Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 5

Artikel: Künstliche Niederschlagsbeeinflussung
Autor: Sänger, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058060

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

44e année N° 5 Samedi, le 7 Mars 1953

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Künstliche Niederschlagbeeinflussung

Von *R. Sänger*, Zürich

551.577.53

Der Autor berichtet über die Erfolge der experimentellen Meteorologie zur Vergrösserung der Niederschlagsmengen bestimmter Gebiete, die für die Wassergewinnung und die Wasserkraftnutzung wichtig ist. In das gleiche Arbeitsgebiet gehört die Verminderung der Hagelschlaggefahren. Die erzielten Niederschlagverschiebungen werden an Hand von Figuren gezeigt, die im Westen der USA aufgenommene Werte verwenden.

Aperçu des résultats positifs obtenus en météorologie expérimentale, dans le but d'accroître les précipitations dans certaines régions, où cela est important pour l'irrigation et la production d'énergie hydroélectrique. Les recherches touchent également à la diminution des chutes de grêle. Des figures, établies selon les constatations faites dans l'ouest des Etats-Unis, montrent les changements intervenus dans la répartition des précipitations.

In Gebieten, wo Trockenheit vorherrscht und demzufolge meistens die landwirtschaftliche Produktion in direktem Verhältnis zur gegebenen Niederschlagsmenge steht, hat der Gedanke einer künstlichen Einwirkung auf die Vorgänge in der Atmosphäre, um die Regen- und Schneemengen zu erhöhen, besonders starkes Echo gefunden. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, wenn im Westen der Vereinigten Staaten von Amerika die Kunst des Regenmachens sich zu einer einträglichen Industrie entwickelt hat. So ist im Jahre 1952 an Entschädigungen für die künstliche Niederschlagsvermehrung, wie wir das Regenmachen ernsthafter bezeichnen wollen, in den USA eine Summe von mehr als 50 Millionen Dollars verausgabt worden, wobei die interessierten Gemeinwesen oder landwirtschaftlichen Vereinigungen vornehmlich ungefähr 1...3 Cents pro ha Land, welche von der Aktion betroffen werden sollten, an die Regenmacher-Unternehmer bezahlen mussten. Diese Zahlenwerte zeigen aber, dass an Landfläche bereits mehr als 1 Million km^2 in das Regengeschäft einbezogen sind, d. h. ein bedeutender Bruchteil der Gesamtfläche der USA. Oft besteht dabei die Tätigkeit der Regenunternehmungen in einer rein beratenden, indem die diesbezügliche Experimentierarbeit von den auftraggebenden Organisationen selber ausgeführt werden. Dass auch die hydroelektrischen Kraftwerke zu den Auftraggebern solcher Aktionen gehören, liegt auf der Hand; deshalb besteht oft das Ziel der Experimentierkunst eines Niederschlagsvermehrungs-Unternehmens darin, das Einzugsgebiet von Stauseen, die sowohl der allgemeinen Wasserversorgung wie der Energiegewinnung dienen können, so mit vermehrtem Regen und Schnee zu belegen, dass die Speicherung des Wassers zu einer möglichst optimalen wird, d. h. mindestens die Auffüllung der Stauseen vor Ende einer Regenperiode bewerkstelligt sein wird.

Nach den ersten Aufsehen erregenden Erfolgen der experimentellen Meteorologie, durch Impfen mit geeigneten Stoffen unterkühlte Schicht- oder Haufen-Wolken vollständig oder teilweise zum Ausregnen zu bringen — für welche Erfolge eine vom Altmeister *Langmuir* und von *Vincent J. Schaefer* geleitete Forschungsgruppe des G. E. Research Laboratory in Schenectady massgebend verantwortlich ist —, haben sich vor einigen Jahren über den ganzen nordamerikanischen Kontinent verteilt grössere und kleinere Regenmacher-Unternehmungen gebildet, deren Vertreter in diesem Tätigkeitsgebiet neue Erwerbsmöglichkeiten witterten, meistens nur dürftig und ungenügend wissenschaftlich untermauert, dafür aber von erstaunlicher Phantasie waren. Heute heben sich aus dem gesamten Aktionsgewirr ungefähr ein halbes Dutzend Impf-Unternehmergruppen, wie die amerikanische Benennung kennzeichnender lautet, ab, die sich nicht nur durch ihren Geschäftsumfang, sondern auch durch ihre Ernsthaftigkeit in der Durchführung der Operationen auszeichnen und glücklicherweise bestimmenden Einfluss auf die Weitergestaltung des gesamten Geschäftes gewonnen haben. Zu diesen Unternehmungen gehören beispielsweise Wallace E. Howell Associates, Cambridge/Mass., North American Weather Consultants, Pasadena/Calif., Water Resources Development Corp., Denver/Col. (Krick Organization), die letztere hauptsächlich durch ihren erklecklichen Geschäftsumfang bekannt.

Grosse Schwierigkeiten bereitet immer noch eine zuverlässige Erfassung der Ergebnisse einer Impfaktion, d. h. die eindeutige Bestimmung ihres Einflusses auf die Niederschlagsmenge. Gesetzliche Kontrollmassnahmen sind in Washington in Vorbereitung. Gegenwärtig bestehen sie nur in Empfehlungen, die vom Department of Interior ausgegeben worden sind für eine möglichst zweckmässige und aufschlußsichere Prüfung des Impfergebnisses. Allerdings sind bereits einige Staaten des Südwestens dazu übergegangen, Konzessionsvorschriften zu erlassen, so Colorado, New Mexiko und seit Mitte 1951 auch Californien.

Bevor wir dazu übergehen, aus der Werkstatt einer einzelnen solchen Impfunternehmergruppe zu berichten und ihre erst kürzlich gewonnenen, be-

merkenswerten Operationsergebnisse zu erörtern, haben wir vor Augen zu führen, welche Vorgänge in der Niederschlagserzeugung künstlich und derart beeinflusst werden können, dass sich eine Vermehrung der Regenmengen herstellen liesse. Im wesentlichen bestehen heute zwei Theorien, die die Regenbildung zu erklären vermögen: erstens die Langmuirsche Theorie der Tropfenakkreszenz, die die Regenerzeugung ohne den Durchgang durch die Eisphase zu deuten versucht und für die Erklärung des bisweilen ausgiebigen Regens in tropischen Zonen aufzukommen hat; und zweitens die Eiskristallniederschlags-Theorie von *Bergeron* und *Findeisen*, die eine merklich umfassendere Bedeutung besitzt und in der Lage ist, die in den gemässigten Zonen auftretenden mittleren bis schweren Regen, vor allem der Gewitterregen, verständlich zu machen. Dabei kann es sich ereignen, dass der Eiskristallniederschlagsprozess vom Vorgang der Langmuirschen Tropfenakkreszenz nachgefolgt wird und so gesamthaft sich zu einem ertragsreichen Regenbildungsmechanismus ausgestaltet. Im folgenden beschränken wir uns aber auf die Erörterung der Eiskristallniederschlags-Theorie von Bergeron und Findeisen, da schliesslich bis heute nur sie die Möglichkeit einer erfolgversprechenden Beeinflussung des Regenvorganges von aussen offen lässt.

