

POLARFORSCHUNG

Mitteilungen der Vereinigung zur Förderung des Archivs für Polarforschung, Kiel, e.V.,

Wilhelminenstraße 28 · Fernruf 6828 · Postscheck des Archivs: Hamburg 75 905,

Postscheck der Förderungsvereinigung: Hamburg 56 996

Schriftleitung: DR. GROTEWAHL · Für den wissenschaftlichen Teil: RUTHE

Für Reklame und Buchbesprechung: J. SCHONEFELDT

Verlag von Willibald Keller, Leipzig

JAHRG. 12

31. DEZEMBER 1942

HEFT 2

*Was Du auch tust, um reiner,
reifer und freier zu werden;
Du tust es für Dein Volk.*

HEINRICH V. TREITSCHKE

VOM KLIMA DER ANTARKTIS

II. DIE ANTARKTISCHE ANTIZYKLONE

Schon James Clark Roß hatte die interessante Beobachtung gemacht, daß jenseits der subantarktischen Luftdruckfurche der Luftdruck wieder ansteigt. In der Tat beginnt hier der Bereich der antarktischen Antizyklone, die durch einen schmalen Gürtel von veränderlichen, schwachen und umlaufenden Winden und Windstillen von der Westwindzone getrennt ist. Die Luftdruckverteilung spiegelt so die Natur der Unterlage, d. h. die Verteilung von Wasser und Land, klar wider.

Die Existenz der antarktischen Antizyklone hatte man sowohl aus der Zunahme des Luftdruckes nach Süden als auch aus den am Rande der Antarktis vorherrschenden Ostwinden gefordert. Man glaubte, daß es sich bei diesen Ostwinden um aus dem Maximum herauswehende Luftströmungen handelte; diese mußten natürlich durch Trockenheit und Kälte charakterisiert sein. Aber sie erwiesen sich als feucht, niederschlagsreich und warm. So beobachtete man gerade bei schwerem Sturm größere Temperaturerhöhungen. Daß es sich hierbei nicht um Föhn handelt, ergibt sich daraus, daß die Luftfeuchtigkeit meist über 90% beträgt. Auch das Steigen des Dampfdruckes beweist, daß feuchte Luftmassen herangeführt werden. Desgleichen waren bei den stürmischen Ostwinden stets Kondensationserscheinungen wie Rauheif an den Luvseiten der Gegenstände zu erkennen. Auch wurde am Ende der meisten Sturmperioden eine Erhöhung der Schneedecke festgestellt; sie betrug an der Gauß-Station fast das Vierfache wie in sturmfreien Niederschlagsperioden. Der Grund für die erwähnten Eigenschaften dieser Ostwinde kann eben nur darin gesucht werden, daß diese Ostwinde nicht antizyklonal, sondern zyklonaler Herkunft sind. Damit stehen ihre Eigenschaften in vollem Einklange; denn die auf der Südseite einer Depression auf der südlichen Hemisphäre wehenden Winde kommen aus nördlichen Richtungen, also vom warmen Meere her, über dem sie Feuchtigkeit aufnehmen können. Diese Ostwinde am Rande des antarktischen Festlandes sind also als notwendige Folge der in der antarktischen Luftdruckfurche nördlich vorbeiziehenden Tiefdruckgebilde aufzufassen und als erforderliches Analogon der konstanten Westwinde anzusehen.

Stellt man die jährliche Luftdruckverteilung im Meeresniveau über dem Südpolargebiet dar, so erkennt man, daß die Antarktis von einem Ring von Isobaren umgeben ist, die verhältnismäßig einfach verlaufen und dabei eng zusammenliegen. Wird die subantarktische Luftdruckfurche von der Isobare 740 mm begrenzt, so ist aus dem nur langsamen Ansteigen des Luftdruckes nach Süden zu schließen, daß die antarktische Antizyklone wohl höchstens durch die Isobare 745 mm im Meeresniveau gekennzeichnet werden kann.

