

Berichte
des
Deutschen Wetterdienstes

Nr. 78
(Band 11)

DK 551.590.21 : 551.513

**Über Schwankungen der zonalen
Windkomponente 500 mb nach Anstiegen
der solaren Aktivität**

von

Helmut Dudel
(mit 19 Abbildungen und 7 Tabellen im Text)

Offenbach a. M. 1961
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	3
0. Einleitung	3
1. Überblick über neuere Untersuchungen	4
1.1. Allgemeiner Überblick	4
1.1.1. Vorstellungen über den Wirkungsmechanismus der extraterrestrischen Beeinflussung	4
1.1.1.1. Die variable Komponente der solaren Wellenstrahlung	4
1.1.1.2. Die solare Partikelstrahlung	5
1.1.2. Vorstellungen über die Reaktion der troposphärischen Zirkulation auf extraterrestrische Beeinflussung	5
1.1.2.1. Reaktion auf langfristige Schwankungen der solaren Aktivität	5
1.1.2.2. Reaktion auf kurzfristige Schwankungen der solaren Aktivität	6
1.2. Diskussion einzelner Arbeiten	6
2. Problemstellung der Untersuchung	10
3. Wahl eines solaren Parameters	10
3.1. Verschiedene Maße zur Kennzeichnung der W-Aktivität ..	10
3.1.1. Die Sonnenfleckenzahl R	10
3.1.2. Die Sonnenfleckenflechte A	10
3.1.3. Die Sonnenfackelflechte F	10
3.1.4. Die solare cm-Strahlung E	11
3.2. Definition eines „solaren Stoßes“	11
4. Terrestrischer Parameter	14
4.1. Wahl eines terrestrischen Parameters	14
4.2. Wahl der untersuchten Gebiete	14
4.3. Häufigkeitsverteilung der Zonalkomponenten in den ausgewählten Feldern	14
5. Methode der Untersuchung	17
5.1. Bearbeitung des Kollektivs von 122 solaren Stoßtagen	17
5.2. Bearbeitung des Kollektivs von rund 300 „blinden“ Stichtagen	18
6. Ergebnisse und ihre Diskussion	18
6.1. Schwankungen der Zonalkomponente nach solaren Stößen	18
6.1.1. Mittlerer Verlauf von ΔU in den Feldern 35005, 04555, 04085	18
6.1.2. Änderungen der Häufigkeit N^+/N in den Feldern 35005, 04555, 04085	19
6.1.2.1. Änderungen von Tag zu Tag (nicht gemittelte Änderungen)	19
6.1.2.2. Mehrtäglich gemittelte Änderungen	20
6.1.3. Änderungen der Häufigkeit N^+/N in 3 Feldern längs $45^\circ N$	22
6.2. Allgemeines Verhalten der Zonalkomponente nach L- und H-Tagen	22
7. Abschließende Bemerkungen	24
Literatur	25

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Met. H. Dudel, Huntsville, Alabama, USA

Zusammenfassung

Angeregt durch Untersuchungen von Trenkle, der Schwankungen der Zonaldrift im nordatlantisch-europäischen Sektor nach gesteigerter solarer Aktivität findet, werden die Zonalkomponenten 500 mb zweier Felder von $10^{\circ} \times 60^{\circ}$ Ausdehnung im nordamerikanischen und eines Feldes im europäischen Raum herangezogen, um nach extraterrestrischen Beeinflussungen der troposphärischen Zirkulation zu suchen. Als Stichtage „n“ dienen 122 markante Anstiege der Sonnenfleckenrelativzahl zwischen Dezember 1948 und April 1958. Die Schwankungen der Zonalkomponente an den Tagen „n + 1“ bis „n + 26“ werden mit der Methode der überlagerten Stichtage analysiert, wobei unterschieden wird, ob die Zonalkomponente am jeweiligen Stichtag übernormal, normal oder unternormal gewesen ist. An einer Vergleichsauswahl von rund 300 „blinden“ Stichtagen wird die Untersuchung wiederholt. Zwischen beiden Kollektiven ergeben sich keine überzufälligen Unterschiede. Dies bedeutet, daß zwischen dem solaren und dem terrestrischen Parameter im untersuchten Zeitraum und Gebiet kein statistisch gesicherter Zusammenhang nachweisbar ist. Es wird erörtert, ob die Ergebnisse der Trenkleschen Untersuchung nur auf einem auswahlbedingten Scheineffekt beruhen.

Abstract

This work was stimulated by positive results of investigations by Trenkle indicating characteristic variations of the zonal drift in the North Atlantic-European region following increases in solar activity. Variations of the zonal wind component at the 500 mb level are analyzed here for two selected North American and one European region each extending over a 10° by 60° area in order to find out whether the tropospheric circulation is subject to extra-terrestrial influences. 122 significant increases of the relative sunspot number have been chosen as key days „n“ from the period December 1948 to April 1958. With the superposed epoch method, fluctuations of the zonal component are analyzed for the days „n + 1“ to „n + 26“, separately for key days with high, normal, or low values of the zonal wind component. A corresponding examination has then been performed independently with another set of 300 key days chosen at random. No significant differences can be detected in the behavior of the two sets. This is interpreted as the absence of a statistically proven relationship between the selected solar and terrestrial parameters for the areas and the period concerned. It is discussed whether the result of Trenkle's investigation is merely based on a fictitious effect due to the applied principle of key day selection.

0. Einleitung

Alle Untersuchungen der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation müssen davon ausgehen, daß diese nur durch die dauernde Zufuhr von Energie aufrecht erhalten wird, die von der Sonne zugestrahlt wird und daß sie innerhalb des Systems Lufthülle—Ozean—Erdkörper vielfachen Umwandlungen, Umsetzungen und zeitweisen Aufspeicherungen unterworfen ist, ehe sie als kinetische Energie der bewegten Luft auftritt. Es ist heute noch nicht möglich, eine befriedigende Gesamtbilanz der energetischen Prozesse, die sich in diesem System abspielen, aufzustellen. Vielmehr muß man sich darauf beschränken, die Schwankungen einzelner Posten der Bilanz gesondert zu verfolgen. Zwar lassen

sich jeweils mehrere Größen, die die verschiedenen Unterformen ein- und derselben Energieart beschreiben, zu Teilbilanzen zusammenfassen (Wärme-, Strahlungshaushalt, Momentum-Bilanz), doch ist es z. B. gar nicht möglich abzuschätzen, welche Bedeutung und welchen Umfang der Energieaustausch zwischen dem Meer — zweifellos einem Energiespeicher großer Kapazität — und der Atmosphäre in globaler Hinsicht besitzt. Gerade dieser letzten Frage ist eigentlich wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden, obschon hier — worauf Rossby (1) aufmerksam gemacht hat — der Schlüssel zu manchen großräumigen Zirkulationsschwankungen, rhythmischer und nicht-rhythmischer Natur, zu suchen sein mag. Die Untersuchungen haben sich meist darauf beschränkt, Auswirkungen der durch

die Kugelgestalt der Erde bedingten Breitenabhängigkeit der Strahlung räumlich zu verfolgen, während von den zeitlichen Variationen vor allem die von der Neigung der Erdachse gegenüber der Erdbahnebene herführende jahreszeitliche Veränderung in der Verteilung der einfallenden Strahlung Beachtung gefunden hat. Beobachtete Zirkulationsschwankungen, die dadurch nicht zu erklären sind, sucht man meist mit einer Änderung der Einstrahlung in Verbindung zu bringen. Es ist dies naheliegend, da die von den Sonnenphysikern berichteten eindrucksvollen periodischen und unperiodischen Veränderungen, die auf der Sonne vor sich gehen („solare Aktivität“), auch eine Inkonstanz des „Einnahmepostens“ der irdischen Energiebilanz vermuten lassen. Bestärkt wird die Vorstellung einer solaren „Steuerung“ noch durch eine Reihe von Beobachtungen, nach denen sich auch in verschiedenen meteorologischen Variablen eine dem wohlbekanntem 11jährigen Zyklus der solaren Aktivität entsprechende Periodizität zeigen und im Gang ganz unterschiedlicher Größen ausdrücken soll (Seespiegelschwankungen, unterschiedliche Stärke der Jahresringe von Bäumen). Man hat nach derartigen Strahlungsschwankungen gesucht und vermutet, daß die sichtbare Sonnenstrahlung, die 95% der Gesamtmission ausmacht, derartigen langperiodischen und vielleicht auch kürzeren Veränderungen unterworfen ist. Doch ließ sich keine über die Grenzen der Meßgenauigkeit hinausgehende Variation der Solarkonstante nachweisen. Deshalb wird heute vielfach angenommen, daß eine Beeinflussung der Witterung über die nicht sichtbaren Teile des Sonnenspektrums erfolgt. An den Beginn einer Untersuchung der Auswirkungen solarer Einflüsse gehört daher die Erörterung des Problems, welcher Mechanismus eine Übertragung bewirken kann.

Freilich sollte die sehr lückenhafte Kenntnis der Prozesse in der irdischen Hochatmosphäre nicht davon abhalten, bereits vor völliger Klärung der physikalischen Hintergründe nach Beziehungen zwischen beobachteten zeitlichen Veränderungen auf der Sonne und Schwankungen im Witterungsablauf zu suchen. Auch sonst wird in der Meteorologie häufig der Weg beschritten, gewissen Wechselbeziehungen mit rein statistisch-empirischen Methoden nachzugehen.

Auch die vorliegende Untersuchung wird mit einer Aufzählung einiger wichtiger, bisher bekannter Vorgänge in den höheren Schichten der irdischen Atmosphäre beginnen, dann aber rein empirisch weitergeführt werden, indem die Beziehungen zwischen einem solaren und einem terrestrischen Parameter, die beide auf Grund der Ergebnisse anderer Autoren als brauchbar anzusehen sind, verfolgt werden.

1. Überblick über neuere Untersuchungen

1.1. Allgemeiner Überblick

1.1.1. Vorstellungen über den Wirkungsmechanismus der extraterrestrischen Beeinflussung

Die große Anzahl von Untersuchungen, die auch in den letzten Jahren dem Problem einer eventuellen Beeinflussung des irdischen Witterungsablaufes durch extraterrestrische Vorgänge gegolten haben, beweist das große Interesse, das diesem Fragenkomplex nach wie vor entgegengebracht wird. Freilich müssen auch heute alle Untersuchungen noch davon ausgehen, daß über den physikalischen Wirkungsmechanismus der von außen kommenden Eingriffe keine allgemein anerkannten, physikalisch begründeten Theorien vorliegen.

Allen Vorstellungen liegt die Annahme zugrunde, daß in der Energiezufuhr in das System Erdkörper—Ozean—Atmosphäre zeitliche Variationen existieren

und zu lang- und kurzfristigen Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation Anlaß geben. Insbesondere werden großräumige und längeranhaltende Anomalien des Großwetterablaufes auf extraterrestrische Ursachen zurückgeführt. Auch gewisse langfristige Periodizitäten oder Rhythmen im Großwetterablauf werden zu periodischen Veränderungen der Sonnentätigkeit in kausale Beziehung gesetzt. Es sei hier nur erinnert, daß Baur die von ihm für viele Punkte der Erde und eine ganze Anzahl meteorologischer Größen gefundenen rund 5,6jährigen Rhythmen mit dem 11jährigen Zyklus der Sonnentätigkeit in ursächliche Verbindung bringt (2,3).

Anlaß zur Vermutung einer solaren Beeinflussung auch der Troposphäre sind aber nicht zuletzt die wohlbekanntem und eindrucksvollen Manifestationen der solaren Aktivität in der irdischen Hochatmosphäre. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß langperiodische und auch kurzzeitige Änderungen der physikalischen Zustandsgrößen der Ionosphäre von der Sonnentätigkeit gesteuert werden. Es genügt hier darauf hinzuweisen, welche stramme Korrelationen zwischen dem Gang der Grenzfrequenzen der E- und F-Schicht mit dem Sonnenfleckenzyklus bestehen und daß die plötzlichen Strahlungs- und Korpuskelausbrüche in den solaren Aktivitätszentren mit dem Auftreten von Polarlichtern, mit der erdmagnetischen Unruhe und mit Störungen in der Ausbreitung der Funkwellen in sichere Verbindung gebracht werden konnten.

Bei der Suche nach einer Übertragungsmöglichkeit von solarer, zeitlich variabler Energie auf die unterste Schicht der Atmosphäre wird man sofort dazu geführt, sich den variablen Anteilen der bis zum Erdboden durchdringenden Sonnenstrahlung zuzuwenden. Da die sichtbare Sonnenstrahlung, die für die Aufrechterhaltung der Zirkulation letzten Endes verantwortlich ist, keine nachweisbaren Variationen aufweist, muß man an die Auswirkung von Strahlungsschwankungen in anderen Wellenlängenbereichen oder an den Einfall energiereicher Korpuskeln denken.

1.1.1.1. Die variable Komponente der solaren Wellenstrahlung

Auf der langwelligen Seite des elektromagnetischen Spektrums der Sonne sind nun tatsächlich im Bereich des radiooptischen Fensters zwischen 30 und 10 000 MHz starke zeitliche Variationen auch am Boden nachweisbar, doch läßt sich bis heute kein Mechanismus angeben, mit dem ihre Einflußnahme auf das troposphärische Wettergeschehen erklärt werden kann, wenn von der vereinzelt geäußerten Hypothese einer Beeinflussung der Niederschlagsbildung durch radiofrequente Strahlung abgesehen wird. Immerhin wird es sich empfehlen, den Entdeckungen der Sonnen-Radioastronomie (die alle erst in jüngerer Zeit gemacht wurden) erhöhte Beachtung zu schenken, ist doch schon erkennbar, daß die „Radisonne“ sowohl eine kontinuierliche, im 11jährigen Zyklus veränderliche Strahlung emittiert als auch kurzzeitige Intensitätszunahmen in bestimmten Frequenzbereichen zeigt (sog. radio-bursts oder outbursts). Es kommt dabei zu Zunahmen der empfangenen Energie um den Faktor 10^6 .

Von der kurzwelligen Seite des Spektrums wird angenommen, daß im Bereich der UV- und Röntgenstrahlen sowohl langsame Veränderungen eines kontinuierlichen Anteils wie auch plötzliche Steigerungen auftreten. Gerade diese Strahlungsschwankungen sind es, die bei der Frage nach einer eventuellen solaren Wetterbeeinflussung am meisten diskutiert werden. Da aber die (hier interessierende) UV-Strahlung im obersten Teil der Ozonschicht, d. h. bereits oberhalb 40 km absorbiert wird, muß man plausibel machen können,

wie es zu einer Auswirkung in den untersten 10 km der Atmosphäre kommen kann. Allgemein findet sich in der Literatur die Annahme, daß im Gefolge chromosphärischer Eruptionen (flares) die UV-Strahlung stark zunimmt, was zu einer Temperaturerhöhung in der Ozonschicht führen sollte. Es sind Vorstellungen entwickelt worden, wie sich derartige Erwärmungen als Druckänderung nach unten fortpflanzen könnten (z. B. von H a u r w i t z (4)), die dann ihrerseits Schwankungen der troposphärischen Zirkulation hervorrufen. Diese Hypothesen scheinen jedoch durch die direkten Raketenmessungen während des Internationalen Geophysikalischen Jahres nicht eindeutig bestätigt zu werden. Sondierungen, die mit dem (im Licht der H-Alpha-Linie beobachteten) Auftreten chromosphärischer Eruptionen zusammenfielen, ergaben, daß Intensitätszunahmen der weichen Röntgenstrahlung deutlich, der UV-Strahlung hingegen nicht eindeutig festzustellen waren. Im gleichen Sinn läßt sich eine schon 1951 von Fritz (5) getroffene Feststellung interpretieren, wonach zwischen Mögel-Dellinger-Effekten — das sind gleichzeitig mit chromosphärischen Eruptionen einsetzende Funkausbreitungsanomalien, die auf eine plötzliche Erhöhung der D-Schicht-Ionisation zurückgeführt werden — und Veränderungen in der Ozonschicht keine klaren Kopplungen zu finden sind. Damit bleibt als tiefste Schicht, in der geophysikalische Veränderungen beim Auftreten chromosphärischer Eruptionen mit Sicherheit nachzuweisen sind, die D-Schicht in rund 90 km Höhe über der Tagseite der Erde*).

1.1.1.2. Die solare Partikelstrahlung

Eine andere Möglichkeit der Übertragung zusätzlicher Energie von der Sonne in die irdische Atmosphäre besteht beim Einfall von elektrisch geladenen Partikeln, die von Aktivitätsherden der Sonne ausgeschleudert werden. Gerät die Erde in den Bereich derartiger „Sonnengas“-Wolken, so treten Störungen des elektrischen und magnetischen Zustandes in der terrestrischen Hochatmosphäre auf, wo sie u. a. zu Polarlichtern Anlaß geben. Infolge Ablenkung durch das Erdmagnetfeld konzentrieren sich derartige Prozesse in gürtelförmigen Zonen rings um die geomagnetischen Pole.

Dichtemessungen mit künstlichen Erdsatelliten haben neuerdings ergeben, daß zumindest in Höhen von 220 km Aufheizungen in der Atmosphäre erfolgen müssen, die in höheren Breiten stärker als in niederen sind**). Wenn auch die neuen Meßergebnisse vertiefte Einblicke in die Vorgänge der irdischen Hochatmosphäre, insbesondere in den Polarlichtzonen gestatten, so bleibt doch ebenso wie bei der Frage nach dem Einfluß von UV- und Röntgenstrahlungseinbrüchen ungeklärt, wie sich derartige Prozesse auf das troposphärische Wettergeschehen auswirken können.

