

**Agrarmeteorologische
Forschungsstelle**

Gelsenheim

(Ru. Far. Nr. 815) *Mit.-Nr. 50*

Berichte

des

Deutschen Wetterdienstes

Nr. 89
(Band 12)

DK 551.578.7

Die mittlere Hagelhäufigkeit in Bayern 1952—1961

von

Ernst Trautmann

(mit 4 Abbildungen und 13 Tabellen im Text und 2 Karten)

Offenbach a. M. 1963
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das Urheberrecht daran — ggf. auch an Karten, Zeichnungen usw. — auf den Deutschen Wetterdienst über. Der Deutsche Wetterdienst hat das Recht, das Manuskript frei zu verwenden.

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

Band 1

- Nr. 1 F. Schnelle:
Beiträge zur Phänologie Deutschlands III. 6 Mittelwertkarten (1936 bis 1944), Vorfrühling bis Herbst 1,— DM
- Nr. 2 H. K. Meyer:
Der Einfluß des vertikalen Impulsaustausches auf synoptische Druck- und Temperaturgebilde 5,— DM
- Nr. 3 H. Stümke:
Differentialgleichungen der quasigeostrophischen Weiterentwicklung von Druckfeldern mit schwachen, mittleren und starken Windgradienten in der Erdatmosphäre u. ähnlichen rotierenden Systemen 3,60 DM
- Nr. 4 J. Bleibaum:
Studien zur Meteorologie der südlichen Rhön 2,— DM
- Nr. 5 G. Boss:
Verdunstungs- und Taumessungen in Afrika 1,80 DM
- Nr. 6 K. Bürger:
Klimatologische Studie über die Temperaturverhältnisse der Großwetterlagen Mitteleuropas am Beispiel von Karlsruhe und Bremen 6,— DM
- Nr. 7 O. Essenwanger:
Statistische Untersuchungen über die Zirkulation der Westdrift in 55° Breite 2,90 DM
- Nr. 8 H. G. Müller:
Über die Messung des Luftdrucks durch Bestimmung der Siedetemperatur mit dem Hypsometer 1,50 DM
- Nr. 9 J. Huttary:
Die Klimabeobachtungen in Hamburg von 1935-1949 nach dem Schema des Réseau Mondial 1,10 DM
- Nr. 10 O. Essenwanger:
Neue Methode der Zerlegung von Häufigkeitsverteilungen in Gauß'sche Normalkurven und ihre Anwendung in der Meteorologie 1,50 DM
- Nr. 11 R. Aniol:
Über starke Niederschläge im Gebiet Taunus — Odenwald 2,60 DM
- Nr. 12 E. u. H. Burckhardt:
Graphisches Rechnen mit Feldern skalarer und vektoriieller Größen in der Meteorologie 13,— DM

Band 2

- Nr. 13 F. Volz:
Die Optik und Meteorologie der atmosphärischen Trübung 6,40 DM
- Nr. 14 K. Hinkelmann u. R. Schwarzenberger:
Charakteristikenverfahren in der numerischen Wettervorhersage 5,40 DM
- Nr. 15 W. Baier:
Frostbekämpfung im Weinbau 28,— DM

Band 3

- Nr. 16 H. Ungeheuer:
Ein meteorologischer Beitrag zu Grundproblemen der Medizin-Meteorologie 4,40 DM
- Nr. 17 K. Brose:
Monats-, Jahres- und Tagessummen des Niederschlags in Bayern bis 1950 8,80 DM

- Nr. 18 G. Hofmann:
Die Thermodynamik der Taubildung 7,20 DM
- Nr. 19 W. Bauer u. R. Buschner:
Beitrag zur Messung der Lufttemperatur mit verschiedenen Formen des Strahlungsschutzes 1,80 DM
- Nr. 20 E. Frankenberger:
Über vertikale Temperatur-, Feuchte- und Windgradienten in den untersten 7 Dekametern der Atmosphäre, den Vertikalaustausch und den Wärmehaushalt am Wiesenboden bei Quickborn/Holst. 1953/1954 6,40 DM
- Nr. 21 H. Guss u. H. Regula:
Die flugklimatologischen Verhältnisse deutscher Verkehrsflughäfen 7,— DM

Band 4

- Nr. 22
Die Meteorologische Tagung in Frankfurt a. M. vom 17. bis 19. Oktober 1955 14,— DM
- Nr. 23 E. Obenland:
Untersuchung zur Föhnstatistik des Oberallgäus.. 4,10 DM
- Nr. 24 W. Kreutz u. W. Walter:
Der Strömungsverlauf sowie die Erosionsvorgänge und Schneeablagerungen an künstlichen Windschirmen nach Untersuchungen im Windkanal. Ein Beitrag zur Windschutzfrage 3,20 DM
- Nr. 25 G. Scheid:
Untersuchungen über die Schallausbreitung auf nahe Entfernungen 2,40 DM
- Nr. 26 R. Bögel:
Untersuchungen zum Jahresgang des mittleren geographischen Höhengradienten der Lufttemperatur in den verschiedenen Klimagebieten der Erde 8,60 DM
- Nr. 27 R. Holzapfel:
Ergebnisse aerologischer Beobachtungen in Deutschland (Teil I, II, III) 15,40 DM

Band 5

- Nr. 28 A. Baumgartner:
Untersuchungen über den Wärme- u. Wasserhaushalt eines jungen Waldes 8,80 DM
- Nr. 29 K. Gräfe:
Strahlungsempfang vertikaler, ebener Flächen; Globalstrahlung von Hamburg 2,90 DM
- Nr. 30 F. Wippermann:
Über den Einfluß der Orographie auf den meridionalen, makroturbulenten Impulstransport in der Atmosphäre 6,20 DM
- Nr. 31 H. Haarländer:
Eine kinematische Methode zur Vorhersage wahrer Luftbahnen mit Beispielen 4,60 DM
- Nr. 32 J. van Eimern:
Über die Veränderlichkeit der Windschutzwirkung einer Doppelbaumreihe bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen 5,70 DM
- Nr. 33 E. Franken u. E. Kaps:
Windschutzuntersuchung Emsland 1955 6,— DM
- Nr. 34 G. Seidel:
Die Zirkulation über Europa als Folge von Kaltluftbewegungen über der westlichen Hemisphäre 4,80 DM

(Fortsetzung Umschlagseite 3)

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	3
1. Einleitung	3
2. Die räumliche Verteilung der Hagelfälle	4
3. Die Hagelzüge	5
4. Die zeitliche Verteilung der Hagelfälle	8
5. Beziehungen zwischen Hagelfall und vertikalem Aufbau der Atmosphäre	9
5.1. Das aerologische Material	10
5.2. Hageltage, Null-Grad-Grenze und spezifische Feuchte	10
5.3. Hageltage, Temperaturgradient und spezifische Feuchte	12
6. Prognostische Möglichkeiten	13
Literatur	14
Tabelle 13: Hagelschäden und Hagelbeobachtungen in den bayerischen Landkreisen 1952—1961	15
Karten 1 und 2	

Herrn Professor Dr. Karl Knoch
zum 80. Geburtstag

Anschrift des Verfassers:

Dr. E. Trautmann, Fürth, Jakob-Henle-Straße 28

Zusammenfassung

Die bereits in einer früheren Arbeit über den Hagel in Bayern 1952 bis 1956 angewandte Kombination der Hagelbeobachtungen aus dem Klimanetz mit den Hagelschadensmeldungen der Bayerischen Versicherungskammer wird hier für die Hagelfälle in Bayern 1952 bis 1961 durchgeführt. Die räumliche Verteilung, dargestellt an einer Punkt-Karte der häufigen Hagelfälle und einer Karte der Hagelzüge, zeigt vier von West nach Ost verlaufende Hagelbänder: das Voralpenland vom Allgäu bis zum Chiemgau, das Donauband vom Donauried bis zum Gäuboden, das mittelfränkische Band von den Frankenhöhen bis zum Jura und das nordfränkische Band vom Steigerwald bis zur Münchberger Hochfläche. Der zeitliche Ablauf bringt die häufigsten Hagelfälle Anfang Juni, die stärksten Schäden entstehen durch die Hagelfälle Mitte Juli. Weiter werden die Beziehungen zwischen den Hageltagen in Südbayern, der Höhenlage der Null-Grad-Grenze, der Temperaturdifferenz zwischen dem 850-mb- und dem 500-mb-Niveau und schließlich der spezifischen Feuchte im 700-mb-Niveau auf Grund der aerologischen Messungen in München untersucht. Es ergeben sich gute, prognostisch verwertbare Zusammenhänge bei der Temperaturdifferenz und der spezifischen Feuchte: 80% aller Hageltage im Juni ereignen sich bei übernormalem Temperaturgradienten und hoher spezifischer Feuchte, also ausgesprochener Feuchtlabilität.

Abstract

The combination of hail observations from the climatological network with the damages by hail as reported to the Bavarian Insurance Chamber which was described for the years 1952 to 1956 in a former paper on hail in Bavaria, is now applied to hailstorms in Bavaria between 1952 and 1961. The spatial distribution is charted as to hail frequency and tracks of hailstorms. These maps show four bands in the direction from west to east: the Lower Alps from the Algau to the Chiemgau; the Danube band from the Donauried to the Gäuboden; the Middle Franconian band from the Franconian Mountains to the Jura Mountains; the Upper Franconian band from the Steigerwald to the Münchberger Plateau. As to the temporal occurrence, most of the hailstorms are early in June, the most severe damages are caused by hailstorms in the middle of July. Furthermore the relationship is studied between hail days in South Bavaria, height of freezing level, temperature difference between the 850 and 500-mb levels and finally specific humidity at the 700-mb level. These studies are based on upper air observations made at Munich and show good results which are usable for forecasts concerning the temperature difference and the specific humidity: 80% of all hail days in June can be related to higher temperature gradients than normal and to a high degree of specific humidity, i. e. a pronounced conditional instability.

