

# Fachtagung: Hagelabwehr

Silberiodid

Eigenschaften, Handhabung und  
Auswirkungen auf die Umwelt



# Waldemar Mzyk



Recycling

Ordnungszahl von Iod

**REC 53** GmbH  
Friedrichstraße 3  
71679 Asperg

# Themen des Vortrages



- Rec53 GmbH als Lieferant von Silberiodidlösungen
- Silber und seine Verbindungen
- Silber in der Umwelt
- Toxikologische und ökotoxikologische Wirkung von Silber
- Silberchemie bei der Wolkenimpfung
- Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Wolkenimpfung
- Arbeitssicherheit im Umgang mit Silberiodid-Lösungen
- Anregungen, Ideen, Fragen, Diskussion

# Silber Ag (Argentum) physikalische Eigenschaften



- Schmelzpunkt: 960,5 °C
- Siedepunkt: 2163 °C
- Dichte: 10,49 g/cm<sup>3</sup>  
Fe-7,8; Cu 8,9, Au-19; Pt, 21
- Einer der besten elektrischen Leiter



# Silber (Ag)

## chemische Eigenschaften

- Gehört zu den Edelmetallen deshalb sehr beständig und reaktionsträge
- Keine Reaktion mit Sauerstoff auch nicht bei höheren Temperaturen
- Löslich nur in oxidierenden Säuren ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ ) aber unlöslich in KöWa
- Stabil gegen Alkalien
- Wird durch Schwefelwasserstoff angegriffen, schwarzer Belag an Silberwaren

# Silbervorkommen



- Sowohl in gediegenem Zustand als auch in zahlreichen Erzen
- Begleitmetall der Kupfer, Blei, Zink- Erze
- 0,0000079% in der Erdkruste
- 20mal häufiger als Au
- 700mal seltener als Cu
  
- Weltweite Produktion 23.300t (2011)

# Silber



## die wichtigsten löslichen Verbindungen

- AgNitrat
  - AgNitrit
  - AgSulfat
  - AgFluorid
- 2160g/l (20°C)
  - 3,7g/l(20°C)
  - 8g/l (25°C)
  - 1850g/l(15,5°C)

# Silber



## schwerlösliche Verbindungen

- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| • AgCl                            | • 0,0019g/l (25°C)        |
| • AgBr                            | • 0,00014g/l(25°C)        |
| • AgJ                             | • 0,00003g/l(25°C)        |
| • Ag <sub>2</sub> S               | • 0,000000000000000006g/l |
| • AgOH, Ag <sub>2</sub> O         | • 0,02g/l                 |
| • Ag <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> | • 0,017g/l                |
| • AgCN                            | • 0,000001g/l             |
| • AgCO <sub>3</sub>               | • 0,035g/l                |

Bildet unter Überschuss an Anionen zahlreiche gut lösliche  
Komplexverbindungen (z.B Dicyanoargentat, Verwendung in der Galvanik)

# Silber in der Umwelt



Der mittlere Gehalt von Silber in der  
Erdrinde (0-40km) beträgt:

**0,2mg/kg**  
**0,0002g/kg**

Quelle: Umweltbundesamt Schrift 43/08

# Silber in der Umwelt



## Aquatisch

determiniert durch die Dissoziation/Löslichkeit der Ag-Verbindungen

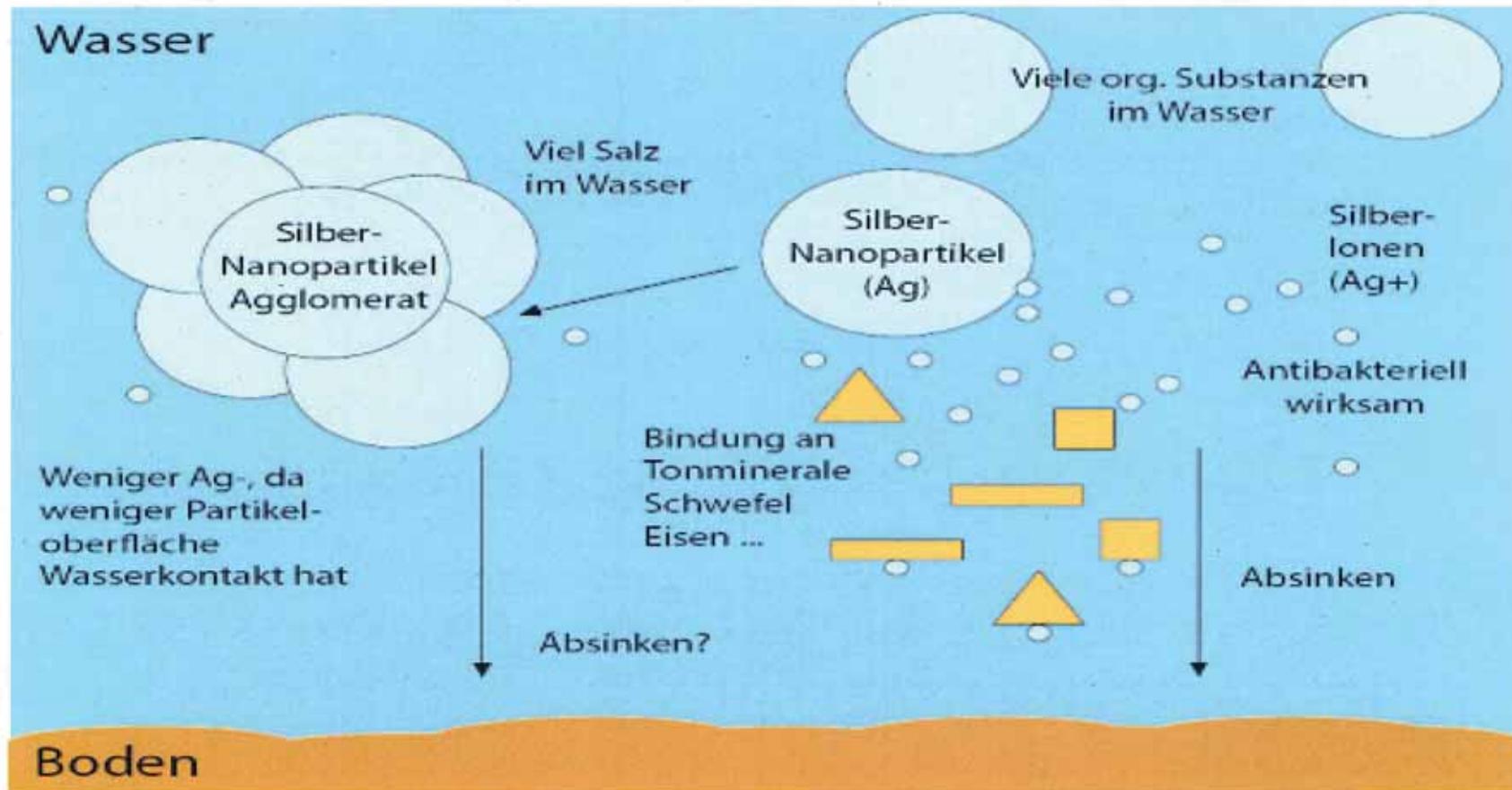
**Oberflächengewässer** 0,0004-0,0012mg/l  
**Schwebstoffe/Sedimente im Gewässer** 0,06-2,9mg/l

**Meerwasser** 0,00002-0,0001mg/l

**Grenzwert im Abwasser 0,1mg/l** AbwV Anh. 40  
Klärschlamm einer KKA enthält ca. 35-50mg/kgTS

**Grenzwert im Trinkwasser 0,01mg/l**

# Silber im Gewässer



*Schematische Darstellung des Verhaltens von Silber in der Umwelt.*

<http://www.nanopartikel.info/nanoinfo/materialien/silber/verhalten-silber/906-verhalten-in-der-umwelt>

# Silber in der Luft



Keine Gasemissionen, nur als Staub relevant  
Keine spezifischen Grenzwerte für Ag an der  
Emissionsquelle

- TA-Luft (nur als Gesamtstaub)  
**20mg/m<sup>3</sup> oder 200000mg/h (0,2kg/h)**
- 17BImSchV-Abfallverbrennungsanlagen Gesamtstaub  
**5mg/m<sup>3</sup>**
- Grenzwert (Arbeitsplatz, MAK) **0,1mgAg/m<sup>3</sup>**

# Antropogene Silberemissionen in die Umwelt

Der jährliche Silberverlust an die Umwelt durch industrielle Abfälle ohne Silberrecycling wird auf **18.360t** für 2006 geschätzt

Ca. 68% des jährlichen Silberflusses

Fotoabfälle, Zahnfüllungen, Elektronikschrotte, Münzen, Abwässer, Batterien.

## Silberrecycling 5500t

Quelle: Handbuch der Umweltgifte 6/2006 Studie von Smith und Carson

# Silber in der Nahrungskette

- Pflanzen 0,006 bis 0,28 mg/kg
- Pilze und Bakterien 29-210 mg/kg
- Mehl 0,3mg/kg
- Milch 0,025-0,05mg/kg
- Fleisch (Lamm, Schwein, Rind) 0,004-0,02mg/kg
  
- Aufnahme pro Tag max. 0,1mg
- Resorption 10%
- Anreicherung im Gewebe

Quelle: Handbuch der Umweltgifte 6/2006

# Toxikologie



- Silber begleitet den Menschen seit tausenden von Jahren, der älteste Fund ist auf ca. 4500 v.Ch. datiert.
- Silber in seiner metallischen Form ist für Pflanzen und Tiere nicht giftig.
- Silber ist kein essentielles Element

# Giftigkeit von Silber



- Das Silber-Kation  $\text{Ag}^+$  aus löslichen Salzen ist sehr reaktiv und bindet sich an organisches Material.
- Durch die hohe Affinität zum Schwefel und Bildung von schwerlöslichen und sehr stabilen S-Verbindungen ist  $\text{Ag}^+$  in der Lage z.B. Proteine zu inaktivieren und Zellen zu zerstören
- Da  $\text{Ag}^+$  nur im wässrigen Medium existiert ist die aquatische Toxizität sehr hoch.

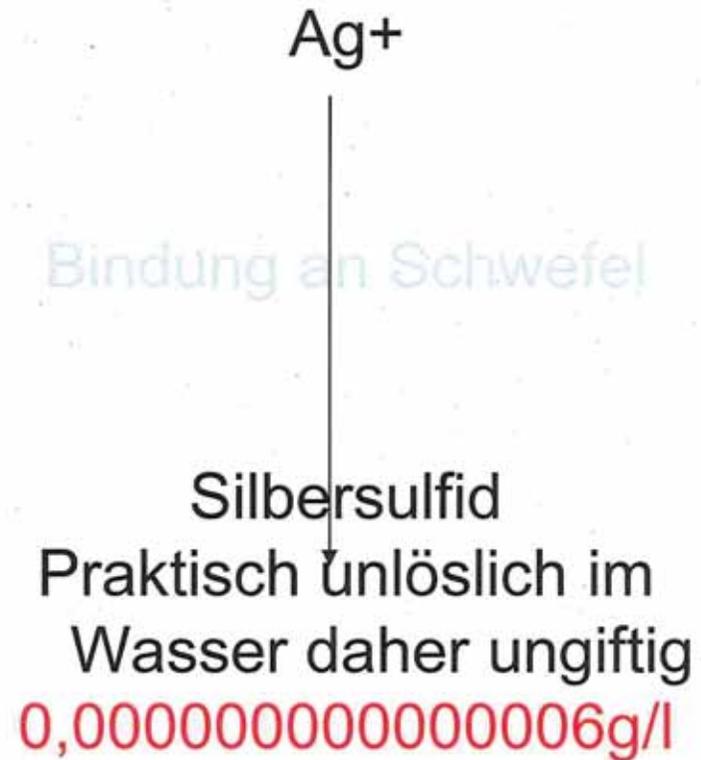
# Toxizität von $\text{Ag}^+$ auf Mensch und Tier

- Salze und Lösungen wirken Ätzend/Reizend (früher Lapis infernalis, höllischer Stein zur Warzenbehandlung.)
- Atmungsorgane können beim Einatmen von Staub dauerhaft geschädigt werden
- Kein Allergen, Sensibilisierung sehr selten
- Chronische Toxizität: Argyrose, braune irreversible Verfärbung des Gewebes, keine Beschwerden, kosmetisches Problem.

# Ökotoxizität

- Nur als  $\text{Ag}^+$  in Lösung relevant.
- Hohe Selbstreinigung der Biosphäre durch Immobilisierung an überall vorhandenen silberbindende Materialien: Biomasse, Schwefelverbindungen, Chloride, Tone.
- Ökotoxische Auswirkungen nur akut und kurzzeitig, schnelle Überführung in nicht toxischer Formen.

