

Kan men iets doen tegen hagel?

Jon Wieringa (C.C.M., De Bilt)

In 2004 kochten Zeeuwse fruittelers een zogenaamd hagelkanon. De makers van dit apparaat beweren, dat het met lawaai golven hagelschade voor 95% kan voorkomen door vallende hagel te verpulveren. Ook zeggen zij, dat nergens in de wetenschappelijke literatuur bewezen is dat het niet werkt, en dat is helaas juist voor zover het Engelstalige publicaties van de afgelopen decennia betreft. Tijd voor een actueel overzicht van onzekere en van onzinnige acties tegen hagel.

Ooit een boomgaard of wijngaard na een fikse hagelbui gezien? Dat is een treurig gezicht! Werk van een jaar vernield, problemen met afnemers en met het budget -- een ramp. Geen wonder dat sinds onheugelijke tijden men probeert de hagel af te weren -- met magie, met klokgelui, en met de schutterij. Doordat zware hagel maar heel af en toe hier en daar valt is ook moeilijk na te gaan wat voor effect acties hebben. Een katholieke Nederlandse fruitteler had vaak hagelschade, tot hij in 1999 zich een zogenaamd "hagelkruis" aanschafte. Dat is een speciaal gefabriceerd kruis, gezegend door de nodige kerkelijke personen. Sinds die plaatsing heeft hij geen hagelschade meer gehad op zijn bedrijf. Klimatologisch is dat goed mogelijk.

In 2004 kochten Zeeuwse boeren op advies van Belgische collega's een zogenaamd hagelkanon. Dat is een ijzeren vat waarin men iedere zeven seconden acetyleen laat exploderen, en het geluid van de ontploffing (circa 150 dB) wordt door een verticale trechter op de wolken gericht om de hagel te vernielen. De Zeeuwen hadden voor die aanschaf geprobeerd om deskundig advies te krijgen of dit een effectieve vorm van hagelbestrijding was. Evenwel, het Zeeuwse landbouwproefstation was wegbezuinigd, en een ervaren meteoroloog zei tegen de pers over die aanschaf: "niet zo'n gek idee, met drukgolven kan je een ruit breken, dus waarom geen hagelstenen? Bovendien kan je veel hagelstenen tussen je vingers fijnwrijven, doordat er een hoop lucht in zit." Kennelijk had hij alleen ervaring met korrelhagel. Bovendien, de meeste handboeken van het weervak bevatten over hagel weinig meer dan de omstandigheden waarbij een hagelbui te verwachten valt. Zelfs in boeken over neerslagbeïnvloeding (Cotton en Pielke 1995) worden hagelkanonnen niet genoemd. Dus kochten de Zeeuwse fruittelers een kanon voor € 60 000, (figuur 1) en storen de burens met het lawaai onder het motto "misschien helpt het, proberen maar."



Figuur 1. Hagelkanon in boomgaard te Krabbendijke, 2004.