1. Einleitung

Der Hagel ist neben den Spätfrösten eines der wenigen Witterungselemente, das auf kleinem Raum und in sehr kurzer Zeit der Volkswirtschaft beträchtliche Schäden zufügen kann. Nach einem Bericht der Bayerischen Versicherungskammer (1) liegen in Bayern die durch Hagel jährlich verursachten Ernteschäden zwischen 30 und 40 Millionen Mark. An einem einzigen Tage, dem 4. Juli 1929, entstand der bisher höchste Schaden von 13 Millionen Mark. Diese Schäden durch das Studium des Hagels zu verhüten oder wenigstens

zu vermindern, haben sich die Meteorologen vieler Länder zur Aufgabe gemacht. Neben den vielen theoretischen Erörterungen werden seit einiger Zeit von der Eidgenössischen Kommission zum Studium der Hagelbildung und der Hagelabwehr Experimente im Hagelversuchskanal durchgeführt, die neue Erkenntnisse über das Wachstum der Hagelkörner gebracht haben (2). Das Studium der Gewitterwolken wurde in letzter Zeit durch Radarbeobachtungen gefördert. So konnten Browning und Ludlam (3) einen über Südost-England am 9. Juli 1959 ziehenden Hagelsturm mit

mehreren auf der Strecke gelegenen Radaranlagen anpeilen und wertvolle Ergebnisse bringen, die zu einem neuen Schema der Gewitterwolken verarbeitet wurden.

Die modernen technischen Anlagen (Versuchskanal, Radar) einerseits und die theoretischen Arbeiten andererseits wollen gemeinsam zur Erfüllung des Wunsches beitragen, den Hagel in Entstehung und Auftreten zu erkennen und ihn dann zu bekämpfen oder zu verhüten. Wie auch die anderen in den Alpen liegenden oder an diese angrenzenden Länder Österreich, Italien, Frankreich und Schweiz, so wird auch Bayern besonders häufig und schwer vom Hagel betroffen. Nach dem erwähnten Bericht (1) betrug im Jahre 1958 die gesamte hagelversicherte Fläche im Bundesgebiet 2,66 Mill. ha, davon lagen 0,56 Mill. ha in Bayern. Die Entschädigungsleistungen der Versicherer waren mit 54,9 Mill. DM im Bundesgebiet, davon 20,1 Mill. DM in Bayern, recht beträchtlich. Es steht also einem Flächenanteil Bayerns von 21% ein Leistungsbetrag von 37% gegenüber. Wenn auch die Bilanz dieses Jahres noch nicht verallgemeinert werden darf, so läßt sie doch eine weitere Bearbeitung des Hagels in Bayern über den fünfjährigen Zeitraum 1952 bis 1956 hinaus gerechtfertigt erscheinen. Die vorliegende Untersuchung setzt die Ergebnisse der früheren Arbeit (4) voraus, die kurz lauten:

1) Die Kombination der Hagelmeldungen aus dem Wetterbeobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes mit den Hagelschadensmeldungen der Bayerischen Versicherungskammer ergibt ein brauchbares Bild über den Hagel sowohl in räumlicher wie in zeitlicher Beziehung.

2) Die Monsunwellen im mitteleuropäischen Witterungsablauf finden sich auch im Jahresgang der Hagelfälle wieder.

3) Das oberbayerische Alpenvorland, das mittelfränkische Becken und die Münchberger Hochfläche mit dem Raum der oberen Sächsischen Saale werden besonders häufig von Hagelfällen betroffen.

Mit dieser Aufzählung stellen sich sofort die neuen Fragen, deren Lösung das Ziel dieser Untersuchung sein soll:

1) Erfährt das mit fünfjährigem Material gezeichnete Bild wesentliche Änderungen bei Erweiterung auf den zehnjährigen Zeitraum 1952 bis 1961?

2) Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Hagelfällen und dem aus den Radiosondenaufstiegen gewonnenen vertikalen Aufbau der unteren Atmosphäre?

3) Können diese Zusammenhänge zu einer Hagelvorhersage verwertet werden?

2. Die räumliche Verteilung der Hagelfälle

Neben den beiden privaten, für das Land Bayern zugelassenen Versicherungen, der Norddeutschen Hagelversicherungsgesellschaft und seit 1954 der Münchener Hagelversicherung AG., besteht seit 1884 die Bayerische Landeshagelversicherungsanstalt. Sie nimmt unter der Verwaltung der Bayerischen Versicherungskammer auf dem Gebiete der Hagelversicherungen insofern eine Sonderstellung ein, als sie von sämtlichen bayerischen Gemeinden Meldungen über Hagelschäden auf ihren Gemeindefluren erhält, unabhängig von etwa bestehenden Versicherungsverträgen der Gemeindeglieder. Dieses sehr umfangreiche statistische Material wurde dem Deutschen Wetterdienst auf Anregung des seinerzeitigen Leiters der Klimaabteilung, Herrn Professor Knoch, für die Jahre 1952 bis 1961 zur Verfügung gestellt. Es sind 10 156 Meldungen über Hagelschäden eingegangen. Unter Beibehaltung der schon früher (4) getroffenen Einteilung in Nordbayern

(Reg.-Bezirke Unter-, Mittel-, Oberfranken, Oberpfalz und die schwäbischen Landkreise Nördlingen, Dillingen und Donauwörth) und in Südbayern (Ober-, Niederbayern und Schwaben ohne die 3 Landkreise) verteilen sich die Meldungen auf die einzelnen Jahre nach Tabelle 1.

Tab. 1
Meldungen von Hagelschäden

Jahr	Nordbayern	Südbayern	Bayern
1952	183	211	394
1953	382	730	1112
1954	574	358	932
1955	565	551	1116
1956	621	594	1215
1957	480	559	1039
1958	979	640	1619
1959	436	486	922
1960	534	587	1121
1961	332	354	686

Die beiden nahezu flächengleichen Teile waren mit 5086 Schadensmeldungen in Nordbayern und 5070 in Südbayern fast gleichmäßig beteiligt. Der Landkreis Lindau ist, da erst am 1. September 1955 wieder vom Bayerischen Staat übernommen, in sämtlichen Statistiken nicht berücksichtigt.

Innerhalb des betrachteten Jahrzehnts wurden 4150 Gemeinden von Hagelschäden betroffen, das sind 58,5% aller bayerischen Gemeinden. Die Häufigkeit der Schäden ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2
Verteilung der Hagelschäden auf die Gemeinden

Zahl der Schäden	Zahl der Gemeinden	% aller bayer. Gemeinden
1	1642	23,2
2	1050	14,8
3	607	8,6
4	364	5,1
5	197	2,8
6	121	1,7
7	66	2,3
8	44	
9	26	
10	13	
11	8	
12	6	
13	1	
14	1	
15	3	
16	1	

Die fünf am häufigsten vom Hagel betroffenen Gemeinden sind: Otterfing (Kreis Wolfratshausen), Otting (Kreis Laufen), Freimann (Kreis Traunstein), Burghagel (Kreis Dillingen) und Karlshuld (Kreis Neuburg/Do.).

Die nach Landkreisen und Regierungsbezirken geordnete Statistik über den prozentualen Anteil der Schadensgemeinden an der Summe der jeweiligen Kreisgemeinden ist im Anhang wiedergegeben. Bevor mit diesem Schadensmaterial eine geographische Verteilung erarbeitet wird, soll auch die zweite Materialquelle, das Netz der wetterdiensteigenen Beobachtungsstationen, herangezogen werden. Es besitzt eine wesentlich geringere Stationsdichte, stehen doch den 7089 bayerischen Gemeinden, die Hagelschäden zu melden haben, 1132 Beobachtungsstationen gegenüber, die der Deutsche Wetterdienst unterhält und die in der Fülle der beob-

achteten und aufgezeichneten Wettererscheinungen auch den Hagel notieren. Der Vorteil der größeren Stationsdichte einerseits wird durch die Nachteile in der Beschränkung auf die Schadensfälle gemindert. Die Hagelbeobachtungen andererseits enthalten auch den geringsten Hagelfall, aufgezeichnet von den mit ihren Aufgaben meist jahrelang vertrauten Beobachtern.

Von den 119 Klimastationen und 1013 Niederschlagsmeßstellen Bayerns (Mittel der Jahre 1952 bis 1961) wurden innerhalb der untersuchten 10 Jahre 8607 Hagelbeobachtungen aufgezeichnet. Sie verteilen sich auf die einzelnen Jahre nach Tabelle 3.

Tab. 3
Hagelbeobachtungen von Klimastationen

Jahr	Nordbayern	Südbayern	Bayern
1952	258	465	723
1953	544	570	1114
1954	485	514	999
1955	280	501	781
1956	316	594	910
1957	334	562	896
1958	400	406	806
1959	306	506	812
1960	281	563	844
1961	247	475	722

In Nordbayern mit 544 Stationen wurden 3451 Hagelbeobachtungen, in Südbayern mit 588 Stationen 5156 Beobachtungen aufgezeichnet. Dieses Material ist in sich noch nicht als völlig gleichwertig zu betrachten, da es von 25 hauptamtlichen Stationen stammt, deren Beobachter hauptberuflich tätig sind, und von 1107 nebenamtlichen Stationen, die ihre Beobachtungen nur neben ihrem eigentlichen Beruf aus Naturverbundenheit ausführen. Nur für die folgende Häufigkeitsstatistik wurden die hauptamtlichen Beobachtungen und die weniger als 10 Jahre umfassenden Beobachtungsreihen fortgelassen (Tabelle 4).

Tab. 4
Verteilung der Hagelbeobachtungen auf die Stationen

Zahl der Hagelfälle	Zahl der Stationen	% der Stationen
0	40	4,1
1—5	364	37,4
6—10	343	35,2
11—15	161	16,5
16—21	46	4,6
22—29	16	1,6
≥30	6	0,6

In der Karte 1 sind nach der Punktmethode sowohl die Gemeinden mit 6 und mehr Hagelschäden wie auch die Beobachtungsstationen mit 16 und mehr Hagelbeobachtungen eingetragen. Diese Kombination kann als gleichwertig angesehen werden, da sowohl die Schadensgemeinden wie auch die Stationen mit Hagelbeobachtungen etwa den gleichen Anteil von 7% liefern, nämlich 290 von 4150 Schadensgemeinden und 68 von 936 Beobachtungsstationen. Die Aufteilung dieses Materials in 3 Stufen geschah wiederum anteilmäßig:

Stufe I: Gemeinden mit 6 und 7 Hagelschäden (187 Gem. = 65%), Beobachtungsstationen mit 16 bis 21 Hagelbeobachtungen (46 Stat. = 68%).

Stufe II: Gemeinden mit 8 und 9 Schäden (70 Gem. = 24%), Stationen mit 22 bis 29 Beobachtungen (16 Stat. = 23%).

Stufe III: Gemeinden mit 10 und mehr Hagelschäden (33 Gem. = 11%), Stationen mit 30 und mehr Beobachtungen (6 Stat. = 9%).