# Immobilisierung



# Silberchemie in den Wolken

Status Quo:

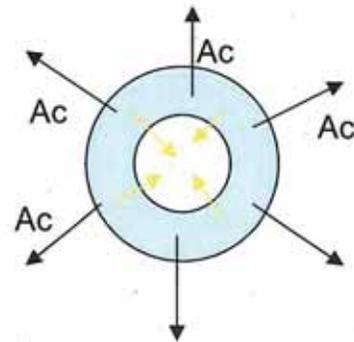
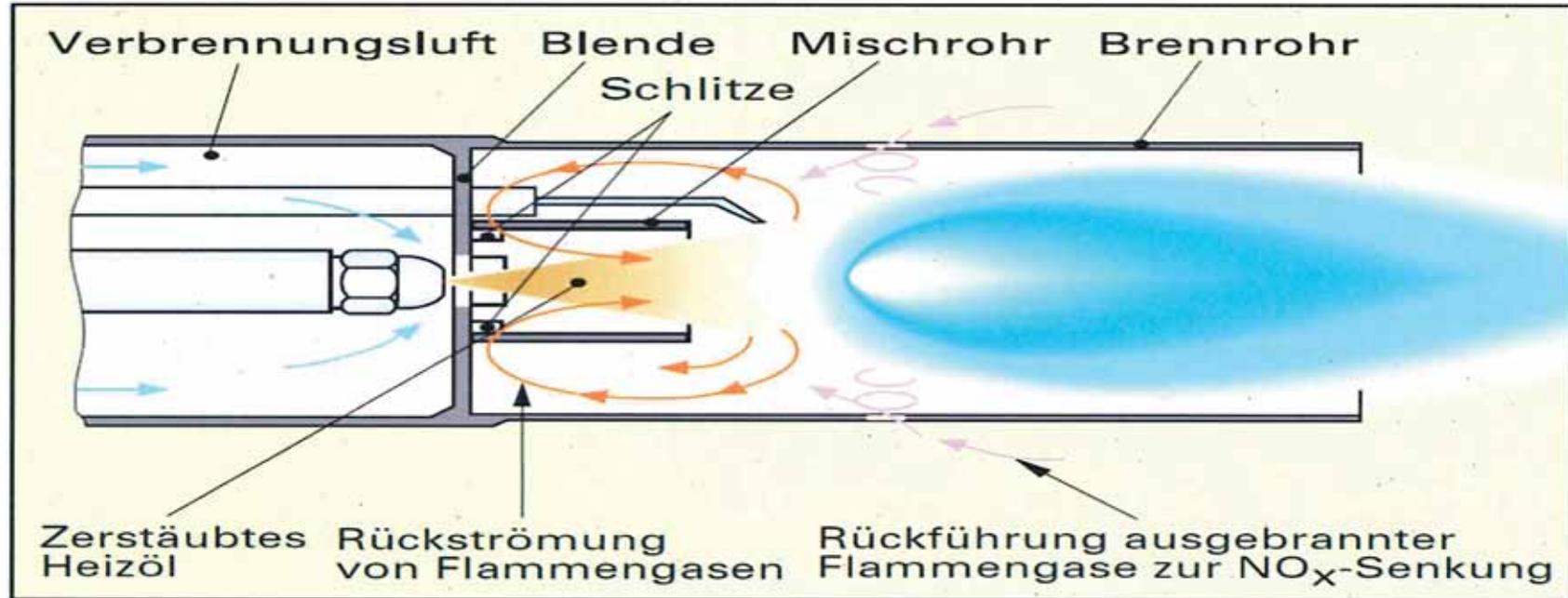
- Silberiodid gelöst in verschiedenen organischen Lösemitteln wird in einer Vorrichtung verbrannt.
- Der Verbrennungsrückstand wird mit der Thermik in die Wolke getragen

# Silberchemie in den Wolken

- Was passiert bei der Verbrennung



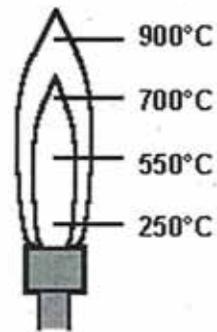
# Der Brenner



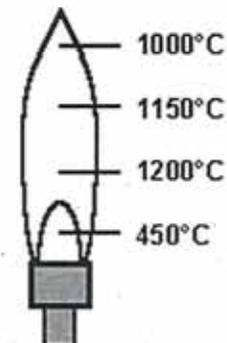


# Flamme

- Temperaturen in der Flamme



leuchtende Flamme



nicht leuchtende Flamme

# Silberiodid in der Flamme

- Schmelzpunkt  $552^{\circ}\text{C}$
- Reagiert mit Oxidationsmitteln  
NO<sub>x</sub>, Sauerstoff → Zerfall zum Jod und Silber/Silberoxid
- Reagiert mit Reduktionsmitteln  
CO, C, SO<sub>2</sub> → Silber

# Silberiodid in den Schwarzpulversystemen

- Schwarzpulver Kohle (C), Schwefel(S), Kaliumnitrat (KNO<sub>3</sub>)
- Temperatur bis ca. 2300°C
- Reaktionsprodukte CO, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>
- Kann Silberiodid wirklich die Bedingungen überleben???

# Silberiodid in der Wolke

Falls  $\text{AgI}$  die Flamme überleben sollte:

$\text{AgI}$  löst sich partiell im Tropfen und dissoziiert zum  $\text{Ag}^+$  und  $\text{I}^-$  und kann durch Reduktionsmitteln aus der Luft  $\text{SO}_2$ , Ameisensäure, zum Silber reduziert werden

$\text{AgI}$  ist lichtempfindlich und wird durch UV und harte Strahlung gespalten es entsteht Silber und Iod .

$\text{AgI}$  reagiert mit  $\text{H}_2\text{S}$  in der Wolke und bildet das sehr schwerlösliche Sulfid (wenig wahrscheinlich da wenig  $\text{H}_2\text{S}$ )

# Ökologische Auswirkung der Wolkenimpfung

Es ist sehr fraglich ob Silberiodid nach dem Einsatz überhaupt abgeregnet wird.

Das was unten ankommt ist höchstwahrscheinlich metallisches Silber das nicht toxisch ist.

Ist das was abgeregnet wird überhaupt messbar?

# Was kommt unten an

- **Gewittergröße (Cumulonimbus)**  
**10km Höhe und einem Gehalt von min.1g/m<sup>3</sup>**
- **5 \* 5 km Fläche**, Abgeregnete Wassermenge 30l/m<sup>2</sup>
- 5000m\*5000m\*30l=750.000.000 Liter
- 100l 6% AgJ Lösung → 6kgAgJ
- Konzentration 6000gAgJ/750.000.000  
= **0,000008g/l → 0,008mg/l**
- Silbergehalt im Boden 0,2mg/kg
- Trinkwasser 0,01mg/l



# Fazit

- Der Einsatz von Silber/Silberiodid zur Hagelabwehr hat einen Silbereintrag in den Boden zu Folge, der um Faktor 25 kleiner als die ubiquitäre Konzentration im Boden ( 0,2mg/kg)
- Die Emission von Iod/Iodid kann sogar als erwünscht betrachtet werden da Iod ein wichtiges Spurenelement ist.



# Einsatzlösungen

Bestehen im allgemeinen aus:

- Silberiodid gelöst in einem oder mehreren brennbaren Lösungsmittel (z.B. Aceton, DMSO )
- Komplexbildner zur Verbesserung der Löslichkeit von Silberiodid
- Weitere Zusatzstoffe

(Aufgabe nicht ganz nachvollziehbar z.B Dichlorobenzol, Salze mit oxidierendem Charakter, Ammoniumsalze )

# Silberiodid



## Umgang:

**Gefahrstoff**, Gewässergefährdend, akut Kat. 1;  
H400- sehr Giftig für Wasserorganismen  
Gewässergefährdend chronisch Kat. 1;  
H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit  
Langzeitwirkung

## Gefahrgut Transport

UN-Nr. 3077 Umweltgefährdende Stoff n.a.g  
Klasse 9  
Verpackungsgruppe: III (geringe Gefährlichkeit)



# Agl-Lösungen

- Hier muss neben Silberiodid auch das Lösungsmittel berücksichtigt werden
- Beispiel: Aceton ist nur wenig toxisch aber dafür leichtentzündlich.
- **Bildet mit Luft Explosionsfähige Gemische**
- Umgang vergleichbar mit Benzin/Kerosin  
Das Sicherheitsdatenblatt ist zu beachten.



# Produkt von REC 53 GmbH

- Unsere 3/6%-ige Einsatzlösung besteht nur aus Aceton, Silberiodid und Natriumiodid mit garantierter Chemikalienqualität.
- Unser Produkt ist lagerstabil und zersetzt sich in Originalverpackung auch über Jahre nicht.
- Natriumiodid ist kein Gefahrstoff, wirkt im Aceton als Komplexbildner und verbessert u.U die Benetzung der Kondensationskeime
- Silberiodid wird in eigener Anlage hergestellt.
- Qualitätskontrolle in eigenem Labor, Zertifikat.
- Andere Rezepturen auf Anfrage!

# Verbesserungspotential

REC 53 hat keine Möglichkeit die Impflösungen auf ihre Wirksamkeit zu testen, aus unserer Sicht gilt aber:

- Aus den vorherigen Überlegungen ist bekannt, dass die Wirkung von der Anzahl und der Beschaffenheit der Kondensationskeime abhängig ist. Diese hängt ursächlich mit der Verbrennungstechnik zusammen. (gute Verdüsung, keine Agglomeration usw.)
- Die Zusammensetzung des Lösungsmittels kann aufgrund der vollständigen Verbrennung **keine** nennenswerte Auswirkung haben.
- Durch Zusatzstoffe die bei der Verbrennung einen Rückstand bilden, kann die Beschaffenheit der Keime beeinflusst werden.

?



- Warum gerade Silberiodid ?
- Während man in D dem Einsatz zur Hagelabwehr sehr skeptisch gegenüber steht, werden weltweit Tonnen von Silberiodid zur Schnee- und Regenerzeugung erfolgreich eingesetzt.

Siehe dazu Artikel „Regenmacher im Aufwind“ **Spektrum**

REC 53 GmbH



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

Fragen?

# Wetterbeeinflussung in North Dakota

Organisation und Bewertung

Darin Langerud, NDARB Direktor  
Reutlingen, 19 März, 2015

# Agenda

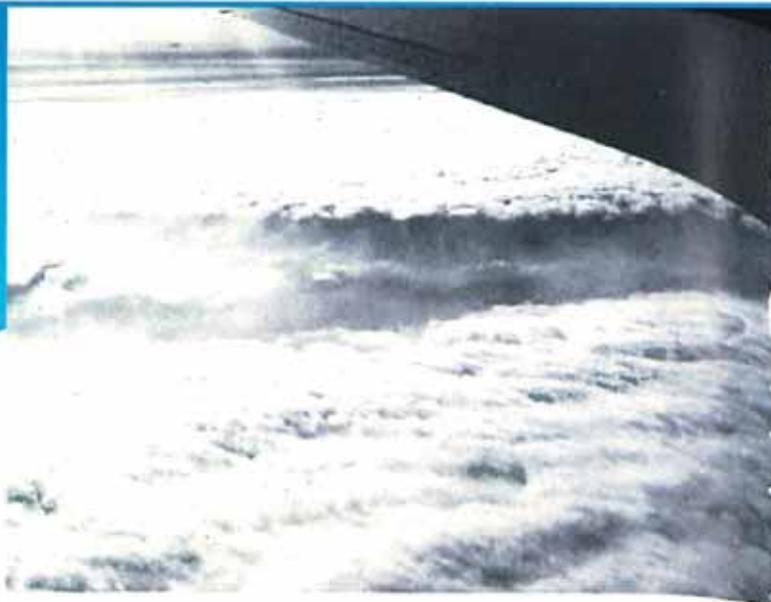
- \* Historie der Wetterbeeinflussung in North Dakota
- \* Projekt Bewertung und Nutzen
- \* Einwicklung und Forschung
- \* Wetterbeeinflussung im Westen der USA
- \* Schlussfolgerungen



# Historie der Wetterbeeinflussung

- \* Grundlegende Entdeckungen am GE Forschungslabor in Schenectady, NY unter Aufsicht von Nobel Laureate Dr. Irving Langmuir, 1946
  - \* Dr. Vincent Schäfer fand heraus, dass Trockeneis zur Eiskeimbildung verwendet werden kann
  - \* Dr. Bernard Vonnegut hat herausgefunden, dass Silberjodid ähnliche Eigenschaften aufweist
- \* Projekt Cirrus, 1947
  - \* Zusammenarbeit zwischen GE, US Army Signal Corps, Office of Naval Research und US Air Force





**Pl.259** Two lines cut through a deck of supercooled clouds, using dry ice fragments dispensed at rate of about 1 kg/km. Thin veils of ice crystals remain in seeded area but most have fallen.

**Pl.260** An extensive hole cut through cloud deck shown above. This opening developed in about 40 minutes and remained open for several hours. New clouds are starting to form in cleared area.



**Pl.261** A solid deck of supercooled clouds seeded with burning pellets of charcoal containing silver iodide. The nuclei in the smoke converted mile-wide strips of cloud to ice crystals.

**Pl.262** The same area as shown on Plate 261, from the other end of the seeded field about 10 minutes later as the ice crystals settled out of the cloud to produce lines of virga below cloud base.