*) Die dem Verfasser inzwischen bekannt gewordenen Resultate von neueren Messungen deuten an, daß simultan mit dem Auftreten einer chromosphärischen Eruption Röntgen- und Gammastrahlung bis in tiefere Luftschichten eindringen kann. Da aber andererseits ein Beweis für das Ansprechen der terrestrischen Ozonschicht auf ein solches Ereignis weiterhin auszustehen scheint, ist man der Frage nach Art und Wirkungsort eines eventuellen Übertragungsmechanismus von eruptiver solarer Wellenstrahlung auf das Wettergeschehen nicht näher gekommen.

***) Durch Ballonaufstiege wurde in mittleren und polaren Breiten das sporadische Auftreten energiereicher Partikel und Röntgenstrahlung nachgewiesen (in weniger als 30 km Höhe). Sie treten zusammen mit Polarlichtern, Störungen im äußeren van Allenschen Strahlungsgürtel und dem sog. Polaren Radio Black-out auf. Außerdem ist bekannt, daß auch die am Boden registrierte kosmische Strahlung von der Sonnenaktivität beeinflusst wird. Es ist denkbar, daß dadurch eine zusätzliche Ionisation auch in den unteren Luftschichten hervorgerufen wird (N e y (6)). Die Frage nach der Auswirkung auf die großräumige Zirkulation ist ungeklärt.

Nebenbei sei angeführt, daß bisweilen sogar die Ansicht geäußert worden ist, manche Veränderungen in der Ionosphäre seien nicht die Folge äußerer Einflüsse, sondern von Impulsen, die von der troposphärisch-stratosphärischen Zirkulation nach oben ausgeübt werden (siehe z. B. H. W e x l e r (7)). Dadurch würden manche Befunde eine überraschende Erklärung finden, nach denen troposphärische Veränderungen bereits drei oder noch mehr Tage vor einer geomagnetischen Variation in Erscheinung treten, was bisher schwer verständlich war, da man allenfalls eine zweitägige „Verfrühung“ extraterrestrisch zu deuten vermag.

1.1.2. Vorstellungen über die Reaktion der troposphärischen Zirkulation auf extraterrestrische Beeinflussung

Die fehlende Kenntnis der wirksamen Übertragungsmechanismen hat nicht davon abgehalten — und sollte auch nicht davon abhalten — auf statistischem Wege nach Korrelationen zwischen extraterrestrischen, d. h. solaren Vorgängen mit Schwankungen meteorologischer Parameter zu forschen. Man macht dabei — meist stillschweigend — folgende Annahmen:

a) Die Reaktion der Atmosphäre erfolgt stets in einer charakteristischen, ähnlichen Form, und — damit zusammenhängend —

b) die Atmosphäre über gewissen geographischen Gebieten spricht bevorzugt auf solare Impulse an.

Dabei soll nicht ausgeschlossen werden, daß die Form der Reaktion auch von der Jahreszeit und dem Zirkulationszustand zum Zeitpunkt des äußeren Einflusses abhängen kann. (Eine derartige Abhängigkeit von der Ausgangssituation ist wenigstens bei den Auswirkungen kurzzeitiger Einflüsse („Impulse“) naheliegend, während sich die langsamen Schwankungen innerhalb des 11jährigen Zyklus gleichsinnig über Zeiträume erstrecken dürften, in denen der terrestrische Parameter alle Werte seines Variationsintervalles durchlaufen hat.)

Man wird einerseits zwischen lang- und kurzfristigen, andererseits zwischen den Beeinflussungen durch die solare Wellenstrahlung (W-Strahlung) und die Partikelstrahlung (P-Strahlung) zu unterscheiden haben.

1.1.2.1. Reaktion auf langfristige Schwankungen der solaren Aktivität

Über die Auswirkung der langfristigen Schwankungen einer wirksamen W-Strahlung sind anschauliche Vorstellungen entwickelt worden, vor allem von B a u r (2). Nach seiner Ansicht machen sich Zunahmen der W-Strahlung zunächst in der Troposphäre in einer erhöhten Neigung zu Antizyklogenese und in einer Verstärkung bestehender Antizyklonen bemerkbar, und zwar in gewissen, jahreszeitlich verschiedenen Zonen. So soll im Winter eine Verstärkung des Subtropen-hochgürtels und damit einhergehend eine allgemeine Steigerung der Westdrift erfolgen, während im Sommer eine stärkere Neigung zur Nordwärtsverlagerung des Subtropen-hochgürtels und zu Hochbildungen in nördlichen Breiten, z. B. im fennoskandischen Raum, auftreten soll.

Demgegenüber sind die Auswirkungen langfristiger Schwankungen der P-Strahlung auf die wetterhaften Schichten der Atmosphäre weitgehendst unbekannt, während sie infolge der engen Beziehungen zwischen P-Strahlung und dem Erdmagnetfeld in den erdmagnetischen Registrierungen klar zutage treten. Sie werden sich auch schwer von denen der Wellenstrahlung trennen lassen, da beide innerhalb des 11jährigen Zyklus

einen ähnlichen, wenn auch nicht völlig parallelen Gang aufweisen.

Man kann auch noch weitergehende Spekulationen anstellen und z. B. an die Möglichkeit denken, daß die Wirksamkeit eines extraterrestrischen Eingriffes von dem Wechselspiel der beiden Komponenten der solaren Aktivität abhängt, deren Angriffsschwerpunkt wie geschildert in ganz verschiedenen geographischen Breiten liegt. Mancher Impuls der einen Art könnte durch einen räumlich und zeitlich in bestimmter Weise ansetzenden Impuls der anderen Strahlungskomponente in seiner Auswirkung auf die Troposphäre kompensiert oder auch verstärkt werden.

In dem Zusammenhang mit der Frage der Wirksamkeit der die höheren Breiten bevorzugt treffenden P-Strahlung sei die auffallende Ähnlichkeit in bezug auf Lage und Form zwischen dem troposphärischen Kälte- und Windpol über Nordkanada sowie dem subpolaren Strahlstrom einerseits und dem Ort des magnetischen Nordpols und dem Gürtel maximaler Polarlichthäufigkeit (P-Strahlung) andererseits erwähnt, auf die Flohn (8, 9) und andere (10) aufmerksam gemacht haben. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich hier innere Beziehungen der meteorologischen und erdmagnetischen Felder widerspiegeln.

1.1.2.2. Reaktion auf kurzfristige Schwankungen der solaren Aktivität

Unter den kurzfristigen Schwankungen der solaren Aktivität sollen die plötzlichen Intensitätszunahmen der W- und P-Strahlung (eruptive W- und P-Strahlung) verstanden werden, außerdem noch die langsameren Änderungen der kontinuierlichen W- und P-Strahlung, die sich in Zeiträumen von 10, 20 oder 30 Tagen abspielen („slowly variable component“). Hier wird es leichter als bei den langfristigen Veränderungen gelingen, die Aktivität der beiden Komponenten getrennt zu verfolgen. Man kennt die Daten der einzelnen spontanen Anstiege der W-Strahlung bei chromosphärischen Eruptionen und auch die der Partikelinvasionen, welche durch das Auftreten magnetischer Stürme angezeigt werden. Zwar folgen häufig Zeitabschnitte erhöhter geomagnetischer Aktivität auf die chromosphärischen Eruptionen, doch ist die Korrelation nicht so stramm, daß es ohne weiteres erlaubt wäre, starke Anstiege eines Index der geomagnetischen Aktivität als Anzeiger einer vorangegangenen chromosphärischen Eruption zu verwenden. In dem in Abb. 3b gezeigten Beispiel ist die lose Beziehung im Kurzfristigen deutlich erkennbar. Dort sieht man auch, daß das, was man als „langsam varrierende Komponenten“ der Wellen- und der Partikelstrahlung ansehen kann, durchaus keinen strengen Parallelgang aufweist.

Die Untersuchungen über die Auswirkungen kurzfristiger Veränderungen der solaren Aktivität sind zahlreich. Als solarer Parameter wird am häufigsten eine der folgenden Maßzahlen benutzt:

für die P-Strahlung: Erdmagnetischer Kp-Index
(oder auch die sog. C_i -, C_9 -
oder Ap-Indizes)

für die W-Strahlung: Sonnenfleckenzahl R.

Meist werden für die Untersuchungen die Tage herausgesucht, an denen der ausgewählte Index entweder stark ansteigen beginnt oder einen gewissen Schwellenwert überschreitet oder einen Maximalwert erreicht.

Noch größer ist die Vielfalt der benutzten terrestrischen Parameter. Sie reichen von hemisphärischen Größen (z. B. Zonalindex hemisphär.) bis zu lokalen meteorologischen Variablen (wie z. B. übernormale Temperatur in Berlin). Es ist nicht leicht möglich, hier eine zusammenfassende Aufstellung zu geben, statt-

dessen soll in den im folgenden aufgezählten Einzelbeispielen getrennt darauf eingegangen werden. Das gleiche gilt für die „Inkubationszeit“, die zwischen dem Auftreten eines solaren Ereignisses und der Reaktion der troposphärischen Zirkulation verstreicht und über die sehr verschiedene Angaben gemacht werden.

1.2. Diskussion einzelner Arbeiten

Es würde den Rahmen dieser Übersicht sprengen, wenn der Versuch unternommen würde, Vollständigkeit bei der Umschau zu erreichen. Hinsichtlich der langfristigen Schwankungen sei verwiesen auf die zusammenfassenden Literatur-Übersichten und -Besprechungen von Brooks (11) und Flohn (12).

Unter den Arbeiten, die sich mit den kurzfristigen Auswirkungen beschäftigen, beanspruchen insbesondere die von Shapiro* und Trenkle eine eingehendere Erwähnung, da ihre Ergebnisse direkt oder indirekt den Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung bilden.

Bei der Verfolgung der Persistenz des Bodenluftdruckes in einem fast ganz Nordamerika umfassenden Areal (siehe Abb. 4) findet Shapiro (13) nach Tagen gesteigerter geomagnetischer Aktivität ($\Delta C_i \geq 1.0$) zunächst eine Zunahme der Persistenz bis zum Tag $n+4$ (signifikant in bezug auf die 5%/o-Grenze), dann eine unregelmäßige Abnahme bis zu einem ausgeprägten Minimum der Persistenz am Tag $n+15$ (signifikant in bezug auf die 10%/o-Grenze). Dieser zweite Befund ist insofern interessant, als in den meisten bis dahin bekannten Arbeiten keine so lange zeitliche Verzögerung bis zur Auswirkung eines einzelnen geomagnetischen Ereignisses angegeben wird. Hiermit steht in Übereinstimmung ein Resultat einer Untersuchung von Trenkle (16, 17), wonach die Zonalkomponente des geostrophischen Windes 500 mb im nordatlantisch-europäischen Raum (untersuchtes Gebiet siehe Abb. 4) im Mittel der Tage $n+18$ bis $n+22$ eine über den normalen Betrag hinausgehende Abnahme zeigt, wenn sie am Stichtag übernormal gewesen war. Als Stichtage werden bei Trenkle die Daten von sekundären Maxima der Sonnenfleckenzahl ($\Delta R \geq 40$), sog. „solare Stöße“, benutzt. Das andere Ergebnis der Arbeit von Trenkle ist das Auffinden einer entsprechenden Reaktion der Zonalzirkulation bei unternormaler Westostströmung am Tag des solaren Stoßes. In diesem Fall zeigt sich bereits im Mittel der Tage $n+5$ bis $n+8$ eine über den normalen Betrag hinausgehende Zunahme der Zonalkomponente. Diese Zeitspanne hinwiederum läßt sich in Beziehung bringen mit dem Persistenzmaximum nach Shapiro, das wie erwähnt vier Tage nach einem geomagnetischen Stichtag über Nordamerika festzustellen ist und nach einer neueren Untersuchung von Shapiro (14) auch für den europäischen Raum bestätigt werden konnte. Bei der Ausdehnung der Persistenzanalyse auf ein europäisches Feld läßt sich allerdings das Maximum des Tages $n+15$ nicht mehr statistisch gesichert nachweisen. In der Abb. 1 sind zu einem besseren Vergleich die Untersuchungen Shapiros für den nordamerikanischen und den europäischen Raum gemeinsam graphisch wiedergegeben. Die gleichartige Reaktion in der Veränderlichkeit des Bodenluftdruckes am Tag $n+4$ ist

* In einer weiteren, inzwischen veröffentlichten Arbeit von Shapiro und Ward (32) wird die Spektralverteilung der 500-mb-Zirkulation längs 30, 45 und 60 Grad nördlicher Breite nach geomagnetischen Stichtagen analysiert. Das Ergebnis der Untersuchung ist negativ und läßt — nach den Worten der Autoren — kaum die Möglichkeit offen „für das Bestehen einer wesentlichen Beziehung zwischen der solaren Partikelstrahlung und der Amplitude oder der Ausbreitung (geschwindigkeit) harmonischer Schwingungen des mitteltroposphärischen (Geopotential)feldes“. Der früher von Shapiro entdeckte Zusammenhang zwischen Korpuskularstrahlung und der Persistenz des Bodendruckfeldes bleibt davon unberührt.

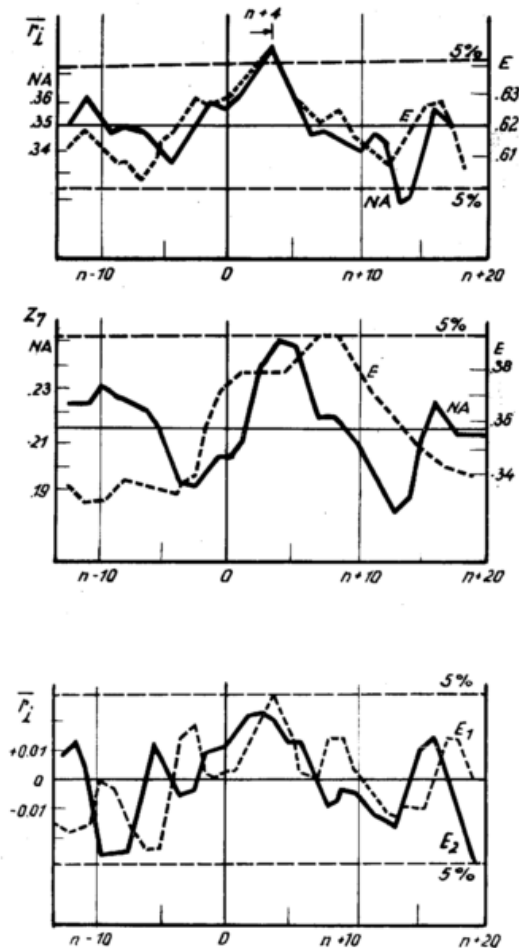


Abb. 1

Gegenüberstellung der Schwankungen der Persistenz und des süd-nördlichen Gefälles des Bodenluftdruckes über Nordamerika und Europa nach geomagnetischen Stichtagen nach Shapiro (13) (14).

Oben: Persistenz \bar{P}_1 des Bodenluftdruckfeldes in Nordamerika (ausgezogene Kurve) und in Europa (gestrichelte Kurve). Zahl der Fälle: Nordamerika (47 Jahre) $N = 564$, Europa (40 Jahre) $N = 467$.

Mitte: Süd-nördliches Gefälle „ Z_7 “ des Bodenluftdruckes in Nordamerika (ausgezogene Kurve) und in Europa (gestrichelte Kurve). Zahl der Fälle: wie oben.

Unten: Abweichung der Persistenz \bar{P}_2 des Bodenluftdruckfeldes in Europa zweier annähernd gleich großer Teilkollektive von ihrem gemeinsamen Mittelwert. Erstes Teilkollektiv (gestrichelte Kurve): 218 Fälle aus den ersten 22 Jahren. Zweites Teilkollektiv (ausgezogene Kurve): 249 Fälle aus den restlichen 18 Jahren des untersuchten Zeitraumes.

In allen Darstellungen ist die Grenze des 5%-Vertrauensbereiches eingezeichnet.

auffallend, umso mehr, als — wie Shapiro in einer anderen Arbeit (15) gezeigt hat — die Korrelation der Persistenz zwischen Europa und Nordamerika sehr niedrig ist. Eine weitere Übereinstimmung mit der Trenkleschen Arbeit zeigt sich im Verhalten des von Shapiro mitberechneten süd-nördlichen Bodenluftdruckgefälles über Europa, welches am Tag $n+8$ ein Maximum zeigt, was mit einem Maximum der Zonalkomponente gleichbedeutend ist. Diese Übereinstimmungen sind umso erstaunlicher, als die beiden Autoren zur Festlegung ihrer Stichtage verschiedene solare Parameter benutzten, die untereinander durchaus keinen Parallelgang der kurzfristigen Schwankungen aufweisen, wie aus einem weiter unten beschriebenen Beispiel ersichtlich ist.

Es sei wiederholt, daß nach Trenkle die Art der Reaktion der Atmosphäre auf einen solaren Impuls von der jeweiligen Zirkulationsform am Stichtag abhängt. Bei schwacher (unternormaler) Zonalbewegung erfolgt rasch eine starke Zunahme, bei übernormaler Zonalkomponente erst nach einigen Wochen eine nach-

weisbare starke Abnahme. Das Umschlagen in den entgegengesetzten Zirkulationstyp erfolgt nach Trenkle beim Auftreten solarer Stöße in einer stärkeren Form als es bei einer bloßen Normalisierung eines über- oder unternormalen Strömungszustandes zu erwarten wäre („Extremisierung“).