Genau wie die subantarktische Luftdruckfurche verlagert sich auch die antarktische Antizyklone in den einzelnen Jahreszeiten, woraus sich wieder wichtige Schlüsse auf die Lage des antarktischen Festlandes ziehen lassen. Schon Supan hatte aus der jahreszeitlichen Änderung der

Windrichtung am Kap Adare und auf der „Belgica“ diese Verlagerung vermutet, eine Tatsache, die Meinardus aus den gleichartigen Beobachtungen der Gauß-Station mit dem Resultat bestätigte, daß im Winter eine Verschiebung nach der Ostantarktis, im Sommer nach den zentralen Teilen der Antarktis eintritt. Der Grund hierfür ist wohl darin zu sehen, daß der Kältepol in der Ostantarktis liegt. Da sich aber ein solcher erfahrungsgemäß im Winter nur über großen Landmassen entwickelt, so muß auf Grund dieser Überlegung hier die Hauptmasse des antarktischen Festlandes vermutet werden, was bekanntlich in der Tat mit den Ergebnissen der Antarktisforschung übereinstimmt; denn hier fand man das am meisten zusammenhängende Land. Dieser über der Ostantarktis liegende Kern des Hochdruckgebietes ist durch eine Brücke zwischen dem Weddell- und Roßmeer mit einem sekundären Hochdruckgebiet über der Westantarktis verbunden, von der sich jener weitere Ausläufer in das Grahamland erstreckt.

Eine andere äußerst interessante Feststellung ist die Tatsache, daß die Isobare 740 mm auf der südlichen Seite der subantarktischen Luftdruckfurche sich mit großer Genauigkeit den Umrisslinien des antarktischen Kontinentes anschmiegt. Desgleichen unterscheiden sich die Barometerstände der einzelnen Südpolarstationen im Jahresmittel, das 740 mm beträgt, nur wenig voneinander. Meinardus folgert aus diesen Feststellungen, daß die atmosphärischen Verhältnisse in hohen südlichen Breiten trotz der großen Schwankungen der einzelnen Monatsmittel dennoch eine große Konstanz von Jahr zu Jahr aufweisen und sich immer wieder durchsetzen. Er zieht daraus den weiteren Schluß, daß die Luftdruckverteilung in hohen südlichen Breiten mit der Stetigkeit der allgemeinen Zirkulation zusammenhängt, die ihrerseits durch den im Jahresmittel unveränderlichen Temperaturgegensatz zwischen niederen und höheren Breiten bedingt ist und die sich jenseits der Roßbreiten in der Ausbildung eines großen, westöstlich kreisenden Polarwirbels äußert, der den tiefsten Luftdruck beim Pol erzeugen müßte. Die fast zonale Anordnung von Wasser und Land in diesem Teil der Erdoberfläche läßt eben diesen Wirbel so deutlich in Erscheinung treten. Daß dieser Polarwirbel sich nicht überall durchsetzt, hat seinen Grund darin, daß auf dem antarktischen Festlande die namentlich im Winter wirksame starke Abkühlung entgegensteht. Sie hat zur Folge, daß in den unteren Luftschichten die dynamische Wirkung der allgemeinen Zirkulation durch die statische Wirkung der schweren Luftmassen übertroffen wird, so daß sich nur im Meeresniveau und in den unteren Schichten eine Antizyklone bildet. Ihr Vorhandensein ist also auf die niederen Lagen, d. h. die Randgebiete der Antarktis, beschränkt. Aber selbst hier macht sich die antarktische Antizyklone nicht entfernt so stark bemerkbar, wie man früher allgemein annahm. Gerade die Beobachtungen an der Gauß-Station und auch am Gaußberg zeigen, daß selbst an dieser glatt verlaufenden Grenze des Inlandeises die hier herrschende Witterung in erster Linie durch zyklonale und antizyklonale Bildungen, die nördlich davon in der allgemeinen westöstlichen Strömung vorüberziehen, maßgeblich beeinflusst wird. Selbst aus der Häufigkeit der Windstillen, die bei der Gauß-Station 11%, bei Kap Adare 39%, im MacMurdo-Sund 18% und bei Framheim 21% betrug, darf nicht geschlossen werden, daß die Wetterlage vorwiegend unter dem Einfluß der antarktischen Antizyklone gestanden hat; denn bei Windstille und auch bei schwachen Winden bildet sich oft über den eisbedeckten Flächen eine schwere, kalte Luftschicht aus, eine sogenannte Kaltlufthaut, über welche die zyklonalen warmen Luftmassen hinwegwehen, und die erst bei stärkeren Winden aufgerollt wird. Es besteht natürlich die Möglichkeit, daß an jenen Stellen der Antarktis, wo das Inlandeis gegen die Küsten hin eine bestimmte Neigung hat, die stark erkalteten Luftmassen der antarktischen Antizyklone, durch die Schwerkraft veranlaßt, aus dem Innern der schildförmigen Erhebung des Inlandeises absinken und abgleiten, so daß man an diesen Stellen vorherrschend Winde in Richtung des Gefälles antrifft. Solche katabatischen Winde sind in der Tat durch die Beobachtungen an einzelnen Stationen und auch besonders auf Schlittenreisen ins Innere der Antarktis festgestellt. Speziell an drei Stellen der antarktischen Randzone, an denen Winde aus dem südlichen Quadranten durchaus vorherrschend sind, scheinen die Witterungsverhältnisse stark durch diese aus dem Innern der Antarktis abfließenden Luftmassen beeinflusst zu werden. Das ist zunächst der Fall an der Ostseite des Grahamlandes, wo polare Luftmassen von großer Mächtigkeit und Stärke nordwärts vordringen und die polaren Isothermen in gleicher Richtung ausbiegen. Es geschieht ferner am MacMurdo-Sund, wo aus den umgebenden Hochländern und Gletschertälern ein Abfluß der Luft vor sich geht, und findet vor allem im Adelieland statt, wo die antarktischen Luftmassen auf stark geneigtem Inlandeis mit beispielloser Energie gegen die Küste vorstoßen.

