

**Aerologische und Hydrographische Beobachtungen
der Deutschen Marine-Stationen während der Kriegszeit 1914–1918.**

Heft 3.

Die Beobachtungen der
Marinedrachenstationen Breedene/Meer und St. Michel
bei Brügge in den Jahren 1915–1918.

**A. Einleitung. B. Die Windverhältnisse über Breedene/Meer und
St. Michel bei Brügge.**

Von

Dr. Wilhelm Pepler.

Mit 3 Textfiguren und 1 Tafel.

HAMBURG 1920.

Druck von Hammerich & Lesser in Altona.

**Aerologische und Hydrographische Beobachtungen
der Deutschen Marine-Stationen während der Kriegszeit 1914–1918.**

Heft 3.

**Die Beobachtungen der
Marinedrachenstationen Breedene/Meer und St. Michel
bei Brügge in den Jahren 1915–1918.**

**A. Einleitung. B. Die Windverhältnisse über Breedene/Meer und
St. Michel bei Brügge.**

Von

Dr. Wilhelm Peppler.

Mit 3 Textfiguren und 1 Tafel.

HAMBURG 1920.

Druck von Hammerich & Lesser in Altona.

A. Einleitung.

Das Bedürfnis nach einer Drachenstation an der Küste Flanderns für die militärischen Zwecke des Marinekorps machte sich bereits im Anfange des Jahres 1915 geltend; es war nötig, eine möglichst weit nach Westen vorgeschobene aerologische Station einzurichten, die, — am äußersten Rande der Wetterkarte gelegen —, sowohl für die Wettervorhersage, wie auch für zahlreiche militärische Unternehmungen große Vorteile versprach. Besonders für das Flugwesen an der flandrischen Land- und Seefront, die dort stationierten Fesselballonabteilungen, die kriegerischen Maßnahmen auf See mit Torpedobooten und Unterseebooten sowie mit Zeppelin, machten eine möglichst genaue Erkundung der meteorologischen und aerologischen Verhältnisse des Küstengebietes nötig. Bei der Eigenart des Küstenklimas, vorzüglich den starken Bewölkungsverhältnissen, konnte naturgemäß mit Pilotballons nur ein Teil dieser Aufgabe gelöst werden, und es mußten Fesselaufstiege ergänzend einsetzen. Später, als die Berücksichtigung der Luftdichte und des Windes in der freien Atmosphäre für das artilleristische Schießen größere Bedeutung erlangte, erhielt auch die Drachenstation steigenden Wert.

Auf Anregung von Herrn Dr. P. Perlewitz, des damaligen Vorstandes des Observatoriums des Marinekorps zu Ostende, wurde mir von der Marine im Juni 1915 die Einrichtung und Leitung der Drachenstation übertragen. Sie wurde dem damals schon bestehenden Observatorium Ostende angegliedert.

Lage der Station. Die Drachenstation wurde auf einer ebenen Weide einer Ferme hinter dem kleinen Badeorte Breedene/Meer eingerichtet, ca. 400 m vom inneren Rand der Dünen und 700 m vom Strande entfernt. Die genauen geographischen Koordinaten waren: $\varphi = 51^{\circ} 14' 35''$ $\lambda = 2^{\circ} 59'$. Die Höhe über NN im Niveau der Weide betrug ca. 3 m. Die Küste streicht bei Breedene in der Richtung E 33° N und ist mit schmalen Dünenzügen von einer zwischen 10 und 25 m wechselnden Höhe besetzt, hinter denen landeinwärts sich ebenes Land ausdehnt, das fast völlig baumlos ist. Der Aufstiegsplatz wäre für Drachenaufstiege nicht ungünstig gewesen, wenn nicht die in dieser Gegend zahlreichen Wassergräben und häufigen Überschwemmungen in der kalten Jahreszeit das Austragen der Drachen erschwert hätten. Auch verursachte die hinter den Dünen entlang laufende Hochspannung der Küstenbahn manche Störungen, und führte zu wiederholten Havarien der Aufstiege.

Die Ausrüstung der Drachenstation war im Juni 1915, als ich sie übernahm, sehr dürftig und bestand zur Hauptsache aus einer vom Aeronautischen Observatorium Lindenberg zusammengestellten Einrichtung, die ich bereits im Jahre 1914 in Belgien benutzt hatte. Es waren anfangs nur 1 Handwinde, 1 Ballon und 16 Drachen mit 2 Meteorographen vorhanden. Zunächst wurden alle Aufstiege mit der Handwinde ausgeführt, die mit Stahltauen auf freiem Felde verankert war. Die Trommel hatte anfangs 6000 m Draht: 2000 m von 0.6 mm, 2000 m von 0.7 mm und 2000 m von 0.8 mm Durchmesser. Da sich aber herausstellte, daß der 0.6 mm - Draht für das stürmische Klima Flanderns ungeeignet war, wurde später nur noch mit 0.7 und 0.8 mm gearbeitet. Es mußte auch wegen der Nähe des Meeres mit einem möglichst großen Sicherheitskoeffizienten gerechnet werden, da Abreißer über See verloren gingen.

Zu Beginn waren 16 Drachen vorhanden: 6 Diamantdrachen von der Drachenstation Großborstel und 10 Kasten- und Schirmdrachen vom Aeronautischen Observatorium Lindenberg. Die Diamantdrachen bewährten sich bei dem Handwindenbetriebe gut, da sie bei geringem Zuge gute Höhen erreichten; als ihren besonderen Vorteil möchte ich hervorheben, daß sie wegen guter Seitenstabilisierung leicht zu landen waren, wodurch in Anbetracht dessen, daß das Personal anfangs noch keine Übung hatte, viel Bruch vermieden wurde. Später wurde jedoch allgemein zu Kasten- und Schirmdrachen übergegangen, die für die Erreichung großer Höhen leistungsfähiger sind. Die Erdung der Winde war durch ein Kupferkabel bewerkstelligt, reichte aber, trotzdem sie im Grundwasser endete, merkwürdiger-

weise nicht aus, so daß heftige elektrische Schläge in der Winde häufig waren. So störend diese Erscheinung für die Aufstiegstechnik war, so lehrreich war es, danach den jeweiligen elektrischen Spannungszustand der unteren Luftschichten zu beobachten. Im Sommer 1915 benutzte ich diese elektrischen Schläge geradezu mit Erfolg für die Wetter- besonders die Gewitterprognose; mit überraschender Sicherheit folgte nämlich auf starke Entladungen in der Winde am Morgen, nachmittags Wolkenbildung, Gewitter oder Böen, wofür ich zahlreiche Belege aus meinem Tagebuche anführen könnte. Ich erwähne dies, um die Aufmerksamkeit auf diese meines Erachtens wichtigen Beziehungen zu lenken und vielleicht an anderen Stationen dementsprechende Versuche mit einer isolierten Winde anzuregen. Es wäre von Interesse, diese mit großen Schwankungen der Potentialdifferenz verbundenen Zustände messend zu verfolgen.

Ich möchte an dieser Stelle einen interessanten Ballonabbrenner vom Morgen des 16. August 1915 schildern, der einen guten Beweis für die spezifische Ladung von Böenwolken liefert. Bei schwachwindigem, zu Gewittern neigendem Wetter wurde ein Fesselballon hochgelassen, wobei in der Winde außerordentlich heftige Schläge verspürt wurden. Als der Ballon ca. 600 m Höhe erreicht hatte, zog plötzlich eine dunkle Böenwolke aus SSW auf. Da die Schläge in der Winde zu heftig waren, mußte der Ballon schließlich stehen gelassen werden. Es wurde nun beobachtet, daß, genau in dem Augenblicke des Eintauchens des Ballons in den Wolkenrand, der Ballon plötzlich Feuer fing und abbrannte, ohne daß ein Donner oder eine hörbare elektrische Entladung bemerkt wurde.

Das Personal bestand anfangs nur aus dem Leiter der Station und Sergeant Bethge, der lange Zeit an der Drachenstation Großborstel tätig gewesen war und daher den Drachenbetrieb gut kannte. Weiteres eigenes Personal war zunächst nicht vorhanden. Es war mit der in Breedene stationierten Marinefesselballonabteilung vereinbart worden, daß diese das nötige Personal zur Bedienung der Handwinde jeweils zur Verfügung stellen sollte. Das stellte sich aber als ein recht unglücklicher Notbehelf heraus, da die bedienende Mannschaft dauernd wechselte und es so unmöglich war, ein Stammpersonal

Fig 1.



heranzubilden. Es kam auch zu mancherlei Störungen, da öfters die Aufstiege abgebrochen werden mußten, wenn die Luftschiffer militärisch anderweitig benötigt wurden; auch störten sich Drachenballon und Drachen häufig gegenseitig, wobei die Drachenstation den Kürzeren zog und die Aufstiege einholen mußte. Ich erwähne dies, um zu zeigen, wie unvorteilhaft es war, eine ungenügend ausgerüstete und nicht mit ausgebildeter Mannschaft versehene Drachenstation ins Feld zu senden. Es dürfte anderen Formationen, die nicht bereits vor dem Kriege bestanden, sondern rasch improvisiert wurden, ähnlich ergangen sein. Erst in mühsamer Arbeit und Übung konnte sich die Station zu einer größeren Vollkommenheit entwickeln in beständigem Kampf mit den im Kriegsbetrieb naturgemäß liegenden Schwierigkeiten. In dieser Hinsicht waren die später voll ausgerüstet ins Feld gesandten anderen Kriegsdrahenstationen besser daran.

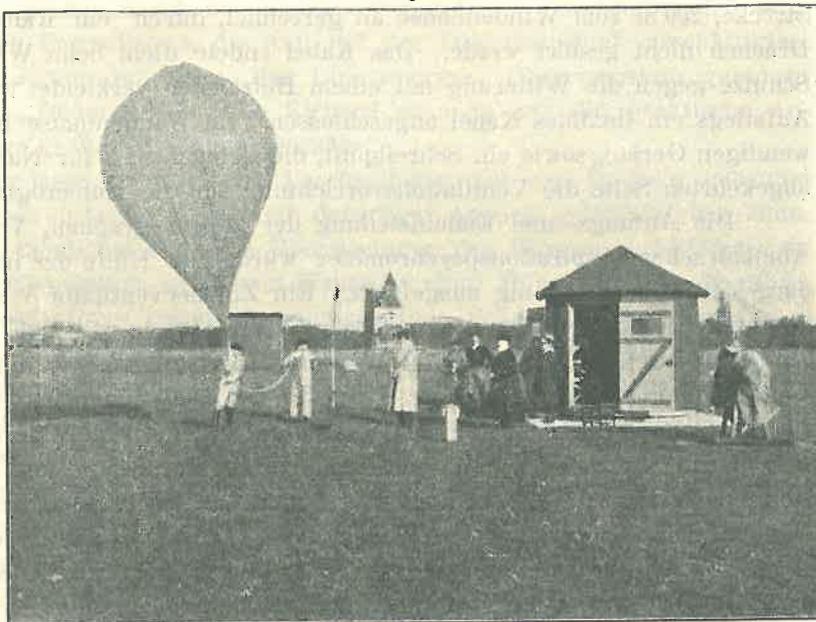
Mit diesem Handbetrieb konnten auf die Dauer keine besonderen Leistungen erzielt werden, da in dem stürmischen Küstenklima die Züge meist zu groß wurden, und bei Erreichung größerer Höhen sich der Aufstieg über viele Stunden ausdehnte. Es mußte daher zur Einrichtung einer Station mit Motorbetrieb

übergegangen werden. Da in dem Netz der hinter den Dünen entlang laufenden elektrischen Küstenbahn die nötige elektrische Kraft zur Verfügung stand, entschied ich mich für eine stationäre Station, die in den Unbilden des flandrischen Klimas große Vorteile bot gegenüber einer fahrbaren Automobildrachenwinde.

Ich lasse eine Beschreibung der Station aus der Feder meines damaligen Assistenten, Hermann John, der mit großem technischem Geschick sich den Aufgaben der Drachenstation widmete, und manche Verbesserungen und Neuerungen einführte, folgen.

Das Windenhaus. Das Windenhaus der Drachenstation wurde nach dem Muster der Großborsteler Anlage von der Kaiserlichen Werft in Ostende erbaut. Auf einem massiven Betonblock wurde eine Kleinbahn-Drehscheibe von etwa 3 m Durchmesser verankert. Auf dieser wurde der Motor, die Drachenwinde und ein achteckiges Schutzhäuschen aus Brettern mit Nut und Feder aufgebaut. Die zweiflügelige Tür nahm die Breite von 2 Achteckseiten in Anspruch. (Bild 1 u. 2.) Vor dem einen der nach außen schlagenden Türflügel stand die Drachenwinde; die andere Türhälfte diente als Eingang. Die Drachenwinde mit Motor war von der Drachenstation Großborstel übernommen worden. Auf einem starken Holzrahmen war die Vorrattstrommel mit ihrer zweifach gelagerten Achse montiert, ferner darunter die in Exzentern gelagerte Antriebswelle, die von Hand aus oder mit dem Fuße parallel zu sich selbst zum Ein- und Auskuppeln nach oben und unten verschoben werden konnte. Der mit der rechten Hand zu bedienende Bremshebel ist auf dem Bilde nicht sichtbar, wohl aber ein Stück des mit Messingbacken ausgelegten Bremsbandes; dieses wirkte auf das mit der Vorrattstrommel verschraubte Rad der Friktionskuppelung. Der Draht lief von der Trommel zunächst senkrecht nach oben über die mit Spritzblechen versehene Verteilerrolle, die vermittels des linkshändig bedienten Hebels um die gut sichtbare vertikale Achse geschwenkt werden konnte. Eine automatisch wirkende Drahtverteilungsvorrichtung war nicht vorhanden. Von der Verteilerrolle lief der Draht senkrecht nach unten zu der zwischen den Spiralfedern sichtbaren Dynamometerrolle und von da wieder senkrecht nach oben zur Azimut- oder Auslaufrolle. Die Wirkung des im wesentlichen aus zwei starken Spiralfedern und zwei entsprechenden Dämpfungsfedern bestehenden Zugmessers ist ohne weiteres zu erkennen. Das Ablesen des von den Drachen ausgeübten Zuges geschah an der auf dem Bilde erkennbaren vertikalen Führungsstange. Als Antrieb diente ein kleiner Gleichstrommotor von etwa 2,5 PS. mit Widerstandsanlasser. Die Übertragung nach der Kuppelungswelle der Winde erfolgte durch ein unter dem Motor angeordnetes Zahnradvorgelege und von da über eine dreifache Stufenscheibe durch einen Lederriemen. Die Eisenmassen der Winde waren elektrisch leitend gut miteinander und durch ein Kupferkabel mit dem eisernen Pivot verbunden, auf dem die Drehscheibe ruhte; von hier führte ein 3-teiliges Blitzkabel durch den Betonblock in das nur $\frac{1}{2}$ m tief liegende Grundwasser. Dadurch war eine gute Erdung geschaffen. Eine einfache Blitzschutzvorrichtung wurde in der Weise ausgeführt, daß aus 2 dicken zusammengedrehten Kupferdrähten ein Bügel hergestellt wurde, der an einer Schnur von oben auf den Drachendraht herabgelassen werden konnte. Dies erlaubte ein gefahrloses Abnehmen der Hilfsdrahtklemmen bei Gewittergefahr. Die Stromzuführung von der Küstenbahn, 600 Volt Gleichstrom, erfolgte auf der letzten

Fig. 2.



Strecke, 200 m vom Windenhouse an gerechnet, durch ein Kabel, damit das Manövrieren mit den Drachen nicht gestört werde. Das Kabel endete dicht beim Windenhouse in einer Steckdose, die zum Schutze gegen die Witterung mit einem Holzkasten verkleidet war. An die Dose wurde bei Beginn des Aufstiegs ein flexibles Kabel angeschlossen. Im Windenhouse befanden sich alle zum Aufstiege notwendigen Geräte, sowie ein Schreibpult, die Beleuchtung für Nachtaufstiege und auf der dem Eingang abgekehrten Seite die Ventilationsvorrichtung für die Meteorographen.

Die Anfangs- und EndEinstellung der Meteorographen, Ventilierung und Vergleichung mit dem Afmann'schen Aspirationspsychrometer wurde mit Hilfe der in Skizze 1 (siehe Tafel) im Längsschnitt dargestellten Vorrichtung ausgeführt. Ein Zimmerventilator V saugte die Luft in einen Blechtrichter T mit zylindrischem Ansatz A von 50 mm Weite durch das Rohr des Meteorographen nach innen im Sinne des auf der Rückseite des Windenhauses stehenden Windes. Da der kleine Motor nur für 220 Volt Spannung eingerichtet war, wurde er mit 2 Glühlampen hintereinandergeschaltet. Die dritte Lampe diente beim Anlassen des Ventilators als Vorschaltwiderstand. Die Ventilationsgeschwindigkeit betrug, am Anemometer gemessen, etwa 6 ms, reichte also vollkommen aus. Die Ventilations-einrichtung befand sich 155 cm über dem Boden; auf diese Höhe, ca. 4.5 m über NN, beziehen sich also alle Angaben der meteorologischen Ausgangswerte. Es ist notwendig, dies ausdrücklich zu betonen, da es natürlich sehr wichtig ist für die Vergleichung der Werte verschiedener Stationen, genau die relative Höhe über dem Boden zu kennen, in der die Anfangseinstellung ausgeführt ist. Dieser Punkt ist bei anderen Drachenstationen, wie ich mich überzeugt habe, teilweise nicht gebührend beachtet worden. Bei einigen fehlte eine genügende Ventilation überhaupt, bei anderen wurde das Instrument sogar auf den Boden gelegt und mit einem daneben gehaltenen Aspirationspsychrometer verglichen. Das ergibt natürlich für die unterste Stufe viel zu große Temperatur- und Windgradienten, und macht die Werte mit denen anderer Stationen unvergleichbar. Bei einer vergleichenden Bearbeitung müssen diese Unstimmigkeiten vor allen Dingen geklärt werden.

Die Motorwinde konnte bereits Anfang September 1915 in Betrieb genommen werden. Ein Nachteil der alten Großborsteler Winde, der sich bald bemerkbar machte, war der, daß die Drahttrommel nicht ausgewechselt werden konnte, wie es in Lindenberg der Fall ist. Bei den an der Küste stark wechselnden Windstärken wäre es vorteilhaft gewesen, wenn etwa 2 Trommeln zur Verfügung gestanden hätten, eine Sturmtrommel mit nur 0,8, 0,9 und 1,0 mm Draht, und eine Trommel mit 0,7, 0,8 und 0,9 mm Draht für normale Aufstiege. Anfangs wurde versucht, bei Sturm den mit einem Karabinerhaken an den dickeren Draht angeschlossenen 0,6 und 0,7 mm Draht vor dem Aufstiege immer auf eine Hilfsrolle abzuwickeln, um die Abreißgefahr zu verringern; dies Verfahren war aber zu zeitraubend und hatte manche Störungen im Gefolge, sodaß schließlich nur mit Drähten von Dicken von 0,8 mm und mehr gearbeitet wurde. Bei der Schwierigkeit, die der Materialnachschub bereitete, war man gezwungen, ständig den Sicherheitskoeffizienten zu erhöhen, was wiederum die erreichten Höhen nachteilig beeinflusste. Die alte Winde hatte noch weitere Unzulänglichkeiten. Der Motor war für die auf-tretenden starken Drachenzüge zu schwach und erlaubte auch nur mit ca. 3 ms einzuholen, wodurch die Vorteile eines raschen Hochwerfens der Drachen bei schwachem Winde verloren gingen. Ferner war die Drahtaufnahmerolle zu klein, sodaß der Draht Drall bekam und Knicke, die bei Fesselballon-aufstiegen leicht zu Abreißen führten. Diesen Nachteil hatten auch andere Felldrachenwinden, die ich gesehen habe. Es folgt daraus die Lehre, die Aufnahmerollen so groß wie irgend angängig zu wählen.

An sonstigen Einrichtungen besaß die Drachenstation eine Werkstätte für Reparatur und Bau von Drachen und Ballons, die in einer benachbarten Villa untergebracht war, wo sich auch das Quartier der Station befand. Hier wurden in der ersten Zeit sowohl die Drachen wie die Ballons vollständig gebaut, letztere nach einer von H. John ausgeführten Neuberechnung der Dimensionen. Da alle diese technischen Arbeiten sich im Wesentlichen eng an die Technik des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg anschlossen, sind weitere Bemerkungen darüber überflüssig. Ich will an dieser Stelle nur noch besonders betonen, welche Bedeutung für die Kriegsaerologie Richard Afmanns Beschreibung des Aero-

nautischen Observatoriums erlangt hat, gerade durch die ins Einzelste gehende Darstellung der aerologischen Technik. Das Buch hat vielen Formationen, die sich mit der Drachentechnik beschäftigten, unschätzbare Dienste geleistet, und so war mittelbar das Lindenberger Observatorium geradezu die Lehrmeisterin der Kriegaerologie. Dadurch hat sich Richard Aßmann um die praktische Anwendung unserer Wissenschaft im Kriege große Verdienste erworben.

Nach dieser kleinen Abschweifung lasse ich noch eine Beschreibung des von H. John gebauten Anemoidindikators folgen, die zeigt, mit welch einfachen Mitteln ein derartiger Apparat gebaut werden kann.

Um bei dem Nachtdienste eine möglichst bequeme Überwachung des Windes durchführen zu können, wurde auf dem neben der Drachenstation gelegenen Hause in einer Höhe von etwa 20 m ein Anemoidikator aufgestellt. Da die Beschaffung neuer Instrumente mit Schwierigkeiten verbunden war, wurde ein altes, kräftiges Schalenkreuzanemometer von Fueß mit einer elektrischen Kontakteinrichtung an einem der Räder des Zählwerkes versehen und auf einer Grundplatte montiert, die ihrerseits mittels eines Flansches mit einem Gasrohr-Maste verschraubt wurde. Von der Grundplatte aus liefen vier entsprechend gebogene Stützen aus Rundeisen über das Schalenkreuz hinweg und vereinigten sich über diesem wieder in einer kleinen kreisförmigen Platte. Hierauf war eine Platte aus Vulkanfiber verschraubt, die im Kreise angeordnet 8 Kontakte aus Messingblech trug, sowie in der Mitte das Spurlager aus Bronze für die in eine Spitze auslaufende vertikale Achse der Windfahne, woran ein Schleifkontakt angebracht war. Die gut ausbalancierte, oben in einem Gasrohr mit Bronzebüchse nochmals geführte Windfahne war aus starkem Zinkblech verfertigt. Über der Schaltvorrichtung war ein wasserdicht abschließendes Schutzgehäuse angeordnet. Der Schleifkontakt wirkte derart, daß bei den 8 Hauptwindrichtungen jeweils nur 1 Kontakt berührt und dadurch an dem im Büro montierten Glühlampenindikator (System Steffens) die entsprechende Lampe zum Aufleuchten gebracht wurde. Stand die Kontaktlamelle gleichzeitig über 2 Grundkontakten, z. B. über N und NE, so waren am Indikator die beiden benachbarten Glühlampen N und NE eingeschaltet, der Wind wehte also aus NNE. Das Aufleuchten der Lampen erfolgte nach Betätigung eines Druckknopfes. Die Stromübertragung geschah durch ein Bleikabel mit 11 Litzen: 8 für die Glühlampen, in der Grundplatte auf der Vulkanfiber-scheibe endigend, dafür 1 gemeinsame Rückleitung durch den Schiffskontakt an der Windfahnenachse. Die beiden noch übrigen Litzen übertrugen die Kontakte des Schalenkreuzes auf eine in der Mitte des Indikators angebrachte Lampe und gleichzeitig auf eine elektrische Glocke. Die Messung der Windgeschwindigkeit konnte erst nach dem Umlegen eines Schalters vorgenommen werden. Die Eichung des Schalenkreuzanemometers erfolgte durch Vergleichung mit einem Handanemometer von Fueß bei verschiedenen Windstärken. Der sehr zuverlässige und bequeme Apparat wurde mit eigenen Mitteln auf der Drachenstation in allen Einzelheiten von dem Obermatrosen Muth angefertigt.

Die Pilotaufstiege. Die Pilotaufstiege fanden auf einer auf dem Gelände zum Schutze gegen die häufigen Überschwemmungen des Aufstiegplatzes erbauten Plattform statt. Es wurden von Anfang bis Ende der Tätigkeit in Breedene ausschließlich Gummipiloten verwendet. Erst im Jahre 1918, als die Station bereits nach Brügge verlegt war, wurde auch zu Papierpiloten übergegangen, für die ich mich nach einigen schlechten Erfahrungen nie recht begeistern konnte. Da aber mit der Zeit der Pilotgummi derart schlecht wurde, daß oft mehrere Ballons beim Füllen platzten, und keine großen Höhen mehr damit zu erreichen waren, war die Station gezwungen, auch Papierpiloten zu benutzen, um die erforderlichen Höhen von 5000—6000 m zu gewinnen.

Die Visierungen erfolgten mit Bungeschen Ballontheodoliten der üblichen Form; meist konnten wegen Personalmangels nur einfache Visierungen angestellt werden. Die Auswertung geschah nach den Hergesellschen Steiggeschwindigkeiten. Wie ich früher an den Lindenberger Doppelvisierungen gezeigt habe, sind jene Werte für die unteren Luftschichten zu klein, doch sind sie hier, da allgemein damit gearbeitet wurde, beibehalten worden. Über die Auswertungstechnik ist nichts Besonderes zu berichten, sie erfolgte mit einem Pilotballon-Rechenschieber. Für die Nachtaufstiege, die häufig ausgeführt wurden, hat H. John eine Verbesserung am Theodoliten angebracht, die die Visierungen in der Dunkelheit sehr erleichterte und mitteilenswert sein dürfte. Ich lasse die Beschreibung von John folgen:

Bei vielen Beobachtungen mit Leuchtpiloten ging der Ballon dadurch verloren, daß der Beobachter durch die Taschenlampe beim Ablesen geblendet wurde; nach der Blendung war es nicht mehr möglich, das sehr schwache Licht des entfernten Ballons wiederaufzufinden. Von den später an Ballontheodoliten angebrachten Beleuchtungsrichtungen vermied keine das Blenden des Beobachters. Daher wurde bei der in Skizze 2 (siehe Tafel) von vorn und von der Seite dargestellten, an dem Bungeschen Theodoliten angebrachten Beleuchtungsrichtung besonderer Wert auf allseitiges Abblenden gelegt. Eine kleine Glühlampe wurde mit einem Messinggehäuse G derart umgeben, daß sie weder den visierenden noch den ablesenden Beobachter blenden konnte, andererseits aber die Nonien des Höhen- und Azimutalkreises, sowie die Stoppuhr und das Protokollblatt hell genug beleuchtete. Die Konstruktion ist aus der Skizze zu ersehen. Das Blechgehäuse war mit seiner Rückwand nur durch die beiden Schrauben a—a zugleich mit dem den Ablesenonius des Höhenkreises tragenden Täfelchen so befestigt, daß sich der Höhenkreis in dem in der Rückwand des Gehäuses befindlichen Schlitz vorbeidrehte, während sich das Gehäuse selbst über den Azimutalkreis hinwegdrehte. Die Speisung der Lampe erfolgte durch eine normale Pilotbatterie B, die in einer Bodenfassung F ruhte, und oben durch einen Führungsring R nochmals gehalten wurde. Der eine Kontakt K der Batterie wurde in dem Ring R festgehalten und stand so mit der Masse des Gehäuses in Verbindung, während der andere Kontakt (nicht gezeichnet) beim Einschalten durch den Hebelschalter S berührt wurde.

Gleichzeitig mit dieser Beleuchtungsrichtung war noch eine zweite unmittelbar auf dem Fernrohr des Theodoliten angebracht, die einen schwachen Lichtschein über Visier und Korn des Fernrohrs warf, damit auch bei bewölktem und dunklem Himmel das sonst schwierige Einfangen des Luftlichtes leicht bewerkstelligt werden konnte. Auf eine Beschreibung dieser ebenfalls bewährten Vorrichtung kann verzichtet werden, da es noch zweckmäßiger sein dürfte, Visier und Korn mit Leuchtfarbe zu bestreichen.

Die Prüfungseinrichtung für die Meteorographen. Bei dem geringen Vorrat an Drachenapparaten und den Verzögerungen beim Transport in die Heimat war es nötig, eine eigene Prüfungseinrichtung zu schaffen, was bereits im Herbst 1915 geschah. Die Prüfung der Thermometer erfolgte in üblicher Weise in einem doppelwandigen mit Wärmeschutz versehenen Trog; als Kältemischung wurde feste Kohlensäure und Alkohol benutzt. Die Barometerprüfung geschah mit einer von der Firma Leybold gelieferten Prüfungseinrichtung, bestehend aus einer Gaedeschen Luftpumpe und einem Teller mit Gasglocke und einem Prüfungsbarometer. Eine eigene Vorrichtung zur Prüfung der Anemometer besaß die Drachenstation nicht. Die Anemometer wurden nach einem Fueßschen Handanemometer in natürlichem Wind geeicht, später wurde auch von der Prüfungseinrichtung des Marine-luftfahrwetterdienstes in Wilhelmshaven Gebrauch gemacht. Diese von Herrn Dr. Georgi geschaffene Anlage war die vollkommenste, die ich im Kriege kennen gelernt habe. Die Prüfung der Haarhygrometer wurde wie am Lindenberger Observatorium ausgeführt und bedarf keiner weiteren Beschreibung.