Andere Untersuchungen lassen sich nur sehr bedingt mit den beiden besprochenen vergleichen. Die im folgenden aufgezählten Arbeiten sind hauptsächlich deshalb ausgewählt worden, um zu zeigen, wie unterschiedlich die benutzten Parameter, die untersuchten Gebiete und die gewonnenen Beziehungen sind. Die Vielfalt der angegebenen solar-terrestrischen Relationen kurzfristiger Art deutet an, daß ein eindeutiger, „durchschlagender“ Effekt offensichtlich nicht zu entdecken gewesen ist, der sich in mehreren Untersuchungen reproduzieren oder zwanglos wiederfinden ließe.

Die „Veränderlichkeit des Bodenluftdruckes“ wird von Wurlitzer (18) bei 22 starken Anstiegen der geomagnetischen Aktivität ($\Sigma K_p/\Delta t \geq 40/d$) verfolgt. Als Maß der Veränderlichkeit wird der Mittelwert des absoluten Betrages der auf den Stichtag zentrierten 48-stündigen Druckänderung über das Gebiet von symmetrisch um den Pol gelegten, verschieden großen Kugelkalotten verwendet. Das Ergebnis wird u. a. so gedeutet, daß es vom Tag $n-2$ zum Tag $n+2$ zu einem Aufbau zonaler Zirkulation kommt, mit einer nachfolgenden Entwicklung zur Meridionalzirkulation zwischen den Tagen $n+2$ und $n+5$.

Woodridge, MacDonald und Pohrte (19) benutzen die Länge der Isohypse 30400ft in 300 mb im Sektor $180^\circ W - 90^\circ W$ als ein Maß für Trogbildungen im Alaska-Aläuten-Raum. Als Ergebnis der Untersuchung von 19 Fällen mit starkem Anstieg der geomagnetischen Aktivität ($\Delta A/\Delta t \geq 12/d$) finden sie, daß sich Tröge, die kurz nach dem Stichtag in diesem Gebiet auftreten, stärker entwickeln als sonst. Maximale Trogentwicklung, gekennzeichnet durch maximale Länge der ausgewählten Isohypse, tritt am Tag $n+8$ auf.

Ein ähnliches Resultat wird von Asakura und Katayama (20) angegeben: In 29 Fällen aus den Wintermonaten der Jahre 1946 bis 1956, in denen die geomagnetische Aktivität um einen gewissen Betrag zunahm ($\Delta K/\Delta t \geq 1.0/d$), zeigte sich am Tag $n+10$ ein Maximum des längs $50^\circ N$ ermittelten hemisphärischen Meridionalindex in 500 mb.

Die Daten von 77 chromosphärischen Eruptionen aus dem Jahr 1947 dienten Valnicek (21) als Stichtage für die Verfolgung der Zonalkomponente in dem Gebiet $20^\circ W - 20^\circ E$ längs $40^\circ N$. Am Tag $n+2$ wird ein Maximum der Zonalzirkulation gefunden, das von einer leichten Abnahme mit einigen Oszillationen gefolgt wird. Die gleichzeitig auftretenden Druckabweichungen vom Normalwert lassen einen Anstieg im Raum Grönland und tiefen Druck über Europa erkennen.

Valnicek (22) hat die Untersuchung auf 53 Fälle des Zeitraumes 1949/50 ausgedehnt, in denen der Eruptionsindikator, ein quantitatives Maß für die „Belichtungsstärke“ chromosphärischer Eruptionen, einen gewissen Schwellenwert überschritten hat. Die an 49 Koordinatenschnittpunkten 500mb über Europa gefundenen Höhendruckänderungen ergeben einen Fall zwischen den Tagen $n-5$ und n und Anstieg über dem Raum Nordsee — Britische Inseln zwischen den Tagen n und $n+5$.

Zum Vergleich mit früheren Untersuchungen sind die Ergebnisse der zitierten Arbeiten noch einmal in zwei Tabellen zusammengestellt, je eine für die Gruppe, die

Tab. 2
Zusammenstellung einiger Arbeiten über Zirkulationsschwankungen nach gesteigerter solarer Aktivität

Tag	n-1	
	n	Rodewald: Azorenhoch verstärkt, Druckdifferenz Azoren — Island verstärkt
	n+1	Valnicek: Erhöhte Zo- nalzirkulation Mitteleuropa (n+2) danach: Abnahme
	n+2	
	n+3	
	n+4	
	n+5	Trenkle: Über den normalen Betrag hinausgehende Zunahme von Ug120, wenn Ug120 am Tag n unternormal war (n+5 . . . n+8)
	n+6	
	n+7	
	n+8	
	n+9	
	n+10	
	
	n+20	Trenkle: Über den normalen Betrag hinausgehende Abnahme von Ug120, wenn Ug120 am Tag n übernormal war (n+18 . . . n+22)

einen geomagnetischen Index bzw. einen die solare Wellenstrahlung charakterisierenden Parameter enthält (Tab. 1 und 2).

Die Tabellen machen deutlich, wie schwierig es ist, verbindliche Aussagen auf diesem Problemgebiet zu gewinnen. Es muß auch angefügt werden, daß verschiedene, nicht minder gründlich angelegte Untersuchungen keine sicheren Zusammenhänge nachweisen konnten (so z. B. Nordö (23), van der Byl (24) und London et al. (25)).

2. Problemstellung der Untersuchung

Unter den besprochenen Arbeiten sind es vor allem die von Shapiro und Trenkle, die einen solaren Einfluß auf die kurzfristigen Schwankungen der Zirkulation der gemäßigten Breiten vermuten lassen. Diese Untersuchungen regen dazu an, an die entdeckten Beziehungen anzuknüpfen, die Untersuchungen in dieser Richtung fortzusetzen und nach zwei Gesichtspunkten hin zu verfeinern:

a) Es wird zu prüfen sein, ob auch noch in kleineren als den von den zitierten Autoren untersuchten Gebieten charakteristische Auswirkungen auftreten.

b) Daneben erscheint es wert, die von Trenkle herausgearbeitete Abhängigkeit der Reaktion der Zirkulation von deren eigenem Zustand am Tag des „solaren Stoßes“ weiter zu verfolgen.

Damit erhebt sich die Frage nach der Untersuchungsmethode und nach geeigneten solaren und terrestrischen Parametern, die sich soweit an die von Trenkle gewählten Größen anlehnen, daß ein Vergleich mit dessen Befunden möglich bleibt.

Hinsichtlich der Wahl eines solaren Parameters stellt sich deshalb nur die Frage, zu prüfen, ob die Definition eines von den Sonnenfleckenrelativzahlen ausgehenden „solaren Stoßes“ nach Trenkle sich sinnvoll übernehmen läßt. Ein Übergang von einem W-Strahlungsindex, wie ihn die Relativzahlen darstellen, zu einem Maß der P-Strahlung ist nicht in Betracht zu ziehen; allenfalls wird zu untersuchen bleiben, ob andere Maße als die Relativzahlen die kurzfristigen Variationen der W-Strahlung besser erfassen.

Was die Wahl des terrestrischen Parameters anbelangt, so hatte Trenkle die Zonalkomponente 500mb eines 10° breiten Streifens längs 55° N zwischen 60° W und 60° E benutzt. Unter Berücksichtigung der im allgemeinen vorherrschenden raum-zeitlichen Erstreckung der Tröge und Rücken der Westdrift werden hier stattdessen mehrere Ausschnitte von 60° x 10° Erstreckung gewählt, die nur wenig kürzer als die häufigste Länge der Rossby-Wellen sind, während die Zonalkomponente eines 120°-Feldes meist einen Mittelwert über mehrere Tröge und Rücken darstellt. Vergleiche der 120°-Komponentenwerte einzelner Tage mit den zugehörigen Wetterkarten lassen erkennen, daß es nur schwer möglich ist, aus dem Betrag oder auch nur aus der Änderung von Ug120 auf synoptische Situationen oder ihre Änderung zu schließen. Beispielsweise kann es vorkommen, daß im Westteil des 120°-Feldes eine zonale Drift vorherrscht, sich verstärkt und abschwächt und dadurch den Wert von Ug120 über- oder unternormal werden läßt, während gleichzeitig im Ostteil eine blockierende Situation unverändert erhalten bleibt und sich im Zonalwindwert nicht bemerkbar macht. Demgegenüber ist die Beziehung zwischen der Zonalkomponente eines 60°-Feldes und der makrosynoptischen Anordnung eindeutig.

Die Wahl der Untersuchungsmethode ist nicht schwer: Behält man das Verfahren bei, einzelne Tage auszu-

suchen, an denen gewisse, noch zu definierende solare Ereignisse auftraten, so ergibt sich von selbst, die Auswirkungen im terrestrischen Parameter mit dem Verfahren der „überlagerten Stichage“ („n-Methode“) zu verfolgen.

3. Wahl eines solaren Parameters

3.1. Verschiedene Maße zur Kennzeichnung der W-Aktivität

Für die Charakterisierung der solaren Aktivität stehen eine ganze Reihe von Parametern zur Verfügung. Hier interessieren nur solche zur Verfolgung der W-Strahlungskomponente. Aus Untersuchungen von Ward (26), Waldmeier (27) u. a. geht hervor, daß hierzu vorzugsweise folgende Größen Verwendung finden:

3.1.1. Die Sonnenfleckenrelativzahl R

An zahlreichen Observatorien wird täglich die Zahl der im integralen (weißen) Licht sichtbaren Flecken und Fleckengruppen der Sonnenphotosphäre ausgezählt. R wird bestimmt nach der Formel:

$$R = 10g + f,$$

wobei g die Zahl der Fleckengruppen und f die Summe der Einzelflecken ist. Da mit verschieden starken Fernrohren beobachtet wird, erfolgt noch eine Reduktion auf die als Bezug dienende „Züricher Skala“. Als „endgültige Sonnenfleckenrelativzahlen“ werden die in Zürich berechneten Werte bezeichnet, die als homogene Reihe seit mehr als 100 Jahren vorliegen. Allerdings verstreicht bis zu deren Veröffentlichung immer jeweils ein Jahr.

Man weiß, daß die Äußerungen der „aktiven Sonne“ — wie z. B. chromosphärische Eruptionen — vorzugsweise in der Nähe der Sonnenflecken auftreten. Die Häufigkeit dieser sporadischen Ereignisse zeigt ebenso wie die der Flecken eine 11jährige Periodizität. In den Schwankungen von Tag zu Tag ist die Korrelation zwischen Fleckenrelativzahl und Häufigkeit von eruptiven Vorgängen indessen nicht sehr stramm.

3.1.2. Die Sonnenfleckenfläche A

Durch planimetrische Auswertung der Aufnahmen der Sonnenoberfläche im weißen Licht und durch rechnerische Berücksichtigung der perspektivischen Randverkürzung wird versucht, die tägliche Flächensumme der Flecken zu bestimmen und die gewisse Subjektivität bei der Ermittlung der Relativzahl zu vermeiden. Sonst aber will man durch die Größe A denselben Anteil der solaren Aktivität kennzeichnen wie mit R. Die umständliche Auswertung bedingt, daß mehrere Jahre zwischen Beobachtung und Veröffentlichung vergehen.

3.1.3. Die Sonnenfackelfläche F

Im Licht einer einzelnen Spektrallinie gewonnene Aufnahmen der Sonnenoberfläche machen je nach der Wellenlänge die Erscheinungen bestimmter Schichten in und über der Photosphäre sichtbar, die im integralen Licht nicht zu erkennen sind. Insbesondere treten im Licht der H-Alpha-Linie die sogenannten Fackelgebiete hervor, die mit den Sonnenflecken vergesellschaftet sind, und von denen man annimmt, daß sie die hauptsächlichliche Quelle der kontinuierlichen solaren UV-Strahlung sind. Bezüglich der Zeit bis zu ihrer Veröffentlichung gilt das gleiche wie für A.

3.1.4. Die solare cm-Strahlung E

Von der von der Sonne im cm-Bereich ausgesandten elektromagnetischen Strahlung wird angenommen, daß sie der Photosphäre entstammt. Sie ist ein objektives, schnell gewinnbares Maß für die photosphärische Aktivität. Die nunmehr seit 12 Jahren vorliegenden Registrierungen haben gezeigt, daß ihr Gang weitgehend dem der Sonnenfleckenzahl ähnelt. Da beide unabhängig voneinander gewonnen werden, wird sowohl das Vertrauen in die Relativzahl als auch in die neue

radiooptische Größe E gestärkt. Man wird angesichts des guten Gleichganges dazu geführt, anzunehmen, daß beide parallel mit einer variablen, nicht direkt der Beobachtung zugänglichen Strahlung, die für die solar-terrestrischen Beziehungen bedeutsam sein dürfte, schwanken und deshalb für deren Verfolgung geeignet sind.

Als Beispiel sind die Gänge von R, A, F und E für das erste Halbjahr 1951 wiedergegeben (Abb. 2). Man erkennt, daß sowohl bei R als auch bei E und A

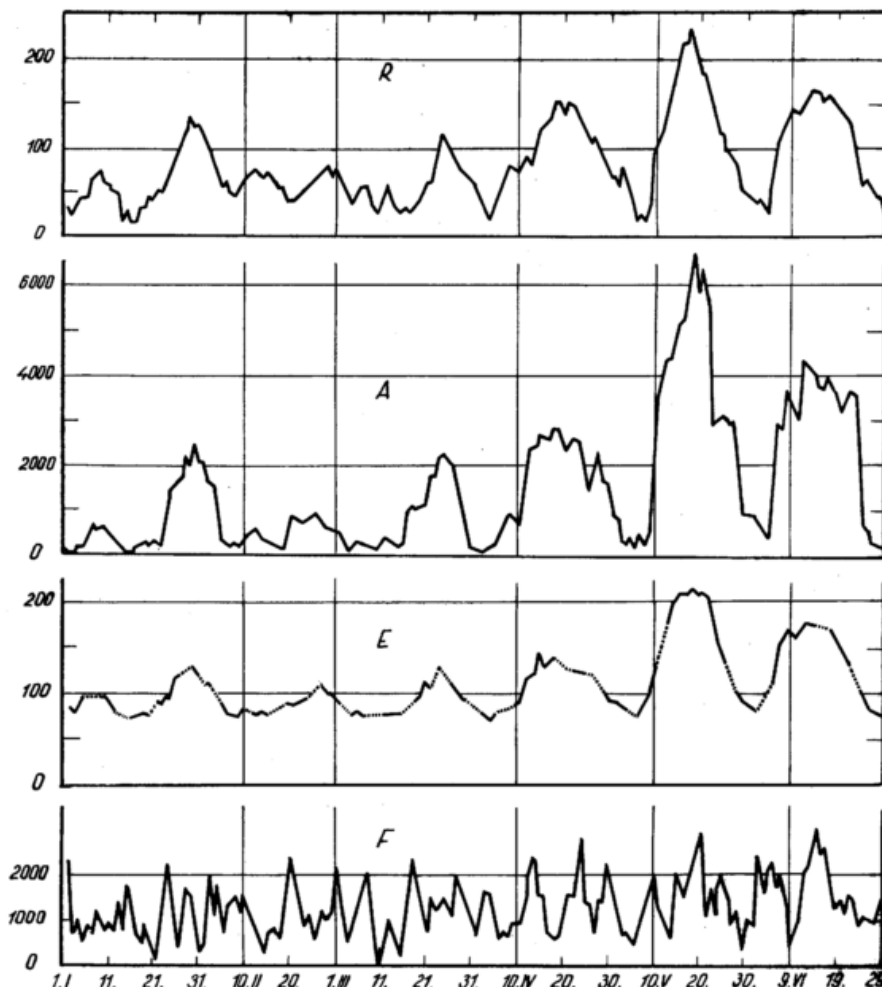


Abb. 2

Verlauf verschiedener Indizes der solaren Aktivität im 1. Halbjahr 1951.

- R: Züricher Sonnenfleckenzahl, nach Quarterly Bulletin on Solar Activity (30).
- A: Sonnenfleckensareal in Millionstel der sichtbaren Sonnenoberfläche, nach Greenwich Photoheliographic Results (31).
- E: Solare Radioemission 2800 MHz in 10^{-2} Watt · m² · Hz⁻¹ registriert in Ottawa, nach Quarterly Bulletin on Solar Activity.
- F: Fackelareal in Millionstel der sichtbaren Sonnenoberfläche, nach Greenwich Photoheliographic Results.

die Schwankungen mit einer mittleren Dauer von 20 bis 30 Tagen die größten Amplituden aufweisen, und andere Perioden demgegenüber wenig ausgeprägt sind. Der Verlauf von F ist unruhiger und zeigt kein so regelmäßiges Abwechseln von mehrtägigen Abschnitten gesteigerter Fackelflächengröße mit solcher verminderter Ausdehnung.

In lückenloser Reihe liegt für den zu untersuchenden Zeitraum nur die Sonnenfleckenzahl R vor. Sie dient in der vorliegenden Untersuchung — in Anlehnung an Trenkles Definition — als Grundlage zur Festlegung der Tage mit gesteigerter solarer Aktivität.

