

Hagel-Vorwarnung

Schlussbericht, SRF Meteo
April 2016

Inhalt

Abstract.....	3
1 Übersicht zum System	4
1.1 Voraussetzungen	4
1.2 Lösungsansätze	4
1.3 Lösungsansatz SRF Meteo	4
1.3.1 Was is MOS	5
1.3.2 Input-Daten	5
1.3.3 Output-Daten	6
1.4 Verifikationsmethoden	6
2 Verlauf der Pilotphase	7
2.1 Installation.....	7
2.1.1 Datenexport	7
2.1.2 Radardaten: Unerwartete Probleme.....	7
2.1.3 Entwicklung der MOS-Gleichungen und Aufbau des operationellen Systems.....	7
2.1.4 Entwicklung der Plattform.....	7
2.1.5 Erste Installationen	8
2.2 Anpassungen und Erkenntnisse im Betrieb	8
3 Ergebnisse	9
3.1 Fallbeispiele.....	9
3.2 Verifikation	11
4 Schlussfolgerungen.....	11
5 Dank	12
6 Quellen	13

Abstract

In einem Pilotprojekt von drei Jahren konnte aufgezeigt werden, dass es möglich ist, eine Kurzzeit-Vorhersage für Hagel zu berechnen und damit Storen zuverlässig zu schützen. Die Präventionsstiftung der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen hatte das Projekt initiiert und finanziert, SRF Meteo hat es zusammen mit Meteoservice GmbH umgesetzt. In den drei Pilotjahren zwischen 2013 und 2015 konnte eine Trefferquote von rund 90% erzielt werden.

1 Übersicht zum System

1.1 Voraussetzungen

Das Projekt wurde von der Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV) initiiert und finanziert. Die meteorologische Aufgabenstellung war:

- a) Entwicklung eines Prognosetools, mit dem Hagelunwetter rund 20 Minuten vor dem Eintreffen am Objekt punktgenau erkannt werden können.
- b) Unmittelbare Ausgabe einer Warnung/eines elektronischen Impulses, der von der Gebäudesteuerung des gefährdeten Objektes erkannt wird und das Hochfahren der Sonnen-/Lammellenstoren auslöst.
- c) Die False Alarm Rate sollte möglichst tief sein; am Workshop wurde eine Trefferquote von 50 bis 70 Prozent für den Start als realistisch beurteilt.

Im Beitragsgesuch zuhanden der Präventionsstiftung wurde festgehalten: „Ziel ist die Entwicklung einer sehr kurzfristigen, lokal eng begrenzten Hagelvorhersage. Auf Basis dieser Vorhersage wird automatisch ein elektronisches Signal an die angemeldeten und ausgerüsteten Storensteuerungen im betroffenen Gebiet versandt. Diese werden dadurch hochgefahren. Nach dem Ereignis wird entwarnt und die Storen werden automatisch wieder runtergefahren. Das Signal kann als reiner ja/nein Wert oder als Wahrscheinlichkeit ausgegeben werden.“

1.2 Lösungsansätze

Bei Projektbeginn gab es bereits Hagelwarnsysteme: Der Wetter-Alarm der Gebäudeversicherungen warnte vor „Gewittern mit Hagel und Sturmböen“, allerdings in einer recht groben Auflösung von 172 Regionen auf dem Gebiet der Schweiz. [Wetter-Alarm, 2012] Mit einer derartigen Auflösung ist die Fehlalarm-Rate für einzelne Gebäude hoch, da ein Hagelzug einen Radius von einigen 100 Metern bis maximal weniger Kilometer hat, die bewarnte Region aber eine Grösse von beispielsweise 30 km. So wird bei einem Hagelzug zwangsläufig ein zu grosses Gebiet gewarnt, auch wenn jeweils nur ein kleines Teilgebiet betroffen ist.

Bekannt waren auch Ansätze mit dem so genannten Cell-tracking [Rinehart und Garvey, 1978]. Bei Tracking-Systemen werden Gewitterzellen in Radarbildern automatisch erkannt und deren Umrisse definiert. Durch Vergleich von aufeinanderfolgenden Radarbildern wird die Trajektorie der Zellen berechnet und dann extrapoliert. Solche Systeme können zwar regional eng begrenzte Hagelwarnungen machen, allerdings basieren sie meist nur auf Radardaten. Andere diagnostisch und prognostisch elementare Daten zu Gewitterzellen wie beispielsweise Blitze werden ausser acht gelassen: Mit derartigen Methoden können die Entwicklung von Hagelzellen nicht und deren mutmassliche Zugbahn nur linear berechnet werden. Eine Hagelzelle bewegt sich aber selten strikt linear sondern wird durch zahlreiche zusätzliche Faktoren wie beispielsweise durch andere Zellen, durch das Gelände/Topografie oder durch Veränderungen des Höhenwindes stetigen Veränderungen unterworfen.