Da aber weder an der Gauß-Station noch an der Ostseite des Weddellmeeres und der Westseite des Grahamlandes solche aus dem Innern der Antarktis abfließende und die Witterung beherrschende Luftmassen festgestellt sind, muß man wohl zu der Überzeugung kommen, daß die individuelle Gestaltung des Küstenverlaufes und des angrenzenden Reliefs darüber ent-

scheidet, ob die Witterungsverhältnisse mehr unter dem Einfluß der dem Zuge der subantarktischen Luftdruckfurche folgenden Tiefdruckgebiete stehen oder ob die vom Inlandeis abfließenden Luftmassen die Vorherrschaft haben. Es ist natürlich auch möglich, daß in den zuletzt genannten Gebieten die im Norden westöstlich ziehenden Depressionen die herangeführten Luftmassen an ihrer Südseite gegen den ansteigenden Eisrand drängen und so die zu ihm hindrängende polare Luft fernhalten und ablenken.

Da aber schätzungsweise nur 36% der rund 14 Millionen qkm betragenden Fläche der Antarktis unter 2000 m Höhe liegen, nimmt also die antarktische Antizyklone nur einen bescheidenen Raum des gesamten antarktischen Festlandes ein, während schätzungsweise 64% schon im Bereiche des großen westöstlich kreisenden Polarwirbels liegen, wie die oberen vorwiegend westöstlichen Luftströmungen bestätigen. Für diese Auffassung lassen sich nun die weiteren Tatsachen anführen.

Auf Grund der Berechnungsmöglichkeit des Luftdruckes in der Höhe aus dem Luftdruck und der Temperatur an der Erdoberfläche und unter Berücksichtigung der schnelleren Druckabnahme in einer kalten Luftsäule ergibt sich eine Abnahme des Luftdruckwertes in der Höhe von der warmen zur kalten Jahreszeit. Infolge dieser raschen vertikalen Luftdruckabnahme ist oberhalb eines bestimmten Niveaus der Luftdruck über dem Südpolargebiet niedriger als in seiner Umgebung, oder mit anderen Worten, es herrscht über der antizyklonalen eine zyklonale Luftdrucklage. Die Trennungslinie dieser beiden Windsysteme wird also um so mehr polwärts gerückt, je höher man in die Atmosphäre hinaufgeht, bis dann in einer gewissen Höhe die Antizyklone völlig dem großen Polarwirbel der allgemeinen Zirkulation weicht. Aus dieser im Rahmen der Ferrel-Hildebrandssonschen Theorie gehaltenen Überlegung folgt die klimatisch äußerst bedeutsame Tatsache, daß die Erhebung des Südpolarkontinentes über dem Meere für die Ausdehnung der Antizyklone und für die Möglichkeit der Vergletscherung des ganzen antarktischen Gebietes von ausschlaggebender Bedeutung wird. Meinardus berechnet aus den wahrscheinlichsten Werten von Luftdruck und Temperatur an der Erdoberfläche die folgende vertikale Luftdruckverteilung:

