

Prom. Nr. 3461

Die Bestimmung der Rückstreu-Querschnitte  
von Eis-Wasser-Gemischen bei einer  
Wellenlänge von 5,05 cm

VON DER  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
IN ZÜRICH  
ZUR ERLANGUNG  
DER WÜRDE EINES DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE  
PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

JÜRIG JOSS  
dipl. Elektroingenieur ETH

VON  
BERN und OBERBURG

Referent: Herr Prof. Dr. K. Berger

Korreferent: Herr Dr. M. de Quervain

BASEL  
Buchdruckerei Birkhäuser AG.  
1964

gedeutet werden. Dagegen war starker Regen von schwachem Hagel nicht zu unterscheiden.

Der Wert der Grenze wird von verschiedenen Faktoren bestimmt, unter anderem vom Spektrum der Hagelkörner in Abhängigkeit von der Wassermenge  $M$ , vom Auflösungsvermögen und von der Wellenlänge des Radargerätes, um nur die wichtigsten zu nennen. Deshalb wird der nächste Schritt darin bestehen, diese Grenze und ihre Parameter näher zu untersuchen.

## 10. Zusammenfassung

Die beschriebene Apparatur erlaubt ein einfaches, rasches und genaues Bestimmen der Streuquerschnitte von Probekörpern in der Grössenordnung der in der Natur vorkommenden Hagelkörner. Die Stabilität der Apparatur, kontrolliert durch periodisches Einschleusen von Metallkugeln an den Messplatz, war so gut, dass zwischen dem Einschalten am Morgen und dem Ausschalten am Abend keine Nachabstimmung vorgenommen werden musste. Dies ermöglichte zuverlässiges Messen von Gefrierverläufen.

Einleitende Messungen an Schneekörpern und gefrorenen Schneekugeln haben gezeigt, dass der äquivalente Durchmesser einen brauchbaren Mittelwert für die zu erwartenden Streuquerschnitte von unregelmässigen Körpern bildet.

Mit Hilfe des Hagelversuchskanals und weiterer Einrichtungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung war es möglich, Eis-Wasser-Gemische von gewünschter Zusammensetzung reproduzierbar herzustellen und den Einfluss des Wassergehaltes in einer Schwammeis-Schicht um eine Eiskugel (Wellenlänge 5 cm, Durchmesser der Probekörper 2 bis 2,5 cm) auf die Grösse des Streuquerschnittes abzuklären. Dabei wurde festgestellt, dass ein kleiner Wasseranteil  $W_{tot}$  von rund 5% in der Schwammeis-Schicht genügt, um den Streuquerschnitt im Mittel gegenüber dem gefrorenen Korn um einen Faktor 8 zu vergrössern. Damit wurden die gemessenen Streuquerschnitte im Mittel doppelt so gross, wie diejenigen von äquivalenten Wasserkugeln. Dies steht im Gegensatz zu theoretischen Berechnungen von BATTAN und HERMAN [9] für diese Art von Eis-Wasser-Gemischen. Die gemessenen Anfangs-Streuquerschnitte und die anschliessenden Gefrierverläufe stimmen mit den Berechnungen von HERMAN und BATTAN [11] für wasserüberzogene Eiskugeln überein. Dieser Vergleich lässt überdies den Schluss zu, dass der Wassergehalt  $W_{tot}$  den Haupteinfluss auf den Streuquerschnitt ausübt. Struktur und Anordnung der Schicht (zum Beispiel Eiskern, Eis-Wasser-Gemisch-Schicht, Eisschicht) spielen eine untergeordnete Rolle. Wichtig scheint lediglich, dass Schwammeis eine von Wasserkavernen gefüllte Eisstruktur ist (8) und nicht ein homogenes Gemisch von Eis und Wasser, wie BATTAN und HERMAN [9] es ihren Berechnungen zu Grunde legen mussten.

Von diesen Erkenntnissen ausgehend, wurden auf HERMAN und BATTAN [11] Berechnungen fundierte Überlegungen angestellt, die auf eine Abhängigkeit des Streuquerschnittes der Eis-Wasser-Gemische von ihrem totalen Wassergehalt führten. Messungen an wassergetränkten Schneekugeln zeigten, dass die berechnete Kurve einen guten Anhaltspunkt für den Mittelwert der zu erwartenden Streuquerschnitte in Funktion ihres Wassergehaltes gibt. Das lässt sich nicht mit BATTAN und HERMAN [9] rein theoretischen Berechnungen der entsprechenden homogenen Eis-Wasser-Ge-

mische vereinbaren, die keine Veränderung des Streuquerschnittes bis zu einem Wassergehalt von 50% ergeben haben.

Abschliessend lässt eine kurze Abschätzung der aus Gewittern zu erwartenden Radarechos vermuten, dass es möglich sein wird Regen von Hagel zu unterscheiden, indem Echointensitäten, die einen gewissen Wert überschreiten, nur durch Hagel erzeugt werden können.

## 11. Nachwort

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes an der Forschungsstelle für Atmosphärenphysik des «Osservatorio Ticinese della Centrale Meteorologica Svizzera» in Locarno-Monti (Tessin) und teilweise im Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung auf Weissfluhjoch-Davos ausgeführt. Für den grössten Teil der Untersuchung standen Mittel aus Krediten der «Eidgenössischen Kommission zum Studium der Hagelbildung und der Hagelbekämpfung» zur Verfügung. Mikrowellenmessgeräte wurden uns freundlicherweise vom Geophysics Research Directorate (AFCRL), vermittelt durch das European Office, Aerospace Research, United States Airforce, unter Kontrakt AF61 (052)-559 überlassen.