Das Ziel dieser Methode ist, ein umfassendes Bild über die Hagelvorkommen geben zu können. Es erreicht, wenn man zunächst nur die Verhältnisse am Alpenrand und in den bayerischen Alpen betrachtet. Die durch Schadensmeldungen belegte Häufung in einem 40 km breiten Streifen längs der Alpen erfährt eine Ergänzung durch die Beobachtungen in den Bayerischen Alpen. Hier allerdings weisen die am weitesten im Westen gelegenen Allgäuer Alpen die größte Hagelhäufigkeit auf. Wie später noch bei den Hagelzügen gezeigt wird, ist die allgemeine Zugrichtung innerhalb der in Mitteleuropa vorherrschenden Westdrift stets von West nach Ost. Es werden also zunächst im Allgäu die Hagelfälle zwar schon auftreten und beobachtet, aber erst im weiteren Zug nach Osten so intensiv werden, daß sie Schaden verursachen. In den östlichen Landkreisen Traunstein und Laufen haben sie schließlich bis zu 85% aller Gemeinden binnen 10 Jahren teilweise schwere Schäden gebracht.

Diesem Band reiht sich in der Schwäbisch-Niederbayerischen Schotterebene von der Holledau bis zum Gäuboden bei Straubing ein weiteres an. In dem Hügelland zwischen Lech und Paar, dessen Landschaftsbild durch den Hopfenanbau geprägt ist, fügen sich mehrere Stationen mit häufigen Hagelbeobachtungen zwanglos in das Netz der schadensreichen Gemeinden ein. Dazu kommt noch das Donautal von Dillingen bis Neuburg. Hier liegen auch die beiden mit je 15 und 16 Schäden betroffenen Orte Burghagel und Karlshuld.

In Nordbayern lassen sich unschwer zwei in nord-östlicher Richtung verlaufende Hagelbänder erkennen. Das erste betritt den bayerischen Boden in den Frankenhöhen und zieht zum Mittelfränkischen Becken. Ein zweites Hagelband beginnt am Steigerwald und endet auf der Münchberger Hochfläche. Während der Spessart und die Rhön sowie ihre leeseitigen Räume, die mainfränkischen Platten und das Grabfeld, von häufigen Hagelfällen verschont bleiben, liegen die Gebiete größter Häufigkeit in Nordbayern zweifellos am Oberlauf der Wörnitz in den Frankenhöhen und in der Naab-Wondreb-Senke. Die Leewirkung des Fichtelgebirges macht sich im hagelarmen Gebiet des oberen Egertales bemerkbar. Dieses wird im Norden begrenzt durch die Massive des Waldstein und des Kornberges, denen sich wiederum weiter nordwärts das hagelreiche Gebiet der Münchberger Hochfläche anschließt. Die Begrenzung im Süden ist durch die Kösseine und den Steinwald gegeben, der im Osten die Naab-Wondreb-Senke mit ihrer beachtlichen Hagelhäufigkeit folgt.

Die vier Hagelbänder sollen im folgenden diese Namen tragen: das Voralpenband vom Allgäu bis zum Chiemgau, das Donauband vom Donauried bis zum Gäuboden, das mittelfränkische Band von den Frankenhöhen bis zum Jura, das nordfränkische Band vom Steigerwald bis zur Münchberger Hochfläche.

Zu diesen Hagelbändern gesellen sich noch einige Streupunkte auf dem mittleren Jura und dem vorderen Bayerischen Wald. Der hintere Bayerische Wald, der vorwiegend Staatsforsten besitzt, ist mit einigen Punkten häufiger Hagelbeobachtungen belegt, die auch hier auf Staueffekte am Gebirgskamm schließen lassen.

3. Die Hagelzüge

Ein tieferes Eindringen in den räumlichen Ablauf der Hagelfälle ist möglich durch die Zeichnung von Hagelzügen. Sie werden aus dem Material der Schadensmeldungen gewonnen. Ein Hagelzug ist gegeben, sobald von mindestens 10 räumlich benachbarten Gemeinden Schadensmeldungen vorliegen, die auch zeitlich durch

kurze Aufeinanderfolge ihre Ursache in einer einzigen, fortschreitenden Niederschlagszelle mit Hagel erkennen lassen. In der Karte 2 sind diese Hagelzüge jeweils durch eine Linie eingetragen, deren Pfeil die Zugrichtung angibt. Der Beginn der Schadensflächen ist durch einen Querstrich markiert, sofern er eindeutig erkennbar innerhalb Bayerns gelegen ist. Die an der Grenze nach Baden-Württemberg beginnenden Hagelzüge dürften sich in Bayern lediglich fortsetzen. Es entstanden somit insgesamt 339 Hagelzüge innerhalb der 10 Jahre. Über ihre Breite wird in der Karte nichts ausgesagt, sondern nur über ihre Länge und Richtung. Jede gezeichnete Linie ist nur ein einziges Maß von schadenbringenden Hagelfällen beschriftet worden. Außer den schon im vorigen Abschnitt erwähnten vier Hagelbändern gestattet diese Karte die weiteren Schlüsse:

1) Die Hauptzugrichtung ist von Südwest nach Nordost. Nur im Osten Bayerns finden sich sowohl im Oberpfälzer Wald wie im Bayerischen Wald Hagelzüge aus nordwestlicher Richtung. Ein Hagelzug ist offensichtlich von Ost nach West gezogen, er ereignete sich am 18. August 1959 und konnte von Deggendorf bis nach Rottenburg/Laaber verfolgt werden. An der Südostflanke des über der Nordsee gelegenen Hochdruckgebietes zogen Störungsreste von Böhmen nach Bayern.

2) Wenn auch die Anfangspunkte der Hagelzüge auf den ersten Blick recht gleichmäßig über das Land verteilt erscheinen, so lassen sich doch einige Häufungsgebiete nach gesonderter Eintragung dieser Punkte auf einer hier nicht wiedergegebenen Karte erkennen. Als solche treten hervor:

- das Donautal zwischen Gundelfingen und Donauwörth,
- das Inntal zwischen Oberaudorf und Wasserburg,
- das obermainische Bruchschollenland zwischen Eschenbach und Kulmbach,

der nördliche Albrand zwischen Nördlingen und Weißenburg,

das Alpenvorland zwischen Iller und Loisach vom Alpenrand bis zur Höhe des Ammersees,

das Steigerwaldvorland in seinem südlichen Teile zwischen Kitzingen und Scheinfeld.

In den drei ersten Fällen dürften die weiten, vielleicht stark überhitzten Talauen den letzten Anstoß zum Hagelfall gegeben haben. Auch im vierten Fall könnte das Ries um Nördlingen die gleiche Ursache bilden. Diese wasserreichen Niederungen sind nach Seilkopf (5) als Ausgangspunkte von Schauerstreifen anzusehen. Für den fünften und sechsten Fall bietet Schirmer (6) Erklärungen an, die er bei der Bearbeitung von Schauerstraßen in Mittelfranken gewonnen hat. Er hat Grund zur Annahme, daß an orographisch markanten Stellen — wozu die Nähe isolierter Gebirgsteile wie die alpinen Vorberge im Allgäu und der südliche Steigerwald in Mittelfranken zu rechnen ist — infolge thermokonvektiver Vorgänge bei konvergenter Bodenströmung Zirkulationen entstehen, die zur Bildung von Cumulonimben und im weiteren Verlauf zum Hagelfall führen.

3) Es gibt zwei Häufungsgebiete der Zuglinien, die aus dem benachbarten Teile von Baden-Württemberg kommen, nämlich an der unteren Iller und der oberen Wörnitz bei Dinkelsbühl. Nach den oben dargelegten orographischen Ursachen erscheint die Annahme ihrer Entstehung in dem Donaauraum zwischen Sigmaringen und Ehingen einesteils und in der Kocher-Jagst-Ebene anderenteils naheliegend. In beiden Fällen erschöpfen sich die Hagelzüge auf bayerischem Boden sehr rasch: bis zum Lech, allenfalls noch bis zur Amper reicht der überwiegende Teil der südlichen Bahnen, während die Hagelzüge von der Wörnitz bereits an der Rednitz-Regnitz-Linie aufhören.



Abb. 1
Hagelschäden 1952—1961. Schadensgemeinden in Prozent aller Kreisgemeinden (Mittelwert 58,5%)

4) Auffallend ist die Häufung der Hagelzüge längs der Täler der Kleinen und Großen Laaber in Niederbayern. Da sich beide Täler in Richtung und Profil kaum von den übrigen rechtsseitigen und weniger vom Hagel betroffenen Donautälern wie Isar, Vils und Rott/Inn unterscheiden, — sie streben in nordöstlicher bis östlicher Richtung aus dem Hügelland der glazialen Schotter in die breite Donauebene, den Gäuboden, ein — kann eine orographische Ursache nicht angenommen werden. Die Schadensanfälligkeit der sehr fruchtbaren Landkreise Rottenburg/Laaber und Mallersdorf gegen Hagelfälle ist allerdings sehr groß, beträgt doch der Anteil der Äcker, Wiesen und Weiden an der Kreisfläche 68% bzw. 66% bei einem Durchschnitt im Regierungsbezirk Niederbayern von 60%.

5) Völlig frei von Hagelzügen sind Rhön und Spessart mit ihren leeseitigen Hängen bis zur Fränkischen Saale und dem Main. Das besagt keineswegs, daß nicht begrenzte Hagelfälle auftreten können wie schon ein kurzer Blick auf die Karte 1 der früheren Hageluntersuchung (4) beweist. Im Odenwald haben sich innerhalb der betrachteten 10 Jahre 4 Hagelzüge feststellen lassen, die, von Südwesten aufziehend, vermutlich ihre Ursprungsgebiete im Mündungsraum des Neckar in den Rhein besitzen. Diese Vermutung stützt sich auf die Ansichten von Schirmer (7), der an Hand der Tagesniederschlagskarte des 19. September 1946 eine vom Rhein bis zum Oberpfälzer Wald durchgehende Wolkenstraße aufzeichnet.

Zusammenfassend bestätigt die Karte der Hagelzüge die Existenz der vier bayerischen Hagelbänder. Darüber hinaus zeigt sich aber, daß der Beginn vornehmlich an bestimmte, durch orographische Merkmale ausgezeichnete Gebiete gebunden ist. Seen- oder flußreiche Räume sind bevorzugt mit Hagelzügen belegt. Andererseits scheinen die Mittelgebirge (Rhön, Odenwald, Spes-

sart, Fichtelgebirge) und ihre Leeseiten von Hagelzügen gemieden zu werden.

