## **Satellite-based Characterization of Convective Growth and Glaciation and Its Relationship to Precipitation Formation over Central Europe**

Senf, Deneke

Das Paper zeigt die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Eigenschaften. Wie verhalten sich Eigenschaften zu verschiedenen Zeitpunkten des Gewitter-Lebenszyklus.

**Introduction**

* Begrenztes Verständnis von dynamischen und mikrophysikalischen Prozessen in konvektiven Zellen
* Aktuelle Beobachtungssysteme erreichen ihre Grenzen bei sich schnell entwickelnden konvektiven Zellen mit einer zeitlichen Skala von 10-Minuten und einer räumlichen Skala von weniger als 1km.
* Geostationäre Satelliten sind wichtig für die Früherkennung von CI
* Erkenntnisse über die Wachstumsphase von sich entwickelnden konvektiven Zellen können genutzt werden, um den Vorhersageskill von Nowcasting Anwendungen zu verbessern.
* Wärmestrahlung kann genutzt werden, um ein schnelles CTC anzuzeigen (Roberts, Rutledge, 2003).
* Satellitengestützte Wolkenwachstumsraten liefern Informationen, bis zu 30 min bevor die Radargestützten Messungen zur Verfügung stehen (Roberts, Rutledge, 2003).
* Kombinierte Spektrale Informationen über Wolkenhöhe, -wachstum und -vereisung ermöglichen eine Einschätzung über das Potential von konvektiver Entwicklung. (Mecikalski and Bedka, 2006)
* Eine lead time von 30 min kann erreicht werden
* Die Entwicklung der Ambosfläche ist ebenfalls wichtig als Parameter.
* Flächenexpansion des Ambos ist proportional zur Lebenszeit von mesoskaligen konvektiven Systemen.
* Maximale Flächenexpansion während stärkster Niederschlagsintensität
* Paper untersucht konvektive Charakteristika von wachsenden Zellen über Zentraleuropa.
  + Beziehungen zwischen Wolkenhöhe, -wachstum, und -vereisung
  + Übergang von moderatem zu starkem Niederschlag durch Wachstum und Vereisung charakterisieren.
* Ergebnisse sind
  + Zeitlicher Verlauf der Indikatoren Wolkenhöhe, -wachstum, -vereisung und Niederschlagsbildung.
  + Verbindung zwischen den verschiedenen Variablen.

**Data**

Satellite data

* MSG SEVIRI rapid scan
* Untersuchungen im Zeitraum April bis September von 2012 bis 2014
* Auflösung: 3.2 km in x, 6.1 km in y
* 17 km2 im Süden, 22 km2 im Norden
* Kanäle: HRV, Infrarot 10.8 μm
* 10.8 Kanal zur Abschätzung der Wolkenoberkantentemperatur
* Verschiede zeitliche Verläufe von T10.8 wurden berechnet, um die konvektive Stärke durch CTC einzuschätzen (Wachstumsphase, Ambos Expansion)
* Verschiedene BT Kombinationen/Differenzen um Information über Partikelphase, -größe und -form zu erhalten.
* Vereisungsindikatoren anhand Differenzen in solaren Reflektanzen

Satellite products

* NWCSAF
* Wolkenmaske, Wolkentyp, Wolkenoberkantenhöhe (CTH)
* CTH wird unter Anwendung von ECMWF Temperaturprofilen berechnet
* KNMI cloud physical properties (CPP) retrieval:
  + Thermodynamische Phase, optische Dicke, effektiver Partikelradius
  + Nakajima-King-Verfahren

Precipitation radar data

* Reflektivitätsfaktor als einfache Annahme der Niederschlagsintensität
* German Radolan RX composite
* Keine Korrektur oder Qualitätskontrollen wurden durchgeführt