Wir gehen von der Beobachtung aus, dass Wolken auch bei Unterschreiten der 0°-Grenze vielfach immer noch aus winzigen, flüssigen Nebeltröpfchen von der Grösse 10^{-4} bis 10^{-2} cm bestehen. Damit diese in den festen Aggregatzustand übergeführt werden, bedarf es des Vorhandenseins besonderer, in der Atmosphäre suspendierter Eiskerne, die entweder als Sublimationskerne oder als Gefrierkerne auftreten können. Hat sich um einen Sublimationskern eine Eisschicht durch Sublimation aus dem Wasserdampf der unmittelbaren Umgebung abgesetzt, oder hat sich ein Nebeltropfen durch Kontakt mit einem Gefrierkern in den festen Zustand verwandelt, so beginnen die so entstandenen winzigen Eisgebilde rasch auf Kosten der noch flüssigen Nebeltropfen der Umgebung zu wachsen, indem der Dampfdruck über Eis wesentlich kleiner als über einer flüssigen Wasseroberfläche ist. Schon innerhalb weniger Sekunden können sich auf diese Weise Eiskristalle von nahezu 100 µm Durchmesser bilden [1]), wobei hierauf das Weiterwachsen zu noch grösseren Teilchen durch den selben Vorgang wesentlich mehr Zeitaufwand beansprucht. Teilchen von 100...200 µm Durchmesser besitzen aber bereits zufolge ihrer Schwere eine solche Fallgeschwindigkeit, dass sie verhältnismässig schon rasch ausfallen; dabei können sie in solche Gebiete der Wolke gelangen, wo die Temperatur über 0 °C liegt und in der Folge zu grösseren flüssigen Regentropfen umgewandelt werden. Diese Regentropfen können durch die bereits erwähnte Tropfenakkreszenz, d. h. durch Einfangen kleinerer Nebeltropfen noch weiter an Grösse gewinnen, auf welche Vorgänge wir aber, wie bereits erwähnt, hier nicht eintreten.

[1]) Bei Temperaturen um —5 ° C bilden sich vorzugsweise sternförmige Gebilde; bei —8 ° C einfache Nadeln und bei noch tieferen Temperaturen trigonale und hexagonale Formen.

Als Eiskerne kommen suspendierte Teilchen von verhältnismässig nur wenigen Substanzen in Frage; ihre Keimfähigkeit ist zudem stark temperaturempfindlich. Bei Temperaturen um — 5 °C sind es ausgesprochen nur wenige Stoffe, die Keimfähigkeit aufweisen, wie z. B. Silberjodid AgJ. Je tiefer die Temperatur, um so zahlreicher werden die keimfähigen Substanzen und schliessen unterhalb — 30 °C praktisch fast alle Mineralien, die in suspendierter Form vorkommen können, in sich. Nach eben veröffentlichten Messungen soll Meersalz schon von — 15 °C an Eiskeimfähigkeit zeigen, was für die Erklärung der Erzeugung des natürlichen Niederschlages von grossem Gewicht ist.

Ist das Verhältnis der Zahl der vorhandenen Eiskerne zur Anzahl der Nebeltropfen einer unterkühlten Wolke grössenordnungsmässig 1:1000, so bestehen optimale Bedingungen für Bildung und Wachstum der Eiskriställchen; dies bedeutet, dass bei einer Nebeltropfenzahl von ungefähr 1000 pro cm^3, wie sie normalerweise im Durchschnitt begegnet wird, pro cm^3 ein Eiskern vorhanden sein sollte, um die günstigsten Voraussetzungen für die Umwandlung der unterkühlten Wolke in eine Eiswolke zu verwirklichen. Sind grössenordnungsmässig gleich viele Eiskerne wie Nebeltropfen vorhanden, so nennen wir diesen Zustand *überimpft*. Die primär durch die Keimwirkung entstehenden, noch kleinen Eiskriställchen können, da es an benachbarten nicht infizierten Nebeltröpfchen fehlt, nicht wachsen und durch die Schwere zufolge ihrer Kleinheit nicht ausfallen, womit jede Niederschlagsbildung unterbunden bleibt. Ist aber grössenordnungsmässig nur ein Eiskristall auf 10^6 Nebeltröpfchen vorhanden, welchen Zustand wir als *unterimpft* bezeichnen, so werden die verhältnismässig wenigen entstehenden Eiskriställchen wohl sehr rasch anwachsen, kommen aber umgekehrt durch die Schwere sofort zum Ausfall. Es kann dadurch normalerweise höchstens zur Bildung eines äusserst spärlichen Regens kommen, von dem wir aber erwarten müssen, dass er infolge vorheriger Verdunstung kaum den Boden erreichen wird. Werden aber die an Zahl wenigen (im unterimpften Zustand entstandenen) verhältnismässig grossen Regentropfen durch geeignete Luftströmungen wiederum in die unterkühlten Wolkengebiete zurückgetragen, so haben wir den Fall einer ausgesprochenen Gefahr für Hagelbildung vor uns, indem die Regentropfen wieder gefrieren und zugleich rasch auf Kosten der zahlreich vorhandenen, benachbarten, unterkühlten Nebeltropfen noch weiter anwachsen können.

Durch verblüffend einfache, aber begeisternde Experimente, ausgeführt in einem gewöhnlichen Kältetrog (homefreezer), haben Vincent J. Schaefer und seine Mitarbeiter die Bergeron-Findeisensche Theorie der Niederschlagsbildung in einwandfreier Weise untermauert und die gemachten Erfahrungen unter Mithilfe militärischer Forschungsstellen und der Luftwaffe direkt auf die Atmosphäre übertragen, wobei es ihnen gelang, die im Kältetrog beobachtete Umwandlung einer unterkühlten Nebelwolke in eine Eiswolke im grossen Maßstab an sorgfältig ausgewählten Wolkengebilden nachzuweisen.

So war es ihnen durch Impfung vom Flugzeug aus möglich, in unterkühlten Stratoswolken gewaltige Einbuchtungen oder Löcher zu reissen oder im Aufbau befindliche Gewitter-Cumuluswolken zur Auflösung zu bringen, welche Erfolge ein gewaltiges Echo auslösten. Grösstenteils wurde anfänglich als Impfstoff in kleinere Körner zerlegte, feste Kohlensäure verwendet, wobei die Wirkungsweise der festen Kohlensäure gegenüber den gewöhnlichen Impfsubstanzen, AgJ, eine verschiedene ist, indem sie durch ihre tiefe Temperatur die Umwandlung erzwingt, weil bei einer Temperatur von zirka — 40 °C spontane Vereisung auftritt [2]).

Die bei diesen Experimenten gelegentlich erzeugten Regenmengen sind aber von keinerlei wirtschaftlicher Bedeutung, da schliesslich aus einer Wolke nicht mehr Wasser ausgefällt werden kann als ursprünglich in Dampf- und flüssiger Form vorhanden war, wenn nicht durch allgemeine grossräumige Zirkulationsströmungen neue Feuchtigkeit in grosser Menge herantransportiert wird. Dies dürfte aber gerade bei den im Experiment ausgewählten Wolkentypen meistens nicht der Fall sein. Selbstverständlich kann der erzwungene, wie der natürliche Niederschlag auch in fester Form den Boden erreichen, wenn die Temperaturverhältnisse so liegen, dass nirgendswo die 0°-Grenze von den fallenden Eiskriställchen durchschritten wird. Bei all diesen Schilderungen müssen wir im Auge behalten, dass unser Bild über die Abwicklung des Regenerzeugungsvorganges und den Aufbau der Wolken eine wirklich krasse Idealisierung darstellt; so haben wir die Konvektionsströmungen innerhalb der Wolken und ausserhalb in ihren Nachbarschaften mit den sie begleitenden Turbulenzeigenschaften vollständig unbeachtet gelassen, Erscheinungen, die unter Umständen verursachen können, dass Kondensations- und Verdunstungsvorgänge, wie die von uns beschriebenen Gefrier- und Schmelz- oder Sublimations-Vorgänge, sich mehrfach hintereinander wiederholen und so eine Mannigfaltigkeit von verschiedenartigen Niederschlagsteilchen-Formen zu erzeugen vermögen.