3.2. Definition eines „solaren Stoßes“

Trenkle wählte für seine Untersuchung solche Tage aus, an denen die Sonnenfleckenzahlen zu einem (sekundären) Maximum angestiegen waren, wobei der Anstieg mindestens $R = 40$ Einheiten betragen mußte. Bei der Anwendung dieser Definition auf die Reihe der einzelnen Tageswerte ist allerdings Vorsicht geboten, da die Einzelwerte — bedingt durch die Subjektivität des Auswerteverfahrens — mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Kleine Veränderungen, die nicht reell zu sein brauchen, genügen, um das Datum des Stichtages zu verschieben. Die Unsicherheit

wird sofort anschaulich sichtbar, wenn man die Angaben verschiedener Observatorien für den gleichen Zeitabschnitt betrachtet (Abb. 3a). Dort ist zu erkennen, wie stark die Relativzahlen — besonders bei großen

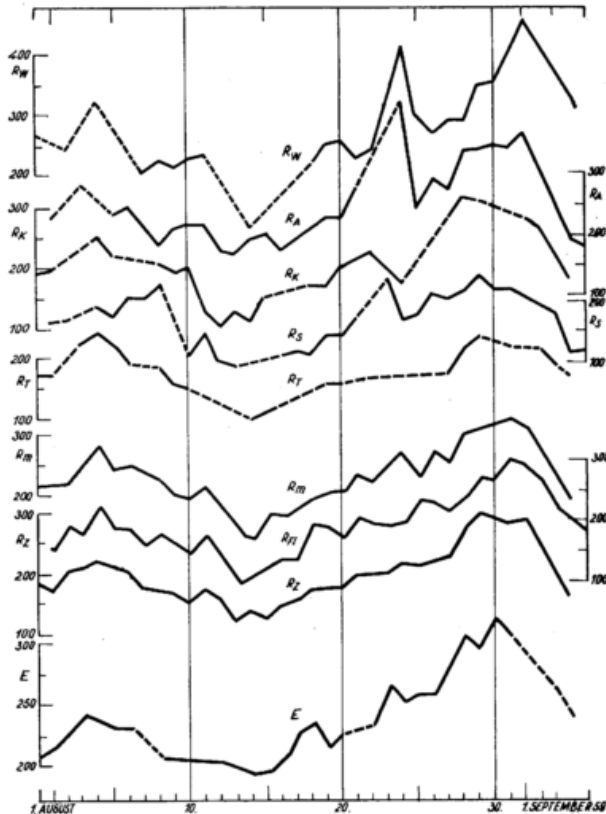


Abb. 3a

Verlauf der Sonnenfleckenzahl in der Zeit vom 1. August bis 5. September 1959 nach den Angaben verschiedener Sonnen-Observatorien.

Obere fünf Kurven (R_W bis R_T): Unreduzierte Werte nach den mit Ursigramm verbreiteten Angaben der Observatorien Wendelstein (R_W), Athen (R_A), Kanzelhöhe (R_K), Schauinsland (R_S) und Tortosa (R_T).

R_m: Tagesmittel aller mit Ursigramm gemeldeten und auf die Züricher Skala reduzierten Werte.

R_{FI}: Werte des Fraunhofer Institutes (Freiburg i. Br.) nach Daily Maps of the Sun (28).

R_Z: Provisorische Züricher Relativzahlen nach Mittelung der Eidgenössischen Sternwarte Zürich.

E: Zum Vergleich miteingetragener Verlauf der solaren Radioemission 2800 MHz, registriert in Ottawa, nach Ursigramm-Meldungen (Einheit: 10⁻²² Watt · m⁻² · Hz⁻¹).

Beträgen — voneinander abweichen. Das Beispiel legt es nahe, anzunehmen, daß die dem allgemeinen Kurvenverlauf aufgeprägten kleineren interdiurnen Schwankungen bis zu einer Amplitude von fast 100% des allgemeinen Niveaus einen „Lärmanteil“ darstellen, in dem tatsächlich solare Veränderungen und durch das Beobachtungs- und Auswerteverfahren bedingte scheinbare Veränderungen ununterscheidbar miteinander vermengt sind. Es ist deshalb angebracht, zunächst durch einen Filterungsprozeß den Lärmanteil zu eliminieren und sich mit dem dann übrigbleibenden, geglätteten Gang zu begnügen. Eine übergreifende dreitägige Mittelung beseitigt bereits die meisten der kurzperiodischen Schwankungen kleiner Amplitude. Deshalb wurde die Definition eines solaren Stoßes nach Trenkle in folgender Form neu gefaßt:

Definition eines „solaren Stoßes“:

Tag des Maximums von R₃, wenn ein Anstieg um R ≥ 33.3 Einheiten vorangegangen ist.

$$R_3(n) = \frac{R_3(n-1) + R_3(n) + R_3(n+1)}{3}$$

(Tag des Maximums soll der Tag sein, nach welchem kein weiterer Anstieg von R₃ erfolgt).

Auf Grund dieser Definition wurden aus den endgültigen Züricher Sonnenfleckenzahlen des Zeitraumes vom 1. 12. 48 bis zum 31. 3. 58 insgesamt 122 „solare Stoßtage“ ausgesucht (s. Tab. 3).

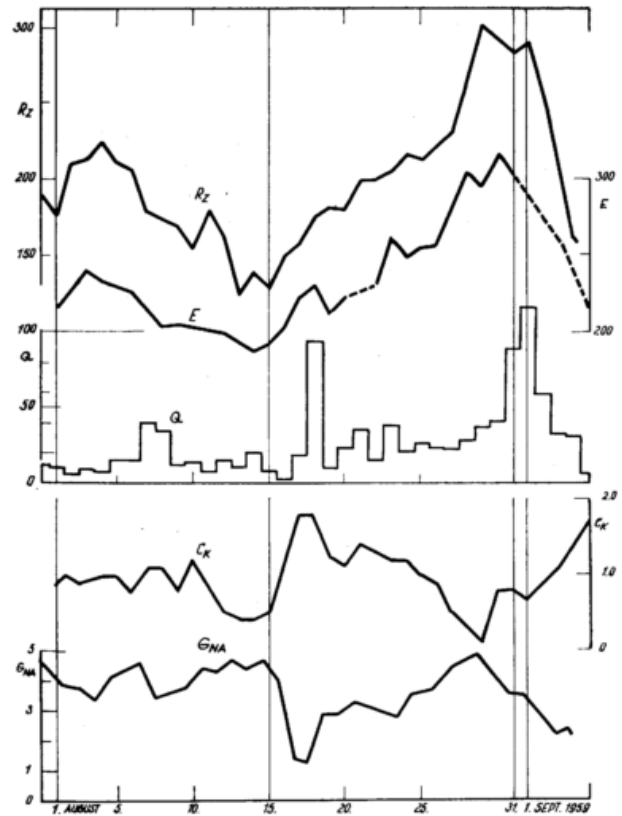


Abb. 3b

Verlauf verschiedener Indizes der solaren Aktivität vom 1. August bis 5. September 1959.

R_Z: provisorische Züricher Sonnenfleckenzahl.

E: solare Radioemission (siehe Abb. 2a).

Q: Tagessummen des Eruptionsindikators $i \cdot \Delta t$ der beobachteten chromosphärischen Eruptionen (i = Intensität, Δt = Andauer). Daten der chromosphärischen Eruptionen nach Daily Maps of the Sun (28).

C_K: Erdmagnetische Charakterzahl, Observatorium Wingst (nach Ursigramm-Meldung).

G_{NA}: Güte der Funkverbindung Europa—Nordamerika in relativem Maß (0 = sehr schlecht... 5 = sehr gut). (Nach Ursigramm-Meldung).

Als Beispiel für den Verlauf eines solaren Stoßes ist in Abb. 3b neben der Sonnenfleckenzahl für die Zeit vom 1. August bis 5. September 1959 die solare Radioemission E im cm-Bereich (10,7 cm Wellenlänge), die erdmagnetische Kennziffer C, die Tagessumme des aus dem Produkt Stärke x Andauer der beobachteten chromosphärischen Eruptionen berechneten „Eruptionsindikator“ und die Güte der Funkausbreitung auf der Strecke Europa—Nordamerika wiedergegeben. Man erkennt, daß die kurzfristigen Schwankungen der P-Strahlung, wie sie sich in dem Gang des erdmagnetischen Index und des ionosphärischen Maßes widerspiegeln, keinen Parallelgang zu der langsam variierenden Komponente der W-Strahlung, repräsentiert durch R und E, aufweisen. Auch die durch den Eruptionsindikator gekennzeichnete eruptive W-Strahlung ist nicht etwa in den Zeiten größter Relativzahlen am stärksten, ihre Maxima finden sich (im gezeigten Beispiel zumindest) unregelmäßig auf die Zeiten niedriger und hoher Relativzahlen verstreut. (Diese schlechte Korrelation wandelt sich beim Übergang zu Mehrmonats- und Jahresmitteln in eine ziemlich gute lineare Beziehung zwischen R und H(F), der Häufigkeit von chromosphärischen Eruptionen um).

Tab. 3
Daten der solaren Stöße. Dezember 1948 bis April 1958 ($\Delta R_s \geq 33,3$)

Datum	Betrag d. Anstieges $3\Delta R_s$	Dauer d. Anstieges Δt	Datum	Betrag d. Anstieges $3\Delta R_s$	Dauer d. Anstieges Δt
1948 Dez. 19	96 rel. Einh.	4 Tage	1953 Jan. 14	173 rel. Einh.	16 Tage
1949 Jan. 20	263	15	Apr. 28	179	8
Feb. 6	388	8	Aug. 12	190	6
Feb. 17	108	7	Apr. 3	131	9
Mz. 20	113	5	1954 Mz. 17	121	7
Apr. 4	188	6	Nov. 12	120	6
Apr. 21	126	10	1955 Mai 22	149	8
Mai 6	160	5	Juni 17	116	9
Mai 18	147	4	Juli 6	155	14
Juni 29	406	10	Aug. 10	219	7
Juli 16	165	5	Sep. 2	209	9
Juli 24	213	7	Okt. 8	165	11
Aug. 17	389	6	Okt. 30	122	13
Okt. 6	436	6	Nov. 12	304	7
Okt. 23	129	4	Nov. 30	112	10
Nov. 9	178	12	1956 Jan. 18	259	8
Nov. 30	120	7	Feb. 19	690	11
Dez. 12	101	6	Mz. 16	143	4
1950 Jan. 23	245	7	Apr. 13	344	7
Feb. 20	436	12	Mai 9	367	10
Mz. 8	274	6	Mai 29	116	6
Apr. 6	274	6	Juni 20	229	10
Apr. 25	160	4	Juli 1	234	6
Mai 25	274	10	Juli 12	161	8
Juni 11	120	5	Aug. 6	176	12
Juni 25	150	5	Aug. 23	265	7
Juli 21	150	9	Sep. 14	310	5
Aug. 20	115	5	Okt. 3	166	7
Sep. 17	151	10	Okt. 24	166	7
Okt. 9	127	8	Nov. 7	103	7
Okt. 30	213	8	Dez. 1	124	3
Dez. 2	197	9	Dez. 11	142	3
Dez. 9	114	4	Dez. 25	227	6
Dez. 26	146	5	1957 Jan. 6	194	6
1951 Jan. 7	124	5	Jan. 23	295	7
Jan. 29	318	14	Feb. 10	127	10
Feb. 26	104	7	Mz. 13	238	9
Mz. 25	232	9	Mz. 26	106	5
Apr. 20	360	17	Apr. 24	347	12
Mai 17	598	10	Mai 14	305	10
Juni 14	379	11	Mai 30	113	3
Juli 10	275	10	Juni 19	360	8
Juli 24	102	3	Juli 5	105	5
Aug. 10	191	7	Juli 23	488	11
Sep. 11	348	15	Aug. 17	287	6
Okt. 12	188	5	Aug. 31	425	8
Okt. 29	159	5	Sep. 13	288	7
Dez. 22	212	11	Sep. 21	188	6
1952 Jan. 1	100	5	Okt. 9	112	4
Jan. 15	130	9	Okt. 29	299	10
Feb. 18	125	7	Nov. 11	172	4
Mz. 12	101	9	Nov. 23	215	7
Mz. 30	212	7	Dez. 5	140	15
Apr. 21	145	5	Dez. 24	602	15
Juni 24	149	14	1958 Jan. 15	260	9
Juli 15	224	8	Feb. 2	107	3
Aug. 1	155	9	Feb. 25	116	7
Aug. 28	184	7	Mz. 6	314	5
Sep. 24	118	11	Mz. 30	517	10
Okt. 26	101	9	Apr. 22	322	7
Dez. 8	104	9			
Dez. 16	111	6			

4. Terrestrischer Parameter

4.1. Wahl eines terrestrischen Parameters

Da es bei der statistischen Auswertung geboten schien, sich auf ein Beobachtungsmaterial zu stützen, das in schnell auswertbarer Form vorliegt, kamen von vornherein nur die Größen in Betracht, die für einen genügend langen Zeitraum lochkartenmäßig aufbereitet sind und von denen man annehmen kann, daß sie zur Charakterisierung großräumiger Zirkulationszustände geeignet sind. Als eine solche Größe bot sich die Zonal Komponente des geostrophischen Windes 500mb an, die für ein großes Areal und für den Zeitraum Dezember 1948 bis April 1958 in Lochkarten vorlag. Im Rahmen einer größeren Untersuchung über Schwankungen der allgemeinen Zirkulation waren Zonalkomponenten für Streifen von 5° Breitendifferenz und 30° Längenunterschied für das von den Rocky Mountains bis zum Ural reichende Untersuchungsgebiet berechnet worden, wobei als Ausgangsdaten die den 500mb-Analysen des Deutschen Wetterdienstes entnommenen Geopotentialwerte der Koordinatenschnittpunkte dienten. Die Werte von je vier dieser Streifen wurden zu einem Zonalwindwert zusammengefaßt, der für ein 10° x 60° Feld galt. Drei derartige Felder wurden für die Untersuchung ausgewählt.

4.2. Wahl der untersuchten Gebiete

Die Lage der ausgesuchten Felder ist in der Lage-skizze Abb. 4 angegeben, in der auch die von Shapiro und Trenkle für ihre Untersuchungen benützten Gebiete markiert sind.

Das Feld 35005*) umfaßt den westmitteleuropäischen Raum. Seine Zonalkomponente dürfte die Zirkulationsverhältnisse dieses Gebietes hinreichend genau charakterisieren. Es liegt in Nachbarschaft zu dem mit „Ug120“ bezeichneten Feld der Trenkleschen Untersuchung; die Felder ähneln sich hinsichtlich des Jahresganges der Zonalzirkulation.

Das Feld 04555 umfaßt das Gebiet zwischen 85° W bis 25° W und 40° N bis 50° N. Aus Mittelwertskarten der 500mb-Fläche (siehe Abb. 5a und 5b) ist zu ersehen,

*) Im folgenden werden die Felder durch die (verschlüsselte) Koordinatenangabe ihres Feldmittelpunktes bezeichnet. „35005“ bedeutet 50° N / 05° E, entsprechend „04555“: 45° N / 55° W und „04085“: 40° N / 85° W.

daß dieses Feld sowohl im Sommer wie im Winter nahe der stärksten Konzentration der nordamerikanischen Frontalzone an der Südseite des quasipermanenten ostkanadischen Höhentrogos liegt.

Das Feld 04085, welches mit seinem NE-Quadranten ein Viertel des Feldes 04555 überlappt, umfaßt das Gebiet zwischen 115° W bis 55° W und zwischen 35° N und 45° N. Der Südrand der nordamerikanischen Frontalzone verläuft im Mittel über das Winterhalbjahr annähernd breitenkreisparallel quer durch dieses Feld, während sich im Sommer die Nordabdachung des subtropischen Hochdruckgürtels (in 500mb) bis in dieses Gebiet ausdehnt.

4.3. Häufigkeitsverteilung der Zonalkomponenten in den ausgewählten Feldern

Einen guten Einblick in den Jahresgang der Zonalkomponente und ihre Streuung in den einzelnen Feldern gewährt die Auszählung der Häufigkeiten der Zonalgeschwindigkeiten. Das Ergebnis ist für die beiden Felder 35005 und 04085 in den Abb. 6a und 6b wiedergegeben. Wesentliche Unterschiede zwischen den nordamerikanischen und den europäischen Verhältnissen fallen sofort in das Auge:

a) In fast allen Monaten liegen die Zonalwindgeschwindigkeiten im Feld 04085 höher als im Feld 35005. Im Mittel über das ganze Jahr ergeben sich für alle drei Felder folgende Werte:

Tab. 4

Medianwert und arithmetisches Mittel der Zonalkomponente 500mb (Jahresmittelwerte) für die drei untersuchten 10° x 60°-Felder 35005, 04555 und 04085

Feld	:	35005	04555	04085
Median	:	9.1	16.9	16.0 m/sec
arithm. Mittel:		9.8	17.2	15.4 m/sec

b) Die Streuung ist sowohl für Nordamerika wie für Europa im Sommer geringer als im Winter. In allen Monaten sind die Streuungen im amerikanischen Feld kleiner als im europäischen Feld.

c) Das Feld 04085 weist einen viel stärkeren Jahresgang der Zonalgeschwindigkeit auf als das Feld 35005.

