

Jannik Wilhelm<sup>1</sup> (jannik.wilhelm@kit.edu), Ulrich Blahak<sup>2</sup>, Kathrin Wapler<sup>2,3</sup>, Roland Potthast<sup>2,3</sup>, Michael Kunz<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland; <sup>2</sup>Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Deutschland;

<sup>3</sup>Department of Mathematics and Statistics, University of Reading, Reading, Großbritannien; <sup>4</sup>Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), KIT

## Überblick

Der Lebenszyklus konvektiver Zellen wird bislang in Nowcasting-Verfahren nur unzureichend repräsentiert. Während die zukünftige Zugbahn konvektiver Zellen mit den bisherigen Verfahren bereits recht treffend extrapoliert werden kann, wird die Entwicklung der Intensität und der Fläche bisher kaum berücksichtigt (vgl. z. B. Wapler et al. 2017). Im Warn- und Vorsorgemanagement bedarf es jedoch einer möglichst frühzeitigen Eingrenzung und genauen Beschreibung der potentiellen Gefahren, die mit konvektiven Zellen verbunden sein können.

Im Rahmen des Projektes ist geplant, Informationen über den Lebenszyklus konvektiver Zellen basierend auf statistischen Analysen historischer Zellen in Nowcasting-Verfahren einzubeziehen. Dazu

werden zum einen Daten des Zelltracking-Algorithmus KONRAD verwendet. Diese wurden bereits einer umfassenden Qualitätsüberprüfung und Filterung unterzogen. Zum anderen werden hochaufgelöste COSMO-Assimilationsanalysen aus der Numerischen Wettervorhersage verwendet, um eine große Zahl an konvektiven Indizes und für Konvektion relevante Parameter nachzuberechnen.

Das Ziel ist es, mit Hilfe moderner mathematischer Verfahren den momentanen Zellzustand zu erkennen, zu klassifizieren und eine probabilistische Abschätzung der Zustandsentwicklung für den Nowcasting-Zeitraum zu liefern. Dabei sollen sowohl die bisherige Zellentwicklung als auch die vorherrschenden atmosphärischen Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden.



