

SEMESTERARBEIT

STÜNDLICHE NIEDERSCHLAGSANALYSE FÜR DIE SCHWEIZ

DISAGGREGATION VON
TAGESNIEDERSCHLAGSFELDERN MITTELS
NIEDERSCHLAGSRADARBILDERN

ETH Zürich Sommersemester 2004

Fachbereich: Institut für Atmosphärenphysik und Klima
Prof. Dr. Christoph Schär
Verfasser: Adrian Altenhoff
Betreuer: Dr. Marc Wüest und Dr. Christoph Frei

Besten Dank an Marc Wüest und Christoph Frei für deren Unterstützung und Betreuung.

ZUSAMMENFASSUNG. Diese Arbeit stellt eine neue Niederschlagsanalyse vor. Mittels der bisherigen Niederschlagsanalysen (Klimatologien anhand von Bodenstationen) und der Komposite von Wetterradar der Schweiz wurde eine räumlich hochaufgelöste, stündliche Niederschlagsanalyse erstellt. Dabei werden die Radarkomposite nur für die zeitliche Disaggregation der Niederschlagsmengen verwendet. Der am Boden gemessene Tagesniederschlag bleibt unverändert. Die Arbeit stellt das verwendete Vorgehen im Detail vor und gibt einen Überblick über die überzeugend ausgefallenen Resultate.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Problembeschreibung	4
2. Daten	4
2.1. Bodenniederschlagsmessung	4
2.2. Radarbilder	5
3. Methodik	6
3.1. Koordinatentransformation	7
3.2. Aufbereitung der Radarbilder	7
3.3. Aggregation der Radarbilder	9
3.4. Disaggregation der Tagesniederschlagsmengen	9
4. Resultate	10
4.1. Aggregation der Radardaten	11
4.2. Vergleich der disaggregierten Niederschlagsmengen mit einer Wetterstation	12
5. Schlussfolgerungen und Ausblick	12
Literatur	13

1. PROBLEMBESCHREIBUNG

Heutige Niederschlagsanalysen für die Schweiz und den Alpenraum beruhen heute vorwiegend auf Daten von Bodenstationen und haben deshalb eine räumlich und zeitlich begrenzte Auflösung. Diese Daten werden auf Grund der grossen Anzahl Messstationen als vergleichsweise genau erachtet [2], [3].

Andererseits werden auch Niederschlagsanalysen mittels Radarverbunden [4] mit einer deutlich grösseren räumlichen und zeitlichen Auflösung gemacht. Die geschätzten Niederschlagsmengen sind bei dieser Methode jedoch viel ungenauer.

Beide Methoden werden zur Validierung von numerische Wettervorhersagemodelle (z.B. [5]) und andere Anwendungen extensiv genutzt, jedoch bisher weitgehend unabhängig von einander. Diese Arbeit versucht nun die beiden Methoden zu vereinigen. Die neue Niederschlagsanalyse soll die Vorteile beider Methoden kombinieren und den Bedarf eines zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Niederschlagsmodells mit hoher quantitativer Genauigkeit decken.

2. DATEN

Um die vorgestellte Problemstellung zu lösen, wurden zwei Datenquellen benutzt. Dies sind zum einen die Bodenniederschlagsmessungen und zum anderen Niederschlagsradarbilder. In den folgenden Abschnitten wird kurz auf die Herkunft und die Probleme dieser Daten eingegangen.

2.1. Bodenniederschlagsmessung. Die Niederschlagsdaten stammen von etwa 400 Pluviometerbeobachtungen aus der gesamten Schweiz. Hinzu kommen noch einige Stationen vom umliegenden Ausland. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Stationen. Diese Stationen werden in der Regel nur einmal am Tag abgelesen. Sie haben aber eine sehr hohe Messgenauigkeit. All diese Messungen sind in das *Mesoscale Alpine Programme (MAP)* eingeflossen. Entstanden ist daraus ein Datensatz mit den täglichen Niederschlägen der letzten 40 Jahre.

Mittels einer Variante des SYMAP-Algorithmus wurden die täglichen Niederschlagsanomalien gegenüber einer Langzeitklimatologie auf ein Gitter von etwa 2 km interpoliert. In [3], [2] wird die Methode genauer beschrieben.

Als klimatologisches Grundlage für diese Analyse dient eine hochauflösende monatliche Klimatologie auf einem feinskaligen Gitter von 2 km [9]. Als Interpolationsverfahren wurde PRISM verwendet, welches aus den Stationsdaten und einem Höhenmodell eine statistische Beziehung zwischen dem Niederschlag und der Topographie bestimmt ([7], [1]) und bei der Interpolation ausnützt.