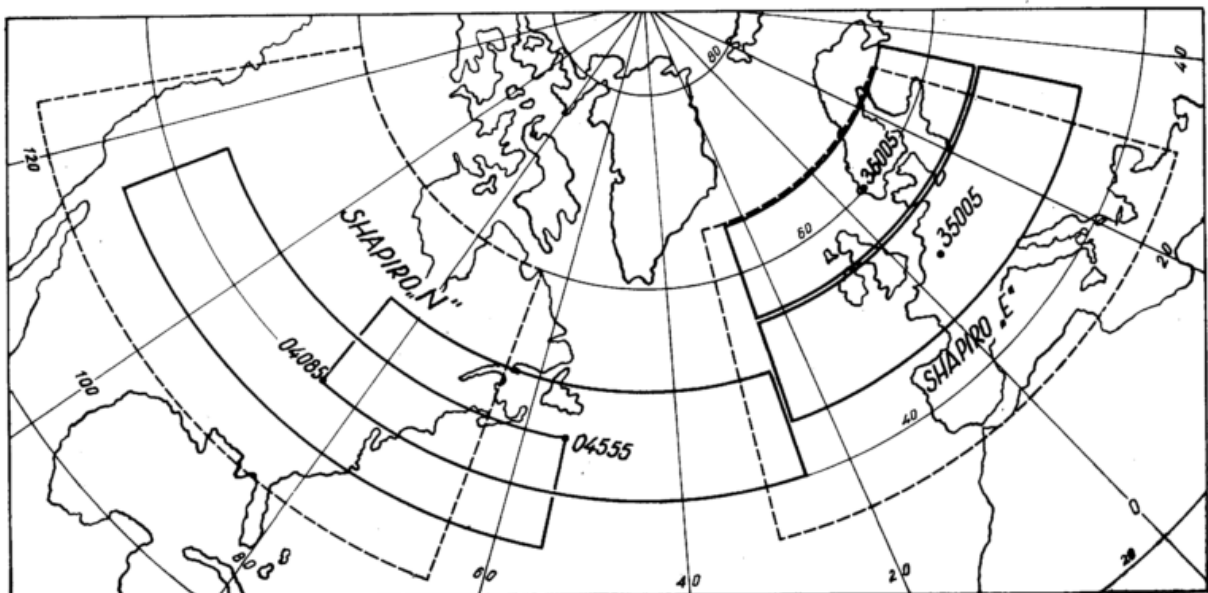


Abb. 4
Lageskizze der untersuchten Felder.

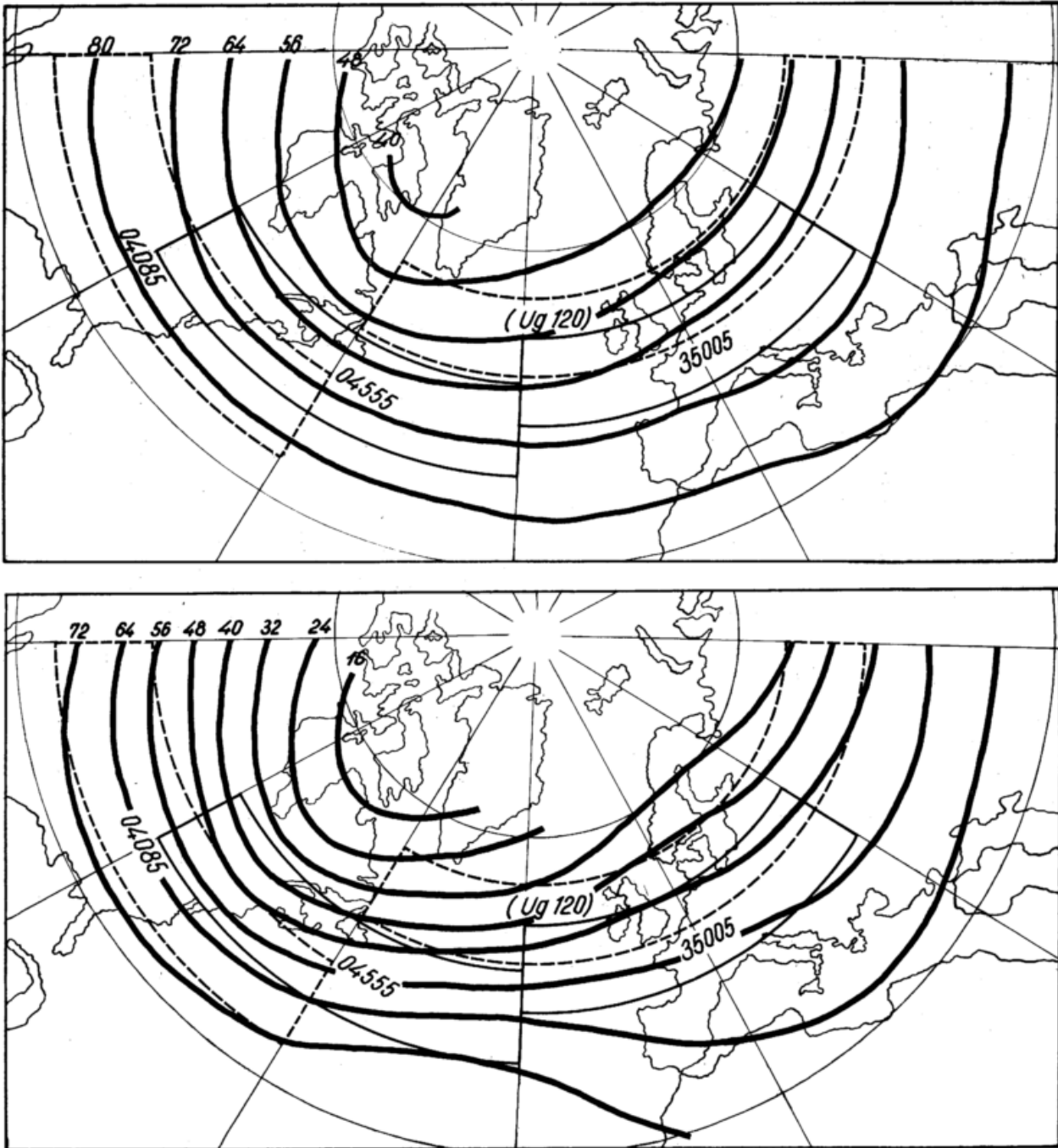


Abb. 5
40-jähriger Mittelwert der absoluten Topographie 500 mb im Sommerhalbjahr (a, oben) und Winterhalbjahr (b, unten) nach I. Jacobs (29).

Dies kommt noch deutlicher zum Ausdruck, wenn man für die beiden Felder den Jahresgang des Geschwindigkeitsintervalles vergleicht, das symmetrisch um den jeweiligen Monatsmedian liegt und 33.3% aller vorgekommenen Geschwindigkeitswerte enthält (Abb. 7). Während z. B. im August ein Drittel aller im europäischen Gebiet beobachteten Zonalkomponenten zwischen 8.3 und 13.3 m/sec liegt, bedingt das über Europa häufigere Auftreten von Ostwinden im Winter, aber auch die winterliche Zunahme von besonders starken Westwindkomponenten, daß sich das entsprechende 33.3%-Intervall für Januar von 6.5 bis 14.4 m/sec verbreitert. Der für das amerikanische Feld so auffällige Rückgang der Westwindkomponenten während des Sommers läßt sich wohl auf der einen Seite mit der allgemeinen sommerlichen Verminderung der Intensität der Westdrift, zum anderen mit einer Nordwärts-

verlagerung des schwachwindigen subtropischen Hochdruckgürtels im 500mb-Niveau bis in die Breite von 40° in Zusammenhang bringen.

d) Ostwinde fehlen im Sommer im Feld 04085 völlig, im Winter sind sie erheblich seltener als in Europa.

Manche weiteren interessanten Einzelheiten ließen sich anführen, doch muß hier darauf verzichtet werden, da sie das Thema der Untersuchung nur insoweit berühren, als sie ein Urteil erlauben, wie weit der rund 10jährige Zeitraum schon ausreicht, um Aussagen klimatologischer Art zu machen.

Es kann hier auch nicht weiter auf die Frage eingegangen werden, ob die Zonalkomponente eines 10° x 60° großen Ausschnittes die geeignetste Größe zur quantitativen Beschreibung der Zirkulationsverhältnisse ist.

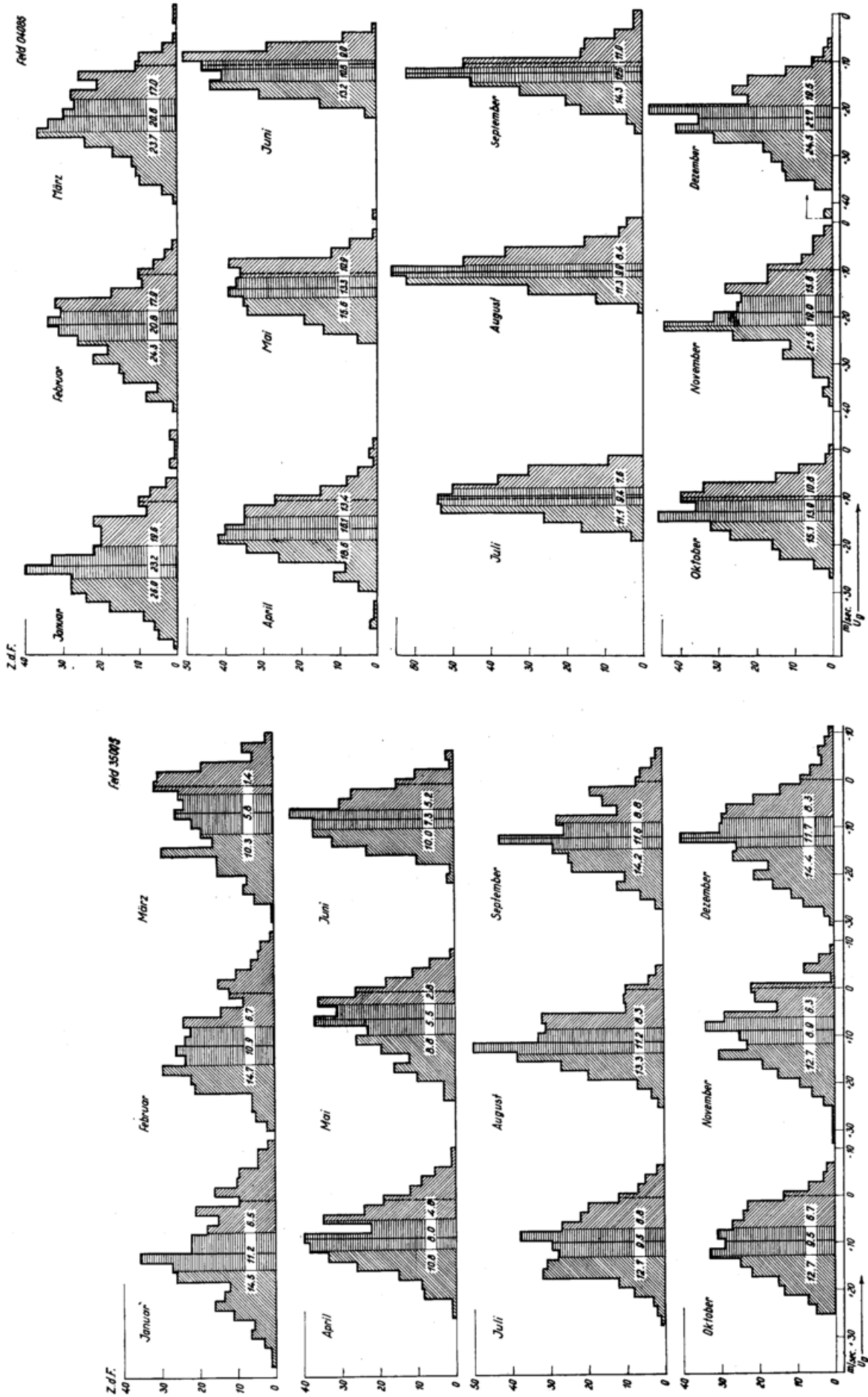


Abb. 6
 Monatliche Häufigkeitsverteilungen der Zonalkomponente
 500 mb in den Feldern 35005 (a) und 04085 (b), ausgerechnet in
 Geschwindigkeitsstufen von 2 zu 2 m/sec. Zeitabschnitt: 1. De-
 zember bis 30. April 1958. Eingetragene Zahlenwerte (v. l. n. r.):
 (U_H, U_{med}, U_L) (siehe auch Tab. 5).

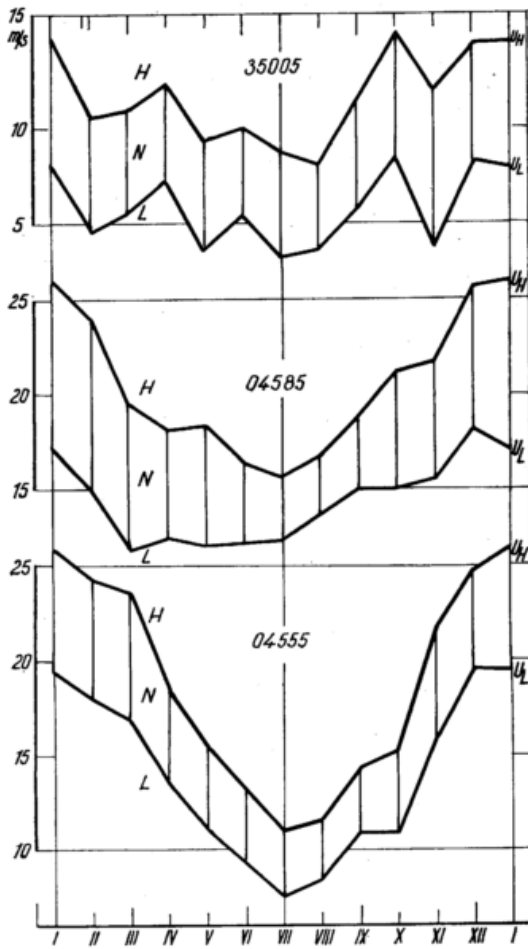


Abb. 7

Jahresgang der Werte U_L und U_H der Zonalkomponente 500 mb, welche die Terzile H (übernormale Zonalkomponente), N (normale Zonalkomponente) und L (unternormale Zonalkomponente) voneinander abgrenzen, in den drei Feldern 35005, 04555 und 04085.

Die einzige Auswahlmöglichkeit, die im vorliegenden Fall bestand, war die zwischen verschiedenen großen Feldern, für welche Zonalwindkomponenten berechnet werden konnten. Dagegen war ein Abgehen von der Zonalwindkomponente selbst und ein Übergang zu — beispielsweise — einem Meridionalindex nicht möglich. Daß die Wahl gerade auf den $10^\circ \times 60^\circ$ -Ausschnitt fiel, ist bereits im Abschnitt 2 im Zusammenhang mit der Frage nach einer Übernahme des von Trenkle benutzten 120° -Ausschnittes begründet worden.

5. Methode der Untersuchung

5.1. Bearbeitung des Kollektivs von 122 solaren Stoßtagen

Nachdem entschieden war, die Trenklesche Definition eines „solaren Stoßes“ in leicht modifizierter Form zu übernehmen, wurde ein Katalog aller Daten von solaren Stößen im Zeitraum 1. 12. 48 — 31. 3. 58 aufgestellt. Es ergaben sich 122 Stichtage. Für diese und die Folgetage $n+1$ bis $n+26$ (und zum Teil auch für die Vortage $n-1$ bis $n-2$) wurden die in den Lochkarten enthaltenen Zonalkomponenten 500 mb herausgesucht. In welcher Weise die Werte aller 122 Fälle für jeden Stichtag getrennt gemittelt wurden, wird im folgenden Kapitel bei der Diskussion der Ergebnisse erläutert werden.

Ein wichtiger Punkt, den es unter Berücksichtigung der Trenkleschen Resultate zu beachten galt, war die am jeweiligen Stichtage gerade herrschende Ausgangssituation der Zirkulationsverhältnisse. Dies geschah in folgender Weise:

Das Gesamtkollektiv aller 122 Fälle (Stichtag und jeweilige Folgetage eines solaren Stoßes) wurde unterteilt in drei Teilkollektive:

Teilkollektiv „L“ enthält die Fälle, bei denen die Zonalkomponente am Stichtag in dem niedrigsten für den jeweiligen Monat gültigen Geschwindigkeitsterzil liegt.

Teilkollektiv „N“ enthält entsprechend die Fälle mit Stichtagskomponenten, deren Betrag in das mittlere und

Tab. 5

Terzile und Medianwert der Zonalkomponente 500mb (m/sec) in $10^\circ \times 60^\circ$ -Feldern

Monat:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Feld 35005	U_L	6.5	6.7	1.4	4.6	2.8	5.2	6.8	8.3	8.8	6.7	6.3	8.3
	U_{med}	11.1	10.6	5.7	8.0	5.4	7.2	9.3	11.2	11.6	9.6	9.0	11.8
	U_H	14.5	14.7	10.3	10.8	8.8	10.0	12.7	13.3	14.2	12.7	12.7	14.4
Feld 04085	U_L	19.6	17.9	17.0	13.4	10.9	9.0	7.6	8.4	11.0	10.8	15.6	19.5
	U_{med}	23.2	20.8	20.6	16.1	13.3	10.8	9.4	9.9	12.5	13.0	19.0	21.7
	U_H	26.0	24.3	23.7	18.6	15.6	13.2	11.1	11.3	14.3	15.1	21.5	24.5
Feld 04555	U_L	17.1	14.9	11.8	12.4	12.0	12.1	12.2	13.5	15.0	14.9	15.4	18.2
	U_{med}												
	U_H	25.9	24.1	19.4	18.2	18.6	16.7	15.6	16.7	18.9	21.3	21.7	25.7
Z. d. F:		310	282	310	300	279	270	279	279	270	279	270	310

Terzile:

- 33 $\frac{1}{3}$ % aller U-Werte sind kleiner als U_L
- 33 $\frac{1}{3}$ % aller U-Werte liegen zwischen U_L und U_H
- 33 $\frac{1}{3}$ % aller U-Werte sind größer als U_H

Median:

- 50% aller U-Werte sind kleiner als U_{med}
- 50% aller U-Werte sind größer als U_{med}

das Teilkollektiv „H“ die Fälle mit Stichtagskomponenten, deren Betrag in das obere Geschwindigkeits-terzil fällt.