1.3 Lösungsansatz SRF Meteo

Im Prognosesystem, das SRF Meteo für die Hagelvorwarnung verwendet, werden Prognosedaten aus den Wettermodellen sowie Radar-, Blitz- und Stationsdaten verwendet. Und es wird eine weitere erfolgreiche Methode eingesetzt: MOS, Model Output Statistics [Glahn et al., 1972]. Dieses statistische Verfahren erlaubt es dem System, aus der Vergangenheit zu lernen.

Vereinfacht gesagt werden im MOS die berechneten Daten aus den Prognosesystemen mit den Messungen, z.B. des Radars korreliert. Daraus lassen sich dann Gleichungen ableiten, die eine Kurzzeitprognose erlauben. Das gesamte Prognosesystem wurde in Zusammenarbeit MeteoService in Berlin entwickelt.

1.3.1 Was is MOS

Das System zur Berechnung der Hagelgefahr basiert auf den so genannten Model Output Statistics (MOS). Dies ist ein Prognosesystem, das optimierte Vorhersagen erzeugt. Als Basis dienen historische Beobachtungsdatenreihen, die mittels Multipler Linearer Regression analysiert werden. Zusammenfassend basiert die Berechnung der Prognose auf folgenden Formeln:

$$\begin{aligned} \text{Hagel} = & c1 * \text{Regenintensität} \\ & + c2 * \text{Wind} \\ & + c3 * \sin(\text{TagImJahr}) \\ & + c4 * \text{Persistenz}(-1h) \\ & + c5 * \text{Radar-Advektion} \\ & + c6 * \text{Blitz-Advektion} \end{aligned}$$

Die Faktoren c1 bis c6 werden dabei mittels Regressionsanalysen aus den historischen Daten errechnet. So wird es möglich, Zusammenhänge zwischen der Blitzaktivität in der Umgebung eines Punktes und dem Auftreten von Hagel an einem Punkt zu berechnen.

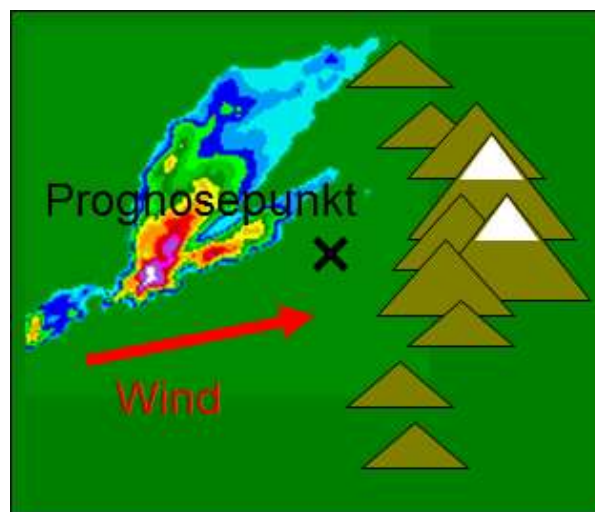


Abb. 1: Im operationellen Prognosebetrieb berechnet das MOS-System für einen Prognosepunkt x die Hagelgefahr aus Regenintensität in der Umgebung (in Windrichtung stromaufwärts), dem Wind, dem Tag im Jahr, der Wettersituation vor einer Stunde, der Radarechos (in Windrichtung stromaufwärts) und der Blitzaktivität (in Windrichtung stromaufwärts):

MOS-Prognosen gab es bis anhin lediglich für geografisch fix definierte Punkte, also für Messstationen. Beim Hagel-MOS wird das MOS-Verfahren erstmals auf sich bewegende Objekte (Gewitter- bzw. Hagelzellen) angewendet. Die Entwicklung dieses MOS-Verfahrens hat SRF Meteo bei MeteoService in Berlin in Auftrag gegeben. MeteoService ist spezialisiert auf MOS-Prognosen und in diesem Bereich weltweit führend. MeteoService weist mehrjährige Erfahrung bei der Entwicklung von Unwetter-MOS-Systemen für Deutschland aus.