Schließlich sollen die schon in der früheren Arbeit gebrachten Karten der Hagelschäden und Hagelbeobachtungen, aufgeteilt nach den Landkreisen, mit dem nun 10jährigen Material wiederholt werden. Sie sind für kommunalpolitische und für alle auf Verwaltungsgrenzen beruhenden landwirtschaftlichen Planungen von Interesse. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Landkreise mit den weit über und den weit unter dem Durchschnitt gelegenen Häufigkeiten an Schäden und Beobachtungen. Gegenseitige Vergleiche der Karten sind durch die Wahl der Abstufungen möglich geworden, denn 18% bzw. 22% aller 142 Landkreise wurden als übernormal, 57% bzw. 59% als normal (weiß) und 25% bzw. 19% als unternormal eingestuft. Die Abb. 1 enthält die Zahl der Kreisgemeinden mit Hagelschäden in Prozent aller Gemeinden dieses Landkreises. Die Abb. 2 bringt analog zum Prozentsatz einen Quotienten, der gebildet worden ist aus der Gesamtzahl der Hagelbeobachtungen aller 10 Jahre und der Anzahl der innerhalb des Landkreises gelegenen Wetterbeobachtungsstationen des Deutschen Wetterdienstes. Sowohl die Prozente wie die Quotienten sind in der Landkreistabelle im Anhang aufgeführt. In der Abb. 1 lassen sich die vier Hagelbänder, wenn auch durch die Einteilung in die ungeographischen Kreisgebiete stark verwischt, noch erkennen.

Das Voralpenband ist durch die Kette der Landkreise von Schongau—Landsberg—Schwabmünchen im Westen bis Laufen im Osten gut belegt, das Donauband ist vom Kreis Dillingen über Schrobenhausen nach Rottenburg—Mallersdorf—Straubing—Landau zu erkennen. Das mittelfränkische Band erscheint im Westen massiert durch die Kreise Feuchtwangen, Dinkelsbühl, Gunzenhausen und Ansbach, nach Osten nur noch sporadisch durch die Kreise Fürth und Sulzbach-Rosenberg. Das nordfränki-



Abb. 2
Hagelbeobachtungen 1952—1961. Quotient aus Anzahl der Hagelbeobachtungen und Anzahl der amtlichen Stationen des Landkreises (Mittelwert 7,2)

sche Band schließlich ist nur in den Kreisen Scheinfeld und Hof angedeutet, in der Abb. 2 jedoch besser ausgebildet.

4. Die zeitliche Verteilung der Hagelfälle

Die Untersuchung des Jahresganges der Hagelhäufigkeit wurde bereits früher mit dem 5jährigen Material durchgeführt. Sie brachte sowohl für die Hagelschäden wie auch für die Beobachtungen ein Bild, welches mit dem Witterungsablauf, insbesondere den einzelnen Monsunwellen nach Flohn (8), im Einklang stand. Auf der gleichen Basis, der Bildung von 10tägigen Intervallen und ihrer prozentualen Anteile an der 10jährigen Summe wurden die in Abb. 3 wiedergegebenen Diagramme berechnet. Es sind bei den Hagelbeobachtungen diejenigen Tage ausgesondert, an denen nach den Radiosondeaufstiegen in München 12 Uhr GMT die Null-Grad-Grenze tiefer als 1500 gpm gelegen hat. Diese Lage war bereits in der früheren Bearbeitung als Kriterium für echte Hagelbildung festgesetzt worden, da erst von dieser Höhe ab eine 300 m dicke Wolkenschicht mit über dem Gefrierpunkt gelegenen Temperaturen und mithin echten Wassertropfen die Möglichkeiten einer Verpraupelung im vertikalen Aufwind gestattet. Es sind die Tage:

- 1957: 1.—3., 7.—16. April, 5.—8., 26.—28. Mai, 30. September, 1., 23. Oktober.
- 1958: 1., 2., 6.—12. 17.—19., 23., 27.—29. April, 17. Mai, 16.—22. Oktober.
- 1959: 7., 10., 11., 20.—24. April, 2., 3. Mai, 29.—31. Okt.
- 1960: 12., 15.—17., 23.—30. April, 1.—3. Mai, 12.—18. Okt.
- 1961: 10.—12., 16., 21., 29. Mai.

Den beiden Kurvenzügen in Abb. 3 liegen die Werte von Tabelle 5 zugrunde.

Tab. 5

Dekadensummen in Prozent der Zehnjahressumme

- a) von 8 607 Beobachtungen
- b) von 10 156 Schadensmeldungen

Monat	1. Dekade	2. Dekade	3. Dekade
	1.—10.	11.—20.	21.—Ende
a) April	1,7	2,9	5,2
Mai	4,6	8,4	9,7
Juni	12,4	6,8	7,9
Juli	4,7	7,5	6,0
August	5,6	5,6	3,6
September	3,2	2,2	0,9
Oktober	0,3	0,1	0,1
b) April	0,0	0,0	0,8
Mai	0,3	3,9	5,7
Juni	11,0	6,7	10,0
Juli	8,5	14,7	11,1
August	12,1	8,3	3,9
September	2,5	0,5	0,0
Oktober	0,0	0,0	0,0

Beide Kurvenzüge weisen zwischen dem 5-Jahresgang und dem 10-Jahresgang keine grundlegenden Unterschiede auf. Lediglich die Extreme haben sich etwas abgeflacht, ihre Stellung im Jahresablauf hat sich aber nicht geändert. Und das erscheint wesentlich, denn es beweist doch die Brauchbarkeit einer erst 5jährigen Reihe, sofern nicht Tageswerte, sondern Zehntagesmittel verwendet werden. Beim Vergleich beider Reihen fällt die Übereinstimmung der Spitzen in der 1. und 3. Junidekade sowie in der 2. Julidekade auf. Sie befinden sich an denjenigen Stellen des Jahresganges, die von Flohn (8) als die mittleren Eintrittszeiten der einzel-

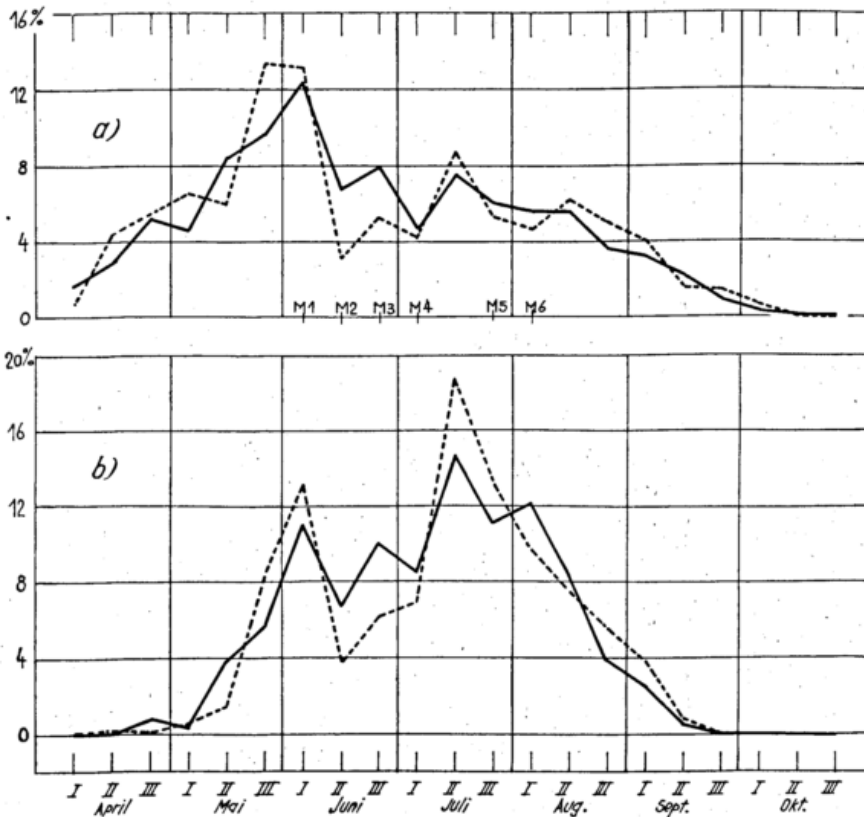


Abb. 3

- a) Dekadensummen der Hagelbeobachtungen in Prozent der Fünfjahressummen — — — und der Zehnjahressummen —
- b) Dekadensummen der Hagelschäden in Prozent der Fünfjahressummen — — — und der Zehnjahressummen —

nen Monsunwellen bestimmt sind. Ihre Wirkungen sind jedoch verschieden: Die erste Monsunwelle M1 Anfang Juni bringt den höchsten Prozentsatz an Hagelbeobachtungen, jedoch nicht an Hagelschäden, da die Kulturpflanzen sich noch in einem frühen Wachstumsstadium befinden. Die zweite Monsunwelle M 2 vom 12. bis 14. Juni ist beim Hagel durch einen Tiefstpunkt gekennzeichnet. Die Intensität der vertikalen Umlagerungen dürfte geringer geworden sein infolge der ausgeglicheneren Temperaturverhältnisse. Erst die Monsunwelle M 3 vom 26. bis 29. Juni ist wieder markant. Die Hagelbeobachtungen zeigen einen abnehmenden; die Hagelschäden entsprechend der wachsenden Vegetation einen zunehmenden Trend. Die weiteren beiden Monsunwellen M 4 vom 5. bis 11. Juli und M 5 vom 19. bis 29. Juli erscheinen hier gemeinsam in einer Spitze der 2. Julidekade. Sie stellt das Maximum im Jahresgang der Hagelschäden dar, sie ist aber ohne Zweifel auch in den Hagelbeobachtungen gut erkennbar. Im phänologischen Jahresgang ist jetzt das Ende des Hochsommers gekommen, die Erntezeiten beginnen. Zu diesem Zeitpunkt werden die nach den Beobachtungen mit 7,5% keineswegs sehr häufigen Hagelfälle die größten Schäden anrichten, 14,7% aller gemeindlichen Schadensmeldungen entfallen auf die 2. Julidekade. Gr ü n e w a l d (9) hat den Versuch unternommen, auf synoptischer Basis Umstellungen in der mitteleuropäischen Witterung zu erfassen und im Jahresgang festzulegen. Er kommt zu dem Ergebnis, daß in der Julimitte die Tageshöchsttemperaturen niedriger liegen als zuvor, obwohl die Tagesmittelwerte die höchsten des Jahres sind. Stark bewölktetes Wetter mit zeitweiliger Schwüle sind jetzt die Folgen einer flachen Luftdruckverteilung mit häufig recht ausgeprägter Vertikalzirkulation. Diese Zeit des Mittsommers bringt ein Maximum an schweren Hagelfällen.

