

**Analyse der Qualität der Ergebnisse
meteorologischer Modelle bzgl. der
Niederschlagsereignisse
12.- 17.9. 2024 Niederösterreich**

**Erstellt im Auftrag des
Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung,
Abt. Wasserwirtschaft
Landhausplatz 1, 3109 St. Pölten
24.11. 2024**

11.4. 2025

Michael Staudinger

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
Aus diesen Erfahrungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:..	5
2. Wettersituation	6
3. Wetterlagen.....	6
4. Methoden zur Beurteilung der Modellergebnisse.....	11
4.1 Direkter Vergleich an einzelnen Messpunkten.....	11
4.2 Vergleich von Modellen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung	11
4.3. Vergleich verschiedener Modelle über längere Zeiträume vs. Einzelfallbeurteilungen	15
5. Ergebnisse der Vorhersagemodelle	17
5.1. Vergleich direkter Punktprognosen.....	17
5.1.1 Analyse und Vorhersagen für den 13.9. 2024 0-24h.....	17
5.1.2 Analyse und Vorhersagen für den 14.9. 2024, 0-24h.....	20
5.1.3 Analyse und Vorhersagen für den 15.9. 2024 0-24h.....	23
5.1.4 Analyse und Vorhersagen für den 16.9. 2024 0-24h.....	26
5.2 Ergebnisse FSS.....	29
5.2.1 Ergebnisse FSS 14.9. 2024	29
5.2.2 Ergebnisse FSS 15.9. 2024	36
5.2.3 Ergebnisse FSS 16.9. 2024	44
6. Konvektive Einzelereignisse	51
6.1. 22. August 2020.....	53
6.2. 18. Juli 2021.....	56
6.3 14. April 2023.....	59
6.4. 7. Juni 2023	62
6.5 18. August 2024.....	65
7. Annex.....	68
7.1. Abkürzungen	68
7.2. Modellbeschreibungen	69
7.3. Literatur	77

1. Zusammenfassung

Zwischen dem 12. und 16. September 2024 führten extreme Regenfälle eines „Vb-Tiefdrucksystems“ in Österreich und Teilen Europas zu schweren Überschwemmungen und Schneefällen in höheren Lagen. Besonders betroffen waren Niederösterreich, Oberösterreich und Wien, wo Niederschlagsmengen von bis zu 420 mm in fünf Tagen gemessen wurden – ein Rekord, der in einigen Regionen statistisch seltener als alle 100 Jahre auftritt. Der Vergleich der Monatssummen, die zu über 98% durch das Ereignis 12.- 16.9. 2024 gegeben waren, zeigt eine bis zu vierfach höhere Summe in weiten Teilen Niederösterreichs.

Dies entspricht einem deutlich mehr als hundertjährigen Ereignis und übertrifft bisherige Maxima der mehr als 150-jährigen Messgeschichte deutlich. Vom 12. bis 16. 9. 2024 ist im Gebiet vom Tullnerfeld über St. Pölten bis Lilienfeld im Schnitt um 120 Prozent, im Gebiet um Langenlebarn bis zu 160 Prozent mehr als bei den stärksten fünftägigen Ereignissen seit 1961 gefallen.

Kennzeichnend für die Wetterentwicklung in den Tagen vor dem massiven Niederschlagsereignis waren die ungewöhnlich hohen Oberflächentemperaturen des Mittelmeers, die z.B. am 8.9. 2024 in weiten Bereichen noch über 25° und damit mehr als 6 Grad über dem Mittel der Jahreszeit lagen. Die Luftmassen, die bei einem schwachen Tief über dem Mittelmeer lagen, wurden dadurch wesentlich stärker als normal mit Wasserdampf angereichert.

Die verwendeten Wettermodelle haben die kritische Niederschlagssituation im Prinzip gut erkannt, allerdings hat sich die Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse bei einigen Modellen in unterschiedlicher Weise im Lauf der Zeit ergeben, da die verwendeten numerische Wettermodelle zwar weitgehend identische Ausgangsdaten verwenden, aber unterschiedlich konfiguriert sind und deshalb spürbar unterschiedliche Ergebnisse lieferten.

Numerische Wetter -Modell verwenden eine Kombination aus physikalischen und statistischen Methoden, um präzise Wettervorhersagen zu erstellen. Die Modelle basieren auf fundamentalen Gesetzen der Physik und beschreiben die Dynamik und Thermodynamik der Atmosphäre mit Gleichungen für die Bewegungen der Luftmassen, dem Einfluss von Sonnen- und Erdwärmestrahlung und der Bildung von Verdunstung, Kondensation und Niederschlag, Turbulenz- und Reibungsmodelle – berücksichtigen den Einfluss der Bodenreibung und atmosphärischer Turbulenz.

Bei den globalen Modellen (z.B. IFS von ECMWF) werden täglich 800 Millionen Einzeldaten verarbeitet und in das Modell integriert, um Vorhersagen für die nächsten 15 Tage zu erstellen. Der Dateninput schwankt allerdings in der Menge und der Qualität zu den einzelnen Terminen. Beim Termin 0h UTC sind bei den globalen Modellen etwas mehr Daten vorhanden als beim Termin 12h UTC, dies dürfte einer der Faktoren sein weshalb die Qualität zwischen den beiden Terminen systematisch unterschiedlich ausfällt, dieses Phänomen ist allerdings derzeit noch nicht restlos geklärt.

Zusätzlich zu den normalen Modellläufen werden sogenannte „Ensembles“ mit 50 leicht unterschiedlich konfigurierten Ausgangssituationen berechnet, die mögliche alternative Szenarien beschreiben und gleichzeitig ein Maß für die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Szenarien bieten. Artificial Intelligence Prozesse, um einzelne Prozesse besser und effizienter zu beschreiben sind in das Modell und die statistische Nachbearbeitung integriert und haben schrittweise zur Verbesserung beigetragen.

Um einen längeren Zeitraum von z.B. 7 Tagen vorherzusagen ist es notwendig global zu rechnen, da wetterbestimmende Tiefdruckgebiete in diesem Zeitraum den Atlantik überqueren und z.B. durch massive Hochdruckgebiete in anderen Kontinenten beeinflusst werden. Diese Modelle haben typischerweise eine räumliche Auflösung von 12km. Innerhalb begrenzter Gebiete mit einer komplexen Topographie wie z.B. die Alpen ist es notwendig mit höheren Auflösungen zu rechnen um den Einfluss von Gebirgen und kleinräumigen Nutzungsformen (Wald, Wiese, Seen etc.) abzubilden. Dies wird in Österreich z.B. mit dem Europamodell von AROME gemacht, das die Randbedingungen von IFS / ECMWF nützt. Beide Arten von Modellen benötigen auf Grund ihrer Komplexität mehrere Stunden an Rechenzeit und können dadurch den aktuellen Bedingungen vor Ort etwas nachhinken. Die in dieser Untersuchung verwendeten Modelle sind, soweit deren Unterlagen einsichtlich waren, im Abschnitt 7.2. im Detail beschrieben.

Daher wurde an der Geosphere Austria (bzw. ZAMG) das Nowcastingmodell INCA entwickelt, das nicht nur mit einer sehr kleinräumigen Auflösung (1km) rechnet, sondern auch die jeweils letzten Beobachtungsdaten vor Ort mitberücksichtigt.

Die Arbeit an der Verbesserung der numerischen Wettermodelle in den letzten Jahrzehnten hat spürbare Ergebnisse gebracht, pro Jahrzehnt konnte ca. 1 zusätzlicher Tag Vorhersagehorizont mit gleicher Qualität gewonnen werden. Bei den kleinräumigen Modellen war es hauptsächlich die bessere Vorhersage im Bereich kleinräumiger Wetterphänomene, wie z.B. lokale Gewitter mit extremen Niederschlägen, die durch eine genauere Darstellung der physikalischen Prozesse der Wolken und Niederschlagsbildung sowie der Konvektion erreicht wurden.

Zudem haben zusätzliche lokale Beobachtungen verschiedener Dienste (in Österreich durch die Hydrographischen Dienste der Landesregierungen) spürbare Verbesserungen gebracht. Bei den globalen Modellen haben sich zusätzliche Datenquellen wie neuere Satellitenbeobachtungsverfahren und stärkere Rechnerleistungen stark positiv bemerkbar gemacht. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen wechseln recht stark zwischen den verschiedenen Wettersituationen, vor allem bei niederschlagsreichen Wetterphasen ist die genaue Beschreibung des Einflusses von Gebirgsphänomen ein wichtiger Faktor.

Die in dieser-Studie durchgeführten Evaluierungen und Vergleiche beziehen sich auf einzelne, vor allem auf die sehr außergewöhnliche Wetterphase im September mit extremen Niederschlägen, die einen Vb ähnlichen Charakter hatte. Als Vb Wetterlagen bezeichnet man Tiefdruckgebiete, die vom Mittelmeer in einem Bogen über Südosteuropa bis an den Alpennordrand wandern und dort massive Niederschläge bringen. Im Fall vom September 2024 lagen die Niederschlagsmengen deutlich über denen vergleichbarer Vb Wetterlagen. Ursache dafür sind Elemente der Klimaänderung, wie die deutlich erhöhten Temperaturen des Mittelmeers, die einen zusätzlichen Feuchteschub bewirkten.

Eine Einzelfallbeurteilung und Verifikation der Modellperformance hat gegenüber einer Verifikation in längeren Zeiträumen systemische Grenzen, bringt aber wichtige Hinweise für das Modellverhalten in extremen Wettersituationen

Die einzelnen Modelle reproduzierten diese Verhältnisse recht gut, allerdings ergaben sich in der zeitlichen Abfolge Unterschiede in deren Qualität, wobei manchmal das eine, dann wieder ein anderes Modell näher an die tatsächlichen Tagesniederschläge herankam.

Regionale Modelle werden mit zusätzlichen regionalen Daten gefüttert und in einer höheren Auflösung gerechnet. Diese lieferten in den letzten 24 Stunden deutlich bessere Ergebnisse als die globalen Versionen. Dasselbe Phänomen der besseren räumlichen Repräsentativität war bei der Untersuchung der 5 konvektiven Gewitterereignisse zu beobachten.

Aus diesen Erfahrungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten:

1. Globale Modelle (wie IFS ECMWF) geben für einen 3 bis 10 Tage Zeithorizont einen guten Überblick über mögliche extreme Szenarien und sollten direkt in hydrologische Modelle integriert werden. Auch die Ensembleversionen dieser Modelle sollten für diesen Zeitraum für Aspekte der Hydrologie betrachtet werden.
2. Die Verwendung mehrerer regionaler Modelle (AROME, ICON-D2, INCA) stellt für die möglichen Szenarien einen deutlichen Vorteil dar und sollte in den Datenfluss für hydrologische Prognosen integriert werden. Die voraussichtlich ab dem kommenden Jahr operationell verfügbare Version AROME 1km sollte in den Workflow integriert werden.
3. Ein permanenter Dialog Meteorologe – Hydrologe sollte im Fall normaler Wetterbedingungen in regelmäßigen Abständen, in möglichen Krisensituationen aber deutlich intensiver wahrgenommen werden. Systemisch strukturierte Protokollierungen helfen dabei den Ablauf effizient und effektiv zu gestalten.
4. Artificial Intelligence Verfahren: Die Ergebnisse der Entwicklung von ECMWF-AI (AIFS) sind vorliegendem Zeitraum zwar noch nicht perfekt, weitere Verbesserungen sind jedoch auch durch Aktivitäten von Geosphere Austria in diesem Bereich in Entwicklung und sollten in einem Dialog Meteorologie – Hydrologie in beide Verfahren integriert werden.

2. Wettersituation

Zwischen dem 12. und 16. September 2024 führten extreme Regenfälle eines „Vb-Tiefdrucksystems“ in Österreich und Teilen Europas zu schweren Überschwemmungen und Schneefällen in höheren Lagen. Besonders betroffen waren Niederösterreich, Oberösterreich und Wien, wo Niederschlagsmengen von bis zu 420 mm in fünf Tagen gemessen wurden – ein Rekord, der in einigen Regionen statistisch seltener als alle 100 Jahre auftritt. Die intensiven Regenfälle wurden oft von Sturm begleitet, mit Böen von über 100 km/h, die zu umgestürzten Bäumen und Schäden an Infrastruktur und Landwirtschaft führten.

In Niederösterreich kam es zu massiven Überflutungen, Damnbrüchen, Hangrutschungen und Evakuierungen. Besonders betroffen waren die Bezirke Tulln, St. Pölten und St. Pölten Land. Wien verzeichnete Schäden an Verkehrsinfrastruktur, überflutete Gebäude und Sturmschäden an Oberleitungen und Dächern. Oberösterreich litt zusätzlich unter Schneebruchschäden an Stromleitungen, während die Steiermark vor allem durch Sturmschäden im Forst und verlegte Verkehrswege betroffen war. Auch in Nachbarländern wie der Tschechischen Republik und Südwestpolen führten die Regenmengen und Stürme zu großflächigen Überschwemmungen und Windbruch.

Langfristige Datenanalysen zeigen eine Zunahme der maximalen fünftägigen Niederschläge seit 1991 um etwa 20 % in Niederösterreich und Wien, was auf veränderte Klimabedingungen hinweist. Das Ereignis gilt als eines der schwersten mehrtägigen Niederschlagsereignisse seit Beginn der österreichischen Messgeschichte 1858 und als stärkstes außerhalb des alpinen Raums seit 1961. Die extremen Wetterbedingungen verdeutlichen die zunehmende Dringlichkeit, sich auf intensivere Klimaextreme vorzubereiten und bestehende Vorhersagemodelle zu vergleichen, um optimale Warnmöglichkeiten für die einzelnen Vorhersagezeiträume zu finden.