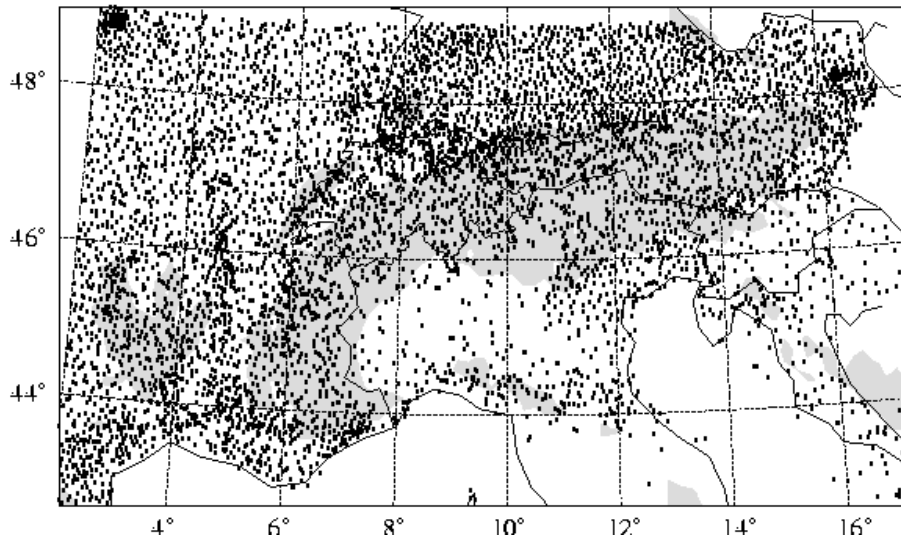


ABBILDUNG 1. Orte aller verwendeter Pluviometerbeobachtungen. CH: ca 400, alle: ca. 6600 [3]

Diese Daten dienen im weiteren Verlauf dieser Arbeit als exakte Beobachtungen für den Tagesniederschlag an einem beliebigen Ort in der Schweiz.

2.2. Radarbilder. Ein Niederschlagsradar funktioniert, wie alle anderen Radars auch, indem die Zeit gemessen wird, die ein Mikrowellenpuls benötigt, um vom Sender zum Streukörper - in unserem Fall Niederschlagsteilchen - und zurück zu gelangen. Optimiert für Niederschlagsmessungen ist es durch die Wahl der Wellenlänge; sie beträgt etwa 5 cm. Die Stärke des empfangenen Signals lässt sich dann in eine Regenrate uminterpretieren. Diese Schätzung ist für viele praktische Anwendungen zu ungenau.

Das Niederschlagsradar ist ein sehr geeignetes Instrument um den Niederschlag in einer Umgebung von etwa 130 km um den Radarstandort in grosser zeitlicher und räumlicher Auflösung zu betrachten. So hat man typischerweise ein Volumen von etwa 1 km^3 und eine zeitliche Auflösung von wenigen Minuten. Leider stösst man in der Radarmeteorologie auf eine Reihe von Problemen und Fehlerquellen. Abbildung 2 gibt dazu eine kleine Übersicht.

- (1) Radarstrahl überschießt bodennahe Echos in grosser Entfernung. Dies passiert Aufgrund der Erdkrümmung und des Elevationswinkels λ der Radarantenne. Die Höhe des Radarpulses in der Entfernung r von der Radarantenne berechnet sich:

$$h(r) = h_0 + r \tan \lambda + \sqrt{R^2 + r^2} - R$$

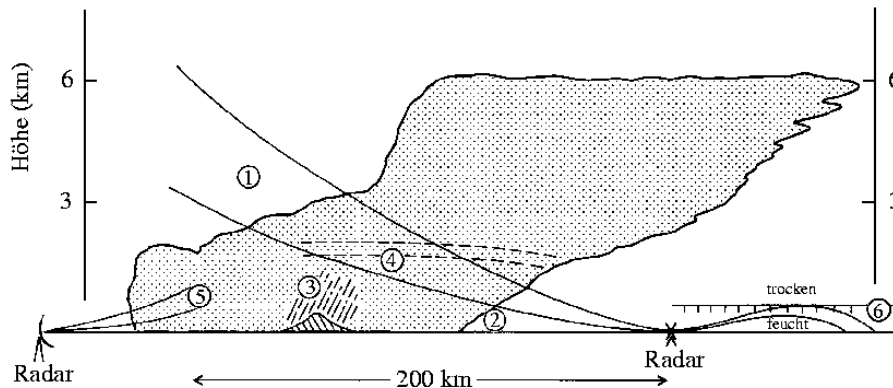


ABBILDUNG 2. Probleme bei der Interpretation von Radardaten [8]

Dabei ist h_0 die Höhe der Radarantenne und R der Erdradius. In 100 km Distanz beträgt die Höhe h des Radarstrahles bereits etwa 900 Meter bei einem Elevationswinkel λ von 0.5° .

- (2) Verdunstung des Niederschlages in geringer Höhe über Boden
- (3) Orografisch bedingte Zunahme der Niederschlagsintensität
- (4) Objekte mit einer sehr grossen Reflektivität schatten Regionen dahinter ab. Solche Objekte können Berge oder auch starke Niederschläge sein.
- (5) Die Intensität von Nieselregen wird oft unterschätzt, da dessen Regentröpfchen sehr klein sind. Aufgrund der grossen Anzahl Regentröpfchen kommt so aber dennoch eine ansehnliche Rate zusammen.
- (6) Der Radarstrahl kann an Luftmassengrenzen gebeugt werden. Im Extremfall kann der Radarstrahl wieder in den Boden abgelenkt werden.

Da das Radar eine so grosse Anzahl von Fehlerquellen im Hinblick auf eine genaue Regenrate hat, wurden in dieser Arbeit die Radardaten nur für die Disaggregation verwendet. Die Niederschlagsmenge stammt ausschliesslich aus den Beobachtungen.

3. METHODIK

Um das gewünschte Ziel der Disaggregation der Tagesniederschlagsmengen in Stundenmengen zu erreichen müssen folgende Schritte durchgeführt werden:

- Koordinatentransformation der Radarbilder
- Aufbereitung der Radarbilder
- Aggregation der vom Radar gemessenen Niederschlagsmengen auf Stundenwerte
- Disaggregation der beobachteten Tagesniederschläge auf Stundenwerte

In den folgenden Abschnitten werden diese Punkte genauer erläutert.