**Method**

Along-track properties

* 100 satelliten basierte Tracks, die zufällig aus der Periode 2012-2014 ausgewählt wurden.
* Wolkenhöhe, -wachstum und -vereisung in 5-min-Schritten
* Unsicherheiten der Eigenschaften werden anhand einer 3x3 region um den Punkt herum gerechnet.
* Negativer Zeittrend von T10.8 als CTC rate
* Maximale CTC wird zur Zeitsynchronisierung verwendet tcool
* Dadurch aufteilen in frühe Intensivierungsphase und folgende kontinuierliche Wachstumsphase
* Synchronisierung basierend auf Median und Interquartilsabstand
* Lineare interpolation
* Relative Zeitkoordinate trel = t – tcool

Anvil and precipitation area calculations

* Ambos Fläche als zusammenhängende Cluster mit T10.8 kleiner 240 K
* Äquivalenter Durchmesser = Durchmesser eines flächenäquivalenten Kreises
* Die zeitliche Veränderung des Äquivalentdurchmessers beschreibt die Ausdehnnungsgeschwindigkeit (relativ zur Sturmbewegung)
* Bei dieser tracking methode nur möglich bei isolierten konvektiven Entwicklungen
* Niederschlagsdaten werden entlang des Satellitentracks abgetastet
* Parallaxenkorrektur
* Radarobjekte werden anhand der zugehörigen Satelliteninformation untersucht
* Anhand eines einfachen Z-R Zusammenhangs entspricht das einer Niederschlagsrate von etwa 6 mm pro h.
* Entwickelnde Konvektion, die anhand der Auflösung von Satellitendaten abgeleitet werden, enthalten mehrere Niederschlagskerne, aufgelöst anhand Radardaten
* Zwei verschiedene Grenzwerte (46 und 55 dBZ) werden angewendet
  + Es werden speziell für Gebiete über diesen Grenzwerten Zellfläche, -durchmesser und Expansionsrate bestimmt
  + Zur Vereinfachung werden die Äquivalentdurchmesser auch für sehr komplexe Formen bestimmt.
* DWD-Grenzwert 46 dBZ für Niederschläge von 35 mm/h
* 55 dBZ ist ein erster Indikator für Hagel.
* Niederschlag entwickelt sich ca. 30 min vor CTC-Maximum.

**Results**

Cloud depth and growth indicators

* T10.8 bei -11ºC (tcool – 30 min)
* T10.8 bei -33ºC (max(CTC))
* T10.8 bei -53ºC (tcool + 30 min)
* Abweichung von T10.8 sinkt signifikant
  + 🡪 liegt an der größeren Variabilität in den Grenzschicht- und CI-Konditionen im Gegensatz zum Wolkenlevel
* CTC wurde 5-min rückwärts gerechnet, basierend auf T10.8
  + Variiert zwischen 14 ºC und 22 ºC innerhalb 15 min
  + Entspricht Aufstiegsraten zwischen 1.7 und 3 m/s
* Wachstumsrate: Zeit zwischen den Hälften der CTC Rate (ca. 30 min)
* Significant Cooling: Gesamte Wachstumsrate (ca. 1h)
* Werte in der Studie von 2015 sind kleiner, da ein deutlich kleinerer Datensatz verwendet wurde
* Optische Dicke: konstanter, linearer Anstieg während der Zeitperiode
  + Weniger sicher als die Infrarot-basierten Merkmale
* T6.2-T10.8: stark negativ in früher Phase (-30ºC)
  + Absorption von Wasserdampf
  + Niedrigere Temperatur im Vergleich zur Wolkenoberkantentemperatur
  + Emissionen in höheren Höhen
  + Differenz steigt an und erreicht GGW Zustand bei 0ºC