3. Wetterlagen

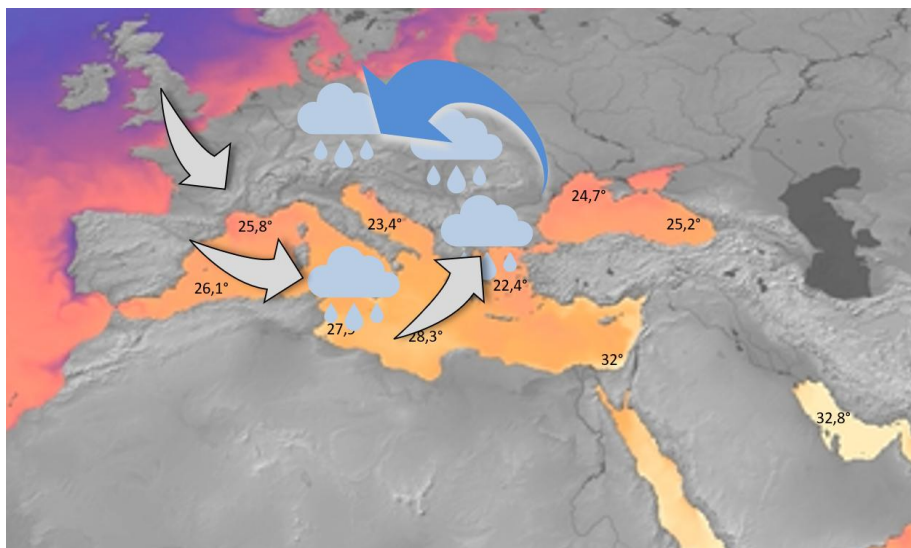


Abb. 1 Oberflächentemperaturen Mittelmeer 8.9. 2024 und nachfolgende Luftströmungen (Daten: Copernicus Services)

Kennzeichnend für das Niederschlagsereignis die Wetterentwicklung in den Tagen vor dem massiven Niederschlagsereignis waren die ungewöhnlich hohen Oberflächentemperaturen des

Mittelmeers, die z.B. am 8.9. 2024 (Abb. 1) in weiten Bereichen noch über 25° und damit mehr als 6 Grad über dem Mittel der Jahreszeit lagen. Die Luftmassen, die bei einem schwachen Tief über dem Mittelmeer lagen, wurden dadurch wesentlich stärker als normal mit Wasserdampf angereichert.¹

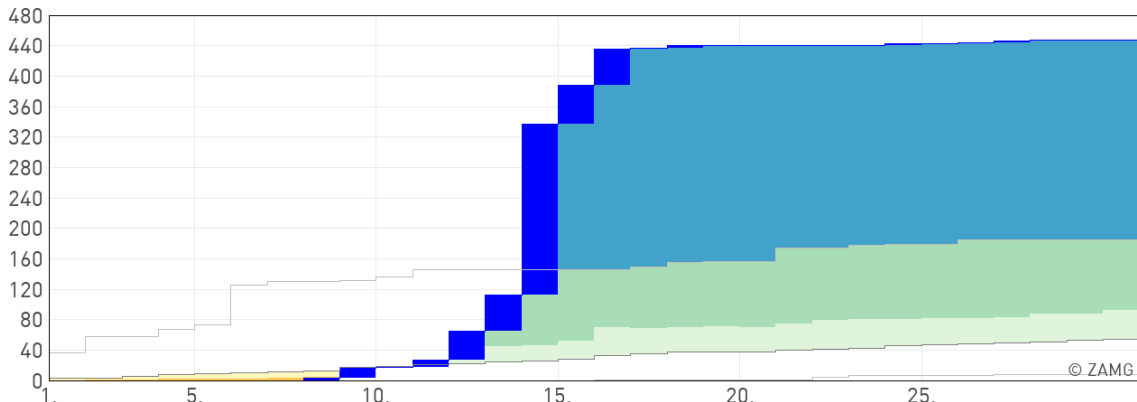


Abb. 2: Verlauf des Niederschlags St. Pölten-Landhaus, September 2024. Die beiden grauen Linien bezeichnen bisherige minimale und maximale Verläufe.

Farbcode: Gelb: schwaches Niederschlagsdefizit; hellgrün: schwacher Niederschlagsüberschuss, Dunkelgrün starker Niederschlagsüberschuss, türkisblau: neues Maximum; dunkelblau: Tägliche Niederschlagssumme (7h bis 7h Folgetag) Quelle: Geosphere

Die ungewöhnlichen Verhältnisse spiegeln sich auch im Niederschlagsverlauf des Septembers wider: nach einer niederschlagsfreien Periode bis zum 8. September 2024, fiel fast der gesamte Monatsniederschlag im Zeitraum 9. bis 17. September 2024 und übertraf das bisherige Maximum an dieser Station um ein Mehrfaches.

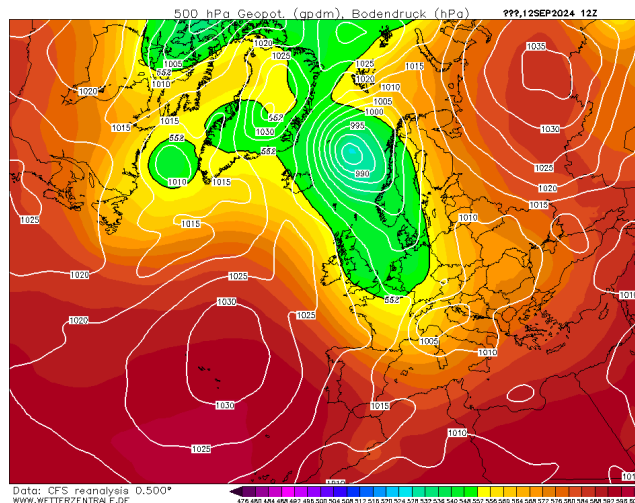


Abb. 3: Druckverteilung Boden und 500 hPa am 12.9. 2024 12h (GFS), Quelle: Wetterzentrale

Am 9. September erreichte ein erstes Tief Mitteleuropa mit mäßigen, in Niederösterreich nur geringen Niederschlägen. In der Folge strömte aber Kaltluft in das westliche Mittelmeer und bewirkte hier die Bildung einer Genuazyklone, die in der Folge nach Osten und über Ungarn in einer Vb ähnlichen Wetterentwicklung an die Ostseite der Alpen zog.

In der Abb. 3 ist der Beginn der Tiefdruckentwicklung über Norditalien erkenntlich. Dies brachte in Verbindung mit dem wesentlich stärker ausgeprägten Tief über der Nordsee feuchtkühle Luft in den Mittelmeerraum und von dort nach weiterer Feuchteanreicherung nach Zentraleuropa.

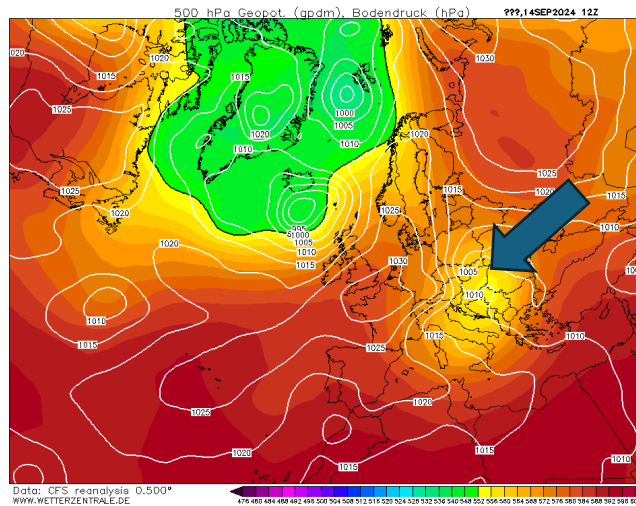


Abb. 4: Druckverteilung Boden und 500 hPa am 14.9. 2024 12h. Analyse GFS, Quelle: Wetterzentrale

Zwei Tage später hatte sich ein Bodentief über dem nördlichen Balkan neu gebildet und der Zufluss stark angereicherter feuchtkühler Luft aus Nordost brachte entsprechende Niederschläge vor allem an der Alpennordseite. (Abb. 4).

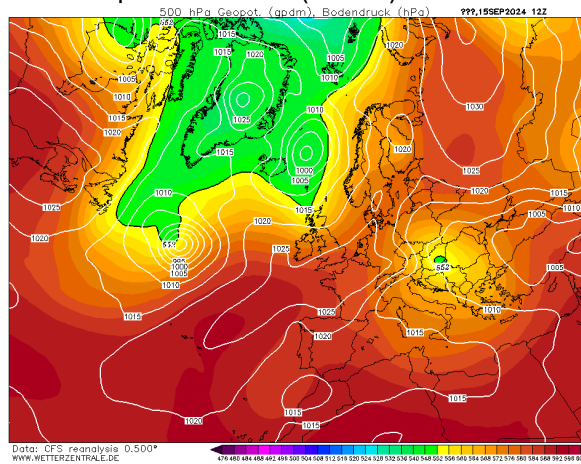


Abb. 5: Druckverteilung Boden und 500 hPa am 15.9. 2024 12h. Analyse GFS, Quelle: Wetterzentrale

Eine dritte Zyklone fand am 15.9.2024 statt, die durch ein nach Westen ziehendes Höhentief über Ungarn, bzw. dem Alpenostrand gekennzeichnete und das in der Serie der Niederschlagsereignisse dieser Tage in Niederösterreich am ergiebigsten ausfiel.

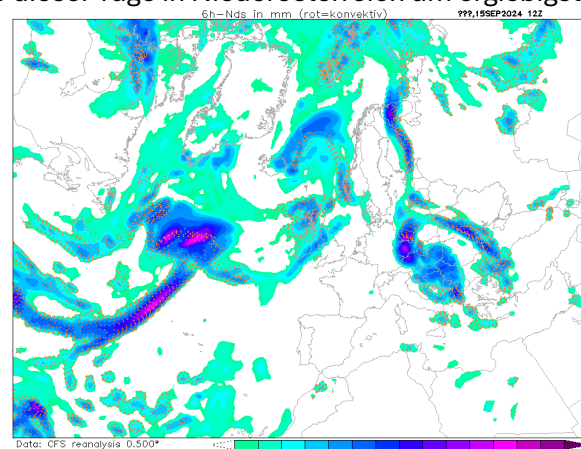
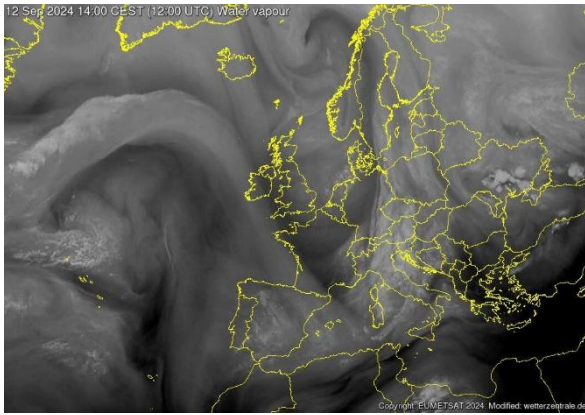
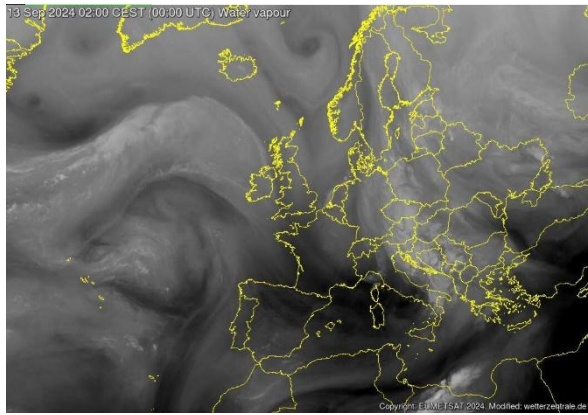


Abb. 6: Niederschlagsverteilung Mitteleuropa, 15.9. 2024, 6 - 12h. Analyse GFS, Quelle: Wetterzentrale

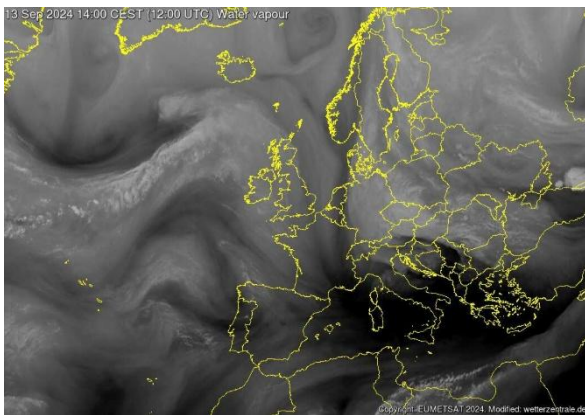
Abb. 6 zeigt die Niederschlagsverteilung am 15.9. 2024 in den Vormittagsstunden mit dem von Niederösterreich weit nach Norden reichenden Maximum des Niederschlags.



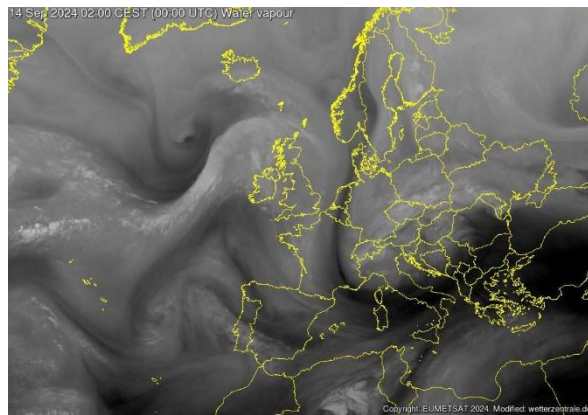
12. September 12 UTC



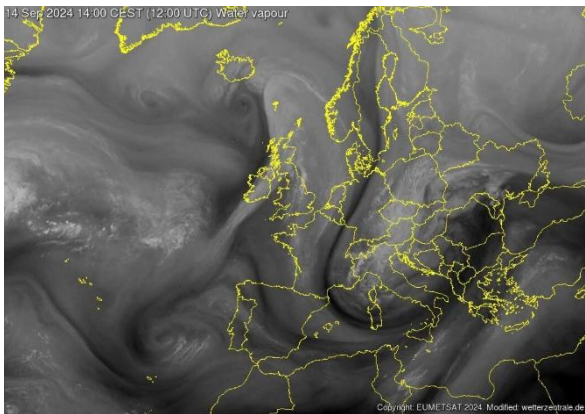
13. September 0 UTC



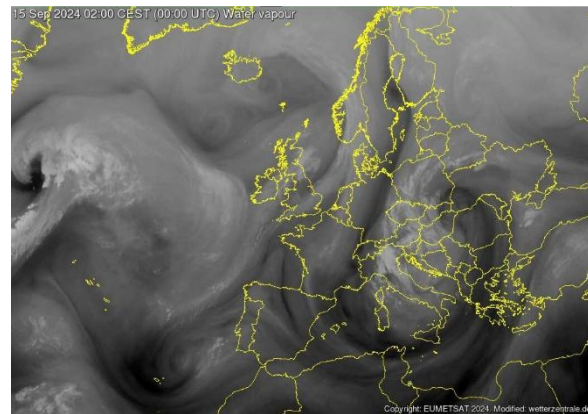
13. September 12 UTC



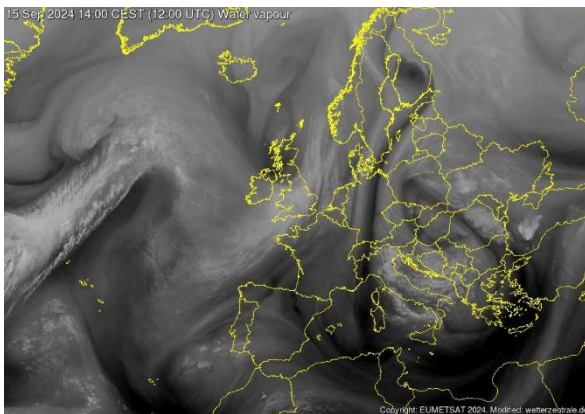
14. September 0 UTC



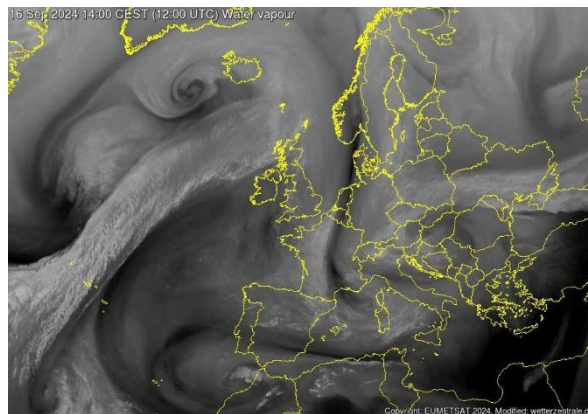
14. September 12 UTC



15. September 0 UTC



15. September 12 UTC



16. September 0 UTC

Abb. 7: Sat Bild Wasserdampf, Sept. 12.12UTC bis Sept. 16. 12UTC Quelle EUMETSAT/Wetterzentrale

Der gesamte Verlauf der Bewegung der Luftmassen ist in Abb. 7 gut erkenntlich: Das sehr rasche Herumführen feuchter Luftmassen mit weiterer Feuchteanreicherung über dem noch warmen Mittelmeer und teilweise auch dem Schwarzen Meer wurde von starken Hebungsvorgängen in den örtlich sich nur wenig bewegenden Frontalzonen begleitet.