Bezaaiing van wolken

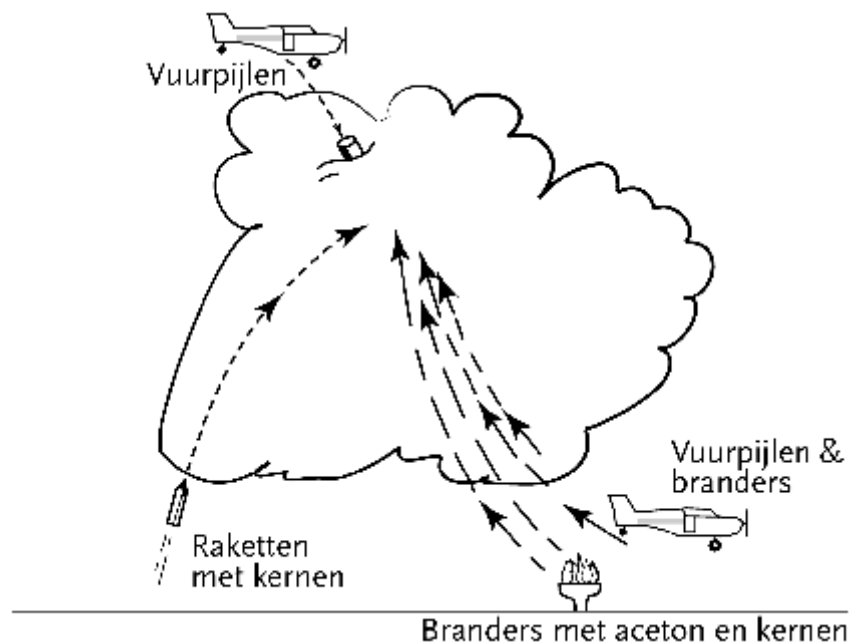
Hagel komt maar zelden voor omdat de voorwaarden van ontstaan veeleisend zijn. Meteorologen weten dat neerslagvorming in een wolk plaats vindt op condensatiekernen, en dat de gevormde druppels ook bij zeer lage temperatuur onderkoeld vloeibaar blijven, tenzij er ook kernen zijn met een ijsstructuur. Dan ontstaan ijsdeeltjes, die groeien ten koste van hun vloeibare burens, maar

meestal niet de afmetingen bereiken van hagel (> 5 mm). Bij een zwakke opstrooming in de wolk vallen ze en smelten meestal, en bij sterke opwaartse stroming worden ze de wol Kentop uitgeblazen naar het aambeeld van de cumulonimbus. Alleen in een complexe Cb, multicell of supercell, kan kleine hagel groeien in een zwakke opstrooming en dan in een andere sterkere opstrooming heel groot worden. Dat gebeurt niet vaak.

Als de mens hagelvorming wil beïnvloeden, dan is het enige bruikbare aangrijpingspunt de aanwezige kernen in een wolk. Er zijn verschillende strategieën bedacht om door inbrengen van kernen het ontstaan van grote hagelstenen te voorkomen (WMO 1996). Eén daarvan, "early rainout", is inbrengen van veel hygroscopische kernen in Cb-cellen met zwakke opstrooming, leidend tot het uitregenen van het water aldaar. Hoofdzakelijk uitgeprobeerd is echter de "beneficial competition" methode, strevend naar een onnatuurlijk groot aantal kernen met ijsstructuur in de wolk. Dat leidt tot vorming van zeer veel kleine hagelsteentjes in de wolk. Aangezien de hoeveelheid wolkenwater eindig is, zouden dan geen grote hagelstenen meer kunnen ontstaan.

Russische en Franse aanpak van inzaaiing

Beneficial competition, zeg maar overmaat aan concurrentie voor het beschikbare water, is in Rusland door Sulakvelidze toegepast door granaten of raketten met zilverjodide-ijskernen met precisie-artillerie te laten ontploffen in dat gedeelte van een wolk waar hagel wordt gevormd (figuur 2). Voor het localiseren van het tijdstip (binnen 5 tot 10 minuten) en de plaats (1 km³ op circa 5 km hoogte) van die hagelvorming is zeer vakkundige radarondersteuning nodig. Deze methodiek vereist dus grote investering in regionale hagel-afweercentra (Marwitz 1973). De Russen zeggen meer dan 50% van de hagelval te kunnen voorkomen. Elders gaven experimenten hoogstens 20% verbetering, en een groot internationaal experiment in Zwitserland (1976-1981, Grossversuch IV; zie Federer 1977) gaf nauwelijks aantoonbare hagelvermindering. Als alternatief van Sulakvelidze's artillerie-granaten worden in Amerika vanuit vliegtuigen raketten met zilverjodide in hagel-Cb's geschoten, opnieuw met onzeker resultaat (Kraus 1999).