# Wolken Impfung in N.D.

- \* Erste Impfversuche in 1948
- \* Projektbereiche wurden definiert, Impfen mit Bodengeneratoren in 1951
- \* Ab 1960 wurden bevorzugt Flugzeuge zum impfen eingesetzt
- \* Seit 1961 wird ununterbrochen geimpft
- \* ND Beirat Wetterbeeinflussung, Regelwerk durch das Bundesland in 1975



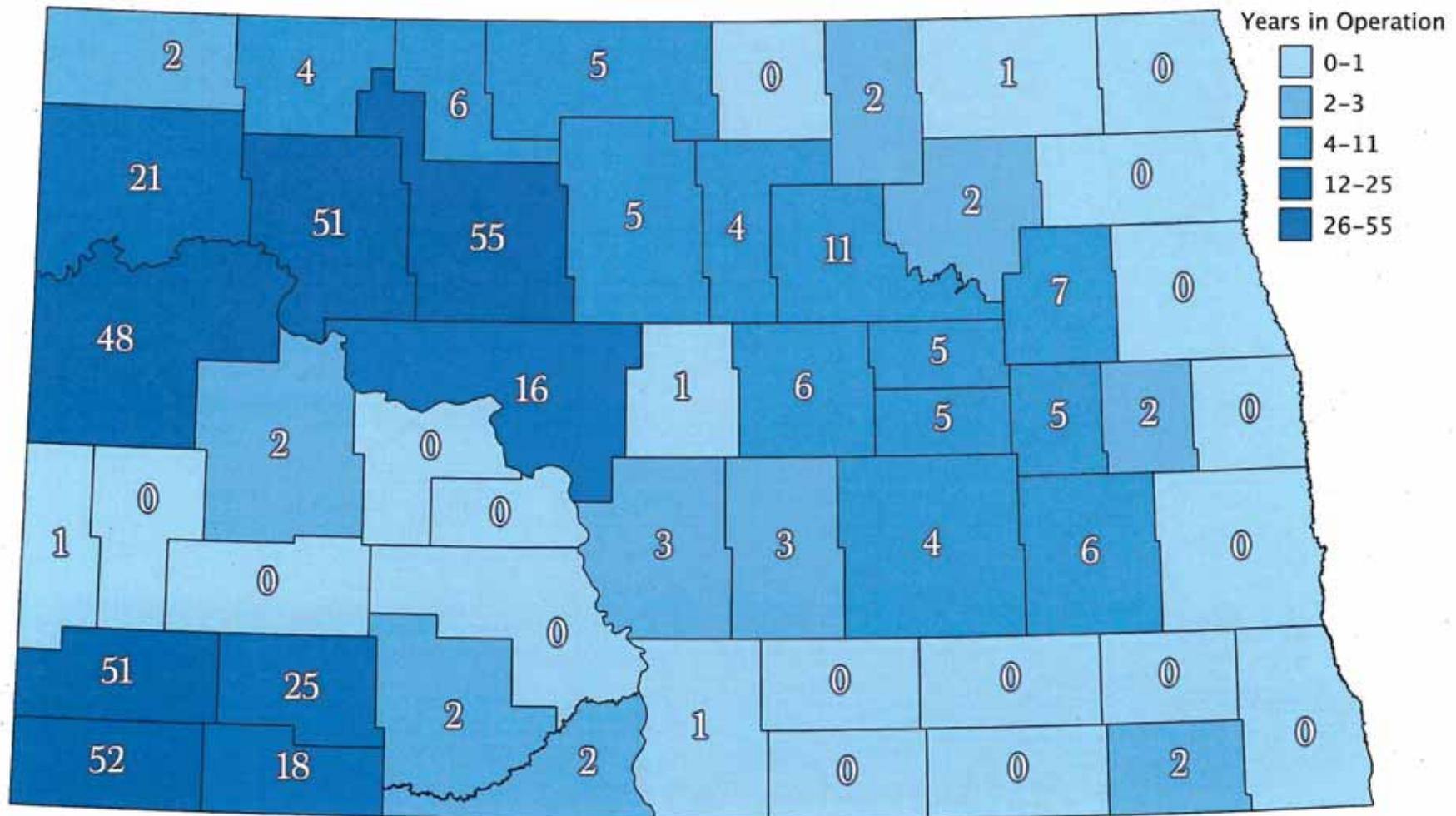
# Organisationen zur Wetterbeeinflussung

- \* N.D. Landesgesetz erlaubt den Landkreisen oder auch landkreisübergreifend die Teilnahme an dem Impfbetrieb
- \* Beiräte zur Wetterbeeinflussung sind lokale Organisationen, welche die Teilnahme der Landkreise an der Maßnahme regeln
- \* ARB arbeitet mit den Landkreisen zusammen um den Impfbetrieb durchzuführen und um die Finanzierung sicherzustellen
  - \* Fachlicher Beirat unterstützt bei der Vorbereitung zum Impfbetrieb.





# North Dakota Cloud Seeding History, 1951-2013



# ND Pilot-Projekt 1969-72

- \* AgI Impfmaßnahme im Rahmen eines Forschungsprojektes im Landkreis McKenzie durchgeführt (3:1 zufällige Anordnung)
- \* Datensammlung: 67 Regenmessgeräte in einem 2,750 mi<sup>2</sup> (7,122 km<sup>2</sup>) großen Gebiet, Radarbeobachtungen
- \* Ergebnisse Regenfall– Dennis et al., 1975
  - \* Steigerung der Regenniederschläge mit Faktor 2,1 bei ausgewählten Regenmessgeräten (p-Wert 0,04)
  - \* Steigerung durchschnittlicher Regelfall pro Regenereignis mit einem Faktor von 1,7 (p-Wert 0,02)
  - \* Steigerung der gesamten Regenmenge für das Zielgebiet (Wert 0,07)
  - \* Veranschlagte mögliche Steigerung des Regenfalls bis zu 1 Inch (2.5 cm) pro Wachstumssaison

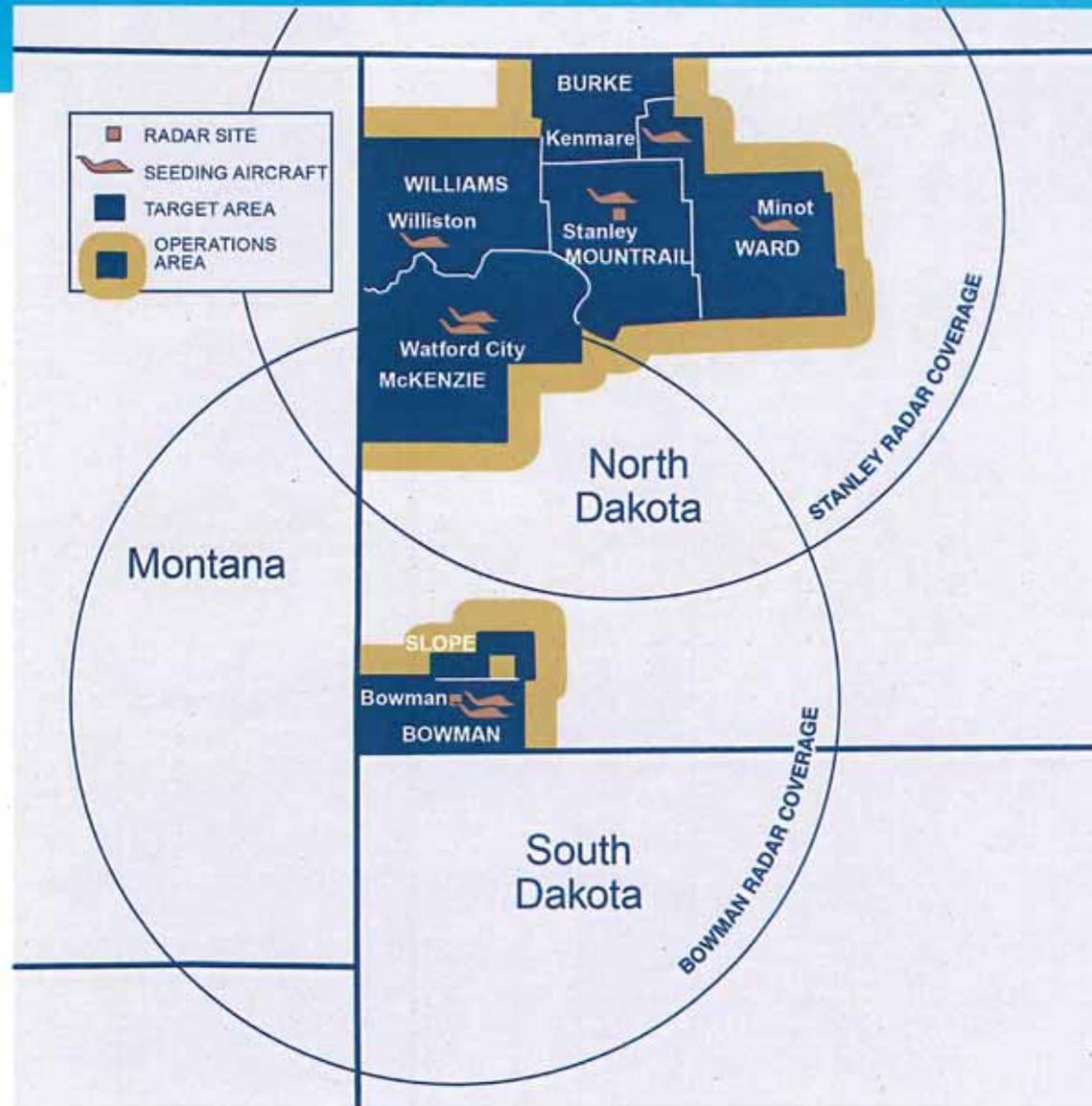


# ND Pilot-Projekt 1969-72

- \* Ergebnisse für die Hagelabwehr– Miller et al., 1975
- \* Ergebnisse waren statistisch nicht signifikant, aber im positiven Bereich
  - \* Verhältnis zwischen Regenfall und durchschnittlicher Hagelenergie, war größer an Tagen mit Impfvorgang als an Tagen ohne Impfvorgang.
  - \* Die Verluste der Hagelversicherung waren an Tagen mit Impfvorgang niedriger als an Tagen ohne Impfvorgang.
  - \* Fallbeispiele von 34 Gewitter zeigen, dass es meistens keine Hagelschäden gab, wenn die Aufwindzone vor den Gewittern an der Wolkenbasis ununterbrochen geimpft wurde.



# NDCMP Projekt Bereiche



# Praktikums Programm

- \* Formale Pilotenausbildung für die Wetterbeeinflussung in USA.
  - \* Absichtserklärung (MOU) mit UND J.D. Odegard School of Aerospace Sciences
  - \* 4 anrechenbare Kurse in die Wissenschaft der Wetter Beeinflussung und Betrieb
  - \* Flugerfahrung, Berechtigung für mehr motorige Flugzeuge erforderlich
  - \* 9 Praktikanten beginnen als Co-Piloten jeden Sommer.
- \* Seit 1975 wurden 343 Praktikanten Co-Piloten ausgebildet
- \* Meteorologen Praktikanten Programm wurde 1996 ins Leben gerufen – bis heute 44 Teilnehmer



# Programm Bewertung

- \* Hagelreduzierung
  - \* 45% Reduzierung von Hagelschäden, Smith et al., 1997
  - \* Überwachung und Analyse von Hagelversicherungsdaten
  - \* Historische T/C Verbindung vor der Hagelbekämpfung zeigt fast die gleiche Schadensquote.
  - \* Analyse der ersten 13 Programmjahren des NDCMP (1976-88) zeigt eine 45% geringere Schadensquote für die Impfgebiete gegenüber historischen Zusammenhang
- \* Unabhängige Analyse durch NoDak Mutual Versicherung
  - \* 7 Jahres interne Studie zeigt \$77 in bezahlten Schadensforderungen pro \$100 Versicherungswert über das Bundesland; Im Schutzgebiet sind die Zahlen \$44 an bezahlten Schadenforderungen pro \$100 Versicherungswert: 43% geringer



# Programm Bewertung

- \* Regengewinnung
  - \* 5-10% Steigerungen
  - \* Mehrere Studien in den letzten 40 Jahren
  - \* Neuste Studie zeigt eine Steigerung um 4,2-9,2% im Impfgebiet und dem Gebiet welches unmittelbar daran grenzt – Wise in 2005
- \* Ernteertrag
  - \* 5.9% mehr Ertrag im Weizenanbau - Smith et al., 1992



# Wirtschaftliche Studie -2009

- \* Durchgeführt durch Bangsund und Leistriz (NDSU), 2009
  - \* Verwendung von durchschnittlichem Ernteertrag, Preise und durchschnittlichen Hagelschäden pro Landkreis, 1998-2007
  - \* Berechnete Wirtschaftlichkeit für Regenverbesserung 5 & 10%
  - \* Berücksichtigt die Preisschwankungen für relevanten Ernte in einer Landesweiten Analyse.
  - \* Aktuelle Liste top 8 Ernten (pro Anbaufläche)
- \* Studie in zwei Teilen durchgeführt:
  - \* NDCMP Bewertung Zielgebiet
  - \* Hypothetisch bundeslandweite Bewertung



# Grenzbereiche der Studie

- \* Bewertung inkludiert die acht wichtigsten Pflanzenarten plus alfalfa. Diese repräsentieren 86% der bundeslandweiten Anbauflächen.
  - \* Ernten mit hohem Wert wie zum Beispiel Kartoffeln und Zucker sind nicht berücksichtigt.
- \* Keine Abschätzung von möglichen geringeren Gebäudeschäden durch die Hagelabwehr sind berücksichtigt worden.
  - \* Wir haben es nicht geschafft passende Datensätze für eine Bewertung von Gebäudeschäden zu finden.
- \* Der Wert der gestiegenen Futtermittel von den Weiden für die Rinderproduktion ist nicht berücksichtigt.