Eine genaue Prüfung der Meteorographen war um so nötiger, da die Drachenstation anfangs mit 2 verschiedenen Systemen arbeitete, nämlich dem Lindenberger Bungeapparat und dem Großborsteler Schneiderapparat. Beide Apparate haben verschiedene Thermometerkörper, ersteres ein mit Äther gefülltes Stahllamellenthermometer, letzteres ein Bimetallthermometer. Das Schneidersche Bimetallthermometer bewährte sich gut, hatte einen konstanten Ausschlag, war aber infolge seiner großen Masse etwas zu träge. Dies wurde dadurch verbessert, daß die Fläche durch Ausschnitte etwas verkleinert wurde, wodurch es empfindlicher wurde. Dies Thermometer hatte ferner den Nachteil, daß es in turbulenter Luft in Schwingungen geriet und dann schlechte Registrierungen lieferte. Die Nachteile des Bungeschen Stahllamellenthermometers bestehen dagegen darin, daß der Ausschlag weniger konstant ist, besonders bei sehr tiefen Temperaturen. Interessant sind die Versuche, die ich mit 2 Instrumenten der beiden Typen in demselben Drachen ausgeführt habe. Trotz sorgfältigster vorheriger Prüfung und einwandfreier Registrierung gelang es nicht, völlig übereinstimmende Temperaturmessungen zu erhalten, wohl lediglich infolge der verschiedenartigen elastischen Nachwirkungen der beiden Thermometer-

körper. Dies verdient Beachtung bei Beurteilung der Genauigkeit von Temperaturmessungen an Stationen, die verschiedene Meteorographen benutzen.

Die Prüfungseinrichtung der Drachenstation bekam dadurch weiteren praktischen Wert, daß sie in der Lage war, die Flugzeug-Höhenmesser der Flugplätze des Marinekorps zu prüfen. Die Apparate wurden auf elastische Nachwirkung und Temperatureinfluß genau geprüft und justiert, dabei auch kleinere Reparaturen ausgeführt. Es stellte sich dabei heraus, daß die zur Prüfung eingelieferten Flugzeuganeroids wiederholt Höhenfehler von 500—1000 m aufwiesen.

Beziehungen zu der Fliegerabwehr mit gefesselten Drachen und Ballons. Bereits im Juli 1915 hatte ich Gelegenheit, mit der damals in Aufschwung kommenden Fliegerabwehr mit gefesselten Flugkörpern mich näher zu beschäftigen, da der Brügger Fliegerabwehrzug der Drachenstation zur Ausbildung überwiesen wurde, wo er im Betrieb der Drachenstation und durch Instruktionen alles Notwendige der Aufstiegstechnik kennen lernte.¹⁾ Die Fliegerabwehr arbeitete anfangs mit kleinen Drachenballons von 100 bis 300 m³ Inhalt; die Leistungen waren jedoch ganz ungenügend, da sich der 100 m³-Ballon bei 1100 m Kabellänge auf einen Winkel von kaum 30°, also ca. 550 m Höhe stellte. Diese kleinen Drachenballons mit dem schweren Kabel waren ganz ungeeignet zur Erreichung von Höhen, die für eine Fliegerabwehr in Betracht kamen. Besser haben sich die kleinen aerologischen Kugelballons aus gefirnister Seide oder Gummistoff mit 30—50 m³ Inhalt bewährt, deren Anwendung ich für diese Zwecke bereits 1914 vorgeschlagen hatte, und zu denen man später allgemein überging. Die Drachenstation führte auch verschiedene Versuche aus, ein Netz von Drachen, die durch lange Querdrähte miteinander verbunden waren, in die Luft zu setzen, um die Abwehrwirkung zu erhöhen. Aber diese Versuche mißglückten fast alle wegen des Durchhanges der Querdrähte; die Drachen wurden unstabil und störten einander. Doch hatten die Versuche den Erfolg, daß der Abwehrtrupp die Technik gut kennen lernte und frühzeitig mit deren Schwierigkeiten bekannt wurde, die man in militärischen Kreisen allgemein unterschätzte. Eine dauernd arbeitende Fliegerabwehr mit Drachen und Ballons mußte naturgemäß mit einem ganz anderen Materialverbrauch rechnen, wie eine aerologische Drachenstation. Es ist ein Anderes, die Drachen tage- und nächtelang im Winde stehen zu lassen, als einen nur wenige Stunden dauernden Aufstieg auszuführen. Die vom Winde dauernd beanspruchten Drachen werden unstabil und rasch abgenutzt. Der Materialverbrauch war daher bei der Fliegerabwehr ungeheuerlich groß. Als ich einmal zufällig einen Einblick erhielt in die Kosten, die die Fliegerabwehr innerhalb des Marinekorps verursachte, wurde mir der ungeheure Materialverbrauch klar. Die enormen Kosten standen sicher in keinem vernünftigen Verhältnis zu dem Erfolge. Bei der Vervollkommnung der Fliegerabwehr mit Geschützen spielte sich der feindliche Flugbetrieb in den letzten Kriegsjahren in sehr großen Höhen ab, und am Tage ging selten ein Flugzeug unter 3000 m herab. Es blieben daher die Drachen und Ballons meist weit unterhalb der Flughöhe der feindlichen Flieger. Ich habe bei den unzähligen Fliegerangriffen fast nie den Eindruck gehabt, als störten sie sich viel an den Drachen und habe auch nicht sicher feststellen können, daß ein Flieger jemals durch die Abwehr zum Absturz gebracht worden ist; immerhin mag eine mehr moralische Wirkung auf die Flieger, besonders nachts, wo sie in geringerer Höhe flogen, nicht abzusprechen gewesen sein.

Eine Zeitlang habe ich versucht, die zahlreichen Drachen der Flugabwehr der militärischen und wissenschaftlichen Aerologie nutzbar zu machen; dem Brügger Abwehrzug wurden Meteorographen überlassen, um nächtliche Dauerregistrierungen auszuführen; auch wurde ein besonderer Höhenindikator konstruiert, der aus einer einfachen starken Aneroiddose und einem damit verbundenen Hebel, der eine Marke mitnahm, bestand. Dieser Apparat sollte dazu dienen, die mit den Abwehrdrachen nachts erreichten Maximalhöhen einwandfrei festzustellen und damit auch die mit den Abwehrdrachen ausgeführte Windmessung zu verbessern. Leider ließ sich eine ersprießliche Zusammenarbeit mit der Fliegerabwehr nicht erzielen. Erst viel später, als die Drachenstation nach Brügge verlegt war, wurde

¹⁾ Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß auch das Personal der späteren Drachenstation Kurland, deren Leitung H. John im Frühjahr 1916 übernahm, in Breedene ausgebildet worden ist.

die Zusammenarbeit besser. Hätte die Leitung der Fliegerabwehr mit gefesselten Flugkörpern von Anfang an in Händen eines Aerologen gelegen, dann hätte die Abwehr sicher weit mehr geleistet und vor allem ökonomischer gearbeitet, d. h. mit viel geringeren Kosten. Ein Versuch, die Leitung in meine Hände zu bekommen, scheiterte jedoch bei den in Frage kommenden Behörden.

Die Aufstiegstechnik. Die Eigenart des flandrischen Küsten-Klimas mit seinen häufigen Stürmen und auffallend turbulenten Bodenwinden bereitete der Drachentechnik große Schwierigkeiten und zwang wegen der Nähe des Meeres zu besonderer Vorsicht. Die am meisten gefährdete Richtung war leider gerade die S bis SW-Richtung, bei der auf der Front heranrückender Depressionen sehr starke Windzunahme in den unteren Luftschichten die Regel ist. Gelegentlich wurden bereits in 200 m Höhe Geschwindigkeiten von über 30 ms beobachtet, von einer Turbulenz, wie ich sie vom Lindenberg- Observatorium nicht gewöhnt war. Es kam mir dies anfangs recht überraschend vor, bis ich die Ursache in der eigenartigen turbulenten Windbewegung der Küste kennen lernte, wo beim Übertritt der Luftströmungen von der See aufs Land sich eine turbulente Bodenschicht ausbildet, von der im Kapitel „Windverhältnisse“ später ausführlicher die Rede sein wird. Diese Erscheinung erschwerte die Aufstiege sehr und gab zu manchen Havarien Veranlassung. Wiederholt wurden selbst starke Kastendrachen in dieser turbulenten Bodenschicht in der Luft zerdrückt. Schirmdrachen waren dabei gar nicht zu gebrauchen, und auch die Großborsteler Flügeldrachen waren für diese Stürme zu schwach und wurden „direktionslos“. Dieser Umstand zwang zum Bau besonders starker Sturm- drachentyp bewährte sich sehr gut und hielt die schwersten Stürme aus. Um die Landung bei Sturm zu erleichtern, wurde an der Hinterzelle eine ca. 100 m lange mit einem Bleigewicht beschwerte Fangleine angebracht, die gleichzeitig in der Art eines Drachenschwanzes stabilisierend wirkte. Um große Apparatverluste zu vermeiden, wurden übrigens bei Sturm häufig Aufstiege ohne Meteorographen ausgeführt und die Windwerte aus den Zügen abgeleitet, wie es vor Jahren schon vom Aeronautischen Observatorium Lindenberg für die Zwecke der Luftschiffahrt eingeführt wurde. Die Schätzung der Windwerte aus Zug und Stellung der Drachen ist für praktische Zwecke im allgemeinen genügend genau, doch möchte ich auf einen Umstand hinweisen, der eventuell zu Fehlern geführt hat, wo er nicht genügend beachtet worden ist. Die Funktion Windgeschwindigkeit und Zug, für die meist die empirisch gewonnenen Werte des Aeronautischen Observatoriums benutzt wurden, gilt nur für die dortige Drachenbauart und dieselbe Fesselungsart. Als man später zu abweichenden Drachentypen überging und statt Gummifesselungen Federfesselungen benutzte, galt diese empirische Beziehung nicht mehr. Eine Prüfung der Elastizitätsverhältnisse beider Fesselungsarten zeigte mir, daß beide Fesselungen bei gleicher Belastung sich nicht gleichmäßig ausdehnen. Bei starken Zügen ist die Ausdehnung der Gummifesselungen größer als die der Federfesselungen. Daher legen sich bei starkem Winde die Drachen mit elastischer Federfesselung weniger flach in den Wind. Daraus ergibt sich, daß bei beiden Fesselungen dieselbe Windstärke nicht denselben Zügen entspricht, und zwar wächst die Differenz mit zunehmendem Zuge. Es wurde dadurch nötig, neue Kurven für die Beziehung zwischen Zug und Windgeschwindigkeit empirisch abzuleiten.

Da wiederholt Abreißer in See verloren gingen, wurde auch versucht, schwimmfähige Drachen zu bauen. Es geschah durch Aufnähen eines Wulstes von Kapokwolle in den Drachenstoff an der Rückseite der Vorder- und Hinterzellen, was keine wesentliche Gewichtsvermehrung bedeutete. Da die Meeresströmung an der flandrischen Küste von Ostende bis Holland überwiegend gegen die Küste gerichtet ist, wären diese Schwimmdrachen nach kurzer Zeit an den Strand getrieben, oder doch von Wachschiffen aufgefischt worden. Bei der Seltenheit der Abreißer konnten Erfahrungen darüber jedoch nicht gesammelt werden. Die wenigen Abreißer fanden fast alle auf der Front von Depressionen bei S—SW-Wind statt und fielen dicht am Strand in der Richtung gegen Zeebrügge nieder. Gelegentlich kamen auch Drachenabbrenner vor, ohne daß immer ein Blitzschlag beobachtet wurde. Der Draht

war meist in großer Länge ausgeglüht und zeigte Brandspuren. Diese Abreißer fanden fast ausnahmslos im Winter bei Sturm oder Böen statt.

Eine Schwierigkeit für Fesselballonaufstiege bildete das häufige starke Auffrischen der Winde an der Küste in den Vormittagsstunden (Seewindeinfluß der täglichen Periode); besonders charakteristisch war das an echten Seebrisentagen. War der Ballon zur Zeit des Eintreffens der Brise nicht eingeholt, so wurde er weit landeinwärts zu Boden gedrückt, und mußte unter Schwierigkeiten über die zahlreichen Wassergräben bugsiert werden. Für Drachenaufstiege war die Seebrise auch nicht geeignet, da sie nur am Boden stark genug war, sodaß die Drachen auf der Windschicht schwammen und in den oberen schwachen Gegenwind nicht hineingingen. Oft hatte ich geradezu das Gefühl, als fehlten der Küste die für hohe Aufstiege günstigen mittleren Windgeschwindigkeiten, und seien überwiegend die Extreme vertreten, eine Ansicht, die allerdings durch die Windstatistik nicht gestützt werden kann. Sehr wertvoll wären Nachtaufstiege mit Drachen und Ballons gewesen, um bei Sonnenaufgang die Flugplätze mit Windwerten bedienen zu können. Aber es war nicht möglich, aus Personalmangel und technischen Schwierigkeiten regelmäßige Nachtaufstiege einzurichten. Dazu wäre auch ein lichtstarker Scheinwerfer nötig gewesen, dessen Benutzung aus militärischen Gründen nicht zulässig war und die übrigen Scheinwerfer der Fliegerabwehr gestört hätte. Nur Fesselballonaufstiege wurden nachts in dringenden Fällen ausgeführt, indem an den Ballon, um ihn sichtbar zu machen, eine elektrische Lampe gehängt wurde, sodaß er ca. 5 Minuten lang beim Auslassen sichtbar blieb.

Die Verlegung der Drachenstation nach Brügge. Unter den mannigfachen Schwierigkeiten, mit denen die Station an der Küste zu kämpfen hatte, war die ernstlichste die zunehmende Gefährdung der deutschen Flieger durch die Drachenaufstiege. Dieser Umstand störte den Betrieb sehr und war daran schuld, daß keine großen Höhen erreicht werden konnten. Die Station war für die umliegenden, nicht weit entfernten Flugplätze der „innere Feind“, wie ein Flieger sich mir gegenüber äußerte. Trotz aller Abmachungen über rechtzeitige telephonische Benachrichtigungen von beabsichtigten Flügen einerseits und Drachenaufstiegen andererseits, blieben die Schwierigkeiten bestehen; es kam vor, daß der eine Flugplatz morgens telephonisch einen Drachenaufstieg und Windmessungen forderte, und ein anderer Flugplatz 5 Minuten später heftig ersuchte, die Drachen herunterzunehmen. Aus diesem Dilemma gab es keinen Ausweg; die Gefährdung der Flieger wuchs beständig, da der Flugbetrieb über dem Abschnitt dauernd zunahm. Vorsichtsmaßregeln zur Warnung der Flieger, wie das Auslegen eines großen weißen Tuches mit rotem Pfeil in der Drahrichtung, versagte bei großer Drahtlänge. Die Flieger kümmerten sich auch wenig um die Drachen. Am 12. November 1916 erfolgte tatsächlich der erste lange schon gefürchtete Zusammenstoß. Ein Marineflieger stieß mit dem Draht zusammen und stürzte ab, konnte aber schließlich das Flugzeug wieder auffangen. Sonderbarerweise wurde dabei an dem Dynamometer keine wesentliche Zugvermehrung verspürt. Von nun ab mußten die Aufstiege der Drachenstation stark eingeschränkt und die Station schließlich verlegt werden. Man entschloß sich bei der Suche nach einem neuen Aufstiegsplatz für die Umgebung von Brügge, wo der Flugbetrieb geringer war und auch elektrischer Strom zur Verfügung stand. Die Übersiedelung erfolgte im Juli 1917, die ersten Aufstiege fanden bereits anfangs August 1917 statt.

Die neue Drachenstation lag in St. Michel, einem Vorort von Brügge, östlich der Straße nach Thourout auf einer Radrennbahn. Die genauen geographischen Koordinaten sind $\varphi = 51^{\circ} 11' 25''$ n. L. $\lambda 3^{\circ} 11' 44''$ ö. L. Die Höhe der Station betrug 9.6 m über NN. Die Nähe der Häuser, Gärten und Parkanlagen machten ein weites Austragen der Drachen unmöglich.

Die Einrichtung der Station war der von Breedene, die früher beschrieben wurde, ähnlich; die Stromzuführung erfolgte wieder vom Windenhouse bis zum Rande des Aufstiegsplatzes als Kabel, von da oberirdisch an Bäumen entlang zum Netz der 1 km entfernten elektrischen Straßenbahn. Da die Leitung unsachgemäß an den Bäumen entlang gelegt war, gab es nach jedem Sturm Betriebsstörungen, und die Leitung zerriß. Auch sonstige Störungen durch Bombenwürfe in Brügge, die die Stromzuführung störten, gab es häufig. Das Windenhaus war mit geringen Abänderungen wie das der Drachenstation

fand um Sonnenaufgang oder 1—2 Stunden nachher statt, nachdem bei Hellwerden erst ein Pilot ausgeführt worden war. Der zweite Drachenaufstieg fand um Mittag oder kurz nach Mittag statt. In den letzten Monaten der Tätigkeit in Breedene/Meer mußten aus militärischen Gründen die Fesselaufstiege auf die späteren Nachmittagsstunden verlegt werden. Die genaueren mittleren Zeiten sind in den einzelnen Teilen der nachfolgenden Bearbeitung, wo es nötig ist, angegeben. Es sind bei der Bearbeitung durchweg die Aufstiegswerte benutzt, die einwandfreier sind als die Abstiegswerte, erstens wegen des geringeren Nachhinkens der Instrumente, besonders aber wegen der beim Abstieg durch die Verdunstung an dem aus niederen Wolken heraustretenden Thermometerkörper entstehenden Fehler. Bei den Fesselballonaufstiegen wurden dagegen meist die Mittelwerte aus Auf- und Abstieg gebildet.

Erwähnt sei noch, daß im Juni 1918, um den besonderen Windverhältnissen in der Nähe der Front und an der Küste Rechnung zu tragen, noch eine Zweigstation der Drachenstation eingerichtet wurde, die in der Nähe von Raversyde hinter den Dünen lag. Die Station erhielt Registrierinstrumente, einen Baro- und Thermographen, sowie eine Pilotausrüstung. Die Ergebnisse dieser Station konnten in der nachfolgenden Bearbeitung nur teilweise berücksichtigt werden, da ich nach dem Rückzug aus Belgien den Verbleib der Station nicht mehr habe ausfindig machen können.

Das Ende der Drachenstation. Als Anfang Oktober 1918 der Rückzug aus Belgien vorbereitet wurde, erhielt die Drachenstation Befehl, sofort abzubauen und sich nach Wilhelmshaven zu begeben. Das Windenhaus und die Drachenschuppen wurden daher durch Feuer zerstört, auch mußte aus Mangel an Transportgelegenheit ein kleines Lager von Wasserstoffflaschen zurückgelassen werden. Alles Übrige, Material und Instrumentarium, begab sich mit dem Personal über Antwerpen nach Wilhelmshaven, wo die Drachenstation bei Beginn der Revolution sich auflöste.

Die praktische, kriegsmäßige Verwertung der aerologischen Beobachtungen einer Kritik und Besprechung zu unterziehen, möchte ich unterlassen, da dafür zur Zeit kaum noch Interesse vorhanden sein dürfte. Ich habe mich auf die rein technische und wissenschaftliche Seite der Bearbeitung beschränkt, was um so berechtigter ist, als es lediglich Aufgabe der Drachenstation war, die Beobachtungen auszuführen. Diese wurden telephonisch an das Observatorium Ostende, später Blankenberghe weitergegeben und dort für hydrographische und militärische Zwecke verarbeitet und an die interessierten militärischen Formationen weitergegeben. Nur die ballistisch-aerologischen Fragen wurden selbständig von Herrn Dr. Hölling bearbeitet, der zu diesem Zwecke der Drachenstation zugeteilt wurde. Darauf näher einzugehen, steht mir nicht zu, und ist auch im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung nicht angebracht.

B. Die Windverhältnisse über Breedene/Meer und St. Michel bei Brügge.

Kritische Bemerkungen über die Fehler aerologischer Windmessungen.

Über die Leistungsfähigkeit der aerologischen Methoden zur Windmessung herrschen vielfach unklare Vorstellungen, und die Genauigkeit wird vielfach überschätzt, besonders von solchen, die die aerologische Praxis nicht kennen gelernt haben. Es kann hier nicht der Ort sein, die verschiedenen Fehlerquellen gründlich zu untersuchen, da dies sehr umfangreicher Vorarbeiten bedürfte. In einigen neueren Arbeiten hat man bereits begonnen, diese Fehler zu untersuchen, ohne daß die Frage vollkommen geklärt ist. Für die vorliegenden Beobachtungen von Flandern gilt in dieser Beziehung dasselbe, was generell für die ganze aerologische Methode gilt. Besondere Fehlerquellen sind dagegen nicht vorhanden, und bei der Auswertung ist mit größter Vorsicht und Gründlichkeit verfahren worden. Die einfachen Pilotvisierungen habe ich teilweise selbst ausgewertet und alle laufend revidiert. Die Drachen- und Fesselballonaufstiege sind während der ganzen Tätigkeit der Drachenstation fast ausnahmslos von mir selber ausgewertet worden. Gerade im Kriege lagen die Hauptfehlerquellen und Ungenauigkeiten auf mehr persönlichem Gebiete, da die Auswertung vielfach ungetübtem, wissenschaftlich nicht geschultem Personal überlassen wurde. Die Güte der gesamten Kriegsbeobachtungen ist daher sehr

ungleich und erreicht im Durchschnitt lange nicht die Höhe, wie etwa die Beobachtungen des Aerologischen Observatoriums Lindenberg. Dieser Mangel fällt für eine synoptische Bearbeitung des Kriegsmaterials sehr ins Gewicht.

Die Hauptfehler und Nachteile der aerologischen Methoden, soweit es die Windmessungen betrifft, seien kurz hervorgehoben.

1. **Methodische Fehler und Unzulänglichkeiten.** Die aus Drachen und Piloten gebildeten Mittelwerte müssen gewisse Abweichungen ergeben, da die beiden Methoden bestimmte Witterungsverhältnisse bevorzugen. Die Drachen benötigen eine Windgeschwindigkeit von ca. 5 mps und müssen in der Höhe Windzunahme antreffen, so daß allgemein die geringen Windgeschwindigkeiten herausfallen. Schon aus diesem Grunde werden die Drachen höhere, die Piloten geringere mittlere Windgeschwindigkeiten liefern müssen.

Ferner fallen andere bestimmte Wettertypen heraus; und selbst bei Anwendung aller zur Verfügung stehenden aerologischen Methoden wird man die wahren Mittel nicht vollkommen erreichen.

a) **Sturmlagen.** Bei zu stürmischem Winde und zu starker Windzunahme mit der Höhe sind große Höhen mit Drachen nicht zu erreichen. Die Grenze liegt ungefähr bei 25 mps in 500—1000 m. Stellt man alle Sturmlagen zusammen, so beträgt die mittlere erreichte Höhe kaum 1500 m.

b) Es gibt einen nicht seltenen Windtypus, der sowohl Drachen wie Fesselballons unzugänglich ist und dadurch charakterisiert ist, daß der Wind unten für Drachen nicht ausreicht, in größeren Höhen aber für Fesselballons zu stark ist. Wir nannten diesen Typ in Flandern geradezu „Zeppelinwetter“, da bei dieser Windverteilung auffallend oft günstiges „Zeppelinwetter“ herrschte. Zur Überbrückung dieser auch in Lindenberg fühlbaren Lücke in den Beobachtungen hat seinerzeit Assmann Versuche mit Drachenballons angestellt, aber ohne besonderen Erfolg.

2. Bei Piloten ist ohne weiteres klar, daß die Methode an der Wolkengrenze zu Ende ist; selbst bei geringer Bedeckung mit tiefen Wolken werden fast nie größere Höhen erreicht. Es fallen daher alle Wetterlagen mit großer Häufigkeit tiefer Wolken, also überwiegend zyklonale, stark heraus, aber auch ein Teil der antizyklonalen Wetterlagen mit Cu- und Str-cu-Bewölkung. Ebenso versagt die Methode bei starker Windzunahme ohne starke Drehung bis große Höhen, da infolge großer Entfernung bald die Sichtgrenze des Ballons erreicht ist.

3. **Methodische Fehler der einfachen Visierungen.** An den Lindenger Doppelvisierungen habe ich bereits im Jahre 1912¹⁾ gezeigt, daß die Aufstiegsgeschwindigkeiten in den ersten Minuten erheblich größer sind, als die nach Hergesell oder Hesselberg zu Grunde gelegten. Ich habe diese größeren Aufstiegsgeschwindigkeiten in der Bodenschicht auf die dort überwiegenden aufsteigenden Luftströme zurückgeführt. W e n g e r sieht die Ursache in der durch Turbulenz verminderten Reibung. Hier bleibe dahingestellt, welche Erklärung die richtige ist, oder ob etwa beide Ursachen nebeneinander bestehen. Der hier interessierende Effekt ist jedenfalls, daß die Piloten in den unteren Schichten rascher steigen, als bei der Auswertung vorausgesetzt wird. Wenn dies richtig ist, woran nicht mehr zu zweifeln ist, dann muß sich bei gleichzeitigen Drachen- und Pilotaufstiegen eine systematische Differenz in den gemessenen Windgeschwindigkeiten zeigen. Im Mittel ist diese auch vorhanden, wie die nachstehenden Windgeschwindigkeiten aus 57 gleichzeitigen Drachen- und Pilotvisierungen von St. Michel beweisen.

Bei 200 m findet sich eine außerordentliche Abweichung von 2.3 ms, oberhalb 500 m werden die Differenzen unerheblich.

Tabelle 1.

	Unten	200	500	1000	1500
Drachen	4.0	12.9	13.7	12.5	11.7
Pilot	4.0	10.3	13.1	12.2	11.5
Abweichung Drachen - Pilot	0.0	2.6	0.6	0.3	0.2

Die Abweichung erklärt sich dadurch, daß in den unteren Schichten mit zu kleinen Aufstiegsgeschwindigkeiten ausgewertet wird, wodurch die Windgeschwindigkeiten zu klein werden. Der ungefähre quantitative Betrag dieses Fehlers für eine bestimmte Pilotgröße und Füllung ist der erwähnten Arbeit leicht zu entnehmen; die mittlere Geschwin-

¹⁾ Lindenger Jahrbuch 1911, Bd. VII und 1913, Bd. IX.

digkeit für 103 g - Piloten bei einem Auftrieb von 188 g beträgt 201 m/min, nach Hergesell nur 192 m. Der Fehler beträgt danach ca. 5 %; man kommt bei 10 ms Wind auf einen Fehler von 0.5 ms. Die obige Abweichung in 200 m ist allerdings noch größer.

Die Aufstiegs geschwindigkeit der Pilotballons läßt sich auch für die flandrische Küste an den von Dr. Schulz vom Observatorium Ostende und der Feldwetterwarte IX zusammen im Sommer 1915 ausgeführten Doppelvisierungen prüfen. Die eine Station befand sich auf der Terrasse der Strandpromenade, die andere auf der Mole. Aus 32 einwandfreien Visierungen fand ich folgende mittlere Aufstiegs geschwindigkeiten bei annähernd gleicher Ballongröße und Füllung:

Tabelle 2.

Minute	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—10	10—15	15—20	20—25
Aufstiegs geschwindigkeit in ms.	4.00	3.33	3.20	3.25	3.22	2.50	2.67	3.00	3.00	3.00	3.23	3.17
Abweichung vom Mittel (0 bis 25 Minuten)	+0.83	+0.16	+0.03	+0.08	+0.05	-0.67	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17	+0.06	+0.00

Danach liegt die Aufstiegs geschwindigkeit in der Bodenschicht bis 1000 m Höhe über dem Mittel, in größerer Höhe darunter. Bei der 6. bis 7. Minute befindet sich eine bemerkenswerte Verlangsamung der Vertikalbewegung. In großen Zügen ist der vertikale Gang der Abweichungen sehr ähnlich dem für Lindenberg, woraus man schließen kann, daß die die Aufstiegs geschwindigkeit verändernden Ursachen sehr allgemeiner Natur sein müssen.