Figuur 2. Alternatieve methoden om cumuluswolken in te zaaien

Beneficial competition is in Frankrijk door Dessens (1998) anders aangepakt. Ijskernen worden niet geschoten naar een geselecteerd wolkendeel, maar worden verspreid in de regionale troposfeer wanneer een dreigend front van onweerswolken nadert. Daarvoor is per regio een netwerk van grondstations georganiseerd, honderd boeren met een kleine brander die zilverjodide-rook maakt. Als de nationale weerdienst waarschuwt voor passage van een onweersfront over vier uur, dan worden de branders aangezet, en wordt de distributie van kernen overgelaten aan de heersende convectie, een bottom-up aanpak dus in meer dan één betekenis van die term.

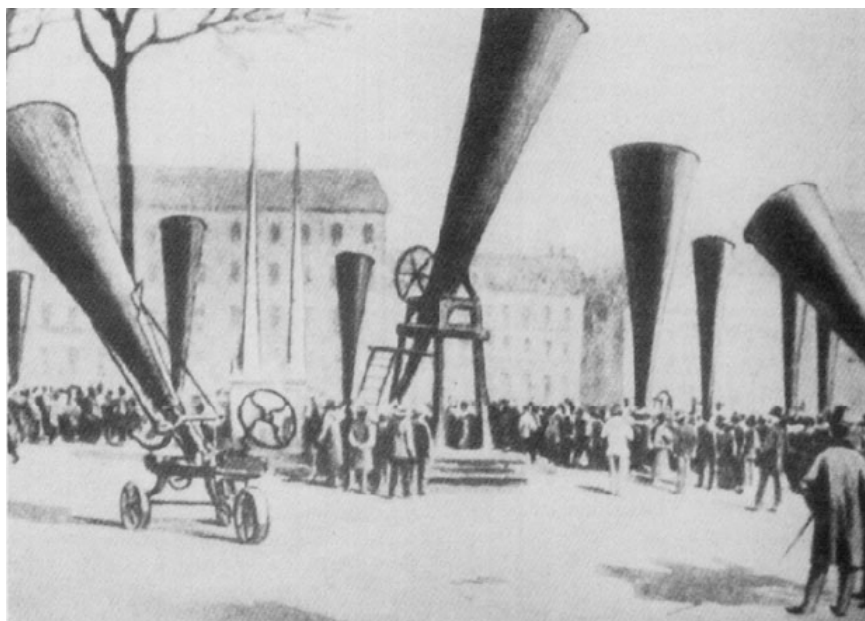
Dessens heeft met een netwerk van hagelstations onderzocht of dit werkt -- hij claimt circa 20% minder hagelval, gemiddeld over enige jaren. Een probleem bij zijn analyse is het ontbreken van een onbewerkt controle-gebied.

Hagelbestrijding door kern-inzaaiing is ontwikkeld in de jaren 1950. De Russische aanpak heeft een kostbare centrale dienst, de Franse aanpak vereist organisatie van een groot vrijwilligersnetwerk. Van geen van beide methoden is kosteneffectief succes verzekerd. Zou men zoiets in Nederland willen uitproberen dan is meteorologische voorstudie aanbevelenswaardig. Ook dient men vanaf het begin van een experiment objectieve hagelmetingen te doen. Bepaling van de mate van succes uit verzekeringsclaims is maar beperkt informatief, omdat die sterk afhankelijk zijn van de gewasgroeifase en van het percentage landbouwers dat verzekerd is. Bovendien is schade vaak mede een gevolg van slagregens en harde wind.

Hagel bevechten met geweld

Reeds eeuwen vóór 1950 probeerden landbouwers hun oogst te verdedigen tegen hagel. Een klassieke actie is te schieten op de wolken, vroeger met pijl en boog, nu met exploderende raketten. Volgens voorstanders van deze schutterij zouden door een raketexplosie alle hagelstenen binnen 400 m afstand worden vernietigd. Experimenten, zowel in het laboratorium (o.a. Favreau en Goyer 1967) als in het veld (Pernter 1907), tonen aan dat de werkingsstraal van TNT-explosies slechts van de grootteorde 10 m is, dus dat voor één hagelende Cb meer dan 10000 raketten nodig zouden zijn voor enig effect. Leken beseffen niet hoe ontzaglijk groot een Cb is. Raket-lancering is wel bevredigend, omdat je schiet op de vijand.