# Ergebnis (\$Millionen)

Bei 5% mehr Regen	Angeplan zte Äcker	Wert für Hagelver meidung	Wert für Regenver besserung	Kombinier ter direkter Einfluss	Gesamtes Volumen
Totals	2,3	\$3,7	\$8,4	\$12,0	\$37,1
Bei 10% mehr Regen	Angeplan zte Äcker	Wert für Hagelver meidung	Wert für Regenver besserung	Kombinier ter direkter Einfluss	Gesamtes Volumen
Totals	2.3	\$3,7	\$16,0	\$19,7	\$60,5



# NDCMP Ergebnis/Kosten Verhältnis

- \* 2009 NDCMP Kosten: \$731.000
- \* Ergebnis/Kosten Verhältnis für die landwirtschaftliche Produktion
  - \* 5% Szenario: **16.4:1**
  - \* 10% Szenario: **26.9:1**
- \* Ergebnis/Kosten Verhältnis für das Gesamtergebnis
  - \* 5% Szenario: **50.7:1**
  - \* 10% Szenario: **82.8:1**



# Ergebnis Zusammenfassung

- \* Wirtschaftlichkeit des NDCMP stark im positiven Bereich
  - \* Direktes jährliches Ergebnis \$12M - \$19,7M
  - \* Gesamtergebnis jährlich \$37,1M - \$60,5M
- \* Bundeslandweiten Ergebnisse sind auch beeindruckend
  - \* Direktes jährliches Ergebnis \$95,4M - \$134,5M
  - \* Gesamtergebnis jährlich \$293,7M - \$414,2M
- \* Schätzungen sind konservativ
  - \* Der Fokus liegt bei der landwirtschaftlichen Produktion. Es wurde keine Bewertung für geringere Gebäudeschäden durchgeführt.
  - \* Preiseffekte sind berücksichtigt
- \* Sogar ein kleine Erhöhung des Niederschlags kann eine großen Einfluss auf das Ergebnis haben

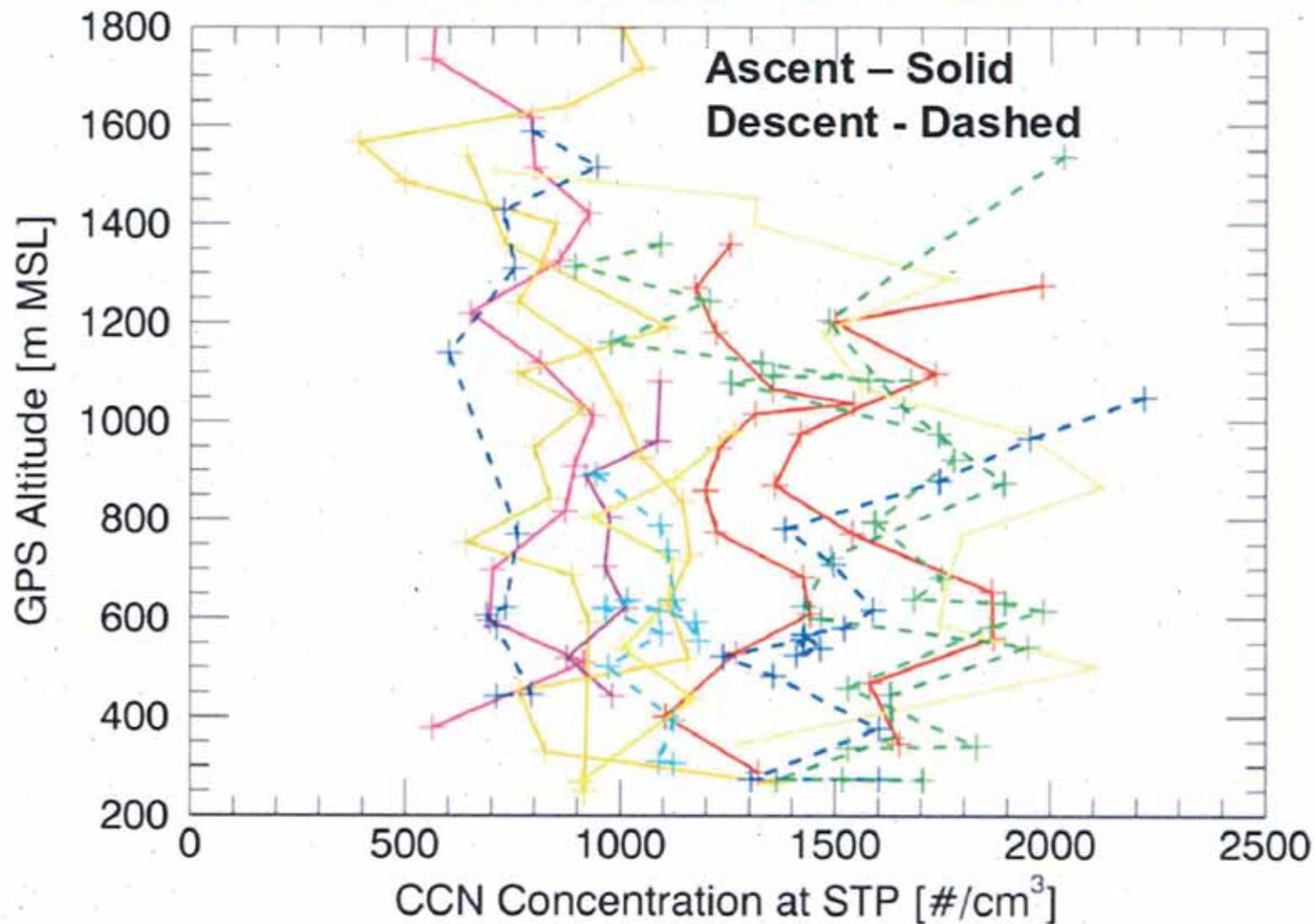


# Forschungen zum Hygroskopischen Impfen

- \* Polarimetric Wolkenanalyse und Testimpfung (POLCAST)
  - \* Hygroskopisches Impfen nach dem Zufallsprinzip Forschungs-Experiment
  - \* Projekte in 2008, 2010 und 2012
- \* Ziel: Eine Machbarkeitsbewertung von hygroskopischen Impfen an der Wolkenbasis in N.D.
  - \* Impfen mit Flugzeugen und Fackeln an der Wolkenbasis
  - \* Partikel in der Luft und CCN Messungen
  - \* Dual-Pol Radar Messungen
  - \* Partikel an der Erdoberfläche und CCN Messungen