Wie Messungen, z. B. auf Mt. Washington, zeigen, ist in der Atmosphäre im allgemeinen eher mit einem Mangel an Eiskernen zu rechnen, so dass wir annehmen müssen, dass der unterkühlte Zustand vorherrschend ist. Der Gedanke ist daher sehr naheliegend, durch künstliches Einimpfen von Eiskernen dem Mangel an solchen entgegenzuwirken und so zu versuchen, der natürlichen Regenbildung nachzuhelfen, d. h. eine Vermehrung des Niederschlages zu erwirken. Dieses Vorgehen wird vermutlich dann am aussichtsreichsten sein, wenn die Zerstäubung des Impfstoffes unmittelbar vor oder während des Durchganges einer Wetterfront vorgenommen wird, was oft in einfacher Weise vom Boden aus erfolgen kann, indem die dispergierten Eiskerne durch die allgemeinen Luftströmungen immer mehr und mehr in die Höhe und Breite getragen werden. Als Impfstoff wird vorzugsweise AgJ verwendet, das schon bei — 5 °C keimfähig ist; diese Zerstäubung geschieht meistens in einem Düsenbrenner, dem sog. Bodengenerator, bei welchem AgJ in Form einer Lösung einer intensiven Wasserstoff- oder Propangas-Flamme eingespritzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, aus 1 g AgJ 10^{15}...10^{16} Eiskerne zu erzeugen, die genügen würden, einen km³ kernfreie Atmosphäre optimal zu impfen.

Das eben beschriebene Verfahren der Niederschlagsförderung wird mehr oder weniger von allen oben erwähnten Impfunternehmungen angewendet, beschränkt sich aber durchaus nicht nur auf die USA; auch im restlichen amerikanischen Kontinent, in geringerem Ausmass in Europa und vor allem auch in Australien werden Versuche mit der selben Zielsetzung und den selben Verfahren durchgeführt. Oft werden sie aber auch unternommen, um der Hagelbildung zuvorzukommen, indem aufbauend auf unsere obigen Bemerkungen über den unterimpften Zustand unter Umständen erwartet werden darf, dass bei rechtzeitiger und reichlicher Impfung der Atmosphäre grössere Niederschlagsteilchen sich überhaupt nicht bilden können. Teilweise soll mit den Versuchen aber auch bezweckt werden, die Gewittertätigkeit mit ihren bisweilen schädigenden Folgen abzuschwächen oder sogar vollständig zu unterbinden, indem die im Aufbau befindlichen Haufenwolken durch Impfung zur Auflösung gebracht werden. Im Sinne dieser mehrfachen Zielsetzung haben wir auch das heute in amerikanischen Kreisen der experimentellen Meteorologie geltende Losungswort «More rain and better rain» zu verstehen.

Es mag wohl sein, dass bei Verwendung von Bodengeneratoren gelegentlich zufolge der lokalen Windverhältnisse keine Gewähr dafür besteht, dass der Impfstoff in richtiger Dosierung seine Verteilung im zu impfenden Gebiet findet. Diesbezüglich könnte die Zerstäubung der Keimsubstanz vom Flugzeug aus wohl bessere Dienste leisten; doch ist der Einsatz von Flugzeugen zu kostspielig für eine wirtschaftlich tragbare Bilanz und sehr oft während Wetterfrontdurchgängen z. B. in gebirgigen Gegenden überhaupt nicht möglich. Hier müsste wohl die Rakete in die Lücke springen, doch wäre eine solche Impfrakete vorerst noch zu entwickeln, die einerseits in grössere Höhen, d. h. bis an den Rand der Troposphäre steigen kann und anderseits weder für den Schützen noch für die Umwelt gefährlich ist. Vielleicht liegt die optimale Lösung für eine möglichst zuverlässige Impfung der Atmosphäre im gemeinsamen Einsatz von Rakete und Bodengenerator.

Die grossen Schwierigkeiten bei der eben geschilderten Kunst der Niederschlagsvermehrung bei Frontdurchgängen liegen aber nicht in ihrer praktischen Ausführung, sondern, wie schon oben angedeutet, in der Unmöglichkeit, einen direkten Nachweis des Erfolges einer Impfaktion zu liefern. Während bei den Impfversuchen im Laboratorium und an sorgfältig ausgewählten Wolkenformationen eine direkte Beobachtung der Umwandlung der unterkühlten Wolken durch physikalische Mittel möglich ist, muss hier der Weg

[2]) Ein ausgezeichneter, zusammenfassender Bericht von *V. Schaefer* ist in der ZAMP 1, 153, 217, 1950 erschienen. Eine kritische Betrachtung zum Gesamtproblem findet sich im Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz, N. S. 1, 387, 1951, verfasst vom Autor.

der Statistik beschritten werden, was wohl oder übel eine spürbare Unsicherheit mit sich bringt. Um über die Verhältnisse ein klares Bild zu gewinnen, werden wir am besten irgendein Beispiel einer Impfaktion soweit als zweckdienlich durchdiskutieren, wofür uns die oben ebenfalls erwähnte Impfunternehmergruppe der North American Weather Consultants die Unterlagen in freundlicher Weise zur Verfügung stellte. Die Leitung dieser Gruppe liegt in den Händen zweier erfahrener Meteorologen, *E. Bollay* und *Robert D. Elliot*, letzterer früher Dozent für Meteorologie am California Institut of Technology in Pasadena. Das nachfolgend wiedergegebene Material ist dem letzten offiziellen Rapport der Gruppe an die Stadt Santa Barbara/California entnommen, für welches Gemeinwesen die Firma einen Auftrag zur Niederschlagsvermehrung besitzt [3]).

[3]) Über diesen Auftrag hat der Verfasser bereits in seinem zitierten Artikel im Landwirtschaftl. Jahrbuch der Schweiz berichtet. Versuchsergebnisse lagen damals aber noch nicht vor.

Die Aufgabe der Unternehmung besteht darin, im Einzugsgebiet der beiden Stauseen Gibraltar-Dam und Junical-Dam, welche die gesamte industrielle und private Wasserversorgung der Stadt Santa Barbara sicherstellen sollen, die Erträglichkeit des natürlichen Niederschlages künstlich so zu fördern, dass mit einer wesentlich verminderten Gefahr einer ungenügenden Wasserspeicherung gerechnet werden darf. Dem offiziellen Rapport entnehmen wir die charakteristischen Figuren 1...6. Fig. 1 zeigt eine Übersicht über die allgemeine Lage des Versuchsgebietes, wobei das Wassereinzugsgebiet der beiden Stauseen von uns zusätzlich in seiner ungefähren Gestalt eingezeichnet ist. In der Figur sind die Stellen, wo ortsfeste Bodengeneratoren eingerichtet sind, durch fette Quadrate gekennzeichnet, ferner die Stellen, wo Regenmeßstationen bestehen.