Schließlich macht sich auch die letzte Monsunwelle M 6 vom 5. bis 7. August durch ein nochmaliges Ansteigen der Hagelschäden in dem bereits rasch absteigenden Gang bemerkbar. Mit dem Ende der Erntezeit in der 3. Septemberdekade hören die Hagelschäden auf, aber Hagel wurde noch im Oktober in geringem Maße beobachtet. Zu ähnlichem Zeitablauf kommt Beckwith (10) auf Grund 10jähriger Hagelbeobachtungen in der Umgebung von Denver (Colorado). 50% der Hageltage verteilen sich zu gleichen Teilen auf Mai und Juni, während im Juli noch 21% und im August 12%, im September 6% aller Hageltage gezählt werden.

5. Beziehungen zwischen Hagelfall und vertikalem Aufbau der Atmosphäre

Die Kenntnis der einzelnen Tage mit Hagelfall über einen größerem Gebiet, wie es Südbayern südlich der Donau darstellt, einerseits und die Kenntnis der vertikalen Verteilung verschiedener Witterungskomponenten auf Grund der aerologischen Messungen in diesem Gebiet andererseits lassen es möglich erscheinen, Zusammenhänge zu finden und prognostisch zu verwenden. Dies soll im folgenden versucht werden.

Es wird ausgegangen von den neueren Theorien über den Aufbau der Gewitterwolken, die als Vertreter der stärksten vertikalen Bewegungen im Wolkenraum fast ausschließlich mit dem Ausfall des Regens den des Hagels verbinden. W i c h m a n n (11) ist auf Grund der Erfahrungen des 19. Rhönsegelflugwettbewerbwerbes zu einem neuen Bild der Strömungsverhältnisse im Cumulonimbus gelangt. Der Aufwindstrom ist auf ein schlotartiges Gebilde von relativ kleinem Durchmesser begrenzt. Der Hagel wird in diesem Aufwindsschlot gebildet und bis in sehr große Höhen emporgetragen, um schließlich in den benachbarten Absinkvorgang übergeleitet zu werden. Die Teilchen mit geringer Sinkgeschwindigkeit wie die Eiskristalle werden am Absinken gehindert und bilden den Amboß. Die schweren Teile wie Graupel und Hagel

fallen mit zunehmender Geschwindigkeit aus. Die Temperaturflächen im Cumulonimbus sind gegenüber der Umgebung im Aufwindstrom gehoben, im Abwindstrom gesenkt. W i c h m a n n zeigt rechnerisch, daß Hagelkörner bis zu 40 mm Durchmesser noch vom Aufwindstrom in 8000 m Höhe gehalten werden können. Dieses grundlegende Bild der Hagelwolke wird in der Folgezeit beibehalten und durch Messungen belegt. So gibt D e s s e n s (12) über die Stärke des Aufwindes Werte an, die bei Zunahme mit der Höhe zwischen 20 m/sec in 5000 m und 80 m/sec in 10 000 bis 12 000 m schwanken. Dieser stark ausgeprägte Aufwindsschlot ist auch in dem Modell des Cumulonimbus wiederzufinden, das A p p l e m a n (13) und L u d l a m (14) zeichnen. Wassertropfen werden aus dem Temperaturbereich über null Grad in Höhen mit Temperaturen unter null Grad transportiert. Die dabei eintretenden Änderungen des Aggregatzustandes sollen später erörtert werden. Infolge des kräftigen Aufwindes werden einzelne Teile innerhalb der Wolke bis fast zur Wolkenobergrenze emporgerissen und dann seitwärts in die Abwindströmung verfrachtet. Geraten sie nochmals im tieferen Wolkenbereich in die Aufwindströmung hinein, so können sie beim Passieren einer nur kurzen Vertikalstrecke alsbald wieder in die rückwärtige Abwärtsströmung des Cumulonimbus kommen und dann schließlich als kleine Hagelkörner oder im geschmolzenen Zustand als großtropfiger Regen ausfallen. Sie können aber auch nochmals in die intensive Aufwindströmung der Wolkenmitte einbezogen werden und dann allerdings eine erhebliche Größe erreichen, die sie endlich dank ihres Gewichtes zum schnellen Ausfall als große Hagelkörner führt. Radarbeobachtungen eines am 9. Juli 1959 über Südostengland ziehenden Hagelunwetters ergaben sehr aufschlußreiche Bilder über die innere Struktur des Cumulonimbus.

Dieses Modell einer hageltragenden Wolke wird noch verfeinert durch ein weiteres, das F u j i t a und B y e r s (15) entworfen haben. Sie nahmen die von C u n n i n g h a m (16) vom Flugzeug aus photogrammetrisch aufgenommene Hagelwolke bei Cheyenne (Wyoming) am 11. September 1958 zum Anlaß ihrer Ergänzungen. In einem eng begrenzten Schlot dominiert der Aufwind, während im übrigen Teil der Wolke abwechselnde Zonen von Auf- und Abwind angenommen werden. Die wichtigste Ergänzung liegt jedoch in den Temperaturverhältnissen, die von der weiteren Umgebung der Wolke abweichen. In unmittelbarer Nachbarschaft der unteren und mittleren Teile des Cumulonimbus wird die Luft um 1 bis 2 Grad kälter, im Innern in gleicher Höhe um 1 bis 2 Grad wärmer angenommen. Schließlich setzen die Verfasser den Amboß wie auch die Spitze der Wolke bis zu 5 Grad kälter als ihre Umgebung an.

Die Änderung der Aggregatzustände auf diesem hauptsächlich in der Vertikalen vollzogenen Wege innerhalb der Wolke ist in letzter Zeit vornehmlich durch L i s t (2) theoretisch und praktisch im Hagelversuchskanal im Rahmen des Forschungsprogrammes der Schweizerischen Hagelkommission untersucht worden. Durch Anlagerung von Wasserdampf an einen Eiskern oder an einen gefrorenen Wassertropfen wächst ein Eiskristall heran. Er wird schwerer als die Wassertropfen seiner Umgebung und fällt unter gleichzeitiger Vergrößerung durch unterkühlte Wassertropfen. Jetzt ist die Vergraupelung erreicht. In diesem Stadium haben die Experimente im Versuchskanal gezeigt, daß die Aufnahme unterkühlten Wassers größer ist als die Kälte, die zum Gefrieren benötigt wird. Es verbleibt also innerhalb des wachsenden Hagelkornes flüssiges Wasser, und zwar als ein Eis-Wassergemenge in einem Eisgerüst, das durch Lamellen nach Art eines Schwammes eine hohe Aufnahmemöglichkeit gewährt. L i s t bezeichnet diesen Zustand als Schwammeis und sieht in dieser Wachstumsphase hauptsächlich die Entstehung der großen Hagelkörner, die z. B. bei 20 mm Durchmes-

ser und -22° einen Anteil von 38% an flüssigem Wasser besitzen. Diese Entdeckung der Eis-Wasser-Gemenge ist ein weiterer Schritt, „eine brauchbare, den atmosphärischen Bedingungen äquivalente Hageltheorie zu schaffen und die physikalische Seite der Hagelbildung befriedigend abzuklären“ (2).

Die oben entwickelte Strömungstheorie im Cumulonimbus und die Entwicklungstheorie des Hagelkorns weisen den unteren Wolkenschichten besondere Bedeutung zu, denn in ihnen sind die Ausgangsprodukte des späteren Hagels vorhanden. Man kann ihren Feuchtegehalt erfassen durch die Werte der spezifischen Feuchte in den Schichten oberhalb null Grad. Diesen Weg empfiehlt Appelman (13) mit den Worten „Versuchsarrangements sind jetzt zu treffen, um die Beziehung zwischen der Häufigkeit und dem Umfang des Hagels wie auch Tiefe und Dichte der Wolkenschichten unterhalb der Gefriergrenze zu erforschen.“ Zu der spezifischen Feuchte tritt noch die Lage der Null-Grad-Grenze hinzu, da sie den Anteil an echten und unterkühlten Wassertropfchen in der Wolke bestimmt. Die von Fujita und Byers (15) skizzierte anomale Temperaturverteilung des Cumulonimbus, nämlich im unteren Teile wärmer und im oberen Teil kälter als seine Umgebung zu sein, führt auf ein weiteres Element: die vertikale Temperaturdifferenz. Schon Pepler (17) hatte im Cumulonimbus sehr hohe Beträge des vertikalen Temperaturgradienten gefunden.

5.1. Das aerologische Material

Die folgende Untersuchung erstreckt sich auf die drei Komponenten spezifische Feuchte, Lage der Null-Grad-Grenze und vertikale Temperaturdifferenz zwischen dem 850-mb- und dem 500-mb-Niveau. Die aerologischen Meßergebnisse der Station München-Riem für die Jahre 1952 bis 1961 werden benutzt und in Beziehung gesetzt zu den Tagen mit Hagel in Südbayern. Nach einer Statistik von Alt und Weickmann (18) liegt das Maximum des Hagels im Tagesgang zwischen 15 Uhr und 17 Uhr mit 29% aller Hagelfälle. Die mittäglichen aerologischen Messungen werden also den Zustand der Atmosphäre, der in den weitaus meisten Fällen zum Hagel führt, am besten wiedergeben. Während die Temperatur direkt benutzt werden kann, bedarf die Ermittlung der spezifischen Feuchte einer Berechnung aus Temperatur, Druck und relativer Feuchte.

Nun sind leider zwischen 1952 und 1961 mehrere zeitliche Verschiebungen in den Beobachtungsterminen eingetreten, die zu Korrekturen des Materials zwingen. Die Aufstiegszeiten waren

- von 1952 bis 1954 um 15 Uhr GMT,
- von 1955 bis 1956 um 14 Uhr GMT,
- von 1957 bis 1961 um 12 Uhr GMT.

Die Temperatur — und mithin auch die Lage der Null-Grad-Grenze — weist einen ausgeprägten Tagesgang selbst noch in den Höhen bis 500 mb auf, während die spezifische Feuchte davon unberührt bleibt. Die Reduktion der gesamten Reihe auf 12 Uhr GMT ist durch die Untersuchung von Holzappel (19) möglich, der Temperaturtagesgänge in Höhen bis 14 000 m für München in den vier Jahreszeiten aufgezeigt hat. Die Differenzen zwischen den vier Terminen 3, 9, 15 und 21 Uhr erlauben lineare Interpolation derart, daß die folgenden Temperaturmittel in den hier notwendigen Höhenstufen und im Sommer gelten:

	12 Uhr	14 Uhr	15 Uhr GMT
1500 m	11,3 ^o	11,9 ^o	12,2 ^o
3000 m	1,9	2,1	2,2
5000 m	-9,7	-9,6	-9,5
6000 m	-15,9	-15,8	-15,7

Für die Temperaturdifferenz zwischen dem 850-mb- und dem 500-mb-Niveau erfordert die Reduktion auf 12 Uhr GMT der Jahre 1952 bis 1954 eine Korrektur von $-0,7^{\circ}$, der Jahre 1955 und 1956 eine Korrektur von $-0,5^{\circ}$.