1.3.2 Input-Daten

Für die Regressions-Analysen wurden zunächst archivierte Daten der letzten drei Jahre verwendet. Es waren dies:

- Modelldaten (alle 6 Stunden)
- Radardaten (alle 5 Minuten)
- Messdaten von Wetterstationen (zu Stundendaten aggregiert aus 10-Minuten-Daten)
- Blitzdaten (laufend)

Am Ende jeder Saison wurde der Datenbestand aller Input-Daten nachgeführt und daraus neue und angepasste Regressionsgleichungen entwickelt.

1.3.3 Output-Daten

Im operationellen System laufen die Input-Daten-Typen wieder als Eingangsgrössen ein. D.h. das System berechnet mit seinen Gleichungen die Hagelprognose aus aktuellen Radar-, Blitz-, Mess- und Modelldaten. Und es berechnet diese Prognose nicht für einzelne Messpunkte, sondern für eine rechteckige Fläche, die die Schweiz beinhaltet.

Das Hagelvorwarnsystem macht seine Berechnungen alle fünf Minuten neu. Es hat eine räumliche Auflösung von 1 km x 1 km, der Prognosehorizont beträgt 120 Minuten. Pro Tag werden somit Prognosen für insgesamt 714'396'672 Punkte berechnet. Für die Storensteuerung werden nur Daten für die ersten 45 Minuten verwendet. Damit reduziert sich zwar die Vorwarnzeit auf maximal 45 Minuten, die Trefferquote wird aber erhöht.

Das System an sich gibt keine ja/nein-Entscheidung aus für Hagel, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass Hagel mit einer Korngrösse über 1.5 cm auftritt. Überschreitet diese Wahrscheinlichkeit 5%, wird das Signal an die Storensteuerung ausgegeben. Die Festlegung dieses Schwellenwertes wird im Laufe des Projekts Gegenstand von weiteren Untersuchungen sein. Bisher wurden zwei Überlegungen gemacht:

1. Das Kosten-/Verlust-Verhältnis. Wenn man die Kosten des Storen-Hochziehens ins Verhältnis setzt zum Verlust bei Hagelschlag und heruntergefahrenen Storen, kommt man auf eine sehr kleine Zahl. Die Kosten des Hochziehens sind gering, es sind allenfalls Stromkosten. Aber der Verlust durch Schaden ist gross. Daher war der erste Ansatz, eine kleine Zahl von 1% für die Schwelle der Hagelwahrscheinlichkeit zu nehmen. Wenn also die Hagelwahrscheinlichkeit grösser 1% ist, wird bereits eine Warnung abgesetzt.
2. Im Gespräch mit verschiedenen Interessierten, insbesondere auch mit der Begleitgruppe des Projekts, wurde eine höhere Wahrscheinlichkeit gewünscht. Die Argumente waren, dass nur bei einer sicheren Prognose gewarnt werden solle. Dies, um die Fehlalarmrate möglichst gering zu halten und unnötiges Einziehen der Storen zu vermeiden, damit der Nutzer das System möglichst gut akzeptiert. Diese Argumentation ist nachvollziehbar, denn sie bringt bei den Kosten im Kosten-/Verlust-Verhältnis den Faktor „Verlust an Lebensqualität bei hochgezogenen Storen“ ein. Es wird im weiteren Verlauf des Projekts nötig, diesen Faktor etwas konkreter zu erfassen, um ein besseres Kosten-/Verlust-Verhältnis und damit eine bessere Warnschwelle zu erhalten.

1.4 Verifikationsmethoden

Die Verifikation eines Hagelalarm-Systems ist relativ komplex. Die grösste Herausforderung ist die sogenannte Bodenwahrheit, also die Messung von Hagel am Boden. Eigentlich müsste dafür ein flächendeckendes Hagelmessnetz gebaut werden. Doch es sind nur wenige zuverlässige Hagelsensoren operativ im Einsatz. Die einzige Möglichkeit für eine flächendeckende Aussage zu Hagel bietet das Radar. Allerdings misst ein Radar streng genommen nicht Hagel, sondern die reflektierte Energie eines Partikels in der Atmosphäre. Das Radar sendet ein Signal aus und misst, wie viel von der ausgesendeten Energie wieder zurückkommt.