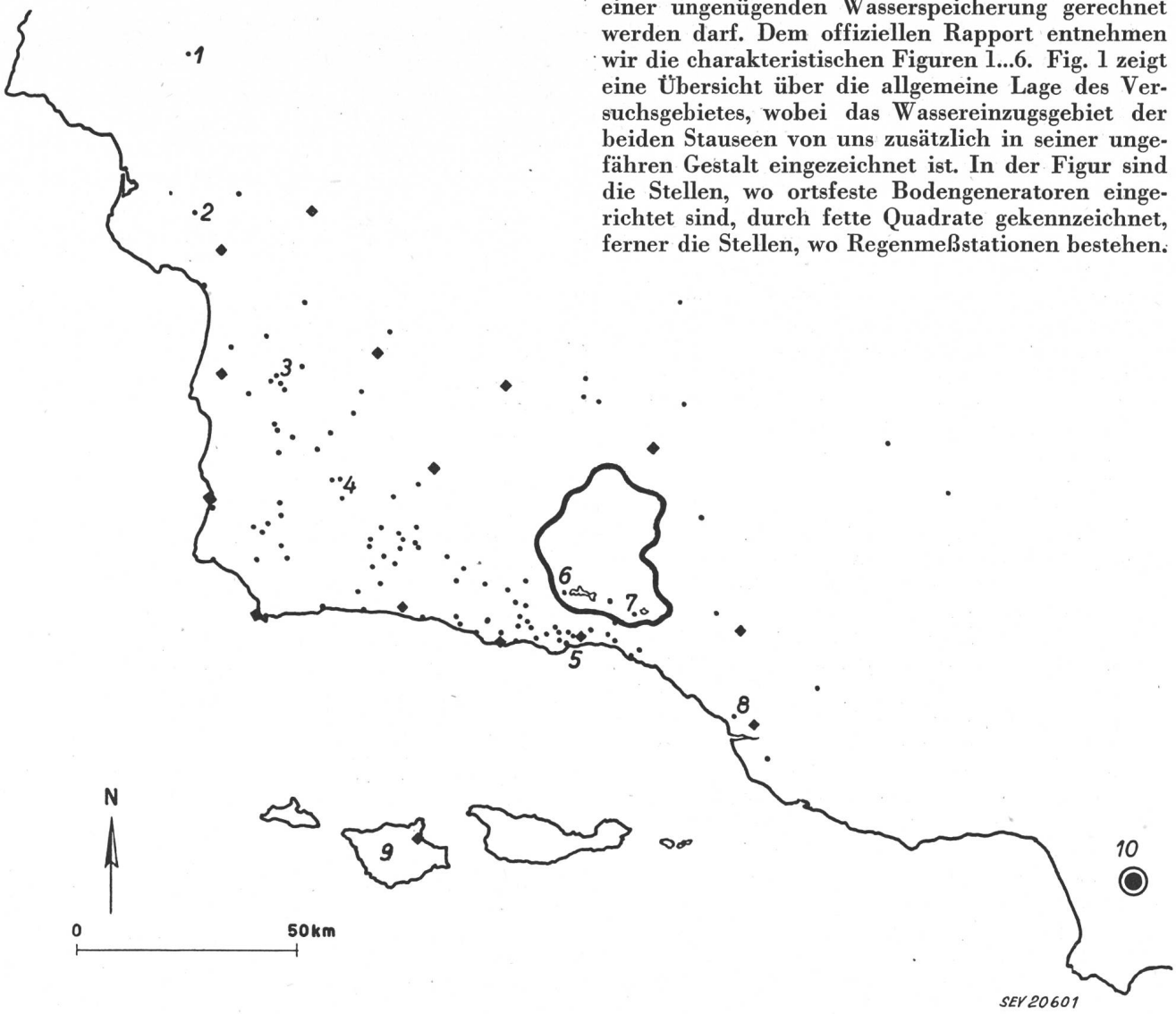

Fig. 1
Teil der Westküste Nordamerikas, Abschnitt Santa Barbara (Kalifornien)
1 Paso Robles; *2* San Luis Obispo; *3* Santa Maria; *4* Los Alamos; *5* Santa Barbara; *6* Gibraltar-Dam; *7* Junical-Dam; *8* Ventura; *9* Insel Santa Rosa; *10* Los Angeles

• Regenmeßstation
◆ Bodengenerator (ausser Betrieb)
Einzugsgebiet der Stauanlagen Gibraltar- und Junical-Dam

rund 120 an der Zahl, durch kleine fette Punkte markiert. Wenn irgendwie möglich werden als Regenmeßstellen Stationen des offiziellen US-Wetterdienstes benutzt. Das Einzugsgebiet hat eine lineare Ausdehnung von rund 40...60 km, wobei die Generatoren in Entfernungen von 0...80 km um das Einzugsgebiet verteilt liegen, mehrheitlich aber auf Seite der pazifischen Küste, da die meisten Wetterfrontdurchgänge von Nordwesten sich herannähern. Gelegentlich kommt auch ein in einem Flugzeug angebrachter AgJ-Generator zur Verwendung.

Die Feststellung des Impfergebnisses geschieht in der Weise, dass die Regenmenge der einzelnen Mess-

stellen, die sich während einer Versuchsperiode, d. h. während der Zeitspanne, innerhalb welcher die Impfungen zur Durchführung gelangen, ergeben, verglichen werden mit dem Mittelwert der Regenmengen der gleichen Periode der vorangegangenen 20 Jahre, und zwar für Meßstellen innerhalb wie ausserhalb des Einzugs-, d. h. des Zielgebietes. Dabei sollte sich zeigen, dass sich die Erträgniskoeffizienten (Verhältnis der beobachteten Regenmenge zum 20-Jahrmittel) im Zielgebiet grösser als 1 bzw. in Prozenten ausgedrückt, grösser als 100 erweisen, während sie in Gebieten ausserhalb, d. h. in den Kontrollgebieten in der Nähe von 1 bzw. von 100 Prozent liegen sollten. Wir müssen aber fordern, dass diese Kontrollgebiete derart zum Zielgebiet liegen, dass auf keinen Fall mit einer Beeinflussung durch die Impftätigkeit zu rechnen ist; umgekehrt darf die Entfernung auch nicht zu gross sein, weil sonst Kontroll- und Zielgebiet klimatisch keine Verwandtschaft mehr besitzen würden.

In den Fig. 2 bzw. 3 und 4 sind die Kurven gleicher Erträgniskoeffizienten eingetragen und zwar gesamthaft für die Dauer des ganzen Unternehmens vom November 1951 bis April 1952, bzw. für die Einzelfrontdurchgänge vom 27...31. Dezember 1951 und 10...13. Januar 1952. Die Erträgniskoeffizienten der Einzelfrontdurchgänge sind durch Vergleich mit den zuständigen 20jährigen Monatsmitteln von Dezember und Januar erhalten; sie müssen deshalb gegebenerweise kleinere Werte aufweisen als die Erträgniskoeffizienten einer langen Versuchsdauer mit mehreren oder vielen Frontdurchgängen. In den Fig. 3 und 4 ist zudem durch Anbringen einer stilisierten Flamme markiert, welche Bodengeneratorposten im Betrieb waren. Ferner ist durch eine gestrichelte Linie der Weg des Flugzeuggenerators eingezeichnet; die vom Flugzeug aus zerstäubten AgJ-Mengen sind aber verhältnismässig bescheiden. Schliesslich ist in Fig. 3 die Windrichtung zu Beginn und am Ende des Frontdurchganges angegeben. Es kann nicht abgesprochen werden, dass im Einzugs-, d. h. Zielgebiet und in seiner unmittelbaren Umgebung eine merkliche Steigerung der Regenmengen beobachtet worden ist, die wir mit grosser Wahrscheinlichkeit als das Ergebnis der Impfaktion bewerten müssen. Die beschriebene Erscheinung finden wir nicht nur in der Darstellung