## Methodik und Ergebnisse

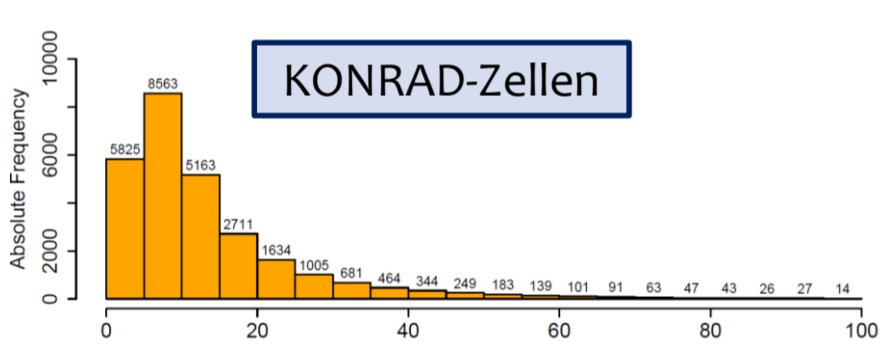
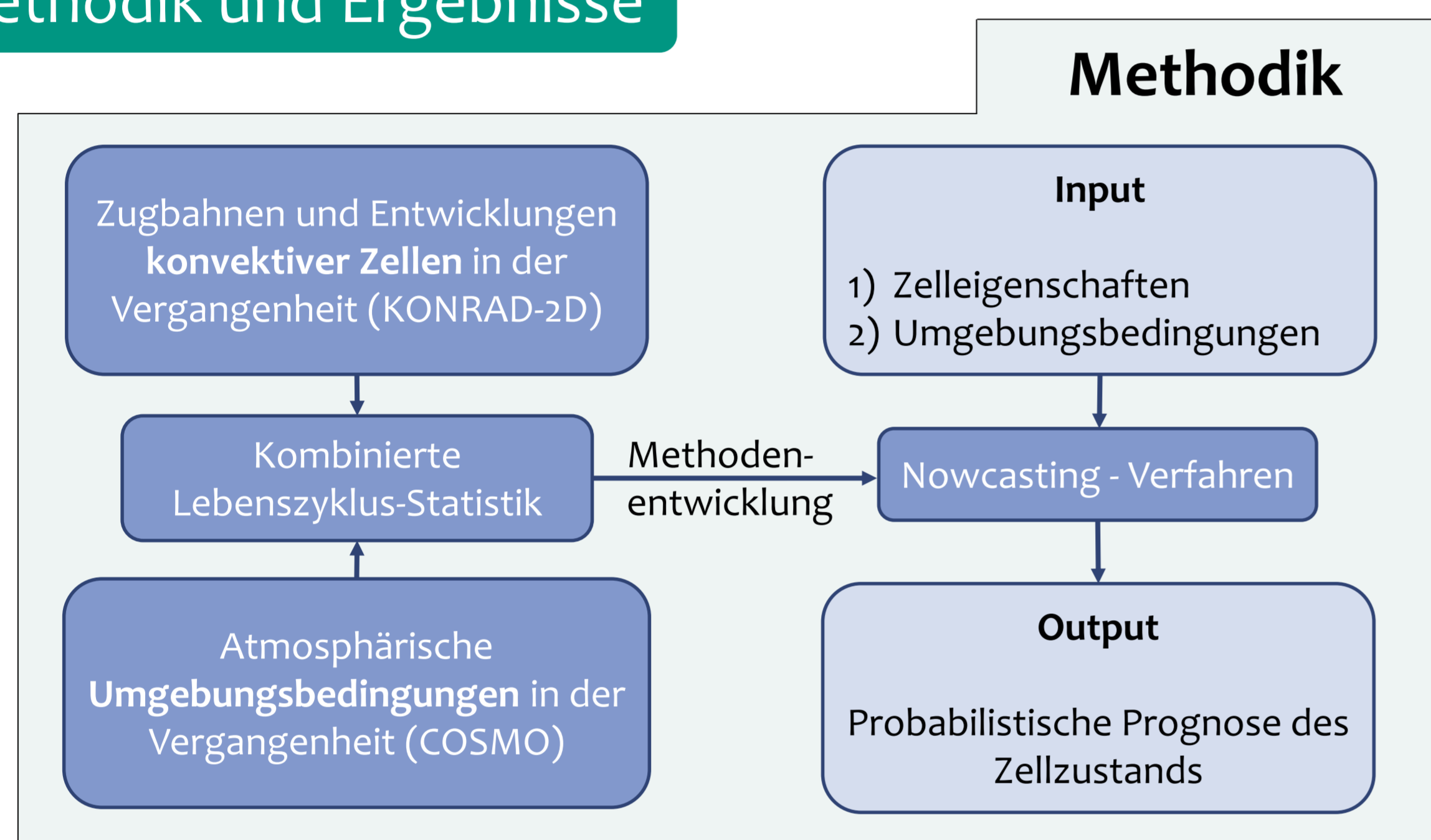


Abbildung 1: Histogramm der Längen der Zugbahnen der KONRAD-Zellen.

✓ **Historischer KONRAD-Datensatz:** (Abbildung 1) Sommerhalbjahre 2011 – 2017 (April – September)

→ Anwendung neuer umfangreicher, selbstentwickelter Filter zur Generierung einer aussagekräftigen Stichprobe an KONRAD-Zellen, z. B. Nachbarschaftskriterium