Geographische Breite	60°	70°	80°	90°	90°—60°
Luftdruck im Meeresniveau	740	743	748	750	+10
Luftdruck in 2000 m Höhe (Jahr)	572	569	567	566	-6
Luftdruck in 2000 m Höhe (Januar)	575	575	577	578	+3
Luftdruck in 2000 m Höhe (Juli)	568	563	563	562	-6

Wie die vorstehende Tabelle zeigt, ist die Antizyklone im Jahresmittel und im Winter schon in 2000 m Höhe nicht mehr vorhanden und somit eine Umkehrung des Luftdruckgradienten erkennbar. Nach den Berechnungen von Simpson soll diese Umkehrung des Luftdruckgradienten in nordsüdlicher Richtung in 1700 m Höhe stattfinden. N. Shaw und E. Barkow verlegen diese Grenzschicht schon in 1500 m Höhe; nach diesen Berechnungen würde also der Wirkungsbereich der glazialen Antizyklone mit ostwestlichen Winden nur bis zu dieser Höhe reichen. Allgemein ist wohl zu sagen, daß die Grenze zwischen beiden Einflußgebieten niemals scharf sein wird, sondern daß sich eine mehr oder weniger dicke Übergangsschicht ausbilden wird, die innerhalb der Grenzen von 1500—4000 m Höhe schwankt; oberhalb dieser Höhe herrscht jedenfalls die westöstliche Richtung vor. Da nun das antarktische Festland zu schätzungsweise 64% zu einer Höhe von über 2000 m aufragt, so gehört mithin der größte Teil der Antarktis dem Regime der Zyklone mit westlichen Luftströmungen an.

Auch die Zugrichtung der mittleren Wolken (3000—4000 m Höhe) läßt einen starken Einschlag nach Westen und Norden hin erkennen. Desgleichen ist die Bewegungsrichtung der Rauchfahne des Erebus (4070 m Höhe), welche die Luftbewegung in 4000—5000 m Höhe anzeigt und frei von lokalen Einflüssen ist, durchschnittlich Westsüdwest. Während am Boden die vorherrschende Richtung Südost ist, dreht also der Wind in diesen mittleren Schichten nach Westen und Norden, ein weiterer Beweis dafür, daß die unteren Schichten schon in mittleren Höhen den westlichen Winden des Polarwirbels gewichen sind. Gleiche Beobachtungsergebnisse liegen über die Zugrichtung der hohen Wolken vor; diese erfolgt mit 43% aus Nordwesten und Westen.

Einen weiteren Beweis für das Vorherrschen der Westwinde über 2000 m Höhe erbrachten die Beobachtungen auf einer Schlittenreise Scotts, die auf das Inlandeis des Süd-Victoria-Hochlandes führte. Bis fast zu 200 km landeinwärts wehten zwischen 2200 und 2350 m Höhe überwiegend Winde aus Westsüdwest, daneben auch solche aus Südwesten bis Süden. Die oberen Wolken zogen genau aus West.

Merkwürdigerweise weichen die Windbeobachtungen auf dem Südpolarplateau, die auf den Schlittenreisen von Shackleton, Amundsen und Scott ausgeführt wurden, von den dargelegten Verhältnissen ab. Shackleton stellte auf seiner Fahrt vorwiegend Südwinde fest. Auch Amundsen fand bei der Eroberung des Südpoles durchaus nicht westliche Winde, sondern hatte viel Südwind (SSE, S, SSW) gegen sich (63%), daneben traten zu 19% starke Winde aus ENE bis SE auf. Auch Nordwinde stellte man zuweilen fest. Sehr ähnlich sind die Windbeobachtungen bei Scott. Bemerkenswert ist ferner, daß bei Amundsen 10%, bei Scott sogar 15% Windstillen auftraten. Die Windrichtungen können mithin auf dem Plateau sehr mannigfaltige sein. Mit Recht ist wohl zu vermuten, daß Luftdruckminima, vielleicht Teildepressionen, bis in das Innere der Antarktis eindringen, und daß so der stark veränderliche Witterungscharakter auf dem Südpolarplateau zu erklären ist. Mohn glaubt aus den Beobachtungen auf dem Südpolarplateau schließen zu müssen, daß in den höheren Regionen Luftbewegungen zyklonalen Charakters stattfanden.