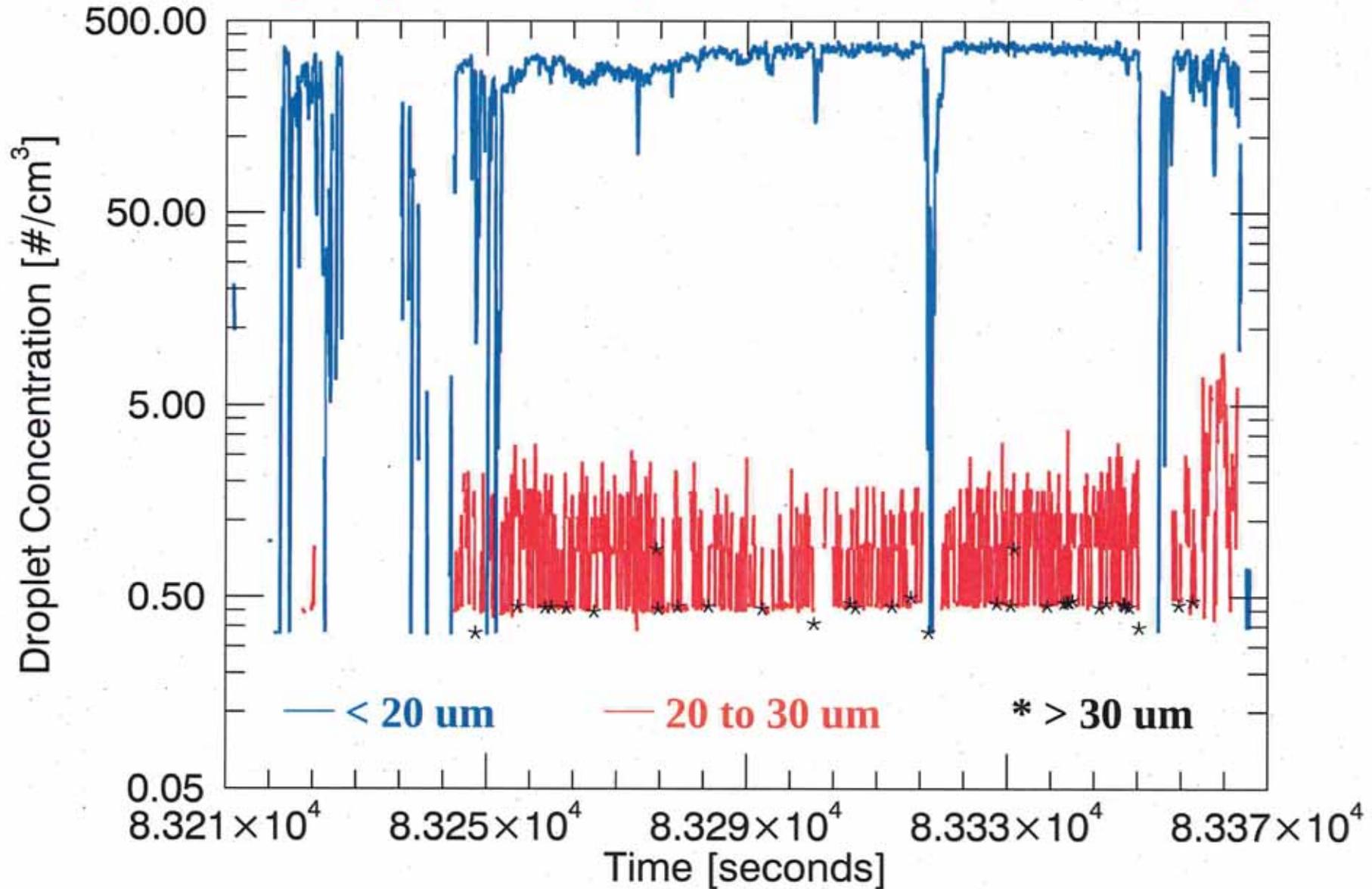


# POLCAST-2012



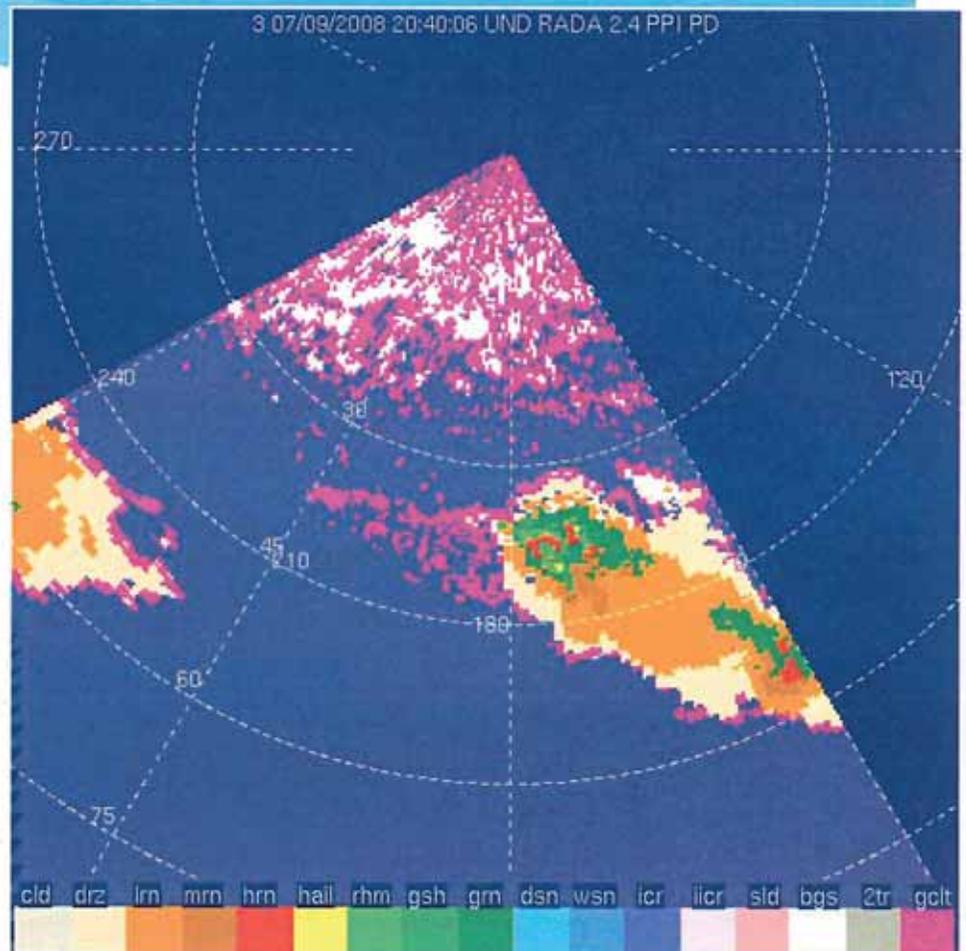
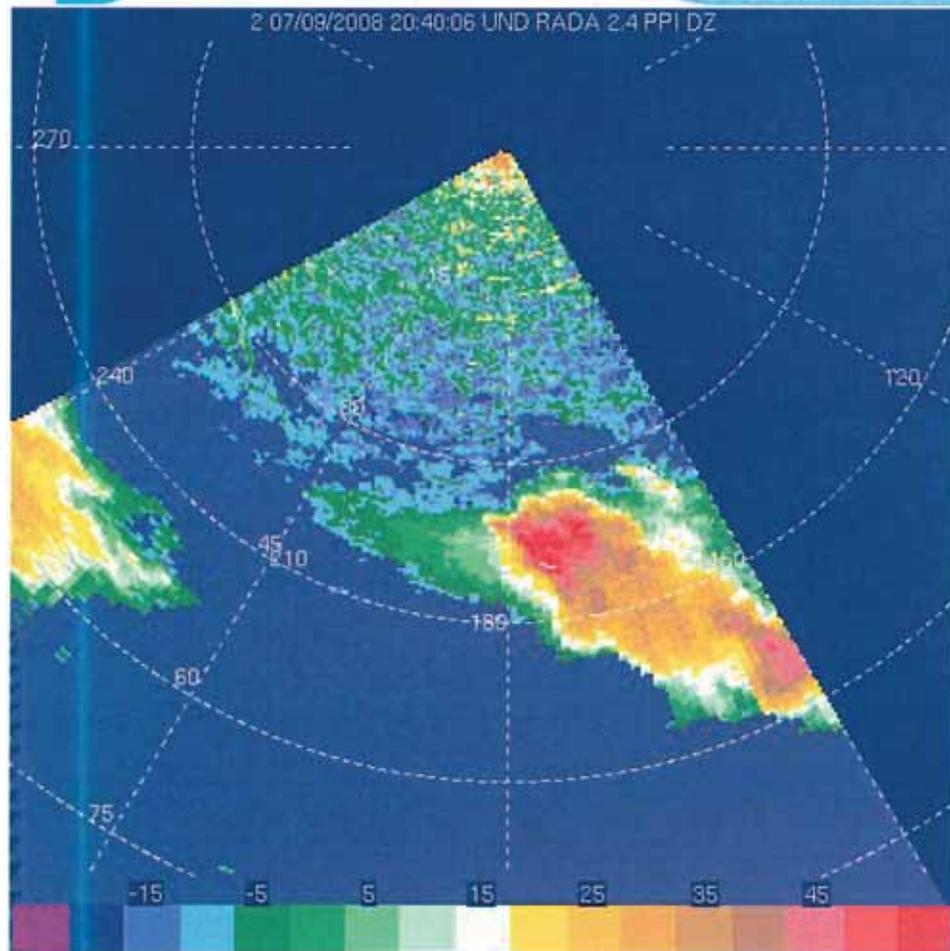
For individual profiles see, Bart, N. and D. J. Delene, North Dakota Aircraft and Surface CCN Measurements during the Summers of 2010 and 2012, Poster presented at the 93rd Annual Conference of the American Meteorological Society, January 6, 2013 in Austin, Texas.

**7 July 2008 (23:06:50-23:09:30)**



Forward Scattering Spectrometer Probe measurements during POLCAST2.

# UND NorthPol Radar



# U.S./Canadian Programs



- Target area—Cold-season cloud-seeding
- Target area—Warm-season cloud-seeding



# ASCE/EWRI Standards

- \* American Society of Civil Engineers (ASCE) Environmental Water Resource Institute (EWRI) hat 3 Standardverfahren dokumentiert ([www.ascelibrary.org/standards](http://www.ascelibrary.org/standards))
  - \* Design und Betrieb eines Projektes zur Hagelabwehr (39-15)
    - \* Geplante Verfügbarkeit als Buch ab Mai 2015
  - \* Design und Betrieb eines Projektes zur Niederschlagsverbesserung (42-04)
    - \* 42-04 im Moment in der Prüfung zur Abnahme
  - \* Design und Betrieb eines Projektes zur Ausbreitung von stark unterkühltem Nebel. (44-13)
- \* Handbuch praktischen Durchführung #81, Richtlinien für das Impfen der Wolken um den Niederschlag zu Vergrößerern (3te Ausgabe bei der Abnahme)



# Schlussfolgerungen

- \* North Dakota hat eine lange Historie bei der Wetterbeeinflussung
- \* Impfprogramme werden als zusätzliche Risikovorsorge betrachtet
- \* Verbesserte Technologien und Erfahrungen verbessern kontinuierlich die Impfeffizienz
- \* Wolkenimpfen wird effektiv gesehen um das Risiko zu reduzieren und die Wasser Ressourcen zu verbessern.





Thank you!

**WEATHER MODIFICATION ASSOCIATION (WMA) POSITION STATEMENT ON  
THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF USING SILVER IODIDE AS A CLOUD  
SEEDING AGENT  
JULY 2009**

The Weather Modification Association (WMA) is occasionally asked to comment on questions regarding the environmental effects of silver iodide aerosols used in cloud seeding, which include silver iodide aerosol complexes such as silver iodide-silver chloride. Silver iodide is the primary component of silver iodide-based ice-nucleating complexes used in cloud seeding, and all these complexes will be referred to as silver iodide (**AgI**) in this statement. The published scientific literature clearly shows *no environmentally harmful effects* arising from cloud seeding with silver iodide aerosols have been observed; nor would they be expected to occur. Based on this work, the WMA finds that silver iodide is environmentally safe as it is currently being dispensed during cloud seeding programs.

***Background***

Silver and chemical compounds containing silver are used by various industries and small portions of this silver are emitted into the environment as a process waste product. Industrial sources were much larger in the past than they are today; notable sources include silver emissions from the photographic and electrochemical plating industries, urban refuse, sewage treatment plants, specialty metal alloy production and electrical components. In 1978 an estimated 2,740 metric tons (metric ton = 1,000 kg) of silver were released into the US environment. This led the US Health Services and EPA to conduct studies regarding the potential for environmental and human health hazards related to silver. These agencies and other state agencies applied the Clean Water Act of 1977 and 1987 to establish regulations on this type of pollution. Standards were established for industry and laboratory disposal practices of drain water into sewer systems, safe silver limits in the public water supply, and thresholds of adverse effects of silver on the biosphere. In 1978 cloud seeding activities were the source of about three metric tons of silver (as silver iodide) released into the environment, or about 0.1 per cent of the total (Eisler 1996). About the same amount of silver iodide is being used annually for cloud seeding activities in the U.S. and Canada today. Cloud seeding activities release silver iodide to the atmosphere over specific areas of the western states of the U.S., Canada and some other areas around the globe to augment rainfall, augment snowfall or reduce hail damage. Environmental impact studies related to silver iodide usage in cloud seeding were conducted starting in the 1960s and continue to be conducted today; all findings to date indicate no adverse environmental and human health impacts (ASCE 2004, 2006; WMA 2005; WMO 2007).

***How much silver is released into the environment by cloud seeding?***

Silver iodide is usually sold by commercial chemical company distributors in granular or powder form. It is used in combination with various other chemicals, most often salts, and has been used for half a century as a glaciogenic agent (microscopic sized particles, referred to as ice nuclei, ice forming nuclei, or occasionally freezing nuclei, that spawn ice crystal formation). Silver Iodide is considered water insoluble (solubility constant at  $<10^{-9}$  g[of Ag] g<sup>-1</sup> [of solvent-water]; see units note), which means that if one gram of the chemical is added to one gram of water, roughly one billionth of that gram of silver iodide would dissolve in to the water; the remainder will stay in the water undissolved. This property allows the silver iodide particles to maintain their structure prior to contact with supercooled (colder than freezing) cloud droplets. Silver iodide, as used in cloud seeding, is either dissolved in a flammable solution or combined

with other flammable solids to produce seeding flares or other devices, which are burned to release submicron-sized, virtually invisible, silver iodide aerosol complexes into the atmosphere. These complexes are plentiful in number and increase the probability of ice crystals forming when they reach cloud environments at temperatures near or colder than the AgI ice nucleation (or crystallization) temperature threshold (about  $-5^{\circ}\text{C}$ ). This is significantly warmer than the threshold of most naturally occurring ice-forming nuclei, which commonly have thresholds near  $-15^{\circ}\text{C}$  and colder.

Only small quantities of seeding material are released from individual cloud seeding generators typically in the range of 5-25 grams of silver iodide per hour from ground generators and up to a few kilograms per hour from aircraft depending on the size of the target area. Moreover, this is being done only during certain periods and locations of precipitation-producing weather systems. The reason that such small quantities can be used is that AgI dispensing systems generally produce up to  $10^{15}$  (see power of 10's note) ice forming nuclei per gram of AgI expended (e.g., ASCE 2004, 2006). This means small amounts of AgI seeding material can produce tremendous numbers of ice crystal seeds that can create ice crystals, which can grow into snowflakes. The insolubility of AgI is a crucial factor for such small particles that allows them to maintain their identity (structure) intact and not condense water (and thus lose their structure) inside a cloud droplet. Without this property there would be no cloud seeding effect.

As a metric of cloud seeding chemicals, silver concentrations have been measured in the snowpack of several cloud seeding target areas in the western U. S. The average concentrations throughout the snowpack have generally ranged from  $4\text{-}20 \times 10^{-12} \text{ g}[\text{of Ag}] \text{ g}^{-1}[\text{of solvent-water}]$ , rarely exceeding  $100.0 \times 10^{-12} \text{ g g}^{-1}$  (Warburton *et al.* 1995a,b, 1996; McGurty 1999). Since seeding clouds could lead to rain (if snowflakes melt during their fall to earth) measurements of seeding chemical concentrations in the rainwater have also been done and found to be in similarly low concentrations (e.g., Sanchez *et al.* 1999).

#### ***Why is there concern about using silver iodide in cloud seeding?***

It is well established that silver in some forms can be toxic to lower organisms without being toxic to higher animals (Kotrba 1968). Numerous controlled laboratory studies have shown that silver, silver nitrate and even silver iodide when added to laboratory aquariums, even at trace levels, can be toxic to some fish and other aquatic life when exposed over long time periods; the toxicity is related to specific compounds, concentrations and other factors such as water hardness, etc (e.g., Davies & Goettl 1978). However, these laboratory conditions bear little resemblance to outdoor freshwater bodies where the mobility of any of these silver compounds is essentially zero and these compounds are rapidly converted to less toxic compounds by the presence of other chemicals found in nature. Hence, they are not freely bio-available to the environment.

Laboratory results derived from biological studies cannot be taken to imply any meaningful information about silver iodide used in cloud seeding because its insoluble nature makes it nearly impossible to dissociate sufficiently or rapidly enough to ever achieve toxic levels. Meaningful evaluation must include the specifics of the chemical form of silver (i.e., ionic silver, silver nitrate, silver iodide), the quantities involved, and the chemical, even physical, nature of the environment. Hence, care must be taken when comparing the potential impact of silver iodide on the environment as used in cloud seeding programs with the impact of silver or soluble silver in laboratory settings, which are not representative of the natural environment where cloud seeding is conducted.

#### ***Basis for asserting that cloud seeding using silver iodide has negligible environmental impact.***

The potential environmental impacts of cloud seeding programs using silver iodide have been studied since the 1960s. These studies have all concluded that ice-nucleating agents,

specifically silver iodide as used in cloud seeding, represent a negligible environmental hazard, (i.e., findings of no significant effects on plants and animals), (e.g., Cooper & Jolly 1970; Howell 1977; Klein 1978; Dennis 1980; Harris 1981; Todd & Howell 1985; Berg 1988; Reinking *et al.* 1995; Eliopoulos & Mourelatos 1998; Ouzounidou & Constantinidou 1999; Di Toro *et al.* 2001; Bianchini *et al.* 2002; Tsiouris *et al.* 2002a; Tsiouris *et al.* 2002b; Christodoulou *et al.* 2004; Edwards *et al.* 2005; Keyes *et al.* 2006; Williams & Denholm 2009).

The U.S. Public Health Service established a concentration limit of 50 micrograms of silver per liter of water in public water supply to protect human health (e.g., Erdreich *et al.* 1985). The concentrations of silver potentially introduced by modern cloud seeding efforts are significantly less than this level. The literature embodies tens of thousands of samples collected from cloud seeding program areas over a thirty-year period showing the average concentration of silver in rainwater, snow and surface water samples is typically less than 0.01 micrograms per liter. More importantly, these measurements represent the total amount of silver contained in any given sample and are not specific to the form of silver present in a sample. Nevertheless, these measurements show that silver is virtually undetectable in any form in the vast majority of the tens of thousands of samples collected from these areas.