3.1. Koordinatentransformation. Die Koordinatensysteme der Tagesniederschlagsfelder und der Radardaten sind leider nicht dieselben. Die Radardaten liegen auf einem Gitter in Schweizerkoordinaten mit einer Auflösung von 2 km x 2 km. Demgegenüber liegen die Tagesniederschlagsfelder auf einem regulären geographischen Längen-Breiten-Gitter mit einer Gittergrösse von $0.020833^\circ \times 0.020833^\circ$. Dies entspricht im Mittel etwa einer Gittergrösse von 1.55 km x 2.31 km. Des weiteren ist der Datenbereich der Tagesniederschlagsfelder viel kleiner als jener der Radarbilder.

Da die Daten in weiteren Anwendungen besser in einem Longitude-Latitude-Gitter vorliegen, werden die Radarbilder in dasselbe Koordinatensystem wie die Tagesniederschlagsfelder transformiert. Dazu werden in einem Preprocessing-Schritt für jede Zellen im Long/Lat-System der Nearest-Neighbor im Radarbild berechnet. Die Abbildung 3 zeigt dieses Mapping.

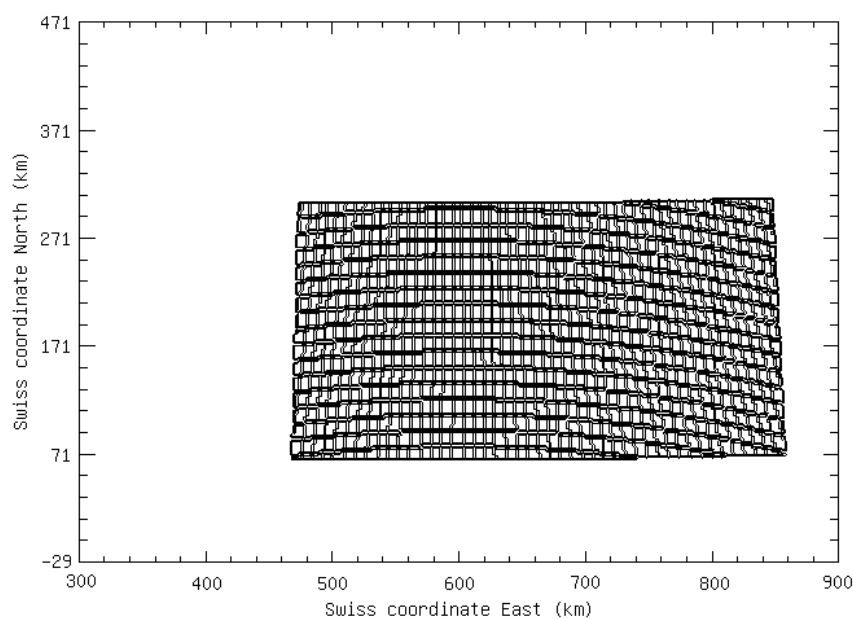


ABBILDUNG 3. Darstellung der Klimatologiezellen im Radargitter

3.2. Aufbereitung der Radarbilder. Als Grundlage dieser Arbeit diente das *TODAY-Produkt* der Meteo Schweiz. Dies ist ein Radarprodukt wofür von 20 Elevationen der maximale Reflexionswert an jedem Punkt genommen wird. Abbildung 4 zeigt ein solches Bild. Im Abschnitt 2.2 wurde bereits auf die allgemeinen Probleme der Niederschlagsradarbilder eingegangen.

Für diese Arbeit war es wichtig, möglichst exakte Niederschlagsintensitäten zu erhalten. Deshalb durchläuft jedes Bild einen Aufbereitungsprozess. Zunächst werden Geographiedaten wie Grenzen oder Flüsse

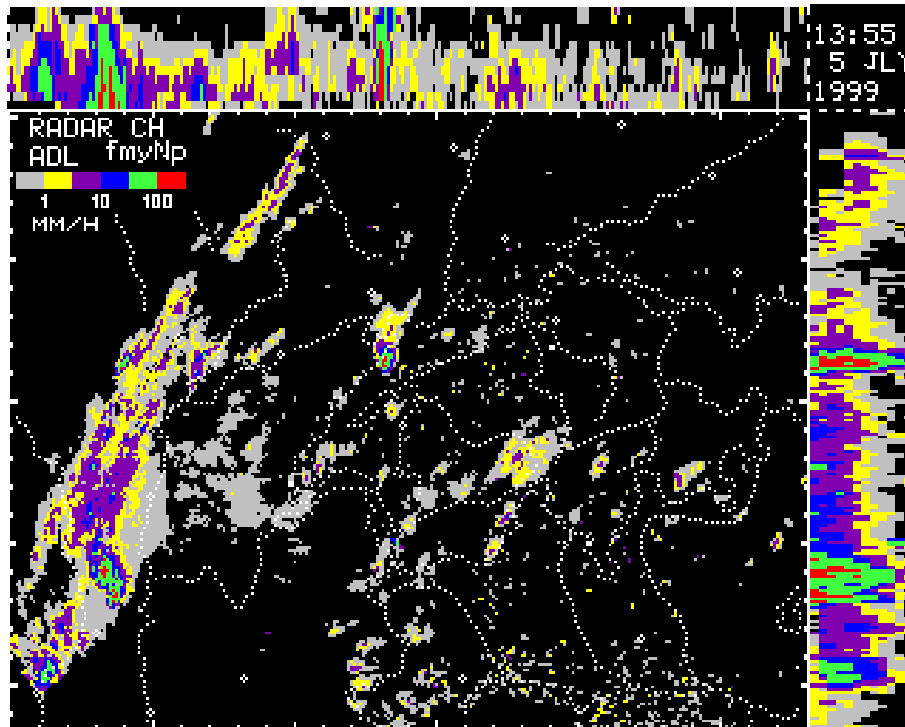


ABBILDUNG 4. Maximalradarbild vom 5. Juli 1999 um 13.55 UTC

Farbcode	Farbindex	Regenrate mm/h	verwendete Rate
schwarz	0	0.0	0.0
grau	1	< 1.0	0.57
gelb	2	< 3.0	1.7
violett	3	< 10.0	5.6
blau	4	< 33.0	18
grün	5	< 100.0	57
rot	6	>= 100.0	150