→ N = 27374 vollständige Lebenszyklen

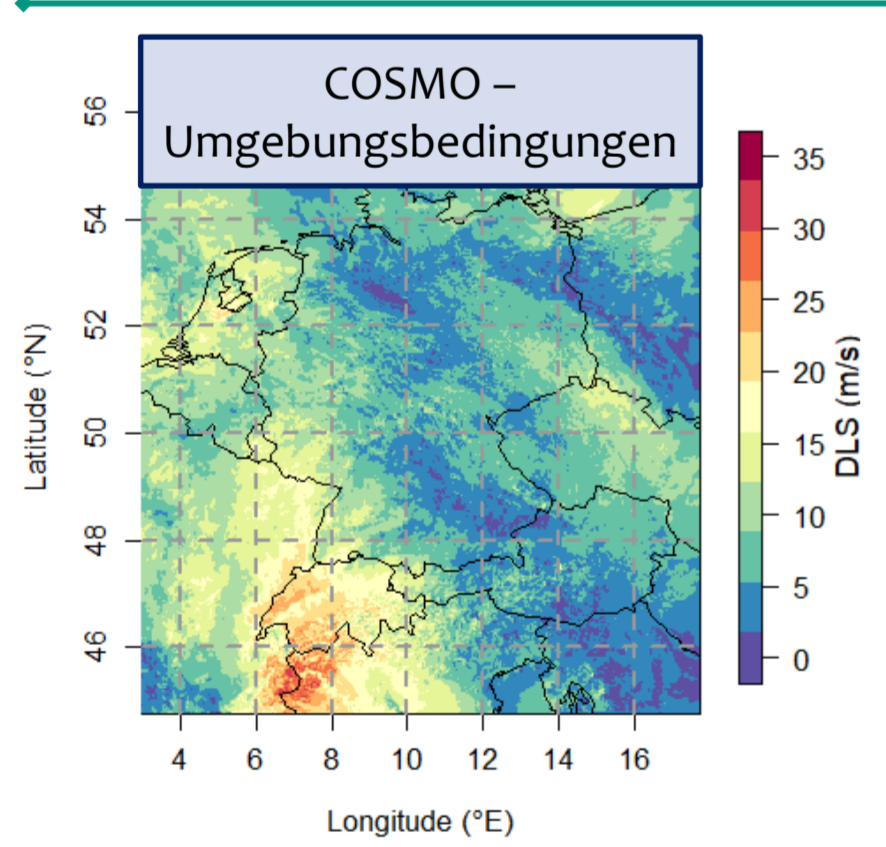


Abbildung 2: Beispielhafte Verteilung der Windscherung (Deep Layer Shear, DLS) am 31.05.2018, 12 UTC. Berechnet mit COSMO-D2.

✓ **Historischer COSMO-Datensatz** mit vielen für Konvektion relevanten atmosphärischen Umgebungsgrößen für Sommerhalbjahre 2011 – 2017

→ Nachberechnung aus COSMO-Assimilationsanalysen durch Erweiterung des Postprocessings + Evaluation  
→ Kombination mit KONRAD-Lebenszyklen  
→ zeitliche Auflösung: stündlich  
→ räumliche Auflösung: 2 – 7 km

Beispiele: Sturm-relative Helizität, Bulk Richardson-Zahl, KO-Index, Hebungskondensationsniveau, Niveau freier Konvektion, Lifted Indices, Windscherungen (Abbildung 2), ...

**Tikhonov-Regularisierung**

$$\vec{f}_i = \mathcal{M}_x \vec{p}_i$$

$$\vec{p}_{i,\alpha} = \sum_{n=1}^{N_n} \frac{\mu_n}{\alpha + \mu_n^2} (\vec{f}_i \cdot \vec{g}_n) \vec{\phi}_n$$

Abbildung 3: Mathematisches Schema der Tikhonov-Regularisierung.

✓ **Methodenentwicklung:** Klassifizierung von Zelldetektionen nach mehreren Umgebungsbedingungen reduziert die jeweiligen Auftrittshäufigkeiten im „Flow-Field“-Ansatz erheblich (s. r.)

→ Parametrisierung der Tendenzfelder  $\vec{f}_i$  mittels eines Polynomansatzes  $\mathcal{M}_x$  und Bestimmung der Parameter  $\vec{p}_i$  mit Hilfe der Tikhonov-Regularisierung (vgl. beispielsweise Nakamura & Potthast 2015), die eine Singulärwertzerlegung ( $\mu_n, \vec{g}_n, \vec{\phi}_n$ ) erfordert (Abbildung 3)