More than 100 Sierra Nevada lakes and rivers have been studied since the 1980's (e.g., Stone 1986); no detectable silver above the natural background was found in seeded target area water bodies, precipitation and lake sediment samples, nor any evidence of silver accumulation after more than fifty years of continuous seeding operations (Stone 1995; Stone 2006). Many of these alpine lakes have virtually no buffering capacity, making them extremely susceptible to the effects of acidification and sensitive to changes in trace metal chemistry. Therefore studies were conducted as part of environmental monitoring efforts to determine if cloud seeding was impacting these lakes. No evidence was found that silver from seeding operations was detectable above the background level. There was also no evidence of an impact on lake water chemistry, which is consistent with the insoluble nature and long times required to mobilize any silver iodide released over these watersheds. Comparisons of silver with other naturally occurring trace metals measured in lake and sediment samples collected from the Mokelumne watershed in the Sierra Nevada indicate that the silver was of natural origin (Stone 2006). Similarly, Sanchez *et al.* (1999) analyzed the chemistry of water bodies and rainwater from samples collected during a summer cloud seeding program in Spain, and determined the silver input from cloud seeding to be indistinguishable from natural inputs. Greek scientists studying the effects on soils, plants and their physiology, atmospheric precipitation, plankton, animals and man, as well as the impact of irrigation and organic matter to AgI leaching from the Greek cloud seeding activities found similar results following the analyses of 2500 soil samples (e.g., Tsiouris *et al.* 2002a; Tsiouris *et al.* 2002b).

### **Summary**

The published scientific literature clearly shows *no environmentally harmful effects* arising from cloud seeding with silver iodide aerosols have been observed, nor would be expected to occur. Based on this work, the WMA finds that silver iodide is environmentally safe as it is currently being used in the conduct of cloud seeding programs.

## **Bibliography**

- ASCE (2004). "Standard Practice for the Design and Operation of Precipitation Enhancement Projects". ASCE(American Society Civil Engineers)/EWRI Standard 42-04, Reston, VA.
- ASCE (2006). "Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation". 2<sup>nd</sup> Edition. American Society Civil Engineers(ASCE)/EWRI, Reston, VA.
- Berg, N.H. (1988). A Twelve-Year study of environmental aspects of weather modification in the Central Sierra Nevada and Carson Range. *The Sierra Ecology Project*, Unpublished report on file at Pacific SW Res. Station, Forest Service USDA, Albany CA.
- Bianchini, A., M. Grosell, S.M. Gregory, C.M. Wood (2002). Acute silver toxicity in aquatic animals is a function of sodium uptake rate, *Env. Sci. & Techn.*, **36**, 1763-1766.
- Christodoulou, M., S. Tsiouris, I. Papadoyannis, F. Aravanopoulos, I. Vlemmas, D. Mourelatos, S. Mourelatos, H.-L. Constantinidou (2004). Determination and impact of silver iodide on terrestrial and aquatic ecosystems of areas where cloud seeding has been applied. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Panhellenic (International) Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Volume A, 195-203.
- Cooper, C.F., W.C. Jolly (1970). Ecological Effects of Silver Iodide and other Weather Modification Agents: A review. *Water Resources Research*, **6**, AGU, 88-98.
- Davies, P.H., J.P. Goettl, Jr. (1978). Evaluation of the potential impacts of silver and/or silver iodide on rainbow trout in laboratory and high mountain lake environments. In: Environmental impacts of artificial ice nucleating agents. Klein, D.A. (Ed.). Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, PA.
- Davies, P.H., J.P. Goettl, Jr., J.R. Winley (1978). Toxicity of silver to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Water Res.*, **12**, 113-117.
- Dennis, A. S. (1980). "Weather Modification by Cloud Seeding". International Geophysics Series, **24**, Academic Press, New York, NY, 21-22.
- Di Toro, D.M., H.E. Allen, H.L. Bergman, J.S. Meyer, P.R. Paquin, R.C. Santore (2001). Biotic Ligand Model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **20**, 2383-2396.
- Edwards, R., A. Huggins, J. McConnell (2005). "Trace Chemistry Evaluation of the Idaho Power Company Operational Cloud Seeding Program 2003 to 2005". DRI Publication #41223.
- Eisler, R. (1996). Silver Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review, *Contaminant Hazard Reviews*, **32**, Patuxent Wildlife Research Center, U.S. National Biological Service, Laurel, MD.
- Eliopoulos P., D. Mourelatos (1998). Lack of genotoxicity of Silver Iodide in the SCE Assay in vitro, in vivo, and in the Ames/Microsome Test. *Terratogenesis, Carcinogenesis and Mutagenesis*, **18**, 303-308.
- Erdreich, L., R. Bruins, J. Withey (1985). Drinking Water Criteria Document for Silver (Final Draft). U.S. EPA, Washington, D.C., EPA/600/X-85/040 (NTIS PB86118288).
- Harris, E. (1981). "Environmental Assessment and Finding of No Significant Impact". Sierra Cooperative Pilot Project, Bureau of Reclamation, Denver, Co.
- Howell, W. E. (1977). Environmental impacts of precipitation management: Results and inferences from Project Skywater. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **58**, 488-501.
- Keyes, et al. (2006). "Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation". 2<sup>nd</sup> Edition. American Society Civil Engineers, Reston, VA.
- Kotrba, G. (1968). "The Encyclopedia of the Chemical Elements", Hampel, C. A., Editor, Reinhold Book Corporation, New York, Amsterdam, and London.
- Klein, D.A. (1978). "Environmental Impacts of Artificial Ice Nucleating Agents" Colorado State University, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Library of Congress Catalog Card Number, 78-7985.
- McGurty, B. M. (1999). Turning silver into gold: Measuring the benefits of cloud seeding. *HydroReview*, **18**, 2-6.

- Ouzounidou G., H.-I.A. Constantinidou (1999). Changes in growth and physiology of tobacco and cotton under Ag exposure and recovery. Are they of direct or indirect nature? *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **37**, 480-487.
- Reinking, R.F., N.H. Berg, B.C. Farhar, O.H. Foehner (1995). "Economic, Environmental, and Societal Aspects of Precipitation Enhancement by Cloud Seeding," Manual 81, Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation, ASCE, Reston, VA, 9-47.
- Sánchez, J. L., J. Dessens, J.L. Marcos, J.T. Fernández (1999). Comparison of rain-water silver concentrations from seeded and non-seeded days in Leon (Spain). *J. Weather Mod.*, **31**, 87-90.
- Stone, R.H. (1986). "Sierra Lakes Chemistry Study." Final Report to Southern California Edison Co., Contract No. C2755903.
- Stone, R.H., K. Smith-Miller, P. Neeley (1995). Mokelumne Watershed Lake Water and Sediment Silver Survey. Final Report to the Pacific Gas and Electric Company, Technical and Ecological Services, San Ramon, Ca.
- Stone, R.H. (2006). "2006 Mokelumne Watershed Lake Water and Sediment Survey." Final Report to the Pacific Gas and Electric Company, Technical and Ecological Services, San Ramon, Ca.
- Todd, C.J., W.E. Howell (1985). "Weather Modification". In Handbook of Applied Meteorology, David D. Houghton, Editor, John Wiley and Sons, Chapter 38, 1065-1139.
- Tsiouris E.S., A.F. Aravanopoulos, N.L. Papadoyiannis, K.M. Sofoniou, N. Polyzopoulos, M.M. Christodoulou, F.V. Samanidou, A.G. Zachariadis, H.-I.A. Constantinidou (2002a). Soil Silver Content of Agricultural Areas Subjected to Cloud Seeding with Silver Iodide. *Fresenius Environmental Bulletin*, **11**, 697-702.
- Tsiouris E.S., A.F. Aravanopoulos, N.L. Papadoyiannis, K.M. Sofoniou, F.V. Samanidou, A.G. Zachariadis, H.-I.A. Constantinidou (2002b). Soil Silver Mobility in Areas Subjected to Cloud Seeding with AgI. *Fresenius Environmental Bulletin*, **12**, 1059-1063.
- Warburton, J.A., L.G. Young, R.H. Stone (1995a). Assessment of seeding effects in snowpack augmentation programs: Ice nucleation and scavenging of seeding aerosols. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 121-130.
- Warburton, J.A., R.H. Stone, B.L. Marler (1995b). How the transport and dispersion of AgI aerosols may affect detectability of seeding effects by statistical methods. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 1929-1941.
- Warburton, J.A., S.K. Chai, R.H. Stone, L.G. Young (1996). The assessment of snowpack enhancement by silver iodide cloud-seeding using the physics and chemistry of the snowfall. *J. Weather Mod.*, **28**, 19-28.
- Weather Modification Association (2005). "Weather Modification Association Capability Statement." WMA; [www.weathermodification.org/capabilities.htm](http://www.weathermodification.org/capabilities.htm).
- Williams, B.D., J.A. Denholm (2009). Assessment of the Environmental Toxicity of Silver Iodide-With Reference to a Cloud Seeding Trial in the Snowy Mountains of Australia. *J. Weather Mod.*, **41**, 75-96.
- World Health Organization (2002). "Concise International Chemical Document 44 (CICAD44): Silver and silver compounds: Environmental Aspects." WHO; [www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad44.htm](http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad44.htm)
- World Meteorological Organization (2007). "WMO Statement on Weather Modification." WMO; [www.wmo.int/pages/prog/arep/wmp/documents/WM\\_statement\\_guidelines\\_approved.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wmp/documents/WM_statement_guidelines_approved.pdf).

#### **NOTES:**

Following are intended to help non-technically trained readers understand information provided above.

**Power of 10's note:** Very large and very small numbers are often expressed in scientific or powers of 10 notation.

The  $10^{15}$  stated in the WMA statement means that 1 is 10 multiplied by 10, 15 times and it equals

1,000,000,000,000,000. When 10 is raised to a negative power it means 1 divided by 10 the power number of times; for example,  $1 \times 10^{-1}$  equals 0.1.

**Units note:**  $\text{g g}^{-1}$  as used here means grams of chemical divided by grams of water in the sample, so that  $1 \times 10^{-12} \text{ g g}^{-1}$  means 0.000000000001 grams of silver per 1.0 grams of water.

# Landtag von Baden-Württemberg

14. Wahlperiode

Drucksache 14 / 6244

20. 04. 2010

## Antrag

der Abg. Siegfried Lehmann u. a. GRÜNE

und

## Stellungnahme

des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung  
und Verbraucherschutz

### Die Einsätze der sogenannten „Hagelflieger“ wissenschaftlich begleiten

Antrag

Der Landtag wolle beschließen,  
die Landesregierung zu ersuchen,

I. zu berichten,

welche Studien aus anderen Regionen oder Ländern zur Wirksamkeit des  
„Hagelfliegers“ vorliegen und welche Aussagen darin über mögliche Folgen  
auf die Umwelt getroffen werden;

II.

1. die Einsätze der sogenannten „Hagelflieger“, welche zukünftig nicht nur in  
der Region Stuttgart, sondern u. a. auch im Raum Villingen-Schwenningen,  
im Landkreis Tuttlingen sowie im Schwarzwald-Baar-Kreis zum Einsatz  
kommen sollen, wissenschaftlich zu begleiten und dabei folgende Fragen  
in den Vordergrund stellen:

- a) Ist das Ausbringen von Silberjodid in den vorgesehenen Mengen für  
Mensch und Umwelt – beispielsweise durch Lagerung im Boden – kurz-  
oder langfristig schädlich?
- b) Welche Beobachtungen lassen sich hinsichtlich langfristiger Auswirkun-  
gen auf das Wettergeschehen festschreiben?

Eingegangen: 20. 04. 2010 / Ausgegeben: 19. 05. 2010

1

2. über die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung der Einsätze des „Hagelfliegers“ dem Landtag zu berichten.

20. 04. 2010

Lehmann, Dr. Murschel, Pix, Rastätter,  
Sitzmann, Dr. Splett, Walter GRÜNE

### Begründung

Die Nachfrage nach Einsätzen der „Hagelflieger“ ist nach dem Unwetter am 26. Mai 2009 deutlich gestiegen. Zahlreiche Gemeinden beteiligen sich an der Finanzierung der „Hagelflieger“, welche vom Rems-Murr-Kreis betreut werden.

Ein Einsatz des „Hagelfliegers“ soll durch Ausbringen von Silberjodid verhindern, dass harte und grobe Hagelkörner Ernte im Ausmaß des Hagelunwetters 2009 zerstören. An der Finanzierung der „Hagelflieger“ sind sowohl Kommunen, landwirtschaftliche berufsständische Organisationen, als auch Firmen und Versicherungen beteiligt. Das Land hat seine Förderung ab dem Jahr 1997 eingestellt und lediglich die Anschaffung des zweiten „Hagelfliegers“ im Jahr 2007 mit 50.000 Euro bezuschusst.

Allerdings sind bisher weder schlüssige Beweise für die Wirksamkeit des „Hagelfliegers“ erbracht worden, noch liegen deutliche Erkenntnisse über die Auswirkungen des Ausbringens von Silberjodid auf Mensch und Umwelt vor.

Die derzeitigen Einsätze des „Hagelfliegers“ in der Region Stuttgart werden noch bis zum Jahr 2011 durch wissenschaftliche Untersuchungen begleitet. Im Rahmen dieser Untersuchungen soll dargestellt werden, wie wirksam der Einsatz von „Hagelfliegern“ tatsächlich ist.