TABELLE 1. Verwendete Regenraten zu den verschiedenen Farbcodes

gelöscht. Ebenso geht man mit Zellen im Umkreis von 130 km um eine Radarstation ausser Betrieb vor. Diese Zellen können aber im späteren Verlauf durch Filteroperationen (vgl. Absatz 3.3) wieder gebraucht werden.

Für die noch übrig bleibenden Zellen wird dann die Radarreflektivität z aus den diskreten Regenraten (Tabelle 1 zeigt die Umrechnung von Farbcode zu Regenraten R) mittels folgender Gleichung für die im Preprocessing vorbereiteten Koordinaten berechnet:

$$z = 300 * R^{1.5}$$

3.3. Aggregation der Radarbilder. Im nächsten Schritt werden die Reflektivitäten der Radarbilder punktweise zu Stundenwerten aggregiert:

$$z(\mathbf{x}, T) = \sum_{t_i \in T} z(\mathbf{x}, t_i)$$

Da das Radar eine Reflektivität misst, aggregiert man die diese und nicht die aus der Reflektivität errechnete Regenrate. Aus den aggregierten Reflektivitäten wird am Ende wieder eine Regenrate berechnet.

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben werden verschiedene Radarechos gelöscht, oder waren gar nie im Bild vorhanden, da sie von Geographiedaten verdeckt waren. Daneben wurden aber auch falsche Echos aufgezeichnet, so z.B. von Flugzeugen. Diese nur einzelne Punkte grossen Löcher und Zusatzechos werden in den Stundenbildern herausgefiltert. Da insbesondere bei konvektiven Niederschlägen markante Übergänge zwischen Regenintensitäten existieren, darf dazu jedoch kein Weichfilter verwendet werden, der die Intensitäten ausgleicht. Statt dessen wird ein Filter verwendet, der nur auf einzelne Punkte wirkt: Punkte, die weniger als 5 Nachbarn mit Regen haben, werden auf 0 mm/h gesetzt. Umgekehrt wird bei Punkten, die einen fehlenden Wert haben (weil z.B. dieser Punkt von Geographiedaten verdeckt war) der Mittelwert seiner 5 bis 8 Nachbarn berechnet.

Mittels dieser Methoden werden nur die Grenzen der Regenfelder geglättet, nicht aber die Intensitäten. Dies ist sehr wichtig, da spezielle auch die Spitzenwerte von Bedeutung sind. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich zwischen einem ungefilterten und einem gefilterten Stundenbild.

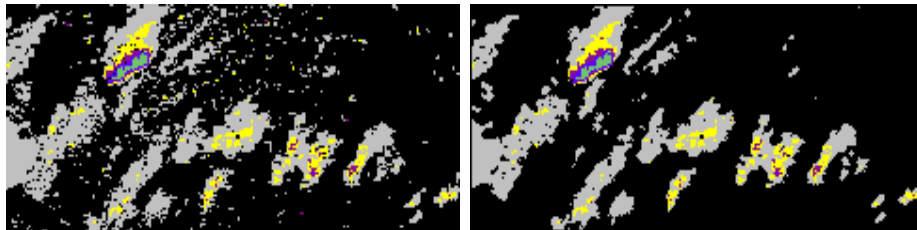


ABBILDUNG 5. Vergleich zwischen dem ungefilterten (links) und dem gefilterten Stundenradarbild (rechts) vom 7.5.1999 13:40 (inkl.) bis 14:40 UTC (exkl.)

3.4. Disaggregation der Tagesniederschlagsmengen. Die disaggregierten Tagesniederschlagsmengen M sind mittels der Radarmessungen gewichtete Teile des Tagesniederschlags.

$$M(\mathbf{x}, T_i) = \frac{R(\mathbf{x}, T_i)}{\sum_{T_i \in \text{Day}} R(\mathbf{x}, T_i)} M_D(\mathbf{x}) \quad 1 \leq T_i \leq 24$$

wobei M_D der beobachtete Tagesniederschlag und $R(\mathbf{x}, T_i)$ die aggregierte Radarniederschlagsrate in der Stunde i beschreibt, wie sie im Absatz 3.3 vorgestellt wurde.

		beobachteter Niederschlag		
		Missing	0	>0
Radarmessung des Niederschlags	Missing			
	0			
	>0			

ABBILDUNG 6. Grafische Anschauung der Situationen für die Disaggregation. Sowohl die Beobachtungen als auch die Radardaten können fehlen, keinen Regen oder Regen melden.

In Abbildung 6 werden die möglichen Situationen grafisch dargestellt.

