzen zur Folge haben würde. Allerdings tritt nach der Zunahme der Differenz bei Stärke 5 wiederum eine Abnahme bei Stärke 6 ein; doch ist die Zahl der vorhandenen Beobachtungen zu gering, als daß man zuverlässige Schlüsse daraus ziehen könnte. Bei der Richtung SSW macht sich eine Zunahme der Differenzen von Stufe 5 ab ebenfalls bemerkbar, doch ist das Anwachsen schwächer

Tab. I. Mittlere Unterschiede (mm) zwischen den Luftdruckbeobachtungen von Zillerthal und den auf die Höhe dieser Station (396.8 m) reduzierten gleichzeitigen Ablesungen auf der Schneekoppe (1610.5 m) bei verschiedenen Windrichtungen und Windstärken.

Windrichtung	Windstärke nach der Beaufortskala												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	—	-0.1 24	-0.2 28	-0.1 32	0.0 56	0.2 60	0.9 42	1.2 32	1.7 20	2.6 3	2.2 4	5.2 1	—
NNE	—	0.3 4	0.1 8	0.1 7	0.3 8	0.3 5	0.8 11	1.9 10	—	—	—	—	—
NE	—	-0.3 11	-0.3 5	-0.7 6	-0.4 10	0.5 4	0.1 9	—	—	2.6 1	—	—	—
ENE	—	0.5 1	-0.5 1	-0.2 1	0.1 2	-0.5 3	0.1 3	—	—	—	—	—	—
E	—	-0.6 13	-0.2 12	-0.5 5	-0.5 5	-0.4 7	-0.6 3	—	—	—	—	—	—
ESE	—	-1.2 4	-0.6 4	-0.1 6	-0.8 4	-1.1 6	—	—	—	—	—	—	—
SE	—	-0.4 14	-0.6 14	-0.8 19	-0.9 11	-1.1 10	-1.0 2	-1.0 1	—	—	—	—	—
SSE	—	-1.2 2	0.0 2	-0.6 2	-0.1 6	-1.9 4	-0.3 2	—	—	—	—	—	—
S	—	-0.2 14	-0.6 17	-0.5 29	-1.0 38	-0.2 25	-0.6 28	0.1 10	0.5 13	0.5 10	1.3 2	-2.0 2	1.5 1
SSW	—	-0.3 11	-0.4 24	-0.5 37	-0.6 50	-0.6 48	-0.1 37	0.3 22	0.6 12	0.6 8	0.7 6	—	—
SW	—	-0.1 25	-0.4 41	-0.5 62	-0.2 73	0.1 64	0.2 60	0.6 48	1.1 30	1.7 43	2.4 11	1.6 2	—
WSW	—	-0.1 6	-0.4 11	-0.4 15	-0.7 16	-0.3 16	0.4 21	0.6 14	1.2 9	1.7 9	1.3 3	—	—
W	—	-0.2 16	-0.3 17	-0.4 24	-0.4 39	0.1 36	0.2 35	0.6 24	1.0 19	1.7 21	2.4 21	2.4 1	—
WNW	—	0.7 3	0.2 7	-0.1 5	-0.1 12	0.2 11	0.8 3	0.9 7	1.2 4	1.9 3	2.8 3	—	—
NW	—	-0.1 17	-0.4 13	-0.2 18	-0.1 44	0.1 30	0.8 41	0.9 37	1.8 21	2.1 29	3.0 16	4.1 1	—
NNW	—	-0.6 4	-0.1 7	-0.2 14	-0.2 21	0.5 21	0.7 20	1.1 8	1.5 13	2.4 7	1.8 1	3.8 1	—
C	-0.1 12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gesamtmittel	-0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.7	2.3	1.8	1.5
Zahl der Beobachtungen	12	169	211	282	395	350	317	213	141	134	47	8	1

als bei den Winden aus N bis SW. Auffallend ist der Gang der Differenzen bei Südwinden. Erst von Stärke 6 ab bis Stufe 10 läßt sich eine Zunahme bemerken; dann erhält die Differenz bei Stärke 11 plötzlich den auffallenden negativen Wert von  $-2.0$ , worauf bei Stufe 12 der Wert wieder positiv und etwas größer als bei Stärke 10 wird. Er erreicht jedoch bei weitem nicht den Betrag, den man bei dieser höchsten, allerdings nur einmal beobachteten Windstärke erwarten sollte, wenn man die sonst bei großen Windstärken vorkommenden Differenzen damit vergleicht. Bei den Winden aus ENE bis SSE läßt sich ein Anwachsen der Differenzen nicht feststellen. Jedoch ist dabei zu berücksichtigen, daß stürmische Winde ganz fehlen, so daß man über das Verhalten der Differenzen bei solchen im Zweifel bleibt. Diese Ungewißheit ist um so größer, als auch sonst, worauf schon oben hingedeutet wurde, erst von gewissen Windstärken ab eine Zunahme der Differenzen sich bemerkbar macht. In den untersten Stufen der Beaufortskala ist eine solche nicht vorhanden.

Da die Verteilung der in Tabelle 1 zusammengestellten Werte auf 16 Windrichtungen die Übersicht etwas erschwert, ist eine Reduktion auf die 8 Hauptwindrichtungen in der Weise ausgeführt worden, daß die auf die Zwischenrichtungen NNE, ENE u. s. w. entfallenden Differenzen je zur Hälfte den beiden angrenzenden Hauptrichtungen zugeschrieben wurden. Die so gefundenen Werte sind in Tabelle 1a enthalten. Aus der Art ihrer Entstehung erklären sich die Dezimalen 0,5 bei der Zahl der Beobachtungen.

Tab. 1a. Mittlere Luftdruckunterschiede Zillerthal—Schneekoppe (reduz.) bezogen auf 8 Windrichtungen.

Wind- richtung	Windstärke nach der Beaufortskala												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	—	-0.1 28	-0.2 35.5	-0.1 42.5	0.0 70.5	0.3 73	0.9 57.5	1.3 41	1.6 26.5	2.5 6.5	2.2 4.5	4.7 1.5	—
NE	—	-0.2 13.5	-0.2 9.5	-0.4 10	-0.2 15	0.3 8	0.3 16	1.9 5	—	2.6 1	—	—	—
E	—	-0.6 15.5	-0.3 14.5	-0.3 8.5	-0.5 8	-0.6 11.5	-0.3 4.5	—	—	—	—	—	—
SE	—	-0.6 17	-0.6 17	-0.7 22	-0.7 16	-1.2 15	-0.9 3	-1.0 1	—	—	—	—	—
S	—	-0.3 20.5	-0.5 30	-0.5 48.5	-0.8 66	-0.5 51	-0.4 47.5	0.2 21	0.5 19	0.5 14	0.9 5	-2.0 2	1.5 1
SW	—	-0.2 33.5	-0.4 58.5	-0.4 88	-0.3 106	-0.1 96	0.1 89	0.5 66	1.0 40.5	1.6 51.5	2.0 15.5	1.6 2	—
W	—	-0.1 20.5	-0.2 26	-0.4 34	-0.4 53	0.1 49.5	0.3 47	0.6 34.5	1.0 25.5	1.7 27	2.1 4.5	2.4 1	—
NW	—	-0.1 20.5	-0.2 20	-0.2 27.5	-0.1 60.5	0.2 46	0.8 52.5	0.9 44.5	1.7 29.5	2.1 34	3.0 17.5	4.0 1.5	—
C	-0.1 12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Auch in dieser Tabelle zeigen natürlich wieder die Differenzen bei Winden aus N bis SW am deutlichsten das Anwachsen mit der Windstärke. Am meisten tritt es hervor bei Nord- und Nordwestwinden, wo die mittleren Differenzen 4 mm und darüber erreichen. Bei den Nordwestwinden geht der Anstieg von Stärke 3 ab ununterbrochen vor sich, während bei Nord-

winden Stufe 10 einen kleinen Rückgang aufweist, der aber wohl nur auf Rechnung der geringen Zahl von Beobachtungen zu setzen ist. Etwas weniger groß, aber immer noch recht erheblich, ist die Zunahme der Differenzen bei West- und Südwestwinden. Bei ersteren erleidet der Anstieg von Stärke 4 ab keine Unterbrechung, während bei der Südwestrichtung der Wert für Stufe 11 einen kleinen Rückgang zeigt, der vermutlich auch nur durch die zu geringe Zahl der Beobachtungen verschuldet ist. In den Differenzen bei Südwinden tritt jetzt eine etwas größere Ausgeglichenheit hervor, wenn auch die starke negative Abweichung bei Stärke 11 bleibt. Jedoch geht abgesehen davon das Ansteigen jetzt schon von Stufe 4 ab vor sich. Ein Vergleich der auf die Nordostrichtung fallenden Werte mit den für die Nordrichtung gültigen läßt darauf schließen, daß erstere bei vollständigeren Beobachtungen ein ähnliches Anwachsen zeigen würden wie letztere. Bei Ost- und Südostwinden ist dagegen natürlich wie in Tabelle 1 keine Zunahme der Differenzen festzustellen.

Faßt man schließlich sämtliche zu den gleichen Windstärken gehörigen Differenzen ohne Rücksicht auf die Windrichtung zu Mittelwerten zusammen, so erhält man die am Fuß der Tabelle 1 wiedergegebenen Zahlen. Diese zeigen von Stufe 3 ab ein Anwachsen bis Stufe 10 und dann wieder eine Abnahme bis Windstärke 12. Dieser Rückgang kommt jedoch lediglich auf Rechnung der schon erwähnten Werte für die beiden letzten Stufen der Südrichtung. Läßt man diese weg, so fällt die nur durch eine Beobachtung vertretene Stufe 12 ganz fort, während man für Stärke 11 aus den 6 übrig bleibenden Beobachtungen den Mittelwert 3,1 erhält. Der Anstieg setzt sich dann ununterbrochen von Windstärke 3 bis 11 fort, nämlich von  $-0,4$  bis  $+3,1$  mm. In den drei ersten Stufen, von Windstille bis Stärke 2, tritt eine kleine Abnahme der Differenzen und zwar von  $-0,1$  bis  $-0,4$  ein, über die später noch gesprochen werden soll.

Zunächst dürfte es zweckmäßig sein, einmal zu untersuchen, ob der für die Südrichtung und Stufe 11 sich ergebende auffallende Mittelwert von  $-2,0$  mm überhaupt reell ist. Dem Mittel liegen zwei aufeinander folgende Beobachtungen zu Grunde, die am Abend des 12. Februar 1907 und am Morgen des 13. angestellt sind. In dem einen Falle ist der auf Zillerthal reduzierte Luftdruck der Schneekoppe um 2,1, im anderen um 2,0 mm größer als der gleichzeitig an ersterer Station beobachtete. Ein Vergleich der direkten Ablesungen auf der Schneekoppe mit den Aufzeichnungen des Sprungschens Wagebarographen zeigt, daß ein nennenswerter Unterschied zwischen beiden nicht besteht. Ebenso ergibt sich aus dem Vergleich der auf das Meeresniveau reduzierten gleichzeitigen Luftdruckbeobachtungen von Zillerthal mit denen der benachbarten Stationen, daß auch erstere mit keinem erheblichen Fehler behaftet sein können. Es bliebe daher nur die Möglichkeit, daß in der Luftschicht zwischen Zillerthal und Schneekoppe eine so abnorme Temperaturverteilung bestanden hätte, daß die wahren mittleren Temperaturen von den zur Reduktion benutzten außerordentlich stark abgewichen und dadurch die reduzierten Luftdruckwerte so hoch ausgefallen wären. Um jedoch letztere nur um soviel zu erniedrigen, daß sie mit den gleichzeitigen Zillerthaler Beobachtungen übereinstimmten, müßte man annehmen, daß die in die Rechnung eingeführten Temperaturen, die natürlich aus dem Mittel der oben und unten beobachteten Werte bestanden, um etwa  $10^0$  zu tief gewesen wären. Würde man noch berücksichtigen, daß ja eigentlich bei der großen Windstärke, die

auf der Schneekoppe herrschte, die reduzierten Barometerablesungen noch wesentlich tiefer hätten ausfallen müssen, so wäre man genötigt, einen noch weit größeren Temperaturfehler vorzusetzen. Nun betragen die in Zillerthal und auf der Schneekoppe beobachteten Temperaturen am Abend des 12. Februar  $-4,5$  und  $-12,9^{\circ}$  und am Morgen des 13.  $-4,8$  und  $-14,6^{\circ}$ , die zur Rechnung benutzten Mitteltemperaturen also  $-8,7$  und  $-9,7^{\circ}$ . Wollte man annehmen, daß letztere in der Tat um etwa  $10^{\circ}$  zu tief wären, so würde dies nur dadurch möglich sein, daß sich zwischen Zillerthal und Schneekoppe eine Schicht sehr warmer Luft befunden hätte. Daß eine solche nicht bestehen konnte, geht einerseits schon daraus hervor, daß man, zumal die Temperaturabnahme von Zillerthal nach der Schneekoppe für den Winter ohnehin schon ziemlich groß war, eine Temperaturabnahme von ganz unmöglichem Betrage von der warmen Schicht nach der Schneekoppe voraussetzen müßte, und andererseits daraus, daß an den am Gebirgsabhang gelegenen Stationen Krummhübel (605 m) und Wang (872 m) nahezu ebenso tiefe und tiefere Temperaturen als in Zillerthal herrschten und daß die auf dem Kamme des Gebirges bei der Schneegrubenbaude (1490 m) beobachteten Temperaturen ungefähr ebenso niedrig waren, wie die auf der Schneekoppe. Führt man die Reduktion der Luftdruckablesungen auf die Höhe von Zillerthal staffelweise unter Benutzung der Temperaturbeobachtungen der Zwischenstationen aus, so erhält man zwar ein wenig niedrigere Werte als bei direkter Reduktion, die Differenzen Zillerthal — Schneekoppe (reduz.) bleiben aber immer noch  $-1,5$  und  $-1,6$  mm. Eine Erklärung der auffallenden Abweichung läßt sich also vorläufig nicht geben.