Nach Ansicht der Unterzeichner ist es daneben jedoch von großer Bedeutung, dass bei künftigen Einsätzen der „Hagelflieger“ wissenschaftlich untersucht wird, welche Auswirkungen das Ausbringen von Silberjodid auf Mensch und Umwelt – auch unter Aspekten langfristiger Lagerung von Silberjodid in Boden und Trinkwasser – hat. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass wissenschaftlich untersucht wird, welche langfristigen Auswirkungen der Einsatz der „Hagelflieger“ auf das regionale Wettergeschehen haben wird.

## Stellungnahme

Mit Schreiben vom 12. Mai 2010 Nr. Z-0141.5/450 F nimmt das Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz zu dem Antrag wie folgt Stellung:

*Der Landtag wolle beschließen,*

*die Landesregierung zu ersuchen,*

*I. zu berichten,*

*I. welche Studien aus anderen Regionen oder Ländern zur Wirksamkeit des „Hagelfliegers“ vorliegen und welche Aussagen darin über mögliche Folgen auf die Umwelt getroffen werden;*

Zu I. 1.:

Hagelunwetter stellen weltweit eine ernsthafte Bedrohung für die landwirtschaftliche Produktion, Immobilien und für im Freien deponierte Güter, z. B. Automobile etc., dar. Die steigenden Hagelstatistiken sind die Ursache für die vielfältigen Hagelabwehrprojekte.

Hagelabwehr mit Flugzeugen wird neben einigen Regionen in Deutschland (Rosenheim und Stuttgart) und in Österreich (Wachau/Krems und Steiermark) in Spanien und Griechenland und vor allem in den USA, Kanada und Argentinien betrieben.

Bereits seit 1980 wird im Großraum Stuttgart aktive Hagelabwehr durch das Einbringen von Silberjodid in Gewitterwolken von Flugzeugen aus betrieben. Durch das Einbringen einer großen Anzahl von zusätzlichen Kristallisationskeimen in Gewitterwolken entsteht eine Konkurrenzsituation um das im Aufwind verfügbare Wolkenwasser. Dadurch bilden sich mehr, aber vom Durchmesser her kleinere Hagelkörner, die dann bis zum Auftreffen am Boden weitgehend wieder geschmolzen oder zumindest so klein sind, dass sie keine nennenswerten Schäden mehr verursachen können.

Wissenschaftlich begleitet und meteorologisch betreut wurde die Maßnahme im Raum Stuttgart von 1980 bis 1999 vom meteorologischen Institut der Universität Hohenheim. Danach vom meteorologischen Beratungs- und Überwachungsbüro Radar-Info – Südwest-Wetter. Aktuell wissenschaftlich begleitet wird die Hagelabwehr in der Region Stuttgart vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung Karlsruhe.

Die Erkennung der stärksten Hagelzellen erfolgt mit Hilfe eines radargestützten Frühwarnsystems. Mit Hilfe der mit dem Wetterradar des Forschungszentrums Karlsruhe kontinuierlich gemessenen Windprofile und Niederschlagsverteilungen im Umkreis von 120 km um den Radarstandort können die aktuellen Orte der Gewitterentwicklung frühzeitig erkannt und den Hagelpiloten per Kurznachricht (SMS) auf das Display des Mobiltelefons übermittelt werden.

Folgende Studien bzw. Schreiben sind der Landesverwaltung zur Hagelabwehr durch den Einsatz des Hagelfliegers bekannt:

- Hagelabwehr Mittlerer Neckar Bericht 1980/1994 Vergleiche – Analysen – Wertungen, Universität Hohenheim
- Projekte zur Hagelabwehr; eine Zusammenstellung der weltweit durchgeführten aktuellen und abgeschlossenen Hagelabwehraktivitäten, Südwest-Wetter und Radar – Info Karlsruhe

- Hagelsaison 2009, Bericht der Geschäftsstelle im Landratsamt Rems-Murr
- Schreiben des Umweltbundesamtes an das Landratsamt Rems-Murr im Jahr 1996
- Beurteilung der Gesamtumweltexposition von Silberionen aus Biozid-Produkten, Forschungsbericht der Fraunhofer-Gesellschaft 2009
- Optimizing CLOUD SEEDING FOR WATER AND ENERGY IN CALIFORNIA, U. S. Bureau of Reclamation

Im Schreiben des Umweltbundesamtes an den Rems-Murr-Kreis von 1996 wurde mitgeteilt, dass das beim Einsatz von Silberjodid zur Hagelabwehr gemessene Silber im Niederschlag unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt und deshalb unproblematisch für Mensch und Umwelt ist. In diesem Schreiben wird außerdem die Deposition von Silberjodid wie folgt beurteilt:

„Bei einmaliger Anwendung von 600 bis 700 g Silberjodid über einem Gebiet von 270 bis 350 km<sup>2</sup> ergibt sich eine abgeschätzte Deposition von ca. 3,5 µg/m<sup>2</sup>. Im Fall von maximal 25 Einsätzen resultiert eine jährliche Gesamtdeposition von ca. 100 µg/m<sup>2</sup>. Bei einer abgeschätzten Niederschlagsmenge von 10 bis 50 mm beträgt die geschätzte Konzentration im Niederschlag ca. 0,032 bis 0,161 µg/l Silber. Die Konzentration liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1 µg/l bei der Routineanalytik (DIN 38 406-E 21)“.

## II.

1. die Einsätze der sogenannten „Hagelflieger“, welche zukünftig nicht nur in der Region Stuttgart, sondern u. a. auch im Raum Villingen-Schwenningen, im Landkreis Tuttlingen sowie im Schwarzwald-Baar-Kreis zum Einsatz kommen sollen, wissenschaftlich zu begleiten und dabei folgende Fragen in den Vordergrund stellen:
  - a.) Ist das Ausbringen von Silberjodid in den vorgesehenen Mengen für Mensch und Umwelt – beispielweise durch Lagerung im Boden – kurz- oder langfristig schädlich?
  - b.) Welche Beobachtungen lassen sich hinsichtlich langfristiger Auswirkungen auf das Wettergeschehen festschreiben?

### Zu II. 1.:

Aufgrund der bereits vorliegenden Untersuchungen und der aktuellen wissenschaftlichen Begleitung des Einsatzes der Hagelflieger in Baden-Württemberg und aufgrund der oben dargestellten sehr geringen Konzentration von Silberionen im Niederschlag sieht die Landesregierung keinen weiteren Bedarf für zusätzliche Forschungs- und Untersuchungsprojekte.

2. über die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung der Einsätze des „Hagelfliegers“ dem Landtag zu berichten.

### Zu II. 2.:

Der Jahresbericht (aktuell zur Hagelsaison 2009) wird von der Geschäftsstelle der Hagelabwehr in der Region Stuttgart, auf der Homepage des Landratsamts Rems-Murr-Kreis [http://www.rems-murr-kreis.de/3113\\_DEU\\_WWW.php](http://www.rems-murr-kreis.de/3113_DEU_WWW.php) veröffentlicht.

In Vertretung

Dr. Rittmann  
Ministerialdirektor

**Schriftliche Anfrage**der Abgeordneten **Barbara Rütting BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN**

vom 14.07.2006

**Hagelflieger in Bayern**

Ich frage die Staatsregierung:

1. Wie viele Hagelflieger, in welchen Landkreisen, gibt es derzeit in Bayern?
2. Wie viele Einsätze wurden in den letzten fünf Jahren in welchen Landkreisen geflogen?
3. Mit welchen und mit wie viel öffentlichen Mitteln werden Hagelflieger im Freistaat unterstützt?
4. Welche wissenschaftlichen Beweise liegen der Staatsregierung für die Wirksamkeit der Hagelbekämpfung durch Hagelflieger vor?
5. Liegen der Staatsregierung wissenschaftliche Untersuchungen zur Umwelt- und Gesundheitsrelevanz der Auswirkungen der Silberjodid-Ausbringung durch die Hagelflieger vor, wenn ja, mit welcher Bewertung?
6. Wie beurteilt die Staatsregierung die Ausbringung von Silberjodid zur Hagelbekämpfung?
7. Welche Genehmigungen und Vorschriften sind bei der Ausbringung von Silberjodid zur Hagelbekämpfung zu beachten?
8. Wer ist für die Kontrolle der erforderlichen Genehmigungen zuständig?

**Antwort**des Staatsministeriums für **Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie**

vom 26.09.2006

Die Schriftliche Anfrage beantworte ich im Einvernehmen mit den Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten sowie Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz wie folgt:

Zu 1.:

Die Regierung von Mittelfranken – Luftamt Nordbayern – hat mitgeteilt, dass in ihrem Zuständigkeitsbereich kein Hagelflieger tätig ist.

Im Zuständigkeitsbereich der Regierung von Oberbayern – Luftamt Südbayern – sind zwei Flugzeuge zur Hagelbekämpfung auf dem Sonderlandeplatz Vogtareuth stationiert. Das Einsatzgebiet dieser Flugzeuge umfasst den Bereich der Landkreise Miesbach, Rosenheim und Traunstein, die kreisfreie Stadt Rosenheim sowie einige Gemeinden aus den Bezirken Kufstein und Kitzbühel.

Auf dem Sonderlandeplatz Mühldorf ist ein weiterer Hagelflieger des „Vereins zur Erforschung der Hagelbekämpfung und ihrer Grundlagen sowie zur Verhinderung von Umweltschäden im Raum Mühldorf/Altötting“ stationiert.

Weitere Hagelflieger sind in Bayern nicht bekannt.

Zu 2.:

In den letzten 5 Jahren wurden mit den beiden Hagelflugzeugen in Vogtareuth folgende Einsätze geflogen:

	Einsatztage	Einsatzflüge	Einsatzstunden
2001	19	44	80
2002	19	35	63
2003	17	33	64
2004	12	27	43
2005	16	35	56

Die Anzahl der Einsatzflüge der Hagelabwehr Mühldorf ist aus der folgenden Übersicht zu ersehen:

2001	2002	2003	2004	2005
15	12	8	13	1

Eine Zuordnung eines Fluges zu einer bestimmten Gebietskörperschaft ist nicht möglich, da in der Regel während eines Fluges mehrere Gebietskörperschaften überflogen werden.

Zu 3.:

Die Hagelabwehr ist eine freiwillige Leistung des Landkreises Rosenheim. Eigentümer und Halter der beiden Flugzeuge ist der Landkreis Rosenheim. An den jährlichen Gesamtkosten der Hagelabwehr von ca. 220.000,00 € beteiligen sich die einzelnen Gebietskörperschaften mit unterschiedlichen Beträgen. Dem „Verein zur Erforschung der Wirksamkeit der Hagelabwehr im Raum Rosenheim e.V.“ werden die während der Einsatzflüge gewonnenen Daten und Flugberichte zur weiteren Auswertung überlassen. Hierfür leistet der Verein einen durchschnittlichen jährlichen Kostenbeitrag von ca. 40.000,00 € an den Landkreis. Dem Verein fließen Einnahmen aus Spenden und Mitgliedsbeiträgen von über 8.600 Mitgliedern vorwiegend aus den beflugten Landkreisen zu.

Das Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten hat mitgeteilt, dass dem Hagelforschungsverein e.V. in den

Haushaltsjahren 1997 und 1999 jeweils eine Zuwendung als Zuschuss von 20.000,- DM gewährt wurde. Zweck der Zuwendung war die Förderung der Hagelabwehr, die im Zusammenhang mit der Untersuchung der Vorhersagemöglichkeiten von hagelträchtigen Gewitterereignissen in den Landkreisen Rosenheim, Miesbach und Traunstein anfielen.

Die Hagelabwehr Mühldorf hat im Durchschnitt pro Jahr von den beiden Landkreisen 16 000 € erhalten. Ab 2006 wird nach den tatsächlich entstandenen Kosten abgerechnet.

Zu 4., 5. und 6.:

Die Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten sowie für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz haben hierzu Folgendes ausgeführt:

Die Hagelabwehr basiert auf der Hypothese, dass zu wenig natürliche Eisbildungskerne in Gewitterwolken vorhanden sind und deshalb das Einbringen von künstlichen Eisbildungskernen (z. B. Silberjodid) Erfolg versprechend sei. So sollen über die Impfung der Wolken mit Silberjodid die Gefrierkernzahl erhöht und somit viele kleine Hagelkörner statt weniger großer Hagelkörner erzeugt werden.

Der Erfolg der aktiven Hagelbekämpfung ist wissenschaftlich nicht eindeutig bewiesen. Experimente sollen zwar zu beachtlichen Ergebnissen geführt haben, jedoch konnten die Hagelbekämpfungserfolge im Freien bislang nicht statistisch abgesichert werden. Da die Vorgänge in einer Gewitterzelle sehr komplex sind, ist auch der Nachweis, ob ohne das Impfen kein Hagel gefallen wäre, nur schwer zu führen. Hinzu kommen Unterschiede zwischen den Gewittertypen. Versuche lassen sich nicht unter gleichbleibenden Bedingungen wiederholen.