Cloud-top microphysics and glaciation

* Cloud-top products and Radiance-Kombinationen
  + Charakterisierung des mikrophysikalischen Zustands und der Phasenaufteilung zwischen flüssig und gefroren
* Binäre Entscheidung zwischen den Phasen ist nicht ausreichend in der Entwicklungsphase von Konvektionswolken.
* 🡪 Radiance-Kombinationen, die die Aufteilung der Hydrometeore möglich machen.
  + Sind ebenfalls sensitiv bezüglich Größe und Entwicklung der Hydrometeore
* Wolkenphasenverteilung: Anteil der Eis-Pixel in dem 3x3 Gitter um die Trajektorie
  + 0.5 bei -30 min
  + Wächst auf 1 bei 0 min
  + Wolkenoberkanten sind bei maximaler CTC vollständig vereist
* Die Verzögerung zwischen Wolkenaufstieg und Vereisung zeigt, dass das Freiwerden von latenter Wärme vor dem maximalen Wolkenwachstum wichtig ist, um die konvektiven Aufwinde zu beleben.
* NDSI nimmt zu mit zunehmendem Eisanteil
  + Nimmt vor dem maximalen CTC zu und danach langsam wieder ab
  + Der Anstieg liegt an der Phasenverteilung und dem zunehmenden Eisanteil mit anwachsender Wolke.
  + Die Abnahme danach kann auf die Reduktion der Eiskristallgröße zurückgeführt werden (ist in cirren sehr variabel und hängt stark von dem Ambosausfluss ab)
* P3.9 nimmt zuerst ab durch die zunehmende Absorption von Eis.
* Anschließend nimmt sie wieder zu aufgrund der Abnahme der Eiskristallgröße
* T8.7-T10.8 als Infrarotmessung der Vereisung:
  + Nimmt zu während der Intensivierungsphase
  + Anschließend bleibt es konstant aufgrund der Balance zwischen Zunahme der optischen Dicke und der geringeren Eiskristallgröße
* Die Raten, bezogen auf solare Reflektanzen, zeigen ein Maximum bei trel -15 min mit einer Halb-maximum Breite von 30 min.
* T8.7-T10.8 rate hat ihr maximum deutlich näher am CTC Maximum bei trel -5 min
* Die Werte sind im solaren Bereich eher gewiss, als im Infrarotbereich.
  + 🡪 Spricht dafür, die solaren Informationen im Nowcasting häufiger zu verwenden

Anvil formation

* Ambosse aus Cirren entstehen bei deep convection aufgrund konvergierender Luftmassen nahe der Tropopause
* Die Stärke der Ambosausbreitung ist ein Maß für die Stärke des konvektiven Auftriebs, als auch für die Kompensation von Downdraft im Wolkeninneren
* Ausdehnung beträgt 10 km am CTC Maximum, 30 km bei 30 min und 45 km bei 60 min
* Ambosraten haben einen relativen schmalen Spread im Bereich des maximalen CTC.
* Innerhalb einer halben Stunde nehmen die Ambosraten schnell zu
* Während der ausgereiften Phase stagnieren die Ambosraten und es bildet sich ein Maximum zwischen trel 30 und 50 min aus
* Nach 90 min beginnt der Ambos wieder zusammenzufallen.
* Bei stationären Bedingungen würde die Ambosfläche linear mit der Zeit zunehmen.
* Die Untersuchcungen zeigen jedoch Kurven, die deutlich von einer Kurve mit konstantem Massenfluss abweichen.
* 🡪 Der Wolkenmassenfluss muss also nicht-stationär sein und nimmt nach der maximalen CTC zu.