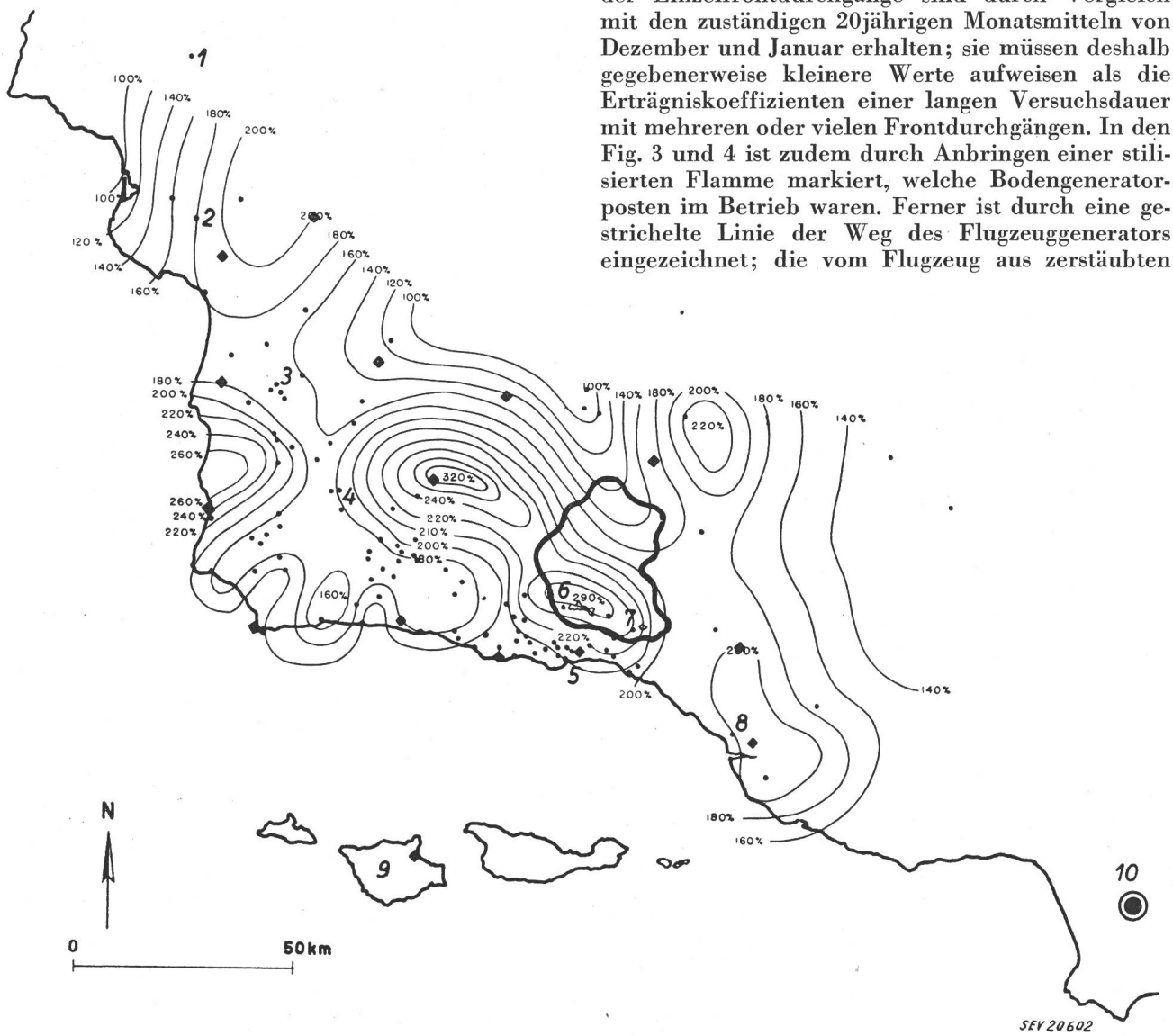

Fig. 2
Westküste Nordamerikas bei Santa Barbara mit Kurven gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
Gesamtniederschläge November 1951 bis April 1952
• Regenmeßstation
◆ Bodengenerator (ausser Betrieb)
—— 50% —— Kurve gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

des Ergebnisses der Gesamtversuchsdauer (Fig. 2), wo Erträgniskoeffizienten bis zu 300 % gemessen worden sind, sondern auch bei den Einzelfrontdurchgängen der Fig. 3 und 4. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass auch andere, hier nicht wiedergegebene Einzelfrontdurchgänge im grossen und ganzen ähnliche Bilder zeitigten.

Santa Maria. Es ist zu erwarten, dass die beiden Gebiete trotz ihrer Entfernung von ungefähr 60 km klimatisch noch so verwandt sind, dass die Streuung der Messwerte um eine gerade Mittellinie erfolgt, welche Mutmassung im Streudiagramm Fig. 5 in der Tat verwirklicht wird, mit Ausnahme des Streupunktes der Versuchsperiode 1951/52, in welcher die Impfungen stattgefunden haben. Die im Diagramm gestrichelt gezeichnete Gerade vergegenwärtigt die Lage der Punkte, die sich auf Grund einer Korrelationsrechnung für jene Messwerte ergeben, deren Inerscheinungtreten zufolge eines natürlichen Regenvorganges nur noch eine Wahrscheinlichkeit von 1 % zukommt. Wir entnehmen der Fig. 5, dass der Streupunkt der Periode 1951/52 sogar ganz wesentlich ausserhalb dieser 1prozentigen Korrelationsgeraden liegt, womit sich unsere