Es ist mir ein Bedürfnis, Herrn J. C. THAMS, Direktor des Osservatorio Ticinese und der Forschungsstelle für Atmosphärenphysik, für seine ständige Hilfe, seinen Rat und sein immerwährendes Wohlwollen herzlich zu danken. Mein Dank gilt auch Herrn Dr. M. DE QUERVAIN, Direktor des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, der es mir ermöglichte, auf Weissfluhjoch-Davos zu arbeiten. Dieser Teil der Untersuchungen wäre aber nicht so erfolgreich verlaufen, wenn Herr Prof. Dr. R. LIST und seine Gruppe sich nicht so spontan und aktiv an den Forschungen beteiligt hätten. Ihnen bin ich ganz besonders verbunden.

Herr Prof. Dr. K. BERGER, Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, hat die Entwicklung meiner Arbeit mit grossem Interesse und Anteilnahme verfolgt. Auch ihm möchte ich meinen besten Dank aussprechen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] GEOTIS, S. G., *Some Radar Measurements of Hailstorms*, J. Appl. Meteor. 2, 270 (1963).
- [2] STEPHENS, J. J., *Radar Cross-Sections for Water and Ice Spheres*, J. Meteor. 18, 348 (1961).
- [3] KERR, D. E., M. I. T. *Radiation Lab. Series*, 13 (McGraw-Hill, New York, 452, 1951).
- [4] ATLAS, D., HARPER, W. G., LUDLAM, F. H., und MACKLING, W. C., *Radar Scatter by Large Hail*, Quart. J. Roy. Met. Soc. 86, 468 (1960).
- [5] HARPER, W. G., *Radar Back Scattering from Oblate Spheroids*, Nubila 5, 60 (1962).
- [6] GERHARDT, J. R., TOLBERT, C. W., BRUNSTEIN, S. A., und BAHN, W. W., *Experimental Determinations of the Back-Scattering Cross Sections of Water Drops and Wet and Dry Ice Spheres at 3,2 Centimeters*, J. Meteor. 18, 340 (1961).
- [7] DONALDSON, R. J., *Radar Reflectivity Profiles in Thunderstorms*, J. Meteor. 18, 292 (1961).
- [8] LIST, R., *On the Growth of Hailstones*, Nubila 4, 29 (1961).
- [9] BATTAN, L. J., und HERMAN, B. M., *The Radar Cross Sections of 'Spongy' Ice Spheres*, J. Geophys. Research 67, 5139 (1962).
- [10] GLOVER, K. M., und ATLAS, D., *On the Back-Scatter Cross Section of Ice Spheres*, Proceedings of the Tenth Weather Radar Conference, Washington D.C. 157 (1963).
- [11] HERMAN, B. M., und BATTAN, L. J., *Calculations of Mie Back-Scattering from Melting Ice Spheres*, J. Meteor. 18, 468 (1961).

- [12] ATLAS, D., and WEXLER, R., *Back-Scatter by Oblate Ice Spheroids*, J. Atmospheric Sci. 20, 48 (1963).
- [13] LIST, R., *Der Hagelversuchskanal*, Z. angew. Math. Phys. 10, 381 (1959).
- [14] JOSS, J., und LIST, R., *Zur Radarrückstrahlung von Eis-Wasser-Gemischen*, Z. angew. Math. Phys. 14, 376 (1963).

### Summary

A small 5.05 cm radar set allowed rapid but accurate measuring of the cross section of single targets. Ice-water-mixtures were investigated having dimensions similar to actual hailstones reported in Southern Switzerland. The stability of the set, checked with a metal sphere before and after every measurement, was found to remain within 0.5 db over the period of a day. This allowed reliable determination of the cross section versus time during the freezing process.

Irregularly shaped snow particles, 9 to 25 mm actual diameter, showed mean cross sections similar to those of ice spheres having the same mass (equivalent diameter).

The hailtunnel and other facilities of the Institute for Snow and Avalanches Weissfluhjoch-Davos made it possible to reproduce icewater-mixtures with a given water content and ice structure. This spongy ice was grown on solid ice spheres of about 19.5 mm diameter with final dimensions ranging from 20 to 25 mm diameter. The results showed that a small water content ( $W_{tot} \geq 5\%$  of the total weight of the teststone) can be sufficient to increase the mean cross section by a factor of eight compared with the same stone completely frozen, thus increasing the cross section to twice that of the equivalent water sphere. This contradicts theoretical calculations made by BATTAN and HERMAN [9] for particles of the same size and structure.

However the measured initial cross section and the cross section measured during the following freezing process agreed with theoretical calculations by HERMAN and BATTAN in their paper on water-coated ice spheres [11]. Therefore it seems that the liquid water content of the spongy stones,  $W_{tot}$ , is significant, but the ice structure in the spongy shell is of little importance as far as the cross section is concerned. Actually spongy ice is an ice structure filled with water caverns and not a homogenous mixture of ice and water as BATTAN and HERMAN had to assume in their calculations [9].

After examining these results, an attempt was made by considering the ice structure and the water caverns of a spongy ice sphere as a number of smaller water-coated ice spheres, to calculate their back-scattering cross section as a function of the total water content by means of the HERMAN and BATTAN data [11].

Measurements were then made with spheres consisting entirely of spongy ice (snow balls drenched in water). From these measurements it was found that for sizes between 10 and 25 mm the mean value of the cross section agreed well with the above calculated curve, showing a sharp increase in the cross section beginning with low water contents. This again contradicts BATTAN'S and HERMAN'S theoretical work on spongy ice spheres [9] with water contents up to 50% where no change in cross section is found.

It must be emphasized that the given results are probably only valid for the  $d/\lambda$ -range of these experiments.

In conclusion, from an estimate of the echo intensity expected in thunderstorms it seems feasible that hail may be distinguished from rain by means of an echo intensity limit.

(Eingegangen: 26. März 1964.)