Übrigens liegt auch in der Art der Auswertung der Piloten eine Quelle für Ungenauigkeiten. Man versteht unter Windgeschwindigkeit in einer bestimmten Höhe bei Piloten das Mittel des in einer Minute zurückgelegten Windweges. Bei einem Piloten mit 200 m/min Aufstiegs geschwindigkeit darf man nicht das Mittel der ersten Minute für den Wind in 200 m setzen. Da der Wind vom Anfang bis zum Ende der ersten Minute durchschnittlich auf den doppelten Betrag anwächst, ist das Mittel der Windgeschwindigkeit aus den beiden ersten Minuten richtiger. Genauer sind $\frac{1}{2}$ minütliche Ablesungen, aber bei aller Vorsicht bleibt die Windmessung in den ersten Minuten immer ungenau, da Turbulenz, Vertikalbewegungen und gewisse Ungenauigkeiten beim Ablesen der sich zuerst rasch ändernden Visierwinkel Fehler verursachen. Diese spielen für praktische Zwecke, wie im Kriege, keine große Rolle, zumal der Wind ein sehr veränderliches Element ist; auch bei Mittelwerten werden die Fehler sich teilweise eliminieren, nicht aber im Einzelfalle; ganz besonders beim Entwerfen von Stromlinien ist große Vorsicht angebracht bei der Verarbeitung des Materiales.

Ich will noch auf einige Fehlerquellen aufmerksam machen, die in der Aerologie seither nicht die gebührende Beachtung gefunden haben.

Um vergleichbare Windmessungen zu erhalten, müssen auch bei derselben Methode die theoretischen Grundlagen der Messung dieselben sein. Diese Bedingung ist auch nicht erfüllt, da z. B. bei den Pilotvisierungen teilweise mit den Aufstiegs geschwindigkeiten von Hergesell, teilweise mit denen von Hesselberg ausgewertet wurde, wodurch systematische Abweichungen zu Stande kamen.

Die Papierballonmethode ist ebenfalls vielfach nicht mit der nötigen Vorsicht angewendet worden, wovon ich mich mehrmals habe überzeugen können. Dieser Methode habe ich immer mißtrauisch gegenübergestanden, da ich einerseits selbst schlechte Erfahrungen mit der Zuverlässigkeit bei Versuchen gemacht habe, andererseits Beweise dafür habe, daß andere Stationen mit dieser Methode sehr fehlerhafte Windmessungen lieferten. Es ist wiederholt vorgekommen, daß von benachbarten Stationen Windgeschwindigkeiten von 20—30 ms mit Papierpiloten gemessen wurden, während sich gleichzeitig unsere Drachen kaum hielten. Allgemein scheint dabei der Fehler gemacht worden zu sein, daß in größeren Höhen infolge der mit der Höhe abnehmenden Aufstiegs geschwindigkeiten durchgängig zu hohe Windwerte erhalten wurden, indem die Papierpiloten früher als erwartet ins Schwimmen gerieten.

Eine andere Fehlerquelle bei den Drachenanemographen liegt bereits in der Eichung der Apparate, indem nicht überall dieselben Eichungsmethoden angewendet wurden. Bei großen Windgeschwindigkeiten stimmen die Eichungen nach verschiedenen Methoden mit Prüfungs kanälen oder nach dem Combes-

sehen Verfahren schlecht miteinander überein. Die entstehenden Fehler sind zur Zeit quantitativ nicht zu übersehen und könnten nur dadurch beseitigt werden, daß man die Prüfungseinrichtungen der verschiedenen Drachenstationen miteinander vergliche und sich auf eine Standardmethode einigte.

Die Ableitung von Tagesmitteln der Windgeschwindigkeit aus Terminbeobachtungen.

Da man sich vielfach daran gewöhnt hat, die aus einzelnen Terminaufstiegen abgeleiteten Mittelwerte als Tagesmittel schlechthin anzusehen, ist es notwendig, zu untersuchen, wie sich diese Terminmittel zum wahren Tagesmittel verhalten. Die Drachenaufstiege finden überwiegend am Tage statt. In der Bodenschicht ist untertags die Windgeschwindigkeit größer als nachts, es ist daher zu erwarten, daß die aus Tagerterminen abgeleiteten Mittelwerte über den wahren Mitteln liegen. In der freien Atmosphäre, wo untertags das Minimum der Geschwindigkeit eintritt, werden die Terminmittel unter dem wahren Mittel bleiben. Um einen Überblick über den Sinn und die Größenordnung dieser Abweichungen zu erhalten, habe ich 2 Arbeiten von A. Pepler, über die tägliche Periode der Windgeschwindigkeit in Ostende (in 30 m Höhe), und über Lindenberg benutzt.¹⁾ Die Abweichungen der Mittel aus den gebräuchlichsten Terminen vom wahren Tagesmittel für verschiedene Höhen sind in Tab. 3 berechnet.

Bei diesen Abweichungen ist zunächst zu bedenken, daß die Genauigkeit der aerologischen Methoden an und für sich nicht groß ist. Die Verhältnisse liegen auch nicht so einfach, daß durch Korrekturen der Terminmittel viel zu gewinnen ist. Am Boden liegen die Terminmittel I, II und III alle über dem Mittel, da die Windgeschwindigkeit hier zwischen 10 a und 8 p erheblich über dem Mittel liegt. In 500 m ist die Tagesperiode die umgekehrte, die

Tabelle 3.

	I	II	III
	$7a + 2p$	$8a + 3p$	$7a + 2p + 7p$
	2	2	3
Unten (Ostende 30 m)	0.08	0.15	0.10
500 m	-0.21	-0.27	-0.16
1000 m	0.04	0.03	-0.05
2000 m	-0.02	-0.10	-0.14

Terminmittel sind daher um einen wesentlichen Betrag (ca. 0.2 mps) zu klein. Am geringsten sind die Abweichungen in 1000 m; oberhalb 1000 m können die Abweichungen in Anbetracht der mit zunehmender Höhe rasch unsicherer werdenden aerologischen Mittel vorläufig noch vernachlässigt werden, wenn sich auch bei der späteren Untersuchung der täglichen Periode über der Küste eine viel größere Differenz der Geschwindigkeiten am Morgen und am Nachmittage in größeren Höhen herausstellt.

Über die Methode der Mittelbildung.

Bei der Mittelbildung der Windgeschwindigkeit ist zu beachten, daß die aus den absoluten Werten der einzelnen Höhen errechneten Mittel nicht dieselben Werte, wie die nach der Differenzenmethode an die Bodenwerte angeschlossenen ergeben. Nachdem hierauf von verschiedenen Seiten, zuerst von A. Wegener,²⁾ hingewiesen worden ist, hat man sich allgemein daran gewöhnt, mit der Differenzenmethode zu rechnen. Sie muß bessere Mittel liefern, da die absoluten Werte der Windgeschwindigkeit stärker um das wahre Mittel streuen, als die vertikalen Änderungen. Es ist daher auch in der vorliegenden Bearbeitung immer nach Differenzen gerechnet. Nur bei der Untersuchung über die mittleren

¹⁾ A. Pepler, der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit bis 2000 m über Lindenberg. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, VI. Band und der tägliche Gang der Windgeschwindigkeit in 30 m Höhe über Ostende und 90 m Höhe über Brügge. Meteor. Zs. Heft 3 und 4, 1919. Es ist natürlich fraglich, ob die tägliche Periode der freien Atmosphäre über Lindenberg auf die über Flandern übertragen werden darf.

²⁾ A. Wegener. Über die Ableitung von Mittelwerten aus Drachenaufstiegen ungleicher Höhe. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. III. Band.

Geschwindigkeiten nach Quadranten der Windrose war die Methode nicht anwendbar und es mußte die direkte Mittelbildung gewählt werden. Dadurch sind diese Mittel mit den Differenzenmitteln nicht vergleichbar, wohl aber untereinander, was auch lediglich der Zweck der Tabellen 12 u. 21 ist. (S. später.)

Die Abweichungen der Mittel beider Methoden werden naturgemäß um so größer, je mehr die Zahl der Beobachtungen mit der Höhe abnimmt. Um den Betrag dieser Differenzen kennen zu lernen, sind nachstehende beiden Reihen von Lindenberg und St. Michel nebeneinandergestellt.

Differenzen der Windgeschwindigkeitsmittel nach der absoluten und der Differenzenmethode.

	500	1000	1500	2000	2500 m
Lindenberg 1903 — 1908 (A. Pepler)	-0.1	-0.1	0.1	0.3	0.7
St. Michel (August 1917 — September 1918.)	0.0	-0.1	-0.5	-0.9	-1.4

Die Abweichungen sind bis 1000 m sehr gering und wachsen darüber rasch an. Infolge der in verschiedenem Maße benutzten Aufstiegsmethoden, — Lindenberg hat nur Fesselaufstiege, St. Michel in größeren Höhen überwiegend Piloten — sind die Abweichungen bei beiden Reihen nicht im selben Sinne. In Lindenberg gibt die absolute Methode in den oberen Höhenstufen größere Windgeschwindigkeiten als die Differenzenmethode, in St. Michel umgekehrt letztere.

Eine völlige Klarstellung der Fehlerfrage der einzelnen Methoden würde sehr umfangreiche Rechnungen erforderlich machen mit einem viel größeren Material als das vorliegende aus Flandern, eine Arbeit, die sehr mühsam ist. Sie würde sich aber lohnen, da sie sowohl über die Streuung der meteorologischen Beobachtungen aller Elemente in der freien Atmosphäre um das wahre Mittel Aufschluß geben würde, als auch über die Fehlergrößen der aerologischen Methoden.

I. Die Windverhältnisse über der Küste. (Breedene / Meer.)

Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeiten von Breedene und Lindenberg. Man hat schon mehrmals an der Hand von Mittelwerten längerer Reihen versucht, Schlüsse zu ziehen auf die Differenzen der Windgeschwindigkeit der freien Atmosphäre über Mittel- und Westeuropa, resp. über Land und Küste; aber die Ergebnisse sind nicht einwandfrei gewesen, da man neben der Unzulänglichkeit aerologischer Beobachtungen, die vorläufig immer noch den Charakter von „Stichproben“ haben, noch außer Acht gelassen hat, gleichzeitige Beobachtungen zu benutzen. Bei der Veränderlichkeit des Windes selbst im Mittel längerer Reihen, ist es bedenklich, nicht korrespondierende Beobachtungen zu einem Vergleich zu benutzen.

Um alle Fehlerquellen nach Möglichkeit auszuschließen, wäre es nötig, nur möglichst gleichzeitige Windmessungen derselben Methode zu benutzen. Letzteres ist nicht außer Acht zu lassen, da es wahrscheinlich ist, daß Windmessungen aus Drachenaufstiegen, Piloten und Fesselballonaufstiegen, kleine methodische Differenzen aufweisen aus Gründen, die ich bereits bei der Kritik der Beobachtungen eingangs erörtert habe. Diese strengen Anforderungen völliger Gleichzeitigkeit und Homogenität lassen sich leider bei dem aerologischen Materiale kaum verwirklichen, und man muß, um das gesamte Beobachtungsmaterial nicht zu stark zu reduzieren, hoffen, daß die erwähnten methodischen Fehler nicht erheblich sind, und andere Fehler in den großen Mitteln verschwinden. Man kommt daher doch immer wieder dazu, die Mittel großer Zahlen zur Erforschung von meteorologischen Gesetzmäßigkeiten heranzuziehen und der exakten Untersuchung des Einzelfalles innerhalb gewisser Grenzen zu mißtrauen.

Um eine Serie gleichzeitiger Beobachtungen vergleichen zu können, habe ich neben Breedene die mir zur Zeit allein zur Verfügung stehenden Mittelwerte von Lindenberg, und zwar das Jahr 1916, benutzt. Die Werte für Lindenberg sind dem Jahrgang 1916 der Arbeiten des Kgl. Aeronautischen Observatoriums entnommen. Es sind Mittelwerte der 3 Termin-Fesselaufstiege. Die Werte von Breedene sind Mittel aus allen Aufstiegen; die häufig fehlenden Drachenaufstiege sind durch Piloten ersetzt, ein Verfahren, was gewisse methodische Differenzen schafft, aber ich habe die Überzeugung, daß dadurch

die Mittel nicht wesentlich beeinflußt sind. Gegen Lindenberg werden die Werte von Breedene vielleicht noch etwas zu kleine Windgeschwindigkeiten liefern, da die Pilotmethode als Schönwettermethode die geringeren Windgeschwindigkeiten bevorzugt.

Trotz dieser Bedenken glaube ich, daß die ev. hervortretenden Differenzen beider Beobachtungsreihen ein Maß liefern für die charakteristischen Unterschiede für die freie Atmosphäre über dem Kontinent und der Küste. Es dürfte dies überhaupt der erste Vergleich von zwei gleichzeitigen Beobachtungsreihen sein, worauf sonderbarerweise bei früheren Untersuchungen niemals Wert gelegt worden ist.

Um einen Überblick zu haben über die Größenordnung der Abweichungen der einzelnen Jahresmittel voneinander, habe ich für Lindenberg die Mittelwerte¹⁾ zusammengestellt. Es sind Mittelwerte aus Nachmittagsaufstiegen (ca. 2—3 p), da bei den Morgenaufstiegen der Termin nicht immer eingehalten worden ist.

In dieser kurzen 6jährigen Reihe ist die Schwankung oben doppelt so groß, wie am Boden (2 ms). Bei nichtkorrespondierenden Jahresmitteln zweier Stationen würde man also Differenzen von 2 ms als mögliche einzuschätzen haben. Dabei bleibe es dahingestellt, mit welchem Betrage die wirklichen Änderungen von Jahr zu Jahr, mit welchem die Fehler der Beobachtungsmethode eingehen. —

Bedenklich ist, wie bei allen Windmessungen, der Vergleich der Bodenwerte: Der Lindener Anemograph registriert auf dem Dach des Windenhauses, das auf dem Rücken des Aufstiegsberges völlig frei gelegen ist.²⁾ Hellmann weist darauf hin, daß die mittlere Windgeschwindigkeit in Lindenberg auffallend hoch ist gegenüber Nauen und Potsdam. Während die Lindener Werte ca. 8 m über dem Boden, resp. ca. 38 m über der weiteren Umgebung gemessen sind, sind die Breedener Beobachtungen mit einem Fueß'schen Handanemometer oder einem Anemotachometer von Morell in 3 m Höhe frei über der völlig ebenen, kahlen Weide, die als Aufstiegsplatz diente, ca. 400 m hinter den ca. 20—25 m hohen Dünenzügen angestellt. Das Gemeinsame ist also an beiden Stationen nur die völlig freie Lage gegenüber der Umgebung, aber es ist schwer zu sagen, um welchen Betrag die in 3 m über dem Boden gemessenen Windwerte zu erhöhen sind, um sie mit Lindenberg vergleichen zu können. Auch die Registrierungen des Anemographen in Ostende in 30 m Höhe über dem Boden können diese Schwierigkeiten nicht beheben, worauf ich später noch zurückkommen werde.

Berücksichtigt man, daß in der untersten 50 m Höhe über dem Boden die Zunahme der Windgeschwindigkeit besonders groß ist, so werden die in nur 3 m Höhe über dem Boden gemessenen Windwerte von Breedene gegenüber Lindenberg sicher zu klein sein. Es erübrigt sich, noch weitere Spekulationen anzuführen, da das Problem mir unlösbar erscheint, die Bodenmessungen durch irgendwelche Korrekturen auf einander zu reduzieren. Da es sich hier vorzüglich um eine Bearbeitung der aerologischen Beobachtungen handelt, sei von der untersten Bodenschicht abgesehen.

Die neueren gründlichen Untersuchungen über die Windverhältnisse der untersten Schichten, von Köppen auf dem Eilveser und Hellmann auf dem Nauener Funkenturm, werden später noch herangezogen. Es mögen nur die in Tabelle 5 zusammengestellten Werte der beiden Stationen diskutiert werden. Es sei noch bemerkt, daß bei beiden die Differenzenmethode benutzt ist, andernfalls wäre ein Vergleich unmöglich, da die direkte Methode mit zunehmender Höhe zu geringe Geschwindigkeiten liefert.

Tabelle 4. Lindenberg.¹⁾

(Jahresmittel der Windgeschwindigkeit. 2—3 p.)

Höhe in m	122	500	1000	1500	2000	2500
1911	6.3	9.2	9.8	10.3	11.0	11.4
1912	6.3	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1
1913	6.2	8.9	9.2	9.4	9.6	9.9
1914	5.9	8.2	8.4	8.6	9.0	9.3
1915	5.3	8.6	8.6	8.9	9.2	9.7
1916	5.8	9.2	9.5	9.7	10.0	10.5
Mittel	6.0	8.9	9.1	9.4	9.8	10.1
Differenz (Max.—Min.)	1.0	1.0	1.4	1.7	2.0	2.1

¹⁾ Aus den Lindener Jahrbüchern, teilweise berechnet von A. Coym.

²⁾ Der Berg war früher völlig kahl, hat sich aber in den letzten Jahren stark mit halbwüchsigen Birken und Gestrüpp bedeckt, die die Registrierungsbedingungen allmählich verändern.

Tabelle 5. Vertikale Windgradienten und Windgeschwindigkeiten.
Breedene/Meer. (Mittel aus allen Aufstiegen.)

Monat	$\Delta v / 100 \text{ m}$					$v \text{ in ms.}$						Verhältnis $v \text{ in } 500 \text{ m}$ zu $v \text{ unten}$
	122/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	unten	500	1000	1500	2000	2500	
Januar 1916	2.22	0.13	-0.04	0.07	0.16	7.7	16.1	16.8	16.6	17.0	17.7	2.1
Februar	1.35	-0.01	-0.03	0.01	0.08	5.8	10.9	10.9	10.7	10.8	11.2	1.9
März	0.68	-0.08	-0.04	0.06	0.07	5.2	7.8	7.4	7.2	7.5	7.9	1.5
April	0.99	-0.07	-0.06	-0.02	0.01	5.4	9.2	8.8	8.5	8.4	8.5	1.7
Mai	0.80	-0.01	0.00	0.06	0.12	5.1	8.1	8.1	8.1	8.4	9.0	1.6
Juni	0.74	0.07	0.03	0.04	0.09	4.3	7.1	7.4	7.6	7.8	8.2	1.7
Juli	0.72	0.05	-0.01	0.04	0.05	4.5	7.2	7.5	7.4	7.7	7.9	1.6
August	0.83	0.11	0.05	0.07	0.14	4.8	8.0	8.5	8.8	9.2	9.9	1.7
September	0.90	-0.03	0.00	0.00	-0.02	4.5	7.9	7.7	7.8	7.8	7.6	1.8
Oktober	1.48	0.10	0.08	0.02	0.08	5.8	11.4	11.9	12.3	12.4	12.7	2.0
November	1.42	0.00	0.02	0.08	0.17	5.4	10.8	10.8	10.9	11.3	12.2	2.0
Dezember	1.65	0.03	-0.02	0.02	0.05	6.0	12.2	12.3	12.3	12.4	12.7	2.0
Winter	1.74	0.05	-0.03	0.03	0.10	6.5	13.1	13.3	13.2	13.4	13.9	2.0
Frühling	0.82	-0.05	-0.03	0.03	0.07	5.3	8.3	8.1	7.9	8.1	8.4	1.6
Sommer	0.76	0.08	0.02	0.05	0.09	4.5	7.4	7.8	7.9	8.2	8.6	1.6
Herbst	1.26	0.03	0.04	0.04	0.08	5.2	10.0	10.1	10.3	10.5	10.8	1.8
Jahr	1.15	0.02	0.00	0.04	0.08	5.4	9.7	9.8	9.8	10.1	10.5	1.8

Breedene/Meer. (Mittel aus allen Aufstiegen.)

Monat	$\Delta v / 100 \text{ m}$					$v \text{ in ms.}$						Verhältnis $v \text{ in } 500 \text{ m}$ zu $v \text{ unten}$
	6/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	unten	500	1000	1500	2000	2500	
Januar 1916	1.51	0.15	0.19	0.14	0.23	6.2	13.7	14.4	15.4	16.1	17.2	2.2
Februar	1.64	-0.06	0.21	0.01	0.12	5.8	14.0	13.7	14.7	14.8	15.4	2.4
März	1.18	0.10	0.15	0.04	0.02	5.0	10.9	11.3	12.0	12.2	12.3	2.2
April	1.13	-0.05	0.01	0.04	-0.01	5.5	11.1	10.8	10.9	11.1	11.0	2.0
Mai	0.92	0.05	0.06	0.06	0.29	4.3	8.9	9.1	9.4	9.8	11.2	2.1
Juni	0.91	0.05	0.13	0.09	0.34	5.5	9.8	10.0	10.7	11.1	12.8	1.8
Juli	0.56	0.02	0.07	0.13	0.12	4.0	6.7	6.9	7.2	7.9	8.5	1.7
August	0.77	0.11	0.08	0.09	0.09	4.9	8.8	9.4	9.8	10.2	10.7	1.8
September	1.11	-0.01	0.03	0.11	0.10	5.0	10.5	10.4	10.6	11.2	11.6	2.1
Oktober	1.79	0.15	-0.05	0.02	0.18	7.6	16.5	17.2	17.0	17.1	18.0	2.2
November	1.42	0.07	0.06	0.32	0.13	5.9	12.9	13.2	13.5	15.1	15.8	2.2
Dezember	1.38	-0.07	0.04	0.06	0.10	4.8	11.7	11.3	11.5	11.8	12.3	2.4
Winter	1.51	0.01	0.15	0.07	0.15	5.6	13.1	13.1	13.9	14.2	15.0	2.3
Frühling	1.08	0.03	0.07	0.05	0.10	4.9	10.3	10.4	10.8	11.0	11.5	2.1
Sommer	0.75	0.06	0.09	0.10	0.18	4.8	8.4	8.7	9.2	9.7	10.6	1.7
Herbst	1.44	0.07	0.01	0.15	0.14	6.1	13.3	13.6	13.6	14.5	15.7	2.2
Jahr	1.11	0.05	0.08	0.09	0.14	5.4	11.2	11.4	11.8	12.2	13.0	2.1

Links in der Tabelle sind die Windgradienten, Änderung der Windgeschwindigkeit pro 100 m, angegeben. Die kleinen Zahlen sind nicht so übersichtlich, wie die ganze Änderung in den einzelnen Schichten; es hat auch keinen rechten Sinn, in der untersten Schicht mit sehr starker Windzunahme mit einem auf 100 m Höhenänderung bezogenen Gradienten, wie bei der Temperatur, zu rechnen, aber es geschah in Anlehnung an die bereits berechneten Lindenberger Mittelwerte. Ein Vergleich der Jahresmittel der Windgradienten beider Stationen zeigt zunächst folgendes: Gemeinsam ist beiden Reihen eine starke Zunahme von über 1 ms/100 m in der Bodenschicht; oberhalb 500 m wird die Windzunahme rasch geringer und nähert sich einem Minimum in der 2. resp. 3. Höhengschicht, um oberhalb 1500 m wieder stärker zu werden. Die Schicht 2000—2500 m hat wieder die größte Windzunahme. Dieser vertikale Gang ist schon früher bei der Bearbeitung anderer Beobachtungsreihen übereinstimmend hervorgetreten, wie bei Großborstel, England und anderen Stationen. Wir wissen heute, daß die Verhältnisse im Bereich der vorherrschenden Westwinde in ähnlicher Weise überall gefunden werden.

Es sind jedoch auch bestimmte Unterschiede zwischen Lindenberg und Breedene vorhanden. Man erkennt, daß, mit Ausnahme der Bodenschicht, der Windgradient an der Küste des Kanals in allen Schichten größer ist als über dem norddeutschen Flachlande, und daß das Minimum des Gradienten in Breedene in tieferer Lage, in der 500—1000 m - Schicht, in Lindenberg in der 1000—1500 m - Schicht liegt. Auch in den Mitteln der einzelnen Jahreszeiten fällt dieses Minimum (s. Fig. 5) meist auf die Schicht 500—1000 m, in Lindenberg nur im Frühling und Herbst. Im übrigen ist der jahreszeitliche Gang der Windgradienten an beiden Stationen der gleiche. Das Minimum hat in der untersten Schicht der Sommer, das Maximum der Winter; der Herbst hat erheblich größere Windzunahme als der Frühling. In der freien Atmosphäre über der Bodenschicht sind die jahreszeitlichen Gradientenmittel ziemlich regellos. Ein bestimmter jährlicher Gang scheint nicht vorhanden zu sein. Überblickt man die Mittel der einzelnen Monate, so ist auch nur für die unterste Schicht ein jährlicher Gang zu erkennen. Das Minimum fällt an beiden Stationen auf den Juli, das Maximum auf den Januar resp. Februar.

Die in der rechten Hälfte der Tabelle 5 enthaltenen Mittel der Windgeschwindigkeit sind durch Anschluß der Differenzmittel an die Bodenwerte erhalten. Die letzte Vertikalspalte enthält die Verhältniszahlen des Windes in 500 m zu dem am Boden. Hier haben im Jahresmittel Breedene und Lindenberg dieselbe Geschwindigkeit. Wie bereits hervorgehoben, sind diese Werte nicht vergleichbar, wegen der ungleichen Höhe der Messungen über dem Boden. In der freien Atmosphäre zeigt sich dagegen sofort, daß die Kanalküste bis zur größten Höhe größere Windgeschwindigkeiten hat als Lindenberg. Die Differenz beträgt bei 500 m 1.5 ms, bei 2000 m 2.5 ms, nimmt also mit der Höhe noch zu. Der Herbst hat sogar eine Differenz von über 3 ms. Sonderbarerweise ist die Differenz am geringsten im Winter.

Der Gang der Monatsmittel an beiden Stationen zeigt in allen Höhen gute Übereinstimmung. Es sind 2 Maxima vorhanden, im Winter (Januar — Februar) und im Oktober. Das letztere ist besonders in Breedene stark ausgeprägt und ist das Hauptmaximum des Jahres. In Lindenberg tritt es stärker zurück. Der Juli hatte an beiden Stationen das Minimum. Diese Übereinstimmung beider Stationen beweist, daß trotz der großen Entfernung die großen, die mittleren Windgeschwindigkeiten bestimmenden Änderungen der Luftdruckgradienten annähernd gleichsinnig erfolgen. Das Ergebnis ist nicht überraschend, da die Kanalküste ebenso wie Norddeutschland im Bereich des atlantischen Depressionsgebietes liegen, dessen Veränderungen die Windverhältnisse der freien Atmosphäre über dem größten Teil Europas bestimmen. Wenn einmal genügend lange Beobachtungen von vielen weitverstreuten aerologischen Stationen vorliegen, werden die Korrelationen weitentfernter Gebiete, ebenso wie am Boden große Bedeutung erhalten.

Im Kriege ist man sich oft der Tatsache nicht bewußt gewesen, wie gleichmäßig die Windverhältnisse über weiten Räumen in der freien Atmosphäre sowohl im Mittel, wie auch im Einzelfalle sind. Das Netz von Pilotstationen war teilweise dichter, als es begründet war, und die Fehler der Methoden größer als die wirklichen Unterschiede.

Die letzte Vertikalspalte in Tab. 5 gibt das Verhältnis der Windgeschwindigkeit in 500 m zu der am Boden. Die Zahlen zeigen, daß sich das bereits allgemein bekannte Gesetz der Verdoppelung der Windgeschwindigkeit bis 500 m auch hier bestätigt. Das Verhältnis ist im Winter ca. 2, im Sommer ca. 1.6. Oberhalb 500 m findet nur sehr langsame und geringe Windzunahme mit der Erhebung in die freie Atmosphäre statt. Das Verhältnis ist für Lindenberg allgemein etwas kleiner. Zum Vergleich stelle ich einige andere Beobachtungsreihen zusammen:

Tabelle 6. Mittlere Windgeschwindigkeiten. (ms.)

	Boden (Höhe)	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	$\frac{v \text{ 500}}{v \text{ unten}}$
(A. Coym.) Lindenberg (1905—1912.)	5.2 (122 m)	9.3	9.6	9.7	10.0	10.5	1.8
(W. Köppen) Hamburg	5.2	9.4	10.7	—	11.6	—	1.8
England (Derbyshire).	5.0 (335 m)	8.8	11.8	12.9	13.6	—	—
Breedene (Meer) 1916	5.4 (6 m)	11.2	11.4	11.8	12.2	13.0	2.1

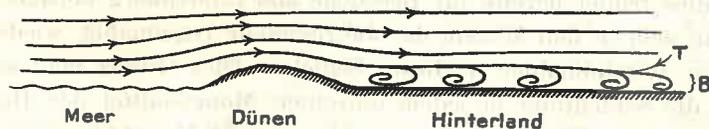
Beachtet man die Reihenfolge der Stationen in ost-westlicher Richtung, so kann man schließen, daß in der freien Atmosphäre von ca. 15° ö. L. v. Gr. bis 0° die Geschwindigkeit zunimmt, in tieferen Schichten um 2, in höheren um über 3 ms.¹⁾ Es ist dies Ergebnis zu erwarten, da mit Annäherung an das nordatlantische Depressionsgebiet die mittleren Luftdruckgradienten anwachsen und die Frequenz der barometrischen Depressionen größer wird. Wenn noch mehr Beobachtungsmaterial vorliegt, wird sich ein Weg finden lassen, an der Hand dieser empirisch gefundenen Beziehungen im Anschluß an die Isobarenkarten, mittlere Windkarten für die freie Atmosphäre zu entwerfen. Ich hatte bereits einen derartigen Versuch unternommen, möchte aber noch von einer Veröffentlichung absehen, da die aerologischen Beobachtungen über dem nordatlantischen Ozean noch viel zu ungenügend sind.