- Der grüne Bereich ist der oben mathematisch beschriebene Fall: Wenn das Radar ein Echo registriert, dann wird die beobachtete Niederschlagsmenge gemäss der Radarmessung auf den Tag verteilt.
- Der rote Bereich besagt nur, dass wenn der beobachtete Niederschlagswert fehlt, auch die Disaggregation nicht durchführbar ist.
- Der blaue Bereich beinhaltet die etwas komplizierteren Fälle, wo beispielsweise das Radar kein Echo registriert, es aber dennoch geregnet hat. In diesen Fällen wird die beobachtete Menge an Niederschlag gleichmässig auf alle 24 Stunden aufgeteilt. So wird sicher gestellt, dass die disaggregierten Niederschlagsmengen immer noch der gesamten beobachteten Menge entspricht und kein Wasser verloren geht.

4. RESULTATE

Als Testjahr wurde das Jahr 1999 gewählt, da es eine ganze Reihe aussergewöhnlicher Wettererscheinungen beinhaltet. Um die erzeugten Daten zu validieren, werden hier zwei durchgeführte Test beschrieben. Dies wäre zum einen ein Test, der die Methode der Aggregation der

Radardaten zu Stunden- und Tagesmengen untersucht und zum anderen ein Vergleich der disaggregierten Niederschlagsmengen mit einer Wetterstation.

4.1. Aggregation der Radardaten. Um die Aggregation der Radardaten zu Stunden- und Tagesniederschlagsmengen grob zu validieren wurden die Beobachtungen und die zu Tagesniederschlagsmengen aggregierten Radarbilder visuell miteinander verglichen. Abbildung 7

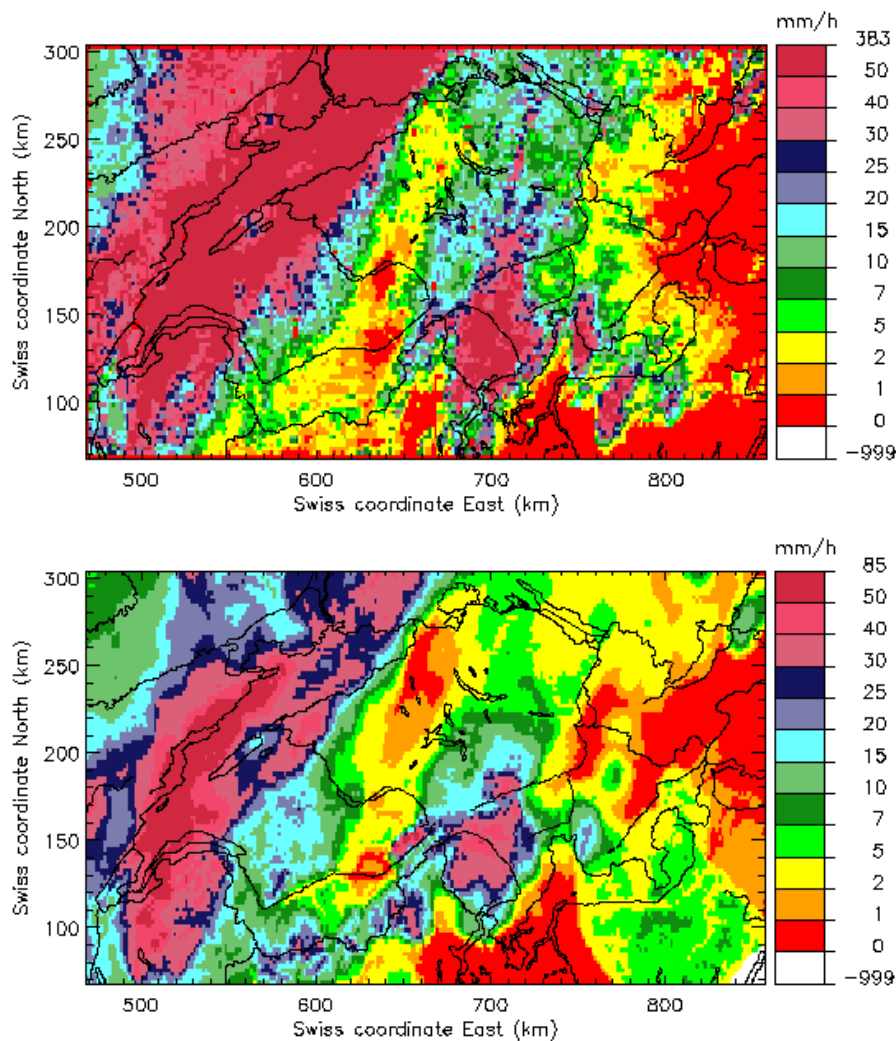


ABBILDUNG 7. Vergleich der Tagesniederschlagsmenge zwischen den aggregierten Radardaten (oben) und den Beobachtungen (unten) am 5.7.1999

zeigt einen solchen Vergleich vom 5.7.1999. Es ist gut zu erkennen, dass das Radar tendenziell zu viel Niederschlag misst. Dieser Effekt ist um so grösser, je stärker die Niederschläge ausfallen. Ein Grund dafür sind sicherlich die wenigen Intensitätsklassen bei starken Echos. Dass die

Weterradars oft zu viel Niederschlag messen ist aber ein bekanntes Problem. Aus diesem Grund werden in der hier vorgestellten Methode auch nur die beobachteten Niederschlagsmengen auf den Tag verteilt. Die räumliche Verteilung der Niederschläge stimmt aber sehr gut überein. Dies genügt letztlich für dieses Verfahren.

4.2. Vergleich der disaggregierten Niederschlagsmengen mit einer Wetterstation. Bei diesem Test wird das Model visuell gegen die ANETZ-Station *Zürich SMA* geprüft. Abbildungen 8, 9, 10 und 11 zeigen zwei Ausschnitte für alle vier Jahreszeiten. Es ist gut zu erkennen, dass die Unterschiede im allgemeinen sehr klein sind. Die erreichte Genauigkeit entspricht den Erwartungen.