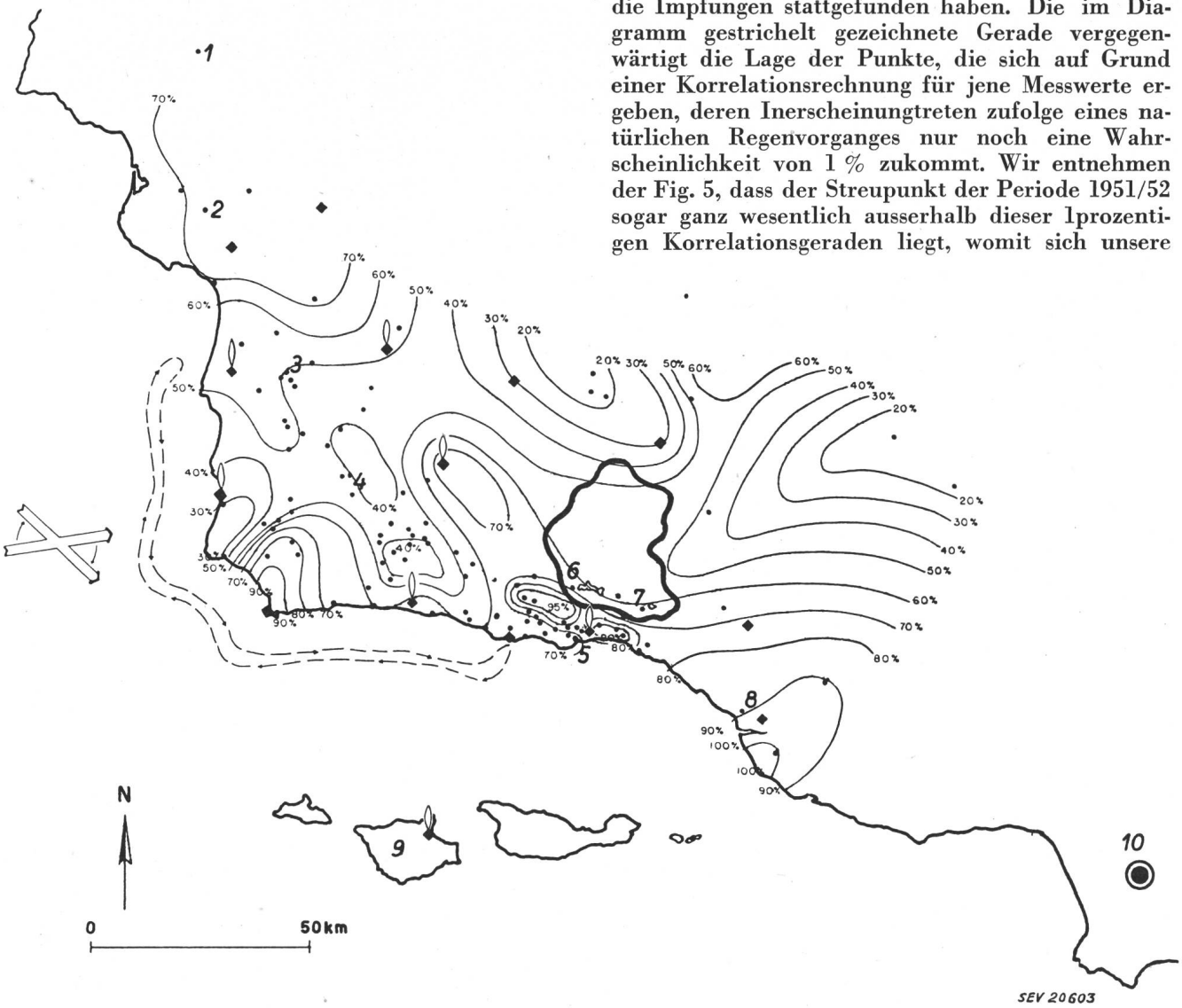

Fig. 3
Westküste Nordamerikas bei Santa Barbara mit Kurven gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
Niederschläge vom 27. bis 31. Dezember 1951

- Regenmeßstation
- Bodengenerator ausser Betrieb
- 50% Kurve gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
- Zwischen Anfang und Ende der Aktion herrschende Windrichtungen
- Bodengenerator im Betrieb
- Weg des Flugzeuggenerators

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Noch auffallender wird die Erscheinung, wenn wir die Verhältnisse in einem Streudiagramm darstellen, in welchem wir als Ordinate die Gesamtregenmenge, die von einer Regenmeßstelle des Einzugsgebietes, z. B. am Gibraltar-Dam, während der Regenperiode November–April in den letzten 20 Jahren pro Periode gemessen wurde, auftragen und als Abszisse dieselben Messwerte, jetzt aber von einer Regenmeßstelle des Kontrollgebietes, z. B. in

Vermutung noch weiter verstärkt, dass sich das Ergebnis als Folge der Impfaktion eingestellt hat und dass deshalb diese Impfaktion als erfolgreich zu betrachten ist. Wird die Regenmeßstelle des Zielgebietes am Rande oder sogar ausserhalb in seiner Nachbarschaft gewählt, so erhalten wir ein Streudiagramm, wie es Fig. 6 wiedergibt, und stellen fest, dass der Streupunkt der Periode 1951/52 jetzt direkt neben der Korrelationslinie liegt, was einer indirek-

ten Bestätigung unserer Aussage gleichkommt. Trotz all diesen Feststellungen haben wir uns aber stets zu vergegenwärtigen, dass es sich vielleicht dennoch um eine jener berühmten Zufälligkeiten der Statistik handelt, mit denen die Meteorologie bekanntermassen so reichhaltig aufwarten kann.

wird. Die im offiziellen Bericht wiedergegebenen Erträgnisdiagramme der Periode 1951/52 zeigen genau die gleichen positiven, charakteristischen Züge wie jene der besprochenen Santa-Barbara-Versuche. Es ist angebracht, an dieser Stelle auch auf die von Langmuir vorgeschlagenen, zum Teil noch laufenden Versuche hinzuweisen, in welchen vollständig unabhängig von der jeweiligen Wetterlage in strenger zeitlicher Periode Silberjodidimpfungen der Atmosphäre vorgenommen werden, wobei sich ergeben soll, dass die Periodizitäten sich in kennzeichnenden meteorologischen Messgrössen bis auf sehr grosse Distanzen (über 1000 km) bemerkbar machen sollen.

In Europa sind erstmals im Jahre 1952 ähnliche Impfoperationen zur Durchführung gelangt. Be-