Es gibt diverse Methoden, wie aus einem solchen Echo auf Hagel geschlossen werden kann. [Mason, 1971] schlug vor, 55 dBZ als Schwellenwert zu verwenden. Das Waldvogel-Kriterium [Waldvogel, 1979] definierte eine Hagelzelle als Zelle, deren 45-dBZ-Fläche 1400 m höher als die Nullgradgrenze liegt. Beide Kriterien machen keine Aussage über die Grössenverteilung der Hagelkorngrösse in einer Zelle. Dazu gibt es den MESHS (Maximum Expected Severe Hail Size) [Treloar, 1998].

In unserem Fall galt ein Pixel als ein Hagelpixel gemäss Radar, wenn er eine Reflektivität von > 55 dBZ aufwies und auch in der Vertikalen die 55 dBZ über mindestens 5 km überschritten wurden. Eine Warnung gilt als korrekte Warnung, wenn entweder das bewarnte Pixel oder mindestens einer der angrenzenden Pixel im Radar Hagel aufwies.

Das Hagelalarm-System berechnet im Kern die Wahrscheinlichkeit für Hagel > 1.5 cm. Entsprechend haben wir zunächst die Reliability untersucht und erst in einem zweiten Schritt die Trefferquote des Systems.

2 Verlauf der Pilotphase

2.1 Installation

2.1.1 Datenexport

SRF Meteo bereinigte alle Archivdaten (Radar-, Blitz- und Messdaten sowie Daten zu Gewitterzellen). Diese Daten wurden an MeteoService exportiert. Die Austauschformate zwischen MeteoServices wurden definiert. Alle Datensätze und Formate wurden dokumentiert.

2.1.2 Radardaten: Unerwartete Probleme

Die Radardaten werden in der Schweiz vom staatlichen Wetterdienst MeteoSchweiz erhoben, SRF Meteo kauft diese Daten ein. Das Radarmessnetz wurde in den Jahren 2011 und 2012 erneuert. Einerseits hat MeteoSchweiz alle drei Radarstationen neu gebaut (Albis, La Dôle, Monte Lema). Weiter hat sich die Auflösung der Daten von 2 km x 2 km auf 1 km x 1 km verbessert und die Radarskala wurde von 7 Stufen auf 255 Stufen verfeinert. Dieser tief greifende Wechsel im Radarsystem geschah etwa in der Mitte der Archivperiode, die für das Hagel-MOS verwendet wurde. Daher mussten zuerst alle alten Radar-Daten von einem 2 km-Gitter auf ein 1 km-Gitter umgerechnet werden, wozu ein Gaussverfahren angewendet wurde, das eine optimale Interpolation ermöglichte.

Weiter stellte sich heraus, dass nicht nur die Radarskala von 7 auf 255 Stufen angepasst wurde, sondern auch die Umrechnung von Radarreflektivität auf Niederschlagsintensität. Dieser Umstand konnte schliesslich als unproblematisch klassifiziert werden. Da das MOS-System mit Schwellenwerten rechnet, muss man die Umrechnung nur an den Schwellen kennen und zwischen den alten und neuen Daten in Übereinstimmung bringen.

In den letzten beiden Jahren kamen noch zwei zusätzliche Radarstationen hinzu: Plaine Morte (VS) und Weissfluhjoch (GR). Diese beiden Stationen verbessern die Vorhersagen des MOS-Systems leicht, es ist aber zu berücksichtigen, dass es sich um inneralpine Stationen handelt, dass aber die meisten Hagelzellen über Voralpen, Mittelland, Jura und Tessin ziehen. Die Daten der neuen Radarstationen werden bei der Entwicklung der Regressionsgleichungen im MOS-System berücksichtigt.

2.1.3 Entwicklung der MOS-Gleichungen und Aufbau des operationellen Systems

MeteoService hat die MOS-Gleichungen entwickelt, die Multivariaten Regressionsgleichungen wurden aus den Archivdaten berechnet. SRF Meteo stand während der ganzen Entwicklungsphasen in engem Kontakt mit MeteoService und es fand ein grosser Wissensaustausch bezügl. Gewittermeteorologie statt. Insbesondere musste für den Alpenraum definiert werden, was in einem Radarbild als Hagelzelle gelten soll und was nicht. Aus der Radarforschung gibt es dazu klare Ergebnisse, die in diese Formeln einfließen.