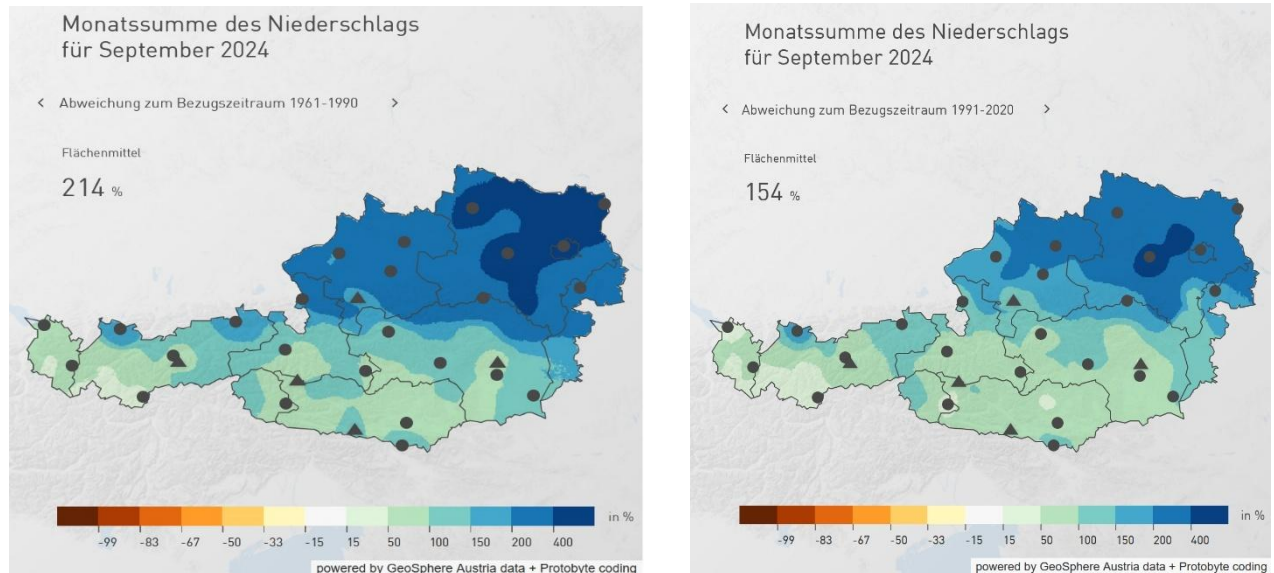


Abb. 8: Niederschlagsverteilung Österreich September 2024, Vergleich zu 1961-1990 sowie 1991 - 2020, Quelle: GeoSphere Austria

Der Vergleich der Monatssummen, die zu über 98% durch das Ereignis 12.- 16.9. 2024 gegeben waren, zeigt eine bis zu vierfach höhere Summe in weiten Teilen Niederösterreichs. Dies entspricht einem deutlich mehr als hundertjährigen Ereignis und übertrifft bisherige Maxima der mehr als 150-jährigen Messgeschichte deutlich. Vom 12. bis 16. 9. 2024 ist im Gebiet vom Tullnerfeld über St. Pölten bis Lilienfeld im Schnitt um 120 Prozent, im Gebiet um Langenlebarn bis zu 160 Prozent mehr als bei den stärksten fünftägigen Ereignissen seit 1961 gefallen.

Gemessene Niederschlagsmengen 13.- 16.9. 2024 (Tagessummen 0- 24h UTC)

Die nachfolgenden Stationen der Geosphere Austria repräsentieren das Niederschlagsereignis von 13. bis 16.9. 2024 sehr gut und wurden auch für den Modellvergleich mit direkten Stationsmessungen herangezogen.

Station	Höhe m	24h RR	24h RR	24hRR	24h RR	Summe 13.- 16.9.2024 (mm)
		13.9. (mm)	14.9. (mm)	15.9. (mm)	16.9. (mm)	
Buchberg	460	66,3	140,0	124,9	55,0	386,2
Bärnkopf	969	44,3	129,5	56,5	58,4	288,7
Langenlebarn	175	63,1	172,8	105,9	44,1	385,9
Langenlois	207	42,9	109,4	36,5	22,1	210,9
Lilienfeld-Tarschberg	696	67,4	145,7	135,9	51,9	400,9
Lunz am See	612	68,5	143,4	98,9	50,8	361,6
Oberndorf/Melk	295	67,0	89,2	90,2	60,2	306,6
Reichenau/Rax	488	73,7	118,3	89,3	28,1	309,4
St. Pölten/Landhaus	274	57,4	158,8	122,2	51,6	390,0
Wien-Mariabrunn	225	69,7	100,4	97,0	29,9	297,0

4. Methoden zur Beurteilung der Modellergebnisse

4.1 Direkter Vergleich an einzelnen Messpunkten

Ein direkter Vergleich an einzelnen Messpunkten von Ergebnissen einzelner Modelle mit den gemessenen Niederschlagsmengen für die verschiedenen Zeitschritte des Vorhersagehorizonts ist eine wertvolle Aussage, die das komplexe Verhältnis zwischen der Ausgangssituation zum Zeitpunkt einer Modellierung und die tatsächlichen Bedingungen zum Prognosezeitpunkt gut wiedergibt.

Die allmähliche Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse sind je nach verwendetem Prognosemodell unterschiedlich steile Lernkurven, die sich aber je nach Gebiet und Situation unterschiedlich gestalten und das Verhältnis und Maßnahmenmöglichkeiten von Mittelfristprognosen (5 bis 7 Tage) und Nowcasting (die nächsten Stunden) gut abbilden.

4.2 Vergleich von Modellen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung

Die Verifikation von den verschiedenen numerischen Vorhersagemodellen und deren Qualitätsbeurteilung wird aber auch durch unterschiedliche räumliche Auflösungen der einzelnen Modelle zu einem komplexen Prozess. Im Allgemeinen wurden die Modelle in den letzten Jahren durch bessere Computerressourcen räumlich höher aufgelöst und damit auch räumlich präziser.

Dabei kommen sowohl von Situation zu Situation unterschiedliche Zustände der Atmosphäre als auch unterschiedliche Beurteilungskriterien zum Tragen. Konvektive Ereignisse mit kleinräumigen Niederschlagsmaxima stellen andere Anforderungen an Modellqualitäten als großräumige Ereignisse wie die Hochwassersituation im September 2024.

Die Beurteilung der Modellqualität in ihrer räumlichen Verteilung wird durch allerdings das „double indemnity Problem“ wesentlich komplexer. Eine örtlich nur in geringem Umfang falsch prognostizierte Niederschlagsspitze wird bei den üblichen Verfahren stark negativ bewertet, wogegen z.B. für Abflussprognosen die Summe der Niederschlagsmenge in einem größeren Einzugsgebiet von Bedeutung ist. Um zu vermeiden, dass hochaufgelöste Modelle schlechter abschneiden als räumlich gröbere Modelle und Modelle untereinander objektiv vergleichbar werden betrachtet man Wertungsfenster mit einem für diese Verfahren geeigneten Koeffizienten aus Fenstergröße und definierten Niederschlagsgrenzenⁱⁱ.

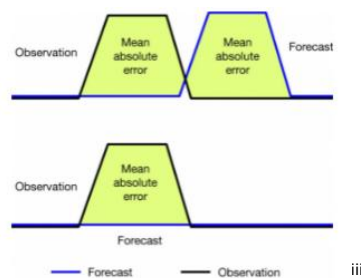


Abb. 9: Mögliche Verschiebungen Vorhersage und tatsächliche Niederschlagsfelder

Um mit dieser Methode eine möglichst gut nutzbare Übersicht zu erhalten, wird für die flächige Auswertungen wird der auch bei ECMWF übliche „Fraction Skill Score“ (FSS) verwendet, der die Genauigkeit von Simulationen bewertet

Der FSS-Wert liegt zwischen 0 und 1 und gibt an, wie gut eine Simulation bestimmte Schwellenwerte beim Niederschlag in bestimmten Fenstern (oder Größenbereichen) trifft.

In den Modellvergleichen von *Panelification* gibt es neben der grafischen Darstellung des Niederschlags ein weiteres Feld, das eine kurze Übersicht zur Modell-Performance bietet. Diese Übersicht besteht aus zwei Hauptteilen:

- Der untere Teil zeigt die Modell-Performance anhand des Fraction Skill Score (FSS).
- Dieser Score misst, wie gut das Modell den Niederschlag vorhersagt. Dabei wird nicht nur Punkt für Punkt verglichen, sondern es wird eine sogenannte *Neighborhood Verification* verwendet.

Statt nur einzelne Punkte direkt zu vergleichen, betrachtet man ein größeres Gebiet – beispielsweise ein Quadrat von 60x60 km – und prüft, ob in diesem Bereich die gleiche Anzahl an Punkten mit starkem Regen (z. B. >100 mm) vorhergesagt wurde. Dadurch wird die Bewertung realistischer, weil kleine Abweichungen in der Vorhersage nicht sofort als Fehler gewertet werden^{iv}.

Das Diagramm zeigt folgendes:

- Die y-Achse zeigt verschiedene Niederschlagsschwellen (z. B. 10 mm, 50 mm, 100 mm).
- Die x-Achse gibt die Fenstergröße an (z. B. 10 km, 30 km, 60 km).
- Je weiter links im Diagramm, desto genauer muss das Modell den Ort des Niederschlags vorhersagen.
- Je weiter unten, desto stärker ist der Regen, für den die Vorhersage geprüft wird.
- Grundsätzlich gilt: Je weiter oben und rechts man sich im Diagramm befindet, desto einfacher ist es für das Modell, eine gute Bewertung zu erzielen.

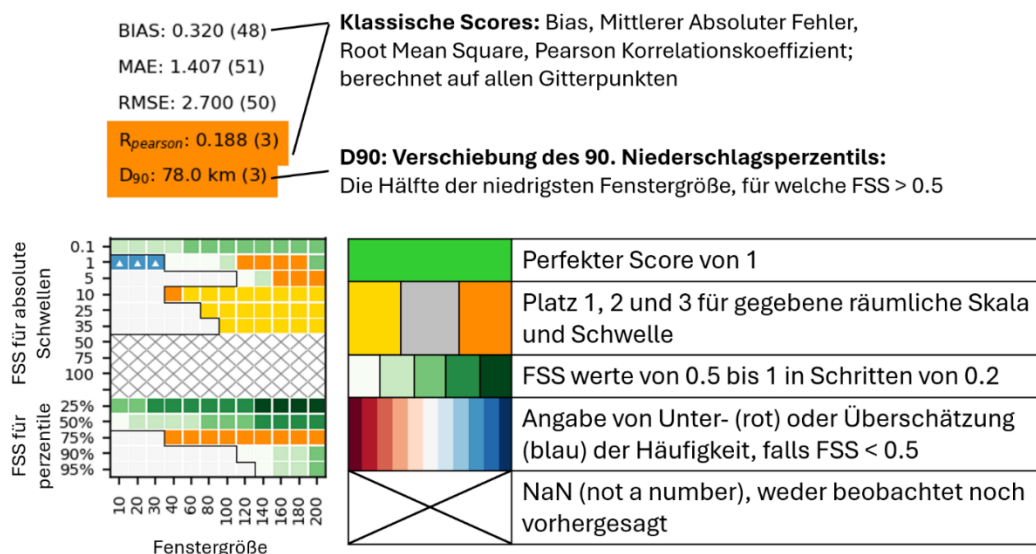


Abb. 10: Elemente der FSS Score Darstellung

Der **Fraction Skill Score (FSS)** gibt an, wie gut ein Modell den Niederschlag vorhersagt:

- Ein **perfekter Wert ist 1**, was bedeutet, dass die Vorhersage genau mit den Beobachtungen übereinstimmt.
- Der **schlechteste Wert ist 0**, was bedeutet, dass die Vorhersage völlig unbrauchbar ist.
- Werte unter **0,5 gelten als nicht nützlich**, da sie keine zuverlässige Vorhersagequalität bieten.

Wie wird der FSS dargestellt?

Da jede Kombination aus **Niederschlagsschwelle** (z. B. 10 mm, 50 mm, 100 mm) und **Fenstergröße** (z. B. 10 km, 30 km, 60 km) einen eigenen FSS-Wert hat, ergibt sich eine große Matrix mit vielen Zahlen.

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, werden stattdessen Farben verwendet:

- Dadurch sieht man auf einen Blick, welches Modell relativ besser oder schlechter abschneidet.
- Gold, Silber und Bronze markieren zum Beispiel, welches Modell extremen Niederschlag auf kleiner Fläche am besten vorhergesagt hat.

Untere FSS-Visualisierung: Perzentile statt fester Niederschlagsschwellen

- Hier wird nicht eine feste Schwelle (z. B. 50 mm) verwendet, sondern die oberen x% der stärksten Niederschläge betrachtet.
- Dadurch werden **nasse oder trockene bias** vermieden, und es zählt nur, wie gut das Modell die räumliche Verteilung des Regens trifft.

Der D90-Wert

- Der **D90-Wert gibt die minimale Fenstergröße (in km) an, die nötig ist, damit das Modell für das 90. Niederschlagsperzentil einen brauchbaren Score erreicht.**
- Er zeigt, **wie stark das Modell den intensivsten Niederschlag räumlich verschoben hat** im Vergleich zu den Beobachtungen.

Weitere klassische Bewertungsmetriken:

1. **Bias** (perfekt = 0):
 - Gibt an, ob das Modell systematisch zu viel oder zu wenig Niederschlag vorhersagt.
2. **Mean Absolute Error (MAE)** (perfekt = 0):
 - Durchschnittliche Abweichung (ohne Vorzeichen), also wie weit die Vorhersagen im Mittel von der Realität entfernt sind.
3. **Root Mean Squared Error (RMSE)** (perfekt = 0):
 - Wie MAE, aber große Fehler werden stärker gewichtet.
4. **Pearson-Korrelationskoeffizient (Rpearson)** (perfekt = 1, Werte zwischen -1 und 1):
 - Zeigt, wie ähnlich die beobachteten und vorhergesagten Niederschlagsmuster sind.
 - Selbst wenn das Modell den Regen zu stark oder zu schwach vorhersagt, kann die Korrelation hoch sein, wenn das Muster stimmt.

Der Vergleich für eine bestimmte Niederschlagsschwelle (z.B. > 100 mm) wird für alle Gitterpunkte innerhalb einer Verifikationsdomain durchgeführt, und der FSS für die entsprechende Schwelle und Fenstergröße wird berechnet gemäß

$$FSS = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_f - p_o)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_f^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_o^2}$$

wobei N die Zahl der Gitterpunkte in der Verifikationsdomain ist und p_f bzw. p_o der Anteil an Gitterpunkten, welche in der Vorhersage bzw. den Beobachtungen die gewählte Schwelle überschreiten. Man erhält also eine Matrix mit einem Wert zwischen 0 und 1 für jede Kombination aus gewählten Niederschlagsschwellen und Fenstergrößen.

Daraus ergibt sich, dass die Schwelle, ab welcher eine Simulation für eine Bestimmte Kombination aus Niederschlagsmenge und Fenstergröße Skill hat, von der Anzahl Gitterpunkte abhängt, an welcher die Niederschlagsmenge erreicht wurde. Die Argumentation ist hier, dass es einfacher ist, Regen richtig zu platzieren, wenn mehr davon in der Verifikationsdomain ist. Die Formel für diese Schwelle des FSS ist

$$FSS_{min} = 0.5 + 0.5f_o,$$

wobei f_o die beobachtete Frequenz ist, sprich der Anteil an Gitterpunkten, an welcher die Niederschlagsschwelle in den Beobachtungen überschritten wird. Die genaue Bedeutung der Formel ist in Roberts (2008) ^verläutert.