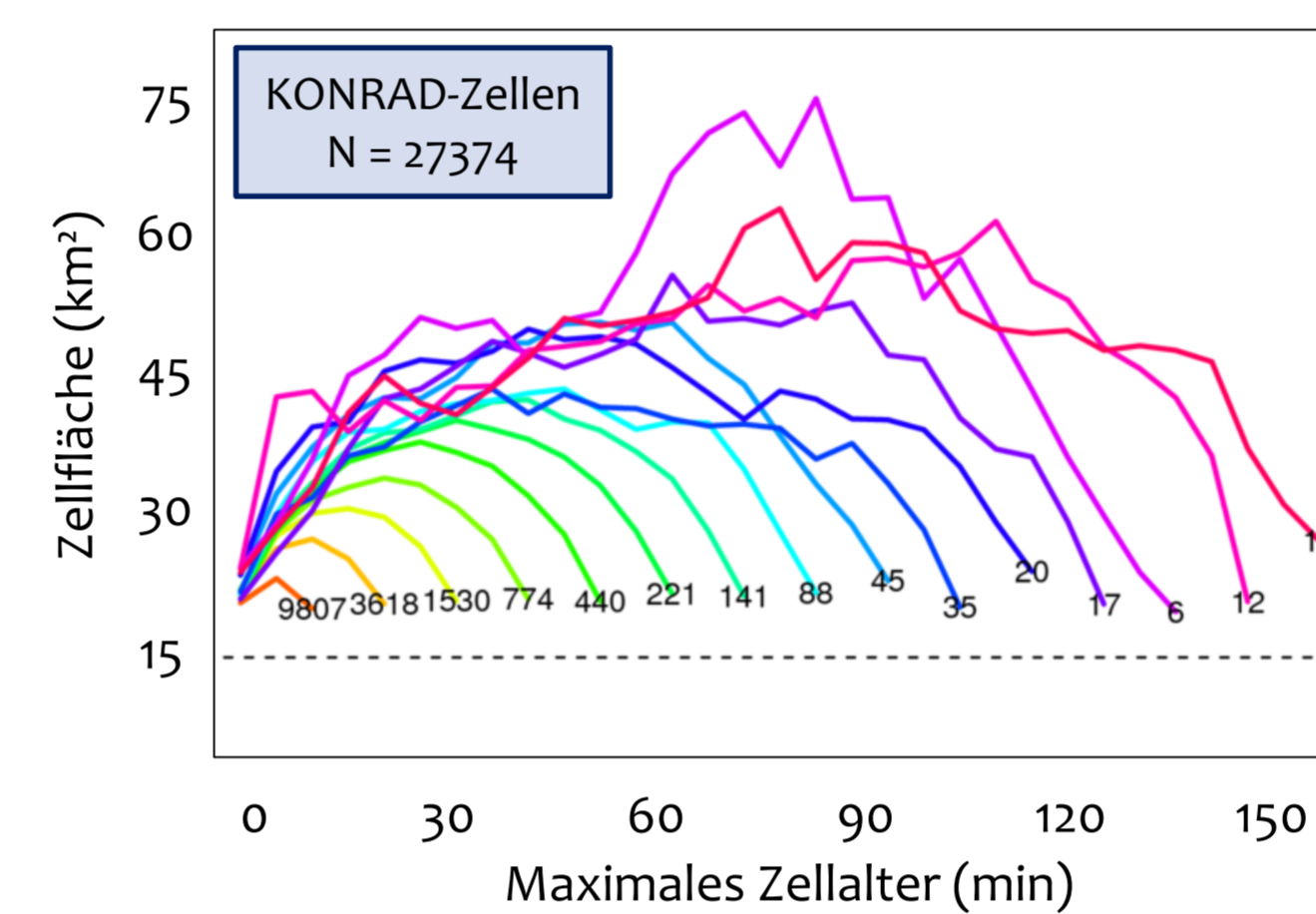


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Flächenausdehnung konvektiver Zellen. Jede Linie entspricht der mittleren Fläche aller Zellen (in km<sup>2</sup>), die ein bestimmtes maximales Alter erreicht haben; die Anzahl ist jeweils am Ende der Kurve angegeben. Nur Linien für jedes zweite maximale Alter (Differenz: 10 min) sind der Übersicht halber eingezeichnet.