Ebenso wie von Westen nach Osten (Breedene—Lindenberg oder England—Lindenberg) nimmt in der freien Atmosphäre der Wind nach Süden ab, und auch die Windzunahme mit der Höhe wird kleiner, worauf neuerdings Kleinschmidt hingewiesen hat.²⁾ Einen Beweis dafür, daß das Gesetz der Verdoppelung der Windgeschwindigkeit nicht überall gilt resp. unter niederen Breiten kleiner ist, gibt Triest, wo im Mittel die Geschwindigkeit in 500 m dieselbe ist wie am Boden. Dort betragen die Verhältniszahlen, wenn man den Bodenwind gleich 1 setzt, in 500 m 1.0, in 1000 m 1.1, in 1500 m 1.4. Die Windstärke erreicht dort erst in 3000 m den doppelten Betrag des Bodenwindes. Hier spielen auch örtliche Verhältnisse eine große Rolle. (Bora.)

Es ist nötig, auf ein etwas unerwartetes Ergebnis der Breedener Beobachtungen näher einzugehen. Die auf einer völlig ebenen Weide, 400 m hinter den nur 20—25 m hohen Dünen gelegene Drachenstation war bei dem Streichen der Küste von SW nach NE, den vorherrschenden Westwinden frei ausgesetzt, die vom Meere wehend geringe Reibung fanden. Man sollte daher erwarten, daß die Windzunahme mit der Höhe in der Bodenschicht gering war. Aber der Betrieb der Drachenstation bei stürmischem Westwetter belehrte bald eines andern. Bei stürmischem West herrschte in den unteren Schichten eine unerwartet große Windzunahme. Besonders auf der Südseite der Depressionen war die Windzunahme mit der Höhe außerordentlich. Bei Sturmlagen machte eine tiefliegende, sehr turbulente Windschicht bei 100—200 m die Drachenaufstiege oft unmöglich.

Es erklärt sich dies zum Teil durch Eigentümlichkeiten der Lufströmung an der Küste, die ich oft zu studieren Gelegenheit hatte. Die vom Meere wehende Strömung findet beim Auftreffen auf die Küste eine plötzlich vermehrte Reibung, zumal der flache Dünenzug ein Hindernis bildet. Die Stromlinien biegen sich aufwärts über den Dünenkamm hinweg. Landeinwärts hinter dem Kamm bildet sich eine Brandungszone der strömenden Luft, deren Breite viel beträchtlicher ist, als man erwarten sollte. Erst in einer Entfernung von 500 m und mehr hinter den Dünen senken sich die Stromlinien und verlaufen dem Boden parallel, nachdem der Strömungszustand der vermehrten Reibung auf dem Lande sich angepaßt hat. Offenbar lag die Drachenstation, trotz ihrer Lage 400 m hinter den Dünen, noch im Raum der Brandungszone. Bei stürmischem Westwetter konnte man regelmäßig beobachten, daß in 40—80 m Höhe der Wind sprunghaft zunahm, und schwere Böen und Wirbel den Drachen hin- und herschleuderten. Die Züge am Dynamometer schwankten dabei um ganz außerordentliche Beträge (oft in wenigen Sekunden um 50—100 kg), wie ich es vom Observatorium Lindenberg nicht gewohnt war.

Fig. 3.
Strömungsbild an der Küste bei stürmischem Westwinde.



Dies Strömungsbild ist schematisch in Fig. 3 gezeichnet. Bei B die mit Wirbeln durchsetzte Brandungszone hinter den Dünen, bei T die Turbulenzschicht mit sprunghafter Windzunahme, die, um sie hervorzuheben, etwas stärker gezeichnet ist.

¹⁾ Nach Bemerkg. auf S. 14 bleibt eine gewisse Unsicherheit, da die Mittel aus nicht gleichzeitigen Beobachtungen abgeleitet sind.

²⁾ E. Kleinschmidt. Die Windverhältnisse über dem Bodensee: Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. Bd. VII.

Es scheint somit, als ob eine ca. 500 m breite Küstenzone, zumal wenn ein Dünenzug den Strand entlang läuft, die unteren Luftschichten in eigentümlicher Weise beeinflusst. Auch bei einer ausgesprochenen Flachküste wird dies nicht viel anders sein, infolge der veränderten Reibungsverhältnisse, die die strömenden Luftmassen über dem Lande finden.

Es empfiehlt sich aus diesen Gründen nicht, eine Drachenstation direkt an die Küste zu legen, sondern besser in mindestens 1000 m Entfernung landeinwärts.

Im Vorangehenden war, um die Messungen von Lindenberg und Breedene vergleichen zu können, nur das Jahr 1916 benutzt worden.¹⁾ Leider werden in Lindenberg die Aufstiege nicht für eine Zwischenstufe unterhalb 500 m ausgewertet. In Breedene aber wurde von vornherein, gemäß den Bedürfnissen des Flugwesens, besonderer Wert auf die Untersuchung der Bodenschichten gelegt und daher ein für allemal die Aufstiege für die 200 m Stufe ausgewertet. Es hat sich nun gezeigt, daß dies auch in wissenschaftlicher Hinsicht von Vorteil war, da bisher keine Beobachtungsreihen von Drachenaufstiegen vorliegen, die die Bodenschicht genauer zu studieren gestatten.²⁾

Ich muß mich daher auf die Diskussion der Ergebnisse von Breedene beschränken. Um die Messungen für Vergleiche mit später erscheinenden Bearbeitungen der Ergebnisse von anderen Kriegsdrahenstationen, wie Uccle und Borkum, der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, sollen die mittleren Monatswerte der ganzen Reihe von Juli 1915 bis Juli 1917 hier mitgeteilt werden. Die Veröffentlichung der Aufstiege in extenso wird im Archiv der Seewarte gesondert erfolgen. In der Tabelle 7 sind die mittleren Windgeschwindigkeiten auch für die bodennahen Schichten Erde—200 m, und 200—500 m mitgeteilt. n bedeutet Anzahl der Beobachtungen, Δv Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe, v Windgeschwindigkeit in ms. Die graphische Darstellung der Monatsmittel von Juli 1915 bis Juli 1917 gibt Figur 3, Tafel I. Da die Verhältnisse der Bodenschicht sich dadurch wesentlich verändern, bedarf diese an dem vollständigen Materiale einer genaueren Behandlung.

Es wurde früher gefunden, daß das allgemeine Gesetz der Verdoppelung der Windstärke vom Boden bis 500 m sich auch für die flandrische Küste bestätigt. Bei Benutzung einer Zwischenstufe bei 200 m ergeben sich nähere Einblicke in die erwähnte Beziehung.

Zur Diskussion seien zunächst die Mittelwerte der Jahreszeiten und des Jahres der ganzen Reihe (Juli 1915 bis Juli 1917) gewählt (Tab. 7). Man sieht, daß bereits in der Schicht Erde—200 m die Windstärke auf den doppelten Betrag des Bodenwertes anwächst. Im Jahresmittel ist das Verhältnis des Windes in 200 m zum Bodenwind 1,8, in der Schicht 200—500 m beträgt die Windzunahme nur ca. 1 ms. Das Verhältnis beträgt für den Winter sogar 2,1, für den Sommer 1,6. Man wird also daraus schließen, daß bereits in 200 m Höhe die Windstärke auf den doppelten Wert anwächst, und daß in der zweiten Schicht (200 bis 500 m) die Zunahme bereits gering ist (1—2 ms). Dies ist sicher keine Eigentümlichkeit der Küste, sondern wird sich allgemein an Stationen zeigen, die im Bereich der vorherrschenden Westwinde liegen. Bei einer von M. White bearbeiteten englischen Reihe beträgt das Verhältnis des Windes in 500 m zum Bodenwind auch 1,7 (relative Höhe 165 m über dem Boden). (Siehe Tab. 6.)

Verfolgt man den Verlauf der vertikalen Windzunahme in größerer Höhe, so gelangt man bei 500—1000 m zu einer Schicht mit ausgesprochener Verlangsamung des Windgradienten, oder sogar Windabnahme. Es war dies früher bereits für Breedene und Lindenberg konstatiert worden. Man sieht nun, daß diese Schichtung sich in den Mitteln der Jahreszeiten regelmäßig wiederfindet. Im Frühling und Herbst herrscht sogar Windabnahme in dieser Schicht. Dies Gesetz muß sehr allgemeine Gründe haben, denn man findet die Schichtung in jedem einzelnen Monatsmittel der Reihe 1915—1917 wieder, wie die eingerahmten Zahlen der Tabelle 8 zeigen. Von den 25 Monaten zeigen 18 die Verlangsamung des Windgradienten bei 500—1000 m, 6 bei 1000—1500 m, und 1 bei 1500—2000 m. Bei 13 Monaten ist eine mittlere Schicht mit Windabnahme vorhanden, meist in der kalten Jahreshälfte.

¹⁾ Die Beobachtungen des Jahres 1917 konnten nicht mehr benutzt werden, da Lindenberg seit diesem Jahre die Ergebnisse nicht mehr veröffentlicht.

²⁾ Es haben auch andere Kriegsdrahenstationen fortlaufend für die 200-m-Schicht ausgewertet, aber es liegt zur Zeit wohl noch keine Bearbeitung darüber vor.

Tabelle 7. Monatsmittel der Windgeschwindigkeit und deren Änderung mit der Höhe.
(Juli 1915—Juli 1917.)

		Unten (6 m)	200 m	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m	$\frac{v \text{ 200 m}}{v \text{ unten}}$
Juli 1915	n	76	76	76	69	48	34	11	4	
	Δv	+2.16	+1.95	+0.71	+0.77	+0.65	+0.46	0.00		
August 1915	n	77	77	72	59	51	32	16	6	
	Δv	+2.21	+0.88	-0.12	+0.80	+0.97	+0.87	-0.17		
September 1915	n	61	61	61	52	34	21	6	4	
	Δv	+2.89	+1.33	-0.37	-0.12	+0.24	+0.67	+0.75		
Oktober 1915	n	57	57	56	47	33	23	13	8	
	Δv	+2.63	+1.88	+0.26	-0.46	0.00	+1.16	+0.50		
November 1915	n	61	61	58	54	37	16	8	6	
	Δv	+4.43	+2.84	+0.57	-0.19	+0.56	-0.12	-0.50		
Dezember 1915	n	58	58	57	48	26	13	5	1	
	Δv	+5.88	+1.70	-0.48	+0.77	+1.23	+2.20	0.0		
Januar 1916	n	49	49	44	39	27	10	7	6	
	Δv	+5.45	+2.04	+0.74	+0.93	+0.70	+1.14	+2.67		
Februar 1916	n	50	50	48	40	31	17	5	2	
	Δv	+6.98	+1.14	-0.30	+1.03	+0.06	+0.60	0.00		
März 1916	n	57	57	57	48	35	20	8	6	
	Δv	+5.26	+0.60	+0.48	+0.63	+0.20	+0.12	-0.83		
April 1916	n	59	59	59	56	46	29	15	12	
	Δv	+5.41	+0.20	-0.27	+0.07	+0.21	-0.07	-0.25		
Mai 1916	n	60	60	60	59	48	37	18	8	
	Δv	+4.05	+0.53	+0.27	+0.31	+0.32	+1.44	+1.38		
Juni 1916	n	54	54	54	52	45	30	13	5	
	Δv	+3.74	+0.56	+0.23	+0.67	+0.47	+1.70	+1.80		
Juli 1916	n	58	58	58	58	51	42	24	12	
	Δv	+2.35	+0.43	+0.12	+0.37	+0.64	+0.62	+0.08		
August 1916	n	53	53	53	53	50	42	26	9	
	Δv	+3.43	+0.42	+0.57	+0.42	+0.43	+0.46	+1.11		
September 1916	n	57	57	57	57	52	42	23	9	
	Δv	+4.61	+0.90	-0.07	+0.17	+0.57	+0.48	+0.55		
Oktober 1916	n	56	56	56	55	37	26	16	5	
	Δv	+6.77	+2.09	+0.73	-0.24	+0.12	+0.90	+1.20		

		Unten (6 m)	200 m	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m	$\frac{v \text{ 200 m}}{v \text{ unten}}$
November 1916	n	52	52	52	50	36	24	3	—	
	Δv	+5.63	+1.38	+0.36	+0.28	+1.62	+0.66	—	—	
	v	5.9	11.5	12.9	13.2	13.5	15.1	15.8	—	1.9
Dezember 1916	n	50	50	50	43	34	20	6	6	
	Δv	+6.24	+0.60	-0.37	+0.21	+0.30	+0.50	+0.70	—	
	v	4.8	11.1	11.7	11.3	11.5	11.8	12.3	13.0	2.3
Januar 1917	n	60	60	60	52	23	25	9	3	
	Δv	+6.17	+1.90	+0.52	+0.65	-0.60	+1.00	+1.00	—	
	v	6.1	12.2	14.1	14.7	15.3	14.7	15.7	16.7	2.0
Februar 1917	n	52	52	52	49	38	25	7	4	
	Δv	+5.73	+0.73	+0.06	+0.55	+0.08	-0.57	+1.25	—	
	v	4.5	10.2	11.0	11.0	11.6	11.6	11.1	12.3	2.3
März 1917	n	84	84	83	72	59	36	12	8	
	Δv	+5.11	+0.94	-0.33	-0.22	+0.11	-1.33	+1.37	—	
	v	6.1	11.2	12.2	11.8	11.6	11.7	10.4	11.8	1.8
April 1917	n	75	75	75	73	62	43	21	7	
	Δv	+4.83	+1.01	-0.26	+0.93	+0.67	+0.24	+2.14	—	
	v	5.7	10.5	11.5	11.3	12.2	12.9	13.1	15.3	1.8
Mai 1917	n	79	79	77	75	66	53	42	27	
	Δv	+3.97	+0.05	-0.12	-0.40	+0.87	+0.55	+0.44	—	
	v	4.3	8.2	8.3	8.2	7.8	8.6	9.2	9.6	1.9
Juni 1917	n	101	101	101	99	91	87	81	70	
	Δv	+2.99	+1.02	+0.67	+0.44	+0.07	+0.17	+0.23	—	
	v	3.3	6.3	7.3	8.0	8.4	8.5	8.6	8.9	1.9
Juli 1917	n	118	118	113	105	89	80	74	70	
	Δv	+3.22	+1.12	-0.30	+0.19	+0.20	+0.46	+0.60	—	
	v	4.6	7.8	8.9	8.6	8.8	9.0	9.5	10.1	1.7
Mittel Juli 1915 — Juli 1917	n	1614	1614	1589	1464	1149	827	469	298	
	Δv	+4.32	+1.11	+0.13	+0.32	+0.40	+0.51	+0.54	—	
	v	5.2	9.5	10.6	10.7	11.0	11.4	12.0	12.5	1.8
Winter	n	319	319	311	271	179	110	39	22	
	Δv	+6.07	+1.36	+0.03	+0.67	+0.15	+0.77	+1.27	—	
	v	5.6	11.6	13.0	13.0	13.7	13.8	14.6	15.9	2.1
Frühling	n	414	414	411	383	316	218	116	68	
	Δv	+4.75	+0.57	-0.10	+0.19	+0.46	+0.33	+0.60	—	
	v	5.2	9.9	10.5	10.4	10.6	11.0	11.4	12.0	1.9
Sommer	n	537	537	527	495	425	347	245	176	
	Δv	+2.87	+0.98	+0.29	+0.48	+0.38	+0.48	+0.44	—	
	v	4.4	7.2	8.2	8.5	9.0	9.4	9.8	10.3	1.6
Herbst	n	344	350	340	315	229	152	69	32	
	Δv	+4.38	+1.74	+0.25	-0.07	+0.53	+0.80	+0.46	—	
	v	4.9	9.3	11.0	11.2	11.2	11.7	12.5	13.0	1.9

Oberhalb dieser Schicht nimmt der Wind wieder langsam zu, im Jahresmittel um ca. $\frac{1}{2}$ ms bei 500 m Erhebung. Im Winter tritt zwischen 1500 und 2000 m eine 2. erhebliche Verlangsamung der Windzunahme ein, im Frühling bei 2000—2500 m. Diese 2. Schichtung weist wohl auf das Str-cu-Niveau hin; sie ist von A. Pepler bei Untersuchung der Windrichtungen in den Zyklonen und Antizyklonen ebenfalls wiederholt gefunden worden.

Die Winddrehung mit der Höhe. Die Bearbeitung der mittleren Winddrehung mit der Höhe liefert ungenauere Ergebnisse, als die Änderung der Windgeschwindigkeit, da die Windrichtungen

nur auf einen Strich der Windrose genau sind und Drehungen von 180° und mehr häufig sind. Es ist oft schwierig, zu unterscheiden, ob Links- oder Rechtsdrehung vorliegt. Bei Piloten kann das Bild der Flugbahn oft noch Aufschluß über den Sinn der Drehung geben, bei den Drachenaufstiegen das Aufstiegsprotokoll, aber es kommen auch Schleifen und plötzliche oder durch Windstillen getrennte Übergänge in die entgegengesetzten Richtung vor. Ich habe diese extremsten, seltenen Fälle, die alle geringer Luftbewegung angehören, ausgelassen, um nicht die Mittel durch einige wenige große Drehungswerte zu stark zu beeinflussen.

Schwierigkeiten bereitet auch die Feststellung der mittleren Windrichtung am Boden, an die man die Drehungswerte anschließen könnte. Die mittlere Windrichtung ist kein einfacher Begriff. Bei früheren Untersuchungen wurden meist die mittleren Windrichtungen in der Weise ermittelt, daß die mittleren Abweichungen in Graden von häufigstem Wert errechnet wurden. Das ist streng genommen nur möglich, wenn die Windrichtungen nicht stark um einen mittleren Wert schwanken. Sind aber die Richtungen über die ganze Windrose verteilt, dann ist die Methode nicht anwendbar. Einwandfrei ist nur das Verfahren der Zerlegung in Komponenten nach Geschwindigkeit und Richtung. Diese Methode hat aber nur Vorteil bei der Bearbeitung fortlaufender Registrierungen. Bei aerologischen Windmessungen kann die Methode eher dazu verleiten, die Genauigkeit der Resultate zu überschätzen. Ich habe daher auf die Angabe einer mittleren Windrichtung ganz verzichtet und hier nur die Drehungen der Windrichtung mit der Höhe mitgeteilt; später ist der mittleren Windrichtung bei der Bearbeitung der Luftversetzung in anderer Weise Rechnung getragen.

In Tabelle 8 sind die Monatsmittel der Drehungen für die ganze Beobachtungsreihe gegeben. n bedeutet Anzahl der Beobachtungen, ΔR mittlere Drehung, Rechtsdrehung positiv, Linksdrehung negativ gerechnet.

Um einen Vergleich mit einer Inlandstation zu haben, sind in Tab. 9 nochmals die großen Mittel der Drehung in Graden von Lindenberg (1905—1908 nach A. Peppler), umgerechnet auf Sommer- und Winterhalbjahr, den Breedener Werten gegenübergestellt. (L bedeutet Lindenberg, B = Breedene.)

Tabelle 9.

	Erde — 500 m		500—1000 m		1000—1500 m		1500—2000 m		2000—2500 m		2500—3000 m	
	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B
Winterhalbjahr	25.1	15.7	5.2	4.2	2.1	1.0	2.2	1.9	0.4	-1.8	0.2	1.0
Sommerhalbjahr	13.5	15.0	7.0	4.4	3.4	0.3	1.9	2.4	0.7	-2.9	1.5	3.2
Jahr	19.4	15.3	6.2	4.3	2.7	0.6	2.0	2.1	1.1	-2.3	1.0	2.1

Die ozeanische Lage von Breedene gegenüber der kontinentalen von Lindenberg ist in diesen Werten sehr gut ausgedrückt. Die jährliche Periode der Drehung ist bei Breedene sehr gering, bei Lindenberg sehr groß (25,1 im Winter gegen 13,5 im Sommer). Auch im Jahresmittel ist die Winddrehung in Lindenberg wesentlich größer. Da die Drehung ungefähr proportional ist den Reibungsverhältnissen, muß man schon daraus schließen, daß in Breedene der Reibungskoeffizient kleiner ist als in Lindenberg. Die Küstenlage der Station macht dies erklärlich. Oberhalb 500 m sind keine wesentlichen Unterschiede beider Stationen vorhanden. Hingewiesen sei noch auf die in den 3 Mitteln von Breedene hervortretende Linksdrehung in 2000—2500 m. Bei der Geschwindigkeit fand sich hier auch häufig eine Schichtung. Man muß diese Schichtung daher für reell nehmen. Ein Blick auf die Mittel der Jahreszeiten von Breedene zeigt, daß in der Reihe Juli 1915—1917 in der Bodenschicht der Frühling die stärkste Drehung hatte, der Herbst die geringste (11,8 gegen 6,0). Bei ca. 1000—1500 m zeigen alle 4 Mittel eine Verlangsamung der Rechtsdrehung. Die Gesamtdrehung bis 2000 m beträgt für Frühling und Winter ca. 26° , für Sommer und Herbst $20-22^\circ$. Da die mittlere Windrichtung im Winter am Boden nach dem mittleren Verlauf der Isabaren wesentlich südlicher ist als im Sommer, kann man daraus den Schluß ziehen, daß sie auch in 2000 m im Winter südlicher bleibt als im Sommer. Die Mittel der Drehung für die einzelnen Monate der ganzen Reihe schwanken im übrigen so stark, daß es nicht möglich ist, aus einer so kurzen Beobachtungsreihe den jährlichen Gang der Drehung abzuleiten. Es sei nur bemerkt,

daß es den Anschein hat, als fielen die Extreme der Drehung nicht auf Winter und Sommer, sondern auf Frühling und Herbst.

Die Häufigkeit der Windrichtungen. Die Bearbeitung der längsten Reihen aerologischer Beobachtungen zur Feststellung der mittleren Windverhältnisse hat Afmann in seinem Buche: „Die Winde in Deutschland“ gegeben. Er hat darin auch die prozentische Häufigkeit der Windrichtungen in den einzelnen Jahreszeiten mitgeteilt, berechnet für 500 m - Stufen und zwar für die 16teilige

Tabelle 8. Monatsmittel der Änderung der Windrichtung mit der Höhe.

Höhe in m	6 200	200 500	500 1000	1000 1500	1500 2000	2000 2500	2500 3000	Höhe in m	6 200	200 500	500 1000	1000 1500	1500 2000	2000 2500	2500 3000
Juli 1915	n 76	76	67	47	44	13	4	Novbr. 1916	n 50	50	46	35	25	6	1
	Δ R +6.3	+7.3	+5.0	+1.9	+4.2	+1.7	0.0		Δ R +11.2	+10.2	+4.4	+0.6	+1.3	-5.5	0.0
Aug. 1915	n 74	73	64	49	31	15	7	Dezbr. 1916	n 47	47	42	35	18	5	—
	Δ R +5.4	+8.4	+5.8	-1.4	-7.9	-1.5	0.0		Δ R +14.0	+12.8	+7.4	+6.0	+8.7	-22.0	—
Sept. 1915	n 62	62	52	33	20	7	4	Januar 1917	n 74	74	65	45	30	10	—
	Δ R +5.9	+6.4	+3.8	+0.7	-2.2	+3.1	+5.5		Δ R +3.3	+6.7	+6.1	-1.0	+1.1	-4.4	—
Okt. 1915	n 52	52	45	31	21	12	6	Febr. 1917	n 71	72	70	52	38	18	11
	Δ R +3.0	+0.2	-2.5	-5.5	+2.1	0.0	-7.3		Δ R +14.5	+7.5	+3.0	+0.9	+0.3	0.0	-6.2
Novbr. 1915	n 60	60	57	38	17	8	6	März 1917	n 89	88	77	62	34	12	8
	Δ R +1.0	+2.8	+1.0	-2.6	+2.6	0.0	+7.5		Δ R +13.4	+7.5	+6.3	-0.8	+5.3	+4.6	-4.1
Dezbr. 1915	n 57	57	48	27	14	5	1	April 1917	n 73	73	71	61	43	18	8
	Δ R +8.0	+8.3	+8.6	+7.4	-4.7	-2.2	+11.0		Δ R +12.2	+2.3	+4.5	+3.3	-3.1	-9.4	-4.0
Januar 1916	n 56	50	43	29	12	7	6	Mai 1917	n 79	78	75	66	56	41	29
	Δ R +10.3	+11.5	+2.8	+4.9	+1.0	+11.1	+3.7		Δ R +14.4	+7.3	+3.2	+12.4	+7.0	-4.1	+6.2
Febr. 1916	n 58	57	48	36	20	8	4	Juni 1917	n 104	103	101	94	88	83	71
	Δ R +8.4	+4.2	+5.8	-0.3	-1.6	0.0	0.0		Δ R +13.2	+8.1	+8.4	-0.9	-0.4	+0.9	+4.1
März 1916	n 72	72	63	45	27	14	11	Juli 1917	n 117	114	105	88	80	73	70
	Δ R +8.3	+3.3	+0.7	-0.5	+0.9	-0.8	+7.2		Δ R +9.0	+7.4	+3.7	+2.4	+10.3	-5.6	+5.3
April 1916	n 86	86	80	63	43	25	19	Mittel (Juli 1915-1917)	n 1826	1783	1658	1296	944	567	336
	Δ R +11.3	+2.1	-0.8	+3.7	-1.4	+2.3	+7.0		Δ R +9.5	+6.1	+3.9	+1.7	+2.5	-1.8	+2.8
Mai 1916	n 89	89	81	69	55	32	16	Frühling	n 488	488	447	366	258	142	91
	Δ R +10.9	+5.9	-0.2	+5.9	+5.1	+6.6	+1.4		Δ R +11.8	+4.8	+2.3	+4.4	+2.6	-0.9	+3.8
Juni 1916	n 71	71	69	59	45	21	11	Sommer	n 584	579	536	449	386	277	188
	Δ R +7.9	+1.5	0.0	-3.2	-0.2	-6.3	-4.0		Δ R +9.8	+5.6	+4.4	+0.3	-2.4	-2.9	+3.2
Juli 1916	n 79	79	72	64	56	35	15	Herbst	n 391	391	359	257	178	95	35
	Δ R +13.0	+2.8	+1.4	+2.9	+0.4	-6.6	-0.7		Δ R +6.0	+6.0	+3.7	+0.5	+3.5	+0.3	+1.9
Aug. 1916	n 63	63	58	48	42	37	10	Winter	n 363	357	316	224	132	53	22
	Δ R +13.3	+1.3	+5.6	-0.5	+4.5	-3.0	-1.1		Δ R +9.5	+8.2	+5.5	+2.4	+0.9	-1.7	-3.6
Sept. 1916	n 89	89	87	73	63	42	14	Mittel	+9.2	+6.2	+4.0	+1.9	+2.4	-1.3	+1.4
	Δ R +5.0	+7.3	+5.8	+3.0	+5.4	+2.4	+3.3								
Oktbr. 1916	n 78	78	72	47	32	20	5								
	Δ R +10.1	+7.9	+6.6	+3.0	+6.3	-2.7	0.0								

Windrose. Da eine so spezielle Bearbeitung bei der kürzeren flandrischen Beobachtungsreihe keinen Zweck hat, habe ich, um beide Ergebnisse vergleichbar zu machen, Afmanns Häufigkeitszahlen auf Quadranten umgerechnet. Tab. 10 gibt zunächst diese Häufigkeitszahlen der Richtungen in den 4 Quadranten. Sie dürften bereits ziemlich sichere Mittelwerte für Norddeutschland darstellen.

Es ergeben sich daraus folgende Hauptzüge:

Im Jahresmittel liegt das Maximum der Häufigkeit im SW-Quadranten, und zwar in allen Höhen bis 2500 m, aber das Übergewicht gegen den NW-Quadranten ist gering. Die Winde aus den östlichen

Quadranten sind viel seltener und treten mit zunehmender Höhe zurück. Das sind bereits allgemein bekannte Tatsachen, die schon früher von Ley, Vettin u. a. aus dem Zuge der unteren Wolken konstatiert wurden. Das Verhältnis ist in den Jahreszeiten ähnlich. Immer liegt das Hauptmaximum auf dem SW-Quadranten und tritt nur vereinzelt auf den NW-Quadranten über. Ein großer Gegensatz zwischen Sommer und Winter ist nicht vorhanden. Man muß also daraus schließen, daß das ganze Jahr hindurch die rein westlichen Winde überwiegen, mit einer schwachen Südkomponente. Ohne auf weitere Einzelheiten der Tabelle einzugehen,¹⁾ weise ich nur noch darauf hin, daß sich die nordöstlichen Winde in der Bodenschicht am häufigsten im Frühjahr finden, eine Erscheinung, die in erhöhtem Maße in den flandrischen Beobachtungen hervortritt.

Mit diesen Lindenberger Werten seien die der flandrischen Küste verglichen, mit dem Bemerkung, daß eine gewisse Unsicherheit darin liegt, diese Ergebnisse verschiedener Jahrgänge gegenüber zu

Tabelle 10. Prozentische Häufigkeit der Windrichtung nach Quadranten über Lindenberg. (Umgerechnet nach Aßmann.)