Von größter Bedeutung für die Frage nach der Existenz des Polarwirbels, welcher über der antarktischen Antizyklone der bodennahen Schichten liegt, sind die umfangreichen und polnächsten Höhenwindmessungen von Little Amerika aus den Jahren 1929/30. Die Windverteilung am Boden zeigt zwei Höchstwerte E bis ESE (32%) und S bis SW (29%); sie umfassen mithin 61% aller Beobachtungen. In 250 m Höhe ist keine wesentliche Änderung gegenüber dem Boden zu verzeichnen. Ganz anders gestaltet sich jedoch das Bild in 3000 m und 5000 m Höhe. In 3000 m Höhe sind zwar die Maxima der Windverteilung in E und SW noch erkennbar; aber im ganzen überwiegen jetzt westliche Richtungen, und Winde aus Nordwesten, die in Bodennähe fehlen, treten stark hervor. Dieses Niveau ist also bereits in der Schicht des Druckgefälles von Norden nach Süden gelegen und gehört dem großen Polarwirbel an. In 5000 m Höhe schließlich treten südwestliche und nordwestliche Winde weiter hervor; sie umfassen allein 49% aller Beobachtungen und besitzen die größte Stärke. Das nordsüdliche resultierende Druckgefälle ist gegenüber dem in 3000 m Höhe, wo es nur 0,15 mm betragen soll, verstärkt und entspricht jetzt einem mittleren Gradienten von 0,25 mm. Man findet also in Little Amerika nahe dem Boden ein südnördliches Druckgefälle, das mit einem Sinken der Temperatur polwärts Hand in Hand geht. Aber diese antarktische Antizyklone ist nur eine Erscheinung der bodennahen Schichten; denn bereits oberhalb 2000 m Höhe haben sich die Verhältnisse ausgeglichen, und man findet in 3000 m Höhe ein sehr schwaches Druckgefälle polwärts. Dieses beruht auf der im Süden niedrigeren Temperatur der darunterliegenden Schichten und der entsprechenden engeren Lage der Höhenisothermen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, daß sich auf dem rund 3000 m hohen Südpolarplateau selbst das nordsüdliche Druckgefälle nicht fortsetzt; denn hier befindet sich ja erst in dieser Höhe die bodennahe Kaltluftschicht, die gegenüber der freien Atmosphäre niedrigere Temperaturen besitzt. In 5000 m Höhe dürfte aber auch über dem Südpolarplateau die drucksteigernde Wirkung der hochliegenden Bodenkaltluft ausgeglichen sein, so daß in dieser Höhe wohl ein ununterbrochener schwacher Druckfall von der Roß-See bis in Polnähe besteht, der den großen Polarwirbel unterhält.

Daß über der Westantarktis in größeren Höhen die Vorherrschaft der polaren Zyklone gilt, haben ferner die aerologischen Beobachtungen auf der Deutschland Trift im Weddellmeer bestätigt. Bei der Untersuchung der Pilotaufstiege zeigte sich, daß bis etwa 2100 m Höhe überwiegend östliche Winde wehen, die dann aber oberhalb dieser Höhe in Westsüdwestwinde übergehen und bei dieser Richtung bis zur Maximalhöhe bleiben. Der Übergang von den unteren durch die antarktische Antizyklone bedingten Windverhältnissen in die des Polarwirbels ist klar erkennbar. Auch auf der schwedischen Station Snow Hill wurde beobachtet, daß die Zirren aus West und Westsüdwest kamen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß innerhalb des Südpolargebietes der Luftdruck oberhalb 2000 m Höhe von Norden nach Süden hin abnimmt, wodurch eine allgemeine Zirkulation im zyklonalen Sinne um den Südpol unterhalten werden muß. Dieser große Polarwirbel, dessen Vorhandensein in den unteren Luftschichten durch deren starke Abkühlung verhindert wird, steht im Zusammenhang mit der Zirkulation der gemäßigten Breiten und in ihm bewegen sich westöstlich wandernde Luftdruckgebilde. Der Wirkungsbereich der antarktischen Antizyklone dagegen ist nur auf das Meeresniveau und die unteren Schichten beschränkt, und ihr Einfluß tritt daher in den gesamten Witterungserscheinungen des antarktischen Kontinentes zurück. Natürlich wird eine gegenseitige Beeinflussung zwischen dem großen Polarwirbel und der antarktischen Antizyklone stattfinden, aber der beherrschende Teil ist die polare Zyklone.

Ruthe.