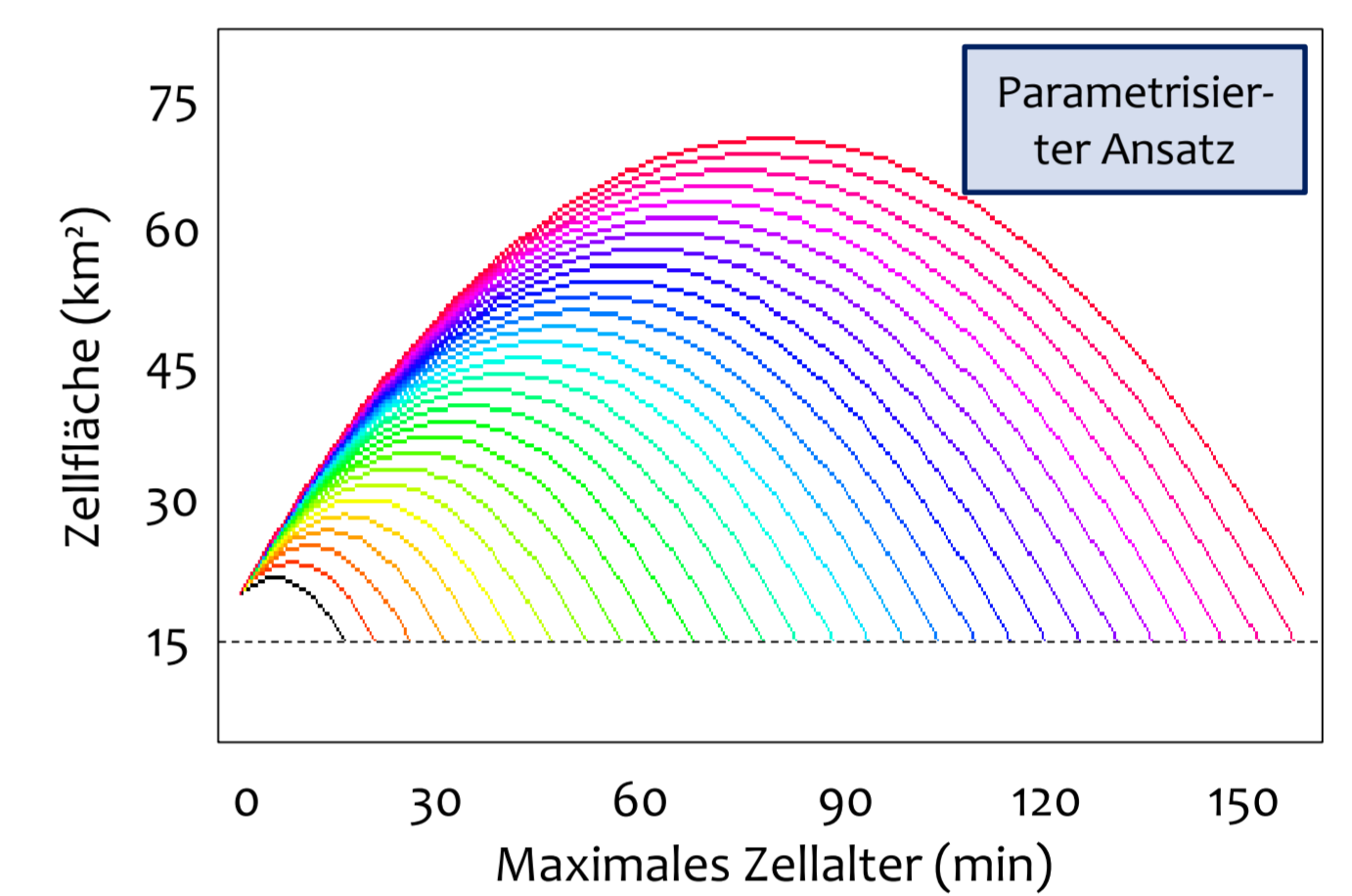


Abbildung 5: Mittlere Trajektorien der Flächenausdehnung konvektiver Zellen mit statistisch bestimmtem Parabelansatz. Jede Linie entspricht der mittleren Trajektorie einer Zelle, die ein bestimmtes maximales Alter erreicht hat. Hier sind Linien für jedes maximale Alter (Differenz: 5 min) eingezeichnet.