Analog wird für die Lage der Null-Grad-Grenze Verfahren, die sich aus den Temperaturen für den Sommer in München nach linearer Interpolation ergibt:

	3 Uhr	9 Uhr	15 Uhr	21 Uhr
0 Grad in	3160 gpm	3273 gpm	3385 gpm	3291 gpm

Die Reduktion auf 12 Uhr GMT erfordert für die Jahre 1952 bis 1954 eine Korrektur von 56 gpm, für die Jahre 1955 und 1956 eine Korrektur von 38 gpm.

Es werden nunmehr die homogenen Wertereihen 12 Uhr GMT für die Temperaturdifferenz zwischen 850 mb und 500 mb, die Höhe der Null-Grad-Grenze in gpm und die spezifische Feuchte in g/kg im 700-mb-Niveau benutzt. Bei den Beziehungen zu den Hageltagen, geordnet nach Monaten, wurden lediglich die Monate Mai bis August herangezogen. April, September und Oktober haben eine wesentlich geringere Zahl an Hageltagen, so daß sie nicht mit den Sommermonaten vergleichbar erscheinen.

	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
Zahl der Hageltage 1952 bis 1961	69	132	178	150	147	55	8
in % aller Tage	23	43	59	48	47	18	3

Als Hageltage werden solche Tage bezeichnet, von denen innerhalb des im Abschnitt 2 als Südbayern definierten Bereiches entweder Hagelbeobachtungen vorliegen oder Hagelschadensmeldungen eingegangen sind oder beides zugleich vorhanden ist. Die räumliche Ausdehnung der Hagelfälle wird insofern berücksichtigt, als die Hageltage in drei Gruppen eingeteilt sind:

- 1) Leichte Hageltage haben 1 bis 9 Beobachtungen oder Schadensmeldungen oder beides gebracht.
- 2) Mittlere Hageltage sind mit 10 bis 49 Beobachtungen oder Schadensmeldungen oder beidem vertreten.
- 3) Schwere Hageltage sind Tage mit mindestens 50 Beobachtungen oder 50 Schadensmeldungen.

5.2. Hageltage, Null-Grad-Grenze und spezifische Feuchte

Die rein statistische Zuordnung der Werte der Null-Grad-Grenze und der spezifischen Feuchte zu den Tagen mit Hagelfall ohne Rücksicht auf die synoptische Wetterlage läßt ein objektives Bild erwarten, das die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hagel sicher unterschätzt. Es ist noch zu bedenken, daß der Vertikalschnitt der Atmosphäre mit der Radiosonde nur sehr selten den mit Hagelfall verbundenen Cumulonimbus erfassen wird. Somit geben also die statistischen Vergleiche auch in diesem Punkt die Eintrittswahrscheinlichkeit zu gering an. Es wird vielmehr nur die Grundvoraussetzung atmosphärischer Bedingungen für einen Hagelfall erfaßt werden.

Die spezifische Feuchte kann als meßbares Indiz für den Wassergehalt der Wolke angesehen werden, wenn sie im 700-mb-Niveau benutzt wird, welches bis Mitte Juni oberhalb, dann aber etwa 30 gpm unterhalb der Null-Grad-Grenze gelegen ist. Es wurden die Abweichungen von den zehntägigen Mittelwerten 1952 — 1961 für beide Zahlenkollektive gewählt. Die Mittelwerte, ihre mittlere Abweichung (Streuung) und die beobachteten Extremwerte sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengestellt.

Tab. 6
Null-Grad-Grenze (gpdam)
in einzelnen Dekaden

Monat	Mittel	Streuung	Extreme
Mai 1)	224	74	361—73
2)	243	73	386—109
3)	254	71	400—110
Juni 1)	284	57	404—131
2)	303	63	439—161
3)	317	62	423—169
Juli 1)	335	80	477—168
2)	331	59	483—222
3)	330	65	484—193
Aug. 1)	340	62	456—209
2)	324	60	453—200
3)	329	70	445—204

Tab. 7
Spezifische Feuchte (g/kg) in 700 mb
in einzelnen Dekaden

Monat	Mittel	Streuung	Extreme
Mai 1)	2,6	1,2	5,2—0,4
2)	2,7	1,1	4,9—0,5
3)	2,8	1,3	5,2—0,3
Juni 1)	3,5	1,2	5,2—0,6
2)	3,8	1,5	6,2—0,5
3)	3,8	1,5	6,4—0,5
Juli 1)	3,7	1,5	8,7—0,8
2)	4,4	1,2	6,9—0,7
3)	4,0	1,7	7,6—0,7
Aug. 1)	4,1	1,5	8,0—0,7
2)	4,2	1,4	7,0—0,8
3)	3,8	1,3	6,4—0,8

Die täglichen Abweichungen von diesen Mittelwerten sind für die Monate Mai bis August in vier Diagrammen eingetragen, von denen eines in Abb. 4 wieder-

gegeben ist. Die Koordinaten werden durch die Abweichungen der beiden Elemente gebildet; die 10 × 30 (bzw. 31) Monatstage sind in 4 Klassen eingeteilt: Tage ohne

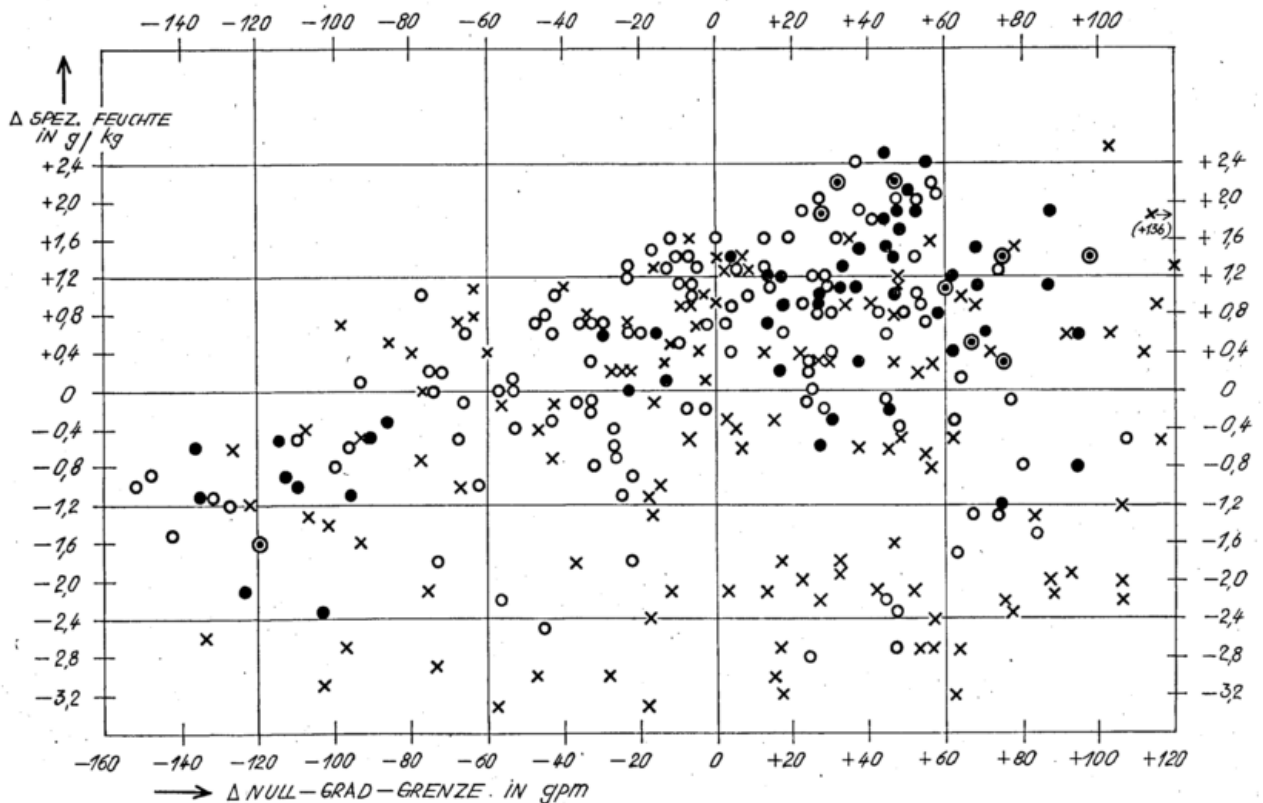


Abb. 4
Beziehungen zwischen Hageltagen, Null-Grad-Grenze und spezifischer Feuchte (Abweichungen vom Mittelwert, Juni 12 Uhr GMT)

- leichte Hageltage
- mittlere Hageltage
- ⊙ schwere Hageltage
- × Tage ohne Hagel

Hagel, Tage mit höchstens 9, mittlere Hageltage mit 10 bis 49 und schwere Hageltage mit 50 und mehr Hagelbeobachtungen oder Schäden oder beidem. In den fol-

genden 4 durch Temperatur und spezifische Feuchte bedingten Gruppen ergeben sich die Häufigkeiten der Tabelle 8.

Tab. 8

Abhängigkeit der Hageltage von 0-Grad-Grenze und spez. Feuchte

- a) 0-Grad-Grenze unternormal
spez. Feuchte übernormal
(kalt-feucht)
- b) 0-Grad-Grenze übernormal
spez. Feuchte übernormal
(warm-feucht)
- c) 0-Grad-Grenze unternormal
spez. Feuchte unternormal
(kalt-trocken)
- d) 0-Grad-Grenze übernormal
spez. Feuchte unternormal
(warm-trocken)

Monat	Zahl der Fälle	Hageltage	
		Zahl	%
a) Mai	43	26	60
Juni	58	33	57
Juli	71	33	46
Aug.	61	31	51
Summe	233	123	53
b) Mai	105	62	59
Juni	107	79	74
Juli	99	61	61
Aug.	97	52	54
Summe	408	254	62
c) Mai	58	22	38
Juni	74	43	58
Juli	72	39	54
Aug.	89	50	56
Summe	293	154	53
d) Mai	50	14	28
Juni	59	21	36
Juli	64	15	23
Aug.	61	14	23
Summe	234	64	27

Tab. 9

Zahl der mittleren und schweren Hageltage

- a) 0-Grad-Grenze unternormal
spez. Feuchte übernormal
(kalt-feucht)
- b) 0-Grad-Grenze übernormal
spez. Feuchte übernormal
(warm-feucht)
- c) 0-Grad-Grenze unternormal
spez. Feuchte unternormal
(kalt-trocken)
- d) 0-Grad-Grenze übernormal
spez. Feuchte unternormal
(warm-trocken)

Monat	Hageltage	
	mittlere	schwere
a) Mai	5	0
Juni	3	0
Juli	6	0
Aug.	6	0
Summe	20	0
b) Mai	23	3
Juni	32	8
Juli	17	8
Aug.	16	1
Summe	88	20
c) Mai	7	0
Juni	11	1
Juli	7	0
Aug.	12	1
Summe	37	2
d) Mai	3	0
Juni	5	0
Juli	4	0
Aug.	3	1
Summe	15	1

Die Auszählung der Hageltage zeigt ihr Übergewicht in der warm-feuchten Gruppe, denn im Juni fällt an 74% aller warm-feuchten Tage Hagel. Immerhin liegen aber die Anteile der Hageltage auch in der kalt-feuchten und der kalt-trockenen Gruppe noch über 50% im Mittel der 4 Monate. Sondert man die mittleren und schweren Hageltage aus und untersucht deren Häufigkeit, so kristallisiert sich ein deutlicher Vorsprung in der warm-feuchten Gruppe heraus (Tabelle 9).