Da die Grenzen zwischen den Terzilen von Feld zu Feld variieren, mußten die drei Teilkollektive für jedes Feld gesondert zusammengestellt werden.

Die Werte der Terzilgrenzen für jedes Feld und jeden Monat sind aus der Tab. 5 zu entnehmen. Zu ihrer Bestimmung dienten die schon erwähnten Häufigkeitsverteilungen der Zonalkomponenten (Abb. 6).

Beispiel: Am 18. Januar 1956 hatte die Zonalkomponente im Feld 04085 einen Wert von $U = 12.7$ m/sec. Da der Grenzwert zwischen dem L- und dem N-Teilkollektiv für Januar für das Feld 04085 höher liegt, nämlich bei $U_L = 19.6$ m/sec, ist dieser Fall in das L-Kollektiv einzureihen.

5.2. Bearbeitung des Kollektivs von rund 300 „blinden“ Stichtagen

Um eine Überprüfung der aus den 122 Stoßtag-Fällen gewonnenen Ergebnisse auf statistische Signifikanz zu ermöglichen, wurde eine entsprechende Untersuchung noch einmal an einer Auswahl von rund 300 „blinden“ Stichtagen wiederholt. Aus technischen Gründen wurden als Stichtage dieser Vergleichsauswahl die Ersten, Elften und Einundzwanzigsten eines jeden Monats herangezogen. Dies ist streng genommen keine völlig „blinde“ Auslese, doch ist eine Verfälschung der „Willkürlichkeit“ bei dieser Art der Auswahl nur dann zu erwarten, wenn der untersuchte Zonalwind eine streng kalendergebundene 10.2tägige Eigenperiode oder eine Harmonische dieser Eigenperiode aufweisen würde. Nichts Derartiges ist bekannt oder als einigermaßen wahrscheinlich anzunehmen.

Die Vergleichsauswahl wurde in der gleichen Weise behandelt wie die solare Stichtagsauswahl. In welcher Weise auch die Schwankungen der Zonalkomponente nach solaren Stößen verfolgt wurden, stets wurde das gleiche Verfahren auch mit der Vergleichsauswahl durchgeführt.

Die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchung sind — ebenso wie die der Stoßtag-Analyse — graphisch dargestellt worden (siehe nächsten Abschnitt). Die Kurven wurden dreitägig gemittelt. Diese geglätteten Werte der Vergleichsauswahl wurden als repräsentativ für die unbekannte Grundwahrscheinlichkeit einer Veränderung der Zonalkomponente nach einem L-, N- oder H-Tag angesehen. Auf sie wurden die Grenzen des in die Darstellungen eingetragenen 5%-Vertrauensbereiches bezogen. Dadurch läßt sich die Signifikanz der gefundenen Veränderungen der Zonalkomponente nach solaren Stichtagen auch anschaulich überblicken.

6. Ergebnisse und ihre Diskussion

6.1. Schwankungen der Zonalkomponente nach solaren Stößen

Die Ergebnisse werden in graphischer Form präsentiert. Jede Abbildung enthält drei Kurvenbündel, je eines für die Stichtage, an denen die Zonalkomponente im untersuchten Gebiet übernormal („H“-Kollektiv), bzw. normal („N“-Kollektiv), bzw. unternormal („L“-Kollektiv) gewesen war.

6.1.1. Mittlerer Verlauf von ΔU in den Feldern 35005, 04555, 04085

Die erste Gruppe von Darstellungen (Abb. 8—10) gibt die absoluten Änderungen der Zonalkomponente ΔU nach den Stichtagen getrennt für jedes Feld wieder.

$$\overline{\Delta U} = \frac{1}{N} \sum_j (U_{n+i,j} - U_{n,j})$$

- i: Zahl der Tage nach dem Stichtag ($i = -2 \dots +26$),
- j: Nummer des einzelnen Falles,
- N: Zahl der Fälle.

Die drei*) Kurven eines jeden Kurvenbündels bedeuten:

- (1) Verlauf von $\overline{\Delta U}$ nach solaren Stichtagen, 1. Hälfte (ungeglättet)
- (2) Verlauf von $\overline{\Delta U}$ nach solaren Stichtagen, 2. Hälfte (ungeglättet)
- (3) Verlauf von $\overline{\Delta U}$ nach den Stichtagen einer Vergleichsauswahl (geglättet nach der Formel

$$\frac{a+b+c+d+e}{5}$$

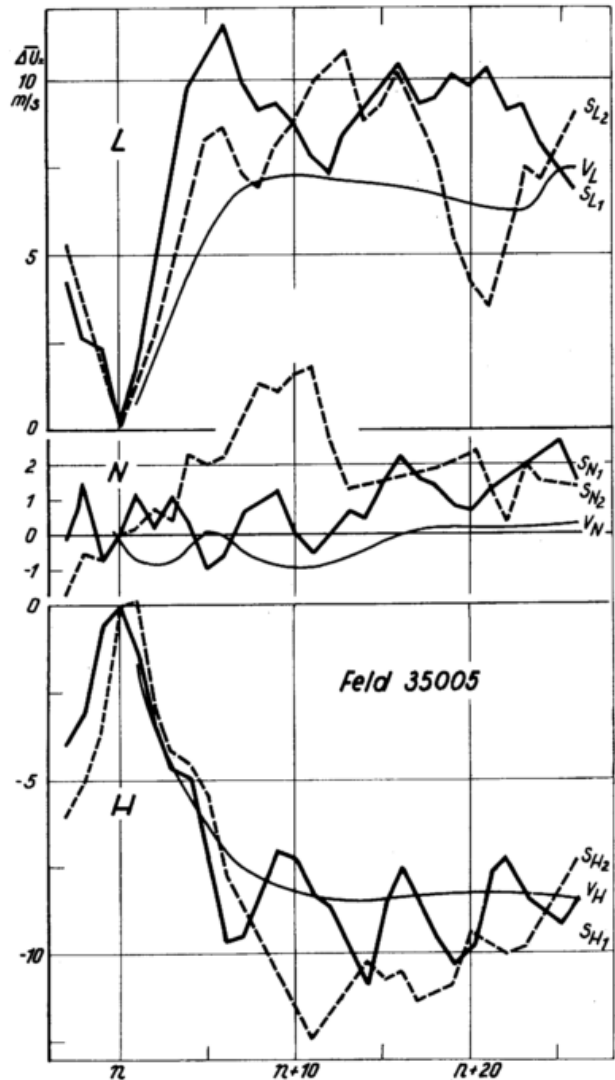


Abb. 8

Mittlere Schwankung $\overline{\Delta U}$ der Zonalkomponente 500 mb (m/sec) nach ausgewählten Stichtagen im Fe d 35005, getrennt nach dem Betrag der Zonalkomponente am Stichtag: L (unternormal), N (normal) und H (übernormal).

- S₁: Erste Hälfte des Kollektivs der solaren Stichtage,
- S₂: Zweite Hälfte des Kollektivs der solaren Stichtage,
- V: Stichtage der Vergleichsauswahl.

Wenn die Zonalkomponente nach solaren Stößen anomale Schwankungen zeigt, müssen diese in den

*) Im Feld 04555 ist die Halbierung des Teilkollektivs „H“ der solaren Stichtagsauswahl versehentlich unterblieben. Das entsprechende Kurvenbündel enthält deshalb nur zwei Kurven: den Verlauf von ΔU im Mittel nach allen Stoßtagen und die Vergleichsauswahl.

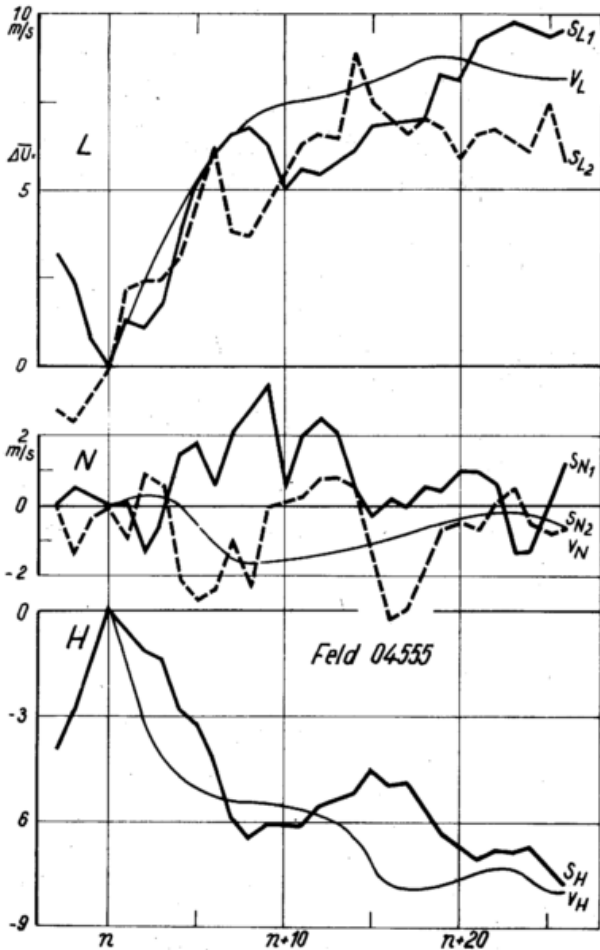


Abb. 9
Feld 04555. Erläuterung siehe Abb. 8.

Kurven (1) und (2) in gleicher Weise auftreten. Beide Kurven müssen sich ihrerseits deutlich von (3) unterscheiden. Die Auswertungen aber lassen in keinem Feld und bei keinem der Teilkollektive „L“, „N“ oder „H“ etwas Derartiges erkennen. Zwar nimmt die Zonalkomponente nach denjenigen Stichtagen, an denen sie unternormal war („L“-Tage), stark zu und nach den Stichtagen, an denen sie übernormal war („H“-Tage), stark ab. Dies geschieht auch gleichsinnig in beiden Hälften der Stichtagsauswahl. Doch macht die Vergleichsauswahl diese Änderungen in annähernd gleichstarkem Maß ebenfalls mit, so daß die Schwankungen

$$\frac{N^+}{N} = \frac{\text{Anzahl der Fälle mit Zunahme gegenüber dem Stichtag}}{\text{Zahl aller Fälle}}$$

Beispielsweise bedeutet ein Wert $N^+/N = 50\%$ am Tag $n+i$, daß in 50% aller Fälle die Zonalkomponente an diesem Tag größer als am Tag n ist. Es werden also nur die Vorzeichen der Änderungen $U_{n+i,j} - U_{n,j}$ ausgezählt, nicht deren Beträge gemittelt. Dies hat den Vorteil, daß jeder Einzelfall mit gleichem Gewicht in die Statistik eingeht, während bei der ΔU -Methode Verfälschungen der mittleren Schwankungen durch einige wenige extreme Fälle möglich sind. Zudem läßt sich die statistische Signifikanz hier sehr leicht nachprüfen.

Die hier gefundenen Schwankungen müssen wiederum vor dem Hintergrund einer Vergleichsauswahl betrachtet werden. Deshalb wurden auch die Fälle der Vergleichsauswahl entsprechend dem Vorzeichen ihrer Änderungen ausgezählt. Im einzelnen stellen die Kurven dar:

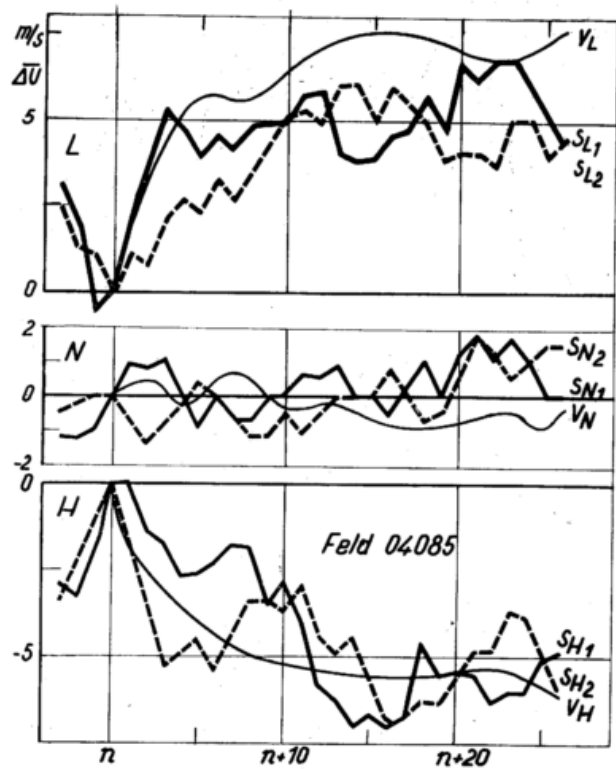


Abb. 10
Feld 04085. Erläuterung siehe Abb. 8.

nichts weiter als die Tendenz zur Normalisierung, d. h. zur Rückkehr zum mittleren Zustand bedeuten können. In den „N“-Fällen, in denen keine derartige Überlagerung einer auswahlbedingten Tendenz zur Zunahme oder Abnahme wahrscheinlich ist, finden sich keine auffälligen Anomalien in den beiden Stichtagsauswahlen gleichartig ausgeprägt.

6.1.2. Änderungen der Häufigkeit N^+/N in den Feldern 35005, 04555, 04085

6.1.2.1. Änderungen von Tag zu Tag (nicht gemittelte Änderungen)

Die zweite Gruppe der Darstellungen (Abb. 11—13) gibt die Änderungen nach den gleichen Stichtagen noch einmal wieder, diesmal aber ausgedrückt als relative Häufigkeiten einer Zunahme der Zonalkomponente:

- (1) Mittlerer Verlauf von N^+/N nach solaren Stichtagen (ungeglättet),
- (2) Mittlerer Verlauf von N^+/N nach solaren Stichtagen (geglättet nach $\frac{a+b+c+d+e}{5}$),
- (3) Mittlerer Verlauf von N^+/N nach den Stichtagen einer Vergleichsauswahl (geglättet nach $\frac{a+b+c+d+e}{5}$),
- (4) Grenzen des 95%-Vertrauensbereiches („5%-Grenzen“).

Die 5%-Grenze wurde um die Kurve der geglätteten Werte der Vergleichsauswahl gelegt (Zahl der Fälle pro Teilkollektiv: ca. 110). Es wurde angenommen, daß diese repräsentativ für die (unbekannte) Grundwahrscheinlichkeit (Zahl der Fälle: unendlich) ist.

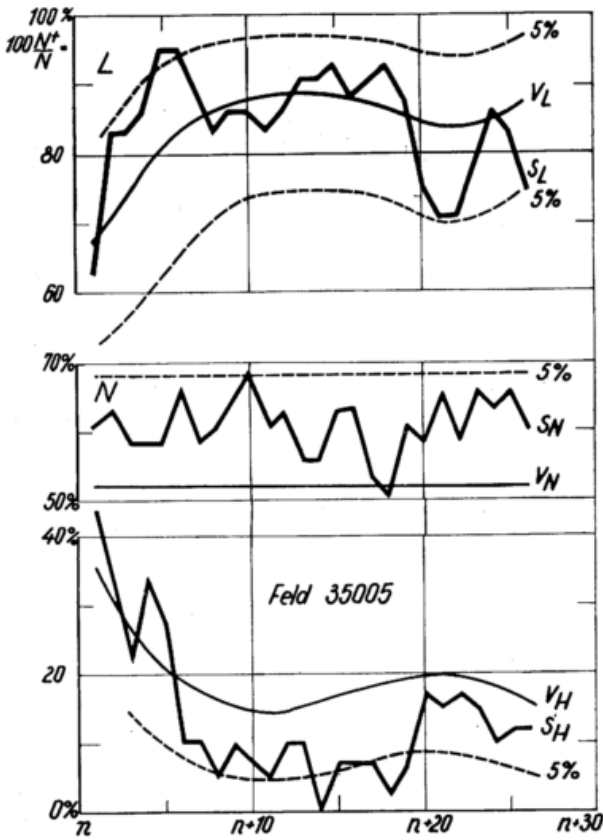


Abb. 11

Relative Häufigkeit der Zunahme der Zonalkomponente $100 \times N^+ / N$ (%) nach ausgewählten Stichtagen im Feld 35005. Unterteilung nach dem Betrag der Zonalkomponente des Stichtages. Siehe Abb. 8.

S: Solare Stichtage,
V: Stichtage der Vergleichsauswahl,
5%: 5%-Signifikanzgrenzen.

Die Angabe der Vertrauensbereiche erleichtert die Diskussion über die Realität der gefundenen Schwankungen. Alle Schwankungen in der solaren Stichtagsauswahl, die sich nicht weiter als bis zur Vertrauensgrenze von dem Verlauf der Vergleichsauswahl entfernen, sind als zufällig anzusehen. Es hieße aber die Bedeutung der 5%-Grenze verkennen, wenn man einzelne Kurvenspitzen, die in den „L“- und „H“-Kollektiven diese Grenzen überragen, sogleich als überzufällig deklarieren würde. Da die Überschreitungen nur an ein, höchstens zwei Tagen hintereinander auftreten und da die 1%-Grenze in keinem Fall erreicht wird, ist sehr wahrscheinlich, daß es sich hier nur um Zufallsschwankungen handelt. Dies gilt auch für den Verlauf von N^+ / N im Mittel über alle 122 Stichtage des Gesamtkollektivs (L+N+H), der in Abb. 14 wiedergegeben ist.

Damit läßt sich als Ergebnis festhalten, daß sich solare Stöße in den ausgewählten Feldern nicht in überzufälligen Schwankungen der Zonalwindkomponente auswirken.