Um ein Urteil darüber zu gewinnen, ob der unregelmäßige Gang der Differenzen bei den allerstärksten Südwinden nicht vielleicht nur auf einer durch die geringe Zahl der Beobachtungen verschuldeten Zufälligkeit beruht, schien es angebracht, die mit sehr starken Südwinden zusammenfallenden Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe aus früheren Jahren ebenfalls noch auf das Niveau der Basisstation zu reduzieren. Als solche wurde vor 1907, wie anfangs schon erwähnt, die Station Eichberg (349 m) benutzt. Obwohl die in Betracht kommenden Beobachtungen aus den 6 Jahrgängen von 1901 bis 1906 herausgesucht wurden, war ihre Zahl doch noch so gering, daß nur 7 Fälle von S 10 und nur 1 Fall von S 11 gefunden wurden, während Stärke 12 überhaupt nicht vorkam. Letzteres ist an sich wohl erklärlich, da derartige Orkane zu den größten Seltenheiten gehören. Man könnte daher überhaupt im Zweifel sein, ob es sich in dem einen in unserer Tabelle 1 enthaltenen Fall eines Südwindes von Stärke 12 tatsächlich um einen solchen Sturm extremsten Grades gehandelt hat. Da jedoch der Beobachter gleichzeitig mit dem Anemometer eine Windgeschwindigkeit von 45,7 mps gemessen hat, so wird man die Richtigkeit der Windstärkeschätzung nicht gut anzweifeln dürfen.

Die Fälle mit starken Südwinden aus noch weiter zurückliegenden Beobachtungsjahrgängen der Schneekoppe zu entnehmen, schien nicht ratsam, da infolge Beobachterwechsels keine Gewähr dafür vorhanden ist, daß die Windstärkeschätzungen der früheren Zeit mit den späteren völlig vergleichbar sind.

Aus den Beobachtungen der genannten 6 Jahre ergeben sich für die Luftdruckdifferenzen Eichberg — Schneekoppe (reduz.) bei sehr starken Südwinden folgende Werte: S 10 (7 Beob.) 1,7 und S 11 (1 Beob.) 1,3 mm. Das Mittel für S 10 ist etwas größer als das entsprechende in

Tabelle 1 enthaltene, das 1,3 beträgt. Der Wert für S 11 ist zwar etwas kleiner als der vorhergehende, aber doch im Gegensatz zu dem früheren im Betrage von - 2,0 mm entschieden positiv. Im Ganzen genommen sprechen die gewonnenen Ergebnisse dafür, daß auch bei starken Südwinden der Barometerstand auf der Schneekoppe erniedrigt wird, obwohl der Einfluß der Windstärke sich nicht in so hohem Maße geltend zu machen scheint wie bei Nord- und auch bei Westwinden.

Da die in Tabelle 1 enthaltenen Werte nicht ausreichten, um festzustellen, ob auch bei stürmischen Winden aus östlichen Richtungen die Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe zu tief ausfallen, wurden wie bei den Südwinden aus den Jahren 1901 bis 1906 noch alle Beobachtungen herausgesucht, bei denen gleichzeitig Winde aus östlichen Richtungen wehten, deren Stärke mindestens der Stufe 7 der Beaufortskala entsprach. Obwohl für starke Winde aus NNE und NE, besonders für erstere, ein Einfluß auf das Barometer sich bereits als ziemlich wahrscheinlich herausstellte, wurden doch wegen der unvollständigen Beobachtungen gerade bei wirklich stürmischen Winden auch noch diese Richtungen in die Untersuchung mit einbezogen. Leider können die Ergebnisse, die in Tabelle 2 enthalten sind, zum größeren Teil noch nicht als genügend sicher angesehen werden, da die Zahl der Beobachtungen, die zur Verfügung standen, immer noch zu klein war.

Tab. 2. Mittlere Luftdruckunterschiede Eichberg — Schneekoppe (reduz.) in mm.

Windrichtung . . . . .	NNE				NE			ENE		
	7	8	9	10	7	8	9	7	8	9
Windstärke (Beaufortskala) . . . . .										
Mittlere Differenz . . . . .	1.7	2.8	—	4.0	1.5	2.3	1.0	1.3	1.8	1.2
Zahl der Beobachtungen . . . . .	5	4	—	1	9	4	3	2	2	1

Windrichtung . . . . .	E			ESE		SE			SSE
	7	8	9	7	8	7	8	9	7
Windstärke (Beaufortskala) . . . . .									
Mittlere Differenz . . . . .	1.1	0.8	1.3	1.1	0.9	-0.5	0.1	0.1	-1.1
Zahl der Beobachtungen . . . . .	4	4	2	1	1	4	2	3	5

Aus der Tabelle geht hervor, daß offenbar bei NNE-Winden die Differenzen mit zunehmender Windstärke erheblich wachsen. Bei den Richtungen NE und ENE ist ein regelmäßiges Ansteigen mit der Windstärke nicht zu bemerken, wenn auch die Werte durchschnittlich noch ziemlich groß sind. Bei Ost- und Ostsüdostwinden fehlt ebenfalls eine bestimmte Zunahme der Differenzen, auch sind diese im Mittel kleiner. Bei den Richtungen SE und SSE kann von einer Erniedrigung des Barometerstandes an sich keine Rede mehr sein, doch steigt immerhin bei SE-Wind die bei Stärke 7 noch negative Differenz in den Stufen 8 und 9 bis auf 0,1 mm.

Auch hier wurden wie in Tabelle 1 der besseren Übersicht halber die Differenzen auf die Hauptrichtungen NE, E und SE reduziert. Für diese ergaben sich dann folgende Werte:

Tabelle 2a.

Windrichtung . . . . .	NE				E			SE		
	7	8	9	10	7	8	9	7	8	9
Windstärke (Beaufortskala) . . . . .										
Mittlere Differenz . . . . .	1.5	2.3	1.0	4.0	1.2	1.0	1.3	-0.8	0.0	0.1
Zahl der Beobachtungen . . . . .	12.5	7	3.5	0.5	5.5	5.5	2.5	7	2.5	3

Im Allgemeinen zeigen diese Zahlen doch ein Ansteigen von der niedrigsten zur höchsten Stufe, wenn es bei E-Wind auch nur ganz unbedeutend ist. Bei einer näheren Prüfung der zu Grunde liegenden Einzelbeobachtungen lassen sich überdies gewisse Schlüsse auf eine Ursache der vorhandenen Unregelmäßigkeiten ziehen. Die Winde aus östlichen Richtungen fielen nämlich zu einem großen Teile in Perioden strenger Kälte mit nicht normaler Temperaturschichtung in der Atmosphäre. In vielen Fällen war Temperaturumkehr vorhanden, was sich trotz der starken auf der Schneekoppe wehenden Winde daraus erklärt, daß an der Basisstation gleichzeitig Windstille oder nur ganz schwacher Wind herrschte. Infolge solcher abnormen Temperaturverhältnisse in der Luftschicht zwischen Eichberg und Schneekoppe entspricht das Mittel zwischen den oben und unten gemessenen Temperaturen nicht mehr der wahren Mitteltemperatur der Luftsäule und zwar fällt es wahrscheinlich zu tief aus. Wir können nämlich annehmen, daß die direkt über der Basisstation lagernde durch Ausstrahlung sehr abgekühlte Luftschicht keine große Mächtigkeit besitzt, so daß nach oben die Temperatur rasch zunimmt. Die Beobachtungen an den zwischen Eichberg und Schneekoppe gelegenen Stationen werden in solchen Fällen kein richtiges Bild von den Temperaturverhältnissen in der freien Atmosphäre geben, da auch an diesen Orten die unmittelbar über dem Erdboden lagernde Luft sich noch durch Ausstrahlung abkühlen dürfte. Tatsächlich können also unter solchen Umständen die aus den oben und unten beobachteten Temperaturen gebildeten Mittel erheblich unter der wahren Mitteltemperatur der Luftsäule zwischen Basisstation und Schneekoppe liegen und die mit ihnen reduzierten Luftdruckwerte müssen dann entsprechend zu hoch ausfallen. Da bei den hier in Frage kommenden Temperaturen ein Fehler von  $1^{\circ}$  in der Mitteltemperatur einen Fehler im reduzierten Luftdruck von etwa 0,45 mm zur Folge hat, ersterer aber hier leicht mehrere Grade betragen kann, so ist es möglich, daß die reduzierten Barometerbeobachtungen um 1 mm und mehr, ja sogar über 2 mm zu hoch werden<sup>1)</sup>. Hier bestand in einem Falle bei NE 9 starke Temperaturumkehr, die es unstreitig verschuldete, daß der Luftdruckunterschied Eichberg — Schneekoppe (reduz.) den negativen Wert von  $-0,4$  mm erhielt. Da überhaupt nur 3 Beobachtungen mit NE 9 vorhanden sind, muß natürlich dieser negative Wert die mittlere Differenz stark herabdrücken. Bei den Südostwinden herrschte in den meisten Fällen Temperaturumkehr. Auf diesen Umstand können daher mindestens zum Teil die niedrigen Werte der Luftdruckdifferenzen zurückgeführt werden. Überhaupt dürften wir berechtigt sein, auch die stark negativen Differenzwerte bei Ost- und Südostwinden in Tabelle 1 teilweise wenigstens auf Rechnung von unrichtigen Annahmen über die mittlere Lufttemperatur zu setzen.

Als Ergebnis der Untersuchung läßt sich feststellen, daß auch bei starken Winden aus östlichen Richtungen wahrscheinlich eine Erniedrigung des Barometerstandes auf der Schneekoppe erfolgt. Am sichersten ist dies bei den Nordostwinden, was um so deutlicher hervortritt, wenn man die betreffenden Werte in den Tabellen 1 a und 2 a gleichzeitig betrachtet. Der Einfluß dürfte sogar annähernd ebenso groß sein wie bei Nord- und Nordwestwinden. Mit Drehung

<sup>1)</sup> Bei Temperaturumkehr, Windstille im Tale und schwacher bis mäßiger Luftbewegung auf der Schneekoppe kam es mehrfach vor, daß die auf Zillerthal reduzierten Luftdruckwerte der Schneekoppe gegenüber dem in Zillerthal beobachteten Luftdruck bis zu 3 mm zu hoch ausfielen. Ein anderer Grund dafür als ein starker Temperaturfehler bei der Reduktion war nicht ausfindig zu machen. In einigen Fällen ließen die Beobachtungen an den Stationen Wang und Krummhübel erkennen, daß sich zwischen Zillerthal und Schneekoppe eine stark erwärmte Luftschicht befand.

des Windes nach SE verringert sich scheinbar sein Einfluß; wenigstens muß es dahingestellt bleiben, ob die kleinen Werte der Differenzen bei Südostwind allein auf Reduktionsfehler zurückzuführen sind. Bei weiterer Drehung des Windes über S bis NW vergrößert sich dann wieder seine Einwirkung auf den Barometerstand.

Auf Seite 11 wurde erwähnt, daß im Mittel aller Beobachtungen sich das Anwachsen der Differenzen erst von Windstärke 3 aufwärts bemerkbar macht, während unterhalb dieser Stufe keine weitere Abnahme, sondern sogar wieder eine kleine Zunahme stattfindet. Für letztere Eigentümlichkeit gibt es keine andere Erklärung, als daß sie auf Reduktionsfehler zurückzuführen ist, die wieder auf unrichtigen Annahmen über die mittlere Temperatur der Luftsäule beruhen. Unregelmäßigkeiten in der Abnahme der Temperatur nach der Höhe sind ja gerade bei geringen Windstärken gewöhnlich, so daß das Mittel aus der oben und unten beobachteten Temperatur nicht mehr der wahren Mitteltemperatur entspricht. Ob die negativen Beträge der Gesamtmittel der Differenzen bei geringen Windstärken (am Schluß von Tab. 1) allein auf diese Ursache zurückzuführen sind, ist allerdings fraglich, da aus hier nicht zu erörternden Gründen eine gewisse Unsicherheit darüber besteht, ob die an dem Barometer in Zillerthal angebrachten Korrekturen besonders in den letzten Jahren ganz richtig sind. Tatsächlich war zum mindesten vom Jahre 1909 ab, vielleicht auch schon früher, das Jahresmittel des Luftdrucks in Zillerthal etwas zu tief. Auf diesem Umstande dürfte es auch beruhen, daß der auf Zillerthal reduzierte Luftdruck der Schneekoppe im Mittel der Jahre 1906 bis 1910 nur um 0,1 mm tiefer ist, als der entsprechende mittlere Luftdruck von Zillerthal, während, wie anfangs angegeben wurde, der Unterschied gegenüber Eichberg 0,4 bis 0,5 mm betrug.

Nachdem die Untersuchung ergeben hat, daß bei stürmischen Winden auf der Schneekoppe durchschnittlich eine bedeutende Erniedrigung des Barometerstandes im Vergleich zu dem an der Basisstation beobachteten Luftdruck eintritt, dürfte es von Interesse sein, der Frage näher zu treten, welche Maximalwerte diese Depression des Barometers im Einzelfall erreichen kann. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß bei Nordwind von Stärke 11 einmal der Unterschied zwischen dem Luftdruck in Zillerthal und dem reduzierten Luftdruck der Schneekoppe 5,2 mm betrug. Dieses ist die größte Differenz, die in den hier betrachteten Beobachtungsjahren 1907 bis 1910 auftrat. In einem anderen Falle erreichte der Unterschied 5,0 mm. In einem schon größeren Abstände folgt dann der Wert 4,1 mm, der dreimal vorkam; die nächstkleineren Differenzen liegen unter 4 mm.