In 108 (88 + 20) von den insgesamt 183 mittleren und schweren Hagelfällen waren die beteiligten Luftmassen im 700-mb-Niveau übernormal feucht und die Null-Grad-Grenze lag sehr hoch. Es war also zwischen der Wolkenuntergrenze und der Null-Grad-Grenze ein Wolkenraum von beträchtlicher Ausdehnung und hoher Feuchte vorhanden, der als Reservoir zur Hagelbildung bei starkem Aufwind dienen könnte. Zu ähnlichen Feststellungen kommt Bell (20) in einer Statistik der Höhe der Null-Grad-Grenze über Budapest. Er findet sie im Sommer (Mittel der Jahre 1951 — 1957) bei 3508 m an Gewittertagen und bei 3174 m an Regentagen ohne Gewitter.

5.3. Hageltage, Temperaturgradient und spezifische Feuchte

Als ein weiterer Anlaß für lebhaftere, mit der Bildung von Hagel verbundene vertikale Umlagerungen kann ein sehr hoher vertikaler Temperaturgradient in der

Wolke angesehen werden, der den labilen Gleichgewichtszustand charakterisiert. Die Ursache können überhitzte Luftschichten in Bodennähe oder das Einfließen kälterer Luftmassen in der Höhe oder beides gemeinsam sein, stets verbunden mit hohem Feuchtegehalt. Anzeichen für diese Zustände lassen sich durch die Temperaturdifferenz zwischen dem 850-mb- und dem 500-mb-Niveau gewinnen. Nach der Methode des vorigen Abschnitts wurden diese Werte und diejenigen der spezifischen Feuchte im 700-mb-Niveau zu den Hageltagen in Beziehung gesetzt. Zuvor seien die 10jährigen Mittelwerte, die mittlere Schwankung (Streuung) und die beobachteten Extremwerte mitgeteilt (Tabelle 10).

Tab. 10

10jährige Mittelwerte der Temperaturdifferenz (° C) zwischen 850 und 500 mb

Monat	Mittel	Streuung	Extreme
Mai	25,9	3,4	33,9 — 15,6
Juni	24,9	3,2	32,1 — 14,5
Juli	25,1	2,9	33,8 — 16,7
August	25,3	3,0	35,1 — 16,4

Die Temperaturgradienten, im Mittel 0,61°/100 gpm, schwanken zwischen 0,85° und 0,35°. Die Auszählung der Hageltage ergibt innerhalb der vier Gruppen das Bild der Tabelle 11.

Tab. 11

Zahl der Hageltage in Abhängigkeit von vertikaler Schichtung und spez. Feuchte

- a) Temp.-Diff. unternormal
spez. Feuchte übernormal
- b) Temp.-Diff. übernormal
spez. Feuchte übernormal
- c) Temp.-Diff. unternormal
spez. Feuchte unternormal
- d) Temp.-Diff. übernormal
spez. Feuchte unternormal

Monat	Zahl der Fälle	Zahl der Hageltage	Wahrscheinlichkeit	
			%	%-Extreme
a) Mai	63	29	46	27 — 65
Juni	76	41	54	36 — 71
Juli	92	35	38	23 — 54
Aug.	85	34	40	24 — 57
Summe	316	139	44	36 — 53
b) Mai	87	60	69	52 — 82
Juni	91	73	80	65 — 91
Juli	80	60	75	59 — 88
Aug.	72	50	70	52 — 85
Summe	330	243	74	66 — 81
c) Mai	51	14	27	10 — 49
Juni	62	18	29	13 — 48
Juli	63	20	32	16 — 51
Aug.	73	23	32	17 — 40
Summe	249	75	30	22 — 39
d) Mai	56	22	39	20 — 60
Juni	69	44	64	45 — 81
Juli	71	33	46	28 — 65
Aug.	78	40	51	33 — 69
Summe	274	139	51	42 — 60

Tab. 12

Zahl der mittleren und schweren Hageltage

- a) Temp.-Diff. unternormal
spez. Feuchte übernormal
- b) Temp.-Diff. übernormal
spez. Feuchte übernormal
- c) Temp.-Diff. unternormal
spez. Feuchte unternormal
- d) Temp.-Diff. übernormal
spez. Feuchte unternormal

Monat	Zahl der Hageltage	
	mittlere	schwere
a) Mai	3	0
Juni	5	0
Juli	3	3
Aug.	5	0
Summe	16	3
b) Mai	25	3
Juni	31	8
Juli	20	5
Aug.	18	1
Summe	94	17
c) Mai	3	0
Juni	3	0
Juli	3	0
Aug.	0	0
Summe	9	0
d) Mai	7	0
Juni	12	1
Juli	8	0
Aug.	14	2
Summe	41	3

Eindeutig über der Zufallsgrenze liegt nur das Teilkollektiv b) „übernormale Temperaturdifferenz und übernormale Feuchte“, und zwar in sämtlichen vier Monaten. Im Juni wird mit der oberen Eintrittswahrscheinlichkeit von 91% der höchste Wert erreicht. Man kann also damit rechnen, daß in diesem Monat bei Temperaturgradienten von mehr als 0,6^o/100 gpm und gleichzeitiger spezifischer Feuchte von mehr als 3,8 g/kg die Bereitschaft zu Hagelfällen sehr hoch ist. Auch hier zeigt die Aussonderung der mittleren und schweren Hageltage das Übergewicht in dieser Gruppe (Tabelle 12).

85% (94+17+41+3 = 155 von 183) aller mittleren und schweren Hageltage treten bei hohen Temperaturdifferenzen auf. Wird noch die Forderung hoher spezifischer Feuchte gestellt, sind es noch 61% (94 + 17 = 111 von 183). Die Gruppe „übernormale Temperaturdifferenz und unternormale spezifische Feuchte“ bringt für alle Hageltage in der 4-Monatssumme noch 139 Hageltage von insgesamt 274 Fällen, also 51%. Hier dürfte sich der Unterschied offenbaren zwischen der großräumigen Temperaturverteilung, die bei hohem Gradienten die Voraussetzung zur Konvektionsströmung mit Hagel bildet, und der räumlich stark differenzierten Feuchteverteilung im 700-mb-Niveau. Sie wird teilweise bereits zu starker Wolkenbildung geführt haben, teilweise — und diese Fälle wurden von der Radiosonde erfaßt — erst noch bevorgestanden haben.

6. Prognostische Möglichkeiten

Die Vorhersage von Hagelfällen auf Grund der aerologischen Daten erscheint insbesondere bei der Diskus-

sion der vertikalen Temperaturdifferenzen nicht aussichtslos. Denn mit durchschnittlich 74% Hageltagen übertrifft die Beziehung „Temperaturdifferenz - Hageltage“ diejenige der Beziehung „Null-Grad-Grenze — Hageltage“ mit durchschnittlich 62% recht erheblich. Nimmt man nun noch die synoptische Wetterkarte hinzu, so dürfte für einen begrenzten Raum von der Größenordnung Südbayerns durchaus die Möglichkeit bestehen, vor Hagel rechtzeitig zu warnen und auch die Bekämpfung nach den von H. G. Müller eingeführten Methoden (21) in die Wege zu leiten.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt W. Müller (22) mit den aerologischen Werten von Payerne 1954—1958 und den Hagelmeldungen an die Schweizerische Hagelversicherung aus den Kantonen Neuenburg und Freiburg. Er findet die Tage mit Hagel bei Temperaturgradienten zwischen Boden und 500-mb-Fläche von 0,7^o bis 0,9^o/100 m in 87,6% und von 0,4^o bis 0,6^o in 12,4% aller 89 Fälle. Peppeler (17) stellt in dem aerologischen Material der Drachenstation Friedrichshafen 1911—1919 Temperaturgradienten an Gewittertagen fest, die sich zwischen 0,6^o und 0,8^o/100 m in den Schichten bis 4000 m bewegen bei erheblicher Zunahme der spezifischen Feuchte in 2000 m. Aus den zeitlichen Temperaturänderungen bis zur Gewitterauslösung schließt er, daß bei fortdauernder Erwärmung in den unteren Schichten jedoch oberhalb 2500 m bereits Abkühlung einsetzt. Es ist also eine Verstärkung des Temperaturgradienten im Gange, die schließlich zum Gewitter führt.

Diese Untersuchung stützt sich auf die 8607 Hagelaufzeichnungen der amtlichen Beobachter des Deut-

schen Wetterdienstes und die 10156 Schadensmeldungen der Gemeinden an die Bayerische Versicherungskammer. Allen diesen Mitarbeitern sei hiermit für ihre Hilfe gedankt. Mein besonderer Dank gilt dem Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes, welches mir dieses Material und darüber hinaus die etwa 21000 aerologischen

Meßwerte der Radiosondenstation München aufbereitet zur Verfügung gestellt hat.

Für das stete Interesse und die Förderung dieser Arbeit bin ich Herrn Regierungsdirektor Dr. K. Keil und Herrn Professor Dr. Flohn sehr zu Dank verpflichtet.