6.1.2.2. Mehrtägig gemittelte Änderungen

Die Trenkleschen Befunde wurden zum Teil erst dadurch signifikant, daß anstelle des Häufigkeitswertes N^+ / N für den einzelnen Tag die Zonalkomponenten von mehreren Folgetagen gemittelt und die Vorzeichen der Änderung dieses zeitlichen Mittels gezählt wurden. Es lag also nahe, auch bei der Untersuchung der $10^\circ \times 60^\circ$ -Felder einen gleichen Weg einzuschlagen, um vergleichbare Resultate zu bekommen. Für ausgewählte dreitägige Zeitabschnitte wurde — für jeden einzelnen Fall j getrennt — gebildet:

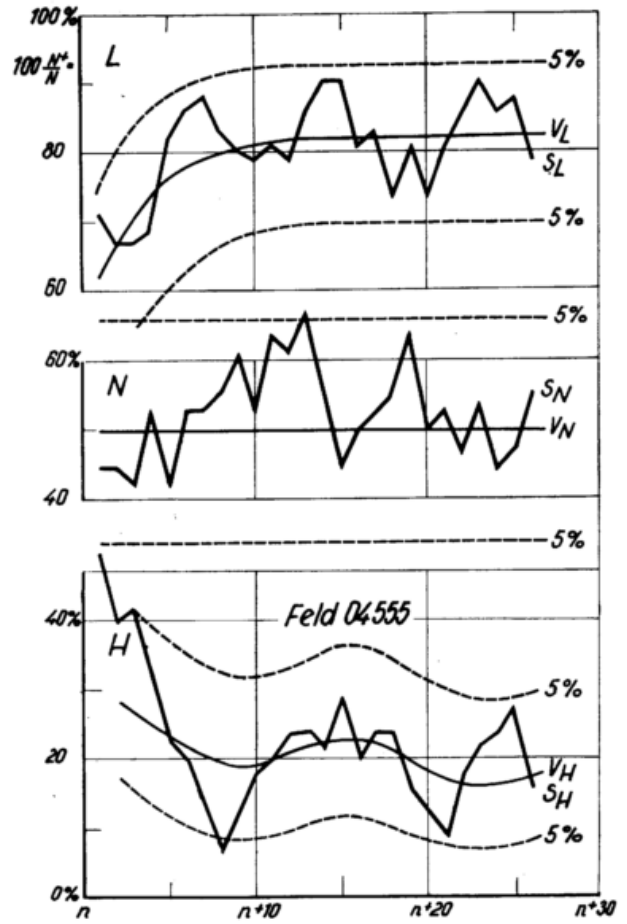


Abb. 12

Feld 04555. Erläuterung siehe Abb. 11.

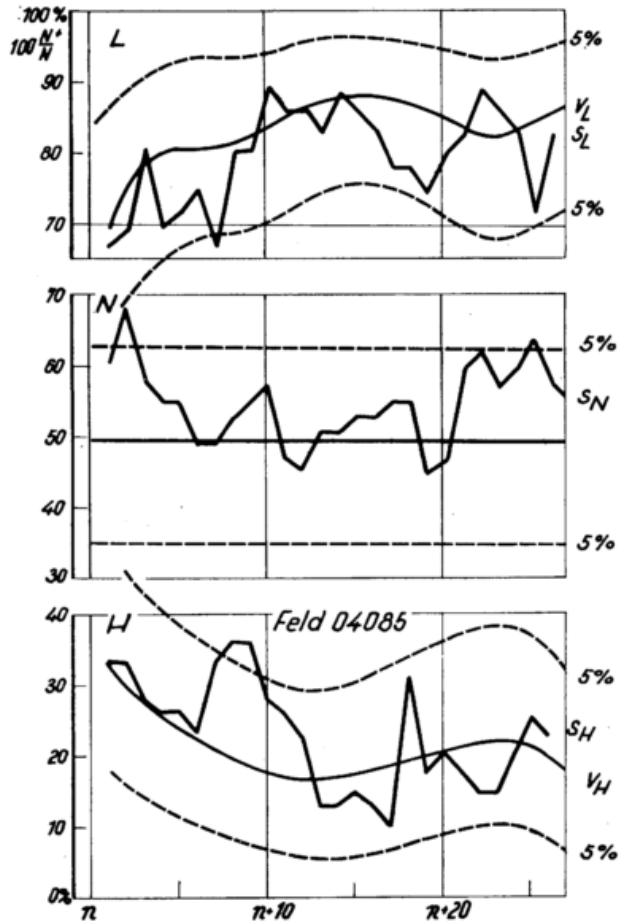


Abb. 13

Feld 04085. Erläuterung siehe Abb. 11.

$$(\Delta \bar{U})_{n+i,j} = \bar{U}_{n+i,j} - \bar{U}_{n,j}$$

wobei

$$\bar{U}_{n+i,j} = \frac{1}{3} (U_{n+i-1,j} + U_{n+i,j} + U_{n+i+1,j})$$

und

$$\bar{U}_{n,j} = \frac{1}{3} (U_{n-1,j} + U_{n,j} + U_{n+1,j}) \text{ ist.}$$

Ausgezählt wurden die Fälle mit positiver Änderung, d. h. $(\Delta \bar{U})_{n+i,j} > 0$.

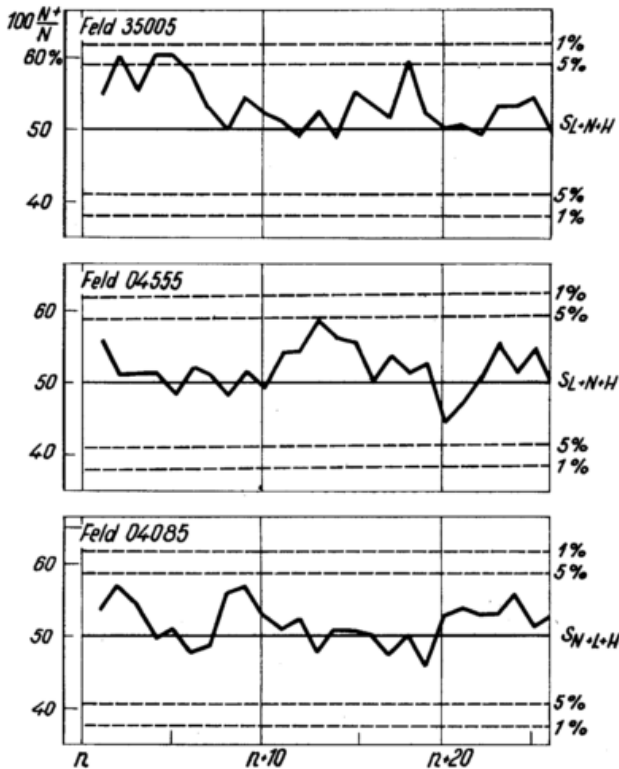


Abb. 14

Relative Häufigkeit der Zunahme der Zonalkomponente $100 \times \frac{N^+}{N}$ (%) nach ausgewählten Stichtagen. Gesamtkollektiv (Zusammenfassung der drei Teilkollektive L, N und H).

Das Ergebnis der Auszählung, das in Tab. 6 angegeben ist, läßt erkennen, daß sich die Zunahmen nach L-Tagen und die Abnahmen nach H-Tagen — wie bei Trenkle — mit großer Regelmäßigkeit einstellen (85—90%). Dies gilt allerdings nur für die auf die Stichtage unmittelbar folgenden Zeitabschnitte. Änderungen zwischen späteren Zeitintervallen, z. B. von $n+6 \dots n+8$ auf $n+9 \dots n+11$, entfernen sich in keinem Fall erheblich von der 50%-Häufigkeit, von der anzunehmen ist, daß sie gleich der Wahrscheinlichkeit ist, die für eine Änderung der Zonalkomponente auch in L- und H-Kollektiven gültig ist, wenn erst die „Normalisierung“ sich vollzogen hat.

Führt man bei der Vergleichsauswahl eine entsprechende Zusammenfassung mehrerer Tage durch, so ergibt sich auch hier, daß Zunahmen der Zonalkomponenten nach L-Tagen und Abnahmen nach H-Tagen ebenfalls mit über 85%iger Häufigkeit auftreten. Die Tabelle enthält als Beispiel die Änderung des Mittels der drei Tage $n+5 \dots n+7$ gegenüber dem Stichtagswert U_n , und zwar für das L-Kollektiv des Feldes 35005. Man erkennt: In dem Maße, in dem durch die zeitliche Zusammenfassung die Häufigkeiten bei der Stoßtagsauswahl anwachsen, wächst auch die Häufigkeit bei der (blinden) Vergleichsauswahl an.

Die Schwankungen der Zonalkomponenten nach solaren Stichtagen, an denen die Zonalkomponente selbst entweder gerade übernormal oder unternormal gewesen war, werden also auch bei einer Zusammenfassung von drei Tagen zu einer mittleren Änderung völlig bestimmt von der Tendenz der Atmosphäre, aus dem H- oder L-Zustand in den normalen, den N-Zustand zurückzuschwingen. Eventuell vorhandene solar bedingte Veränderungen bleiben demgegenüber unentdeckbar. Sie werden sich noch am ehesten in den N-Kollektiven offenbaren, da hier die Chancen für eine auf den Stichtag folgende Zunahme oder Abnahme gleich groß sind. In die Tabelle ist aber nur die Auszählung einer einzigen Schwankung in einem einzigen Feld nach N-Tagen aufgenommen worden, da nur in diesem Fall die Zufallsgrenze (5%) überschritten wird, wenn auch nur knapp: der beobachtete Anstieg nach solaren Stößen beträgt 69%, die 5%-Grenze liegt bei 67%. (Für $N = 35$ und $P = 50\%$ ist $P_0 (5\%) = 67\%$).

Tab. 6

Häufigkeiten der dreitägig gemittelten Änderungen der Zonalkomponente für bestimmte Zeitabschnitte nach solaren Stichtagen

Feld	Auswahl	Z. d. F.	Änderung		Zahl der positiven Änderungen	
			von	auf	abs.	rel.
04555	solare Stichtage, L-Kollektiv	42	$n-1 \dots n+1$	$n+6 \dots n+8$	35	83%
04555	„ „ „	42	$n-1 \dots n+1$	$n+13 \dots n+15$	36	86%
04555	„ „ „	42	$n+6 \dots n+8$	$n+9 \dots n+11$	20	48%
04555	„ „ „	42	$n+13 \dots n+15$	$n+18 \dots n+20$	19	45%
04555	solare Stichtage, N-Kollektiv	35	$n-1 \dots n+1$	$n+11 \dots n+13$	24	69%*
04555	„ „ „	35	$n+11 \dots n+13$	$n+15 \dots n+17$	13	37%
04555	solare Stichtage, H-Kollektiv	45	$n-1 \dots n+1$	$n+7 \dots n+9$	38	84%
04555	„ „ „	45	$n+7 \dots n+9$	$n+14 \dots n+16$	26	58%
35005	solare Stichtage, L-Kollektiv	42	n	$n+5 \dots n+7$	39	93%
(35005	„ „ „	42	$n-1 \dots n+1$	$n+5 \dots n+7$	38	90%
35005	„ „ „	42	$n+14 \dots n+16$	$n+20 \dots n+22$	19	45%
35005	Vergleichsauswahl, L-Kollektiv	40	n	$n+5 \dots n+7$	36	86%

*) übersch. 5-%-Grenze

Ergebnis: Die Mittelung der Zonalkomponenten über drei Tage und die Auszählung der Vorzeichen der Änderungen dieser Dreitagemittel bringen keine überzufälligen Veränderungen nach solaren Stößen zutage.

6.1.3. Änderungen der Häufigkeit N^+/N in 3 Feldern längs $45^\circ N$

Es ist denkbar, daß die Art der Reaktion der Zirkulation auf einen „Stoß“ nicht nur von dem Zirkulationszustand des Stichtages im untersuchten Feld, sondern auch von dem eines größeren Raumes abhängt. Besonders für ein nur $10^\circ \times 60^\circ$ messendes Feld wird die Mitberücksichtigung der Verhältnisse in der Umgebung eine präzisere Kennzeichnung des Zirkulationszustandes ermöglichen. — Wenn auch eine Verfeinerung der Unterteilung der Zirkulationsverhältnisse am Ausgangstag selbst nicht durchgeführt wurde, konnte mit

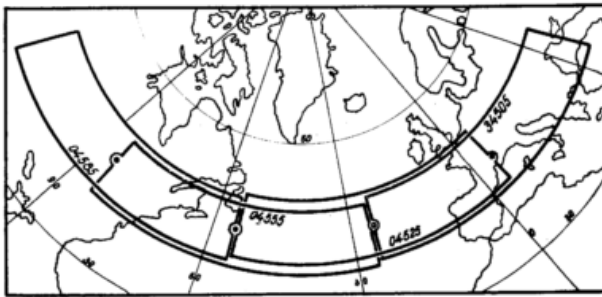


Abb. 15
Lageskizze der Felder 04585, 04555, 04525 und 34505.

den drei Feldern 04585, 04525 und 34505 folgender — technisch leicht zu bewerkstelliger — Versuch gemacht werden: Das Gesamtkollektiv der Zonalkomponenten in jedem der drei Felder für die 122 Stichtage und ihre Folgetage wurde dreifach aufgespalten, je nach dem Zirkulationszustand des Stichtages im gemeinsamen Nachbarfeld 04555 (siehe Abb. 15):

1. Teilkollektiv „ L_{04555} “: U_n im Feld 04555 unternormal,
2. Teilkollektiv „ N_{04555} “: U_n im Feld 04555 normal,
3. Teilkollektiv „ H_{04555} “: U_n im Feld 04555 übertormal,

Die Ergebnisse der Auszählung sind in den Abb. 16 bis 18 wiedergegeben. Betrachtet man z. B. das Verhalten des L_{04555} -Kollektives, so erkennt man Schwankungen, die die Zonalkomponente im Referenzfeld 04555 ausführt, mehr oder weniger deutlich auch in den Nachbarfeldern wieder. U. a. treten die Maxima von N^+/N des Referenzfeldes auch im westlichen Nachbarfeld 04585 und zum Teil auch im übernächsten östlichen Feld (34505) auf. Zwischen den Kurven der beiden nordamerikanischen Areale 04585 und 04555 ist sogar eine zeitliche Verschiebung zu bemerken: es hat den Anschein, als ob markante Anstiege von N^+/N in zwei Tagen von dem westlichen in das östliche der beiden Felder laufen. Auch bei den Schwankungen der H_{04555} -Auswahl ist etwas Derartiges angedeutet. Wenn es auch naheläge, daran allerlei Betrachtungen anzuknüpfen und an die West-Ost-Ausbreitung von Vorgängen zu denken, die durch solare Impulse ausgelöst werden, soll eine diesbezügliche Erörterung hier doch unterbleiben.

6.2. Allgemeines Verhalten der Zonalkomponente nach L- und H-Tagen

Ein unerwartetes Nebenergebnis ist bei der Auswertung der Vergleichsauswahl zutage getreten. Die Häufigkeit der Zunahme der Zonalkomponente N^+/N weist nämlich keinen monotonen Verlauf nach den L- und H-Tagen auf, sondern schwingt innerhalb des unter-

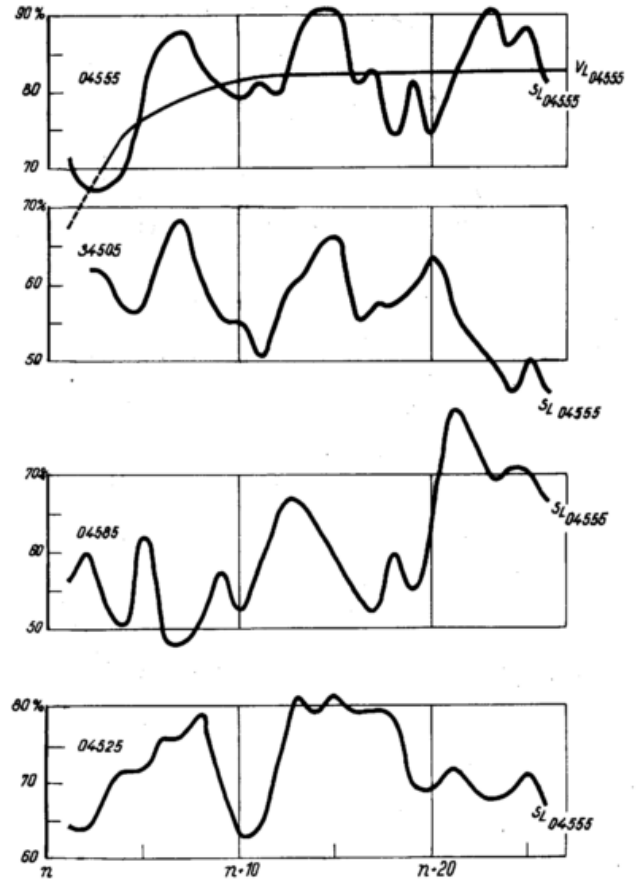


Abb. 16
Relative Häufigkeit der Zunahme der Zonalkomponente $100 \times +/N$ (%) nach ausgewählten Stichtagen. Teilkollektiv L_{04555} .