Het hagelkanon dat de Zeeuwse fruittelers kochten is in 1896 ontwikkeld door een Oostenrijker, Stiger. Hij had geluk, in zijn vallei hagelde het twee jaar niet (klimatologisch niet onwaarschijnlijk), en toen wilde iedereen het ding fabriceren en aanschaffen. Omstreeks 1900 stonden er in Oostenrijk en Noord-Italië ruim tienduizend hagelkanonnen, helaas niet altijd met nuttig effect wat betreft hagelschade E(figuur 3). en officieel experiment werd georganiseerd in de regio's Windisch-Feistritz (Stiermarken) en Castelfranco Veneto (Italië). In beide regio's werden in de halve regio 200 hagelkanonnen opgesteld en in de andere helft geen, en na drie jaar werd geconcludeerd door de Italiaanse Academie van Wetenschappen dat er geen significant verschil in hagelschade was tussen de "beschermd" en "onbeschermd" gebieden (Pernter 1907). Duizenden hagelkanonnen belandden op de schroothoop. Deze gebeurtenissen van een eeuw geleden zijn beschreven door Changnon en Ivens (1981) als voorbeeld van de opkomst en ondergang van een opgeblazen hype. Ze wisten niet dat de geschiedenis zich al herhaalde.



Figuur 3. Markt van hagelkanonnen tijdens het 3e Internationale Congres over Hagelschieten, Lyon 1901.

In 1972 begon in Frankrijk de firma Corballan opnieuw Stiger's kanon te produceren. Franse onderzoekers (die later ook deelnamen aan Grossversuch IV) onderzochten de effectiviteit en kwamen tot een volledig negatieve conclusie. Ze stelden het hagelkanon horizontaal op en hingen hagelstenen voor de trechter tot op 100 m afstand. Op geen enkele afstand bleek de kanon-schokgolf enig effect op de hagelstenen te hebben. Eerder laboratoriumwerk had aangetoond dat een schok van de orde van 300 hPa nodig is om een ietwat poreuze hagelsteen te beschadigen, en op 100 m afstand bedroeg de drukgolf van het kanon slechts 1.3 hPa (Ferrari en Paoletto 1982)

Franse hagelbestrijders verkozen daarna de Dessens-methodiek, maar in Italië, Spanje, België en Canada ontstonden kanon-fabriekjes. In 1982 stonden in de Italiaanse provincie Ferrara 49 kanonnen. In dat jaar was er hagelschade in 21% van de provincie, en in 22% van de locaties waar kanonnen waren opgesteld. Ook in de Italiaanse Val di Non, waar een hagelmeter-netwerk en radar-ondersteuning was, bleek er geen significant schade-verschil te zijn tussen het gebied met 12 kanonnen en het "onbeschermd" gebied. De kanonnen werden afgeschaft.

Misleidende reclame

Verkoop van de kanonnen wordt ondersteund door een folder, die trots meldt: "Officiële controle. Vanaf 1980 werd een antihagelkanon geplaatst in een boomgaard in Emmental (Zwitserland). Het boomkweekstation van Oeschberg doet een proef met 21 hagelmeters geplaatst in de vier windstreken. Er kan vastgesteld worden dat geen enkele hagelsteen gevallen is binnen een afstand van 500 m vanaf het kanon." De folder meldt per tabel dat in het "jaar 1981" en het "jaar 1983" pas enige hagel viel op 600 m afstand. Referentie ontbreekt.

Internationaal speurwerk leverde de rapportage van dit experiment (Maurer 1987). Het Emmental-gebied was onderdeel van het hagelmeternetwerk van Grossversuch IV, maar helaas stonden er geen hagelmeters op kortere afstand dan 400 m vanaf het plaatselijke hagelkanon. Het Oeschberg-instituut bleek tot en met 1986 totaal negen hagelbuien te hebben geanalyseerd, en bij een zevental buien had het in alle richtingen op 400 m afstand van het kanon vrijwel even hard gehageld als verder weg (zie tabel 1). Alleen de twee eerste buien, die op enige afstand van het kanon zijn gevallen, worden in de kanonfolder vermeld, waarbij ook nog gesuggereerd wordt dat het jaargemiddelden zijn. Hoe licht ik mijn mogelijke klanten op . . .