Die vorhandenen Abweichungen sind auf folgende Phänomene zurückzuführen:

- In die Beobachtungsdaten gehen an jedem Punkt mehrere Messpunkte ein. So kann selbst an einem Ort mit einer Messstation die beobachtete Tagesniederschlagsmenge vom Stationswert leicht abweichen.
- Die Gitterauflösung des Modells beträgt ca. 2 km x 2 km. Auch innerhalb einer solchen Gitterbox kann es natürlich immer noch unterschiedlich starke Niederschläge geben, insbesondere bei konvektiven Niederschlägen.
- Oft werden Niederschläge etwas in die Länge gezogen, d.h. die Bodenmessstation misst eine kürzere Zeit Niederschlag am Boden. Dies hängt auch wieder mit dem Pulsvolumen und der Gitterauflösung von 2 km x 2 km zusammen. Bis eine Regenzelle durch die gesammte Gitterbox hindurch gewandert ist, dauert es länger, als dies für einen Beobachtungspunkt innerhalb der Box der Fall ist.
- Es ist bis zum Schluss dieser Arbeit auch nicht ganz klar, wann eine Messstunde genau beginnt. In dieser Arbeit wird immer davon Ausgegangen, dass der Tag um 5:40 UTC startet. Wenn dies nicht bei allen Wetterstationen eingehalten wird, können sich natürlich auch Fehler ergeben.

Eine genauere Analyse würde den Umfang dieser Arbeit sprengen. Es ist aber geplant, eine separate Arbeit für die Validierung und Auswertung dieses Datensatzes durchzuführen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Diese Arbeit beschreibt eine Methode die räumliche und zeitliche Auflösung der bisherigen Niederschlagsanalysen für den Alpenraum mittels Niederschlagsradars zu verbessern. Die erreichten Resultate sind sehr plausibel.

Entstanden ist ein Produkt, welches nun für weitere Arbeiten verwendet werden kann.

LITERATUR

- [1] **Daly C., Neilson R.P., Phillips D.L. (1994):** A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. In: International Journal of Applied Meteorology 33: 140 - 158, Boston
- [2] **Frei C., Hällner E. (2001):** Mesoscale precipitation analysis from MAP SOP Rain-gauge data. MAP newsletter, 15, 257-260
- [3] **Frei C., Schär C. (1998):** A Precipitation Climatology of the Alps from High-Resolution Rain-Gauge Observations. In: International Journal of Climatology 18:873-900, Chichester
- [4] **Hagen M. (1999):** The Alpine Radar Composite. MAP-newsletter, 11, 20-21
- [5] **Mladek, R., et al. (2000):** Intercomparison and evaluation of precipitation forecasts for MAP seasons 1995 and 1996. Meteorol. Atmos. Phys., 72, 111-129
- [6] **Schäfer, Klaus P.:** Remote sensing of clouds and the atmosphere VIII : 9-12 September 2003, Barcelona, Spain : Bellingham, Washington : SPIE, 2004
- [7] **Spatial Climate Analysis Service (Ed.) (1999):** Climate mapping with PRISM. Internal report at Oregon State University, 326 Strand Agricultural Hall, Corvallis OR 97331-2204, USA
- [8] **Vaughan, R. A. (Ed), 1987:** Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology, NATO ASI Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences Vol. 201
- [9] Hydrologischer Atlas der Schweiz, 2001, Tafel 2.6 und 2.7

ADRIAN ALTENHOFF, BAHNHOFSTRASSE 15, 4108 WITERSWIL
E-mail address: adriaal@student.ethz.ch