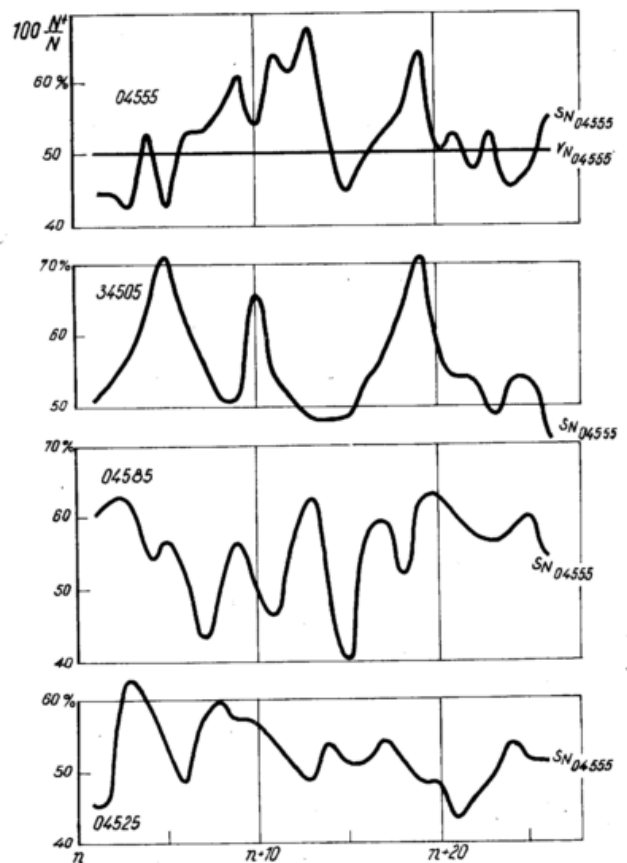


Abb. 17
Teilkollektiv N_{04555} . Erläuterung siehe Abb. 16.

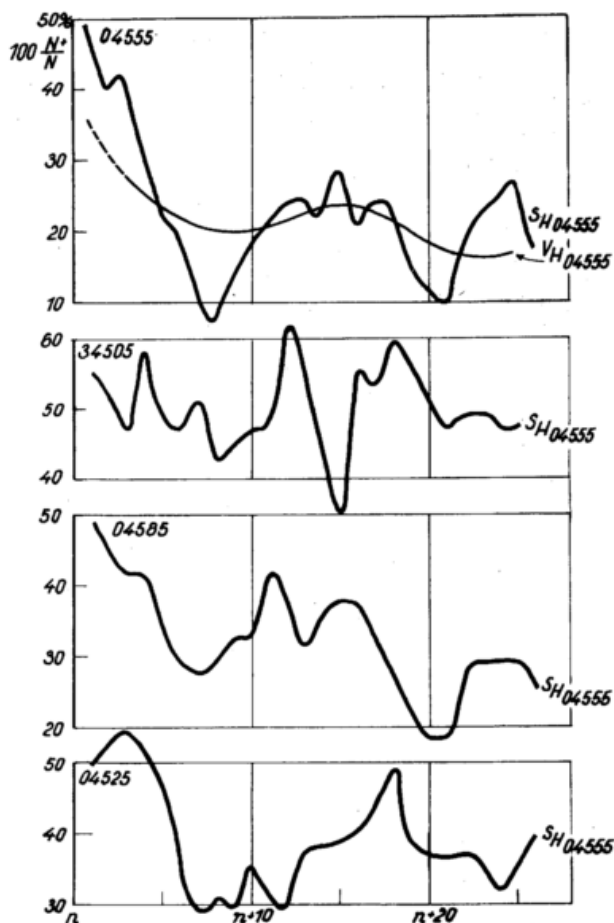


Abb. 18

Teilkollektiv H_{04555} . Erläuterung siehe Abb. 16.

suchten 26tägigen Zeitabschnittes mehr oder weniger ausgeprägt hin und her. In den ersten Tagen nach

einem H- oder L-Stichtag prägt sich naturgemäß die Tendenz zur Normalisierung aus: die Häufigkeit N^+/N bzw. N^-/N nimmt stark zu. Sie erreicht aber in der Zeit zwischen den Tagen $n+10$ und $n+15$ ein Maximum, um dann auf ein relatives Minimum in der Zeit $n+20$ bis $n+22$ zurückzugehen. In den letzten untersuchten Tagen $n+22$ bis $n+26$ ist eine erneute Zunahme angedeutet.

Es sei betont, daß die Stichtage der Vergleichsauswahl nach willkürlichen Gesichtspunkten ausgesucht worden sind, also keinerlei solar bedingte Effekte mit hinein spielen können. Natürlich liegt der Verdacht nahe, daß die „Schwingung“ durch die Art der Aus-

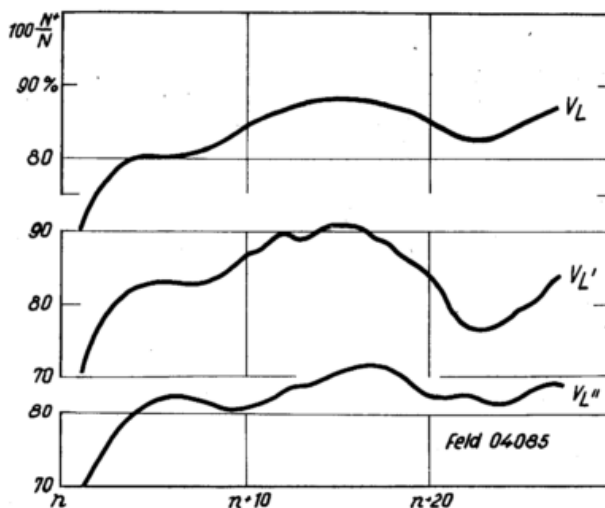


Abb. 19

Relative Häufigkeit der Zunahme der Zonalkomponente $100 \times N^+/N$ (%) nach den „blind“ ausgewählten Stichtagen der Vergleichsauswahl V im Feld 04085.

Teilkollektiv V_L (Zonalkomponente am Stichtag unternormal): alle 113 Fälle,

Unterkollektiv V'_L : nur Winterfälle; $N = 44$.

Unterkollektiv V''_L : nur die Elften der Monate; $N = 42$.

Tab. 7

Sekundäre Häufigkeitsgipfel im Gang der Zonalkomponente nach willkürlich ausgewählten Tagen mit unternormaler (a) oder übernormaler (b) Zonalkomponente.

a) L-Stichtage	Feld 35005	Feld 04085	Feld 04555
Zeit der maximalen Häufigkeit eines Anstieges der Zonalkomponente gegenüber dem Tag „n“:	$n+12 \dots n+14$	$n+14 \dots n+16$	—
Betrag der maximalen Häufigkeit:	88%	88%	—
Zeit des nachfolgenden Minimums der Häufigkeit:	$n+21 \dots n+23$	$n+22 \dots n+23$	—
Betrag des Häufigkeits-Minimums:	83%	83%	—

b) H-Stichtage	Feld 35005	Feld 04085	Feld 04555
Zeit der maximalen Häufigkeit eines Anstieges der Zonalkomponente gegenüber dem Tag „n“:	$n+10 \dots n+12$	$n+12 \dots n+14$	$n+9 \dots n+10$
Betrag der maximalen Häufigkeit:	85%	83%	81%
Zeit des nachfolgenden Minimums der Häufigkeit:	$n+19 \dots n+21$	$n+23 \dots n+24$	$n+14 \dots n+16$
Betrag des Häufigkeits-Minimums:	80%	78%	77%

wahl der Stichtage vorgetauscht wird. Wie bereits geschildert, sind als Stichtage der Vergleichsauswahl aus technischen Gründen die 1., 11. und 21. Tage eines jeden Monats ausgewählt worden. — Für das L-Kollektiv des Feldes 04085 wurde deshalb geprüft, ob der Effekt sich auch in verschiedenen Teilkollektiven reproduziert, was als ein Hinweis auf seine Überzufälligkeit aufgefaßt werden darf: Abb. 19 zeigt, daß in zwei verschiedenen ausgesuchten Teilkollektiven, nämlich bei den Winter-Fällen ($N = 44$) und bei den Monatselften ($N = 42$) die „Schwingung“ wiederzufinden ist. Darüber hinaus wurden in einer Untersuchung der Verhältnisse im Feld 36005, über deren Ergebnisse sonst hier nicht berichtet wird, das Verhalten zweier willkürlichen Vergleichsauswahlen miteinander verglichen: eine Auswahl, deren Stichtage wieder die 1., 11. und 21. aller Monate umfaßten, und eine Auswahl mit völlig blind aus der Menge aller verwendbaren Tage herausgegriffenen, d. h. wahllos über den Zeitraum verstreuten Daten. Auch im Feld 36005 sind „Schwingungen“ in der Häufigkeit N^+/N sowohl nach L- als auch nach H-Tagen zu erkennen, und zwar in beiden Stichtagkollektiven in sehr ähnlicher Form.

Man kann dieses Verhalten der Zonalkomponente also als eigenschwingungsartigen Vorgang interpretieren, der sich so äußert, daß nach H-Index-Situationen (L-Index-Situationen) die Wahrscheinlichkeit für das Umschlagen in die entgegengesetzte Zirkulationsform 10 bis 15 Tage danach am größten ist, in dem folgenden Zeitabschnitt aber wieder merkbar abnimmt. Die Zahl der Fälle, in denen es dann zu einer Entwicklung in Richtung auf den ursprünglichen H-Index-Zustand (L-Index-Zustand) kommt, wächst wieder. Eine volle „Schwingung“ dauert sowohl bei Auslenkung in die L-Index- als auch in die H-Index-Situation ungefähr 20 Tage, wenn sich auch dieser Wert von Feld zu Feld etwas unterscheidet, wie aus der Tab. 7 hervorgeht.

7. Abschließende Bemerkungen

Zusammenfassend sei noch einmal hervorgehoben, daß ein anomales Verhalten der Flächenmittelwerte der geostrophischen Zonalwindkomponente ausgewählter Felder des 500 mb-Niveaus in den ersten 26 Tagen nach markanten Anstiegen der Sonnenfleckenrelativzahl nicht zu entdecken ist. Damit können die Ergebnisse einer ähnlich angelegten, vorangegangenen Un-

tersuchung von Trenkle, die einen überzufälligen Zusammenhang nahelegen, nicht bestätigt werden.

In beiden Arbeiten sind im wesentlichen dieselben solaren und terrestrischen Parameter benutzt worden. Wenn sich dennoch im einen Fall positive, im anderen Fall negative Resultate ergeben, so mag dies auf die Unterschiede in Größe und Lage der jeweils ausgewählten Testfelder zurückzuführen sein. Es könnte daraus gefolgert werden, daß ein Ansprechen der troposphärischen Zirkulation auf solare Stöße nur in Feldern von größerer Ausdehnung als 10 Grad mal 60 Grad nachweisbar ist oder daß die hier betrachteten geographischen Regionen (Mitteleuropa, Neufundlandraum, Nord- und Nordostteil der USA) nicht auf solare Impulse reagieren.

Eine andere Vermutung ist allerdings naheliegender, nämlich die, daß der Unterschied in den Resultaten vor allem auf den Unterschied in der Art zurückzuführen ist, in der die gefundenen Beziehungen auf ihre Überzufälligkeit geprüft wurden. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verhalten des Stichtagkollektivs mit dem einer blind ausgesuchten Vergleichsauswahl kontrolliert. Nur dadurch wurde offenbar, daß sich die auch hier wieder gefundenen Zirkulationsschwankungen nach solaren Stößen allein schon erklären lassen durch die Unterteilung aller Stichtage in „High“- oder „Low“-Indexgruppen und durch die damit verbundene erhebliche Änderung der Grundwahrscheinlichkeit für eine Änderung der Zonalzirkulation. Es liegt dann nahe, anzunehmen, daß das Ausmaß dieses Effektes in der Trenkleschen Untersuchung unterschätzt wurde und daß die dort herausgearbeiteten solar-terrestrischen Beziehungen im nordatlantisch-europäischen Sektor nur scheinbare sind. Über diese Behauptung ließe sich eine Entscheidung treffen, wenn die Prüfung der Hypothese mit Hilfe einer entsprechenden Kontrollauswahl wiederholt würde.

Es ist dennoch zu betonen, daß eine Mitberücksichtigung des Ausgangszustandes des terrestrischen Parameters am Stichtag nach wie vor als bestechender Gedanke anzusehen ist und daß eine Fortführung der Untersuchungen mit verfeinerten solaren und meteorologischen Kenngrößen durch die bisher negativen Ergebnisse nicht uninteressanter geworden ist.

Abschließend möchte der Verfasser Herrn Prof. Dr. Flohn für die Anregung zu dieser Arbeit und das stete Interesse, das er ihrem Fortgang entgegenbrachte, seinen Dank aussprechen.

Literatur

- (1) Rossby, C. G.: Vortrag Frankfurt a. M. 1957
- (2) Baur, F.: Physikalisch-statistische Regeln als Grundlage für Wetter- und Witterungsvorhersagen. 2. Bd. Frankfurt a. M. 1958, S. 125 ff.
- (3) Baur, F.: Solare Einflüsse auf Wetter und Großwetter. *Idöjaras* **61**, 381—389 (1957)
- (4) Haurwitz, B.: Relations between solar activity and the lower atmosphere. *Trans. Amer. Geophys. Un.* **27**, 161—163 (1946)
- (5) Fritz, S.: Ozone measurements during sudden ionospheric disturbances. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. A* **4**, 343—350 (1951)
- (6) Ney, E. P. Corpuscular radiation and meteorology. Vortr. auf der Tag. der Amer. Geophys. Un. in Washington, D. C., 18.—21. April 1961
- (7) Wexler, H.: A look at some suggested solar-weather relationships. Climax, Colo., High Altitude Obs. Inst. Solar-Terr. Res. Techn. Rep. No. 2 (1956)
- (8) Flohn, H.: Atmosphärische Zirkulation und Erdmagnetisches Feld. *Ber. Dt. Wetterd. US-Zone* Nr. 38, 46—51 (1952)
- (9) Flohn, H.: Probleme der geophysikalisch-vergleichenden Klimatologie seit Alexander von Humboldt. *Ber. Dt. Wetterd.* Nr. 59, 17 ff. (1959)
- (10) Mironowitch, V.: Les pôles de la circulation atmosphérique générale et les pôles magnétiques terrestres. *Beitr. Phys. Atm.* **29**, 123—128 (1956)
- (11) Brooks, C. E. P.: The relations of solar and meteorological phenomena. *Comm. ét. rel. phénom. sol. terr.* **7**, 183—198 (1951)
- (12) Flohn, H.: Solare Vorgänge im Wettergeschehen. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. A* **3**, 304—309 (1951)
- (13) Shapiro, R.: Further evidence of a solar weather effect. *J. Meteor.* **13**, 335—340 (1956)
- (14) Shapiro, R.: A comparison of the response of the North American and European surface pressure distribution to large geomagnetic disturbances. *J. Meteor.* **16**, 569—572 (1959)
- (15) Shapiro, R.: Some observations of the persistence of the surface pressure distribution. *J. Meteor.* **15**, 435—439 (1958)
- (16) Trenkle, H.: The zonal wind component in the Atlantic-European sector as influenced by short-scale fluctuations in solar activity. *Sci. Rep. No. 2 Contract No. AF 61 (514) — 954—C* (Januar 1957)
- (17) Trenkle, H.: Solare Stöße und Zonalindex im Raume Atlantik—Europa. *Großwetterlagen Mitteleuropas* **10**, 105 (1957)
- (18) Wurlitzer, G.: Das Verhalten des Luftdruckes am Boden bei Schwankungen der erdmagnetischen Aktivität. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* **7**, H. 2 (1958)
- (19) Woodridge, D. D., MacDonald, N. J., & Pohrte, T. W.: An apparent relationship between geomagnetic disturbances and changes in atmosphere circulation at 300 millibars. *J. Geophys. Res.* **64**, 331—342 (1959)
- (20) Asakura, T. & Katayama, A.: On the relation between solar activity and general circulation in the atmosphere. *Pap. Meteor. Geophys.* **9**, 15—23 (1958)
- (21) Valnicek, B.: Les éruptions chromosphériques et le temps. *Bull. astron. Inst. Czech.* **2**, 116—118 (1951)
- (22) Valnicek, B.: Les éruptions chromosphériques et le temps. *Bull. astron. Inst. Czech.* **4**, 179—181 (1953)
- (23) Nordö, J.: A statistical discussion of a possible connection between solar activity and sea level pressure. *Norske Videnskaps-Akad. Oslo, Inst. Vaer- og Klimaforskning Publ. No. 2* (1953)
- (24) Vanderbyl, W.: Search for a solar influence on the air pressure in Netherlands. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **37**, 296 (1956)
- (25) London, J., Ruff, I. & Tick, L. I.: The relation between geomagnetic variations and the circulation at 100 mb. *New York Univ., Dept. Meteor. Oceanogr., Sci. Rep. No. 8 Contract No. AF 19 (604) — 1738* (Febr. 1959)
- (26) Ward, Jr., F. W.: Solar, geomagnetic and ionospheric phenomena as indices of solar activity. *ARDC Geophys. Res. Pap. No. 54* (Nov. 1956)
- (27) Waldmeier, M.: *Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung*. 2. Aufl., Leipzig 1955
- (28) *Fraunhofer Inst. Freiburg i. Br.: Daily Maps of the Sun*
- (29) Jacobs, I.: 40jährige Mittelwerte der absoluten Topographie 500 mb. *Meteor. Abh. Freie Univ. Berlin* **4**, H. 2 (1958)
- (30) *Internat. Astron. Un.: Quarterly Bulletin on Solar Activity*. Publ. by Eidgenöss. Sternwarte Zürich
- (31) *Royal Greenwich Obs.: Greenwich Photoheliographic Results*, in: *Greenwich Observations*, London.
- (32) Shapiro, R. & Ward, F.: Solar disturbances and the spectral distribution of the height of the 500 mb surface. *J. Meteor.* **18**, 247—251 (1961)