### Lebenszyklus-Statistik

Bsp: Zellzustand ist nur durch Zellalter und -fläche gegeben; keine Berücksichtigung von Umgebungsbedingungen

→ Alter der Zellen: 5-minütige Auflösung entsprechend der zeitlichen Verfügbarkeit der Radardaten  
→ Fläche der Zellen: Anzahl zusammenhängender Radarpixel mit Reflektivitätsfaktor Z > 46 dBZ; 1 Pixel ≈ 1 km<sup>2</sup>. Zellflächen unter 15 km<sup>2</sup> liegen unterhalb des Grenzwerts der KONRAD-Detektion.

1) Betrachtung der Lebenszyklen als Ganzes: Flächenentwicklung variiert mit maximalem Zellalter (Abbildung 4)

→ **Parametrisierter Ansatz:** Näherung der (mittleren) Entwicklung der Zellfläche durch Parabel, deren Parameter mittels Regressionsmethoden in Abhängigkeit des maximalen Zellalters bestimmt werden (Abbildung 5)

2) Betrachtung der einzelnen Detektionen der Lebenszyklen: Klassifizierung des Zellzustands in diskreten kombinierten Klassen; deutlich häufiger treten erwartungsgemäß kleine, junge Zellen auf (Abbildung 6)

→ „**Flow-Field**“-Ansatz: Bestimmung der (mittleren) Entwicklungstendenzen des Zellzustands innerhalb der einzelnen Klassen mittels Differenzenquotienten aus den Lebenszyklusdaten (Abbildung 7); leichter generalisierbar als parametrisierter Ansatz