Es soll nun untersucht werden, ob besonders die größten Differenzen 5,2 und 5,0 mm vollkommen reell sind oder welche Fehler ihnen möglicherweise anhaften. Der erste Wert beruht auf den Beobachtungen vom 14. Juli 1907 7 Vorm. Die auf der Schneekoppe und in Zillerthal abgelesenen Barometerstände sind, wie eine Vergleichung mit den Barographenaufzeichnungen an ersterer Station und mit den gleichzeitigen Beobachtungen der Zillerthal benachbarten Stationen ergab, ohne wesentlichen Fehler. Es wäre zunächst wieder möglich, daß der zur Reduktion benutzte Mittelwert der Temperatur der wahren Mitteltemperatur zwischen Schneekoppe und Zillerthal nicht entsprochen hätte. Da die Temperatur in Zillerthal 11,7°, auf der Schneekoppe 5,89° betrug, bestand eine mittlere Temperaturabnahme von fast 0,5° für 100 mm Höhe. An den Zwischenstationen Krummhübel und Wang und der allerdings etwas

seitwärts auf dem Kamm des Gebirges gelegenen Station Schneegrubenbaude herrschten Temperaturen von 10,8, 9,1 und 6,3°. Daraus ergeben sich zwischen den einzelnen Punkten folgende Temperaturabnahmen für 100 m: Zillerthal — Krummhübel 0,45°, Krummhübel — Wang 0,64°, Wang — Schneegrubenbaude 0,45° und Schneegrubenbaude — Schneekoppe 0,42°. Irgendwelche abnormen Änderungen zeigen also diese Werte nicht, lediglich der Betrag für die Strecke Krummhübel — Wang ist etwas größer. Die gleichzeitig herrschenden Witterungsverhältnisse — es regnete stark bei völlig bedecktem Himmel —, lassen auch vermuten, daß die beobachteten Temperaturen denen der freien Atmosphäre nahe entsprochen haben. Reduziert man den Luftdruck der Schneekoppe nicht direkt auf Zillerthal, sondern staffelweise von Station zu Station, so erhält man infolgedessen auch denselben Wert, wie früher. Da ein anderer erheblicher Fehler bei der Reduktion nicht entstehen konnte, ist also der reduzierte Luftdruckwert als richtig anzusehen.

Es möge nun schließlich noch untersucht werden, ob vielleicht die Differenz 5,2 mm infolge eines starken barometrischen Gradienten, der zwischen Zillerthal und Schneekoppe im Niveau der ersteren Station bestand, einer Korrektur bedarf. Am Beobachtungstage befand sich ein Minimum über Ostdeutschland. An den Stationen Prag und Breslau, die nahezu in der Richtung des Gradienten lagen und deren Verbindungslinie über das Ostende des Riesengebirges hinwegläuft, betrug der Luftdruck im Meeresniveau 758,0 und 750,6 mm, der Unterschied mithin 7,4 mm. Da Zillerthal nordnordöstlich von der Schneekoppe liegt, der Gradient aber ungefähr nach Nordost gerichtet war, mußte der Luftdruck an ersterer Station auf das Meeresniveau bezogen etwas tiefer sein als an letzterer. Da ferner Prag von Breslau 220 und die Schneekoppe von Zillerthal 12,5 km entfernt ist, könnte die Luftdruckdifferenz Schneekoppe — Zillerthal im Meeresniveau wohl 0,4 mm betragen haben. Nur wenig geringer würde sie im Niveau von Zillerthal gewesen sein. Tatsächlich dürfte also die auf die Höhe von Zillerthal bezogene Erniedrigung des Barometerstandes auf der Schneekoppe noch um mehrere Zehntel Millimeter größer gewesen sein als 5,2 mm. Nehmen wir als eigentlichen Betrag rund 5,5 mm an, so würde, da die wirkliche Erniedrigung auf der Schneekoppe selbst nur etwa  $\frac{6}{7}$  davon ausmacht, letztere sich auf 4,7 mm belaufen haben. Berücksichtigen wir, daß hier ja nur eine beschränkte Zahl von Beobachtungen bearbeitet wurde, so dürfen wir wohl annehmen, daß die Erniedrigung des Barometerstandes auf der Schneekoppe unter dem Einfluß des Windes bis zu 5 mm betragen kann.

Die nächstkleinere Differenz von 5,0 mm ergibt sich aus den Beobachtungen vom 13. Januar 1907 2<sup>p</sup>. Auf der Schneekoppe herrschte Nordwestwind Stärke 9, bedeckter Himmel und Schneefall, in Zillerthal SW 4 und Bewölkung 7. Auch hier läßt sich ein merklicher Fehler in den Luftdruckablesungen der beiden Stationen nicht feststellen. Die Temperaturabnahme für 100 m betrug zwischen den Stationen: Zillerthal — Krummhübel 0,8°, Krummhübel — Wang 1,0°, Wang — Schneegrubenbaude 0,6° und Schneegrubenbaude — Schneekoppe 0,8°, im Mittel zwischen den Stationen Zillerthal und Schneekoppe 0,76°. Abgesehen von den für den Winter ziemlich großen Änderungsbeträgen lassen sich weder aus diesen Werten noch aus den herrschenden Witterungszuständen Schlüsse auf abnorme Verhältnisse in der vertikalen Temperaturverteilung ziehen. Die Reduktion des Luftdrucks auf der Schneekoppe von Station zu Station

nach unten ergibt denselben Wert wie die direkte Berechnung. Der Gradient war am Beobachtungstage nach NNE gerichtet. Der Luftdruckunterschied Prag — Breslau betrug im Meeresniveau 6 mm. Auch hier können wir also annehmen, daß der Betrag der Erniedrigung des Barometerstandes für das Niveau von Zillerthal tatsächlich noch etwas größer als 5 mm war. Auch in den drei weiteren Fällen, wo die Differenz 4,1 mm betrug, ließen sich nennenswerte Fehler in diesen Werten nicht nachweisen.

Nachdem so für die Schneekoppe unzweifelhaft festgestellt war, daß die Luftdruckablesungen daselbst durch den Wind erniedrigt werden und zwar im allgemeinen in einem mit der Windstärke wachsenden Maße, schien es angebracht, auch noch die Luftdruckbeobachtungen einer anderen geeigneten Höhenstation daraufhin zu untersuchen, ob sie in gleicher Weise dem Einfluß des Windes ausgesetzt sind. Für diesen Zweck konnte im Bereich des preußischen Beobachtungsnetzes nur der Brocken in Frage kommen, dessen Basisstation sich in dem etwa  $16\frac{1}{2}$  km nordöstlich gelegenen Wasserleben befindet. Die Seehöhen der Barometer an den beiden Stationen betragen 1148,1 und 154,6 m.

Zur Erleichterung der Reduktionen des Luftdrucks vom Brocken auf das Niveau von Wasserleben wurde wieder eine besondere Tafel berechnet, die jedoch etwas einfacher angelegt war, als die für die Schneekoppe angefertigte. Es stellte sich nämlich heraus, daß auch so noch genügend genaue Ergebnisse erzielt wurden, zumal die Höhendifferenz zwischen Brocken und Wasserleben 220 m kleiner ist, als die zwischen Schneekoppe und Zillerthal.

Die Tafel wurde berechnet für die geographische Breite des Brockens  $51^{\circ} 48'$  und für einen mittleren Dampfdruck der Luftschicht zwischen den beiden Stationen von 7 mm. Als Eingänge dienten die Summen der oben und unten beobachteten Temperaturen von Grad zu Grad, wie bei der Tafel für die Schneekoppe, und der Luftdruck auf dem Brocken, diesmal jedoch für Intervalle von 5 zu 5 Millimeter. Der Eingang für die Temperatur gab mithin wieder die Mitteltemperatur der Luftsäule zwischen beiden Stationen von  $\frac{1}{2}$  zu  $\frac{1}{2}$  Grad. Da hier einer Änderung der Mitteltemperatur im Betrage von  $1^{\circ}$  durchschnittlich eine Änderung des reduzierten Luftdrucks von 0,33 mm entspricht, so erhielt man durch die Tafel ohne Interpolation die reduzierten Werte im Mittel für Abstände von 0,165 mm. Da die Tafelwerte auf Zehntel Millimeter abgerundet wurden, betrug ihre Abstände in Wirklichkeit bald 0,2, bald 0,1 mm. Eine Interpolation war daher nur im ersteren Falle nötig und auch nur dann, wenn die Dezimalen der Temperatursummen zwischen 0,4 und 0,6<sup>0</sup> lagen. Dagegen war natürlich wegen des von 5 zu 5 mm fortschreitenden Einganges für den Luftdruck auf dem Brocken eine Interpolation durchaus erforderlich. Als Tafelwerte wurden in diesem Falle die reduzierten Luftdruckbeträge selbst verwendet, nicht wie bei der Tafel für die Schneekoppe die Unterschiede zwischen reduziertem und beobachtetem Luftdruck. Da die Abstände dieser reduzierten Werte zwischen 5,6 und 5,7 mm schwankten, wurde für jede dieser beiden Differenzen ein Interpolationstäfelchen berechnet. Endlich war auch noch behufs genauerer Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit eine kleine Tabelle anzufertigen, welche die an die Tafelwerte deshalb anzubringenden Korrekturen enthielt. Bezüglich der Größe dieser Korrekturen sei bemerkt, daß ein Fehler von 1 mm im mittleren Dampfdruck den reduzierten Luftdruck um etwa 0,05 mm ändert.

Da es sich bei der die Schneekoppe betreffenden Untersuchung herausgestellt hatte, daß schon die Beobachtungen eines Jahres genügten, um den Einfluß des Windes auf den Barometerstand mit hinreichender Sicherheit erkennen zu lassen, wurden mit Hilfe der oben beschriebenen Tafel nur die dreimal täglich angestellten Luftdruckablesungen vom Brocken aus dem Jahre 1909 auf die Höhe von Wasserleben reduziert. Da jedoch auch hier wie bei der Schneekoppe die Zahl der bei den größten Windstärken und bei Windstillen ausgeführten Beobachtungen zu gering war, sind zur Ergänzung noch diejenigen Luftdruckablesungen aus dem Jahre 1908 reduziert worden, die bei Windstärken von mindestens 9 der Beaufortskala oder Windstille stattfanden.

Nachdem sodann die Differenzen zwischen den gleichzeitigen Luftdruckbeobachtungen von Wasserleben und den reduzierten Werten gebildet und nach den zugehörigen Windrichtungen und Windstärken geordnet waren, wurden wie früher Mittelwerte berechnet, die in Tabelle 3 zusammengestellt sind.

Ein Vergleich mit Tabelle 1 zeigt zunächst, daß die größten Windstärken von Stufe 9 ab auf der Schneekoppe offenbar erheblich häufiger vorkommen als auf dem Brocken. Berücksichtigt man, daß von den Beobachtungen auf der Schneekoppe vier Jahrgänge, von denen auf dem Brocken aber nur zwei benutzt wurden, so könnte man erwarten, daß die Zahl der auf die Windstärken von Stufe 9 aufwärts entfallenden Werte in Tabelle 3 etwa halb so groß sein würde als in Tabelle 1. Tatsächlich ist aber das Verhältnis 36 : 190. Die Ursache dafür dürfte wohl nicht auf einer verschiedenartigen Schätzung der Windstärke an beiden Stationen beruhen, sondern auf der größeren Seehöhe der Schneekoppe, die noch dazu ganz frei in Form eines spitzen Kegels in die Atmosphäre hineinragt.

Im übrigen zeigen auch die Differenzen in Tabelle 3 ebenso wie die in Tabelle 1 im allgemeinen ein Anwachsen mit der Windstärke. Am wenigsten tritt dies bei der Richtung SSE hervor, wo bis zu Windstärke 7 überhaupt kein Ansteigen bemerkbar ist, während dann allerdings bei Stärke 8 die Differenz, die jedoch nur auf einer Beobachtung beruht, plötzlich einen ziemlich hohen positiven Wert erhält. Da jedoch bei der immerhin meist etwas geringen Zahl von Beobachtungen, die den einzelnen Differenzenmitteln zugrunde liegen, der Gang der Werte durch manche Zufälligkeiten beeinflußt sein dürfte, habe ich auch hier wie in Tabelle 1 eine Reduktion auf nur 8 Windrichtungen vorgenommen. Die in Tabelle 3 a enthaltenen Zahlen zeigen für alle Windrichtungen, wenn man die niedrigsten Stufen außer acht läßt, eine deutliche Zunahme der Differenzen mit der Windstärke. Bisweilen tritt wohl, wie besonders bei Südwind, für einige Stufen ein Stillstand im Anwachsen ein, dagegen ist ein noch dazu ganz belangloser Rückgang lediglich von Stärke 9 zu 10 bei NW-Wind zu bemerken, wobei zu beachten ist, daß der Wert für Stufe 10 sich nur auf eine Beobachtung stützt. So erhebliche Gangunterschiede für die einzelnen Windrichtungen, wie sie Tabelle 1 a für die Schneekoppe aufweist, sind in der Tabelle 3 a nicht enthalten. Vor allen Dingen fehlen sichere Anzeichen dafür, daß der Einfluß des Windes auf den Barometerstand eine bestimmte allmähliche Änderung im Wechsel der aufeinander folgenden Windrichtungen erleidet, wie es bei der Schneekoppe der Fall zu sein schien. Die Verschiedenheiten im Gange der Differenzen für den Brocken tragen im Grunde mehr den Charakter der Zufälligkeit. Legt man den vorhandenen Unter-

schieden Gewicht bei, so scheint sich der Einfluß des Windes durchschnittlich noch am wenigsten bemerkbar zu machen bei den Richtungen SE, S und NW, am meisten aber vielleicht bei NE-Wind.

Tab. 3. Mittlere Unterschiede (mm) zwischen den Luftdruckbeobachtungen von Wasserleben und den auf die Höhe dieser Station (154.6 m) reduzierten gleichzeitigen Ablesungen auf dem Brocken (1148.1 m) bei verschiedenen Windrichtungen und Windstärken.