	Winter			
	N—E	E—S	S—W	W—N
Erde	13.4	21.1	45.9	19.6
500	9.6	17.8	40.1	32.5
1000	10.3	17.0	37.2	35.5
1500	9.5	17.1	36.4	37.0
2000	10.0	18.5	38.0	33.5
2500	9.9	17.1	41.7	31.3
Frühjahr				
Erde	21.1	24.5	30.9	23.5
500	16.0	26.3	31.2	26.5
1000	14.3	24.8	31.4	29.5
1500	12.5	23.1	32.9	31.5
2000	11.5	24.8	35.7	28.0
2500	13.1	22.8	36.2	27.9
Sommer				
Erde	12.1	15.0	38.6	34.3
500	10.9	13.6	40.1	35.4
1000	10.6	11.0	39.6	37.8*
1500	9.8	9.5	40.7	40.0
2000	8.5	9.0	42.9	39.6
2500	7.3	9.4	40.4	42.9
Herbst				
Erde	16.3	25.8	33.9	18.0*
500	12.2	26.5	35.2	26.1
1000	11.4	24.4	34.6	29.6
1500	11.2	23.2	37.7	28.1
2000	11.7	21.8	38.0	28.5
2500	9.4	21.3	41.4	27.9
Jahr				
Erde	16.0	22.2	37.7	24.1
500	12.0	21.2	36.6	30.2
1000	11.6	19.1	35.8	33.5
1500	10.7	18.5	36.9	33.9
2000	10.3	18.4	38.7	32.6
2500	9.6	17.5	40.2	32.7

Tabelle 11. Prozentische Häufigkeit der Windrichtungen nach Quadranten über Breedene/Meer.

Quadrant.	Winter			
	N—E	E—S	S—W	W—N
Erde	28.1	20.6	36.8	14.3
200	26.4	18.6	34.7	20.3
500	27.1	17.2	28.3	27.4
1000	25.2	16.5	29.4	29.0
1500	23.9	17.1	29.7	29.2
2000	31.0	13.9	27.1	27.8
2500	30.0	10.0	32.0	28.0
Frühjahr				
Erde	34.2	16.5	29.4	19.8
200	31.7	18.0	30.1	20.2
500	28.4	18.9	31.3	21.3
1000	26.1	21.0	30.5	22.4
1500	25.2	18.8	32.5	23.0
2000	24.6	18.5	31.0	25.8
2500	25.0	19.7	29.6	25.7
Sommer				
Erde	19.3	11.8	40.4	28.8
200	22.4	8.5	41.1	27.9
500	16.4	11.7	42.7	29.3
1000	13.5	11.6	42.7	32.2
1500	11.1	12.9	48.4	27.5
2000	9.9	14.6	50.1	25.3
2500	9.5	18.2	50.4	21.9
Herbst				
Erde	26.2	25.2	31.5	17.1
200	23.6	24.6	36.8	15.0
500	23.7	21.0	34.9	20.5
1000	24.5	18.2	33.6	23.7
1500	25.8	14.4	30.8	28.8
2000	25.8	14.1	31.2	28.8
2500	33.3	11.8	27.9	20.9
Jahr				
Erde	26.4	17.7	34.8	21.1
200	26.1	16.3	35.9	21.7
500	23.2	16.7	35.3	24.8
1000	21.3	16.3	35.1	27.3
1500	19.9	15.5	37.6	26.9
2000	19.7	15.5	38.4	26.5
2500	19.1	16.8	39.9	24.2

Anmerkung: In der Lindenberger Tabelle sind in der Prozentberechnung einige Unstimmigkeiten in den mit * bezeichneten Reihen.

¹⁾ Siehe R. Aßmann: „Die Winde in Deutschland“.

stellen. Übereinstimmend mit Lindenberg zeigen die Breedener Werte (Tab. 11) das Maximum der Häufigkeit im SW-Quadranten; es fällt aber im Jahresmittel entschiedener auf diesen Quadranten als bei Lindenberg, und zwar gilt dies für alle Jahreszeiten. Besonders auffallend aber ist, daß die relative Häufigkeit der NE-Winde im Frühjahr, die bereits bei Lindenberg in der Bodenschicht angedeutet war, bei Breedene zum Hauptmaximum wird. Im Frühjahr überwiegen die Winde aus den NE-Quadranten alle anderen Windrichtungen, sowohl an der Erdoberfläche, wie in 200 m Höhe. Bei 500 m tritt das Hauptmaximum zwar wieder auf den SW-Quadranten, aber bis zur größten Höhe bleiben die NE-Winde noch relativ häufig und werden mit der Höhe nur wenig seltener. Es ist bereits bekannt, daß am Boden über den atlantischen Küstengebieten im Frühjahr die nordöstlichen Winde recht häufig sind, worüber das Segelhandbuch für den Nordatlantischen Ozean Auskunft gibt. Hier konnte nur festgestellt werden, daß diese Eigentümlichkeit sich bis mindestens 2500 m Höhe erstreckt.

Überraschend ist, daß auch im Herbst die Winde aus dem NE-Quadranten relativ häufig sind und mit zunehmender Höhe nicht zurücktreten.

Das Hauptergebnis ist also, soweit man die Ergebnisse der beiden Jahre verallgemeinern darf, daß an der flandrischen Küste die Winde eine entschiedenere nördliche Komponente haben als über Lindenberg, besonders im Frühjahr und Herbst. Ob dies für ganz Westeuropa gilt, könnten die englischen aerologischen Beobachtungen entscheiden, die mir nicht zugänglich waren.

Das erwähnte Ergebnis hat neben der meteorologischen eine praktische Bedeutung für die Luftschiffahrt, worauf ich bereits in einem Gutachten über die Aerologie des Nordatlantischen Ozeans hingewiesen habe, das ich im Sommer 1919 im Auftrage des Direktors des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg für den Zeppelinbau ausarbeitete.

Im Anschluß hieran sollen noch kurz die Ergebnisse über die Häufigkeit der Windrichtungen oberhalb 3000 m mitgeteilt werden. Große Höhen wurden bei der zunehmenden Verschlechterung der Gummipiloten nur selten erreicht und außerdem fällt bei wachsender Höhe der Visierungen die „Auswahl“ der Wetterlage bei der Mittelbildung stark ins Gewicht, sodaß die Werte unsicher sind. Ich beschränke mich auf die Schicht 3000—6000 m und benutze dazu alle Visierungen von Breedene und St. Michel von Juli 1915 bis September 1918.

Die sorgfältigen Bestimmungen des Wolkenzuges über Berlin von Vettin bilden heute neben den aerologischen Beobachtungen noch die sicherste Grundlage für die Windrichtungen in der freien Atmosphäre. Vettin fand folgende mittlere Richtungen über Berlin:

	Erde	1200 m	2250 m	4000 m	7200 m
Winter	W 39 S	W 14 N	W 19 N	W 27 N	W 6 N
Sommer	W 22 S	W 7 S	W 11 S	W 1 N	W 11 S
Jahr	W 33 S	W 7 N	W 1 N	W 4 N	W 2 S

Danach ist die vorherrschende Richtung W, mit einer nördlicheren Komponente im Winter, einer südlicheren im Sommer.

Bei einer neueren Bearbeitung sämtlicher Pilot- und Registrierballonvisierungen der internationalen Kommission für wissenschaftliche Luftfahrt fand ich für die mittleren Breiten Europas folgende Werte:

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Winter	W 10 S	W 11 S	W 10 S	W 10 S	W 8 S	W 6 S	W 5 S	W 6 S
Sommer	W 17 N	W 25 N	W 27 N	W 27 N	W 27 N	W 28 N	W 27 N	W 27 N
Jahr	W 2 N	W 7 N	W 8 N	W 9 N	W 10 N	W 11 N	W 10 N	W 10 N

Nach dieser Reihe ist umgekehrt im Sommer die Richtung mehr nördlich, im Winter mehr südlich. Für Lindenberg scheint sich dies auch nach einer neuen noch nicht veröffentlichten Arbeit von J. R e g e r zu bestätigen. Dieser Widerspruch ist noch unaufgeklärt, vielleicht aber in den Methoden der Beob-

achtung begründet, da man die Ergebnisse von Wolkenmessungen mit aerologischen Methoden nicht streng vergleichen darf. Zur Zeit habe ich eine Aerologie der Wolken begonnen, die den Widerspruch hoffentlich aufklären wird.

Die Ergebnisse der flandrischen Visierungen gibt untenstehende Tabelle. Danach überwiegen in größeren Höhen die Winde aus dem SW-Quadranten bedeutend; es scheinen aber mit zunehmender Höhe bis 6000 m die nordwestlichen Winde auf Kosten der südwestlichen zuzunehmen und in 6000 m das Maximum auf den NW-Quadranten überzugehen. Die östlichen Winde sind in großen Höhen natürlich selten.

Die Luftversetzung. Es wurde bereits Seite 21 erwähnt, daß eine Zerlegung der Windwerte in Komponenten nach Richtung und Geschwindigkeit.	3000 m	N-E	E-S	S-W	W-N
sich bei kurzen Reihen aerologischer Beobachtungen	3000 m	11 %	9	52	28
kaum lohnen dürfte. Ich habe daher eine andere Methode gewählt, um ein ungefähres Bild der gesamten Luftversetzung ¹⁾ in den Quadranten zu bekommen. Auf direktem Wege wurde zunächst die Gesamtsumme aller Windgeschwindigkeiten in den 4 Quadranten der Windrose ermittelt und dann der prozentische Anteil der einzelnen Quadranten an dieser Summe. Die Relativzahlen der Gesamtbewegung sind unter R mitgeteilt (Tab. 12); es bedeutet also, wenn R für einen bestimmten Quadranten etwa 0.36 ist, daß 36 % der gesamten Luftversetzung in diesem Quadranten erfolgen. Dadurch ist in ausreichender Weise der Versetzung nach Richtung und Geschwindigkeit Rechnung getragen. ²⁾ In der Tab. 13 bedeuten ferner, n wieder die Anzahl der Beobachtungen, v die mittlere Geschwindigkeit in den Quadranten. Die unter „mittlere v“ stehenden Zahlen sind aus der Gesamtsumme aller Windwerte berechnet und sollen dazu dienen, die direkt ermittelten Windgeschwindigkeiten mit den früher nach der Differenzenmethode berechneten zu vergleichen. Da beide Methoden große Differenzen mit zunehmender Höhe ergeben, ist eine absolute Vergleichbarkeit der Zahlen von Tab. 12 für die Quadranten jeder Höhengschicht nur untereinander möglich. Die absoluten Werte dagegen sind oberhalb ca. 1000 m unsicher, wenn man annimmt, daß die Differenzenmethode die richtigen Mittel liefert.	4000 m	16	8	49	27
	5000 m	15	10	43	32
	6000 m	11	8	39	42

Aus der Tab. 12 lassen sich verschiedene Ergebnisse entnehmen:

1. Die Abhängigkeit der vertikalen Windzunahme von der Richtung.

In der Bodenschicht ist im Jahresmittel die Windzunahme am größten für den SW- und SE-Quadranten. Sie ist in der Schicht Erde - 200 m für südliche Winde größer (4.5 ms) als für nördliche

Tabelle 12.

Höhe in m		Frühling							Herbst						
		6	200	500	1000	1500	2000	2500	6	200	500	1000	1500	2000	2500
NE-Quadrant	n	164	155	138	113	90	61	33	103	79	97	89	68	44	31
	v	5.6	9.2	9.8	9.9	9.4	8.7	8.0	4.2	7.6	8.8	8.6	9.0	9.1	9.2
	R	0.36	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.24	0.21	0.19	0.19	0.19	0.23	0.25	0.37
SE-Quadrant	n	79	88	92	91	67	46	26	99	82	86	66	38	24	11
	v	3.9	8.9	9.0	8.8	8.4	8.0	7.2	4.3	8.0	9.5	9.6	8.9	9.3	9.6
	R	0.12	0.17	0.17	0.18	0.16	0.16	0.17	0.21	0.22	0.18	0.16	0.13	0.14	0.14
SW-Quadrant	n	141	147	152	132	116	77	39	124	123	143	122	81	53	26
	v	5.8	11.0	11.8	12.1	11.5	11.3	9.9	6.2	10.6	13.6	13.5	10.7	9.0	7.4
	R	0.32	0.34	0.36	0.36	0.38	0.37	0.35	0.38	0.43	0.43	0.41	0.33	0.30	0.25
NW-Quadrant	n	95	99	103	97	83	64	34	67	50	84	86	76	49	25
	v	5.3	9.1	9.5	9.9	9.5	9.4	7.6	6.0	9.4	10.8	11.3	10.6	10.8	9.2
	R	0.20	0.19	0.20	0.21	0.22	0.25	0.24	0.20	0.16	0.20	0.24	0.31	0.31	0.24
Mittlere v		5.3	9.6	10.2	10.3	9.9	9.6	8.3	5.2	9.1	11.0	11.1	9.9	9.6	8.7

¹⁾ Hier ist unter Luftversetzung immer Grösse der gesamten Luftbewegung verstanden, nicht Massenversetzung, da dazu die Kenntnis der Luftdichte nötig ist, die bei Pilotmessungen fehlt.

²⁾ Die Windstillen sind bei dieser Bearbeitung ganz unberücksichtigt geblieben, übrigens an der flandrischen Küste sehr selten.

Höhe in m		6	200	500	1000	1500	2000	2500	6	200	500	1000	1500	2000	2500
Sommer								Winter							
NE-Quadrant	n	116	126	99	78	53	38	26	104	95	93	78	49	40	15
	v	4.4	6.4	6.8	7.0	7.7	7.4	7.2	4.9	10.4	12.2	13.5	14.8	12.8	12.2
	R	0.19	0.20	0.13	0.11	0.10	0.08	0.08	0.25	0.24	0.27	0.27	0.28	0.33	0.32
SE-Quadrant	n	71	48	70	67	62	56	50	76	67	59	51	35	18	5
	v	3.2	6.8	6.7	6.3	6.0	6.1	6.4	4.0	9.7	10.9	10.8	11.4	11.0	9.8
	R	0.08	0.08	0.10	0.09	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.15	0.14	0.16	0.13	0.09
SW-Quadrant	n	241	231	258	247	232	192	138	136	125	97	91	61	35	16
	v	4.8	8.1	9.6	9.8	10.5	9.9	10.5	6.3	12.8	13.3	12.8	12.3	11.8	10.2
	R	0.43	0.47	0.51	0.50	0.58	0.57	0.59	0.42	0.38	0.30	0.29	0.29	0.26	0.29
NW-Quadrant	n	174	157	177	186	132	97	60	53	73	94	90	60	36	14
	v	4.5	6.4	7.3	7.7	7.5	8.4	8.5	6.7	12.4	12.8	13.3	12.9	12.7	12.6
	R	0.30	0.25	0.26	0.30	0.23	0.24	0.20	0.18	0.22	0.28	0.30	0.29	0.28	0.30
Mittlere v		4.5	7.1	8.1	8.4	8.6	8.8	9.0	5.5	11.5	12.5	12.8	12.9	12.3	11.5

Höhe in m		6	200	500	1000	1500	2000	2500
Jahr								
NE-Quadrant	n	487	455	427	358	260	183	105
	v	4.9	8.4	9.4	9.4	9.9	9.4	8.7
	R	0.25	0.24	0.22	0.20	0.20	0.19	0.19
SE-Quadrant	n	325	285	307	275	202	144	93
	v	4.1	8.5	9.0	8.8	8.3	7.9	7.2
	R	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13
SW-Quadrant	n	642	626	650	592	490	357	219
	v	5.6	10.2	11.5	11.5	10.8	10.3	10.0
	R	0.38	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.44
NW-Quadrant	n	389	379	458	459	351	246	133
	v	5.3	8.7	9.6	9.9	9.6	9.8	8.8
	R	0.22	0.21	0.23	0.26	0.26	0.27	0.24
Mittlere v		5.1	9.1	10.1	10.3	9.9	9.6	9.0

(3.4 ms). Für östliche und westliche Winde ist keine Differenz vorhanden. Das könnte überraschen, da die östlichen Winde vorwiegend von Land, die westlichen von See wehen, die Differenz in dieser Richtung also am größten sein müßte infolge der verschiedenen Reibungskoeffizienten. Es ist aber zu bedenken, daß die Küste von SW nach NE streicht und daß bei nördlichen Winden allgemein, auch über dem Kontinent, die Windzunahme mit der Höhe geringer ist, als bei südlichen Winden.

In den einzelnen Jahreszeiten ist kein wesentlicher Unterschied. Die südlichen Winde haben immer stärkere Windzunahme als die nördlichen, meist liegt das Maximum im SW-Quadranten.

In der freien Atmosphäre ist dagegen keine übersichtliche Abhängigkeit der Windzunahme bei den einzelnen Quadranten zu finden.

2. Die mittleren Geschwindigkeiten in den Quadranten.

Im Jahresmittel haben die Winde aus dem SW-Quadranten die größten Geschwindigkeiten, sowohl am Boden wie in der Höhe, die geringste die Winde aus dem SE-Quadranten. Die Differenzen betragen oben 2—3 ms. Der NE- und NW-Quadrant verhalten sich ungefähr gleich.¹⁾

Im Frühling, Sommer und Herbst ist das Verhältnis ähnlich, die größten Geschwindigkeiten hat der SW-Quadrant; nur im Winter scheinen in der Höhe die nordöstlichen Winde stärker zu werden.

¹⁾ Es hat diese Feststellung auch ein praktisches Interesse, indem sie ein ungefähres Maß liefert für den mittleren Fehler bei Windgeschwindigkeitsmitteln, die aus Aufstiegen bevorzugter Richtungen gebildet sind, wie z. B. bei Großborstel, das überwiegend nur in bestimmten Richtungen aus technischen Gründen Aufstiege ausführen konnte. Für Breedene kommt dies wohl nicht in Frage, da keine Richtung bevorzugt ist.

Zum besseren Überblick sind die Mittelwerte der Geschwindigkeit für 2 Schichten gebildet, die Bodenschicht bis 500 m, die freie Atmosphäre zwischen 500 und 2000 m. Die ziemlich unsichere 2500 m-Stufe ist weggelassen.

Bodenschicht (Erde — 500 m).

	Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F
NE-Quadr.	8.2	9.5	5.9	7.2	6.9	8.9	9.2	13.3	7.6	9.5
SE-Quadr.	7.3	8.5	5.5	6.3	7.3	9.3	8.2	11.0	7.2	8.5
SW-Quadr.	9.5	11.7	7.5	9.9	10.1	11.7	10.8	12.6	9.1	11.0
NW-Quadr.	8.0	9.6	6.1	7.7	8.7	10.9	10.6	12.9	7.9	9.7

B = Bodenschicht (Erde — 500 m)
F = Freie Atmosphäre (500 — 2000 m)

Es geht daraus hervor, daß in der Bodenschicht der jährliche Gang in großen Zügen für alle Richtungen derselbe ist. Das Minimum fällt übereinstimmend auf den Sommer, das Maximum auf den Winter. Die Amplitude ist am größten bei nordwestlichen Winden.

Der jährliche Gang ist derselbe wie in der Bodenschicht: Maximum im Winter, Minimum im Sommer.

3. Die Luftversetzung.

Die Relativzahlen (unter R in Tab. 12) geben einen guten Überblick über die Gesamtluftversetzung in den Quadranten. Es lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Im Jahresmittel überwiegt die südwestliche Luftversetzung ganz bedeutend. 40 % der Gesamtluftbewegung geht durch den SW-Quadranten, in ungefähr gleichem Verhältnis zwischen der Erde und 2500 m. Setzt man die Relativzahlen zu nord-südlichen und ost-westlichen Komponenten zusammen, so ergibt sich aber, daß die südliche Luftversetzung die nördliche wenig überwiegt. Der Unterschied in meridionaler Richtung ist beträchtlich. Es ergibt sich für:

	Erde	200	500	1000	1500	2000	2500 m
Luftversetzung nach E	0.60	0.61	0.63	0.66	0.67	0.68	0.68 m

Es findet im Jahresmittel eine mit der Höhe zunehmende Versetzung ostwärts statt, mit nur schwacher nach Norden gerichteter Komponente.

Im Frühling liegt das Maximum der Luftversetzung im SW-, das Minimum wieder im SE-Quadranten. Bemerkenswert ist, daß das Vorherrschen der nördlichen Winde in der untersten Bodenschicht bewirkt, daß hier die Luftversetzung ein Maximum hat. Es existiert also eine flache Bodenschicht, in der die Gesamtversetzung sogar den SW-Quadranten übertrifft.

Im Sommer hat der SW-Quadrant die Hälfte der gesamten Bewegung, ähnlich im Herbst. Der Winter zeichnet sich durch eine gleichmäßigere Verteilung über die Quadranten aus. Nachstehende Tabelle läßt besser die Luftversetzung nach Norden und Osten erkennen:

m	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500	
Frühling	Ostwärts	0.52	0.53	0.56	0.57	0.60	0.62	0.59
	Nordwärts	0.44	0.51	0.53	0.54	0.54	0.53	0.52
Sommer	Ostwärts	0.73	0.72	0.77	0.80	0.81	0.81	0.79
	Nordwärts	0.51	0.55	0.61	0.59	0.67	0.68	0.72
Herbst	Ostwärts	0.58	0.59	0.63	0.65	0.64	0.61	0.49
	Nordwärts	0.59	0.65	0.61	0.57	0.46	0.44	0.39
Winter	Ostwärts	0.60	0.60	0.58	0.59	0.58	0.54	0.59
	Nordwärts	0.57	0.54	0.45	0.43	0.45	0.39	0.38
Jahr	Ostwärts	0.60	0.61	0.63	0.66	0.67	0.68	0.68
	Nordwärts	0.63	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.27

Natürlich ist, gemäß der vorherrschenden Westströmung in höheren Breiten, die Hauptversetzung ostwärts gerichtet, aber dieser Überschuss ist nur im Sommer sehr beträchtlich, nämlich $\frac{8}{10}$ der Gesamtbewegung. Die nordwärts gerichtete Komponente ist geringer und wächst mit zunehmender Höhe. In den übrigen Jahreszeiten beträgt die W—E-Versetzung 0.5—0.6.

Die Versetzung über den Breitenparallel ist unbedeutend; im allgemeinen überwiegt die zum Pol gerichtete Komponente. Der Winter macht davon eine bemerkenswerte Ausnahme, indem mit zunehmender Höhe die polwärts gerichtete Versetzung in äquatorwärts gerichtete übergeht.

Bemerkenswert ist auch die Zunahme der Südkomponente im Sommer. Sie beträgt in 2000 m fast 70 %. Es ist also das Hauptergebnis, daß in meridionaler und äquatorialer Richtung zwischen Sommer und Winter große Unterschiede in der Versetzung bestehen. Man kann sagen: Im Sommer findet die Luftversetzung mehr polwärts und ostwärts statt, im Winter ist die östliche Bewegung weniger überwiegend. Im Sommer nimmt die Südkomponente mit der Höhe stark zu, im Winter ab, um in ca. 500 m in die Nordkomponente überzugehen.

Die tägliche Periode der Windgeschwindigkeit. Es ist nicht möglich, die genaue tägliche Periode aus den Beobachtungen abzuleiten, da sie nicht gleichmäßig über die Stunden des Tages verteilt sind. Die überwiegende Mehrzahl aller Aufstiege fällt auf den Morgen (8—9 a) und den Nachmittag (2—3 p), während in der Nacht nur sehr wenige Aufstiege ausgeführt wurden, meist Leuchtpiloten, die teilweise recht anfechtbare Windmessungen lieferten. In St. Michel bei Brügge wurden in den Jahren 1917 und 1918 zwar auch zu anderen Stunden am Tage zahlreiche Pilotvisierungen ausgeführt (auch abends um 7—9 p), aber ich trage Bedenken, zur Untersuchung der täglichen Periode nur Piloten zu verwerten.

Daher habe ich mich auf die weit zahlreicheren Morgen- und Nachmittag-Windmessungen von der Küste beschränkt, die im Mittel auf ca. 8 a und 2 p entfallen, um aus diesen Differenzen Schlüsse auf die tägliche Periode zu ziehen. Man erhält so wenigstens für diese beiden Zeiten verlässliche Mittel.

Man kann im Zweifel sein, welche Methode bei diesen Untersuchungen für die Mittelbildung der 8 a und 2 p-Geschwindigkeiten angewendet werden soll. Es gibt 3 Möglichkeiten: Erstens: die direkte Methode der Benutzung der Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen; bei der Verschiedenheit der erreichten Höhen verbietet sich dies von selbst. Zweitens: die indirekte Methode der Differenzbildung, die bei aerologischen Beobachtungen anzuwenden allgemein üblich geworden

Tabelle 13. Windgeschwindigkeit und Änderung mit der Höhe (vormittags).

Höhe in m								Höhe in m							
	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500		Unten	200	500	1000	1500	2000	2500
Juli 1915	v	+2.24	+1.36	+0.52	+1.00	+0.85	+1.00	Oktbr.	v	+8.45	+1.74	-0.10	+0.14	+0.29	+1.33
	Δv	4.84	7.08	8.44	8.96	9.96	10.81		Δv	7.10	15.55	17.29	17.19	17.33	17.62
Aug.	v	+2.52	+1.04	-0.16	+1.00	+0.90	+0.33	Novbr.	v	+6.50	+1.14	+0.59	+0.10	+1.55	0.00
	Δv	4.04	6.56	7.60	7.44	8.44	9.34		Δv	5.82	12.32	13.46	14.05	14.15	15.70
Sept.	v	+3.14	+1.72	-0.10	-0.54	+0.71	-0.50	Dezbr.	v	+6.46	+0.27	-0.73	+0.35	+0.71	+1.00
	Δv	3.14	6.28	8.00	7.90	7.36	8.07		Δv	5.27	11.73	12.00	11.27	11.62	12.33
Oktbr.	v	+3.10	+2.57	-0.10	-1.00	+0.25	+1.33	Januar 1917	v	+7.20	+1.90	+0.35	+0.05	-0.27	+1.50
	Δv	3.43	6.53	9.10	9.00	8.00	8.25		Δv	6.07	13.27	15.17	15.52	15.57	15.84
Novbr.	v	+4.37	+3.12	+0.60	-1.15	+1.43	-0.50	Febr.	v	+5.26	+0.74	+0.17	+0.80	+0.16	+0.33
	Δv	3.96	8.33	11.45	12.05	10.90	12.33		Δv	3.92	9.18	9.92	10.09	10.89	11.05
Dezbr.	v	+6.08	+1.40	+0.00	+0.55	+0.75	-1.00	März	v	+5.74	+1.00	-0.12	-0.36	+0.72	-1.75
	Δv	5.80	11.88	13.28	13.28	13.83	14.58		Δv	6.11	11.85	12.85	12.73	12.37	13.09
Januar 1916	v	+5.48	+1.89	+1.26	+0.57	+0.86	+2.20	April	v	+5.35	+0.69	-0.10	+0.85	+1.05	+0.82
	Δv	6.41	11.89	13.78	15.04	15.61	16.47		Δv	5.10	10.45	11.14	11.04	11.89	12.94
Febr.	v	+7.92	+0.63	-0.75	+1.00	+0.50	-1.00	Mai	v	+5.13	-0.45	-0.34	-0.80	+1.13	+0.79
	Δv	6.13	14.05	14.68	13.93	14.93	15.43		Δv	3.67	8.80	8.35	8.01	7.21	8.34
März	v	+6.14	+0.86	-0.17	+1.67	+0.39	+1.00	Juni	v	+4.43	+1.28	+0.55	+0.52	-0.42	+0.17
	Δv	4.34	10.48	11.34	11.17	12.84	13.23		Δv	2.57	7.00	8.28	8.83	9.35	8.93
April	v	+5.60	+1.00	-0.50	+0.38	+0.38	+0.30	Juli	v	+3.47	+1.70	-1.37	+0.55	+0.42	+0.83
	Δv	4.97	10.57	11.57	11.07	11.45	11.83		Δv	4.00	7.47	9.17	7.80	8.35	8.77
Mai	v	+4.84	+0.65	-0.23	+0.58	+0.68	+1.12	Frühling	v	+5.45	+0.62	-0.24	+0.33	+0.79	+0.60
	Δv	3.42	8.26	8.91	8.68	9.26	9.94		Δv	4.57	10.02	10.64	10.40	10.73	11.52
Juni	v	+4.25	+0.57	+0.30	+0.29	+0.44	+1.55	Sommer	v	+3.37	+1.02	+0.15	+0.61	+0.34	+0.75
	Δv	4.72	8.97	9.54	9.84	10.13	10.57		Δv	3.93	7.30	8.32	8.47	9.08	9.42
Juli	v	+2.63	+0.55	+0.38	+0.40	+0.55	+1.60	Herbst	v	+5.24	+1.83	+0.11	-0.22	+0.70	+0.72
	Δv	3.31	5.94	6.49	6.87	7.27	7.82		Δv	4.74	9.98	11.81	11.92	11.70	12.40
Aug.	v	+4.00	+0.63	+0.85	+0.73	+0.33	+0.46	Winter	v	+6.40	+1.16	+0.08	+0.54	+0.33	+1.08
	Δv	4.15	8.15	8.78	9.63	10.36	10.69		Δv	5.60	12.00	13.16	13.24	13.78	14.11
Sept.	v	+5.00	+1.00	-0.25	+0.23	+0.41	+0.55	Jahr	v	+5.03	+1.14	+0.02	+0.34	+0.55	+0.72
	Δv	4.38	9.38	10.38	10.13	10.36	10.77		Δv	4.66	9.69	10.83	10.85	11.19	11.74

ist. Drittens: die Bildung der direkten Differenzen zwischen den beiden Terminen der einzelnen Tage. Der letztere Weg ist der einwandfreiste, aber es würden auf diese Weise sehr viele Aufstiege wegfallen müssen, da nicht an allen Tagen Beobachtungen von beiden Terminen vorliegen.