Precipitation formation

* 80% der Niederschlagsobjekte zeigen Reflektivitäten >35 dBZ bei trel -30min. 65% > 46 dBZ und 15% >55 dBZ
* Damit existieren Niederschläge bereits zum Zeitpunkt des maximalen CTC
* Die maximalen Z-Werte erreichen 50 dBZ bei trel -30min und steigen danach bis zum maximalen CTC an. Der Wert erreicht dort 57 dBZ (trel 5 min) und sinkt danach wieder.
* Die maximalen Niederschlagsraten betragen 4 dBZ zwischen 10 und 25 min vor der maximalen CTC
* Nach trel 0min sinken die Raten deutlich ab
* Mittlere Durchmesser für Z>46 dBZ betragen 2 km bei trel -30min. 60 % der Fälle haben zu diesem Zeitpunkt Durchmesser größer als 1 km
* Der 46 dBZ Durchmesser nicht während der Intensivierungsphase zu und erreich 6 km während der maximalen CTC
  + Stagniert anschließend, die Variabilität nimmt allerdings zu im Anschluss
* Nahezu 100% der Fälle zeigen bei trel 0 min Z >46 dBZ
* Äquivalentdurchmesser bei Z >55 dBZ beginnen bei trel -20 min
* Nimmt ebenfalls stark zu, während der Intensivierungsphase, bis zu 2 km
* Die Raten der Niederschlagsfelder entsprechen der Zellrandgeschwindigkeit
* R46 Raten haben Werte von ca. 0.5 m/s bei trel -30 min und zeigen ein breites Maximum bei trel -15 min (1.5 m/s)
* Die Abnahme der Raten entspricht dem Verhalten der Wachstumsphase
* R55 Raten zeigen Zunahme ab trel -20 min und erreichen Maximalwerte von 0.5 m/s nahe der maximalen CTC.
* Starke Abnahme im Anschluss
* Große Variabilität zeigt, dass bei Starkniederschlägen wolkeninnere Prozesse sehr wichtig sind, die man mit Satellitenbildern nicht berücksichtigen kann

Weak vs. Strong growth

* Aufteilen des Datensatzen in **starke Wachstumsrate** und **schwache Wachstumsrate**
* Median des max CTC liegt bei 17 K / 15 min und bildet den Grenzwert
* Rho3.9 als Indikator der Vereisung
  + Deutliche Unterschiede zwischen schwachem/starken Wachstum
  + Starkes Wachstum zeigt hohe Vereisungsraten mit Maximum näher am CTC-Maximum
* Effektiver Eispartikelradius Reff
  + Keine großen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Wachstumsraten
  + Nimmt stetig zu im ersten Teil der Wachstumsphase und erreicht bei trel -5 min das Maximum mit 24 mum
  + Die Zunahme am Anfang weist auf eine zunehmende Vereisung hin in Pixeln die bereits als Eisphase gekennzeichnet sind aber noch flüssiges Wasser beinhalten
  + Flüssige Tropfen absorbieren weniger im Bereich 1.6 mum und sorgen damit für einen kleineren effektiven Radius.
  + Mit zunehmendem Eisanteil wird dieser Effekt geringer und ein Maximum bildet sich aus.
  + Danach nimmt Reff wieder ab (Rosenfeld et al.)
* Änderungsrate der maximalen Niederschlagsintensität
  + Deutlich stärker für starke Wachstumsraten, besonders im Bereich frühen Wachstums
  + Die zeitliche Änderung ist ungewiss
* Ambosausbreitung (Expansionsrate)
  + Zu Beginn des Wachstums viel größer für die starken Wachstumsraten
  + Die Wachstumsrate des Ambos nimmt stärker ab bei starken Wachstumsraten, im Vergleich zu schwachen Wachstumsraten
  + Liegt bei trel 60 min auch unter den Werten der schwachen Wachstumsraten

Synthesis

* Zwei Vereisungsindikatoren (CPP Phasenanteil, P3.9 Rate)
  + Bereits bei trel -30min signifikante Werte
  + Maximum bei -15 und -20 min
* Maximale Niederschlagsrate Zmax
  + Folgt mehr oder weniger der vereisungsrate
* Während der maximalen Vereisung zeigt auch die Ausbreitung der 55dBZ Durchmesser das Maximum
  + Maximum etwa 5min vor CTC Maximum
* Auswirkungen der Satelliteninformation für Nowcasting
  + Sensitivität von Wolkenwachstum ist deutlich kleiner als bei Vereisung, um bessere Lead times zu bekommen
  + Bei trel -30 min, CTC ist 4-mal geringer als das Maximum. Vereisungsraten sind nur 1.5-mal kleiner als beim Maximum