Wind- richtung	Windstärke nach der Beaufortskala											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	—	0.0 1	0.1 4	0.2 10	0.2 11	0.4 10	0.7 7	0.7 3	1.7 1	—	—	—
NNE	—	-0.7 1	0.4 2	-0.2 4	-0.3 5	0.4 2	0.4 2	1.4 2	—	—	—	—
NE	—	—	0.0 4	0.5 4	0.4 6	0.4 9	0.4 4	—	2.0 2	—	—	—
ENE	—	—	0.6 2	-0.4 5	0.1 3	0.7 4	0.7 1	1.7 3	1.5 4	1.7 1	—	—
E	—	-1.0 2	0.2 5	0.3 5	0.4 9	0.4 12	0.4 6	0.8 7	1.1 3	—	—	—
ESE	—	0.1 5	0.3 6	0.0 12	0.2 11	0.3 11	0.8 7	1.0 3	1.4 2	—	—	—
SE	—	0.1 5	0.7 6	-0.4 12	-0.2 11	0.1 11	0.0 7	0.6 3	1.2 2	—	—	—
SSE	—	-0.6 1	-0.5 2	0.0 6	0.4 3	-0.1 7	-0.1 2	-0.6 4	1.7 1	—	—	—
S	—	-0.2 3	0.0 6	-0.1 14	0.4 8	0.1 6	0.1 3	0.5 2	1.5 1	—	—	—
SSW	—	-0.4 8	0.0 11	0.2 17	0.0 16	0.6 7	0.4 5	0.7 6	1.6 3	—	—	—
SW	—	0.6 3	0.1 7	0.1 17	0.2 32	0.4 45	0.5 37	0.9 67	1.4 35	2.3 8	2.3 3	4.8 1
WSW	—	-0.5 2	-0.7 1	-0.2 7	0.3 13	0.0 11	0.6 11	0.7 10	0.9 11	1.6 7	1.9 1	—
W	—	0.2 5	0.1 10	-0.1 12	0.3 20	0.4 21	0.3 24	0.5 27	0.9 13	1.4 7	—	—
WNW	—	0.4 1	-1.1 1	-0.1 7	-0.2 17	0.1 23	0.3 16	0.4 15	0.6 8	1.1 3	—	—
NW	—	-0.1 3	0.1 10	0.1 8	0.1 14	-0.1 19	0.2 19	0.4 13	0.4 2	1.8 4	1.5 1	—
NNW	—	-0.3 1	0.5 3	0.1 6	-0.1 4	0.4 4	0.5 3	0.4 3	0.4 2	—	—	—
C	0.1 32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gesamtmittel Zahl der Beob.	0.1 32	-0.1 41	0.1 77	0.0 138	0.1 180	0.3 201	0.4 155	0.7 169	1.2 93	1.7 30	2.1 5	4.8 1

Bildet man aus sämtlichen zu denselben Windstärken gehörigen Differenzen die Mittelwerte, so erhält man die am Schlusse der Tabelle 3 angegebenen Zahlen. Diese zeigen von Windstärke 3 ab eine ununterbrochene Zunahme bis zur höchsten Stufe 11. Vergleicht man sie mit den Gesamtmitteln für die Schneekappe in Tabelle 1, so bemerkt man, daß in beiden Reihen die Werte von Stufe 6 bis 10 sehr nahe miteinander übereinstimmen. Da die Verschiedenheit der Werte für Stärke 11 einerseits auf die schon früher besprochene auffallende Abweichung

der Differenzen für die Schneekoppe bei Südwind zurückgeführt werden kann und andererseits auf den Umstand, daß für den Brocken nur eine einzige Beobachtung bei Windstärke 11 vorliegt, so scheint durchschnittlich der Einfluß des Windes auf die Barometerstände an beiden Stationen nur wenig verschieden zu sein.

Tab. 3a. Mittlere Luftdruckunterschiede Wasserleben — Brocken (reduz.) bezogen auf 8 Windrichtungen.

Wind- richtung	Windstärke nach der Beaufortskala											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	—	-0.2 2	0.2 6.5	0.1 15	0.1 15.5	0.4 13	0.6 9.5	0.7 5.5	1.0 2	—	—	—
NE	—	-0.7 0.5	0.2 6	0.0 8.5	0.2 10	0.4 12	0.4 5.5	1.4 2.5	1.7 4	1.7 0.5	—	—
E	—	-0.4 4.5	0.3 7.5	0.0 9.5	0.3 14.5	0.4 19	0.6 10.5	0.9 10.5	1.3 7.5	1.7 0.5	—	—
SE	—	0.0 8	0.5 8.5	-0.3 17	0.0 16.5	0.1 19.5	0.3 12	0.4 7	1.3 5	—	—	—
S	—	-0.3 7.5	0.0 12.5	0.0 25.5	0.2 17.5	0.2 13	0.2 6.5	0.2 7	1.6 3	—	—	—
SW	—	-0.1 8	0.0 13	0.1 29	0.2 46.5	0.3 34	0.5 45	0.8 75	1.3 42	2.1 11.5	2.2 3.5	4.8 1
W	—	0.1 6.5	0.0 11	-0.1 19	0.1 35	0.3 38	0.3 37.5	0.5 39.5	0.8 22.5	1.4 12	1.9 0.5	—
NW	—	-0.1 4	0.1 12	0.1 14.5	0.0 24.5	0.0 32.5	0.3 28.5	0.4 22	0.5 7	1.6 5.5	1.5 1	—
C	0.1 32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Von Stufe 5 abwärts sind allerdings die Differenzen für die Schneekoppe negativ, während sie beim Brocken mit Ausnahme des Wertes für Stufe 1 positiv bleiben. Ob diese Unterschiede auf Temperaturfehlern bei der Reduktion beruhen, die dadurch hervorgerufen sind, daß bei der Schneekoppe Störungen in der normalen vertikalen Temperaturverteilung häufiger sind, als beim Brocken, muß dahingestellt bleiben. Falls noch eine positive Barometerkorrektur an die Barometerstände von Zillerthal anzubringen wäre, wie es auf Seite 15 als möglich hingestellt wurde, könnten die negativen Differenzen z. T. verschwinden, z. T. im absoluten Sinne kleiner werden. Allerdings würden denn auch die positiven Differenzen noch etwas größer sein.

Auf die Erniedrigung der Barometerstände bei stärkeren Winden dürfte es zurückzuführen sein, daß auch beim Brocken die Jahresmittel des Luftdrucks, wenn man sie auf Wasserleben reduziert, zu tief ausfallen. Der Unterschied beträgt im Mittel der Jahre 1903 bis 1909 0,4 mm.

Zum Vergleich mögen nun hier auch die Hauptergebnisse der anfangs auf Seite 5 erwähnten Untersuchung von Buchan über den Einfluß des Windes auf den Barometerstand auf dem Ben Nevis angeführt werden. Im Mittel ergaben sich folgende Differenzen zwischen den auf das Meeresniveau reduzierten Luftdruckablesungen der Basisstation Fort-William und der Station auf dem Ben Nevis:

Windstärke (Beaufortskala):	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11-12
Mittlere Differenz (mm):	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,6	3,2	3,8	4,3

Wie man sieht, findet auch hier ein ununterbrochenes Anwachsen der Differenzen mit der Windstärke statt und zwar sind die Werte noch größer als die für Schneekoppe und Brocken. Wenn auch die Seehöhe des Ben Nevis (1343 m) etwas größer ist als der Höhenunterschied Zillerthal—Schneekoppe (1213 m), die Differenzen für ersteren also etwas stärker verkleinert werden müssen, als die für die Schneekoppe, wenn man die wirkliche Erniedrigung der Barometerstände erhalten will, so bleiben doch die Werte für den Ben Nevis immer noch wesentlich höher.

Buchan hat die Differenzen auch für die einzelnen Windrichtungen berechnet und dabei gefunden, daß ziemlich bedeutende Unterschiede in der Größe der Werte bestehen, wie es auch bei der Schneekoppe der Fall war. In dem Halbkreise von SE über S bis WNW sind sie kleiner als in dem anderen. Für Nord- und Südwinde ergeben sich folgende Beträge für die Erniedrigung des Barometerstandes bezogen auf das Meeresniveau:

Windstärke (Beaufortskala)	Erniedrigung in mm	
	bei Nordwind	bei Südwind
2	0,5	0,0
3	0,7	0,08
4	0,9	0,1
5	1,3	0,3
6	1,7	0,6
7	2,1	1,1

Buchan erklärt die Ursache dieser Unterschiede aus der Lage des Observatoriums auf dem Ben Nevis, worauf später noch weiter eingegangen werden soll.

Nachdem so der Nachweis geführt ist, daß die Erniedrigung des Barometerstandes an Höhenstationen unter dem Einfluß des Windes offenbar nicht als vereinzelt vorkommende Eigentümlichkeit angesehen werden kann, liegt der Schluß nahe, daß es sich dabei um eine allgemeine Erscheinung handelt. Bei den bisher angestellten Untersuchungen wurden aber nur die Beobachtungen von Stationen benutzt, die auf ziemlich hohen Bergen gelegen waren. Man könnte nun die Frage aufwerfen, ob sich der Einfluß des Windes auch an hoch und frei gelegenen Stationen anderer Art bemerkbar macht, nämlich an solchen, die sich auf Türmen befinden. Hierbei wurde vor allem an den Eiffelturm gedacht, bei dem sich Beziehungen zwischen Wind und Barometerstand in erster Linie zeigen müßten, wenn sie bei derartigen Stationen überhaupt vorhanden sind. Die auf dem Eiffelturm angestellten Beobachtungen sind veröffentlicht in den Annales du Bureau central météorologique de France. Als Basisstation mußte die Station im Parc de St. Maur benutzt werden, deren Seehöhe 50,3 m beträgt. Da das Barometer auf dem Eiffelturm sich 312,9 m hoch befindet, besteht zwischen beiden Stationen eine Höhendifferenz von 262,6 m. Um die Untersuchung nicht zu sehr auszudehnen, habe ich mich damit begnügt, nur die bei den größten und den geringsten Windstärken oder bei Windstille auf dem Turm ausgeführten Luftdruckablesungen auf die Höhe der Basisstation zu

reduzieren. Aus den Unterschieden, die sich dabei ergaben, konnte man hinlänglich genau ersehen, ob ein Einfluß des Windes vorhanden war oder nicht. Zur Reduktion wurden die Beobachtungen aus dem Jahre 1903 verwendet, in welchem große Windstärken ziemlich häufig waren. Letztere sind nicht nach der Beaufortskala, sondern in Metern pro Sekunde angegeben. Da die Beobachtungen für Termine von drei zu drei Stunden mitgeteilt sind, war die Zahl der zu benutzenden Werte hinreichend groß. Es wurden alle Luftdruckablesungen reduziert, die bei Windgeschwindigkeiten von mindestens 20 mps oder weniger als 1 mps angestellt sind. Eine Windgeschwindigkeit von 20 mps entspricht einer Windstärke von etwa 9 bis 10 der Beaufortskala, so daß also nur wirkliche Stürme in Betracht gezogen wurden.

Die Reduktionen sind, da es sich hier nur um einen verhältnismäßig geringen Höhenunterschied handelte, mit Hilfe der Jordanschen Höhentafeln und zwar teils mit den für Tiefland<sup>1)</sup>, teils mit den schon anfangs erwähnten für mittlere Höhen ausgeführt worden. Nur in einigen ganz vereinzelt Fällen, in denen diese Tafeln nicht ausreichten, wurden die Vogler'schen graphischen Höhentafeln benutzt.

Da die Zahl der Beobachtungen immerhin nicht ausreichte, um nach Berechnung der mittleren Luftdruckdifferenzen Parc de St. Maur — Eiffelturm (reduz.) etwa vorhandene Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich des Einflusses wachsender Windstärken auch schon für jede einzelne Windrichtung deutlich zu erkennen, mußten immer 4 Richtungen der 16teiligen Windrose zusammengefaßt werden und zwar NNW — W, WSW — S, SSE — E. Aus dem Quadranten ENE — N lagen keine Beobachtungen stürmischer Winde vor. Da ferner die Zahl der vorhandenen Beobachtungen mit zunehmender Windstärke immer geringer wurde, war es nötig, die Stufen für die Windgeschwindigkeiten nicht nach gleichen, sondern nach wachsenden Unterschieden zu bilden. Dieses Verfahren war auch deshalb zweckmäßiger, weil die den Stufen der Beaufortskala entsprechenden Windgeschwindigkeiten ebenfalls nicht proportional den Stärkegraden wachsen, sondern besonders in den höheren Stufen weit rascher zunehmen.

In der nachfolgenden Tabelle 4 werden die Ergebnisse der Untersuchung mitgeteilt. Die bei Windgeschwindigkeiten unter 1 mps angestellten Beobachtungen sind ebenso wie in den

Tab. 4. Mittlere Unterschiede (mm) zwischen den Luftdruckbeobachtungen im Parc de St. Maur und den auf die Höhe dieser Station (50.3 m) reduzierten gleichzeitigen Ablesungen auf dem Eiffelturm (312.9 m) bei verschiedenen Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten.

Windrichtungen	Windgeschwindigkeit in mps				
	0.0-0.9	20.0-21.9	22.0-24.9	25.0-29.9	30.0 u. darüber
NNW-W	—	-0.1 8	0.1 3	—	—
WSW-S	—	0.4 36	0.8 20	0.8 11	0.9 3
SSE-E	—	0.1 5	0.3 3	0.7 2	—
C	-0.1 60	—	—	—	—
Gesamtmittel	-0.1	0.3	0.6	0.8	0.9
Zahl der Beobachtungen	60	49	29	13	3

<sup>1)</sup> Hannover 1896. 8°.

französischen Jahrbüchern nicht mehr nach Windrichtungen unterschieden, sondern unter Windstille zusammengefaßt.

Aus der Tabelle ersieht man, daß offenbar auch die Barometerstände auf dem Eiffelturm durch stürmische Winde erniedrigt werden. Am meisten tritt dies hervor bei Winden aus dem Quadranten WSW—S, während bei Winden aus den Richtungen NNW—W anscheinend der Einfluß nur ganz unbedeutend ist. Im Gesamtmittel wie in den einzelnen Gruppen bemerkt man eine Zunahme der Differenzen mit der Windgeschwindigkeit, unstreitig ist jedoch die durchschnittliche Erniedrigung der Barometerstände wesentlich geringer als bei den drei vorher besprochenen auf Berggipfeln gelegenen Stationen. Beim Eiffelturm betrug die größte Luftdruckdifferenz Parc de St. Maur—Eiffelturm (reduz.) 1.5 mm, welcher Betrag bei einer Windgeschwindigkeit von 35.6 mps auftrat, während, wie wir sahen, die größte Differenz bei der Schneekoppe 5.2 mm und beim Brocken 4.8 mm erreichte. Auch beim Ben Nevis dürften die Maxima bis zu ähnlichen Werten ansteigen.

## II.

Nachdem in den bisherigen Ausführungen lediglich der Zusammenhang zwischen Windstärke und Erniedrigung des Barometerstandes nachgewiesen worden ist, erscheint es nötig, jetzt auch auf die Ursachen dieser auffallenden Erscheinung näher einzugehen.