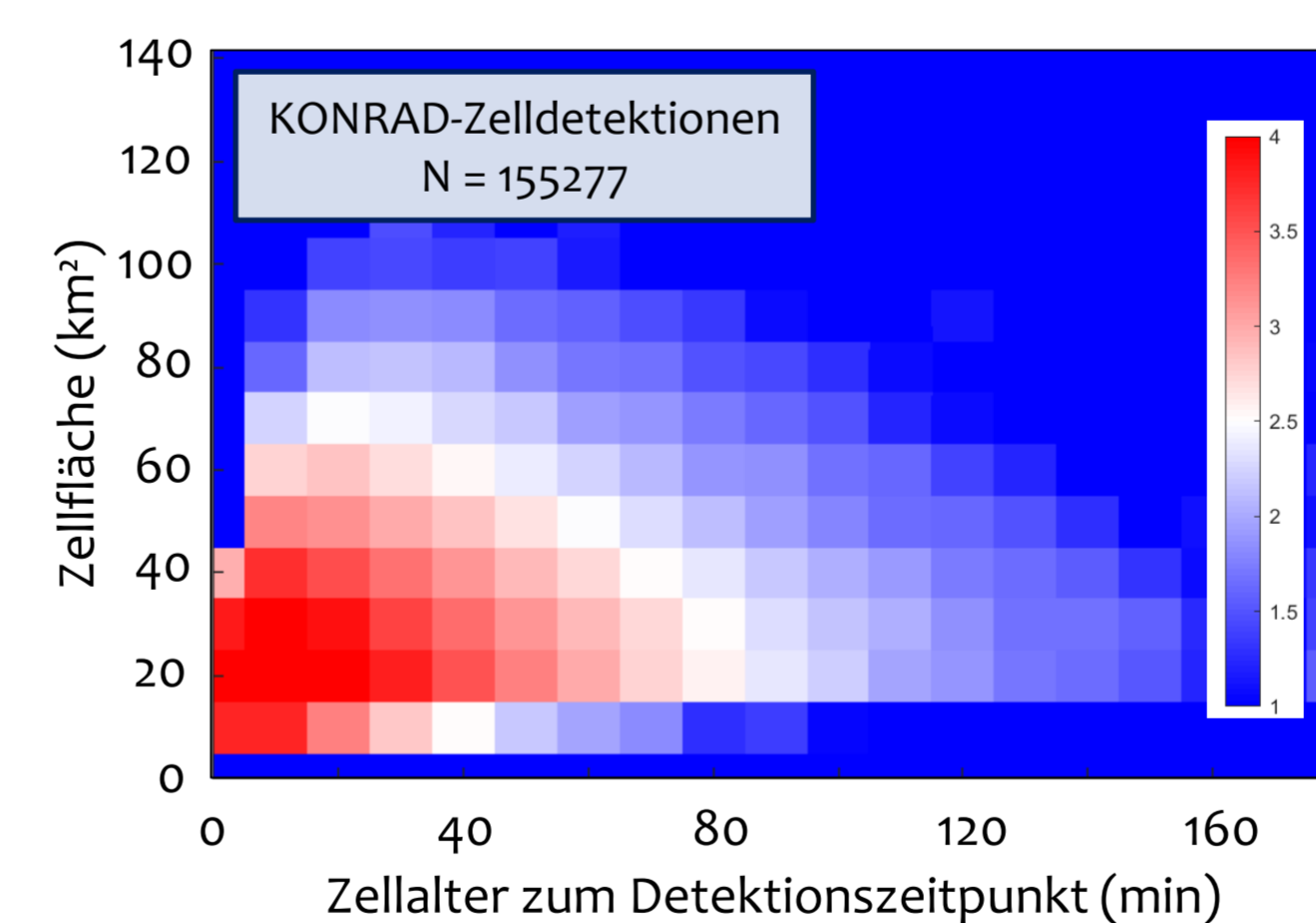


Abbildung 6: Logarithmierte Auftrittshäufigkeiten ( $\log_{10}$ ) bestimmter Klassen von Flächenausdehnung und Alter konvektiver Zellen. Eine Zelldetektion durch KONRAD zu einem Zeitpunkt wird auch als Auftritt bezeichnet. Klassifizierungsintervalle: 10 min und 10 km<sup>2</sup>.