Tabel 1. Gemiddelde hagelval (per dm²) waargenomen door 21 hagelmeters rondom een Corballan antihagelkanon in Grosshöchstetten, Emmental.

Datum	Hageltype	Hagelval op gegeven afstand van hagelkanon			
		400 m	600 m	1000 m	2000 m
9-8-1981	matige hagel	0	1	11	40
4-7-1983	korrelhagel	0	1	30	62
7-6-1984	korrelhagel	115	113	199	205
31-7-1984	matige hagel	31	32	51	72
4-8-1984	korrelhagel	46	47	53	48
19-5-1985	zwarte hagel	27	26	30	37
18-8-1985	matige hagel	28	42	61	55
26-5-1986	lichte hagel	24	22	33	48
21-8-1986	lichte hagel	72	100	65	205

Ook hanteren de kanonfabrikanten hoogdravende kletspraat inzake de werking van hun kanon. Hun folder zegt "de schokgolven worden door de wolken teruggekaatst en botsen tegen stijgende golven, ioniseren daardoor de lucht, waardoor de ijskristallen onstabiel worden en geen waterdamp meer kunnen opnemen maar door de schokgolven worden versplinterd." Het officieel standpunt van de WMO (2001) over zulk gebazel is kortweg: "In recente jaren is opnieuw hagel bestreden met luidruchtige kanonnen. Er is geen wetenschappelijke onderbouwing, noch een geloofwaardige hypothese die zulke experimenten zou ondersteunen."

Hantering van het hagelprobleem

In Nederland was vroeger hagel een secundair probleem, in Zuid-Europa is het hagelrisico groter. Dus bestaan aldaar verenigingen van hagelbestrijders, zoals de Association Nationale d'Etude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques (anelfa@anelfa.asso.fr) die een brandernetwerk volgens Dessens beheert. In Nederland is echter de bezorgdheid over hagel gegroeid naarmate de landbouw kwetsbaarder werd, bijvoorbeeld door het telen van fruit op laagstammige boompjes, en naarmate de consument veeleisender werd. Fruit met beperkte schade is slecht verkoopbaar geworden.

Nu dus krijgt de Nederlandse meteoroloog echt te maken met publieke vragen over de maakbaarheid van het weer. Voorlopig zal dat nog geen betrekking hebben op regenmaken -- zie Wieringa en Lomas (2001) voor een overzicht daarvan. Hagelbestrijding is nu reeds in discussie. Uit bovenstaand overzicht volgt in ieder geval dat het geen zin heeft om een cumulonimbus te lijf te gaan met klein menselijk geweld, zoals artillerie of bovenmaatse luidsprekers. Dat is alsof een mier een olifant wil tegenhouden door in zijn poot te bijten. Het publiek zal vragen om onderzoek -- dat blijkt dus in voldoende mate gedaan te zijn, zowel inzake de verguisbaarheid van hagelstenen als ook inzake de resultaten van raketten en hagelkanonnen in het veld. Overigens zou het een illusie zijn om te denken, dat kennis van zaken alle liefhebbers van directe actie tegen die rotwolk zal weerhouden om nutteloos schiettuig aan te schaffen.

Onzekerder is tot dusver, in hoeverre het zin heeft om met zaaien van ijskernen een cumulonimbus zo te kietelen, dat hij zelf het nodige werk verricht om minder schadelijke hagel te produceren. Onderzoek naar de structurele eigenschappen van convectieve wolken zit nog met vele onopgeloste vragen (List 2004). In sommige landen schijnen zaaitechnieken beter te werken dan in andere landen. Eerst zou dus goed moeten worden nagegaan in hoeverre ons wolkenklimaat vergelijkbaar is met bewolking elders, indien ooit overwogen wordt om in Nederland hagel te bestrijden door inzaaiing volgens de Russische of Franse aanpak. Zelf acht ik de kans gering dat zoiets in Nederland kosteneffectief zou zijn.