Es wurde bereits in der Anmerkung auf Seite 5 angedeutet, daß Buchan nicht der erste gewesen ist, der den Einfluß des Windes auf den Barometerstand bemerkt hat. Ich will daher zunächst einen kurzen Überblick über die diesen Gegenstand behandelnden Untersuchungen geben, soweit sie mir bekannt geworden sind. Wir werden dabei Gelegenheit haben, auch die Erklärungsversuche der einzelnen Verfasser kennen zu lernen.

Buchan selbst erwähnt, daß bereits im Jahre 1852 Sir Henry James in einer Sitzung der Royal Society zu Edinburgh eine Abhandlung vorgelegt hat, in welcher der Einfluß des Windes auf den Barometerstand nachgewiesen wurde<sup>1)</sup>. Der Verfasser hatte auf seinem ganz frei auf einer Anhöhe am Firth of Forth gelegenen Landgute während der Monate Januar und Februar 1852 bei anhaltenden Südwestwinden an drei verschiedenen in völlig gleicher Seehöhe befindlichen Punkten Beobachtungen mit einem horizontal hingelegten Aneroidbarometer angestellt, und zwar innerhalb des Wohnhauses, in einem seitwärts davon gelegenen offenen Sommerhause und ganz im Freien in der Nähe des Sommerhauses. Die Beobachtungen im Sommerhause fanden im Windschutz der Rückwand statt. Bei ruhigem Wetter zeigten die an den drei Orten nacheinander vorgenommenen Ablesungen keine Abweichungen voneinander, bei Wind dagegen war der Stand des Barometers an den beiden geschützten Punkten tiefer, als an der dritten freien Stelle und zwar um so mehr, je stärker der Wind wehte. An den beiden ersten Orten entsprach schon jedem heftigeren Windstoß eine Erniedrigung des Luftdrucks, während im Freien eine solche Wirkung nicht bemerkbar war. James faßte die im Wohnhause und im Sommerhause angestellten Beobachtungen zu Mittelwerten zusammen und fand folgende Beträge für die Unterschiede des Luftdrucks zwischen den Ablesungen im Freien und an den

<sup>1)</sup> Transact. Roy. Soc. Edinb. Vol. XX, S. 377.

geschützten Punkten für verschiedene Windgeschwindigkeiten. Diese sind mit einem einfachen Druckanemometer ermittelt und vermutlich nicht sehr genau.

Windgeschwindigkeit in mps	6.3	8.9	11.0	12.6	14.1	15.4	16.7	17.9	19.0	20.0	27.5
Erniedrigung des Luftdrucks in mm	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	2.5

Die Zahl der Beobachtungen, aus denen diese Werte gewonnen sind, ist nicht angegeben; man hat den Eindruck, als ob letztere stark ausgeglichen oder auch zum Teil interpoliert wären. Immerhin lassen sie einen merklichen Einfluß des Windes auf den Barometerstand erkennen.

Die Ursache dieser Erscheinung sieht der Verfasser in einer Saugwirkung des Windes, wobei er sich auf Versuche von Hawkesbee und Leslie beruft, die eine derartige Wirkung beweisen. Weht der Wind auf die geschlossene Wand des Sommerhauses hin, so wird an der Vorderseite der Luftdruck erhöht, während an der Rückseite ein luftverdünnter Raum entsteht. Ähnlich denkt sich der Verfasser den Vorgang beim Wohnhause.

Unabhängig von James hat auch M. Ch. Montigny Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Wind und Barometerstand angestellt.

Seine ersten Arbeiten, die diesen Gegenstand behandeln<sup>1)</sup>, bewegen sich allerdings zunächst noch in einer etwas anderen als der hier in Frage kommenden Richtung. Der Verfasser weist nämlich darin nach, daß der Luftdruck sowohl in den Mittelwerten, als auch in Einzelfällen um so tiefer ist, je größer die gleichzeitigen Windstärken sind, eine Tatsache, die für uns jetzt bei unserer Kenntnis von den Beziehungen zwischen Luftdruckverteilung und Windstärke nichts auffallendes mehr hat. Es handelte sich also bei diesen Untersuchungen gar nicht um relative Erniedrigungen des Barometerstandes, wie wir sie in der vorliegenden Abhandlung im Auge haben. Der Verfasser beschäftigte sich jedoch weiter mit diesem Problem und gelangte dabei schließlich auch zu Ergebnissen, die zu der hier behandelten Frage in naher Beziehung stehen.

Montigny maß nämlich systematisch mit dem Barometer die Höhe der obersten Galerie des Turmes der Kathedrale von Antwerpen bei starken und bei schwachen Winden und fand, daß die Höhen bei ersteren zu groß ausfielen, während sie bei letzteren der wirklichen Höhe ungefähr gleich kamen<sup>2)</sup>. Diese Abweichungen suchte er zuerst durch die Annahme zu erklären, daß der Druck einer bewegten Luftmasse geringer wäre, als der einer ruhenden. Da die Windgeschwindigkeit in der Höhe des Turmes erheblich größer war als unten, müßte sie also den Barometerstand oben in der Weise beeinflussen, daß er dort im Vergleich zu dem am Erdboden beobachteten etwas zu niedrig wäre.

Der Verfasser setzte diese Versuche noch lange Zeit hindurch fort, wobei er die Messungen nicht nur auf der obersten Galerie des Turmes, sondern auch auf den beiden darunter liegenden

<sup>1)</sup> Montigny, Corrélation des hauteurs du baromètre et de la pression du vent. (Mémoires de l'Académie royale de Belgique. Bd. XXIV, 1851 und Bd. XXVI, 1853.)

<sup>2)</sup> Recherches sur la cause de l'influence du vent sur la pression atmosphérique. (Bulletin de l'Académie royale de Belgique. 2me série. Bd. XI, 1861.)

anstellte. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einer Reihe von Abhandlungen niedergelegt, die sämtlich in den Bulletins der Königlich Belgischen Akademie veröffentlicht wurden<sup>1)</sup>.

Im Folgenden sollen nur die Beobachtungen auf der obersten Galerie in Betracht gezogen werden, da bei ihnen die hier in Frage kommenden Erscheinungen am deutlichsten hervortreten. Das Barometer war dort im Freien aufgehängt und zwar zuerst nach Nordosten hin, später aber immer auf der dem Winde abgewandten Seite. Montigny hatte nämlich bemerkt, daß das auf der Luvseite angebrachte Barometer unter dem Einfluß des direkt darauf zu wehenden Windes merklich höher zeigte, als wenn er vor dem Instrument stehend es gegen den Wind mit seinem Körper schützte.

Diese Messungen ergaben in Übereinstimmung mit den früheren, daß bei Winden aus westlichen Richtungen die Höhen um so größer ausfielen, je stärker der Wind wehte. Bei Winden aus dem östlichen Quadranten waren jedoch die Höhen im Mittel etwas zu klein. Allerdings blieb die Stärke der Ostwinde hinter der der Westwinde nicht unwesentlich zurück. Auch ist es fraglich, ob nicht die Messungen bis zu einem gewissen Grade auch durch die Temperatur beeinflußt waren, obgleich allerdings ein Fehler von 1° in der Mitteltemperatur der Luftsäule nur einem Höhenfehler von 0,4 m entspricht. Die Temperatur wurde nämlich an einem etwa in  $\frac{2}{3}$  der Höhe der oberen Galerie angebrachten Thermometer beobachtet, dessen Angaben der Mitteltemperatur der Luftsäule bis zur oberen Galerie gleich gesetzt wurden.

Montigny erklärte die Abweichungen der berechneten Höhen jetzt dadurch, daß die vertikale Änderung des Luftdrucks eine andere wäre, je nachdem die Luft sich im Zustande der Ruhe oder der Bewegung befindet. Die Druckabnahme nach oben erfolge um so rascher, je bewegter die Luft sei. Diese Erscheinung zeigt sich jedoch nach Ansicht des Verfassers auch dann, wenn in der Gegend des Beobachtungsortes der Luftdruck eine Tendenz zur Abnahme hat und in mehr oder weniger großer Entfernung Stürme herrschen. Hat der Luftdruck eine Tendenz der Zunahme, so vermindert sich die Größe der Druckabnahme nach der Höhe. Da besonders bei Ostwinden eine Neigung des Luftdrucks zum Steigen besteht, so müßte er also gerade dann oben im Vergleich zu unten verhältnismäßig hoch sein, woraus sich die kleineren Beträge der gemessenen Höhen bei Ostwind erklären würden. Montigny nimmt offenbar an, daß, wie wir uns jetzt ausdrücken würden, unter den erwähnten Umständen mehr oder weniger große vertikale Gradienten des Luftdrucks auftreten.

Den Einfluß des Windes auf die Luftdruckablesungen an Gipfelstationen scheint zuerst G. K. Gilbert erkannt zu haben<sup>2)</sup>. Dieser führte auf Grund seiner Methode der barometrischen Höhenmessungen Untersuchungen an einer Reihe von stündlichen Beobachtungen aus, die an vier

<sup>1)</sup> Mesures d'altitudes barométriques prises à la tour de la cathédrale d'Anvers par des vents de directions et de vitesses différentes. (Bull. Ac. roy. Belg. Bd. XXIII, 1867.) — Recherches sur la vitesse et l'inclinaison du vent aux divers étages de la tour de la cathédrale d'Anvers. (Bd. XXXIV, 1872.) — Mesures d'altitudes barométriques prises à la tour de la cathédrale d'Anvers, sous l'influence de vents de vitesses et de directions différentes. (Bd. XXXV, 1873.) — Notice sur la différence des pressions que l'air exerce sur le baromètre etc. (Bd. XXXIX, 1875.) — Sur la loi de diminution des pressions des couches de l'air lorsque l'état d'équilibre de l'atmosphère est troublé, particulièrement sous l'influence des bourrasques (Bd. XLI, 1876).

<sup>2)</sup> Gilbert, A new method of measuring heights by means of the barometer. Washington 1882. Gr. 8°. (Extract from the Annual Report of the Director of the U. S. Geological Survey 1880—81.)

vom Fuß bis zum Gipfel des Mount Washington gelegenen Stationen im Jahre 1873 angestellt wurden. Er fand, ähnlich wie Montigny, daß offenbar der Wind einen Einfluß auf die Höhenmessungen ausübte und zwar dadurch, daß die Barometerstände an der Gipfelstation eine der Windstärke entsprechende Erniedrigung erfuhren. Die Erklärung dieser Erscheinung leitete er aus Versuchen ab, die einige Jahre früher G. A. Hagemann der Konstruktion seines Anemometers zugrunde gelegt hatte<sup>1)</sup>. Diese Versuche wurden angestellt mit zwei aufrecht stehenden oben offenen Röhren, von denen die eine am oberen Ende so gebogen war, daß ein Luftstrom direkt in die Öffnung hineinwehen konnte, während über die Öffnung der anderen, völlig geraden, derselbe Luftstrom hinwegstrich. Es ergab sich, daß innerhalb der ersten Röhre eine der Stärke des Luftstromes entsprechende Druckerhöhung, in der anderen eine gleich große Erniedrigung stattfand. Gilbert schloß aus diesen Ergebnissen, daß an Höhenstationen die oben offenen Schornsteine der Gebäude ähnlich wie die zweite der Hagemannschen Röhren wirken müßten. Bei stärkeren Winden würde demnach infolge Heraussaugens der Luft aus den Gebäuden der Luftdruck im Innern erniedrigt werden. Er kam also im Grunde zu einer ähnlichen Erklärung wie früher James, nur daß dieser bei der Barometeraufstellung im Wohnhause anscheinend nicht an eine Wirkung des Schornsteins gedacht hatte.

Im Anschluß an die Gilbertschen Untersuchungen hat auch Hazen den Einfluß der Windstärke auf die barometrisch berechneten Höhen des Mount Washington behandelt<sup>2)</sup>. Dieser sieht den Wind nicht als unmittelbare Ursache der verschiedenen Größe der Höhen an, da er gleichzeitig fand, daß die Höhen bei Luftdruckmaxima zu klein, bei Luftdruckminima zu groß ausfielen. Er meint daher, das Vorhandensein hohen oder tiefen Druckes sei die eigentliche Ursache der Verschiedenheit der Höhen. Die starken Winde seien nur eine Begleiterscheinung der Minima. Eine befriedigende Erklärung für diese Auffassung, die sich der von Montigny zu nähern scheint, gibt der Verfasser nicht.

Ferner ist in einem in der Zeitschrift „Nature“ (Bd. XXXIV, S. 461) veröffentlichten Sitzungsbericht der Schottischen meteorologischen Gesellschaft vom 22. Juli 1886 die Mitteilung enthalten, daß auf dem Ben Nevis die auf das Meeresniveau reduzierten Barometerablesungen gegenüber den an der Basisstation Fort William angestellten bei starken Winden zu tief ausfielen. Cleveland Abbe wurde dadurch veranlaßt, in Band XXXV S. 29 der „Nature“ darauf hinzuweisen, daß auch ihm dieser Einfluß des Windes bekannt wäre. Er erklärt ihn wie James und Gilbert als eine Saugwirkung und gibt im Anschluß an die Hagemannschen Untersuchungen eine Methode an, die Größe der Druck- und Saugwirkung des Windes experimentell zu bestimmen.

In Band VII und VIII der „Science“ vom Jahre 1886 findet sich eine von Helm Clayton angeregte Aussprache über den Einfluß des Windes auf den Barometerstand an hoch gelegenen Stationen. Auch Clayton ist der Meinung, daß es sich hierbei um eine Saug-, gelegentlich auch eine Druckwirkung handelt.

<sup>1)</sup> Hagemann, Om Vindmaalere (Sur les anémomètres). (Dänisches Meteorol. Jahrb. für 1876, S. XXXIII.) — On observations on the velocities of winds and on anemometers. (Quarterly Journal of the Meteorol. Soc. Bd. V, 1879, S. 203.)

<sup>2)</sup> Hazen, On the retardation of the maxima and minima of air-pressure at high stations. (Annual Report of the Chief Signal Officer, U. S. A. 1882, Part I, S. 897.)