Literatur

- (1) Denkschrift zum 75jährigen Bestehen der Bayerischen Landeshagelversicherungsanstalt. München 1959.
- (2) List, R.: Zur Thermodynamik teilweise wässriger Hagelkörner. *Z. angew. Math. Phys.* 11 (1960) S. 273—306.
- (3) Browning, K. A. and Ludlam, F. H.: Airflow in convective storms. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 88 (1962) S. 117—135.
- (4) Trautmann, E.: Die Hagelhäufigkeit in Bayern 1952—1956. *Ber. Dt. Wetterd.* Nr. 69 (1960).
- (5) Seilkopf, H.: Die räumliche und zeitliche Aufeinanderfolge von Schauern. *Ann. Hydrogr.* 58 (1930) S. 1—10.
- (6) Schirmer, H.: Die räumliche Struktur der Niederschlagsverteilung in Mittelfranken. *Forsch. Dt. Landeskde.* 81 (1955).
- (7) Schirmer, H.: Niederschlagsstreifen — Spurlinien von Wolkenstraßen. *Meteor. Rdsch.* 4 (1951) S. 97—99.
- (8) Flohn, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. *Forsch. Dt. Landeskde.* 78 (1954).
- (9) Grünwald, G.: Typisierung mitteleuropäischer Witterungsumschläge. *Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR* Nr. 51 (1959).
- (10) Beckwith, W. B.: Analysis of hailstorms in the Denver network 1949 — 1958. In: *Physics of precipitation*. Woods Hole, Mass., 1959 = *Geophys. Monogr.* No. 5.
- (11) Wichmann, H.: Über das Vorkommen und Verhalten des Hagels in Gewitterwolken. *Ann. Meteor.* 4 (1951) S. 218—225.
- (12) Dessens, H.: Severe hailstorms are associated with very strong winds between 6000 and 12000 meters. In: *Physics of precipitation*. Woods Hole, Mass., 1959 = *Geophys. Monogr.* No. 5.
- (13) Appleman, H. S.: An investigation into the formation of hail. In: *Cumulus Dynamics*. Oxford 1960.
- (14) Ludlam, F. H.: The hail problem. *Nubila* 1 (1959) S. 12—94.
- (15) Fujita, T. and Byers, H. R.: Model of a hail cloud as revealed by photogrammetric analysis. *Nubila* 5 (1962) S. 85—105.
- (16) Cunnigham, R. M.: Hailstorm structure viewed from 32 000 feet. In: *Physics of precipitation*. Woods Hole, Mass., 1959 = *Geophys. Monogr.* No. 5.
- (17) Peppler, W.: Über Temperatur und Feuchtigkeit in der freien Atmosphäre. *Beitr. Phys. fr. Atm.* 21 (1934) S. 121—128.
- (18) Alt, E. u. Weickmann, L.: Untersuchungen über Gewitter und Hagel in Süddeutschland (Periode 1893—1907). *Dt. Meteor. Jb. Bayern* 1909, C. S. 1—31.
- (19) Holzapfel, R. u. Manig, M.: Zum mittleren täglichen Gang von Temperatur und Druck in der freien Atmosphäre über Deutschland. *Meteor. Rdsch.* 8 (1955) S. 85—88.
- (20) Bell, B.: Bedeutung des Null-Grad-Niveaus für das Entstehen der Gewitter. *Időjárás* 62 (1953) S. 3—10.
- (21) Müller, H. G.: 2. bis 5. Bericht über die Hagelabwehrversuche im Landkreis Rosenheim. München 1959—1962.
- (22) Muller, W.: Étude statistique de la situation météorologique, les jours à grêle, à cumulonimbus et à précipitations. *Bull. Obs. Puy de Dôme* 1960, S. 151—168.

Tab. 13

Hagelschäden und Hagelbeobachtungen in den bayerischen Landkreisen, 1952—1961

- A: Zahl der Kreisgemeinden, Die jeweils im Landkreis gelegenen Stadtkreise wurden zugezählt
 B: Anteil (%) der von Hagelschäden betroffenen Gemeinden an der Zahl der Kreisgemeinden
 C: Quotient aus Zahl der Hagelbeobachtungen und Summe der Beobachtungsstationen im Landkreis

Regierungsbezirk Unterfranken
 (Durchschnitt B = 43,4% C = 4,7)

Landkreis	A	B	C
Alzenau	43	14,0	5,6
Aschaffenburg	33	15,2	5,8
Bad Kissingen	57	36,8	6,5
Bad Neustadt	39	18,0	5,7
Brückenau	26	30,8	4,7
Ebern	69	55,0	5,0
Gemünden	27	44,4	3,8
Gerolzhofen	77	67,5	4,0
Hammelburg	35	31,4	3,0
Haßfurt	67	41,8	5,0
Hofheim	49	46,9	5,2
Karlstadt	48	50,0	1,7
Kitzingen	52	50,0	5,0
Königshofen	33	78,7	9,0
Lohr	25	20,0	3,7
Marktheidenfeld	47	44,6	3,6
Mellrichstadt	38	29,0	5,7
Miltenberg	31	45,2	4,0
Obernburg	35	17,2	3,8
Ochsenfurt	53	60,4	2,2
Schweinfurt	65	50,8	4,6
Würzburg	46	47,8	5,6

Regierungsbezirk Mittelfranken
 (Durchschnitt B = 69,1% C = 6,9)

Landkreis	A	B	C
Ansbach	83	86,7	8,7
Dinkelsbühl	64	82,8	7,5
Eichstätt	78	66,6	7,0
Erlangen	29	48,2	8,5
Feucht Wangen	51	80,4	5,2
Fürth	35	85,7	5,0
Gunzenhausen	65	83,0	4,9
Hersbruck	39	53,8	4,8
Hilpoltstein	84	73,8	8,0
Lauf	37	35,1	6,0
Neustadt/Aisch	84	63,1	4,1
Nürnberg	36	36,1	9,6
Rothenburg o. d. T.	62	54,8	7,0
Scheinfeld	55	85,4	5,6
Schwabach	50	78,0	8,6
Uffenheim	73	57,5	10,5
Weißenburg	67	67,2	6,1

Regierungsbezirk Oberfranken
 (Durchschnitt B = 47,7% C = 7,2)

Landkreis	A	B	C
Bamberg	143	56,6	7,6
Bayreuth	79	55,6	11,5
Coburg	131	13,7	6,3
Ebermannstadt	67	65,6	5,9
Forchheim	63	44,4	7,3
Höchstadt	59	72,8	5,5
Hof	41	80,5	10,2
Kronach	96	29,2	3,7
Kulmbach	58	72,4	5,3
Lichtenfels	58	27,6	4,6
Münchberg	32	59,4	8,8
Naila	36	25,0	8,8
Pegnitz	64	31,2	7,3
Rehau	29	79,2	10,3
Stadtsteinach	34	32,3	5,3
Staffelstein	58	56,8	4,3
Wunsiedel	46	65,2	9,7

Regierungsbezirk Oberpfalz
 (Durchschnitt B = 50,0% C = 7,0)

Landkreis	A	B	C
Amberg	61	42,6	8,4
Beilngries	45	66,7	4,0
Burglengenfeld	42	35,7	7,2
Cham	38	26,3	8,4
Eschenbach	36	30,5	8,8
Kemnath	36	50,0	4,3
Nabburg	41	41,4	8,7
Neumarkt	70	71,4	3,8
Neunburg v. W.	36	27,7	7,0
Neustadt/Waldn.	64	56,2	7,9
Oberviechtach	32	25,0	8,3
Parsberg	63	69,7	6,9
Regensburg	125	46,4	5,1
Riedenburg	46	54,3	5,7
Roding	44	47,7	7,1
Sulzbach-Ros.	31	93,5	9,0
Tirschenreuth	53	64,1	8,0
Vohenstrauß	37	62,1	8,9
Waldmünchen	36	8,3	5,8

Regierungsbezirk Niederbayern
 (Durchschnitt B = 61,2% C = 6,6)

Landkreis	A	B	C
Bogen	45	68,8	4,7
Deggendorf	49	55,0	6,4
Dingolfing	32	78,1	6,1
Eggenfelden	62	67,7	5,1
Grafenau	25	16,0	5,2
Griesbach	36	55,5	4,4
Kelheim	56	53,5	6,5
Kötzting	45	22,2	5,5
Landau/Isar	31	80,6	5,6
Landshut	61	78,6	5,7
Mainburg	36	63,8	7,0
Mallersdorf	48	91,6	7,5
Passau	40	30,0	5,9
Pfarrkirchen	42	66,7	3,5
Regen	28	42,8	9,8
Rottenburg	46	93,5	7,8
Straubing	48	87,5	7,0
Viechtach	23	39,1	7,1
Vilsbiburg	39	79,5	7,2
Vilshofen	48	79,2	6,0
Wegscheid	26	3,8	10,0
Wolfstein	43	25,6	10,2

Regierungsbezirk Oberbayern

(Durchschnitt B = 73,5% C = 8,6)

Landkreis	A	B	C
Aichach	73	72,5	11,0
Altötting	44	75,0	4,0
Bad Aibling	22	90,9	7,7
Bad Tölz	17	76,4	13,2
Berchtesgaden	21	33,3	9,5
Dachau	55	80,0	4,0
Ebersberg	29	86,2	7,3
Erding	47	63,8	4,1
Freising	70	75,6	8,2
Fürstenfeldbruck	59	69,5	7,0
Garmisch-Partenk.	16	18,7	13,7
Ingolstadt	42	57,1	7,2
Landsberg	60	85,0	6,0
Laufen	40	85,0	12,4
Miesbach	29	37,9	14,7
Mühldorf	55	61,8	4,0
München	31	74,1	8,8
Pfaffenhofen	78	74,4	6,1
Rosenheim	57	86,0	9,0
Schongau	24	95,8	10,2
Schrobenhausen	38	84,2	6,3
Starnberg	40	75,0	10,0
Traunstein	56	80,3	10,7
Wasserburg	62	59,7	7,9
Weilheim	42	85,7	13,0
Wolfratshausen	38	84,2	6,9

Regierungsbezirk Schwaben

(Durchschnitt B = 63,6% C = 9,6)

Landkreis	A	B	C
Augsburg	74	68,9	10,3
Dillingen	76	82,9	7,4
Donauwörth	70	70,0	8,9
Friedberg	43	62,7	15,7
Füssen	18	33,3	17,2
Günzburg	67	52,2	7,3
Illertissen	44	79,5	5,0
Kaufbeuren	57	75,4	9,6
Kempten	31	22,6	10,7
Krumbach	49	77,5	8,7
Markt Oberdorf	37	75,6	11,4
Memmingen	56	60,6	7,9
Mindelheim	62	62,8	10,2
Neuburg/Donau	86	77,8	8,7
Neu-Ulm	55	43,6	10,0
Nördlingen	75	42,6	5,3
Schwabmünchen	32	90,6	7,6
Sonthofen	33	3,0	11,4
Wertingen	53	73,5	8,5