Wanneer het weer niet actief maakbaar blijkt te zijn, dan blijft voor de landbouwer alleen de passieve verdediging mogelijk. In Zuid-Europa zijn vele boomgaarden tegenwoordig overdekt met netten, en ook in Limburg wordt dat nu beproefd. In hoeverre het microklimaat rondom het gewas door netten nadelig wordt beïnvloed is een vraag, die tot dusver nauwelijks voorgelegd is aan meteorologen.

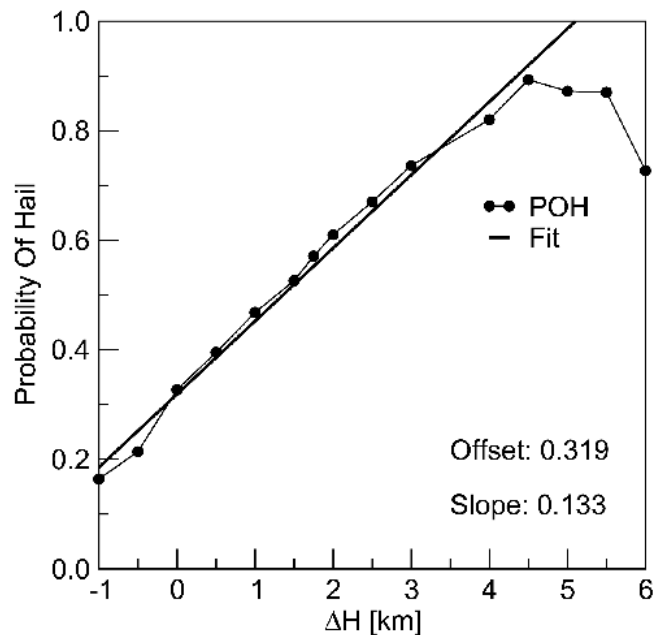
Hageldetectie en klimatologie

Nader hagelonderzoek vereist goede hagelval-gegevens. Die zijn niet makkelijk meetbaar met grondstations, omdat er geen automatische hagelmeters bestaan. Bij experimenten gebruikt men "hailpads", in het veld geplaatste piepschuim-tafeltjes, waarop de inslagputjes worden geteld na elke hagelbui. Dat is monnikenwerk. Voor klimatologische analyse zou een dicht landelijk meetnet van zulke pads gedurende circa vijf jaar nodig zijn, maar de opzet daarvan schijnt onbetaalbaar. Radargebruik is echter een alternatief.

Het KNMI deed recent een uitgebreid experimenteel onderzoek naar betrouwbaarheid van hageldetectie met radar (Holleman 2000). Het Waldvogel-criterium, ooit ontwikkeld voor Grossversuch IV, bleek het best te voldoen (figuur 4). Bij waarneming in een Cb van een laag met sterke radar-reflectie (> 45 dBZ) wordt de verticale uitgestrektheid ΔH van die laag boven het 0°C-niveau gebruikt als maat voor de sterkte van opwaartse stroming. Bij $\Delta H > 1.4$ km is er kans op hagelvorming. Tijdens een evaluatie in de zomer van 2000 bleek uit veldmetingen van 321 vrijwilligers en schadegegevens van drie hagelverzekeringsschermas dat de waarschijnlijkheid van hagelval, POH (Probability Of Hail), via de regressieformule

$$POH = 0.319 + 0.133 \Delta H$$

over een verrassend brede range goed spoort met de meetgegevens, zoals te zien is in bijgaande grafiek. De actuele grootte van de radarreflectiviteit levert nadere informatie over de mogelijke hagelval.