Einige Jahre darauf veröffentlichte Buchan die bereits besprochene Abhandlung über den Einfluß starker Winde auf den Barometerstand am Ben Nevis-Observatorium. Dem Verfasser scheinen jedoch außer der zuerst angeführten Untersuchung von Henry James die später erschienenen Abhandlungen und Erörterungen über dieses Thema nicht bekannt gewesen zu sein, da er sie nicht erwähnt.

Buchan erklärt die Erniedrigung des Barometerstandes ebenfalls durch die Annahme, daß der über das Observatorium hinstreichende Wind Luft durch Vermittelung des Schornsteins aus dem Beobachtungsraum herausaugt. Ist ferner ein Fenster oder eine Tür auf der Windseite geöffnet, dann muß im Innern des Gebäudes eine Erhöhung des Luftdrucks eintreten. Dagegen wird auf der Leeseite und in Räumen, die mit ihr etwa durch an dieser Seite offene Türen oder Fenster in Verbindung stehen, wiederum eine Verminderung des Luftdrucks sich bemerkbar machen.

Ungefähr zu der gleichen Zeit wie die Abhandlung von Buchan erschien auch eine Arbeit von Teisserenc de Bort<sup>1)</sup>, die zwar nicht direkt Beziehungen zwischen Wind und Barometerstand behandelt, aber trotzdem ihrem Inhalt nach hierher zu gehören scheint. Der Verfasser fand nämlich bei der Reduktion der Luftdruckablesungen von Höhenstationen auf ein tieferes Niveau, daß dabei Abweichungen von dem dort beobachteten Luftdruck auftraten, die er nicht allein auf Temperaturfehler bei der Reduktion glaubte zurückführen zu dürfen. Die Ursache dieser Unterschiede sah er in vertikalen barometrischen Gradienten, deren Größe und Richtung von der Wetterlage abhing. Diese Gradienten wären nach seiner Ansicht positiv, d. h. nach unten gerichtet bei hohem Druck, negativ oder nach oben gerichtet bei Depressionen. Wir begegnen also hier Anschauungen, die denen von Montigny und Hazen verwandt sind.

Aus der vorstehenden Zusammenstellung der bisherigen Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Windstärke und Barometerstand ergibt sich, daß die Erscheinungen von den Verfassern auf folgende Ursachen zurückgeführt wurden.

Montigny nahm zunächst an, daß der Druck einer bewegten Luftmasse geringer wäre, als der einer ruhenden. Diese Vermutung scheint er jedoch fallen gelassen zu haben zugunsten der Hypothese, daß die Abweichungen des Luftdrucks in der Höhe von dem normalen Betrage auf das Vorhandensein vertikaler Gradienten zurückzuführen seien. Der gleichen Meinung ist Teisserenc de Bort und auch die Anschauung Hazens läßt sich nur auf diese Weise begründen. Alle übrigen Verfasser erklären die Erniedrigung des Barometerstandes aus einer auf die Luft im Beobachtungsraum ausgeübten Saugwirkung des Windes.

Was die anfängliche Ansicht Montignys anbetrifft, daß eine bewegte Luftmasse einen geringeren Druck ausübt als eine ruhende, so ist sie allerdings bis zu einem gewissen Grade begründet. Wie Sprung angibt<sup>2)</sup>, kann der Effekt des Bewegungszustandes als eine Veränderung der Schwerkraftbeschleunigung aufgefaßt werden. Die dadurch verursachten Änderungen des Luftdrucks sind jedoch äußerst gering. Sprung berechnet, daß an der Unterseite eines dem Höhenunterschied Breslau—Schneekoppe entsprechenden 1450 m hohen, mit einer Geschwindigkeit

<sup>1)</sup> Teisserenc de Bort, Sur le gradient barometrique vertical. (Annales du Bureau Central météorologique de France. Année 1890. Pag. B. 209.)

<sup>2)</sup> Sprung, Lehrbuch der Meteorologie. Hamburg 1885. 8<sup>o</sup>. S. 160.

von 30 mps sich fortbewegenden Luftstromes der Luftdruck bei Westwind um 0,042 mm niedriger, bei Ostwind um 0,037 mm höher sein würde als in ruhender Luft. Jedenfalls handelt es sich also dabei um Größen, die gegenüber den hier in Frage kommenden Erniedrigungen des Luftdrucks gar keine Rolle spielen.

Einer näheren Untersuchung bedarf die Vermutung, daß es sich bei den Luftdruckunterschieden, die sich zwischen den Ablesungen der Basisstation und den auf deren Niveau reduzierten Beobachtungen der Höhenstation zeigen, um vertikale barometrische Gradienten handele. Wir haben gesehen, daß diese Differenzen bei der Schneekoppe bis zu 5 mm betragen können. In seinem Lehrbuch S. 161 hat Sprung auch berechnet, mit welcher Geschwindigkeit ein von Breslau bis zur Höhe der Schneekoppe aufsteigendes Luftteilchen dort anlangen würde, falls der normale Luftdruckunterschied Breslau — Schneekoppe sich infolge eines vertikalen Gradienten um 0,1 mm vergrößerte. Er kommt zu dem Ergebnis, daß das Luftteilchen eine Beschleunigung von 0,007 mps erhalten und im Niveau der Schneekoppe mit einer Geschwindigkeit von 4,58 mps ankommen würde. Wir wollen jetzt annehmen, daß der Luftdruckunterschied Zillerthal—Schneekoppe um 1 mm größer wäre als es unter normalen Verhältnissen der Fall sein dürfte, so ergibt sich unter der Voraussetzung, daß gleichzeitig der normale Luftdruck in Zillerthal 725, auf der Schneekoppe 625 mm sei, mit Hilfe der von Sprung aufgestellten Formel, daß ein von Zillerthal aufsteigendes Luftteilchen eine Beschleunigung von 0,091 mps erhalte und mit einer Geschwindigkeit von 14,9 mps in der Höhe der Schneekoppe ankäme.

Nach einer von F. M. Exner aufgestellten ähnlichen Formel<sup>1)</sup>, die anstatt des Luftdrucks im oberen Niveau die Mitteltemperatur der Luftsäule berücksichtigt, erhält man unter Annahme einer Temperatur von 3,5<sup>0</sup> eine Beschleunigung von 0,077 mps, woraus eine Geschwindigkeit von 13,6 mps folgt, mit der ein Luftteilchen in der Höhe der Schneekoppe ankommen würde. Die Ergebnisse weichen also nicht allzusehr von den mit Hilfe der Sprungschen Formel errechneten ab. Nun hält Sprung schon eine Geschwindigkeit des aufsteigenden Luftstromes von 4,58 mps für unwahrscheinlich, Beträge von 14,9 oder 13,6 mps müßten daher erst recht als unmöglich angesehen werden.

Man wird am besten ein Urteil darüber gewinnen, inwieweit ein so rasches Aufsteigen der Luft denkbar ist, wenn man sich an einem bestimmten Beispiel klar macht, welcher Einfluß auf die Niederschlagsbildung dadurch ausgeübt werden müßte.

Vom 14. Juli 1907 7 Vorm. bis zum Morgen des nächsten Tages fielen in Zillerthal 58,5 mm Niederschlag. Die Differenzen zwischen dem dort beobachteten Luftdruck und den gleichzeitigen auf die Höhe von Zillerthal reduzierten Ablesungen auf der Schneekoppe betragen am 14. Juli 7<sup>a</sup> 5,2, um 2<sup>p</sup> 3,8 und um 9<sup>p</sup> 1,3 mm, sowie am 15. 7<sup>a</sup> 1,0 mm. Wir wollen jedoch annehmen, daß während der ganzen 24 Stunden der Luftdruck auf der Schneekoppe nur um 1 mm zu niedrig gewesen wäre. Die Lufttemperatur änderte sich während des Tages in Zillerthal nur wenig und betrug im Mittel 12<sup>0</sup>; die durchschnittliche relative Feuchtigkeit belief sich auf 94 Prozent und der Luftdruck auf etwa 720 mm. Auf Grund dieser Voraussetzungen

<sup>1)</sup> F. M. Exner, Zur Theorie der vertikalen Luftströmungen. Wien 1903. 8<sup>o</sup>. S. 9. (S.-A. aus den Sitzungsberichten der kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-naturw. Kl., Bd. CXII. Abt. IIa, Mai 1903.)

können wir annähernd die Niederschlagsmenge berechnen, die in den erwähnten 24 Stunden hätte fallen müssen, wenn die Luft unter Einwirkung einer durch einen vertikalen Gradienten ihr erteilten Beschleunigung von 0,09 mps aufgestiegen wäre, wie sie sich nach der Formel von Sprung aus einer Erniedrigung des Luftdrucks auf der Schneekoppe um 1 mm ergibt.

Zur Rechnung bedienen wir uns der Neuhoffschen Tafeln<sup>1)</sup>. Die Sättigungsmenge beträgt bei 12° und 720 mm Luftdruck 9,2 g für 1 kg trockne Luft, folglich das Mischungsverhältnis, d. h. die wirklich vorhandene Wasserdampfmenge bei einer relativen Feuchtigkeit von 94 Proz. 8,6 g. Steigt die Luft empor, so tritt in 120 m über Zillerthal Kondensation ein. Da die Sättigungsmenge in der Höhe der Schneekoppe nur noch 6,7 g beträgt, sind also auf dem Wege vom Sättigungspunkt bis dahin, d. h. auf einer Strecke von 1090 m, aus einem kg Luft (Trockengewicht) 1,9 g Wasser herausgefallen. Nun wiegt 1 cbm Luft bei 12° und 720 mm Luftdruck 1,173 kg. Mithin fallen aus dieser Luftmenge 2,23 g Wasser heraus.

Denken wir uns die ganze Luftsäule aufsteigend, während von unten beständig Luft nachströmt, so würden auf dem Wege von 1090 m  $1090 \times 2,23$  g Wasser herausfallen, wenn die Luft sich beim Emporsteigen nicht ausdehnte. Tatsächlich nimmt nämlich eine Luftmenge von ursprünglich 1 cbm in der Höhe der Schneekoppe bei einem Luftdruck von 620 mm und einer Temperatur von 5°, die sowohl den Beobachtungen wie auch dem theoretisch erforderlichen Werte entspricht, einen Raum von 1,133 cbm ein. Da die seitliche Ausdehnung dabei so gering ist, daß sie vernachlässigt werden kann, würde also nur eine Ausdehnung in vertikaler Richtung in Frage kommen. In einer Luftsäule von 1090 m Höhe und 1 qm Querschnitt ist daher die Zahl der Schichten von ursprünglich 1 cbm Inhalt kleiner als 1090. Da diese 1090 m erst vom Sättigungspunkt ab, d. h. von einer Höhe von 120 m über Zillerthal gerechnet sind, hat sich bis dahin 1 cbm Luft unter Voraussetzung einer Temperatur von rund 11° und einem Luftdruck von 710 mm auf 1,010 cbm ausgedehnt. Der Einfachheit halber wollen wir annehmen, daß man die Zahl der Schichten von ursprünglich 1 cbm Inhalt auf der Strecke vom Sättigungspunkt bis zur Höhe der Schneekoppe erhielte, wenn man diese Entfernung von 1090 m durch das Mittel aus den Höhen der obersten und untersten Schicht dividierte, obwohl dieser Wert etwas zu klein ist. Mithin betrüge die Zahl der Schichten  $\frac{1090}{\frac{1}{2}(1,133 + 1,010)} = 1017$ . Aus der ganzen Luftsäule würden also beim Aufsteigen auf 1 qm  $1017 \times 2,23$  g oder 2267 910 cbmm Wasser herausfallen, die einer Niederschlagshöhe von 2,27 mm entsprechen.

Wie wir oben sahen, setzt sich unter den hier angenommenen Voraussetzungen jedes Luftteilchen von Zillerthal aus mit einer Beschleunigung von 0,09 mps in Bewegung. Es braucht daher, um bis zur Höhe der Schneekoppe, d. h. 1210 m hoch zu steigen, nach der Formel  $t = \sqrt{\frac{2s}{b}}$  164 Sekunden und um bis zum Sättigungspunkt, d. h. 120 m hoch zu gelangen, 52 Sekunden. Die Strecke vom Sättigungspunkt bis zur Höhe der Schneekoppe wird also in 112 Sekunden zurückgelegt. In dieser Zeit würden daher 2,27 mm Niederschlag fallen, mithin in einer Stunde 73 mm und in 24 Stunden 1751 mm. Tatsächlich fielen im Laufe des Tages, wie oben bereits erwähnt, nur 58,5 mm. Wir kommen also schon unter der Annahme,

<sup>1)</sup> O. Neuhoff, Adiabatische Zustandsänderungen feuchter Luft und deren rechnerische und graphische Bestimmung. (Abhandlungen des Königl. preuß. Meteorol. Inst. Bd. I. Nr. 6. Berlin 1900. 4°.)

daß infolge eines vertikalen Gradienten der Luftdruck auf der Schneekoppe nur um 1 mm zu niedrig ist, und unter der Voraussetzung, daß die Luft nur bis zur Höhe der Schneekoppe emporsteigt, zu unmöglichen Ergebnissen. Tatsächlich sind aber die hier in Frage kommenden Erniedrigungen des Luftdrucks zum Teil erheblich größer. Mithin dürfen wir diese Abweichungen nicht auf Rechnung vertikaler barometrischer Gradienten setzen.