Ich habe daher den zweiten Weg gewählt und an die mittleren Geschwindigkeiten am Boden die Mittel der Differenzen angeschlossen. Bei der großen Zahl der Beobachtungen werden die erhaltenen Mittelwerte genügend genau sein.

Zum Vergleiche benutze ich dabei die Ergebnisse einer Arbeit meines Bruders über die tägliche Windperiode in der freien Atmosphäre über Lindenberg.

Allgemein zeigen die Tabellen 13 und 14, daß die Geschwindigkeitszunahme mit der Höhe in der Bodenschicht (Erde — 200 m) morgens wesentlich größer ist, als nachmittags; im Jahresmittel beträgt Δv um 8 a 5.03 ms, um 2 p 3.76 ms. In der zweiten Schicht (200—500 m) verschwindet diese Differenz bereits, dagegen scheint oberhalb 1000 m Δv nachmittags wieder größer zu sein. Bei den Jahreszeitenmitteln ist Δv ebenfalls morgens meist größer, nur der Frühling macht davon eine Ausnahme, wie sich auch in größerer Höhe Δv in dieser Jahreszeit abweichend verhält. Da im Frühling in der untersten Schicht sehr häufige NE-Winde gefunden wurden, sei es als Seewinde¹⁾ oder aus allgemeinen Ursachen, könnte

Tabelle 14. Windgeschwindigkeiten und Änderung mit der Höhe (nachmittags).

Höhe in m	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500	Höhe in m	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500
Juli 1915	v	+2.11	+2.05	+0.11	+0.70	+1.00	+0.60	Oktbr.	v	+4.92	+2.52	+1.80	-0.75	-0.08	+2.30
	Δv	5.53	7.64	9.69	9.80	10.50	11.50		Δv	8.24	13.16	15.68	17.48	16.73	16.65
Aug.	v	+2.00	+0.29	+0.15	0.00	+1.00	+1.00	Novbr.	v	+4.70	+1.83	+0.05	+0.50	+1.73	+1.00
	Δv	3.71	5.71	6.00	6.15	6.15	7.15		Δv	5.93	10.63	12.46	12.51	13.01	14.74
Sept.	v	+2.00	+2.25	-0.42	+0.25	+0.33	+1.50	Dezbr.	v	+5.87	+1.00	+0.10	+0.00	+0.09	+0.40
	Δv	5.30	7.30	9.55	9.13	9.38	9.71		Δv	4.35	10.22	11.22	11.32	11.32	11.41
Oktbr.	v	+2.04	+1.54	+0.62	-0.11	-0.28	+0.72	Januar 1917	v	+5.13	+1.90	+0.57	+0.78	-0.30	+0.86
	Δv	3.00	5.04	6.58	7.20	7.09	6.81		Δv	6.07	11.20	13.10	13.67	14.45	14.15
Novbr.	v	+4.35	+2.96	+0.17	+0.63	+0.13	0.00	Febr.	v	+5.84	+0.72	+0.16	+0.33	+0.17	-1.70
	Δv	4.35	8.70	11.66	11.83	12.46	12.59		Δv	5.12	10.96	11.68	11.84	12.17	12.34
Dezbr.	v	+5.52	+2.64	-0.91	+0.54	+0.57	+2.00	März	v	+3.70	+1.35	-0.55	-0.20	-1.11	-2.50
	Δv	5.96	11.48	14.12	13.21	13.75	14.32		Δv	5.86	9.56	10.91	10.36	10.16	9.05
Januar 1916	v	+5.41	+1.89	0.00	+1.31	+0.33	-1.50	April	v	+4.11	+1.46	-0.66	+1.65	-1.33	-0.66
	Δv	5.96	11.37	13.26	13.26	14.57	14.90		Δv	6.43	10.54	12.00	11.34	12.99	11.66
Febr.	v	+6.36	+1.60	+0.15	+1.06	-0.18	+1.00	Mai	v	+2.34	+0.55	+0.43	-0.17	+0.46	-0.07
	Δv	5.64	12.00	13.60	13.75	14.81	14.63		Δv	5.34	7.68	8.23	8.66	8.49	8.95
März	v	+4.04	+0.31	+1.41	-0.47	0.00	-1.50	Juni	v	+1.96	+0.24	+1.52	+0.73	+0.43	+0.52
	Δv	5.90	9.94	10.25	11.66	11.19	11.19		Δv	3.88	5.84	6.08	7.60	8.33	8.76
April	v	+5.29	-0.68	-0.25	-0.38	0.00	-0.14	Juli	v	+2.50	+0.13	+0.42	0.00	+0.24	+0.15
	Δv	6.07	11.36	10.88	10.43	10.05	10.05		Δv	5.17	7.67	7.80	8.22	8.22	8.46
Mai	v	+2.96	+0.42	+0.82	+0.04	-0.06	+0.94	Früh-ling	v	+3.71	+0.57	+0.19	+0.07	-0.25	+0.11
	Δv	5.21	8.17	8.59	9.41	9.45	9.39		Δv	5.80	9.51	10.08	10.27	10.34	10.09
Juni	v	+3.19	+0.50	+0.16	+1.00	+0.50	+2.00	Som-mer	v	+2.40	+0.42	+0.38	+0.42	+0.57	+0.45
	Δv	5.92	9.11	9.61	9.77	10.77	11.27		Δv	4.95	7.35	7.77	8.15	8.57	9.14
Juli	v	+2.04	+0.32	-0.11	+0.40	+0.73	-0.08	Herbst	v	+3.50	+1.81	+0.41	+0.09	+0.45	+0.86
	Δv	4.71	6.75	7.07	6.96	7.36	8.09		Δv	5.39	8.89	10.70	11.11	11.20	11.65
Aug.	v	+2.88	-0.12	+0.31	+0.09	+0.50	+0.54	Winter	v	+5.67	+1.63	+0.03	+0.65	+0.03	+0.42
	Δv	5.77	8.65	8.53	8.84	8.93	9.43		Δv	5.54	11.21	12.84	12.87	13.52	13.55
Sept.	v	+2.86	+0.82	+0.11	+0.08	+0.75	+0.42	Jahr	v	+3.76	+1.06	+0.26	+0.29	+0.27	+0.45
	Δv	5.70	8.56	9.38	9.49	9.57	10.32		Δv	5.41	9.17	10.23	10.49	10.78	11.05

¹⁾ Der Seewind tritt, besonders zur Zeit seiner stärksten Entwicklung, häufig als NNE an der flandrischen Küste auf.

diese Abweichung vielleicht damit zusammenhängen. Im Herbst und Sommer ist die geringere vertikale Windzunahme in der Bodenschicht am Nachmittage offenbar durch die stärkere konvektive Durchmischung der Luftschichten bedingt. Abgesehen vom Frühling, ist der vertikale Verlauf von Δv bis 2500 m morgens derselbe wie nachmittags. Die bereits früher erörterte Abnahme von Δv zwischen 500 und 1000 m tritt an beiden Terminen auf, was darauf hindeutet, daß ganz allgemeine Ursachen dies bestimmen, ohne Mitwirkung des täglichen Ganges der Konvektion.

Die Windgeschwindigkeiten selber weisen an den beiden Terminen folgende Differenzen auf, wobei ich zum Vergleich die Lindenberger Beobachtungen heranziehe. Da in der erwähnten Arbeit meines Bruders nur die Jahrgänge 1905—1911 von Lindenberg benutzt sind, habe ich in Tab. 15 auch die späteren Jahrgänge für die entsprechenden Termine zusammengestellt. (1911—1916.)

Tabelle 15. Die Windgeschwindigkeiten um 8a und 2p über Lindenberg. (1911—1916.)

	122 m		500 m		1000 m		1500 m		2000 m		2500 m	
	8a	2p	8a	2p	8a	2p	8a	2p	8a	2p	8a	2p
1911	5.6	6.3	10.0	9.2	10.4	9.8	10.9	10.3	11.2	11.0	11.8	11.4
1912	5.6	6.3	9.6	9.1	9.6	9.3	9.6	9.6	9.8	9.8	10.1	10.1
1913	5.4	6.2	10.1	8.9	10.0	9.2	10.1	9.4	10.2	9.6	10.7	9.9
1914	5.1	5.9	8.0	8.2	8.4	8.4	8.5	8.6	8.8	9.0	9.1	9.3
1915	5.0	5.3	9.1	8.6	9.0	8.6	9.1	8.9	9.3	9.2	9.6	9.7
1916	5.2	5.8	10.1	9.2	10.1	9.5	10.1	9.7	10.2	10.0	10.4	10.5
Mittlere Differenz 2p—8a	-0.65		-0.62		-0.45		-0.30		-0.15		-0.13	
(Breedene) Differenz 2p—8a	+0.70		-0.60		-0.30		-0.40		-0.60		-1.00	

Ich betrachte zuerst die Beobachtungen von Lindenberg. Die erste Reihe von A. Pepler (1905 bis 1911) zeigt eine Differenz zwischen $v(p)$ und $v(a)$ von fast 0.5 ms (Tab. 16 letzte Querspalte). Um diesen Betrag ist v nachmittags kleiner als v morgens. Auch die zweite Reihe (1911—1916), Tab. 16 vorletzte Querspalte, zeigt ähnliche Differenzen, doch nehmen sie bei den Mitteln dieser Reihe mit der Höhe auf einen sehr kleinen Betrag in 2500 m ab. Dies würde der Espy-Köppenschen Theorie entsprechen, nach der der tägliche Gang in der Höhe verschwindend sein muß.

Tabelle 16. Differenzen der Windgeschwindigkeit. (p—a.)

	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500
Frühling	+1.23	-0.51	-0.56	-0.13	-0.39	-1.43	-1.92
Sommer	+1.02	+0.05	-0.55	-0.32	-0.51	-0.28	-0.58
Herbst	+0.65	-1.09	-1.11	-0.81	-0.50	-0.75	-0.61
Winter	-0.06	-0.79	-0.32	-0.37	-0.26	-0.56	-1.22
Jahr	+0.75	-0.52	-0.60	-0.36	-0.41	-0.69	-0.96
(Lindenberg. Jahr. (A. Pepler)	—	—	-0.57	-0.48	-0.30	-0.48	—

Über Breedene ist gleichfalls oberhalb 500 m v nachmittags wesentlich kleiner als vormittags, aber gegen Lindenberg besteht der Unterschied, daß bei Breedene die Differenzen p—a oberhalb 1000 m allgemein stark zunehmen auf den großen Wert von 1 ms in 2500 m. Dies Ergebnis als ein zufälliges ansehen zu wollen, dürfte nicht angängig sein, da auch die Jahreszeitenmittel diese Zunahme der Differenzen bis 2500 m zeigen. Es ist auch schwer einzusehen, welcher systematische Beobachtungsfehler die regelmäßigen Abweichungen verursacht haben könnte. Am meisten möchte man noch an einen methodischen Fehler infolge veränderter Aufstiegsgeschwindigkeit der Piloten denken; aufsteigende Luftbewegung oder Turbulenz, welche letztere nach W e n g e r die Aufstiegsgeschwindigkeit der Piloten

infolge veränderter Reibung erhöhen soll, könnte in Frage kommen. Beide Ursachen würden tatsächlich untertags scheinbar kleinere Windgeschwindigkeiten bewirken; aber dieser Fehler könnte nur in der untersten Schicht von Belang sein, da in größeren Höhen die Änderung der Aufstiegs geschwindigkeit mit der Höhe gering ist und bei der Auswertung der Piloten nur die Differenzen der Entfernungen von Minute zu Minute eingehen. Ein kleiner Fehler entstünde nur dadurch, daß die in größerer Höhe gemessenen Windgeschwindigkeiten in geringere Höhe verlegt sind; bei der allgemeinen Zunahme der Winde mit der Höhe würde dies eine größere Geschwindigkeit vortäuschen, gegenüber dem Morgenaufstieg. Dieser sehr kleine Fehler würde aber die Differenzen $v(p) - v(a)$ verkleinern.

Andere systematische Fehler können nicht vorhanden sein, sodaß man die gefundenen Differenzen der Geschwindigkeiten nachmittags und morgens als reell ansehen muß.

Wir dürfen daher schließen, daß in der freien Atmosphäre, über Breedene, ebenso wie über Lindenberg, die Geschwindigkeit gegen 2 p wesentlich geringer ist als gegen 8 a. Diese Differenzen scheinen über Breedene in größeren Höhen wesentlich größer zu sein als über Lindenberg.

Unerwartet ist, daß in großen Höhen die Differenz der v im Sommer am geringsten und wesentlich größer im Winter und Frühling ist. Ich werde später noch darauf hinweisen, aus welchen Gründen keine allgemeine und einfache Abhängigkeit der täglichen Periode der Windgeschwindigkeit der freien Atmosphäre zu erwarten ist.

Die tägliche Periode der Windgeschwindigkeit hat in der Bodenschicht den umgekehrten Gang wie in der freien Atmosphäre. In einer Bodenschicht von geringer vertikaler Mächtigkeit, ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen vom Eiffelturm und neuerdings von den Funktürmen zu Nauen und Eilvese die Windgeschwindigkeit am Tage größer als nachts (resp. morgens). Nach Tab. 16 betragen die Differenzen am Boden und in 200 m Höhe für Breedene:

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Erde	+1.23	+1.02	+0.65	-0.06	+0.75
200 m	-0.51	+0.05	-1.09	-0.79	-0.52

Die Differenz (+) ist am größten im Frühling und Sommer, geringer im Herbst; im Winter ist kein Unterschied vorhanden.

Die Bodenperiode verschwindet ungefähr, entnommen einer graphischen Darstellung, in folgenden Höhen: Frühling ca. 130 m, Sommer ca. 300 m, Herbst ca. 80 m, Jahr ca. 120 m. Wie zu erwarten, ist die Höhe am größten im Sommer, wo die Durchmischung der Bodenschicht infolge der täglichen Konvektion am größten ist.

Nach Hellmann fällt am Nauener Funkturm in 32 m das Maximum der Windgeschwindigkeit auf Mittag, in 123 m umgekehrt das Minimum, ebenso etwas verspätet in 258 m. Der Übergang der Bodenperiode zur Periode der freien Atmosphäre muß also zwischen 32 und 123 m im Jahresmittel liegen. Für Ostende hat A. Pepler für 30 m Höhe über dem Boden nach den Registrierungen eines Fueß'schen Schalenkreuzanemometers gefunden, daß das Hauptmaximum um 1 p, das Minimum um 3 a eintritt. Der Belfried in Brügge in 90 m Höhe zeigte bereits den Übergang zum Typus der oberen Schichten. Danach wird die reine Bodenperiode noch unterhalb 100 m im Mittel des Jahres liegen. Für Nauen finden sich zwischen 2-3 p und 7-8 a in verschiedenen Höhen folgende Differenzen:

Nauen. Differenzen der Windgeschwindigkeit
2-3 p bis 7-8 a.

	2 m	16 m	32 m	123 m	258 m
Jahr	+0.87	+0.93	+0.85	-0.22	-1.11
Kalte Jahreshälfte	+0.72	+0.64	+0.44	-0.70	-2.33
Warme Jahreshälfte	+1.01	+1.22	+1.25	+0.13	+0.06

Durch Interpolation findet man danach, daß die Differenzen der beiden Termine in der kalten Jahreshälfte bei ca. 70 m, in der warmen erst bei ca. 300 m verschwinden; letzterer Wert fand sich auch für Breedene im Sommer.

Die Espy-Köppensche Theorie ist im allgemeinen in guter Übereinstimmung mit der täg-

lichen Periode der Bodenschicht. Die Durchmischung der unteren Schichten und der durch die Konvektion hervorgerufene Austausch der Geschwindigkeiten oben und unten, bewirkt, daß in der Bodenschicht das Maximum der Windgeschwindigkeit zur Zeit des Temperaturmaximums eintritt (gegen 2 p), das Minimum nachts. (Übrigens nicht zur Zeit des Temperaturminimums, sondern früher.) Dieser Bodentypus der täglichen Periode beschränkt sich auf eine flache Schicht von 50—100 m. Im Sommer reicht infolge der stärkeren Konvektion diese Welle höher hinauf (bis ca. 300 m), im Winter bis zu kaum 40 m Höhe. Da die Konvektion am Tage sich nicht hoch hinauf erstreckt, muß der Effekt der Espy-Köppenschen Theorie des Geschwindigkeitsverlustes der oberen Schichten am Tage sich mit der Höhe verlieren, und damit der tägliche Gang mit zunehmender Höhe verschwinden. In Wirklichkeit aber erstreckt sich der obere Typus der täglichen Periode in viel größere Höhen, als sich mit der Theorie vereinbaren läßt. Die Beobachtungen von der flandrischen Küste zeigten eine Zunahme der Amplituden in Höhen oberhalb 1000 m. Dies trat auch bei der Bearbeitung meines Bruders für Lindenberg hervor: Große Amplitude in 500 m, darüber Abnahme bis 1000 m, darüber wieder Zunahme. Bei genauerem Studium der täglichen Periode stößt man auf so verwickelte Beziehungen, daß die Theorie schwerlich für deren Erklärung ausreicht.

Ich vermag nicht einzusehen, wie der tägliche Gang der freien Atmosphäre mit einem Minimum der Windgeschwindigkeit um Mittag zustande kommen soll. Man nimmt gewöhnlich an, daß mit der Sonne eine 24-stündige Wärmewelle die Erde umkreist, wobei die von E über S nach W fortschreitende Aufwölbung der Luftdruckflächen im Osten resp. Südosten die Westwinde schwächen. Das bereitet der Vorstellung Schwierigkeiten. Ist das allgemeine Druckgefälle von Süden nach Norden gerichtet, so müßte, da der Scheitel der Wärmewelle im Süden vorübergeht, das allgemeine nordwärts gerichtete Druckgefälle, umgekehrt um Mittag, wenn der Scheitel der Welle durch den Meridian geht, am meisten verstärkt werden, also auch die Windgeschwindigkeit. Diese Überlegungen führen schließlich zu dem Schluß, daß die tägliche Periode der Windgeschwindigkeit der freien Atmosphäre keine einfache Erscheinung ist, sondern die Resultante verschiedener Faktoren, und zwar erstens der allgemeinen täglichen Welle der freien Atmosphäre, und zweitens der allgemeinen Luftdruckverteilung. Für erstere können zwei Wirkungen in Frage kommen. Erstens: die Erwärmung der unteren Schichten vom Boden aus und die damit verbundene Hebung der Druckflächen, und zweitens: die direkte Erwärmung der oberen Luftschichten durch Absorption der Wärmestrahlung. Man nimmt zwar allgemein an, daß letztere eine sehr geringe Rolle spielt, aber nach den neueren Feststellungen einer großen Amplitude der täglichen Temperaturperiode in großen Höhen scheint die direkte Wärmeabsorption doch größer zu sein. Der zweite Hauptfaktor ist die allgemeine Luftdruckverteilung, also ein örtlich verschiedener Faktor. Wenn die tägliche Periode die Resultante beider Faktoren ist, dann müssen die Extreme zu ganz verschiedenen Zeiten eintreten. Tatsächlich zeigen die Beobachtungen auf Bergen, daß das tägliche Minimum zu allen Stunden am Tage eintreten kann. Ist das allgemeine Druckgefälle von E nach W gerichtet, so wird das Windmaximum erreicht werden, wenn die südöstlichen Meridiane am stärksten erwärmt werden, also vormittags, das Minimum nachmittags. Das Umgekehrte ist bei west-östlichem Druckgefälle zu erwarten. Wenn das stimmt, muß bei östlichen Winden das Maximum verfrüht, bei westlichen verspätet eintreten. Auch kann bei entgegengesetzter Windrichtung oben und unten die Periode mit der Höhe sich umkehren. Wie weit diese Konsequenzen der Theorie stimmen, ist erst dann zu beurteilen, wenn man die tägliche Periode in Beziehung zu bestimmten Wettertypen untersucht und nicht, wie seither üblich, nur nach schwachen und starken Winden, oder heiteren und trüben Tagen die Beobachtungen sondert.

II. Die Windmessungen in St. Michel bei Brügge.

Infolge der Verschiedenheit der örtlichen Verhältnisse der Stationen St. Michel und Breedene (Inland und Küste) (Näheres über die Lage der Stationen siehe Einleitung.) ist es nötig, beide Beobach-

tungsreihen getrennt zu bearbeiten, da anzunehmen ist, daß sich gewisse konstante Differenzen ergeben werden.

1. Die Windgeschwindigkeiten und die vertikalen Windänderungen. Die Monatsmittel für v und Δv sind, wie bei Breedene, in Tab. 17 auch für St. Michel bearbeitet. Die Bodenmessungen sind in derselben relativen Höhe, 3 m über der Wiese, ausgeführt, und nach den sonstigen Meßbedingungen gut mit Breedene zu vergleichen. Eine gewisse Unsicherheit liegt wieder darin, daß die Beobachtungen keine gleichzeitigen sind. Die Reihe von St. Michel erstreckt sich über die Zeit von August 1917 bis September 1918. Es sind in dieser Zeit viel mehr Piloten als in der früheren verwendet, da der militärische Dienst häufigere Windmessungen als früher erforderte.

Ich vergleiche zunächst, um die Differenzen zwischen der flandrischen Küste und dem Inland zu studieren, die Mittelwerte des Jahres an beiden Stationen miteinander.

Differenzen für v und Δv zwischen St. Michel und Breedene.

		Unten	200	500	1000	1500	2000	2500	3000 m
Jahr	v	-2.0	-1.9	-1.1	-0.4	-0.1	0.0	+0.1	+0.3
	Δv	+0.13	+0.77	+0.65	+0.31	+0.09	+0.19	+0.13	

Die Reihe der Differenzen sieht vertrauenerweckend aus und scheint anzuzeigen, daß über St. Michel die Windgeschwindigkeit um 2 mps am Boden kleiner ist und mit der Höhe diese Differenz abnimmt. Sie wird bei 1000—1500 m ca. 0. Die Windzunahme mit der Höhe ist an der Inlandstation allgemein größer, am meisten in den unteren Schichten. Dies Resultat ist in Anbetracht der größeren Reibungskoeffizienten über der Inlandstation zu erwarten. Will man diesen absoluten Differenzen keine große Bedeutung beilegen, so deuten doch die Verhältniszahlen des Windes in 200 m zu dem am Boden an beiden Stationen auf dieselbe theoretische Beziehung hin. Allgemein ist das Verhältnis $\frac{v \text{ in } 200 \text{ m}}{v \text{ unten}}$ bei Breedene kleiner als bei St. Michel, sowohl im Mittel der einzelnen Monate, wie in denen der Jahreszeiten und des Jahres. Ich stelle sie nochmals zusammen:

		Verhältnis $\frac{v \text{ in } 200 \text{ m}}{v \text{ unten}}$				Jahr	Bei St. Michel ist das Verhältnis durchweg größer. An dieser Stelle kann auch noch ein völlig einwandfreier Beweis für die Geschwindigkeitsdifferenz Inland—Küste eingeflochten werden. Seit Juli 1918 war bei Raversyde an der Küste, ca. 700 m hinter der flachen Düne, eine Pilotstation eingerichtet worden für das Studium der Windverhältnisse an der Küste. Diese Station war auf Anregung artilleristischer Kreise entstanden, da die Brauchbarkeit der Windmessungen von Brügge für die Küste bezweifelt wurde. Aus 57 gleichzeitigen Pilotvisierungen in St. Michel und Raversyde, wozu nur Morgen- und Abendbeobachtungen benutzt
		Frühling	Sommer	Herbst	Winter		
Breedene		1.9	1.6	1.9	2.1	1.8	
St. Michel		2.2	2.4	2.6	2.4	2.4	

Tabelle 17. Windgeschwindigkeiten und Änderungen mit der Höhe über St. Michel. August 1917 — September 1918.

		Unten (12 m)	200 m	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m	$\frac{v \text{ in } 200 \text{ m}}{v \text{ unten}}$
August 1917	n	94	94	94	81	67	49	35	29	
	Δv		+4.60	+3.50	+1.60	+1.00	+0.40	-0.0	-0.30	
	v	3.3	7.9	11.4	13.0	14.0	14.4	14.4	14.1	2.4
September	n	115	115	112	102	89	70	61	50	
	Δv		+3.54	+2.04	+1.30	+0.61	+0.73	+1.28	+0.72	
	v	2.2	5.7	7.7	9.0	9.6	10.4	11.6	12.4	2.6
Oktober	n	109	109	109	98	84	67	46	33	
	Δv		+5.62	+2.42	+0.99	+0.10	+0.40	-0.17	+0.21	
	v	3.4	9.1	11.5	12.5	12.6	13.0	12.8	13.0	2.7

		Unten (12 m)	200 m	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2500 m	3000 m	$\frac{v \text{ in } 200 \text{ m}}{v \text{ unten}}$
November	n	76	76	76	58	41	31	10	4	
	Δv	+4.71	+1.58	-0.05	-0.12	+0.50	+0.80	+3.00		
	v	3.1	7.8	9.4	9.4	9.3	9.8	10.6	13.6	2.5
Dezember	n	71	68	66	63	48	30	14	9	
	Δv	+4.88	+1.95	+0.97	+0.46	+0.53	+0.71	-0.11		
	v	3.8	8.6	10.6	11.6	12.0	12.6	13.2	13.2	2.3
Januar 1918	n	67	61	59	57	50	34	20	12	
	Δv	+5.90	+2.40	+0.83	+0.64	+1.03	+1.65	+1.50		
	v	3.9	9.8	12.2	13.0	13.7	14.7	16.4	17.8	2.5
Februar	n	69	68	65	53	42	40	31	24	
	Δv	+5.88	+2.12	+0.64	+0.26	+0.32	+0.68	+1.13		
	v	4.3	10.2	12.3	12.9	13.2	13.5	14.2	15.3	3.0
März	n	91	84	84	87	83	75	65	49	
	Δv	+4.23	+1.04	-0.70	+0.93	+0.43	+0.12	+0.60		
	v	2.9	7.1	8.2	8.9	9.8	10.2	10.4	11.0	2.4
April	n	85	69	66	70	61	56	39	25	
	Δv	+3.10	+1.26	+0.34	+0.36	-0.07	+0.59	+0.20		
	v	2.9	6.0	7.3	7.6	8.0	7.9	8.5	8.7	2.1
Mai	n	88	71	69	85	74	68	54	44	
	Δv	+2.87	+0.84	+0.31	+0.20	-0.12	+0.74	+0.59		
	v	2.8	5.7	6.5	6.8	7.0	6.9	7.6	8.2	2.0
Juni	n	105	85	84	95	93	82	56	44	
	Δv	+3.47	+1.30	+0.83	+1.20	+1.33	+0.54	+0.11		
	v	2.8	6.2	7.5	8.4	9.6	10.9	11.4	11.5	2.2
Juli	n	109	107	107	102	90	78	61	42	
	Δv	+4.18	+1.60	+1.00	+1.26	+0.47	+0.98	+0.31		
	v	3.6	7.8	9.4	10.4	11.7	12.2	13.1	13.4	2.2
August	n	105	88	87	100	89	79	59	36	
	Δv	+4.12	+1.19	+0.14	+1.25	+0.48	+1.03	+0.75		
	v	2.5	6.6	7.8	7.9	9.2	9.6	10.7	11.4	2.6
September	n	106	93	93	94	79	55	30	24	
	Δv	+5.12	+3.66	+1.58	+0.91	+0.71	+0.80	+0.75		
	v	3.5	8.6	12.3	13.9	14.8	15.5	16.3	17.1	2.5
Frühling	n	264	224	219	242	218	199	158	118	
	Δv	+3.40	+1.05	+0.45	+0.50	+0.08	+0.48	+0.46		
	v	2.9	6.3	7.4	7.8	8.3	8.4	8.9	9.3	2.2
Sommer	n	413	374	372	378	339	288	211	151	
	Δv	+4.09	+1.90	+0.89	+1.18	+0.67	+0.64	+0.22		
	v	3.0	7.1	9.0	9.9	11.1	11.8	12.4	12.6	2.4
Herbst	n	406	393	390	352	293	223	147	111	
	Δv	+4.75	+2.42	+0.95	+0.38	+0.58	+0.68	+1.17		
	v	3.0	7.8	10.2	11.2	11.6	12.1	12.8	14.0	2.6
Winter	n	207	197	188	173	140	104	65	45	
	Δv	+5.55	+2.15	+0.81	+0.45	+0.63	+1.01	+0.84		
	v	4.0	9.6	11.7	12.5	13.0	13.6	14.6	15.4	2.4
Jahr	n	1290	1188	1169	1145	990	814	581	425	
	Δv	+4.45	+1.88	+0.78	+0.63	+0.49	+0.70	+0.67		
	v	3.2	7.6	9.5	10.3	10.9	11.4	12.1	12.8	2.4

wurden, um den Einfluß des Seewindes auszuschließen, ergeben sich folgende Differenzen Raversyde — Brügge:

Unten	200	500	1000	1500	2000 m
+2.0	+1.6	+0.4	+0.3	+0.3	-0.1 ms.