Dabei zeigt sich vor allem bei kleinen Domains, dass bei einer hohen Bedeckung der Domain gilt, dass $FSS_{min} \rightarrow 1$, wodurch nur noch perfekte Vorhersagen Skill haben. Der Extremfall wäre eine Vorhersage, bei welcher auf der Gesamten Domain z.B. mehr als 1 mm Regen beobachtet wurde. Eine Vorhersage, welche auf allen außer einem einzigen Gitterpunkt mehr als 1 mm vorhersagt, wäre hier trotzdem ohne Skill für die Schwelle von 1 mm.

In der Literatur wird oft einfach 0.5 als Schwelle verwendet, dies geht laut Mittermaier ^{vi}aber davon aus, dass f_o hinreichend klein ist, was speziell auf kleinen Verifikationsdomains im Allgemeinen nicht erfüllt ist. Allerdings kann ein globaler Wert von 0.5 auch verwendet werden, wenn z.B. verschiedene Modelle für einen einzelne Vorhersage verglichen werden, was genau dem Zweck von Panelification entspricht.

Berechnung des Condensed Weighted FSS:

Die Panels zeigen zudem den derzeit in Entwicklung befindlichen "Condensed Weighted FSS", der aus den Werten einer Fraction Skill Score (FSS)-Matrix berechnet wird. Dabei wird für jede Kombination aus Niederschlagsschwelle und Fenstergröße ein Punktwert ermittelt, indem der FSS-Wert linear interpoliert wird:

- Ein Punktwert von **0**, wenn der FSS $\leq 0,5$ liegt.
- Ein Punktwert von **1**, wenn der FSS den Wert 1 erreicht.

Anschließend werden diese Punktwerte gewichtet, wobei kleinere Fenstergrößen und höhere Schwellen doppelt so stark gewichtet werden wie größere Fenster und niedrigere Schwellen. Die Gewichtung wird entsprechend skaliert. Dadurch erhält die Kombination aus dem kleinsten Fenster und der höchsten Schwelle das vierfache Gewicht im Vergleich zur Kombination aus dem größten Fenster und der niedrigsten Schwelle.

4.3. Vergleich verschiedener Modelle über längere Zeiträume vs. Einzelfallbeurteilungen

Die Entwicklung globaler und regionaler Modelle an den verschiedenen Vorhersagezentren folgt den Möglichkeiten leistungsfähigerer Computerressourcen, besserem Zugang zu Beobachtungen und besserer Möglichkeiten für Parametrisierung der einzelnen Modellkomponenten.

Zudem ändert sich die Vorhersagbarkeit des physikalischen Zustands der Atmosphäre und der Ozeane permanent, sodass sich die Modellqualität der einzelnen Modelle zwar langfristig deutlich verbessert, diese Verbesserungsschritte aber bei den einzelnen Modellen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfinden und insgesamt größere Unterschiede auch über längere Zeiträume bestehen bleiben. Die Abbildung 9 zeigt diesen Prozess für eine Vielzahl von Modellen über die Dauer von 10 Jahren^{vii}.

Dadurch wird auch ersichtlich, dass eine Einzelfallbeurteilung immer nur eine Momentaufnahme eines kontinuierlichen Prozesses sein kann und nicht das vollständige Ergebnis der gesamten Entwicklungsarbeit an einem Modell bzw. seine komplette Vorhersagequalität in unterschiedlichen synoptischen Wettersituationen darstellt. Es ist daher schwierig die Analyse der Situation September 2024 zu verallgemeinern.

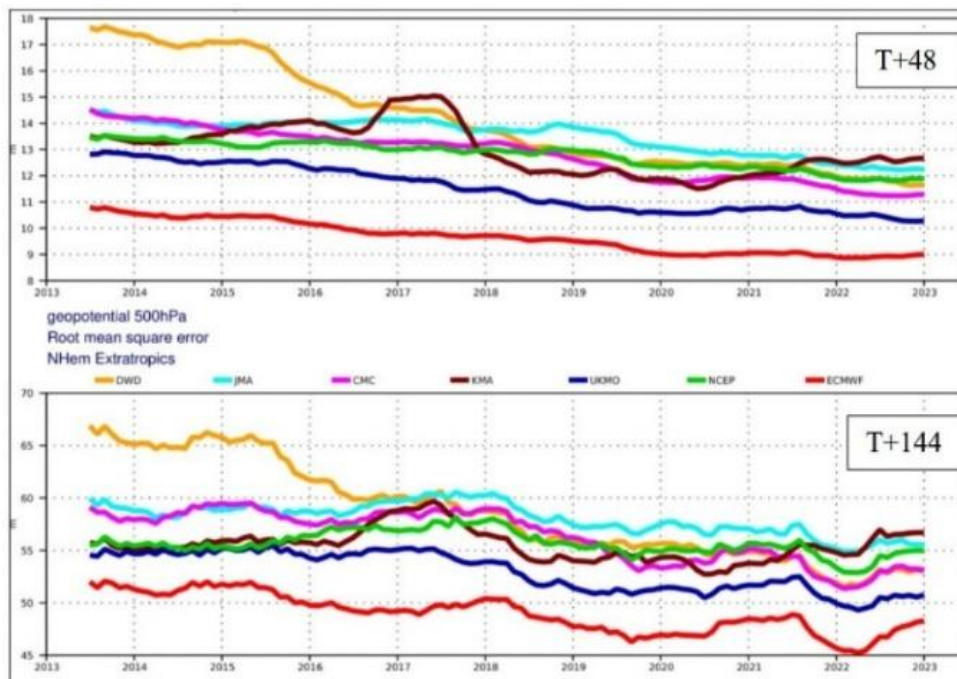


Abb. 11: Modellverbesserungen anhand des RMS Fehler des 500 hPa Geopotentials Nordhemisphäre in außertropischen Gebieten. (48h Vorhersage oben, 6 Tage Vorhersage unten). JMA = Japan Meteorological Agency, CMC = Canadian Meteorological Centre, UKMO UK Met Office, KMA = Korea Meteorological Administration, NCEP = U.S. National Centers for Environmental Prediction, DWD = Deutscher Wetterdienst. Quelle ECMWF

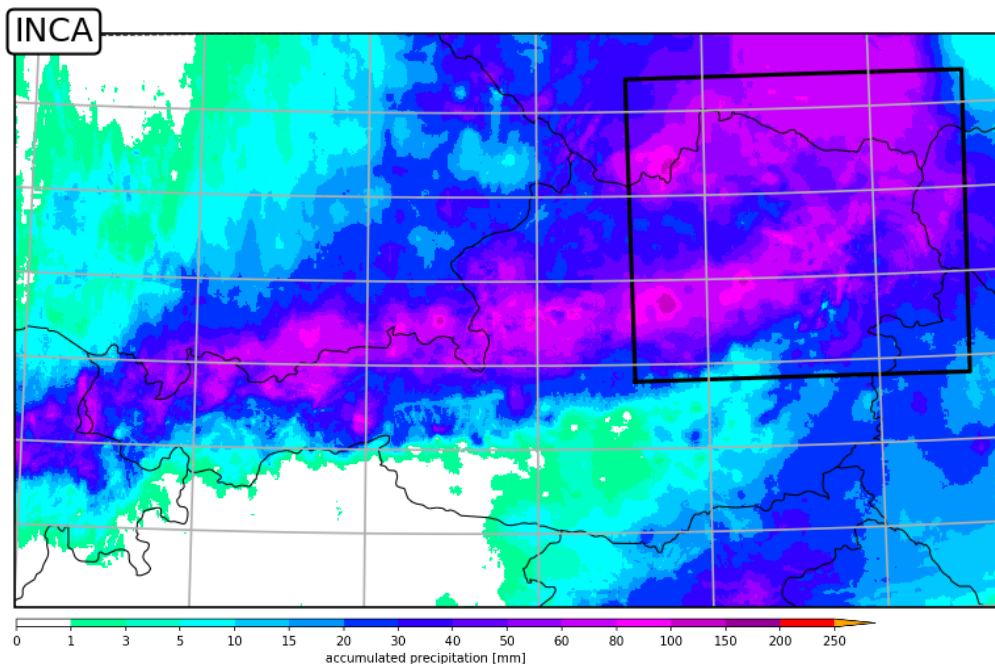
Für den Punkt Lunz am See lagen die Ergebnisse verschiedener kommerzieller Anbieter von globalen Modellen vor. Die Eigentümer dieser Modelle stellten die Daten für diese Tage zwar zur Verfügung, ersuchten jedoch um Anonymisierung ihrer Modelle.

5. Ergebnisse der Vorhersagemodelle

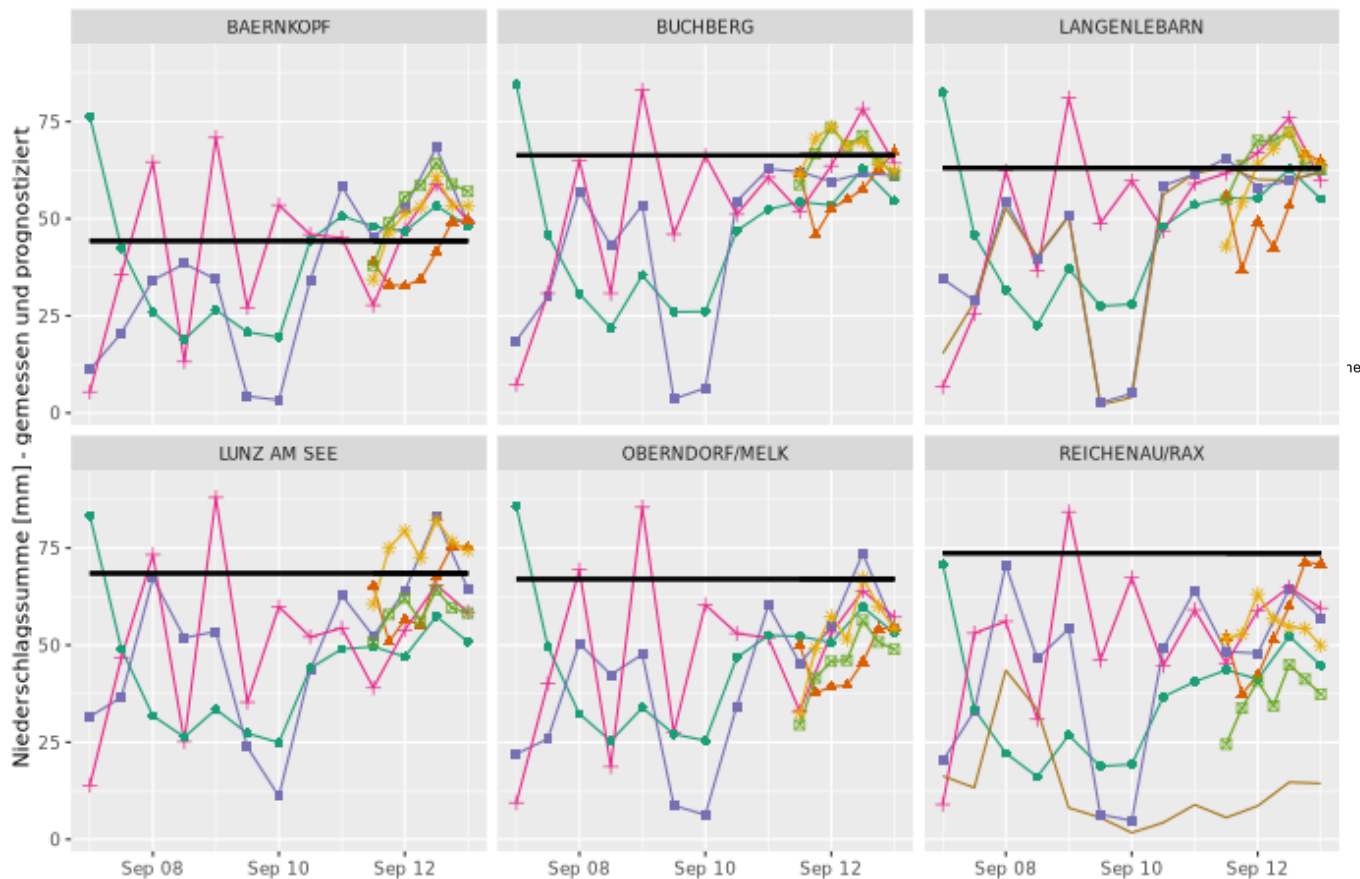
5.1. Vergleich direkter Punktprognosen

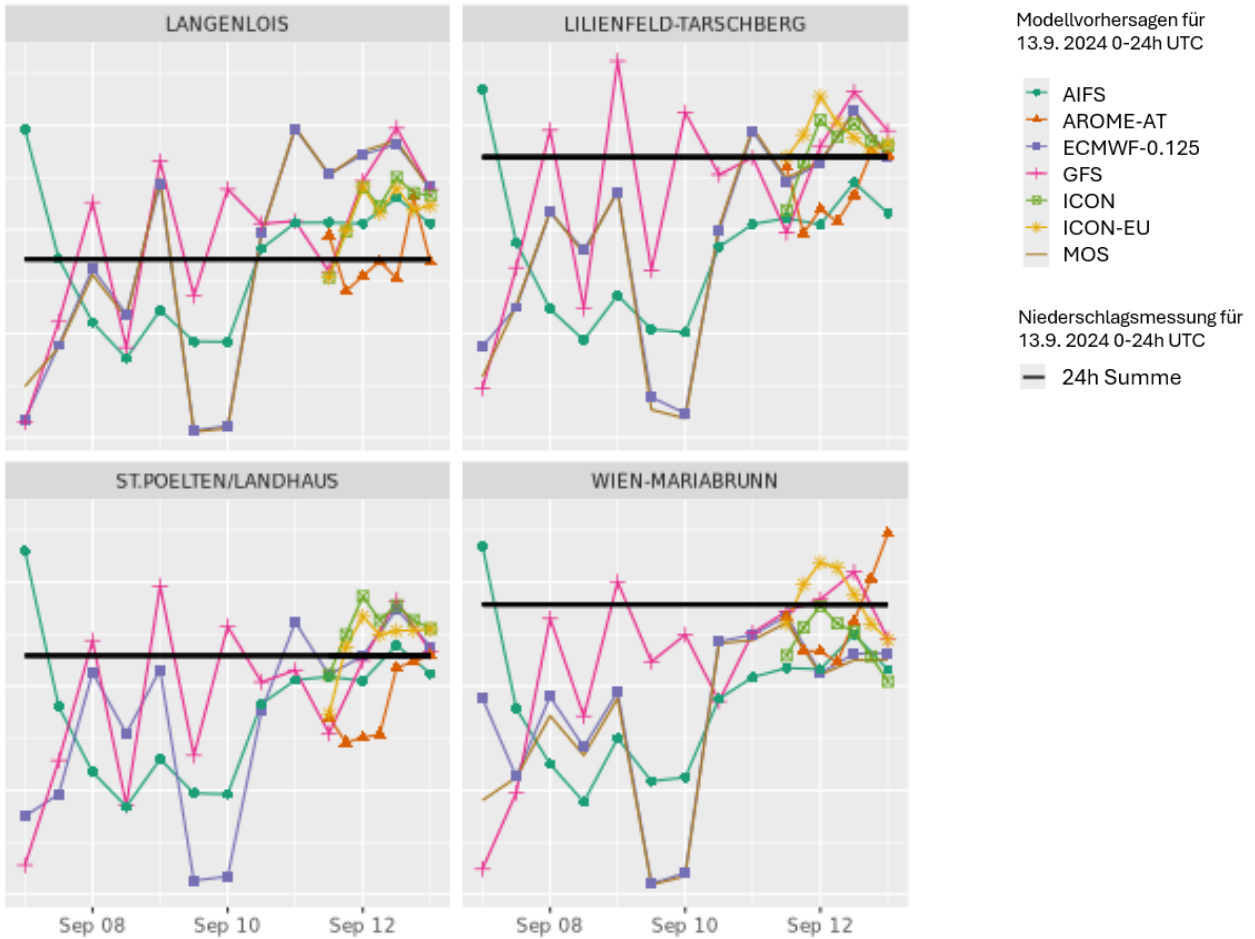
Die Ergebnisse von 6 Vorhersagemodellen wurden für die jeweils vorhandenen Zeiträume für die 10 in Kapitel 5 genannten Niederschlagsmesspunkte direkt verglichen, für die Lage der Station Lunz am See wurden weitere 6 Modelle als Vergleich herangezogen.