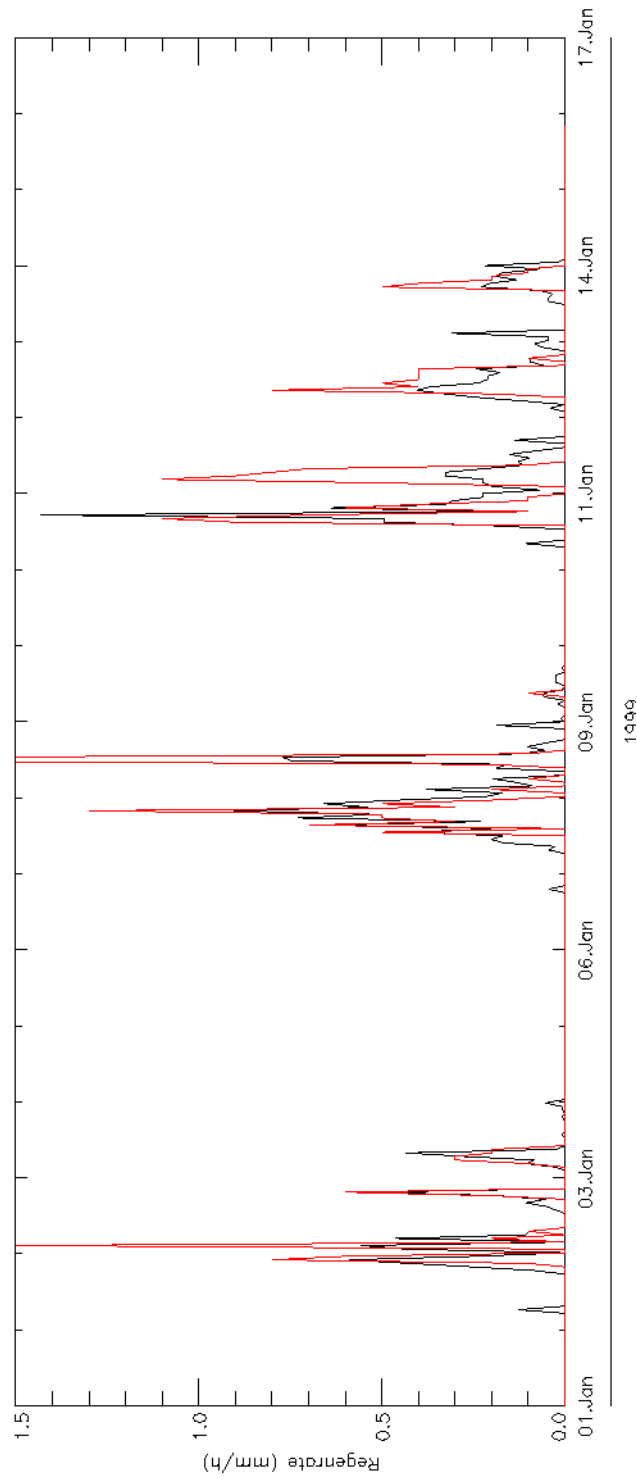


ABBILDUNG 8. Vergleich der Beobachtungen (rot) und der vom Model erstellten Niederschlagsverteilung (schwarz) für Zürich im Januar 1999.

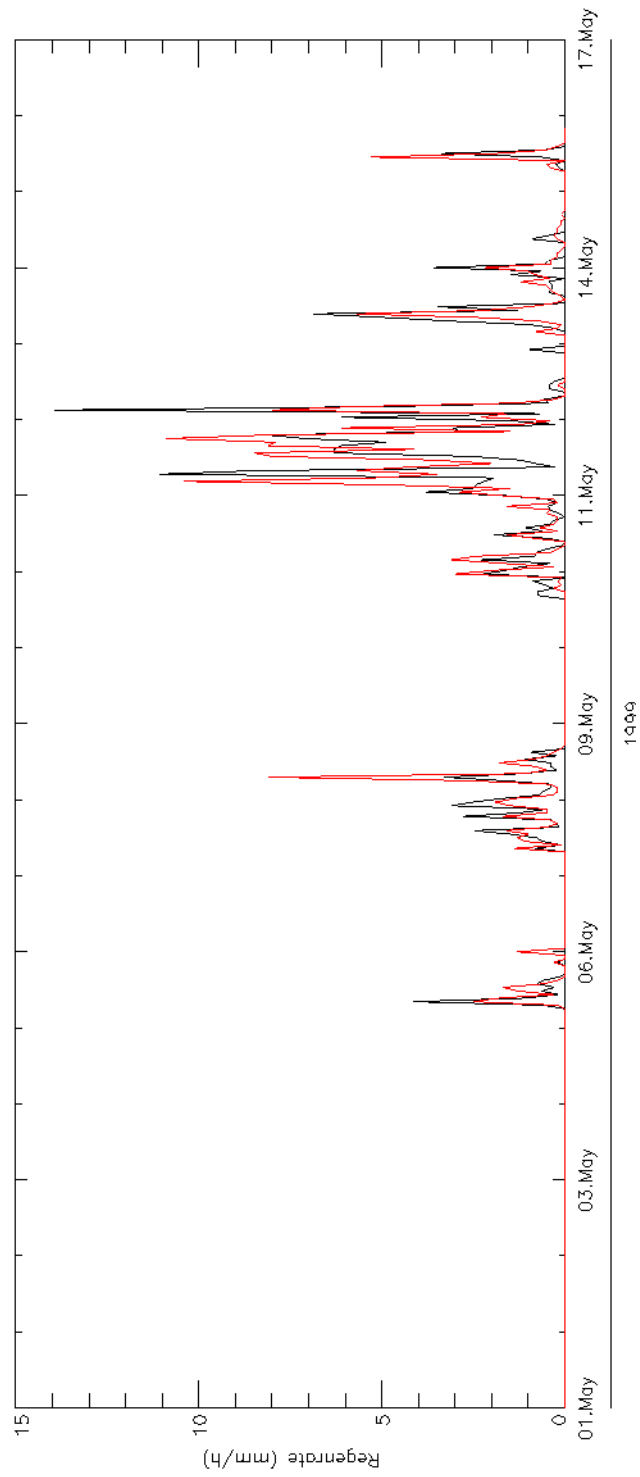


ABBILDUNG 9. Vergleich der Beobachtungen (rot) und der vom Model erstellten Niederschlagsverteilung (schwarz) für Zürich im Mai 1999.