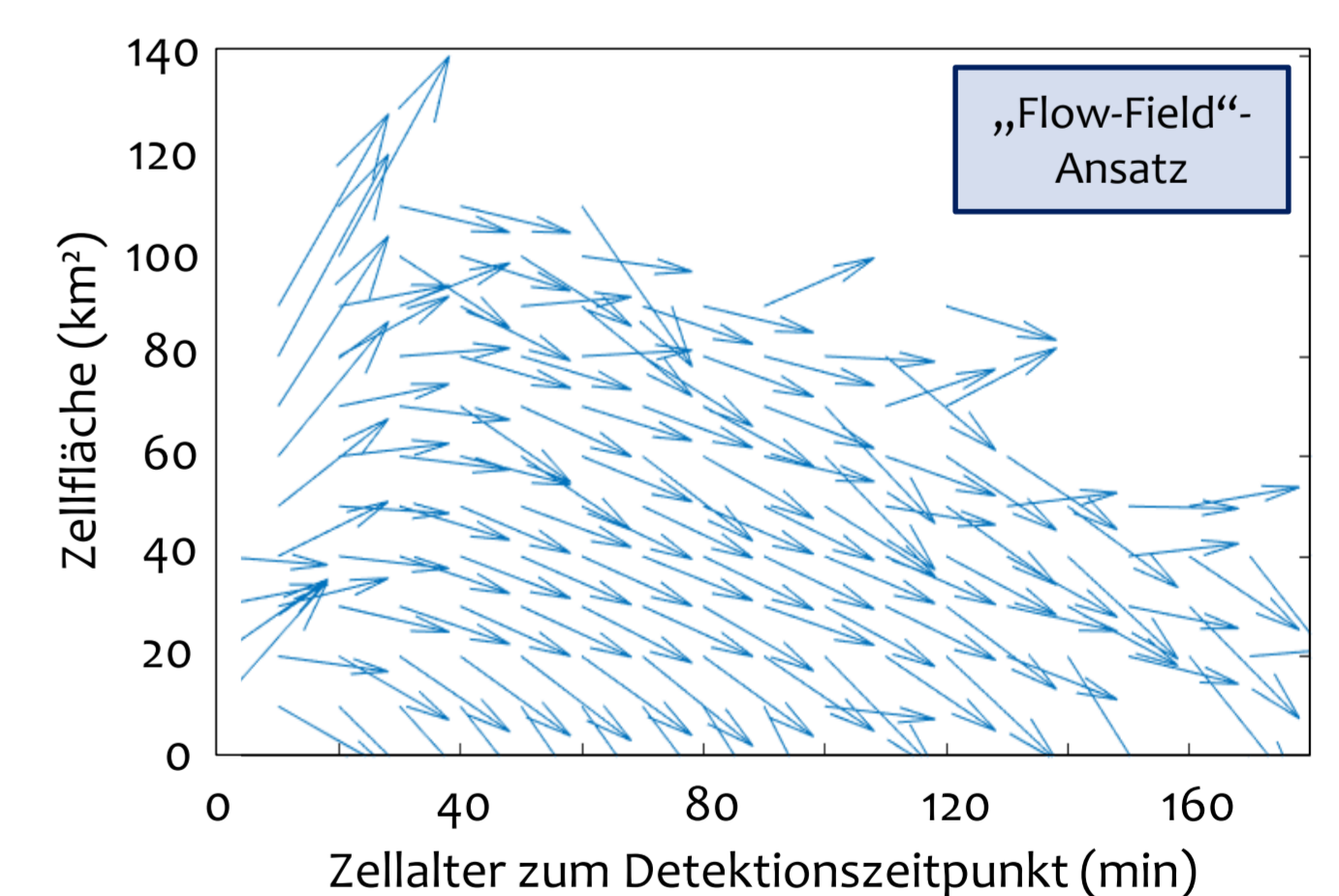


Abbildung 7: Mittlere Tendenzen der Zellzustände, charakterisiert durch Alter und Fläche der Zelle. Die Pfeile stellen ein „Flow Field“ im Zustandsraum dar – die Stromlinien geben Trajektorien von mittleren Zellentwicklungen vor. Nach oben weisende Pfeile entsprechen einer zu erwartenden Vergrößerung der Zellfläche.

## Zusammenfassung

- ✓ Lebenszyklusanalyse der KONRAD-Zellen erlaubt Abschätzung mittlerer Entwicklungstendenzen konvektiver Zellen
- ✓ Verschiedene Ansätze für die mathematische Methodenentwicklung → „Flow-Field“-Ansatz verheißungsvoll
- ✓ Auswahl der für Konvektion relevanten Umgebungsgrößen zur Klassifizierung von Lebenszyklen
- ✓ Flexible Methodik: Erweiterung des Lebenszyklus-Datensatzes um Blitzdaten, 3D-Radardaten, klimatologische Informationen, ... möglich

### Nächste Schritte:

- Verknüpfung der Lebenszyklen der Zellen mit den passenden Umgebungsbedingungen und kombinierte Lebenszyklus-Statistik
- Vertiefung der mathematischen Methodenentwicklung, z. B. Untersuchung von Zuordnungs- und Klassifizierungsmethoden, Überführung in probabilistische Verfahren mit Hilfe von Ensemble-Ansätzen
- ...

## Literatur

- Kunz, M., 2007: The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 7, p. 327-342.
- Kunz, M., J. Wandel, E. Fluck, S. Baumstark, S. Mohr, S. Schemm, 2018: Ambient conditions prevailing during hail events estimated from a combination of radar data and observations in central Europe. Submitted to Quart. J. R. Met. Soc.
- Nakamura, G. and Potthast, R., 2015: Inverse Modeling – An introduction to the theory and methods of inverse problems and data assimilation. IOP Publishing, The Institute of Physics, London.
- Puck, T., P. Groenemeijer, D. Ryva and M. Kolar, 2015: Proximity Soundings of Severe and Nonsevere Thunderstorms in Central Europe. Mon. Wea. Rev., vol. 143, p. 4805-4821.
- Wapler, K., 2017: The Life Cycle of Hail Storms – Lightning, radar reflectivity and rotation characteristics. Atmos. Res., vol. 193, p. 60-72.
- Wapler, K., L. M. Banon Peregrin, M. Buzzi, D. Heizenreder, A. Kann, I. Meirod-Mautner, A. Simon, Y. Wang, 2017: Conference Report 2<sup>nd</sup> European Nowcasting Conference. Met. Zeitschrift, vol. 27(1), p. 81-84.