Es bliebe also noch die Erklärung übrig, daß die Erniedrigung des Luftdrucks durch den Wind eine lediglich auf die Beobachtungsörtlichkeit beschränkte Erscheinung ist und auf einer Saugwirkung des Windes beruht. In der Tat dürfte eine solche Ursache vollkommen geeignet sein, die großen Beträge der Erniedrigung des Barometerstandes, wie wir sie hier kennen gelernt haben, zu erklären. Wir werden also annehmen können, daß, sofern Fenster und Türen des Beobachtungsraumes geschlossen sind, dieser aber mit der äußeren Luft durch einen über das Dach des Gebäudes hinausragenden Schornstein in Verbindung steht, der über die Schornsteinöffnung hinwegstreichende Wind Luft aus dem Raume heraussaugt und dadurch den Luftdruck in ihm erniedrigt. Aber auch, wenn das Beobachtungszimmer auf der Leeseite mit der freien Luft etwa durch ein geöffnetes Fenster in Verbindung steht, während die Luvseite verschlossen ist, wird je nach der Stärke des herrschenden Windes das Barometer im Innern einen zu tiefen Stand zeigen. Würde dagegen der Wind durch eine an der Luvseite befindliche Öffnung direkt in den Raum hineinwehen, so müßte darin eine Erhöhung des Luftdrucks eintreten. F. M. Exner<sup>1)</sup> hat theoretisch untersucht, welcher Druck an der Vorder- und an der Rückseite einer in die Richtung des Windes gestellten Wand herrschen würde. Er berechnet, daß die Druckerhöhung an der Luvseite ebenso groß ist, wie die Erniedrigung an der Leeseite. Bei 760 mm Luftdruck und 0° Lufttemperatur sowie einer Windgeschwindigkeit von 20 mps würde die Druckerhöhung vorn 3,8 mm und ebensoviel die Erniedrigung an der Rückseite betragen. Natürlich konnte es sich hierbei nur darum handeln, ungefähr die Größenordnung der Einwirkung des Windes festzustellen, da die Rechnung unter vereinfachten Voraussetzungen erfolgen mußte. Auf dieser Wirkung des Windes beruht die früher erwähnte Erniedrigung des Barometerstandes im Sommerhause von Henry James sowie auf der Leeseite des Turmes der Kathedrale von Antwerpen. Es war also ein Irrtum von Montigny, wenn er glaubte, den direkten Einfluß des Windes auf das Barometer dadurch ausschalten zu können, daß er es auf der dem Winde abgekehrten Seite des Turmes anbrachte.

Wie wir sahen, wird unter Umständen der Wind auch eine Druckerhöhung hervorrufen und zwar dann, wenn er direkt in den Beobachtungsraum hineinwehen kann. Allerdings dürften solche Fälle selten sein, da man ja an den freigelegenen Höhenstationen im allgemeinen Türen und Fenster bei stärkerem Wind an der Luvseite geschlossen halten wird. Immerhin kann man vielleicht auf ein solches Eindringen der Luft in das Haus bei starkem Wind in einzelnen Fällen das Ausbleiben einer Erniedrigung des Barometerstandes oder gar eine Luftdruckerhöhung zurückführen. Es wäre möglich, daß sich auf diese Weise die oben (S. 11) besprochene Erhöhung des Luftdrucks auf der Schneekoppe bei stürmischem Südwind am Abend des 12. und am Morgen des 13. Februar 1907 erklären ließe. Wenn man auch, zumal bei der damals herr-

<sup>1)</sup> F. M. Exner, Über Druck und Temperatur bewegter Luft. Wien 1905. 8°. (S.-A. aus den Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Mathem.-naturw. Kl.; Bd. CXIV. Abt. IIa. Oktober 1905.)

schenden tiefen Temperatur, nicht daran denken darf, daß ein Fenster auf der Südseite geöffnet war, so könnte doch irgend eine andere Öffnung im Hause vorhanden gewesen sein, durch die der Wind hineinblies.

Einer Erörterung bedarf noch die Frage, inwieweit Unterschiede in der Einwirkung des Windes auf den Barometerstand bestehen je nach der Richtung, aus welcher der Wind weht. Wir sahen, daß die Differenzen zwischen den Luftdruckbeobachtungen in Zillerthal und den reduzierten Ablesungen der Schneekoppe recht bedeutende Unterschiede bei den einzelnen Windrichtungen zeigten und zwar in der Weise, daß sie bei Nord- und Nordwestwinden am größten, bei Südostwinden am kleinsten waren. Beim Brocken machten sich solche Unterschiede weit weniger bemerkbar, wenn auch der Windeinfluß bei Nordostwind etwas stärker hervorzutreten schien. Beim Ben Nevis war jedoch in dem Halbkreise der Windrose von ESE über E und N nach NW die Einwirkung des Windes merklich größer als in dem anderen. Beim Eiffelturm hatten Winde aus dem Quadranten NNW—W den geringsten Einfluß.

Buchan erklärte diese Unterschiede aus der Lage des Observatoriums auf dem Ben Névis. An der Nordseite des Gipfels befindet sich nämlich die „große Klippe“, die einen 550 m tiefen fast senkrechten Absturz bildet. Die gerade auf sie zuwehenden Winde werden dadurch nach oben abgelenkt, was zur Folge hat, daß sich schon außen um das Gebäude herum eine begrenzte Zone niedrigeren Luftdrucks bildet. Es ist sehr wohl möglich, daß dieser Umstand auch sonst bisweilen dazu beiträgt, die Erniedrigung des Barometerstandes hervorzurufen. Es würde jedoch vielleicht auch schon die Ablenkung des Windes nach oben hinreichen, um eine verstärkte Saugwirkung auf die Luft im Innern des Hauses zu erklären. Auf der Versammlung der British Association zu Southampton im Jahre 1882 stellte nämlich Lord Rayleigh in einem Vortrage „über die Wirkung des Windes auf den Zug der Kamine“ fest, daß der stärkste Zug nach oben dann einträte, wenn die Richtung des Windes mit der Vertikalen einen Winkel von ungefähr 30° bildet<sup>1)</sup>. Dieser Umstand ist es vermutlich auch, der die Unterschiede in den Luftdruckdifferenzen bei verschiedenen Windrichtungen auf der Schneekoppe hervorruft, soweit sie nicht etwa, wie oben auf Seite 14 ausgeführt wurde, auf Temperaturfehler bei der Reduktion zurückzuführen sind. Das Observatorium auf der Schneekoppe erhebt sich auf der Westseite des kegelförmigen Gipfels. Die von Osten und Südosten kommenden Winde müssen erst das allerdings nur etwa 40 m breite Plateau des Berges überwehen, ehe sie zum Observatorium gelangen. Wenn sie also auch zunächst beim Auftreffen auf den steil ansteigenden Kegel eine Ablenkung nach oben erfahren, so wird doch diese Aufwärtsbewegung beim Übergang des Windes über das Gipfelplateau in eine mehr horizontale übergehen. Winde aus anderen Richtungen werden dagegen die Bewegung nach oben, wenn sie auf das Gebäude treffen, noch mehr oder weniger beibehalten. Am meisten muß dies bei Nordwestwinden der Fall sein, da unmittelbar vom Fuße des Observatoriums ab nach Nordwesten hin der Berg steil abfällt. Da überhaupt von Norden her das Gebirge aus der Ebene unmittelbar emporsteigt, müssen die von dort kommenden Winde schon aus diesem Grunde besonders stark nach oben abgelenkt werden. Daher dürfte sich bei ihnen die Saugwirkung auf das Innere des Observatoriums in erhöhtem Maße geltend machen, während sie bei Ost- und Südostwinden aus dem oben an-

<sup>1)</sup> Symons's Monthly Meteorological Magazine. Vol. 17, 1882. S. 130.

geführten Grunde am geringsten sein wird. Auch beim Brocken ließe sich ein stärkerer Einfluß des Nordostwindes dadurch erklären, daß nach dieser Richtung hin der Abfall des Berges am größten ist und gleichzeitig nach dorthin das Observatorium ganz frei steht. Worauf die beim Eiffelturm sich zeigenden Unterschiede zurückzuführen sind, kann in Ermangelung einer genaueren Kenntnis der örtlichen Verhältnisse hinsichtlich der Barometeraufstellung nicht angegeben werden.

Unsere bisherigen Untersuchungen haben sich auf den Nachweis beschränkt, daß die Barometerstände an den Höhenstationen durch den Wind beeinflusst werden. Nachdem nun als Ursache dieser Erscheinung eine auf das Innere des Beobachtungsraumes ausgeübte Saugwirkung des Windes festgestellt worden ist, drängt sich die Frage auf, ob nicht auch die an Stationen des flachen Landes angestellten Luftdruckbeobachtungen bis zu einem gewissen Grade diesem Einfluß des Windes unterliegen müssen. Auf eine derartige Einwirkung würde man dann schließen können, wenn die Luftdruckdifferenzen Basisstation—Höhenstation (reduz.) ein Anwachsen mit der Zunahme des Unterschiedes der Windstärke zwischen oberer und unterer Station zeigten. Bisher sahen wir, daß die Luftdruckdifferenzen im Mittel um so größer ausfielen, je größer die in der Höhe beobachteten Windstärken waren. Beide Beziehungen der Luftdruckdifferenzen zu den Windstärken schließen sich aber keineswegs von vornherein gegenseitig aus, da ja die Windgeschwindigkeiten durchschnittlich oben erheblich höher sind als unten und die Unterschiede zwischen den oben und unten beobachteten Windstärken um so größer werden können, je stärker der Wind in der Höhe weht. Man wird daher nur dann einwandfrei feststellen können, ob ein Zusammenhang zwischen der Größe der Luftdruckdifferenzen und den Unterschieden der oben und unten beobachteten Windstärken besteht, wenn man die Untersuchung für jeden einzelnen Grad der in der Höhe beobachteten Windstärke besonders führt. Dieses Verfahren erweist sich auch schon deshalb als nötig, weil die gleichen Differenzen der Windstärke eine verschiedene Bedeutung haben können je nach den Stufen der Beaufortskala, aus denen sie hervorgegangen sind. Da nämlich letztere nicht-proportional mit den Windgeschwindigkeiten in mps wachsen, so entspricht beispielsweise ein Unterschied von 2 Graden der Beaufortskala, wenn die oben und unten beobachteten Windstärken 3 und 1 sind, einem Unterschied der Windgeschwindigkeit von etwa 3 mps, während die Differenz zwischen Windstärke 10 und 8 schon gleichbedeutend ist mit einer nahezu doppelt so großen Differenz der Windgeschwindigkeit. Wir würden also, wenn wir die gleichen Unterschiede der Windstärke ohne Rücksicht darauf, aus welchen Graden der Beaufortskala sie entstanden sind, zusammenfassen wollten, ungleichartige Werte miteinander vereinigen.

Die Untersuchung wurde in dieser Weise sowohl für die Schneekoppe wie für den Brocken ausgeführt, natürlich aber unter Beschränkung auf die höheren Stufen der Beaufortskala als Ausgangspunkte für die Bildung der Stärkeunterschiede. Es wurden daher für alle an den beiden Höhenstationen von Stufe 7 aufwärts beobachteten Windstärken die Differenzen gegenüber den gleichzeitig an den Basisstationen beobachteten Stärken gebildet und mit den zugehörigen Luftdruckdifferenzen zusammengestellt. Nach Sonderung dieser Werte entsprechend den in der Höhe beobachteten Windstärken und Mittelbildung für jeden Stärkeunterschied erhielt man dann die in den Tabellen 5 und 6 enthaltenen Ergebnisse. In ähnlicher Weise sind auch die mittleren

Luftdruckunterschiede für wachsende Differenzen der Windgeschwindigkeit zwischen Eiffelturm und Parc de St. Maur berechnet worden, nur war es hier der zu geringen Zahl der Beobachtungen wegen nicht möglich, eine Sonderung nach verschiedenen auf dem Eiffelturm beobachteten Windgeschwindigkeiten vorzunehmen. Da es sich hier um Windgeschwindigkeiten in mps handelte und ohnehin nur sehr große Windstärken in Frage kamen, schien diese Zusammenfassung zulässig. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 7 zusammengestellt. Die unter den Luftdruckdifferenzen stehenden Zahlen geben wie in den früheren Tabellen an, wieviel Beobachtungen zur Mittelbildung benutzt wurden.

Tab. 5. Mittlere Luftdruckdifferenzen (mm) Zillerthal—Schneekoppe (reduz.) bei wachsenden Stärkeunterschieden des Windes zwischen Schneekoppe und Zillerthal, gesondert nach den auf der Schneekoppe beobachteten Windstärken.

Windstärke auf der Schneekoppe (Beaufortskala)	Windstärkeunterschiede Schneekoppe—Zillerthal									
	-2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	—	0.3 1	0.8 4	0.8 13	0.9 34	1.0 59	0.7 68	0.4 34	—	—
8	0.0 1	0.8 1	—	1.5 5	0.9 9	1.4 39	1.4 43	0.9 35	0.8 8	—
9	—	0.0 1	1.3 5	0.8 4	2.1 6	1.8 32	1.7 33	1.6 35	1.7 12	1.6 6
10	—	—	0.3 1	3.2 1	2.0 4	2.0 5	2.2 8	2.6 16	2.2 11	2.6 1
11	—	—	—	1.4 4	0.8 2	—	—	—	3.7 2	—

Tab. 6. Mittlere Luftdruckdifferenzen (mm) Wasserleben—Brocken (reduz.) bei wachsenden Stärkeunterschieden des Windes zwischen Brocken und Wasserleben, gesondert nach den auf dem Brocken beobachteten Windstärken.

Windstärke auf dem Brocken (Beaufortskala)	Windstärkeunterschiede Brocken-Wasserleben								
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
7	1.0 3	0.4 2	0.6 17	0.8 27	0.8 86	0.8 11	0.2 10	0.2 11	-0.6 2
8	—	2.3 5	1.3 5	0.9 25	1.2 20	1.2 36	1.2 2	—	—
9	—	0.4 1	2.0 3	1.9 6	1.7 12	1.8 6	1.7 1	—	1.2 1
10	—	—	—	2.0 2	1.5 1	1.9 1	—	2.9 1	—

Tab. 7. Mittlere Luftdruckdifferenzen (mm) Parc de St. Maur—Eiffelturm bei wachsenden Unterschieden der Windgeschwindigkeit zwischen Eiffelturm und Parc de St. Maur.