Cross correlations

* Vertikalgeschwindigkeit vs. Ambos Ausbreitungsgeschwindigkeit
  + Vertikalgeschwindigkeit abgeleitet von CTC (konstante lapse rate)
  + Zusammenhang positiv und signifikant zwischen trel -5 und 30 min
  + Danach fehlt die vertikale Ausbreitung
* Vertikalgeschwindigkeit vs. Effektiver Eispartikelradius (mikrophysikalische Verhältnisse)
  + Zusammenhang signifikant und negativ zwischen trel 10 und 40 min
  + Für die stärksten Aufwinde sind die Eispartikel an der Wolkenoberkante im Mittel 4 mum kleiner als für schwache Aufwinde
  + Eispartikeln haben weniger Zeit zu wachsen bei starken Aufwinden
* Vereisungsrate vs. Maximale Niederschlagsintensität
  + Zusammenhang signifikant und negativ während des Zeitpunkts des ausgewachsenen Zustandes
  + Zellen mit hohen Vereisungsraten (hoch negativ) sorgen für hohe Niederschlagsintensitäten

## **Cloud-Top Properties of Growing Cumulus prior to Convective Initiation as Measured by Meteosat Second Generation. Part I: Infrared Fields**

Mecikalski, MacKenzie, Koenig, Muller

* Studie soll zeigen, wie MSG Infrarotfelder genutzt werden können, um wachsende konvektive Zellen anhand folgender physikalischer Attribute zu beschreiben:
  + **Wolkenhöhe**
  + **Wolkenoberkantenvereisung**
  + **Aufwindstärke**

Datengrundlage

* Daten von 123 subjektiv identifizierten CI Ereignissen
* Es wurden insgesamt 67 interessante Felder (Tabelle 2, 3, 4) beurteilt und 21 herausgefiltert, welche als die besten Kandidaten bezeichnet werden

Ziel der Studie

* I) Mehr Verständnis, wie vielfältig Informationen aus dem Infrarotspektrum sein können, um die physikalischen Eigenschaften zu überwachen
* II) Evaluation der besten Kanalkombination, welche eine wachsende Zelle am besten beschreiben

Prozessieren

* Die Motivation mit den 67 interessanten Feldern ist folgende
  + I) Einzigartigkeit der Felder bestimmen
  + II) Überflüssige Felder entfernen
  + III) Felder in Zusammenhang mit bestehenden Prozessen innerhalb der Zelle setzen
  + IV) Erstellen eines Datensatzes mit limitierten Feldern, welche die besten Kandidaten beinhalten, um die drei Hauptkategorien des Wolkenverhaltens zu beschreiben
* Cross-Korrelation der IR-Felder
  + Entfernen überflüssiger Felder, welche keinen zusätzlichen Vorteil bringen
  + Entfernen bei Cross-Korrelationen > 0.8
  + Wurde für alle drei Kategorien durchgeführt
* Entfernen weiterer Felder, welche
  + I) Weitere Forschung erfordern, um ihre physikalische Bedeutung bezüglich konvektiven Wachstums nachzuweisen
  + II) keine Information zur Beschreibung der wachsenden Wolken liefern aufgrund I)
  + III) aufgrund von Forschungsergebnissen auch anstelle anderer Felder verwendet werden kann
* Im Falle von Wolkenoberkantenvereisung zeigen nur wenige Felder hohe Korrelationen
  + Zusammenhang zwischen Variablen verhält sich nicht-linear
  + Jedoch ein schöner, zeitlicher Trend
* Wenn hohe Korrelationen bestehen, können auch andere Kombinationen verwendet werden, falls einzelne Kanäle nicht verfügbar sind
* Die 21 Felder sind in Tabelle 5,6,7 dargestellt.

Umsetzung

* Grenzwertbewertung für die Hauptattribute wachsender Wolken
* Tabelle 8 zeigt Mittelwert/Standardabweichung für alle 123 COPS Fälle
  + Es wird immer der kälteste Pixel, der 3x3 Pixel Umgebung betrachtet, bzw die kältesten 10% der Pixel
* Grenzwerte für Wolkenoberkantentemperaturen >= 240 K zu Beginn zeigt Tabelle 9, welche Wolken zu Beginn des Wachstums beschreiben

## **Object-Based Metrics for Forecast Verification of Convective Development with Geostationary Satellite Data**

Rempel, Senf, Deneke