5.1.1 Analyse und Vorhersagen für den 13.9. 2024 0-24h



Modell-Ausgangslagen: 07.09.2024 00UTC - 13.09.2024 00UTC





Lunz am See Prognose/Messung 13.9.2024 0 - 24h UTC RR (mm)
Modell - Ausgangslage 7.9. 00UTC - 12.9. 2024 UTC

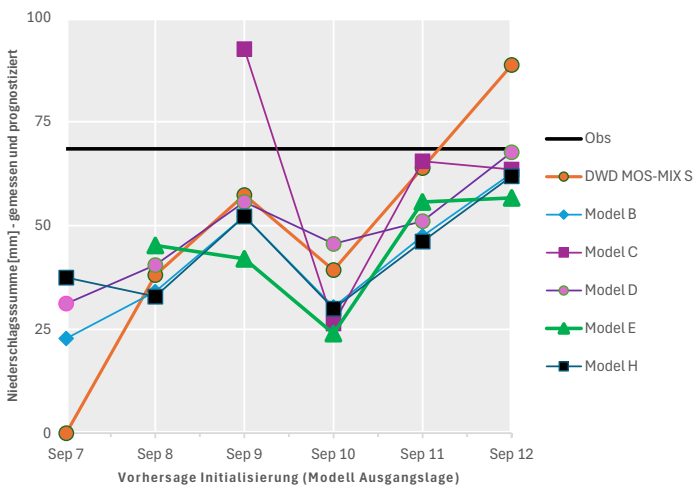


Abb. 13: INCA Analyse, 24h Niederschlagsvorhersagen durch 13 verschiedene Vorhersagemodelle für den 13.9. 2024 0-24h UTC

Ab 12.9. 2024 bildete sich ein Langwellentrog aus über Skandinavien, wobei hier Luftmassen polarem Ursprung bis weit in den Mittelmeer Raum vorstießen und dort auf extreme hohe Wassertemperaturen trafen. Am 13.9. 2024 spaltete sich von diesem Trog ein Kaltluft Tropfen über den Westalpen ab. Daraus entwickelte sich in der Folge ein Genua-Tief das mit feuchtwarmer Luft angereichert wurde.

Die genaue Lage dieses sehr aktiven Cat-Off-Tiefs wurden von den Modellen leicht unterschiedlich beurteilt und änderte sich zudem von Ausgangstermin zu Ausgangstermin. Da sich im Osten Europas ein massives Hoch aufgebaut hatte war aber abzusehen, dass die Lage des Cat Off Tiefs über den Ostalpen in den nächsten Tagen mit kleineren Änderungen ortsfest bleiben würde und massive Niederschläge zu erwarten wären,

An den meisten verglichenen Örtlichkeiten springen die vorhergesagten Niederschlagswerte von GFS, und teilweise auch ECMWF 0,125 zwischen den jeweiligen 0h und 12h Ausgangslage sehr stark zwischen starker Unterschätzung und leichter bis mittelstarker Überschätzung. Grund dafür sind die für den 12h UTC Zeitpunkt geringere Zahl der verfügbaren Datensätze.

Das AIFS beginnt mit einer Überschätzung am -144h Zeitpunkt, bleibt dann aber bis zum -72h Zeitpunkt bei einer zunächst deutlichen, später mäßigen Unterschätzung.

Die regionalen Modelle liegen zu Beginn erwartungsgemäß sehr nahe an denen der Modelle ECMWF; ICON bzw. AROME, welches die boundary conditions für die regionalen Modelle lieferten. AROME-Austria unterschätzt bis zu einem -18h Zeitpunkt um ca. 20%, kommt dann zum Schluss auf eine fast exakte Punkteprognose. ICON-EU und ICON überschätzen zu Beginn ihres Laufs um ca. 15%, kommen dann aber ebenfalls auf eine genaue Punkteprognose.

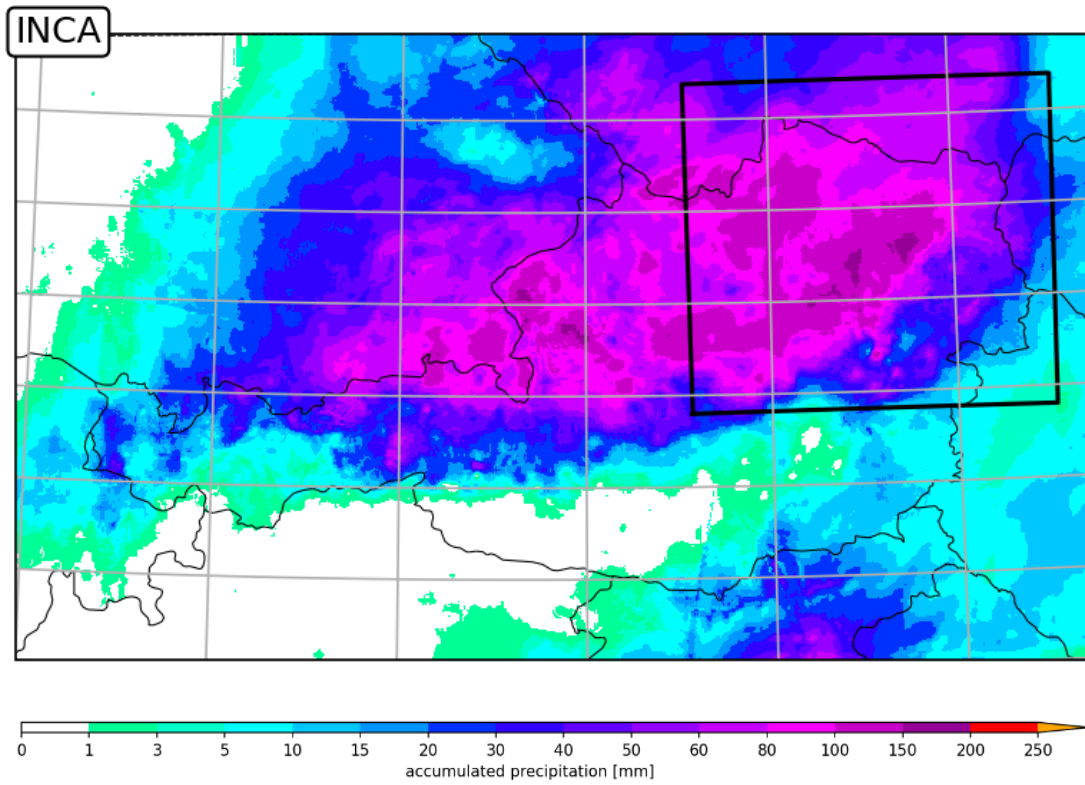
An den Stationen Buchberg, Bärnkopf, Langenlebar, Langenlois, Lilienfeld-Tarschberg zeichnet sich in den letzten 36 Stunden eine Überschätzung um 10 bis 20% ab, lediglich an den Stationen Oberndorf/Melk und Reichenau/Rax bleibt es bei fast allen Modellen bei einer leichten Unterschätzung.

In Wien-Mariabrunn neigen AROME-Austria und ICON-EU zu einer leichten Überschätzung, die anderen Modellen bleiben auch hier bei einer leichten Unterschätzung von ca. 10 bis 15%.

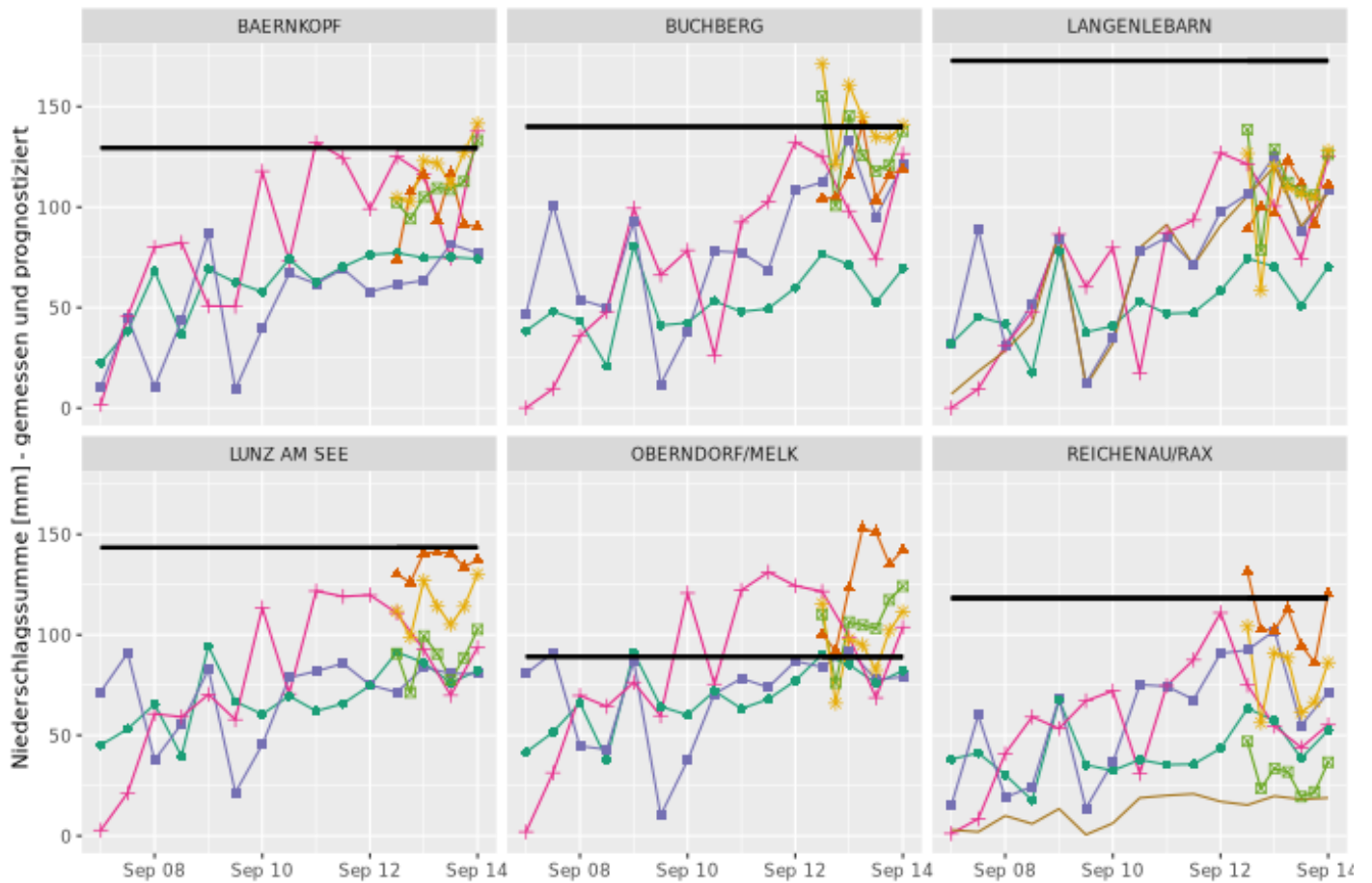
MOS Daten liegen nicht für alle Stationen vor, in den meisten Fällen kommt es jedoch zu einer deutlichen Unterschätzung, die z.B. in Reichenau bis in den Nowcastingbereich anhält, an den anderen Stationen gleichen sich die MOS Daten allmählich an die tatsächlich gemessenen Werte an

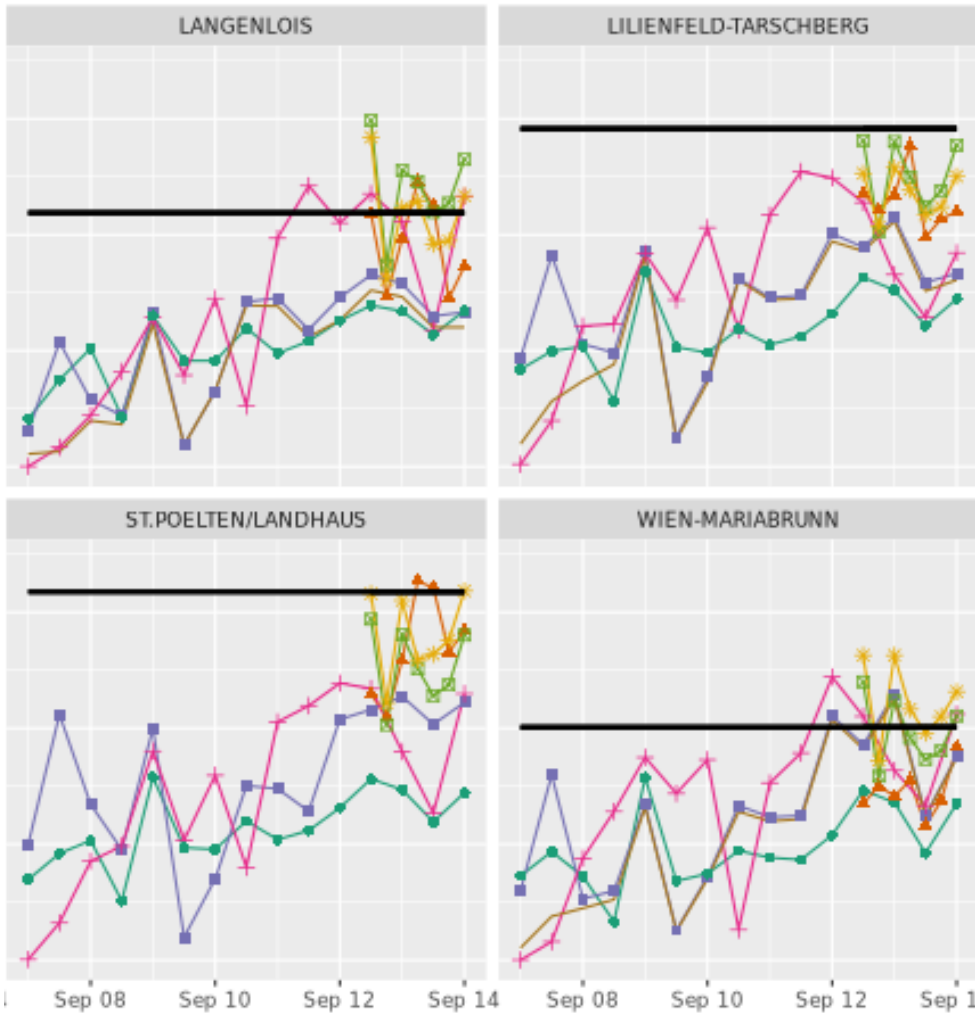
Für Lunz am See liegen auch die Ergebnisse zusätzlicher globaler Modelle und dem DWD MOS-MIX jeweils für den 0h Lauf vor. Nach anfänglich zu geringen, dann aber steigenden und damit realistischeren Werten gehen, wie bei ECMWF und AIFS die Werte zum Zeitpunkt 10. September wieder zurück und zeigen damit eine deutliche Unterschätzung. Ab dem 11. September nähern sich die Werte sukzessive den tatsächlich beobachteten Werten an, DWD MOS-MIX überschätzt an dieser Örtlichkeit um ca. 20%.