Das sind fast genau dieselben Differenzen wie die für St. Michel—Breedene. Die Küste hat am Boden eine um ca. 2 ms höhere Geschwindigkeit und die Differenzen nehmen mit der Höhe ab. Für die Windrichtung habe ich, was an dieser Stelle bemerkt sei, in diesen Beobachtungen keinen wesentlichen Unterschied gefunden.

Auf Einzelheiten der Tab. 17 einzugehen, ist unnötig. Es sei nur darauf hingewiesen, daß sich auch in dieser Reihe regelmäßig in mittleren Schichten eine Verlangsamung der vertikalen Windzunahme findet, wie in der Breedener Reihe.

Der jährliche Gang der Windgeschwindigkeit. Obwohl die 3jährige Beobachtungsreihe in Flandern noch zu kurz ist, um den jährlichen Gang der Windgeschwindigkeit mit Sicherheit festzustellen, habe ich es doch versucht, um eine abgeschlossene Bearbeitung des Materiales zu liefern. Die Mittelwerte der ganzen Reihe von Juli 1915 bis September 1918 sind in untenstehender Tabelle enthalten. Es sind dazu die Beobachtungen von St. Michel und Breedene zusammen bearbeitet. Es ist dies streng genommen nicht zulässig wegen der verschiedenen Lage der beiden Stationen.

Jährlicher Gang der Windgeschwindigkeit (ms)
(Juli 1915 — September 1918.)

	Unten	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
Januar	5.5	11.3	13.4	14.0	14.6	14.8	15.7	17.3
Februar	4.9	11.1	12.4	12.5	13.2	13.3	13.6	14.3
März	4.7	9.5	10.4	10.7	11.1	11.4	11.0	11.4
April	4.7	9.1	10.0	9.9	10.4	10.6	10.9	11.6
Mai	3.8	7.4	7.9	8.0	8.1	8.4	9.0	10.1
Juni	3.9	7.2	8.2	8.8	9.6	10.2	10.9	10.2
Juli	4.3	7.2	8.5	8.9	9.6	10.0	10.7	10.9
August	3.6	7.2	8.8	9.5	10.3	10.9	11.5	11.8
September	3.7	7.7	9.7	10.3	10.7	11.2	12.0	12.8
Oktober	4.7	9.7	11.9	12.5	12.3	12.5	13.1	13.7
November	4.4	9.3	11.2	11.5	11.5	12.4	12.9	(12.6)
Dezember	4.8	10.4	11.9	11.9	12.4	13.1	14.2	14.4
Schwankung	1.9	4.1	5.5	6.0	6.5	6.4	6.7	7.2

Die jährliche Periode der Windgeschwindigkeit hat keine einfachen Bedingungen und ist vom Klimagebiet abhängig, in dem die Station liegt; das gilt für die Bodenschicht, aber auch die ganze Troposphäre. Im Klima höherer Breiten zeigen die Bergobservatorien im allgemeinen ein Maximum der Windgeschwindigkeit im Winter, ein Minimum im Sommer. In den den Westwinden ausgesetzten Küstengebieten, wie Flandern, ist es ähnlich, doch tritt das Minimum oft früher ein, im Juni oder Juli.

Wir sehen aus der Tabelle, daß sich das im Wesentlichen an den 3jährigen Beobachtungen in Flandern bestätigt. Das Maximum der Windgeschwindigkeit fällt auf Januar, die Mitte des Winters, das Minimum überraschend früh auf den Mai, wenn man von der Bodenschicht absieht. Die jährliche Amplitude wächst von 1.9 am Boden auf 7.2 ms in 3000 m. Der Herbst hat wesentlich größere Windgeschwindigkeiten als das Frühjahr.

Um auch die Beobachtungen in größeren Höhen zu verwerten, habe ich die Mittelwerte der Windgeschwindigkeit nach den Pilotvisierungen über 3000 m an die Werte der Tabelle angeschlossen. Die Mittel sind für Jahreszeiten berechnet, da Monatsmittel bei den spärlichen Beobachtungen in größeren Höhen nicht zu bilden sind.

Die Tab. 18 enthält diese Mittel für v und Δv zusammen mit den Ergebnissen meiner erwähnten Bearbeitung der mitteleuropäischen internationalen Aufstiege.

Bei der Darstellung in Jahreszeitenmitteln gleicht der jährliche Gang einer einfachen Welle, mit dem Minimum im Sommer und dem Maximum im Winter, und zwar in allen Höhen bis 6000 m. Die Amplitude Sommer—Winter beträgt ca. 5—6 ms zwischen 3000 und 6000 m. Die Windzunahme mit der Höhe ca. 1—2 ms pro 1 km Höhendifferenz. Die mitgeteilten Werte für das mittlere Europa sind natürlich wesentlich geringer als die flandrischen, da sie aus den Beobachtungen überwiegend kontinentaler Orte gebildet sind. Es könnte dies auch als Beweis dafür angesehen werden, daß die freie Atmosphäre größerer Höhen über Flandern wesentlich größere Windgeschwindigkeiten hat als die rein kontinentale Lage.

Tabelle 18. Die Windgeschwindigkeiten über Flandern in größeren Höhen.

Frühling								Herbst									
	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000		3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000		
Flandern	n	143	84	75	49	39	23	15	n	96	74	59	45	30	22	17	
	Δv	+0.7	+0.9	+1.2	-0.1	+0.3	+0.3		Δv	+0.5	+0.6	+0.4	+1.1	+1.9	+0.7		
	v	12.0	12.7	13.6	14.8	14.7	15.0	15.3	v	13.0	13.5	14.1	14.5	15.6	17.5	18.2	
Mittleres Europa*	n	180		174		153		140	n	216		216		195		162	
	Δv		+1.5		+1.8		+1.2		Δv		+1.2		+1.7		+1.8		
	v	8.5		10.0		11.8		13.1	v	8.7		9.9		11.6		13.4	
Sommer								Winter									
Flandern	n	177	132	100	81	65	53	33	Flandern	n	45	32	21	14	8	5	5
	Δv	+0.8	+0.5	+0.5	+0.8	+0.5	+0.3			Δv	+0.5	+1.0	+0.6	+0.1	+1.0	+0.0	
	v	10.3	11.1	11.6	12.0	12.8	13.3	13.6	v	15.9	16.4	17.3	18.0	18.1	19.1	19.1	
Mittleres Europa	n	341		341		307		258	Mittleres Europa	n	110		111		93		70
	Δv		+1.1		+1.2		+1.1			Δv		+1.8		+1.6		+2.2	
	v	7.0		8.1		9.3		10.5	v	9.8		11.6		13.2		15.4	

*) Die Zahlen für das mittlere Europa aus: W. Peppler. Die Windgeschwindigkeiten über mittleren Breiten Europas bis zu grossen Höhen. Wetter 1919, Heft 11/12.

Fig. 4 (siehe Tafel) veranschaulicht gut den jahreszeitlichen Gang der Windgeschwindigkeit; deutlich tritt auch die viel stärkere Windzunahme mit der Höhe in der Bodenschicht im Winter gegenüber dem Sommer hervor.

Tabelle 19.

Monatsmittel der Änderung der Windrichtung mit der Höhe über St. Michel. (August 1917 — September 1918.) (+ = Rechtsdrehung, — = Linksdrehung.)

	12	200	500	1000	1500	2000	2500		12	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
	200	500	1000	1500	2000	2500	3000		200	500	1000	1500	2000	2500	3000	
1917								1918								
August	+13.4	+6.9	+0.6	+1.3	0.0	-0.7	+0.7	März	+10.5	+5.9	+5.8	+8.4	+4.8	+0.2	+5.6	
Septbr.	+17.2	+2.3	-1.3	-0.2	-0.5	+3.3	-2.3	April	+9.1	+6.2	+6.1	-1.1	+0.2	+2.5	-0.9	
Oktober	+18.6	+8.3	+4.3	+1.5	-0.0	+3.3	+4.1	Mai	+12.0	+5.9	+0.3	+2.2	-3.6	-3.0	-0.8	
Novbr.	+13.0	+9.7	+4.1	-0.3	+3.3	+29.0	-5.5	Juni	+4.3	+4.0	+3.9	-0.4	-2.8	+3.8	+3.4	
Dezbr.	+23.5	+5.2	-0.4	+10.5	+2.7	+4.1	-7.3	Juli	+10.3	+1.6	-0.2	-1.4	+0.4	-0.2	-1.0	
1918								August	+4.2	+5.0	+0.2	+2.5	+5.2	-0.6	+3.8	
Januar	+15.6	+10.2	+6.5	+1.4	-1.4	+0.5	-5.5	Septbr.	+8.9	+2.4	+3.0	+3.0	+2.0	+1.8	+1.5	
Februar	+14.1	+8.8	+8.3	+5.6	-1.9	-2.7	+0.1									

Die Drehung des Windes mit der Höhe. Tab. 19 enthält für St. Michel die Mittel der Winddrehungen. Ich stelle zunächst die am meisten interessierenden mittleren Drehungen der Bodenschicht und die Gesamtdrehungen zwischen Erde und 2000 m zusammen:

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Erde — 200 m					
St. Michel	10.4	8.4	14.3	17.4	12.6
Breedene	11.8	9.8	6.0	9.5	9.2
Erde — 2000 m					
St. Michel	25.0	14.9	23.8	35.3	24.8
Breedene	25.9	22.5	19.7	26.5	23.7

Im Ganzen ist die Drehung für die Bodenschicht über St. Michel etwas größer, was bei der kontinentaleren Lage zu erwarten ist. Die Differenz ist besonders groß im Herbst und Winter. In den Frühling- und Sommermitteln hat sonderbarerweise Breedene die stärkere Drehung. Es ist möglich, daß diese Eigentümlichkeit dem Einfluß des Seewindes zuzuschreiben ist, der an der Küste die vertikalen Drehungen vermehrt; zum Teil wird es auch dadurch verursacht sein, daß über dem kontinentaleren St. Michel im Sommer und Frühling infolge der stärkeren Konvektion und vertikalen Durchmischung die Drehung in der Bodenschicht am Tage vermindert wird.

In den höheren Schichten sind die mittleren Drehungen wenig übersichtlich. In der Schicht 200/500 m beträgt die Rechtsdrehung nur noch die Hälfte der Bodenschicht, derselbe Betrag wie in

Breedene. Darüber nimmt die Drehung weiter ab und wird in größerer Höhe unbedeutend. In den Mitteln der Monate und Jahreszeiten treten oft Schichten mit Linksdrehung auf oberhalb 1000 m, doch sind viel längere Beobachtungsreihen nötig, um hier Gesetzmäßigkeiten auffinden zu können.

Die prozentische Häufigkeit der Windrichtungen. Man wird aus den Ergebnissen des einen Jahrganges über die vorherrschenden Windrichtungen nicht viel entnehmen können.

Tabelle 20. Prozentische Häufigkeit der Windrichtungen nach Quadranten (St. Michel).

	Winter				Frühling				Sommer					
	N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N		
Erde	19.6	16.1	44.7	19.6	Erde	39.8	20.4	17.3	22.5	Erde	17.4	12.6	44.3	25.7
200	18.9	14.8	43.9	22.4	200	38.5	20.7	22.5	18.3	200	18.9	11.4	41.8	27.8
500	21.4	12.9	35.4	30.3	500	38.6	22.3	21.8	17.2	500	19.1	8.9	43.0	29.0
1000	21.4	12.7	32.4	33.5	1000	34.2	28.3	22.5	15.0	1000	16.7	5.9	47.1	30.3
1500	20.7	15.0	34.3	30.0	1500	33.2	22.9	26.1	17.8	1500	15.8	6.7	43.4	34.1
2000	21.9	15.2	33.5	29.4	2000	30.7	22.4	26.3	20.5	2000	15.6	4.2	43.9	36.3
2500	20.3	20.3	39.1	20.3	2500	31.9	22.9	25.4	19.7	2500	14.6	5.6	45.5	34.3

	Herbst				Jahr				
	N-E	E-S	S-W	W-N	N-E	E-S	S-W	W-N	
Erde	7.2	7.5	61.7	23.6	Erde	19.2	13.2	44.2	23.4
200	7.4	8.0	51.2	33.4	200	19.4	12.9	41.1	26.6
500	7.2	7.0	46.0	39.8	500	19.9	11.7	38.3	30.1
1000	6.8	6.5	41.8	44.9	1000	18.3	12.0	37.9	31.8
1500	6.6	5.2	44.3	43.9	1500	17.8	11.2	38.4	32.6
2000	7.4	6.4	42.4	43.8	2000	18.2	10.8	37.6	33.3
2500	9.5	6.6	43.8	40.1	2500	18.7	12.3	38.9	30.1

Fortsetzung von Tabelle 19.

Jahreszeitenmittel der Änderung der Windrichtung mit der Höhe über St. Michel.

		12/200	200/500	500/1000	1000/1500	1500/2000	2000/2500	2500/3000
Frühling	n	255	251	253	221	199	156	121
	R	+10.4	+6.0	+4.0	+3.8	+0.8	-0.4	+1.9
Sommer	n	355	359	370	331	287	210	151
	R	+8.4	+4.3	+1.1	+0.4	+0.7	+0.7	+1.7
Herbst	n	302	321	324	267	203	128	103
	R	+14.3	+5.2	+2.3	+1.2	+0.8	+4.8	+0.3
Winter	n	211	206	183	150	111	71	38
	R	+17.4	+8.1	+4.7	+5.6	-0.5	-0.2	-3.4
Jahr		+12.6°	+5.9	+3.0	+2.8	+0.4	+1.2	+0.1

*) Aus den Jahreszeitenmitteln gebildet.

Tab. 20. Wir sehen, daß, ähnlich wie im Durchschnitt der Breedener Reihe, die Winde aus dem SW-Quadranten in der freien Atmosphäre auch im Jahre 1918 überwogen. Eine bemerkenswerte Ausnahme aber machte der Frühling 1918. Früher wurde bereits aufmerksam gemacht auf die relative Häufigkeit der Nordostwinde zu Lindenberg und Breedene im Frühling, besonders in den unteren Schichten. Das Frühjahr 1918 war in dieser Hinsicht noch extremer, denn es fiel das Hauptmaximum auf den NE-Quadranten, nicht nur am Boden, sondern auch in der freien Atmosphäre bis 2500 m.

Tabelle 21. Mittlere Geschwindigkeiten und Relativzahlen der Luftversetzung nach Quadranten über St. Michel.

Höhe in m.	Frühling								Herbst							
	14	200	500	1000	1500	2000	2500	14	200	500	1000	1500	2000	2500		
NE-Quadrant	n	92	84	99	82	71	63	50	25	24	27	22	18	15	13	
	R	3.6	6.7	7.8	8.2	8.9	8.0	8.7	2.3	5.1	6.3	6.5	6.8	6.5	6.3	
	v	0.45	0.39	0.41	0.36	0.36	0.30	0.33	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	

Höhe in m		14	200	500	1000	1500	2000	2500	14	200	500	1000	1500	2000	2500
SE-Quadrant	n	47	45	57	68	49	46	36	26	26	26	21	14	13	9
	v	2.6	6.8	7.0	7.8	8.2	7.7	7.4	4.7	5.5	6.7	5.9	5.3	5.4	6.3
	R	0.16	0.21	0.20	0.28	0.22	0.21	0.20	0.10	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04
SW-Quadrant	n	40	49	56	54	56	54	40	214	166	172	135	121	86	60
	v	3.4	6.6	7.4	8.4	9.0	9.8	11.1	3.6	9.0	11.9	12.8	13.1	13.0	12.0
	R	0.18	0.23	0.22	0.24	0.28	0.32	0.34	0.62	0.56	0.54	0.48	0.51	0.49	0.47
NW-Quadrant	n	52	40	44	36	38	42	31	82	108	149	145	120	89	55
	v	3.0	6.1	7.3	6.4	6.7	6.7	5.5	3.5	8.5	10.0	11.0	11.1	11.2	12.3
	R	0.21	0.17	0.17	0.12	0.14	0.17	0.13	0.24	0.34	0.38	0.45	0.43	0.44	0.44
Mittlere v		3.3	6.6	7.5	7.9	8.4	8.2	8.4	3.6	8.3	10.3	11.1	11.4	11.2	11.2
Sommer.								Winter.							
NE-Quadrant	n	69	66	78	63	49	45	31	39	37	43	37	29	23	13
	v	2.8	5.0	6.0	6.5	6.8	7.5	8.4	3.5	7.6	9.4	10.8	12.8	12.1	10.3
	R	0.16	0.13	0.13	0.11	0.10	0.11	0.09	0.17	0.15	0.17	0.19	0.23	0.23	0.19
SE-Quadrant	n	50	40	36	22	21	12	12	32	29	26	22	21	16	13
	v	2.4	5.8	7.3	7.9	6.8	9.0	8.1	3.0	6.0	8.4	8.4	8.2	9.0	9.2
	R	0.09	0.09	0.09	0.05	0.04	0.04	0.30	0.12	0.09	0.09	0.09	0.10	0.12	0.16
SW-Quadrant	n	176	146	175	177	135	127	97	89	86	71	56	48	35	25
	v	3.5	9.0	10.6	11.1	12.3	12.2	13.4	4.6	10.4	13.4	13.4	11.0	11.0	10.4
	R	0.49	0.50	0.49	0.54	0.52	0.48	0.40	0.49	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.36
NW-Quadrant	n	102	97	118	114	106	105	73	39	44	61	58	42	31	13
	v	3.2	7.5	9.3	9.7	10.1	11.2	9.6	4.6	11.7	12.7	12.8	13.0	14.0	15.9
	R	0.26	0.28	0.29	0.30	0.34	0.37	0.21	0.22	0.28	0.33	0.36	0.34	0.35	0.29
Mittlere v		3.1	7.4	9.0	9.7	10.3	10.9	11.1	4.1	9.5	11.7	12.0	11.5	11.8	9.7

Höhe in m		14	200	500	1000	1500	2000	2500
Jahr								
NE-Quadrant	n	225	211	247	204	167	146	107
	v	3.2	6.1	7.3	8.0	8.7	8.3	8.6
	R	0.18	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16
SE-Quadrant	n	155	140	145	133	105	87	70
	v	3.0	6.1	7.3	7.7	7.5	7.8	7.7
	R	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.06	0.09
SW-Quadrant	n	519	447	474	422	360	302	222
	v	3.7	9.0	11.1	11.6	11.9	11.8	12.2
	R	0.47	0.47	0.45	0.44	0.44	0.43	0.46
NW-Quadrant	n	275	289	372	353	306	267	172
	v	3.5	8.3	9.9	10.4	10.5	10.8	10.2
	R	0.24	0.28	0.31	0.32	0.33	0.36	0.29
Mittlere v		3.5	7.9	9.5	10.1	10.4	10.4	10.4

In Tab. 21 sind die Relativzahlen der Luftversetzung und Geschwindigkeiten nach Quadranten enthalten. Vergleicht man die Bodenschichte, die gegenüber Breedene Abweichungen erwarten läßt, so sieht man, daß die verschiedene Lage der Stationen an der Küste und im Inland Einfluß hat auf die Windzunahme der unteren Schichten bei verschiedener Windrichtung, wie folgende Zahlen zeigen:

Breedene	v 500 v unten	St. Michel	v 500 v unten
NE-Quadrant	1.9		2.3
SE-Quadrant	2.2		2.4
SW-Quadrant	2.1		3.0
NW-Quadrant	1.8		2.8

Der Hauptunterschied ist die stärkere Windzunahme der Inlandstation für westliche Winde. Bei den Landwinden (SE-Quadrant) ist die Differenz zwischen Küste und Inland naturgemäß gering. Bei südwestlichen Winden wächst der Wind bis 500 m Höhe über der Inlandstation auf den 3fachen Betrag

an, an der Küste nur auf den doppelten. Da die Bodenmessungen beider Stationen durchaus vergleichbar sind, darf man daraus den Schluß ziehen, daß die Reibungskoeffizienten sich ähnlich verhalten wie die Windzunahmen, also wie 2:3. Die stärkere Bodenreibung an der Landstation bewirkt auch, daß die vertikale Windzunahme sich höher hinauf erstreckt als an der Küste.

Die in Tab. 21 zusammengefaßten Relativzahlen der Luftversetzung sind in Tab. 22 in vereinfachter Weise für nordwärts und ostwärts gerichtete Komponenten berechnet.

Diese Tabelle gibt den prozentischen Betrag der Luftversetzung in östlicher und nördlicher Richtung. Es kehren im großen Ganzen, trotzdem man es mit einer anderen Beobachtungsreihe zu tun hat, ähnliche Verhältnisse wieder, wie bei der Küstenstation. Im Jahresmittel beträgt die Versetzung in östlicher Richtung 70—80 %. Die nördliche Versetzung liegt, wie bei Breedene, zwischen 50 und 60 %. Die Erscheinung, daß die südliche Komponente der Westströmung im Winter zurücktritt und zwar mit zunehmender Erhebung in der freien Atmosphäre

Tabelle 22.

		Unten	200	500	1000	1500	2000	2500
Frühling	Meridional	0.51	0.40	0.39	0.36	0.42	0.79	0.47
	Äquatorial	0.34	0.44	0.42	0.52	0.50	0.53	0.54
Sommer	Meridional	0.75	0.78	0.78	0.84	0.86	0.85	0.61
	Äquatorial	0.58	0.59	0.58	0.59	0.56	0.52	0.70
Herbst	Meridional	0.86	0.90	0.92	0.93	0.94	0.93	0.91
	Äquatorial	0.72	0.61	0.58	0.51	0.53	0.52	0.51
Winter	Meridional	0.71	0.76	0.74	0.71	0.67	0.65	0.65
	Äquatorial	0.61	0.57	0.50	0.45	0.43	0.42	0.52
Jahr	Meridional	0.71	0.75	0.76	0.76	0.77	0.79	0.74
	Äquatorial	0.58	0.57	0.54	0.53	0.52	0.49	0.55

findet sich auch bei St. Michel wieder. Die Relativzahlen von 0.57 am Boden und 0.38 in 2500 m zeigen dies. Ebenso findet sich die Abnahme der Nordversetzung im Herbst mit zunehmender Höhe wieder.

Sehr charakteristisch verhält sich der Frühling: Im Jahre 1918 ist die Nordostströmung so dominierend, daß im ganzen bis 2500 m Höhe die Luftversetzung ostwärts unterdrückt ist, und auch nordwärts findet keine Versetzung statt. Vielleicht ist diese Eigentümlichkeit im westeuropäischen Klima allgemein so stark ausgeprägt, daß der Frühling einen Massentransport von höheren zu niederen Breiten und westlichen Längengraden im Mittel besitzt. Es würde dies interessante Folgerungen zulassen für die jährliche Schwankung in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre, und auch für die Erklärung der Kälterückfälle durch einen weit hinaufreichenden Transport kalter polarer Luftmassen nach niederen Breiten. Eine Bearbeitung der langjährigen Lindenberger Drachenaufstiege würde diese Frage wohl zu klären vermögen.

Man wird später sehen, daß sich im Temperaturverlauf analoge Beziehungen finden.

Die Beziehungen zwischen Luftdruckgradient und Wind. Eine exakte Untersuchung der Reibungsverhältnisse setzt vor allem die genaue Kenntnis des Luftdruckgradienten nach Größe und Richtung voraus. Dazu müßte ein Netz von genauen Luftdruckmessungen um die Station gegeben sein, bei vollkommener Gleichzeitigkeit der Beobachtungen. Diese Bedingungen sind aber schwer zu erfüllen, und es bleibt meist nichts anderes übrig, als die Gradienten den Wetterkarten zu entnehmen, was bei der Mangelhaftigkeit der Kriegswetterkarte nicht immer möglich ist. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, daß Breedene resp. Ostende die äußersten westlichen Stationen der Wetterkarte darstellen. Es ist auch nicht immer möglich, zu den Morgenwindmessungen die zugehörigen Gradienten zu ermitteln, da die Windmessungen der Drachenstation nicht immer gleichzeitig mit dem Wetterkartentermin stattfanden. Ich habe daher vorsichtig eine Reihe geeigneter Tage ausgewählt, wobei darauf geachtet wurde, daß nur Fälle mit möglichst geradlinigem Verlauf der Isobaren oder sehr großem Krümmungsradius benutzt wurden; alle zweifelhaften Fälle mit Unregelmäßigkeiten im Verlauf der Isobaren sind ausgeschaltet. Bei den übrigbleibenden Fällen wurden auf einer auswischbaren Tafel nochmals die Isobaren entworfen und darauf die Gradienten ausgemessen. Auf diese recht mühselige Weise, glaube ich nur einwandfreie Fälle erhalten zu haben, so daß man die erhaltenen Werte, soweit überhaupt möglich, als reell ansehen darf. Ganz sind eventuelle Fehler nicht zu vermeiden, da einerseits das Druckgefälle selten linearen Verlauf hat, und der Wind ein sehr veränderliches Element ist, andererseits aerologische Messungen immer mit gewissen Fehlern behaftet sind.

In der Hand des gewonnenen Materiales wurden zunächst 6 Gruppen von Gradientgrößen gebildet zwischen 4.32 mm und 0.74 mm; zu diesen Gruppen wurden die mittleren Windverhältnisse am Boden und der freien Atmosphäre festgestellt.

So ist zunächst die Tabelle 23 gewonnen. Man sieht, daß die Zahl der benutzten Fälle immerhin genügend groß ist. Von besonderem Interesse ist zunächst das Verhältnis der Windgeschwindigkeit zum Gradienten, dessen Werte die letzte Reihe jeder Gradientgruppe gibt.

Der Wert $v : \Delta B$ ist nur in sehr weiten Grenzen konstant für die einzelnen Gradientgrößen. Als Mittel erhält man dafür für die flandrische Küste 3.0. Der Wert ist auffallend klein in Anbetracht der Lage der Station am Meere. Aus anderen Untersuchungen ist von Sprung für die deutsche Küste 3.8 gefunden worden, auf dem Meere sogar Werte von 7-8. Ich bezweifle, daß diese verschiedenen Zahlen miteinander zu vergleichen sind, da der Bodenwert der Windgeschwindigkeit eine sehr unbestimmte Größe ist, und es sehr auf die relative Höhe der Messung über dem Boden ankommt. Der kleine Wert von 3.0 für Breedene wird dadurch erklärlich, daß die Windgeschwindigkeiten dort in nur 3 m relativer Höhe über dem Boden gemessen sind. Es wäre besser, bei derartigen Untersuchungen sich auf ein höheres Niveau allgemein zu einigen.

Man erkennt aus der Tabelle 23, daß $v : \Delta B$ nicht konstant ist, sondern mit zunehmendem Gradienten abnimmt. Offenbar unter dem Einfluß des sich mit dem Gradienten ändernden Gesamtreibungseffektes. Der theoretische Wert von 8.2 für $v : \Delta B$ wird nur bei geringen Gradienten erreicht, und nur in der freien Atmosphäre. Bei der kleinsten Gradientgruppe von 0.74 mm steigt das Verhältnis erst auf den theoretischen Wert von über 8.

Aus der Tabelle 23 ist leicht zu entnehmen, daß in allen Höhen das Verhältnis $v : \Delta B$ mit zunehmendem Gradienten abnimmt. Man wird diese Abhängigkeit nicht allein auf die Bodenreihung zurückführen können, da in größeren Höhen der freien Atmosphäre die Beziehung die gleiche ist.

Tabelle 23. Luftdruckgradienten und Wind.