Im Februar lagen erste Fallstudien aus dem System vor. In der Folge wurden die Exportformate optimiert. Es ging dabei darum, die höchstmögliche Rechen- und Übertragungs-Geschwindigkeit im System zu erreichen.

2.1.4 Entwicklung der Plattform

SRF Meteo hat die Verteilplattform für die Hagelwarnungen konzipiert und entwickelt. Diese Plattform muss einerseits die Daten aus dem MOS-System schnell importieren und dann die Warnungen gemäss den vorgängig definierten Schwellenwerten für die Hagelwahrscheinlichkeit (>5%) aussteuern. Weiter muss sie die laufenden Warnungen verwalten und erkennen, wann und für welchen Punkt wieder eine Entwarnung ausgegeben werden kann. Dies geschieht derzeit nach einer halben Stunde ohne weitere Überschreitung der Hagelwarnschwelle.

Die Auslieferung der Warnsignale geschieht als XML-Datei bzw. als SMS. Dazu wurden die Transportprotokolle und Schnittstellen mit den Partnern definiert und aufgebaut. Für den SMS-Versand arbeitet SRF Meteo mit einem SMS-Provider zusammen. Dafür wurde ebenfalls eine Austauschschnittstelle programmiert.

Auf der Plattform werden alle SMS-Nummern der Gebäudesteuerungen verwaltet. Es werden alle ausgesteuerten Meldungen protokolliert. Die diversen Logfiles des Systems liegen vor, werden archiviert und können analysiert werden.

2.1.5 Erste Installationen

Am 1. Mai 2013 konnte das System termingerecht in Betrieb genommen werden. Bereits im Laufe dieses ersten Betriebsmonates wurden die ersten Gebäude angeschlossen. Die Tests mit den verschiedenen Versandarten zeigten, dass der SMS-Versand sehr schnell ist. Die Meldung erreicht die Steuerung in deutlich weniger als 10 Sekunden. Der XML-Versand war ebenfalls schnell und beträgt in der Regel weniger als 30 Sekunden.

2.2 Anpassungen und Erkenntnisse im Betrieb

In der ersten Saison der Pilotphase zeigten sich sowohl bei der Plattform von SRF Meteo als auch beim Versand Engpässe. Zum Beispiel hat sich gezeigt, dass die Schreibrate von herkömmlichen Serverfestplatten nicht ausreicht, wenn das System Prognosen für mehr als 5 Gewitterzellen gleichzeitig ausgab. Durch diverse gezielte Software-Optimierungen konnten diese Engpässe in der zweiten Saison behoben werden.

Die Verteilplattform, die die Hagelwarnungen verarbeitet und an die verschiedenen Systeme zum Versand aussteuert, belieferte ursprünglich zwei grundsätzlich unterschiedliche Verbreitungskanäle: IP-basiert und SMS. Bei der IP-basierten Lösung wird für jeden gewarnten Punkt die jeweilige Information an unseren Partner netIT übergeben. netIT gibt darauf den entsprechenden Steuerungsbefehl via Netzwerk an die Storensteuerung. Beim SMS-Weg wird ein Befehl als SMS an eine Steuerungsbox übermittelt, welche dann die Storen ansteuert.

Im Laufe der drei Jahre hat sich gezeigt, dass es beim SMS-Weg leider keinen einheitlichen Technologie-Standard gibt, denn die verschiedenen Partner haben unterschiedliche Geräte in Betrieb, die je unterschiedliche Befehle brauchen. Somit musste praktisch für jede Installation separat definiert werden, wie die Befehle genau aussehen. Zudem wurden von den Installateuren in der Regel sogenannte Prepaid-SIM-Karten eingesetzt. Diese haben zwar keine Abokosten, aber sie haben den grossen Nachteil, dass der Nutzer etwa einmal pro Jahr eine kostenpflichtige Aktion von der SIM-Karte aus machen muss, sonst wird die Karte deaktiviert. Eine solche Aktion ist bei einem Storensteuerungsgerät praktisch nicht zu machen. Daher wird vom Versand über SMS nun abgeraten.

3 Ergebnisse

3.1 Fallbeispiele

Bereits am ersten Tag des Betriebs zeigte das System seine Fähigkeiten. Am Nachmittag zog eine Gewitterzelle ausserhalb des Juras auf, die das System sofort erkannte und korrekt bewarnte.