5.1.2 Analyse und Vorhersagen für den 14.9. 2024, 0-24h



Modell-Ausgangslagen: 07.09.2024 00UTC - 14.09.2024 00UTC





Modellvorhersagen für
14.9. 2024 0-24h UTC

- ◆ AIFS
- ▲ AROME-AT
- ECMWF-0.125
- ✦ GFS
- ◆ ICON
- ★ ICON-EU
- MOS

Niederschlagsmessung für
14.9. 2024 0-24h UTC

— 24h Summe

Lunz am See Prognose/Messung 14.9.2024 0 - 24h UTC RR (mm)
Modell - Ausgangslage 8.9.00UTC - 13.9. 2024 UTC

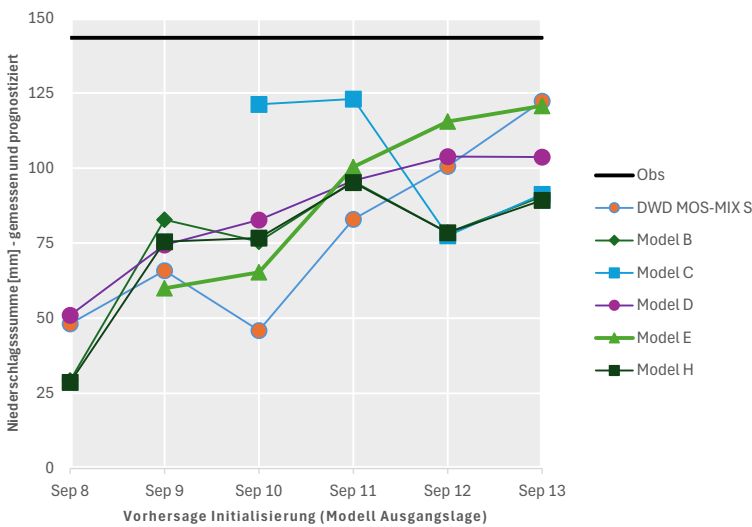


Abb. 14: INCA Analyse, 24h Niederschlagsvorhersagen durch 13 verschiedene Vorhersagemodelle für den 14.9. 2024 0-24h UTC

Am 14.9. 2024 hatte das Höhentief seine stärkste Intensität bei einer Lage knapp östlich von Österreich erreicht, dabei traten an diesem Tag die intensivsten Niederschläge der gesamten Periode auf. Die Tagessummen lagen mit 100 bis 150mm deutlich über den bisherigen Maxima einer Septembertagessumme.

Die unterschiedlichen Modelle erkannten die Lage des Höhentiefs bereits frühzeitig im Ansatz recht gut, die Intensitäten wurden allerdings in der Anfangsphase aller Modellläufe deutlich unterschätzt,

wahrscheinlich auch da sämtliche Parameter (Feuchte, Stabilität der Luftschichtung etc.) sehr stark von den bisherigen extremen Werten abwichen.

Die prognostizierten Niederschlagswerte lagen bis zur Ausgangslage vom 12.9. 2024 bei fast allen Stationen (mit Ausnahme Oberndorf/Melk, die allerdings auch etwas geringere Niederschlagswerte aufwies) deutlich unter den extremen tatsächlichen Werten des 14.9. 2024. Bei den 0h Läufen erreichten die Prognosen zumeist nur ein Drittel der tatsächlichen Werte, erst ab dem 12.9. 2024 stiegen die Prognosen von GFS auf deutlich über 100mm pro Tag.

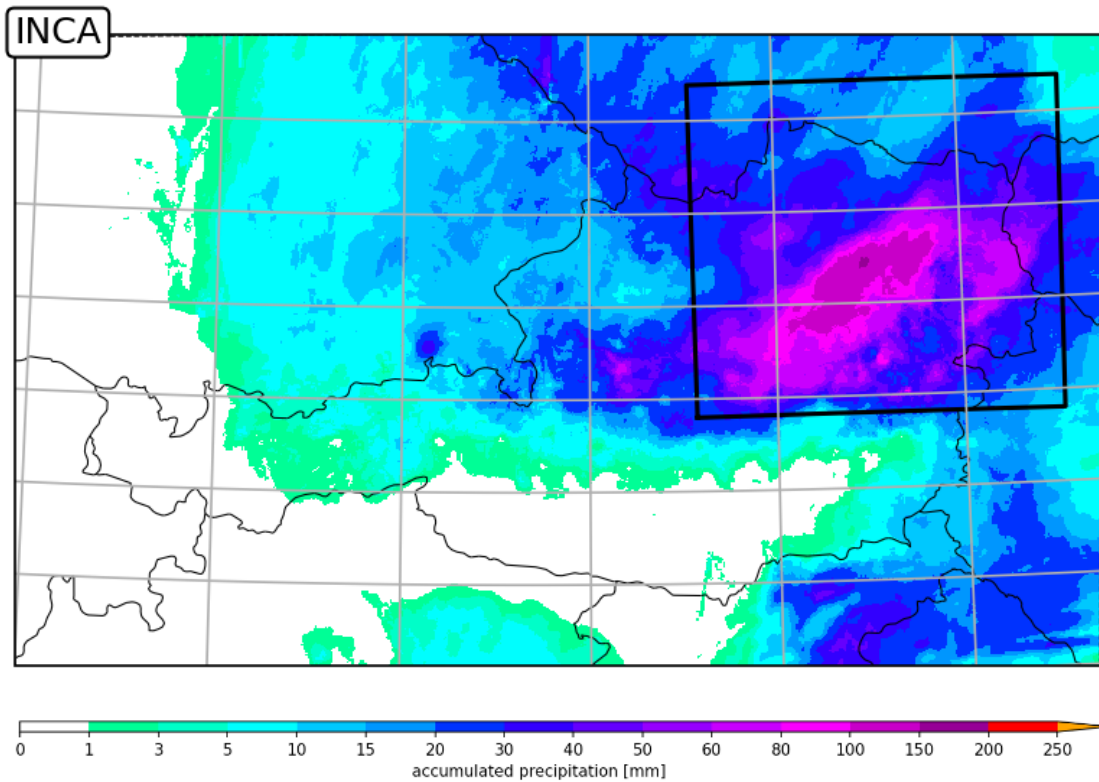
Ab dem Vorhersagezeitraum -36h näherte sich AROME-AUSTRIA rasch den tatsächlichen Werten, COSMO-EU erreichte diese Werte an der Station St. Pölten an zwei Terminen mit großer Genauigkeit, fiel aber zwischendurch wieder deutlich zurück. ECMWF erreichte nur zwischen 50 und 70% der Niederschlagsmengen in den letzten 36 Stunden, das auf ECMWF basierte Modell AIFS bleibt vor allem an der Station St. Pölten Landhaus im gesamten Vorhersagezeitraum mit nur 30 bis 50% der Niederschlagssummen deutlich unter den tatsächlichen Werten, nur an den Stationen am Rande des Niederschlagsmaximums wie Wien-Mariabrunn, Oberndorf und Langenlois wurde die Mengen von AROME-AT, ICON und ICON-EU spürbar überschätzt.

GFS zeigt wie am Vortag zwischen den einzelnen Läufen am Beginn des Vorhersagezeitraums an den meisten Vergleichsstationen sehr starke Schwankungen, näherte sich dann aber in den letzten 48 Stunden den tatsächlichen Werten an.

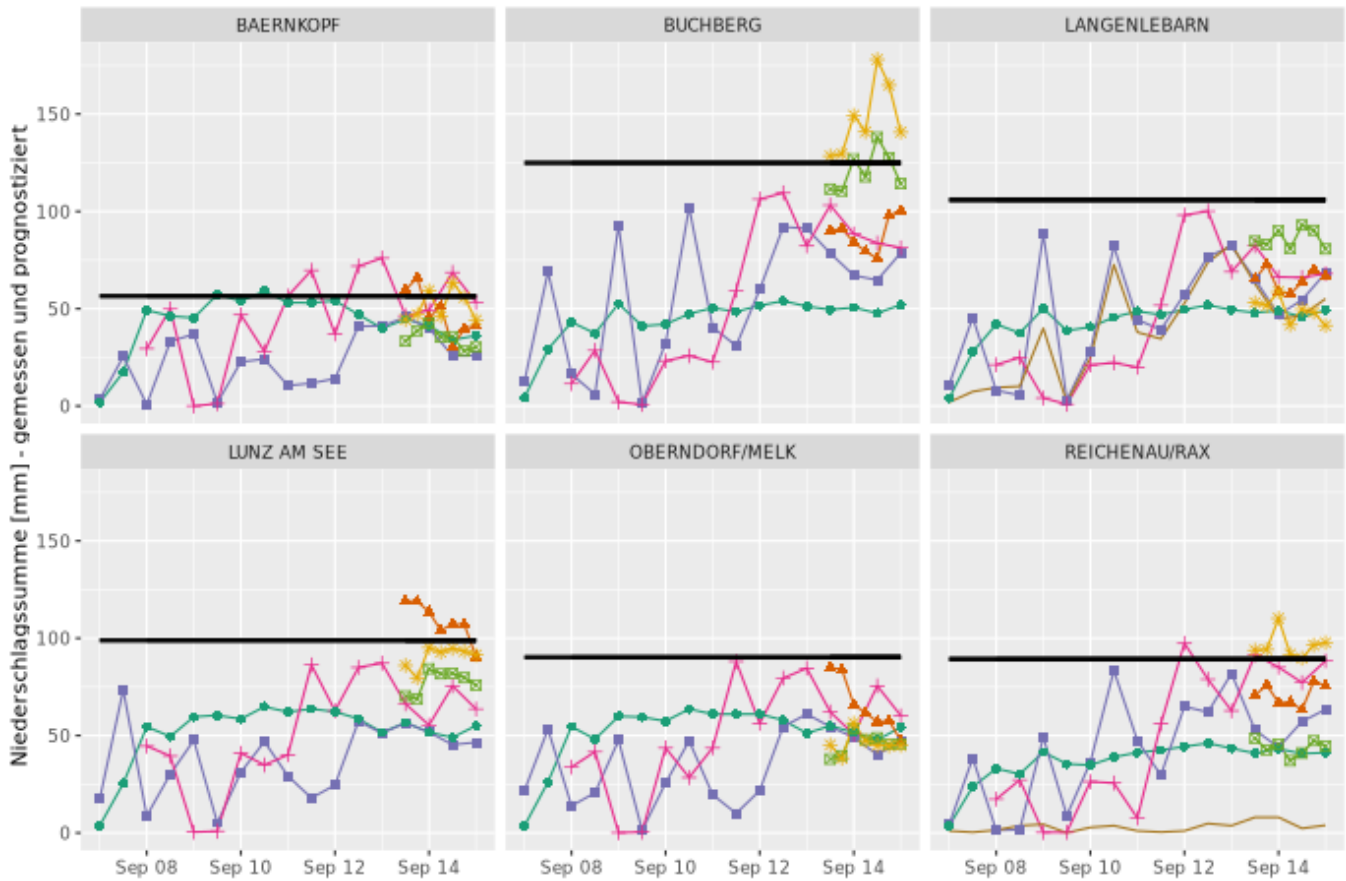
Bei den anderen globalen Modellen (Modell A bis H) steigen die prognostizierten Werte von Tag zu Tag von anfänglich ca. 30% der gemessenen Werte auf 60% bis 85% der tatsächlichen Werte an. Modell A (DWD MOS-MIX S) sinkt zwar bei Ausgangslage 10. September auf 32% der tatsächlichen Werte ab, erreicht aber sukzessive bis zum 13. September ebenfalls 85% der Messwerte in Lunz am See. Modell C liegt mit ca. 85% der Werte am 9. und 10.9. 2024 deutlich über den anderen Modellen, sinkt dann aber deutlich ab und erreicht am Vorhersageausgangszeitpunkt 12.9. 2024 oh nur 63% der Messwerte.

Die zu geringen Werte aller Modelle im Mittelfristzeitraum dürften damit zusammenhängen, dass zum Ausgangszeitpunkt die relevanten Luftmassen in höheren Schichten über dem Nordmeer und in bodennahen Schichten teilweise über dem Mittelmeer lagen und in beiden Fällen die Datenlage gegenüber dem kontinentalen Europa schlechter war und zudem durch außergewöhnliche Bedingungen gekennzeichnet war.

5.1.3 Analyse und Vorhersagen für den 15.9. 2024 0-24h



Modell-Ausgangslagen: 07.09.2024 00UTC - 15.09.2024 00UTC



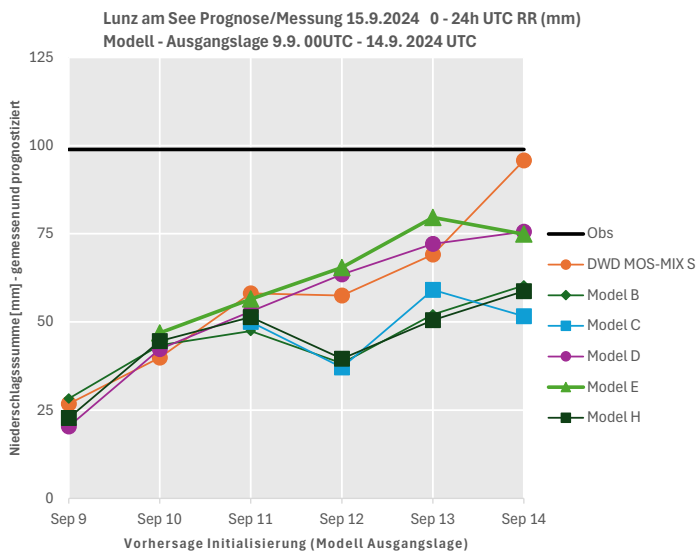
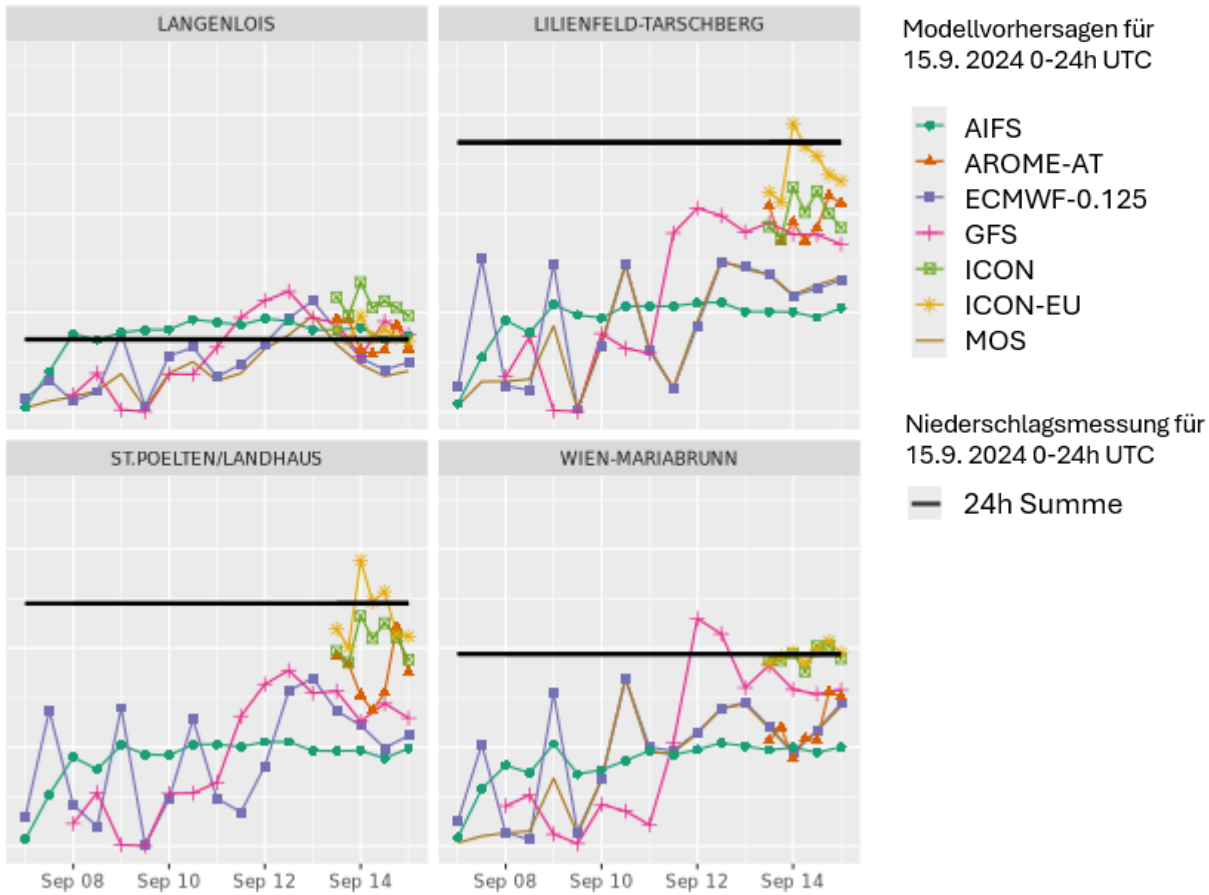


Abb. 15: 15.9. 2024 0-24h INCA Analyse, Niederschlagsvorhersagen für 13 verschiedene Vorhersagemodelle

Am 15.9. 2024 verlagerte sich ein neues Tiefdruckzentrum von Osteuropa Richtung Alpenostrand und brachte mit mehr als 100mm an 5 der 8 betrachteten Stationen und fast 150 mm in Lilienfeld-Tarschberg ebenfalls deutlich überdurchschnittliche Regenmengen. Das eigentliche Maximum der Niederschläge lag zu diesem Zeitpunkt aber bereits nördlich von Niederösterreich.