	Luftdruckgradient am Boden 4.32 mm.						Luftdruckgradient am Boden 1.37 mm.					
	6 m	200	500	1000	1500	2000	6 m	200	500	1000	1500	2000
Beobachtungen	55	45	45	43	30	8	82	72	73	71	59	40
Windänderung	+7.8	+2.7	+0.5	+0.4	+0.8		+5.3	+0.6	-0.1	+0.2	+0.7	
Windgeschwindigkeit	8.5	16.3	19.0	19.5	19.9	20.7	4.5	9.8	10.4	10.3	10.5	11.2
Winddrehung	+8.3	+8.6	+5.0	+2.2	+1.4		+11.4	+7.2	+6.4	+0.6	+0.6	
Winkel zwischen Gradient- richtung und Windrichtung	109°	100.7	92.1	87.1	84.9	83.5	109°	97.6	90.4	84.0	83.4	82.8
$v : \Delta B$	2.0	3.8	4.4	4.5	4.6	4.8	3.3	7.2	7.6	7.5	7.7	8.2
	Luftdruckgradient am Boden 2.54 mm.						Luftdruckgradient am Boden 1.05 mm.					
	6 m	200	500	1000	1500	2000	6 m	200	500	1000	1500	2000
Beobachtungen	143	113	109	127	85	51	47	44	42	43	39	27
Windänderung	+6.7	+1.3	-0.4	+0.1	+0.4		+4.2	+0.5	-0.4	+0.5	-0.2	
Windgeschwindigkeit	6.1	12.8	14.1	13.7	13.8	14.2	3.8	7.5	8.0	7.6	8.1	7.9
Winddrehung	+15.3	+9.4	+2.5	+1.8	+4.4		+14.1	+3.6	+3.3	+2.1	-5.1	
Winkel zwischen Gradient- richtung und Windrichtung	108°	92.7	83.3	80.8	79.0	74.6	103°	88.9	85.3	82.0	79.9	85.0
$v : \Delta B$	2.4	5.0	5.6	5.4	5.4	5.6	3.1	7.1	7.6	7.2	7.7	7.5
	Luftdruckgradient am Boden 1.82 mm.						Luftdruckgradient am Boden 0.74 mm.					
	6 m	200	500	1000	1500	2000	6 m	200	500	1000	1500	2000
Beobachtungen	128	112	111	113	86	57	28	27	26	26	24	18
Windänderung	+6.2	+0.7	-0.5	+0.2	+0.6		+3.52	+0.23	+0.35	-0.46	+0.61	
Windgeschwindigkeit	4.7	10.9	11.6	11.1	11.3	11.9	2.9	6.4	6.6	7.0	6.5	7.2
Winddrehung	+14.8	+5.8	+2.5	+2.0	+3.1		+13.8	+3.6	-0.6	-3.6	+5.0	
Winkel zwischen Gradient- richtung und Windrichtung	114°	99.2	93.4	90.9	88.9	85.8	103°	89.2	85.6	86.2	89.8	84.8
$v : \Delta B$	2.8	6.0	6.4	6.1	6.2	6.5	3.9	8.6	8.9	9.5	8.8	9.7

Dies Resultat steht in Widerspruch mit anderen Bearbeitungen aerologischer Beobachtungen, wie von E. Gold und M. White, die gefunden haben, daß in der freien Atmosphäre die theoretischen Werte

der Windgeschwindigkeit gut mit den beobachteten übereinstimmen; bereits oberhalb 600 m soll der theoretische Wert erreicht sein.

Trotzdem möchte ich an der Realität der hier gewonnenen Mittel nicht zweifeln. Man muß die Abhängigkeit des Verhältnisses $v : \Delta B$ in der Turbulenz und inneren Reibung der Luft suchen, die mit zunehmender Windgeschwindigkeit wächst.

Wie groß die Abweichung des berechneten und beobachteten Wertes noch in 500 m Höhe ist, zeigt folgende nach der Formel $v = \frac{6.40 \Delta B}{\sin \varphi}$ ¹⁾ berechnete Tabelle. ($\varphi = 51^\circ$).

Gradient	4.32	2.54	1.82	1.37	1.05	0.74 mm	
v berechnet	36	21	15	11	9	6	beträchtlich; erst bei einem Gradienten von <1.5 mm nähern sich die theoretischen den beobachteten Werten.
v beobachtet	19	14	12	10	8	7	

Luftdruckgradient und Ablenkungswinkel. In Tab. 23 ist unter Gradientwinkel der Winkel i zwischen der Richtung des Gradienten und dem rückwärtigen Teil der Windbahn verstanden. Da man gewöhnlich mit $\alpha = 180^\circ - i$ rechnet, wenn α den sogenannten Ablenkungswinkel des Windes von der Gradientrichtung bezeichnet, sind in folgender Tabelle für 3 Höhenstufen die Ablenkungswinkel nochmals angegeben.

						Mittel	
Gradient	4.32	2.54	1.82	1.37	1.05	0.74	ca. 2.0 mm
α unten	71°	72	66	71	77	77	72°
α in 200 m	79	87	81	82	91	91	85
α in 500 m	88	97	87	90	95	94	92

Eine bestimmte Beziehung zwischen Ablenkungswinkel und Gradient ist hier kaum ausgeprägt. Es geht nur daraus hervor, daß bereits in ca. 500 m der Wind in der Richtung der Isobaren oder gegen den Gradienten weht. Die letzte Spalte gibt für den Boden einen Ablenkungswinkel von 72° im Mittel, für 500 m von 92°. Es beschränkt sich also die dem Druckgefälle folgende Komponente auf die Bodenschicht. Bildet man die Mittel für 1000 und 2000 m, so erhält man für α 95° resp. 97°. Die Bewegung geht mit zunehmender Höhe in eine gegen den unteren Gradienten gerichtete über.

Eine Abhängigkeit der Drehung des Windes bis 500 m von der Gradientgröße ist ebenfalls vorhanden, wie folgende Zahlen zeigen:

Gradient	4.32	2.54	1.82	1.37	1.05	0.74 m	
Gesamtdrehg. bis 500 m	16.9°	24.7	20.6	18.6	17.7	17.4	

Die erste Gruppe der größten Gradienten fällt stark heraus, die übrigen zeigen eine Zunahme der Drehung mit wachsendem Gradienten.

Tabelle 24. Luftdruckgradient am Boden: ca. 1.8 mm.

	6 m	200	500	1000	1500	2000	6 m	200	500	1000	1500	2000
	NE-Quadrant						SW-Quadrant					
Beobachtungen	26	20	20	22	16	5	25	25	25	24	16	14
Windänderung	+4.0	-0.1	+0.1	+0.8	+0.4		+7.4	-0.4	-0.8	+1.1	+1.0	
Windgeschwindigkeit	5.5	9.5	9.4	9.5	10.3	10.7	3.7	11.1	10.7	9.9	11.0	12.0
Winddrehung	+8.3	+5.0	-1.5	-0.7	-9.0		+14.0	+6.0	+4.4	+7.7	+2.4	
Winkel zwischen Gradient- und Windrichtung	94°	86.1	81.1	82.6	83.3	92.3	113°	99.3	93.3	88.9	81.2	78.8
$v : \Delta B$	3.1	5.3	5.2	5.3	5.7	5.9	2.1	6.2	5.9	5.5	6.1	6.7
	SE-Quadrant						NW-Quadrant					
Beobachtungen	19	17	16	15	10	5	44	39	39	40	36	22
Windänderung	+4.7	+2.1	-1.6	-0.3	+0.6		+7.2	+1.3	0.0	-0.2	-0.6	
Windgeschwindigkeit	5.7	10.4	12.5	10.9	10.6	11.2	4.7	11.9	13.2	13.2	13.0	13.6
Winddrehung	-4.0	-0.7	+3.7	+7.8	+13.4		-27.3	+9.2	+2.5	+2.2	+0.5	
Winkel zwischen Gradient- und Windrichtung	100°	103.7	104.4	100.7	92.9	79.5	113°	85.4	76.2	73.7	71.5	71.0
$v : \Delta B$	3.2	5.8	7.0	6.1	5.9	6.2	2.6	6.6	7.3	7.3	7.2	7.6

¹⁾ Die Formel ist streng genommen nur gültig für sehr schwach gekrümmte Windbahnen und sehr kleinen Ablenkungswinkel.

Tabelle 25. Luftdruckgradient am Boden: ca. 2.7 mm.

	6 m	200	500	1000	1500	2000	6 m	200	500	1000	1500	2000
	NE-Quadrant						SW-Quadrant					
Beobachtungen	21	15	15	20	9	4	26	23	22	22	18	10
Windänderung	+6.0	+0.3	+0.6	+1.8	+1.0		+7.0	+1.1	-0.5	-1.3	+0.3	
Windgeschwindigkeit	7.5	13.5	13.8	14.4	16.2	17.2	4.4	11.4	12.5	12.0	10.7	11.0
Winddrehung	+6.6	+3.7	+5.5	-2.4	-5.5		+16.5	+8.0	-2.6	-0.7	+2.2	
Winkel zwischen Gradient- und Windrichtung	90°	83.5	79.8	74.3	76.7	82.2	114°	97.9	89.9	92.5	93.2	91.0
$v : \angle B$	2.8	5.0	5.1	5.3	6.0	6.4	1.6	4.2	4.6	4.5	4.0	4.1
	SE-Quadrant						NW-Quadrant					
Beobachtungen	11	8	8	8	8	6	72	55	53	64	41	26
Windänderung	+6.0	+2.1	+1.0	-3.0	-0.3		+7.4	+1.5	+0.2	+0.4	+0.8	
Windgeschwindigkeit	5.3	11.3	13.4	14.4	11.4	11.1	6.3	13.7	15.2	15.4	15.8	16.6
Winddrehung	+2.7	-4.0	-1.1	+1.4	+3.7		+15.0	+9.8	+4.8	+3.8	+7.2	
Winkel zwischen Gradient- und Windrichtung	102°	99.6	103.6	104.7	103.3	99.6	113°	98.2	88.4	83.6	79.8	72.6
$v : \angle B$	2.0	4.2	4.9	5.3	4.2	4.1	2.3	5.1	5.6	5.7	5.8	6.2

Da bei verschiedener Gradientrichtung, sowohl aus allgemeinen Gründen, wie auch infolge der Küstenlage, verschiedene Wind- und Reibungsverhältnisse herrschen, ist es notwendig, die verschiedenen Richtungen des Druckgefälles bei gleicher Gradientgröße zu untersuchen. Dies ist in den Tab. 24 u. 25 geschehen, und zwar für die 2 häufigsten Gradientgrößen von 1.8 und 2.7 mm. Für die anderen Gruppen sind die Beobachtungen unzureichend. (Tab. 24 u. 25.)

Es ist zu bedenken, daß die flandrische Küste bei Breedene von SW nach NE streicht; es werden also die in der Tabelle z. B. unter NE-Quadranten gruppierten Windrichtungen, reine Winde von See, also ca. NW sein, da die Ablenkungen des Windes vom Druckgefälle fast 90° beträgt. Umgekehrt werden die unter SW-Quadrant des Druckgefälles zusammengefaßten Winde reine Landwinde (SE) sein. Diese beiden extremen Gradientgruppen NE und SW betrachte ich näher. Für den Nordostquadranten, also die reinen Seewinde, beträgt das Verhältnis $v : \angle B$ 2,8, für den SW-Quadranten, die von Land wehenden Winde, nur 1.6. Die Differenz spricht für die verschiedenen Reibungsverhältnisse. Für die Schichten von 200 m aufwärts erhält man als mittleren Wert für die SW-Gruppe 4,3, für die NE-Gruppe 5,6. Die Differenz ist also auch in der freien Atmosphäre noch vorhanden. Man könnte entweder daraus schließen, daß die geringere Reibung der von See wehenden Winde sich noch in 2000 m bemerkbar macht, oder, daß allgemein die östlichen Winde bei gleichen Gradienten schwächer sind. Das widerspricht früheren Untersuchungen, die gezeigt haben, daß bei gleichen Gradienten die Ostwinde wesentlich stärker als die Westwinde sind. Daß die Breedener Beobachtungen ein abweichendes Ergebnis liefern, ist bei der Küstenlage nicht auffallend; auch die Tab. 27 zeigt übrigens dieselbe Eigentümlichkeit, was dagegen spricht, daß das Ergebnis ein zufälliges ist. Hier beträgt für den SW-Quadranten $v : \angle B$ am Boden 2,1, für den NE-Quadranten 3,1, eine ähnliche Differenz. Die betr. Zahlen für die freie Atmosphäre oberhalb 200 m sind 6,1 und 5,5.

Die Unterschiede der Winddrehung mit der Höhe sind am größten bei den Gruppen NE und SW. Bei nordöstlichem Druckgefälle, also vorwiegend reinen Seewinden, beträgt die Drehung bis 500 m nur 10,3°, bei der SW-Gruppe, vorwiegend Landwinden, 24,5°. In der Bodenschicht bis 200 m ist der Unterschied groß, 6,6° gegen 16,5°.

Der SW-Quadrant weicht von den übrigen dadurch stark ab, daß die Ablenkungswinkel bis 2000 m auffallend klein sind. Beide Tabellen 24 u. 25 zeigen diese Eigentümlichkeit. Bei der größeren Gradientgruppe (Tab. 25) herrscht merkwürdigerweise in der Bodenschicht Linksdrehung, ebenso ist in der freien Atmosphäre der Ablenkungswinkel klein; es herrscht also in Bezug auf den Gradienten einströmende Bewegung. In nachstehender Tabelle sind die Windrichtungen in Bezug auf das untere Druckgefälle berechnet.

Wenn man von den beiden oberen, infolge der geringen Zahl von Beobachtungen unsicheren Stufen absieht, beträgt die Rechtsdrehung des Windes in 1000 m gegen den Unterwind bei NE-Gefälle 11°, bei SE: —1°, bei SW: 24°, bei NW: 40°. Überträgt man diese Verhältnisse auf um eine Zyklone geschlossene Isobaren, so ergeben sich in verschiedenen Höhen folgende Ablenkungswinkel. (α = Winkel zwischen Gradientrichtung und Windbahn.)

		Windrichtung.			
		Unten	200	500	1000
Druckgefälle	NE	N 49 W	N 41 W	N 36 W	N 38 W
	SE	E 55 N	E 59 N	E 59 N	E 56 N
	SW	S 68 E	S 54 E	S 48 E	S 44 E
	NW	W 68 S	W 40 S	W 31 S	W 28 S

Danach ist am Boden die einströmende Bewegung größer auf der Ostseite der Zyklone (SE u. NE), geringer auf der Westseite (NW u. SW). Bereits in 200 m Höhe aber fließt die Luft im SE- und SW-Quadranten gegen die unteren Gradienten. Im NW-Quadranten (Rückseite) überwiegt bis 1000 m die einströmende Bewegung. Im Großen Ganzen stimmt dies mit den bisherigen Anschauungen über die Luftbewegung in Zyklonen überein,¹⁾ höchstens kommt die starke einwärts gerichtete Komponente im NW-Quadranten etwas unerwartet. Man wird aber dieser Anwendung der Ergebnisse auf die Zyklonen keinen allzu großen Wert beilegen dürfen, da bei der Bearbeitung nur das allgemeine Druckgefälle und nicht zyklonale Verhältnisse berücksichtigt wurden.

Zyklone	Unten	200	500	1000 m
SE-Quadrant	67°	95°	104°	107°
SW-Quadrant	86°	94°	99°	97°
NW-Quadrant	80°	76°	76°	79°
NE-Quadrant	67°	81°	87°	91°

Um die Abhängigkeit der Windzunahme mit der Höhe vom Bodenwind, ohne Rücksicht auf das Druckgefälle, an einem größeren Materiale zu untersuchen, habe ich ausgehend vom Bodenwind für 12 Geschwindigkeiten, von 0—12 mps, die zugehörigen vertikalen Windzunahmen berechnet. Es sind dazu sämtliche Windbeobachtungen, Piloten und Drachen, also eine sehr große Zahl von Beobachtungen verwertet. Doch ist zu bemerken, daß für die Küste die Werte für 0 ms am Boden nicht ausreichen, ebenso bei Brügge die Werte für 11 u. 12 ms, da hier die großen Windstärken am Boden zu selten waren. Für die übrigen Geschwindigkeiten dürften die erhaltenen Mittelwerte der Windzunahme zuverlässig sein.

Windgeschwindigkeit am Boden und Windzunahme mit der Höhe.

v (ms.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Erde — 200 m	+2.7	+3.5	+3.9	+4.5	+4.8	+5.9	+5.5	+5.7	+6.0	+6.3	+6.2	+6.1	+6.4	} Brügge
200 — 500 m	+1.3	+1.3	+1.3	+2.2	+1.7	+2.1	+3.1	+3.7	+2.8	+2.0	+2.7	+3.0	+4.0	
Erde — 200 m	+2.6	+3.2	+3.9	+4.3	+4.4	+5.5	+5.3	+5.3	+5.3	+5.7	+6.0	+5.6	+6.0	} Küste
200 — 500 m	+0.3	+0.5	+0.4	+0.7	+0.5	+1.0	+1.0	+1.8	+1.2	+1.5	+1.4	+1.8	+3.5	

Es zeigt sich, daß für geringe Windgeschwindigkeiten von 0—5 ms die vertikale Windzunahme mit der Geschwindigkeit wächst, für die unterste Schicht (Erde bis 200 m) von 2.6 auf fast 6 ms, ungefähr im selben Maße bei beiden Stationen. Für Windgeschwindigkeiten oberhalb 5 ms beträgt die Windzunahme mit der Höhe jedoch ziemlich konstant ca. 5—6 ms. Lehrreich ist der fast parallele Verlauf beider Kurven für die Küste und für Brügge, und es ist sicher kein Zufall, daß bei 4—5 ms Geschwindigkeit die Windzunahme sprunghaft an beiden Stationen ansteigt. Es wäre interessant, diese Beziehung an einem noch größeren Material, etwa dem von Lindenberg, zu untersuchen.

Vorläufig möchte ich nur, ohne eine endgültige Erklärung geben zu wollen, darauf hinweisen, daß nach Untersuchungen Hesselbergs die Reibung bis ca. 4 ms Geschwindigkeit zunimmt und darüber konstant bleibt, ferner darauf, daß ich an den Lindenerger Doppelvisierungen von Pilotballons gefunden habe, daß bei ca. 4 ms ein erstes Maximum der Variabilität der Aufstiegs geschwindigkeit liegt, oder auch der Vertikalbewegungen und der Turbulenz. Auch hat A. Peppler¹⁾ in einer kürzlich erschienenen Bearbeitung

¹⁾ Die Beobachtung der unteren Wolken hat gezeigt, daß ihre Richtung annähernd parallel der Tangenten an die Isobaren ist, an der Vorderseite ist die Windrichtung in dieser Höhe sogar schon etwas nach auswärts gerichtet. Ähnliche Beziehungen fand A. Peppler: „Windgeschwindigkeiten und Drehungen in Zyklonen und Antizyklonen. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. Bd. IV.

²⁾ A. Peppler: Untersuchungen über die Geschwindigkeit und Bögigkeit des Windes. Wetter, 1918, Heft 11/12.

der Registrierungen eines Böenschreibers von Steffens—Hedde auf der Mole von Zeebrügge gefunden, daß die Bögigkeit des Windes nicht linear mit der Geschwindigkeit anwächst, sondern daß gewisse Schwellenwerte der Geschwindigkeit vorhanden sind mit sprunghafter Zunahme der Bögigkeit, deren eine bei 4—6 ms liegt. Auch Barkow¹⁾ fand an den Aufzeichnungen des Potsdamer Anemographen, daß bei einer Geschwindigkeit von 4 ms eine Turbulenzschwelle vorhanden ist.

Übrigens ist auch bei der zweiten Schicht (200—500 m) noch eine Abhängigkeit der Windzunahme vom Bodenwind zu sehen; natürlich sind an der Küste infolge der geringeren Reibung die Windzunahmen bei allen Geschwindigkeiten etwas kleiner als über der Landstation.

Aus den in Tab. 23 angegebenen Werten der Ablenkungswinkel läßt sich der Reibungskoeffizient für die Küstenstation berechnen. Die Formel dafür lautet $K = 2 \cdot \omega \sin \varphi \cotg \alpha$, wo ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde, φ die geographische Breite = $51^\circ 14'$, α der Ablenkungswinkel, und zwar im Mittel für die 4 Gradientgruppen = 72° . Es finden sich folgende Werte für den Reibungskoeffizienten K:

Der Reibungskoeffizient ist größer als der von Ley für die Küstengebiete gefundene. Da die Werte von α für die verschiedenen Gradientgrößen nicht dieselben sind, schwankt auch K ungefähr zwischen 0.0000377 und 0.0000500 für Breedene.

Für 200 m ergibt sich K bei einem mittleren Ablenkungswinkel von 85° zu 0.00000934.

Schließlich habe ich noch die Reibungskoeffizienten für verschiedene Richtungen des Druckgefälles aus den Ablenkungswinkeln berechnet nach obiger Formel, und zwar für die Gradientgruppe von 2.7 mm.

Für NE-Gefälle (reine Seewinde) wird K sehr klein, da α fast 90° . Am größten wird, wie zu erwarten, der Reibungskoeffizient für den reinen Landwindquadranten (SW) mit 0.0000506.

Druckgefälle	α	K
NE	ca. 90°	sehr klein
SE	78°	0.0000241
SW	66°	0.0000506
NW	67°	0.0000483

Die Windgeschwindigkeiten in der Bodenschicht über Breedene und St. Michel, verglichen mit denen vom Nauener Funkenturm. Zu einer genaueren Untersuchung der Windverhältnisse der Bodenschicht fehlen leider noch Zwischenbeobachtungen unterhalb 200 m. Ich habe auch versucht, die von meinem Bruder bei der Bearbeitung der Ostender Anemographenregistrierungen gefundenen Werte zu benutzen, um einen Zwischenwert in der untersten Schicht zu erhalten. Aber die absoluten Werte sind schlecht zu vergleichen. Die Ostender Registrierung ergibt in 30 m Höhe über dem Boden und ca. 10 m über dem Häusermeer von Ostende in der Periode Juli 1916—Juli 1917 eine mittlere Windgeschwindigkeit von 5.18 ms. Das Mittel für die gleiche Periode für Breedene beträgt 5.14 ms, also kaum weniger. Die freie Lage der Drachenstation auf einer offen dem Winde allseits ausgesetzten, kahlen Weide erhöht die Windgeschwindigkeiten ebenso, als die größere Höhe des Ostender Anemographen über dem Boden. Die Lage ist im Windschutz des Häusermeeres der Stadt und besonders der Kathedrale gegen die vorherrschenden SW-Winde nicht ungestört. Daher habe ich unter Benützung meiner Werte für 200 und 500 m Höhe und der genaueren Untersuchungen über die Bodenschicht von Hellmann am Nauener Turm versucht, unter Benützung der dort gefundenen vertikalen Windgradienten für die Schicht unterhalb 200 m (siehe Tafel, Fig. 5) den vertikalen Gang der Windgeschwindigkeit genauer zu untersuchen.

Es ist natürlich bedenklich, die Konstanten von Nauen auf Flandern zu übertragen, da der vertikale Verlauf der Windgeschwindigkeit örtlich und klimatisch verschieden ist. Für Nauen hat Hellmann den vertikalen Gang genau festgestellt mit 5 Anemographen in 2, 16, 32, 123, 258 m Höhe und die Resultate auch in eine Formel zu fassen gesucht. Da derartige Formeln keine Allgemeingültigkeit haben,

¹⁾ E. Barkow: Windänderung mit der Höhe und Turbulenz. Ann. d. Hydr. 45. S. 1—6.

²⁾ Hann, Lehrbuch, S. 754.

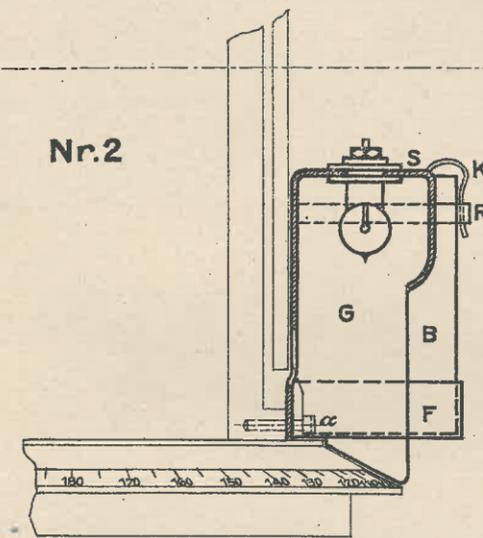
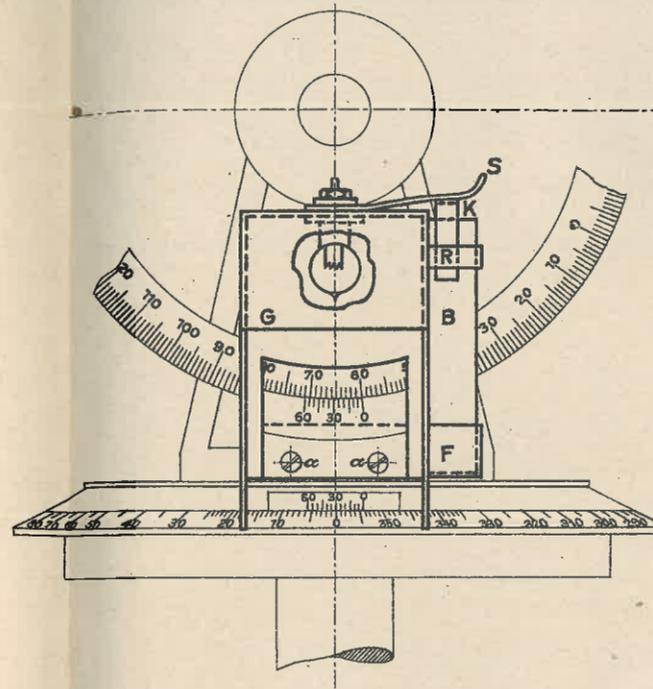
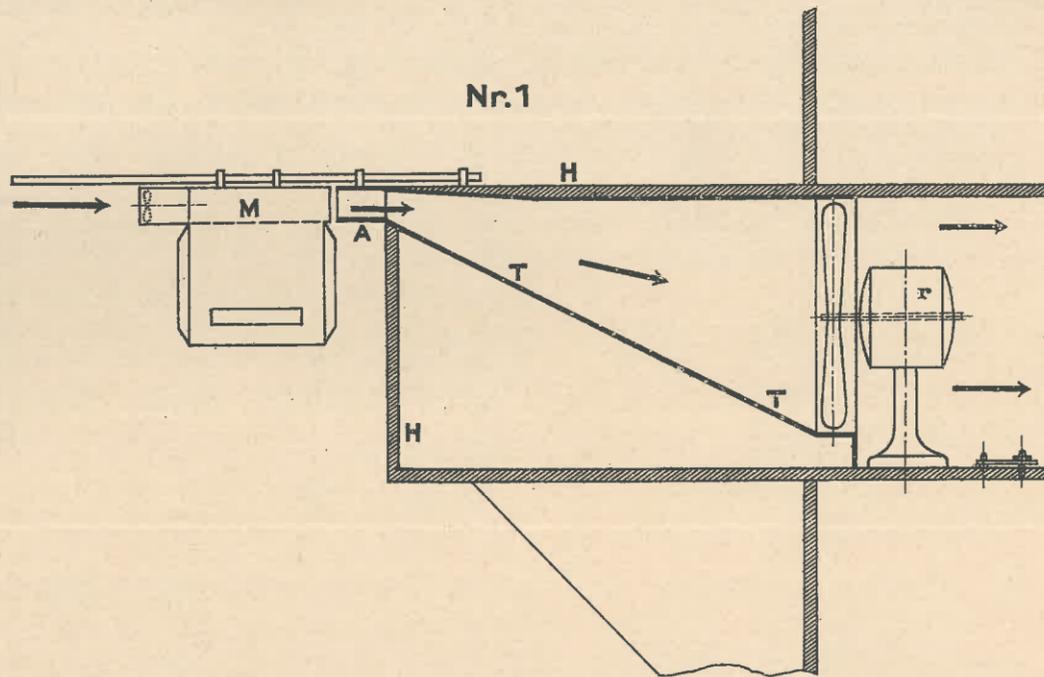
unterlasse ich es, sie auf unsere Mittel anzuwenden; die Formel für den Nauener Funkenturm wird bestenfalls auch nur für das norddeutsche Flachland und für ungestörte Bodenverhältnisse gelten.

Man wird die Kurven in Fig. 5 nur als rohe Annäherung an die Wirklichkeit ansehen können. Benutzt man zur Darstellung die relativen Höhen über dem Boden, wie es in der Figur geschehen ist, so gleichen sich die 3 Kurven immerhin sehr. Der einzige wesentliche Unterschied zwischen der Küste und dem Inland (Breedene—St. Michel) ist der, daß über der Landstation oberhalb 200 m die Windzunahme größer ist, als über der Küstenstation; bei letzterer verläuft die Kurve im oberen Teile steiler. Für die unterste Schicht findet sich fast derselbe Betrag der Windzunahme, nämlich Nauen (2—200 m) 4.6 ms, Breedene (3—200 m) 4.5 ms, St. Michel (3—200 m) 4.5 ms. Aus den beiden Kurven entnehme ich folgende Windgeschwindigkeiten:

Höhe (m)	3	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Breedene (Küste)	5.0	7.5	8.4	9.1	9.5	9.8	10.1	10.4	10.5	10.6	10.7
St. Michel (Inland)	3.2	5.7	6.6	7.3	7.7	8.1	8.5	8.8	9.1	9.3	9.5

W. Pepler: Die Beobachtungen der Marine-Drachenstation Breedene (Meer) und St Michel bei Brügge

Beob. d. deutschen Marinstationen 1914-18 Heft 3



Nr. 3
Die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit über Breedene (Meer)
von Juli 1915 bis Juli 1917.