Figuur 4. Waarschijnlijkheid van hagelval, geschat uit waarnemingen en schaderapportage in 2000, als functie van radar-bepalingen van de Waldvogel-parameter ΔH .

Deze hagel-detectiemethodiek blijkt nuttig voor verwachtingen. Tevens kan echter opbouw van een bestand met radarmetkaartjes van onweersdagen over een aantal jaren gebruikt worden voor hagelklimatologisch onderzoek. Resultaten daarvan zouden bruikbaar zijn voor bepaling van de hoogte van de premie voor hagelverzekeringen. Alwaar die premie economisch onhaalbaar hoog wordt, kan men ter plaatse beter geen fruit telen zonder netten over de boomgaard, en beter geen ingevoerde nieuwe auto's parkeren in de open lucht.

Conclusie

De atmosfeer bestuderen ten bate van goede aanpassing is wijzer dan te proberen de atmosfeer te forceren. Menselijk "geweld" werkt in 't geheel niet tegen hagel, en beïnvloeding van hagelvormingsprocessen door bezaaiing is onzeker in resultaat.

Deze overzichtsstudie is opgesteld met steun van het Productschap Tuinbouw. Bij uitwerking en presentatie was samenwerking met Iwan Holleman (KNMI) zeer nuttig en plezierig. De resultaten zijn ter publicatie ingediend bij het Meteorologische Zeitschrift (Wieringa en Holleman 2006).

Literatuur

- Changnon, S.A., J.L. Ivens, 1981: History repeated : the forgotten hail cannons of Europe. Bull.Am.Meteor.Soc. 62, 368-375.
- Cotton, W.R., R.A. Pielke, 1995: Human impacts on weather and climate. Cambridge Univ.Press, U.K., 288 pp.
- Dessens, J., 1998: A physical evaluation of a hail suppression project with silver iodide ground burners in southwestern France. J.Appl.Meteor. 37, 1588-1599
- Favreau, R.F., G.G. Goyer, 1967: The effect of shock waves on a hailstone model. J.Appl. Meteor. 6, 326-335
- Federer, B., 1977: Methods and results of hail suppression in Europe and in the USSR. In: Brant Foote G., Knight C.A. (Eds.): Hail: a review of hail science and hail suppression. Am.Meteor.Soc. Meteor.Monogr.16 (38), 215-223
- Ferrari, P., P. Paoletto, 1982: Cannoni antigrandine ad onda acustica: aggiornamento al 1981. Terra Trentina 28, no.1 p.10-12, no.2 p.6-9, no.3 p.44-46.
- Holleman, I., 2000: Detectie van zomerhagel met radar. Meteorologica 9 (3), 21-25
- Kraus T.W., 1999: Hail suppression. 7th WMO Conf. Weather Modification (Chiang Mai; WMO/TD.N° 936, WMP-Rep.N° 31), Suppl., 33-38
- List, R., 2004: Weather modification, a scenario for the future. Bull.Am.Meteor.Soc. 85, 51-63

- Marwitz, J.D., 1973: Hailstorms and hail suppression techniques in the USSR, 1972. *Bull.Am.Meteor.Soc.* 54, 317-325
- Maurer, J., 1987: Hagelschutzkanone Corballan Versuch 1980-1986. Rep. Kantonale Zentralstelle für Obstbau, Oeschberg, Switzerland, 8 pp..
- Pernter, J.M., 1907: Das Ende des Wetterschiessens. *Meteor.Zeitschr.* 24 (3), 97-102
- Wieringa, J., I. Holleman, 2006: If cannons cannot fight hail, what else ? Ingediend bij *Meteor.Zeitschr.*
- Wieringa J., J. Lomas, 2001: Lecture notes for training agricultural meteorological personnel. WMO-No.551 (2nd ed.), 196 pp., ISBN 92-63-12551-1.
- WMO, 1996: Expert meeting to review the present status of hail suppression. WMO-TD.No.764 (WMP-Rep.No.26).
- WMO, 2001: WMO statement on the status of weather modification. 53rd WMO Exec. Council, Annex III, 94-98.