Abb. 2: Die erste Hagelwarnung mit dem CellMOS für den 1.5.2013, 15.00 Uhr

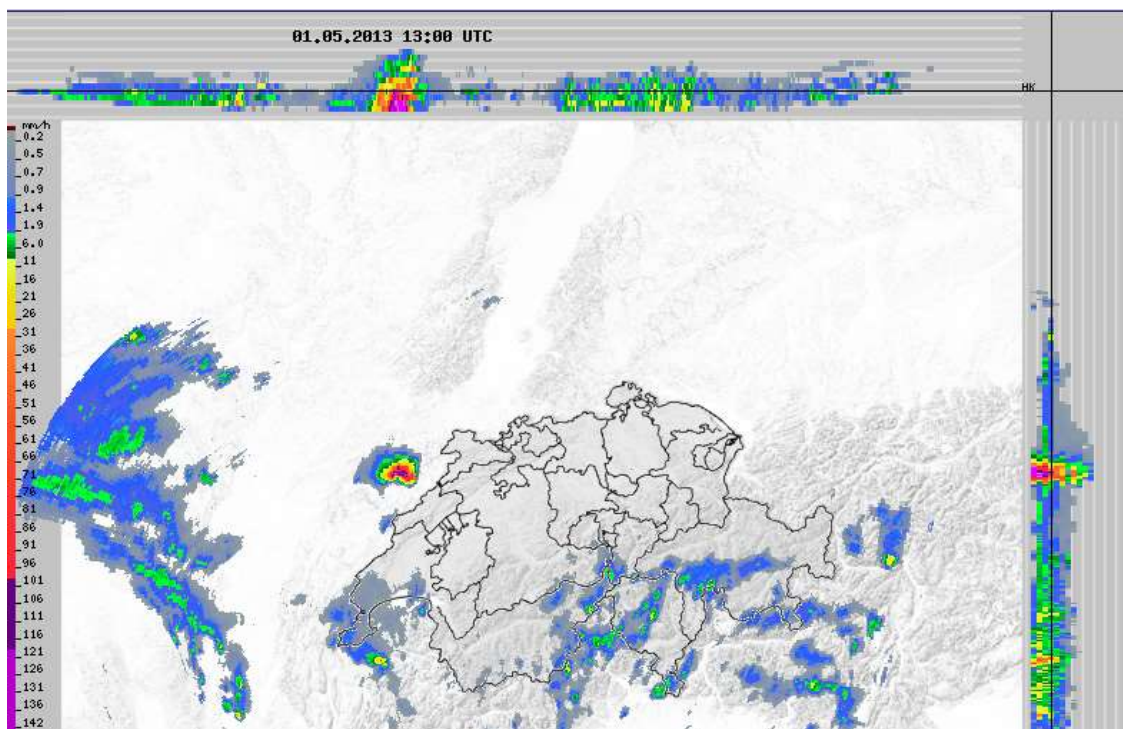


Abb. 3: Die effektive Hagelzelle vom 1.-5. 2013, 15.20 Uhr

Im weiteren Verlauf der Pilotphase zeigten sich immer wieder die grossen Vorteile unseres statistischen Ansatzes im Vergleich zu den bekannten linearen Extrapolation-Methodiken (Kapitel 1.2). So zeigt das unten stehende Bild deutlich, dass unser System auch Zugbahnen prognostizieren kann,

die aufgrund des Windfeldes oder der umgebenden Gewitterzellen nicht zu erwarten wären. Für die Zelle nördlich des Thunersees wird eine nach rechts gebogene Zugbahn prognostiziert, d.h. die Zelle sollte südlich der Rigi durchlaufen. Und genau diese Zugbahn hat die Zelle schliesslich auch genommen. Eine ausschliesslich Höhenwind-basierte und lineare Extrapolation dagegen hätte vermuten lassen, dass die Zelle nördlich der Rigi durchzieht.



Abb. 4: Prognostizierte Zugbahn der „Rigi-Hagelzelle“ vom 6.8.2013, 16.00 Uhr: CellMOS prognostizierte eine südliche Zugbahn



Abb. 5: Radarbild der „Rigi-Hagelzelle“ vom 6.8.2013, 16.20 Uhr: Die mit dem CellMos prognostizierte Zugbahn wurde bestätigt.