Die Niederschlagsmengen wurden von den globalen Modellen an etwa der Hälfte der Stationen deutlich für den gesamten Vorhersagezeitraum unterschätzt. Ausnahmen waren die niederschlagsreiche Station Lutz am See (99mm) für das AROME-AUSTRIA und die an diesem Tag am Rande des Niederschlagsmaximums gelegenen nicht so niederschlagsergebigen Stationen Bärnkopf

(56mm) und Langenlois (37mm), deren Niederschlagsmengen von fast allen Modellen in den letzten 36 Stunden überschätzt wurden.

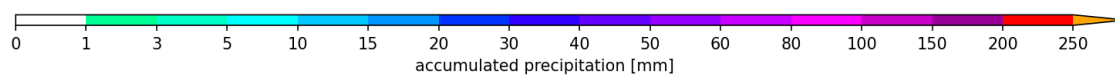
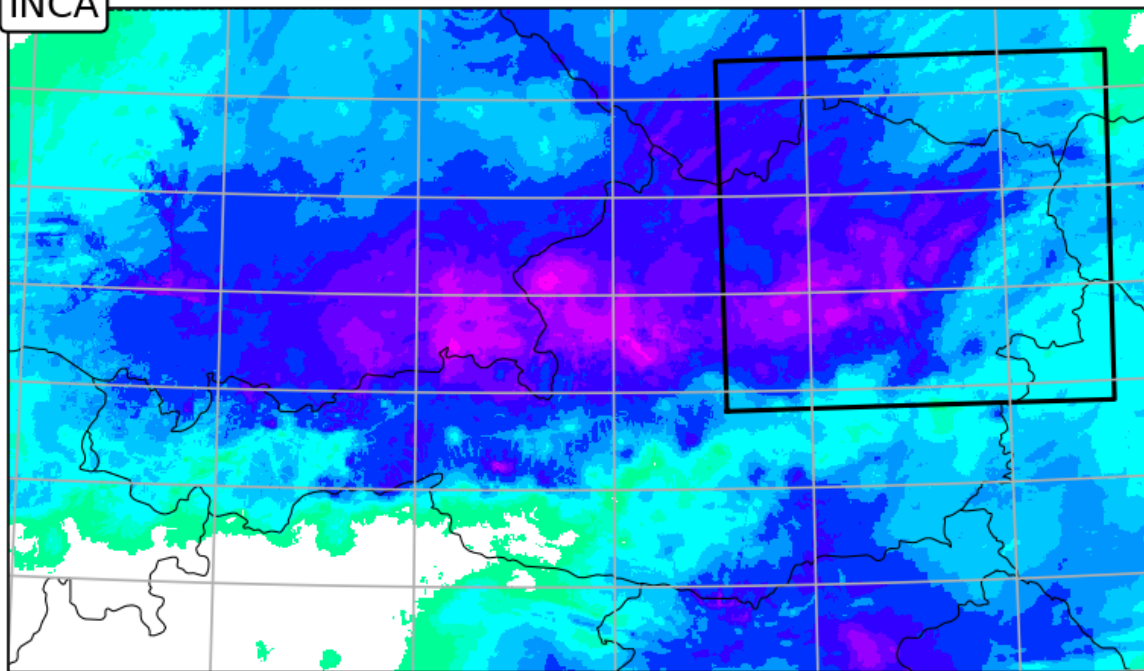
Das GFS Modell lag zunächst teilweise deutlich unter den Werten der beiden ECMWF basierten Modellwerte, schnitt dabei ab dem Zeitpunkt -36h z.B. an den beiden niederschlagsreichen Stationen Buchberg (125mm) und Lilienfeld-Tarschberg (136mm) deutlich besser ab als ECMWF und AIFS.

Ab den Läufen (-36h) der Regionalmodelle näherten sich die Werte den tatsächlichen Werten rasch an, ICON-EU zeigte dabei in St. Pölten mit dem 0h Lauf des 14.9. 2024 eine zeitweise Überschätzung, AROME-AUSTRIA zeigt aber in Lunz am See und an den anderen Vergleichsstationen mit Ausnahme der nicht so niederschlagsreichen Station Langenlois (37mm) eine spürbare Unterschätzung.

Von den anderen globalen Modellen liegen jeweils nur die 0h Läufe vor, die sich kontinuierlich von ca. 25% der Niederschlagsmengen am 9.9. 2024 den tatsächlichen Mengen annähern und im Fall DWD-MOS MIX S 100% an der Station Lunz am See annähern. Die anderen Modelle bleiben an dieser Station bei 50% (Model C, ECMWF 9km, Model H) bis 75% (ICON-EU, Model E, Model D) der tatsächlichen Niederschlagswerte.

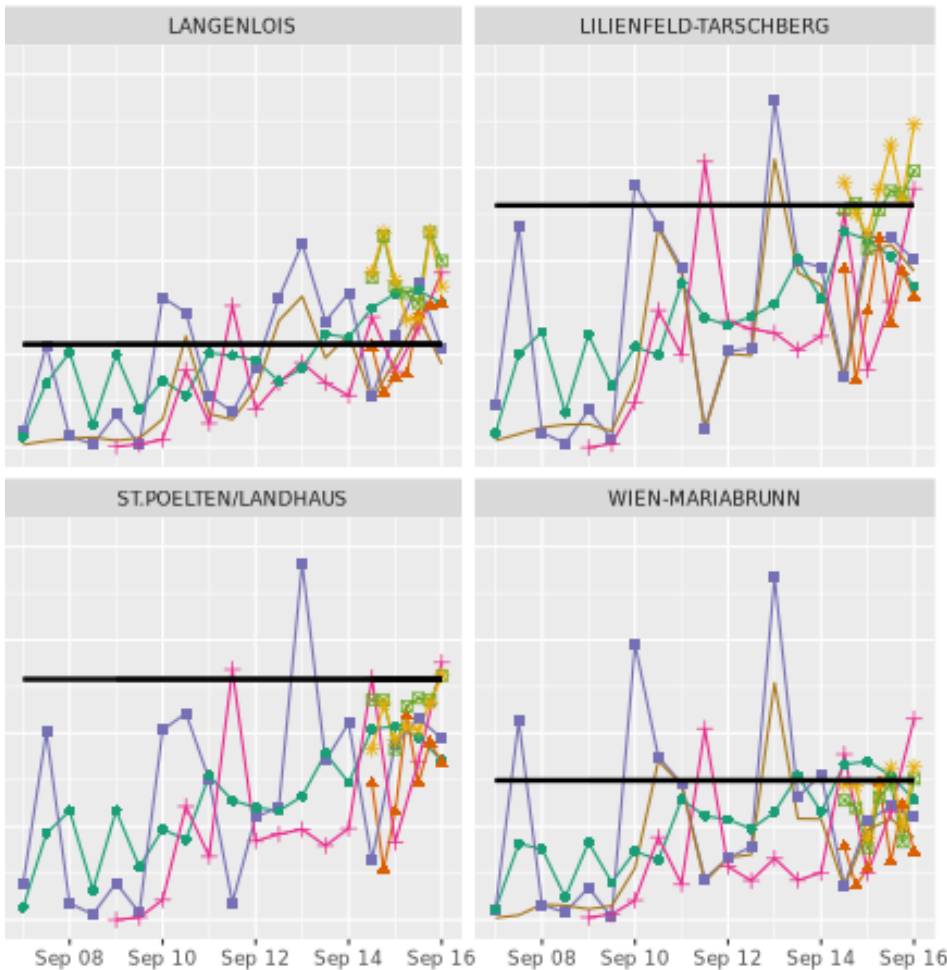
5.1.4 Analyse und Vorhersagen für den 16.9. 2024 0-24h

INCA



Modell-Ausgangslagen: 07.09.2024 00UTC - 16.09.2024 00UTC





Modellvorhersagen für
16.9. 2024 0-24h UTC

- AIFS
- ▲— AROME-AT
- ECMWF-0.125
- +— GFS
- ICON
- ★— ICON-EU
- MOS

Niederschlagsmessung für
14.9. 2024 0-24h UTC

— 24h Summe

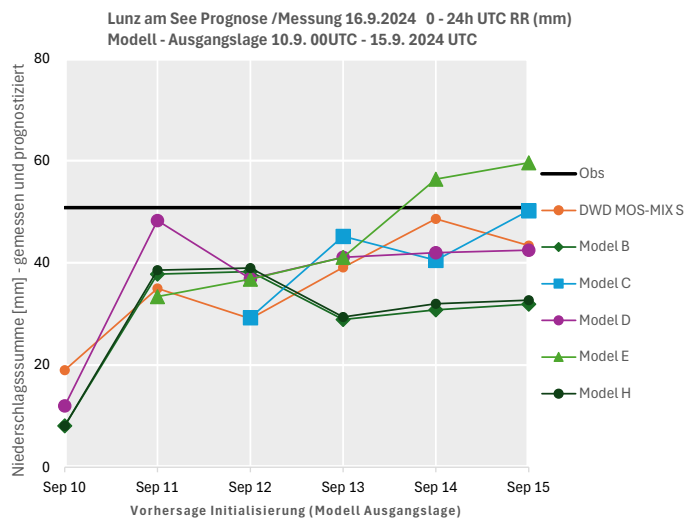


Abb. 16: 16.9. 2024 0-24h INCA Analyse, Niederschlagsvorhersagen für 13 verschiedene Vorhersagemodelle

Am 16.9. 2024 lag die Okklusion des Höhentiefs nördlich von Österreich und die Tagesniederschläge zwischen 50 und 60mm an den 10 beobachteten Stationen. Innerhalb Österreichs und in Deutschland hatte sich der Niederschlagsschwerpunkt an den Alpennordrand (Bayern, Salzburg, Oberösterreich) verlagert.

Die Niederschlagswerte waren damit zwar weiter über den mittleren maximalen Tagesniederschlägen für diese Jahreszeit, lagen aber bereits unter den Werten der beiden Vortage. Sie wurden zudem von fast allen Modellen bereits zu einem deutlich früheren Zeitpunkt in ihrer richtigen Größenordnung erfasst.

Der Abstand zu den tatsächlichen Werten an diesem Tag verringerte sich etwas bei den meisten Modellen, die -144 bis -48h Vorhersagen der globalen Modelle lagen aber mit ca. nur einem Drittel der Niederschläge unter den tatsächlichen Niederschlägen. Model D lieferte für Lunz am See bereits am 11.9. 2024 eine fast perfekte Vorhersage für den 16.9. 2024, fiel dann aber auf ca. 50% der tatsächlichen Niederschlagsmengen zurück, Model C näherte sich dagegen an der Station Lunz am See systematisch den tatsächlichen Werten an. Model E überschätzte an diesem Ort die tatsächlichen Niederschlagsmengen je nach Ausgangszeitpunkt um ca. 5 bis 10%.

Mit den höher aufgelösten Regionalmodellen näherten sich die vorhergesagten ab -36h den tatsächlichen Niederschlägen allmählich an, wobei am 16.9. das ICON-EU-Modell die Niederschläge an 3 der 10 Stationen (Lunz am See, Reichenau/Rax und Lilienfeld-Tarschberg, alle von ihnen mit vergleichsweise unterdurchschnittlich räumlichen Niederschlägen) deutlich überschätzte und an der Station Bärnkopf eine fast 100% korrekte Prognose lieferte.

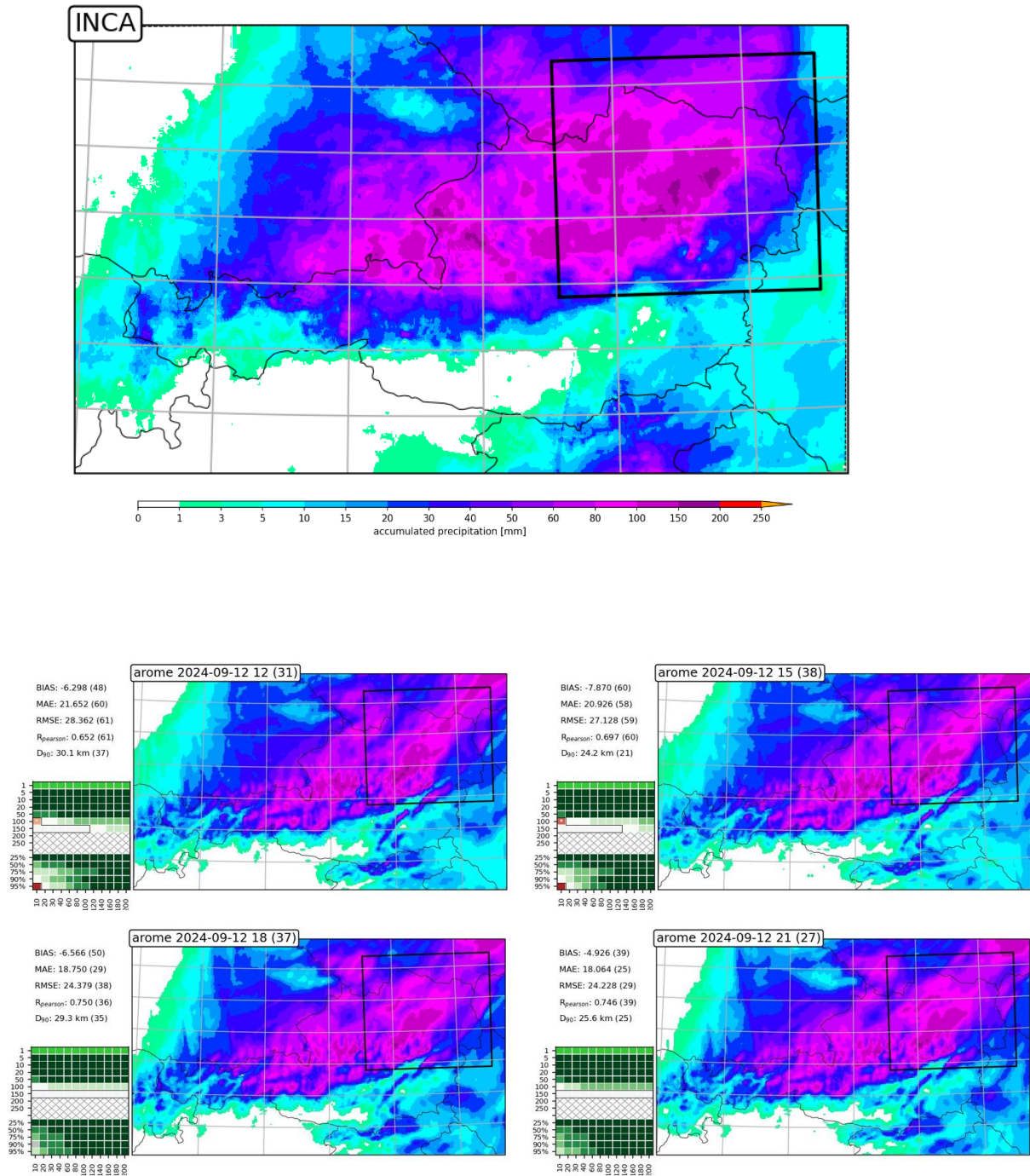
Die globalen Modelle und die anderen regionalen Modelle blieben auch in dem kurzfristigen Zeitraum vor allem an den Stationen mit mehr als 50mm Tagesniederschlag zumeist um 30% bis 20% unter den tatsächlichen Niederschlägen dieses Tages.