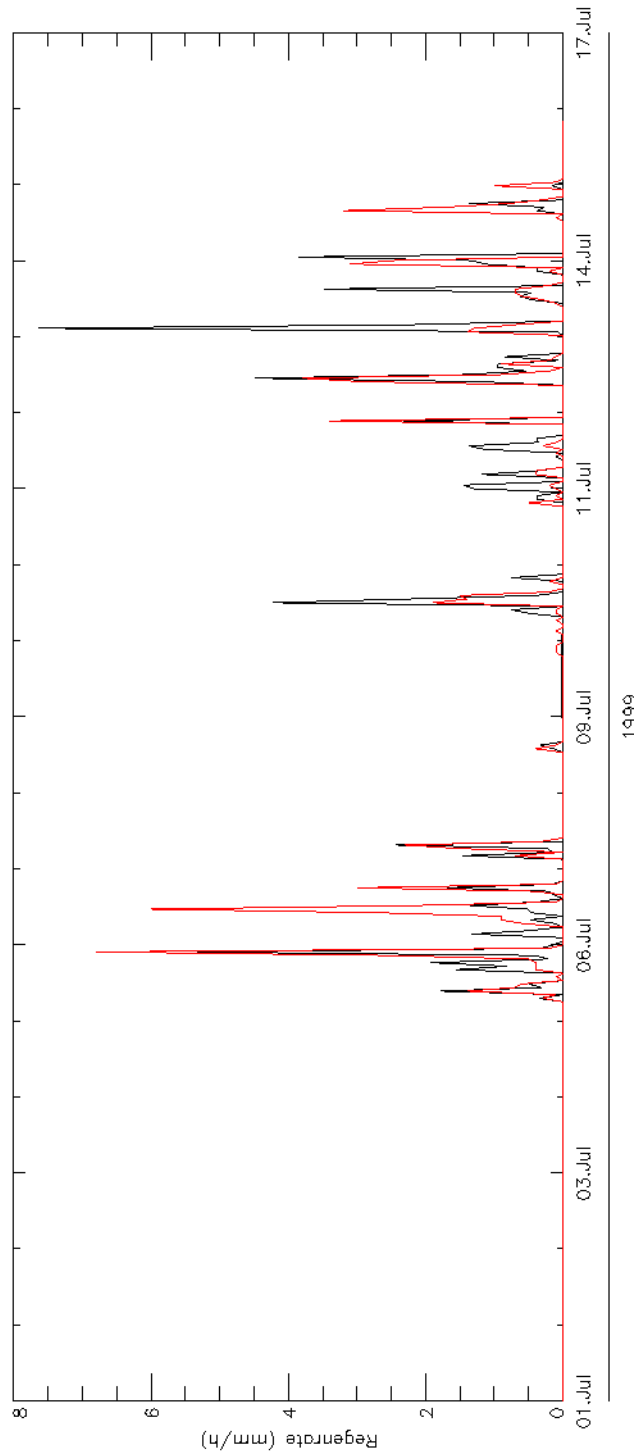


ABBILDUNG 10. Vergleich der Beobachtungen (rot) und der vom Model erstellten Niederschlagsverteilung (schwarz) für Zürich im Juli 1999.

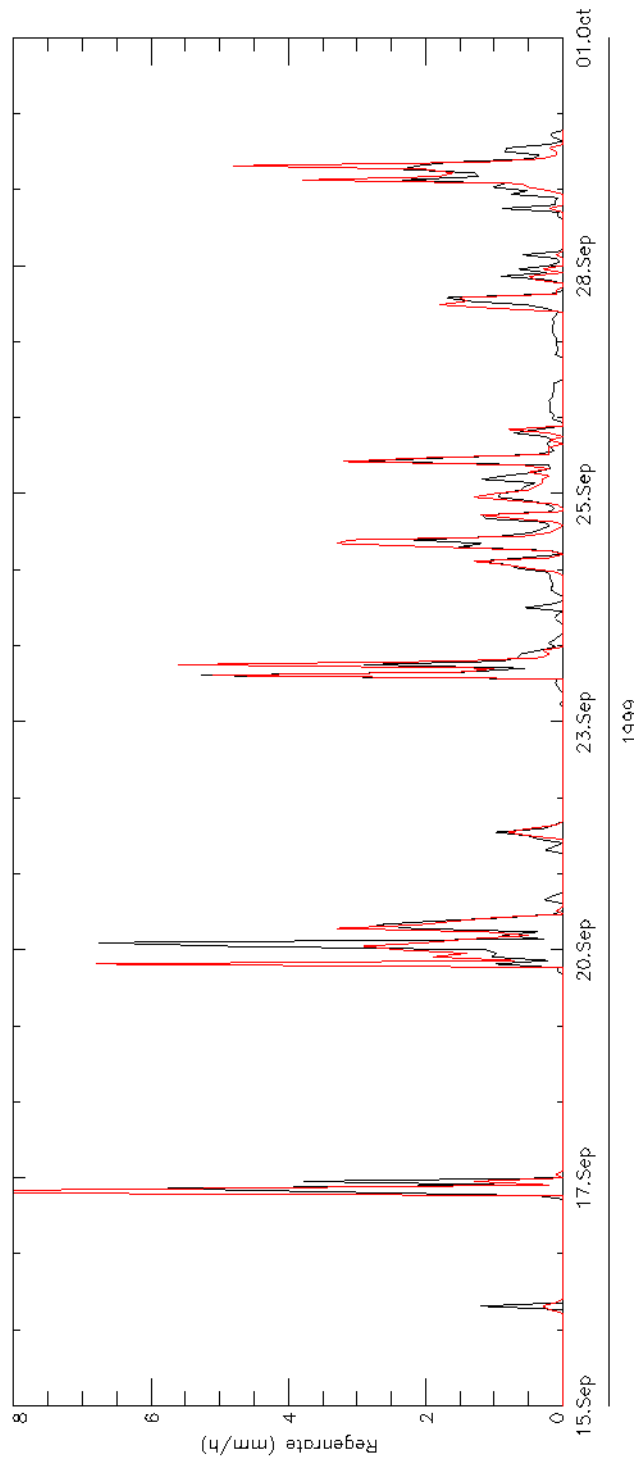


ABBILDUNG 11. Vergleich der Beobachtungen (rot) und der vom Model erstellten Niederschlagsverteilung (schwarz) für Zürich im September 1999.