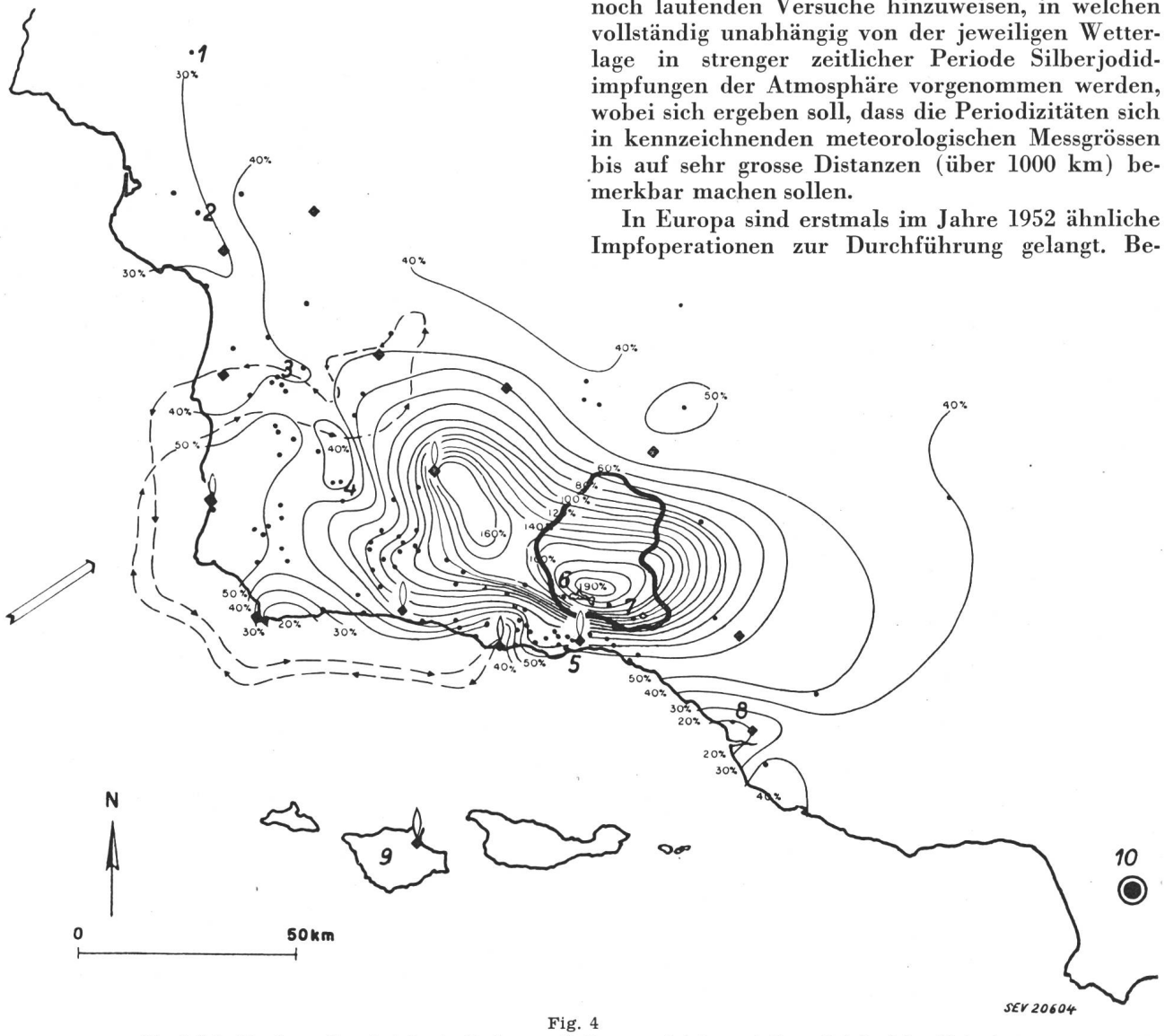

Fig. 4
Westküste Nordamerikas bei Santa Barbara mit Kurven gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
Niederschläge vom 10. bis 13. Januar 1952

- Regenmeßstation
- Bodengenerator ausser Betrieb
- 50% Kurve gleicher relativer Erträgniskoeffizienten
- Zwischen Anfang und Ende der Aktion herrschende Windrichtungen
- Bodengenerator im Betrieb
- Weg des Flugzeuggenerators

Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

Die gleiche Impfunternehmergruppe führt gegenwärtig auch Versuche in den Southern Cascades bei Medford/Oregon im Auftrag der California Oregon Power Company durch. Hier besteht das Ziel in erster Linie darin, durch Vermehrung der Niederschläge die Erzeugung elektrischer Energie zu fördern. Die Überprüfung des Impfergebnisses geschieht in genau gleicher Weise wie in der Santa-Barbara-Operation, nur dass statt der Regenmenge hier der Wasserwert der Schneedecke gemessen

sondere Erwähnung verdient vor allem die unter dem Direktor des Observatoriums Puy-de-Dôme (Universität Clermont-Ferrand), *H. Dessens*, geleitete Pyrenäen-Impfaktion, die in erster Linie zur Aufgabe hat, zu versuchen, im Gebiet südöstlich Bordeaux, einem ausgesprochenen Hagelgebiet, die Hagelbildung zu verhindern. Bei einer Gesamtzahl von ca. 50 geimpften Gewittern waren enttäuschenderweise noch drei Hagelschläge zu verzeichnen, allerdings mit verhältnismässig sehr geringen Schä-

den. Zu vermerken ist, dass Anzeichen vorliegen für eine leichte Vermehrung der Niederschläge im Versuchsgebiet, was unter Umständen bedeuten könnte, dass durch die Impfung der bei einer Hagelabwehr zu erstrebende überimpfte Zustand sich nicht überall restlos verwirklicht hat. Solange aber der

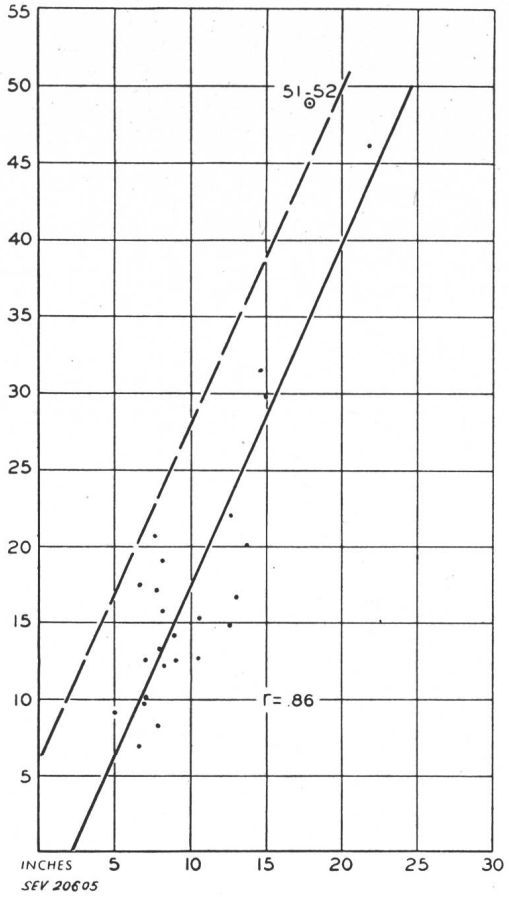

Fig. 5
Streudiagramm der Gesamtniederschläge November 1951 bis April 1952
Abszisse: Gesamtniederschläge in Paso Robles (Kontrollgebiet)
Ordinate: Gesamtniederschläge am Gibraltar-Dam (Zielgebiet)

offizielle Bericht der zuständigen amtlichen französischen Kommission nicht veröffentlicht ist, kann über die gemachten Erfahrungen nichts weiter ausgesagt werden. Das Gesamtergebnis wird jedenfalls von der Kommission so positiv beurteilt, dass der Versuch im Jahre 1953 mit vermehrten Mitteln wiederholt werden soll. Irgendwelche nachteilige Auswirkung auf die örtliche Wettergestaltung ist dabei sozusagen ausgeschlossen, da jede Impfung im grossen und ganzen zu einer Beruhigung des Wetterablaufs führt, die Gewittertätigkeit merklich vermindert und bisweilen ganz unterdrückt.

Auch in der Schweiz soll dieses Jahr unter der Obhut der Eidg. Kommission zum Studium der Hagelbildung und Hagelabwehr ein ähnlicher Abwehrversuch durchgeführt werden, und zwar im Gebiet der Magadinoebene. Es ist vorgesehen, auf den Höhenzügen, die das Versuchsgebiet umschliessen, ungefähr 10 Silberjodid-Bodengeneratoren aufzustellen, ferner einige Generatoren auf einer zweiten, äussern Linie, die zum Teil auf italienischem Territorium verläuft. Die notwendigen finanziellen Mittel werden vom Bund, d. h. der Abteilung für Landwirtschaft der Kommission zur Verfügung gestellt mit namhaften Zuschüssen des Kantons Tessin und zweier Privatunternehmungen, nämlich der Essagra A.-G. in Gordola und der Werkzeugmaschinenfabrik Oerlikon Bührle & Co. in Zürich. Die Mitwirkung dieser beiden Firmen besteht in erster Linie in der Bereitstellung von Material und Personal; die meteorologische Leitung des Versuches geschieht vom Osservatorio Ticinese der MZA aus. Auch wenn die Impfaktion für den alleinigen Zweck unternommen wird, die Möglichkeit einer wirksamen Hagelbekämpfung mit diesen neuartigen Mitteln zu prüfen, bringt sie anderseits der Schweiz das erste eigene umfangreichere Erfahrungsmaterial auf dem Gebiet der experimentellen Meteorologie, das gestatten wird, ein zuverlässigeres Bild als bis anhin über die Aussichten einer künstlichen Wetterbeeinflussung zu bilden und ihre von der Natur aus gesetzten Grenzen und innewohnenden Gefahren zu erkennen und abzuschätzen.