3.2 Verifikation

Nach dem ersten Jahr wurden die Qualität und der Nutzen der Wahrscheinlichkeitsprognosen des Systems untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass das System etwas zu oft Werte mit tiefer Wahrscheinlichkeit ausgibt. Dies ist für ein Warnsystem, das schützen soll, nicht schlecht; die Trefferquote ist dadurch höher. Zu wenige Warnungen wären ungünstiger – es würden zu viele Fälle verpasst. Der Nachteil ist allerdings, dass dadurch auch die Fehlalarmrate höher ist. Und zu viele Warnungen können die Akzeptanz eines Warnsystems beeinträchtigen und im Extremfall dazu führen, dass das Warnsystem ganz abgestellt wird.

In den folgenden Jahren wurden dann die Trefferquoten bei einer Schwelle von 5% Wahrscheinlichkeit untersucht. Als Verifikationsbasis wurden die aus Radardaten abgeleiteten Hagelgebiete verwendet, siehe auch 2.4. Verifikationsmethoden.

	Anzahl Tage mit Hagel	POD
2013	34	94%
2014	35	87%
2015	40	96%

Tabelle1: Anzahl Hageltage und Probability of detection (POD) für die drei Testjahre: Im Mittel konnte eine Trefferquote von rund 90 Prozent erreicht werden.

Im Schnitt beträgt die Trefferquote also rund 90%. Wenn man die Trefferquote für einzelne Tage berechnet, zeigt sich eine gewisse Variabilität. Die tiefste Trefferquote wurde am 13. Juli 2013 erreicht. An diesem Tag gab es nur einzelne Gewitter im Berner Oberland, die eine hohe Entwicklungsdynamik zeigten und dennoch nahezu ortsfest blieben.

Solche Lagen machen dem System Probleme, insbesondere, wenn eine Zelle an Ort und Stelle „explodiert“. In so einem Fall kommt die Warnung zu spät. Eine Ursache ist sicher die Geschwindigkeit der Entwicklung. Ist diese höher als die Geschwindigkeit der Datenverarbeitungskette, kann das System überfordert werden. Von der Aufnahme des Radarbildes bis zum Beginn der Verarbeitung dauert es 3 Minuten. Weitere 2 Minuten benötigt die Berechnung der Prognose und ca. 30 Sekunden dauert die Verteilung des Signals an die Storensteuerung. Bei einer hochexplosiven Lage kann innerhalb dieser maximal 5.5 Minuten eine Hagelzelle mitunter „wie aus dem Nichts“ vor Ort entstehen.

4 Schlussfolgerungen

Mit unserem System verfügen wir über eine neuartige Prognosemethodik, mit dem Storen zuverlässig vor Hagelschlag geschützt werden können. Wie bei jedem meteorologischen Prognosesystem kann dennoch keine Trefferquote von 100% erreicht werden. Insbesondere windschwache, explosive Gewitterlagen machen Probleme und führen zu ausbleibenden oder verspäteten Warnungen. Die Qualität der Vorhersagen ist mit dem vorliegenden System aber deutlich höher als mit den bisher bekannten und angewandten Methodiken. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass das angestrebte Ziel der VKF erreicht worden ist.

5 Dank

SRF Meteo bedankt sich herzlich bei der Präventionsstiftung der KGV, dass sie dieses interessante Projekt ermöglichte. Ein besonderer Dank gilt dabei Martin Jordi, der das Projekt intensiv begleitete und das Projekt immer wieder mit konstruktiven Inputs vorwärtstriebe. Und ein Dank geht auch nach Berlin zu MeteoService GmbH, die das System aufgebaut und betrieben hat.

6 Quellen

Glahn, H.R. and Lowry, D. (1972). The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting, *J. Appl. Meteor.* 11,1203–1211

Mason, B. (1971). The physics of clouds. *Oxford Univ Pr, Oxford.*

Rinehart, R.E. and Garvey, E. (1978). Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, 273, 287-289.

Treloar, A. (1998). Vertically integrated radar reactivity as an indicator of hail size in the Greater Sydney region of Australia. In *19th Conference on Severe Local Storms*, pages 48 - 51, Minneapolis, Minnesota. 14-18 September.

Waldvogel, A., Federer, B., and Grimm, P. (1979). Criteria for the detection of hail cells. *J. Appl. Meteor.*, (18):1521 - 1525.

Wetter-Alarm (2012). www.wetteralarm.ch