Gegebenenfalls lassen sich anhand weiterer Untersuchungen (z. B. über die Wolkenphysik) Erkenntnisse über die Hagelbekämpfung wissenschaftlich besser untermauern. Der Rosenheimer Hagelforschungsverein e.V. bemüht sich in Zusammenarbeit mit der Sektion Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München um Fortschritte. Zu erwähnen sind

hier auch die intensiven Aktivitäten Österreichs zur Hagelbekämpfung, insbesondere in der Steiermark.

Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse hinsichtlich möglicher Auswirkungen von Silberjodid auf die Bereiche Umwelt und Gesundheit liegen den Staatsministerien nicht vor. Laut Untersuchungen von Wiesniewski und Sax (1979) in Florida führt jedoch das Impfen von Gewitterwolken mit Silberjodid zu keiner nennenswerten ökologischen Belastung. Nach den chemikalienrechtlichen Einstufungs- und Kennzeichnungsvorschriften fällt Silberjodid nicht in die Klasse der umweltgefährdenden Stoffe, bezüglich seiner wassergefährdenden Eigenschaften ist Silberjodid als schwach wassergefährdend eingestuft.

Zu 7.:

Das Ausbringen von Silberjodid zur Hagelbekämpfung bedarf keiner immissionsschutzrechtlichen Genehmigung. Beim Umgang mit Silberjodid sind die arbeitsschutzrechtlichen Vorschriften zu beachten.

Das Ausbringen des Silberjodids ist als „Abwerfen oder Ablassen von Gegenständen oder sonstigen Stoffen aus oder von Luftfahrzeugen“ im Sinne des § 7 Abs. 1 LuftVO aufzufassen und damit grundsätzlich verboten. Nach § 7 Abs. 2 kann die örtlich zuständige Luftfahrtbehörde Ausnahmen von dem Verbot zulassen, wenn eine Gefahr für Personen oder Sachen nicht besteht.

Jeder Pilot, der für die Hagelabwehr Rosenheim fliegt, benötigt eine „Sprühberechtigung“ die für deutsches Hoheitsgebiet von der Regierung von Oberbayern – Luftamt Südbayern – und für österreichisches Gebiet von der österreichischen Landesregierung vertreten durch die Bezirkshauptmannschaft Kufstein ausgestellt wird.

Zu 8.:

Die Kontrolle einer erteilten Ausnahme nach § 7 Abs. 2 LuftVO fällt unter die allgemeine Luftaufsicht nach § 29 Abs. 1 LuftVG. Im Freistaat Bayern sind hierfür die Luftämter Nord- und Südbayern zuständig.

Kreisbauamt  
07. April 2015  
- Eingegangen -

Landratsamt Reutlingen  
Kreisbrandmeisterstelle  
Herrn Wolfram Auch  
Postfach 21 43  
72711 Reutlingen

2. April 2015

## Beteiligung der SV SparkassenVersicherung an der Hagelabwehr

Sehr geehrter Herr Auch,

gerne kommen wir auf Ihre Anfrage zur Beteiligung der SV SparkassenVersicherung an der Hagelabwehr zurück. Auch für die SV SparkassenVersicherung war das zerstörerische und dramatische Hagelereignis vom 28.07.2013 ein im Schadensmaß noch nie dagewesenes Unwetterereignis; das größte in der Geschichte unseres Unternehmens. Der 28.07.2013 hat die SV vor zahlreiche Herausforderungen gestellt, um die 70.000 Gebäude- und Autoschäden mit mehr als 600 Mio. EUR Schaden in Ihrem Landkreis, aber auch den angrenzenden Landkreisen, zur Zufriedenheit der betroffenen Kunden abzuwickeln. Trotz dieser Extremwerte konnte die SV SparkassenVersicherung bis zum heutigen Tag mehr als 500 Mio. EUR an die betroffenen Kunden und tätigen Handwerksfirmen auszahlen sowie nahezu alle Schäden abschließend regulieren. Die SV hat damit auch ein großes Konjunkturprogramm sowohl für Ihren Landkreis als auch für die gesamte Region finanziert.

Trotz dieses unerfreulichen Ereignisses konnte die SV SparkassenVersicherung wertvolle Erfahrungen sammeln, um sich für mögliche schwere Unwetter in der Zukunft noch besser wappnen zu können. In diesem Zusammenhang haben wir uns intensiv und kontinuierlich bis heute mit der Fragestellung einer wirksamen und effizienten Form der Hagelabwehr, beispielsweise durch den Einsatz von Hagelfliegern, beschäftigt. An unserer Haltung zur Hagelabwehr hat sich jedoch seit der Positionierung auf dem Helferfest am 19.10.2013 nichts geändert. Wie Sie bereits angeführt haben, hat Herr Philipp diese Argumentation am 10.10.2014 nochmals bekräftigt. Aber gerne möchten wir Ihnen die wesentlichen Gründe für die Haltung der SV SparkassenVersicherung erneut darstellen:

SV SparkassenVersicherung  
Gebäudeversicherung AG  
Löwentorstraße 65  
70376 Stuttgart  
Telefon 0711 898-100  
Telefax 0711 898-109  
E-Mail: service@  
sparkassenversicherung.de  
www.sparkassenversicherung.de

Sitz Stuttgart, Deutschland  
Registergericht Stuttgart  
HRB 16264

Vorsitzender des Aufsichtsrats:  
Gerhard Grandke  
Geschäftsführender Präsident des  
Sparkassen- und Giroverbands  
Hessen-Thüringen

Vorstand:  
Ulrich-Bernd Wolff von der Sahl,  
Vorsitzender  
Dr. Andreas Jahn  
Dr. Stefan Korbach  
Sven Lixenfeld  
Roland Oppermann  
Dr. Klaus Zehner

Bankverbindung:  
Landesbank Hessen-Thüringen Girozentrale  
BLZ 500 500 00 Konto 3 20 00 29  
IBAN: DE97 5005 0000 0003 2000 29  
BIC: HELADEFXXX  
Gläubiger-ID: DE93 002 00000021090  
USt-ID-Nr.: DE 811 687 678  
Versicherungsbeiträge sind umsatzsteuerfrei  
VersSt-Nr.: 9116 80100626

Bis jetzt gibt es keinen wissenschaftlich fundierten Nachweis für die Wirksamkeit einer Hagelabwehr durch die Freisetzung von künstlichen Eiskeimen (z. B. Silberjodid) in eine Gewitter- bzw. Hagelzelle durch Hagelflieger. Ein fundierter wissenschaftlicher Nachweis ist unserer Meinung nach dann möglich, wenn zwei identische und sich gleich verhaltende Hagelzellen beobachtet werden können. Eine der beiden Zellen wird durch Hagelflieger geimpft und die andere Zelle nicht. Einen derartigen labortechnischen Zustand wird es unserer Meinung nach in der Praxis vermutlich nie geben.

Auch aufgrund mehrjähriger finanzieller Unterstützung und Begleitung des Hagelflieger-Projekts im Mittleren Neckarraum in Federführung durch das Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und entsprechender Erfahrungen sind wir nicht davon überzeugt, dass den entstehenden Kosten durch Hagelflieger ein adäquater Nutzen für unsere Gebäude-Elementarschadenversicherung sowie Kfz-Versicherung gegenübersteht. Im Rahmen der bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse teilt die SV Sparkassenversicherung auch die kritischen Anmerkungen in der Ausarbeitung "Hagelentstehung und Hagelabwehr" (Beheng, K. (2010): Hagelentstehung und Hagelabwehr. Ein wissenschaftlicher Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand, o. O., Vgl. S. 60-67):

- unzureichende wissenschaftliche Erkenntnisse über die Abläufe und Prozesse zur Hagelentstehung,
- verbunden mit erheblichen Schwierigkeiten in der Früherkennung von Hagel (-niederschlag) durch unzureichende Messdaten,
- schwierige Bestimmung des richtigen Zeitpunktes und Ortes einer "Wolkenimpfung",
- die Problematik der ungenügenden Einbringung von Impfsubstanz in eine Gewitter- bzw. Hagelzelle und/oder
- die Problematik der unzureichenden Ausbreitung der Impfsubstanz in der Zelle, insbesondere in extrem großen Zellen.

Insbesondere zum letzten Argument verweisen wir auf die extreme Größe der Hagelzelle vom 28.07.2013 über Reutlingen mit einem Volumen (Radarreflektivität > 50 dBZ; ab diesem Schwellenwert ist Hagel möglich) von über  $1.800 \text{ km}^3$  ( $=1.800.000.000.000 \text{ m}^3$ ). Die SV Sparkassenversicherung teilt hierzu die Haltung von Herrn PD Dr. Michael Kunz vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung (KIT), dass bei sehr großen Superzellen, wie der vom 28.07.2013, praktisch keine Chance besteht in irgendeiner Form einzugreifen, um die Auswirkungen abzumildern (Herr PD Dr. Michael Kunz (2013), persönliche Mitteilung).

...

Auch wurde oft der Vergleich mit einer weiteren Hagelzelle über dem Rems-Murr-Kreis am gleichen Tag angestellt. Durch die "Wolkenimpfung" mit zwei Hagelfliegern sei dort eine Hagelentstehung verhindert worden, so die Argumentation (Landratsamt Rems-Murr-Kreis (Hrsg.) (2014): Hagelabwehr Region Stuttgart Bericht 2013, Waiblingen, [http://www.rems-murrkreis.de/111213\\_Hagelbericht\\_1500%283%29.pdf](http://www.rems-murrkreis.de/111213_Hagelbericht_1500%283%29.pdf)). Nach eingehenden Untersuchungen, u. a. Komposite aus verschiedenen Radaren, Satellitenauswertungen durch die NASA, Modellsimulationen mit dem operationellen Wettervorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes, durch Herrn PD Dr. Michael Kunz et al. war die nördliche der beiden Zellen jedoch deutlich schwächer ausgeprägt im Vergleich zu der Zelle über Reutlingen - sowohl hinsichtlich der maximalen Intensität als auch bezüglich der räumlichen Ausdehnung, insbesondere der Vertikalerstreckung (Kunz, M., et al. (2015): The severe hailstorm in Germany on 28 July 2013. Characteristics and meteorological conditions. EGU General Assembly, 12. - 17. April 2015, Wien, Österreich). Auch zum Zeitpunkt des Impfens von 17:07 bis 18:00 Uhr war die Intensität dieser Zelle deutlich geringer. Daher kommt Herr PD Dr. Michael Kunz zu dem Schluss, dass dieses Ereignis mitnichten ein Beweis für die Wirksamkeit des Impfens von Gewitterwolken sei.

Auch sind wir der Ansicht, dass die Hagelflugzeuge bzw. die Piloten einem äußerst hohen Risiko bei einem Einsatz in einer Hagelzelle ausgesetzt sind. Die in und um eine Zelle vorherrschenden meteorologischen Verhältnisse sind auch nach Ansicht der Wissenschaft nicht vorherzusehen und unberechenbar, insbesondere die Auswirkungen auf Material und das Flugverhalten und damit auch in der Gefährdung für die Piloten.

Trotz unserer kritischen Haltung gegenüber der finanziellen Unterstützung von Hagelfliegern, sind wir bemüht unseren Beitrag zur Hagelforschung und -abwehr zu leisten, unter anderem durch die Unterstützung von wissenschaftlichen Projekten und Ausarbeitungen. So arbeitet die SV Sparkassenversicherung zusammen mit dem Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) am KIT fortlaufend an einer Untersuchung zur Hagelgefährdung in Baden-Württemberg mit dem Ziel, Risikomodelle für die Hagelgefahr zu entwickeln.

Zudem hatten wir Anfang März 2015 auch ein Gespräch mit Vertretern des Hagelabwehrvereins Reutlingen, dem einerseits unsere Haltung gegenüber den Hagelfliegern bestätigt wurde. Andererseits wurde das Angebot unterbreitet, dass der Verein und die Hagelflieger unser Unwetterwarnsystem "WIND" zur Verbesserung der Früherkennung von Hagelunwettern kostenlos nutzen können. Der Hagelverein Reutlingen hat signalisiert, dass er die mögliche Nutzung von "WIND" erörtert und gegebenenfalls in Erwägung zieht.

...

Wir sind zuversichtlich, dass unsere Ausführungen die Haltung der SV Sparkassenversicherung für Sie bzw. den Mitgliedern des Kreistages zufriedenstellend wiedergeben. Gerne bieten wir Ihnen auch an, dass wir im Rahmen einer Sitzung des Kreistages Ihre zusätzlichen Fragen persönlich beantworten.

Mit besten Grüßen aus Stuttgart



Dr. Zehner



ppa. Philipp

**Quellen:**

Beheng, K. (2010): Hagelentstehung und Hagelabwehr. Ein wissenschaftlicher Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand, o. O., Vgl. S. 60-67

Landratsamt Rems-Murr-Kreis (Hrsg.) (2014): Hagelabwehr Region Stuttgart Bericht 2013, Waiblingen, [http://www.rems-murr-kreis.de/111213\\_Hagelbericht\\_1500%283%29.pdf](http://www.rems-murr-kreis.de/111213_Hagelbericht_1500%283%29.pdf), Stand: 27.03.2015

Kunz, M., Blahak, U., Handwerker, J., Schmidberger, M., Mohr, S., Punge, H.J., Fluck, E., Mühr, B. (2015): The severe hailstorm in Germany on 28 July 2013. Characteristics and meteorological conditions. EGU General Assembly, 12.-17. April 2015, Wien, Österreich