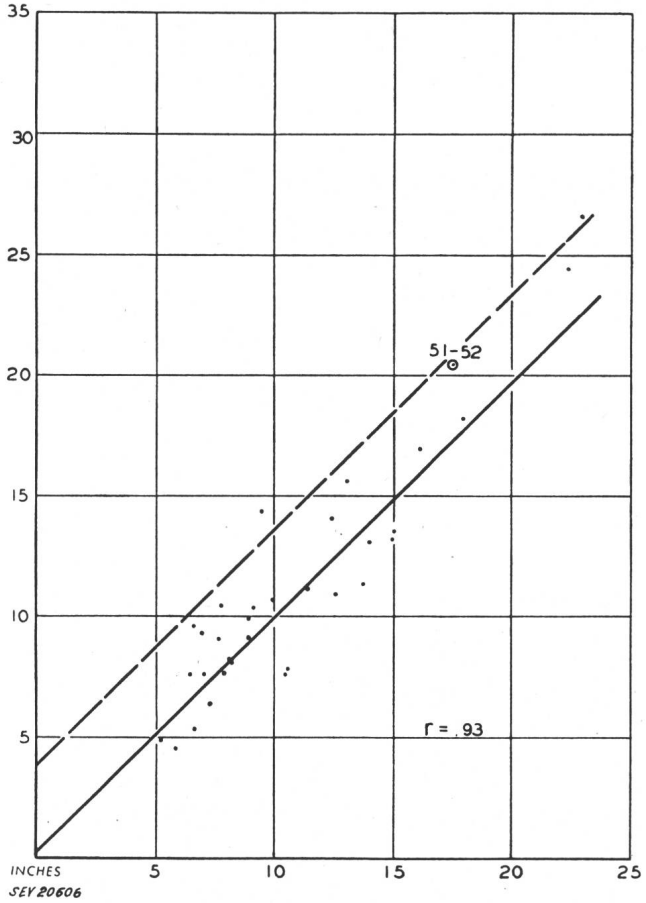

Fig. 6
Streudiagramm der Gesamtniederschläge November 1951 bis April 1952
Abszisse: Gesamtniederschläge in Paso Robles (Kontrollgebiet)
Ordinate: Gesamtniederschläge in Los Alamos (Nachbarschaft des Zielgebietes)

Zusammenfassend können wir aussagen, dass heute die Erfahrungen und Beobachtungen der experimentellen Meteorologie es keineswegs mehr zulassen, die Möglichkeit einer Wetterbeeinflussung, insbesondere einer Niederschlagsbeeinflussung aus unserer Gedankenwelt schlechthin auszuschliessen; im Gegenteil haben sich neue Gebiete der physi-

kalischen Experimentierkunst abzuzeichnen begonnen, die sowohl für die Landwirtschaft als auch für die allgemeine Wasser- und Elektrizitätsversorgung von massgebender Bedeutung sein können. Voraussetzung ist aber, dass man vorurteilsfrei, aber ausgerüstet mit der notwendigen fachtechnischen Kritik an die hier sich einstellenden neuen Probleme und Aufgaben herantritt und sich mit ihnen verantwortungsbewusst auseinandersetzt, um zu einem klaren und sichern Urteil über die wirtschaftliche Nutzung der neuen Methoden der experimentellen Meteorologie zu gelangen.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *R. Sänger*, ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 7/6.

Les fusibles et leur normalisation

Par *R. Widmer*, Genève

621.389.6 : 621.316.923

Exposé des diverses genres de coupe-circuit, étude mathématique de leur fonctionnement. Proposition d'une normalisation sur une base rationnelle.

Nach einem Überblick über die verschiedenen Arten von Sicherungen wird deren Arbeitsweise mathematisch untersucht und eine Normung auf rationaler Basis vorgeschlagen.

Préface

Les fusibles constituent un moyen de protection simple et économique des circuits électriques.

Ils permettent d'assurer une protection sélective suivant la puissance et les tensions des circuits, pour de faibles et fortes surcharges, y compris les courts-circuits.

La notion de normalisation doit se limiter à des généralités relatives au dimensionnement et aux caractéristiques de fusion. Une normalisation doit s'appuyer sur les lois physiques qui régissent les fusibles, en liaison avec les réalisations pratiques des constructeurs.

Les différents types de fusibles

Les coupe-circuit à fusibles peuvent se distinguer par leur principe de fonctionnement, par les manifestations extérieures, par les caractéristiques constructives des éléments de montage, de contact, de fixation des pièces de remplacement (cartouches ou fusibles), par le degré de protection et par les caractéristiques électriques.

Les catégories pratiques usuelles sont:

Suivant le montage

1. Montage saillant
2. Montage encastré dans panneau fixe
3. Montage encastré derrière panneau mobile

Les variantes de montages dans les coffrets, armoires, blindages, utilisent l'un ou l'autre des trois types ci-dessus.

Suivant le genre de construction

a) Fil fusible libre
b) Coupe-circuit à broches
c) Coupe-circuit à vis
d) Coupe-circuit à couteaux
e) Coupe-circuit à capsules

Le marché offre dans le détail une multitude de variantes de ces différents systèmes. La qualité des coupe-circuit réside dans les points suivants:

Contacts

Pression de contact suffisante assurant un minimum de chute de tension (chute de tension au contact très faible par rapport à celle de l'élément fusible).

Inaltérabilité de la qualité avec le temps (celle-ci est assurée avec les contacts en argent massif, ou munis d'un revêtement d'argent).

Contribution à l'échauffement minimum (l'échauffement doit provenir essentiellement des éléments fusibles; il est inévitable puisqu'il constitue leur principe même de fonctionnement).

Prises de courant

Largement dimensionnées pour assurer une conductibilité — électrique et thermique — convenable. Fixation stable des conducteurs.

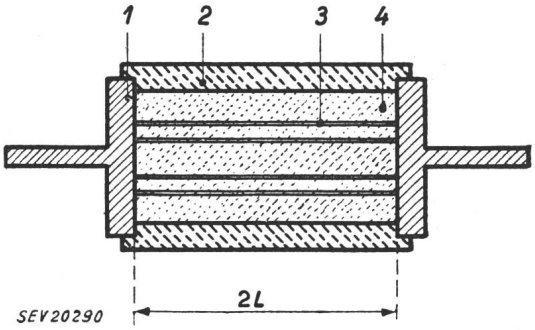

Fig. 1

Coupe d'une cartouche fusible à fusion enfermée

1 couteau-prise de courant; *2* corps de la cartouche; *3* fil fusible; *4* silice

Socles ou boîtiers

Robustes et d'une isolation diélectrique suffisante. Ventilation uniforme pour assurer un comportement et des caractéristiques identiques des éléments fusibles, dans les différents montages. (En effet, un fusible retardé ne doit pas devenir rapide parce qu'enfermé dans un boîtier étanche.)

Eléments de remplacement

Seuls les éléments de remplacement que nous appelons généralement fusibles seront considérés dans la suite. Nous distinguons alors:

A. Les fusibles à l'air sur un support ou dans une gaine ouverte à l'air
B. Les fusibles enfermés à remplissage liquide
C. Les fusibles enfermés à remplissage solide