Unterschiede der Windgeschwindigkeit (mps) Eiffelturm—Parc de St. Maur						
9.0-9.9	10.0-11.9	12.0-13.9	14.0-15.9	16.0-17.9	18.0-19.9	20.0-21.9
0.9 1	0.4 8	0.4 29	0.5 33	0.5 13	0.4 5	0.9 2

Aus keiner der drei Tabellen kann man, wie man ohne weiteres sieht, den Schluß ziehen, daß irgend welche gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Luftdruckdifferenzen und den Unterschieden der Windstärke bestehen. Lediglich bei der Schneekoppe könnte es auffallen, daß gerade in den allerdings nur vereinzelt Fällen, wo die Windstärken oben und unten nahezu gleich waren, die kleinsten Luftdruckdifferenzen auftraten. Dieser Umstand würde wohl für einen gewissen Einfluß des Windes auch auf die Barometerstände in Zillerthal sprechen, wenn sich nur auch sonst bei wachsenden Windstärkeunterschieden ein gewisser Anhaltspunkt dafür böte, daß die Luftdruckdifferenzen allmählich zunehmen. Lediglich bei Windstärke 11 fällt der höchste Wert der Luftdruckdifferenzen mit dem größten Unterschiede der Windstärke zusammen. Sonst fehlt eine Gesetzmäßigkeit im Gange der Differenzen vollkommen. Beim Brocken kann von einem Einfluß der Windstärkeunterschiede auf die Luftdruckdifferenzen noch weniger die Rede sein. Nur bei Stärke 9 auf dem Brocken war bei gleicher Windstärke in Wasserleben die Differenz am kleinsten. Gerade bei letzterer Station könnte man aber noch am ehesten erwarten, daß der Wind eine Einwirkung auf die Barometerstände ausübt, da sie ganz frei gelegen ist. Beim Eiffelturm wäre höchstens zu bemerken, daß bei dem größten Unterschied der Windgeschwindigkeit die mittlere Luftdruckdifferenz größer ist als die betreffenden Werte bei geringeren Geschwindigkeitsunterschieden. Einerseits ist aber die Luftdruckdifferenz bei dem kleinsten Stärkeunterschied ebenso groß und andererseits traten die höchsten Geschwindigkeitsunterschiede 20,0—21,9 mps auch bei den größten auf dem Eiffelturm beobachteten Windstärken auf. Daher wird man die höheren Beträge der Luftdruckdifferenzen ebensogut auf Rechnung der großen Windgeschwindigkeiten auf dem Eiffelturm setzen können, wie auf die der Geschwindigkeitsunterschiede der oben und unten wehenden Winde. Da sich sonst weiter keine Einflüsse der Windstärkedifferenzen zeigen, wird man sich natürlich eher für die erstere Ursache entscheiden.

Anscheinend übt also die Windstärke keinen nennenswerten Einfluß auf die Barometerstände der Stationen des flachen Landes aus, ein Ergebnis, das zunächst etwas unerwartet erscheinen könnte. Eine Erklärung dafür ließe sich in dem Umstande finden, daß bei den Höhenstationen im allgemeinen die auf den Abhang der Berge auftreffenden Winde nach oben abgelenkt werden müssen. Da aber, wie wir auf Seite 31 sahen, die Saugwirkung eines schräg nach oben gerichteten Luftstromes größer ist als die eines horizontal wehenden, wie er bei den Stationen der Ebene auftritt, so müßten die Barometerstände der Höhenstationen stärker durch den Wind beeinflusst werden, als die Stationen des flachen Landes. Da ferner, wie wir aus Tabelle 1 und 3 ersehen, bei der Schneekoppe und beim Brocken schon Winde von Stärke 6 und 5 der Beaufortskala erforderlich sind, um einen nennenswerten Einfluß auf das Barometer auszuüben, so kann man annehmen, daß an den Stationen der Ebene die Winde bereits einen ziemlich stürmischen Charakter haben müssen, um die gleiche Wirkung hervorzurufen. Nun sind aber dort, wenn man von den Orten der Küste absieht, überhaupt die Windgeschwindigkeiten durchschnittlich wesentlich geringer als auf hohen Berggipfeln. Aus den Tabellen 5 und 6 kann man durch Abzug der Windstärkeunterschiede von den Stärkezahlen der Vorspalte leicht entnehmen, daß in Zillerthal die Windstärke 10 nur einmal, Stärke 8 dreimal vorkam, während in Wasserleben einmal Windstärke 9 und zehnmal Stärke 8 beobachtet wurde. Bedenkt

man dabei, daß an Stationen des Binnenlandes, soweit sie nicht auf Berggipfeln liegen, größere Windstärken meist überschätzt werden, so läßt sich vermuten, daß die mit Stärke 8 bis 10 bezeichneten Grade der Windgeschwindigkeit nicht ganz den gleichen Stufen nach der Schätzung der Beobachter auf dem Brocken und der Schneekoppe entsprechen werden. Bei Berücksichtigung dieser Umstände liegt die Annahme nahe, daß eine wahrnehmbare Einwirkung des Windes auf den Barometerstand der beiden Basisstationen überhaupt vielleicht erst bei Stärke 8 oder 9 eintreten wird. Tatsächlich sehen wir aus Tabelle 5, daß in den Fällen, wo in Zillertal Stärke 8 und 10 herrschte, die Luftdruckdifferenzen am kleinsten waren und ebenso aus Tabelle 6, daß bei Windstärke 9 in Wasserleben die Luftdruckdifferenz einen erheblich kleineren Wert hatte, als bei den größeren Windstärkeunterschieden derselben Reihe. Man wird allerdings gut tun, diesem Ergebnis keine unbedingte Beweiskraft beizumessen, da es sich hier um Einzelfälle handelt, bei denen man nicht weiß, inwieweit die Beträge der Luftdruckdifferenzen etwa infolge von Temperaturfehlern bei der Reduktion unsicher sind.

Immerhin ist es wahrscheinlich, daß bei sehr starken Winden auch die Barometerstände in der Ebene beeinflusst werden. Dafür sprechen die Beobachtungen auf dem Eiffelturm, bei dem eine Ablenkung des Windes nach oben, wenigstens in der Weise, wie es bei Berggipfeln der Fall ist, ebensowenig wie an Tieflandstationen stattfindet. Wir sahen aber, daß dort erst bei der hohen Windgeschwindigkeit von 20 bis 22 m, die etwa Stärke 10 der Beaufortskala entspricht, im Mittel der Luftdruck um 0,3 mm erniedrigt wird. Gleichwohl scheint es möglich, daß in der Ebene unter besonderen Umständen bei derartigen Windgeschwindigkeiten auch stärkere Erniedrigungen des Barometerstandes vorkommen. Vielleicht ist dies der Fall, wenn das Barometer sich in einem Zimmer befindet, an dessen Leeseite ein Fenster offen steht, während es sonst abgeschlossen ist. Wir haben dann ähnliche Bedingungen, wie sie bei den Beobachtungen von James in seinem Sommerhause oder bei den Messungen Montignys vorlagen. Die theoretischen Berechnungen Exners (vergl. S. 30) lassen aber darauf schließen, daß unter solchen Umständen bei stürmischen Winden die Erniedrigung des Barometerstandes recht erheblich sein kann, wofür auch die Beobachtungen von James zu sprechen scheinen.

Zum Glück werden wir also nur in Ausnahmefällen damit rechnen müssen, daß die Barometerbeobachtungen der meteorologischen Stationen, abgesehen von den auf Bergen gelegenen, erheblich vom Winde beeinflusst werden. Bei den Höhenstationen bildet jedoch die Wirkung des Windes eine Fehlerquelle, der die größte Beachtung geschenkt werden sollte. Ihre Tragweite ersieht man daraus, daß im Jahre 1909 beim Brocken die reduzierten Luftdruckablesungen in 46 Prozent aller Fälle um mindestens 0,5 mm tiefer waren, als die gleichzeitigen Beobachtungen in Wasserleben. Bei der Schneekoppe waren im Jahre 1907 die reduzierten Luftdruckwerte in 41 Prozent, und im Jahre 1909 in 34 Prozent aller Fälle um mindestens 0,5 mm zu niedrig. Wenn nun auch in den reduzierten Beobachtungen Temperaturfehler enthalten sein können, so läßt sich doch annehmen, daß diese nach beiden Seiten hin wirksam gewesen sein werden, so daß Werte, die infolge ihnen anhaftender Fehler in Wegfall kommen, weil sie unter 0,5 mm sinken, durch andere kleinere ersetzt werden, die infolge entgegengesetzt wirkender Fehler tatsächlich mindestens 0,5 mm groß sind. Die Zahl der Fälle im Jahre 1909 bei der Schneekoppe dürfte übrigens noch zu klein sein, da vermutlich die Luftdruckwerte von

Zillerthal etwas zu niedrig sind. Jedenfalls ist also der Prozentsatz der Fehler von mindestens 0,5 mm so groß, daß man, kämen sie in gleicher Weise bei einer Tieflandstation infolge mangelhafter Ablesungen vor, Bedenken tragen würde, die Beobachtungen zu veröffentlichen.

Hervorzuheben ist auch der Einfluß, den die Erniedrigung des Barometerstandes durch starken Wind auf die barometrische Höhenmessung ausüben muß, zumal, wie nachher noch näher ausgeführt werden soll, auch die in freier Luft abgelesenen Barometer dieser Einwirkung unterliegen können. Zur Beurteilung der dadurch entstehenden Fehler möge die Angabe dienen, daß bei einem Berge von der Höhe der Schneekoppe ein oben um 1 mm zu tiefer Luftdruck die Höhe um rund 13 m vergrößert. Allerdings lassen sich diese Fehler im Einzelfall dadurch vermeiden, daß man es sich zur Regel macht, bei heftigem Winde keine Messungen auszuführen. Wichtig erscheint jedoch der Umstand, daß auch das Jahresmittel der Höhe eines Berges dadurch, daß das Jahresluftdruckmittel an der oberen Station etwas zu tief ausfällt, entsprechend zu groß werden kann. Wenn sich dies nicht immer bemerkbar macht, so läßt sich hierfür folgende Erklärung finden. Wie bereits anfangs erwähnt wurde, scheinen die auf Berggipfeln gemessenen Temperaturen im Durchschnitt etwas niedriger zu sein als die Temperaturen in gleicher Höhe der freien Atmosphäre. Infolgedessen würde das Mittel aus der oben und unten gemessenen Temperatur etwas kleiner werden als die wahre Mitteltemperatur der Luftsäule zwischen oberer und unterer Station und die auf Grund des ersteren Mittelwertes berechnete Höhe müßte etwas zu klein ausfallen. Andererseits wird die Höhe durch die Erniedrigung des Barometerstandes an der oberen Station etwas zu groß, so daß die Fehler sich gegenseitig aufheben können.

Die Häufigkeit und Größe der an den Höhenstationen durch den Wind verursachten Barometerfehler, die ja bis zu 5 mm erreichen können, läßt es sehr wünschenswert erscheinen, diese durch Korrekturen zu beseitigen. Für die Schneekoppe und den Brocken könnte man dazu die in den Tabellen 1 und 3 enthaltenen Werte, die aber erst auf die Höhen dieser Stationen zu reduzieren wären, verwenden. Jedoch genügt es offenbar nicht, die Gesamtmittel der Luftdruckdifferenzen zu benutzen, vielmehr müßten für jede Windrichtung besondere Korrekturen angebracht werden. Leider können aber die betreffenden Zahlen für solche Zwecke durchaus nicht als sicher genug angesehen werden, da sie unstreitig noch durch die Reduktion entstandene Fehler enthalten. Vielleicht würde es jedoch durch Verwendung eines weit größeren Beobachtungsmaterials gelingen, einigermaßen brauchbare Korrekturen zu erlangen.

Es gibt allerdings noch einen Umstand, der die Korrektur der durch den Wind beeinflussten Barometerstände erschweren muß, nämlich das sogenannte Pumpen des Barometers. Abgesehen von der allgemeinen Erniedrigung des Luftdrucks an Höhenstationen machen sich nämlich noch beständige rasch verlaufende Schwankungen bemerkbar, die mit der Heftigkeit des Windes zunehmen und offenbar auf schnelle Änderungen der Windstärke zurückzuführen sind. Die Kurve des Richardschen Barographen ist dann infolge fortwährender Ausschläge der Schreibfeder nach unten und oben mehr oder weniger verwaschen, während die Kurve des Springschen Barographen in Zacken verläuft. Diese raschen Schwankungen des Luftdrucks können ziemlich erheblich sein und aufwärts und abwärts wohl bis zu einem Millimeter betragen. Immerhin dürfte es einem geübten Beobachter gelingen, diese Unsicherheit durch

mehrfache rasch aufeinander folgende Einstellungen bis zu einem gewissen Grade zu beseitigen. Die Luftdruckablesungen auf der Schneekoppe stimmten jedenfalls, soweit sie nachgeprüft wurden, immer recht gut mit dem mittleren Verlauf der Barographenkurven überein.

Am besten würde es natürlich sein, wenn man ein Barometer so aufstellen könnte, daß es dem Einfluß der Saugwirkung des Windes entzogen ist. Die Lösung dieses Problems dürfte jedoch große Schwierigkeiten verursachen. Auch ein in freier Luft angebrachtes Barometer wird vom Winde beeinflusst werden. Hängt es an einer dem Winde zugekehrten Wand, so muß es zu hoch zeigen, umgekehrt zu tief, wenn es sich im Windschatten befindet. Wird ein Quecksilberbarometer an einem ganz freien Orte aufgestellt, so dürfte der Wind eine seiner Stärke entsprechende Saugwirkung auf den offenen Schenkel oder das Gefäß ausüben. Bei einem Aneroidbarometer können Saug- oder Druckwirkungen eintreten, je nach der Lage der die Verbindung zwischen Instrument und Außenluft vermittelnden Öffnung gegenüber dem Winde. Vielleicht ließe sich eine Schornsteinkonstruktion finden, die eine saugende Wirkung des Windes auf die Luft im Innern des Hauses verhindert. In solchen Fällen allerdings, wo sich, wie auf dem Ben Nevis bei Nordwinden, etwa schon außen um das Gebäude herum infolge der Ablenkung der Luftmassen nach oben ein luftverdünnter Raum bildet, würde es nicht möglich sein, die dadurch verursachte Einwirkung auf den Barometerstand auszuschalten.

Hoffentlich erfüllt die vorliegende Abhandlung den Zweck, die Aufmerksamkeit der Meteorologen auf eine anscheinend immer noch zu wenig beachtete Fehlerquelle hinzulenken, die geeignet ist, die Luftdruckbeobachtungen an Höhenstationen zu einem großen Teil zu entwerten. Es wäre sehr zu wünschen, daß sich Mittel finden ließen, die störenden Fehler annähernd zu beseitigen.

---

Abgeschlossen am 31. März 1913.

---