5.2 Ergebnisse FSS

Wie in 4.2 erklärt, erlaubt der FSS eine räumliche Beurteilung verschiedener Modelle durch die Betrachtung von Wertungsfenster mit einem geeigneten Koeffizienten aus Fenstergröße und definierten Niederschlagsgrenzen. Für die Tage 14. bis 16. 9. 2024 wurden für die vorhandenen Modellläufe die FSS Scores, sowie Bias, MAE, RMSE, R-Pearson und D90 berechnet.

5.2.1 Ergebnisse FSS 14.9. 2024

14.9. 2024 AROME 0-24hUTC



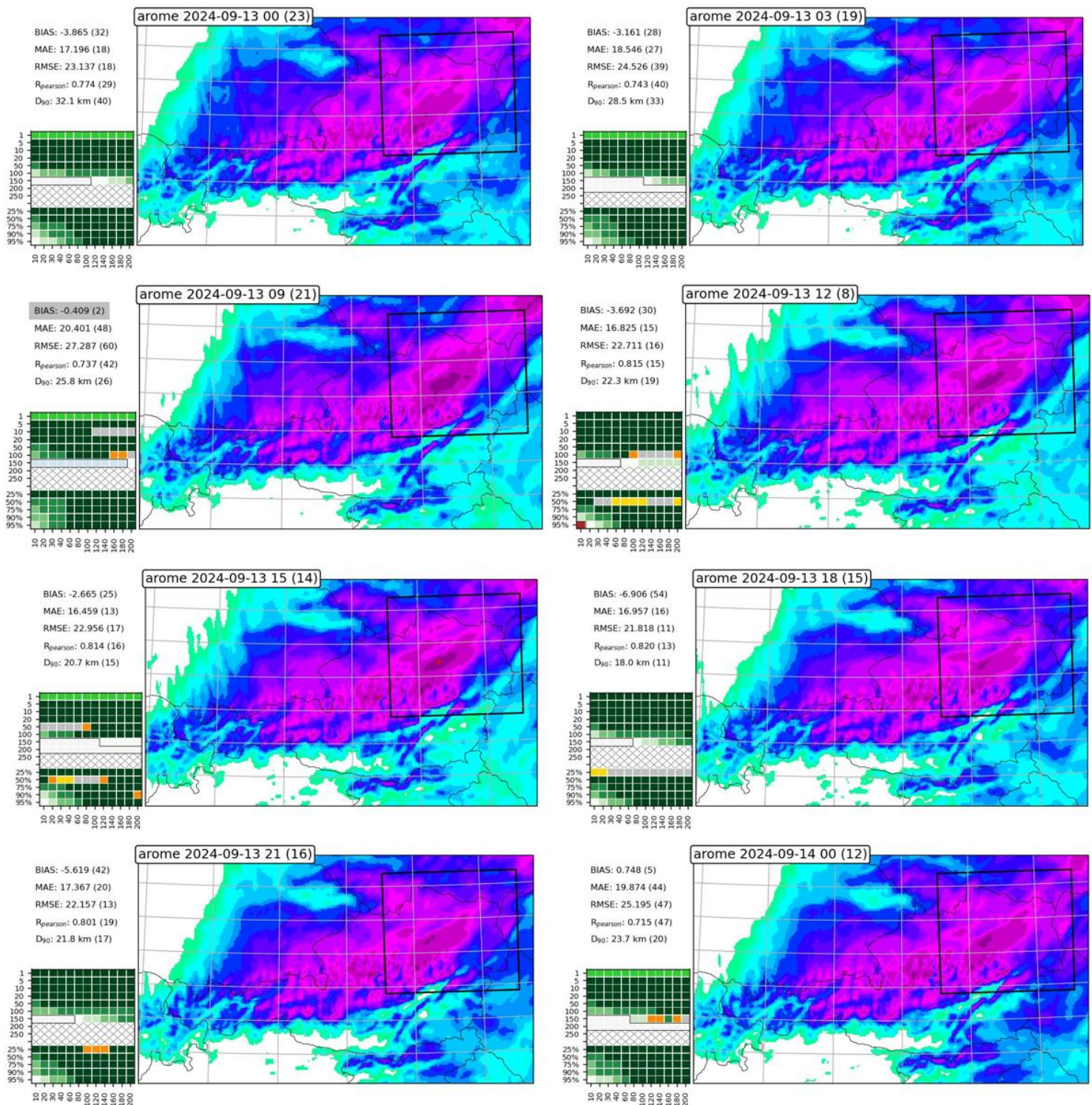


Abb. 17 INCA Analyse und FSS Grafiken für den 14.9. 2024, AROME Läufe

Die beiden sehr kleinräumigen Maxima des Niederschlags im Bergland Niederösterreichs am 14.9. 2024 werden durch das AROME Model in allen Läufen etwas geglättet und als ein Maximum dargestellt, liegen aber in der Örtlichkeit ab dem Lauf 12.9.2024 21h ungefähr an der richtigen Stelle. Dies kommt im FSS recht gut zum Ausdruck, die 90% und 95% Perzentile zeigen aus diesem Grund nur hellgrün in diesen Bereichen.

14.9. 2024 0-24hUTC C-LAEF.Control und C-LAEF1 Control

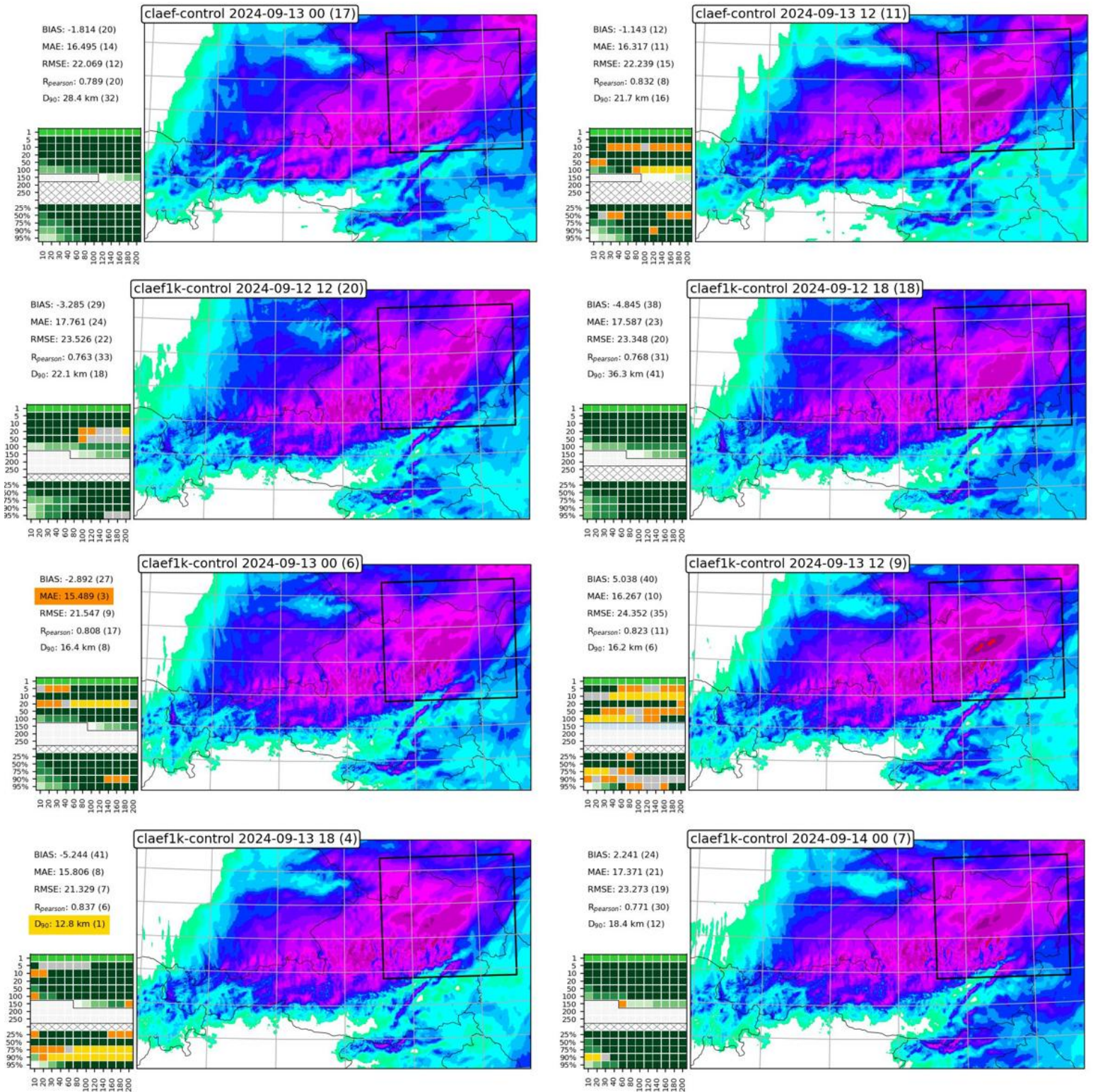


Abb. 18: FSS Grafiken für den 14.9. 2024, AROME Control Läufe

Die beiden Control Läufe der auf AROME (2,5 und 1km Auflösung) basierenden Ensemble Modells zeigen auf Grund leicht unterschiedlicher Konfigurationen etwas bessere Ergebnisse als AROME selbst und erreichen optimale Werte kurz vor dem Ende des Vorhersagezeitraums. Die Lage der beiden sehr kleinräumigen Maxima kommt im 12h Lauf des 13.9. 2024 bereits gur zum Ausdruck.

14.9. 2024 0-24hUTC ICON D2

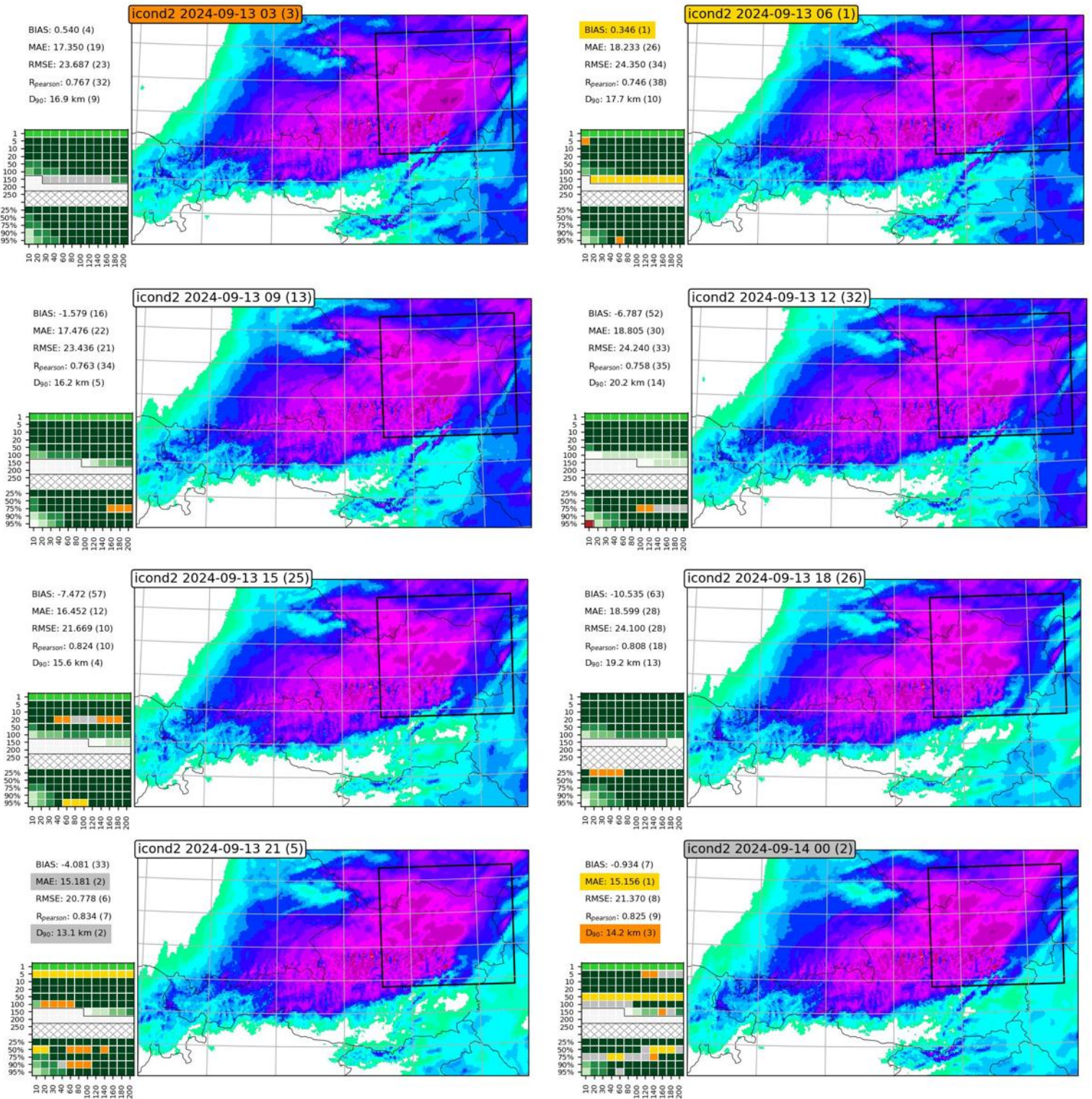


Abb. 19: FSS Grafiken für den 14.9. 2024, ICON D2 Läufe

ICON-D2 schneidet ab dem m Zeitpunkt 13.9. 2024 6h (und im Lauf davor) sehr gut ab, die Lage der beiden kleinräumigen Maxima kommt allerdings nur ansatzweise zum Ausdruck. Der Niederschlagsgrenzwert 150mm wird ab diesem Zeitpunkt in fast allen Fenstergrößen erreicht. Die nachfolgenden Läufe verlieren geringfügig an Qualität und sind bei der Zahl der Punkte von kleineren Fenstergrößen in der Kategorie 150mm nicht so präzise.

14.9. 2024 0-24hUTC INCA OPT

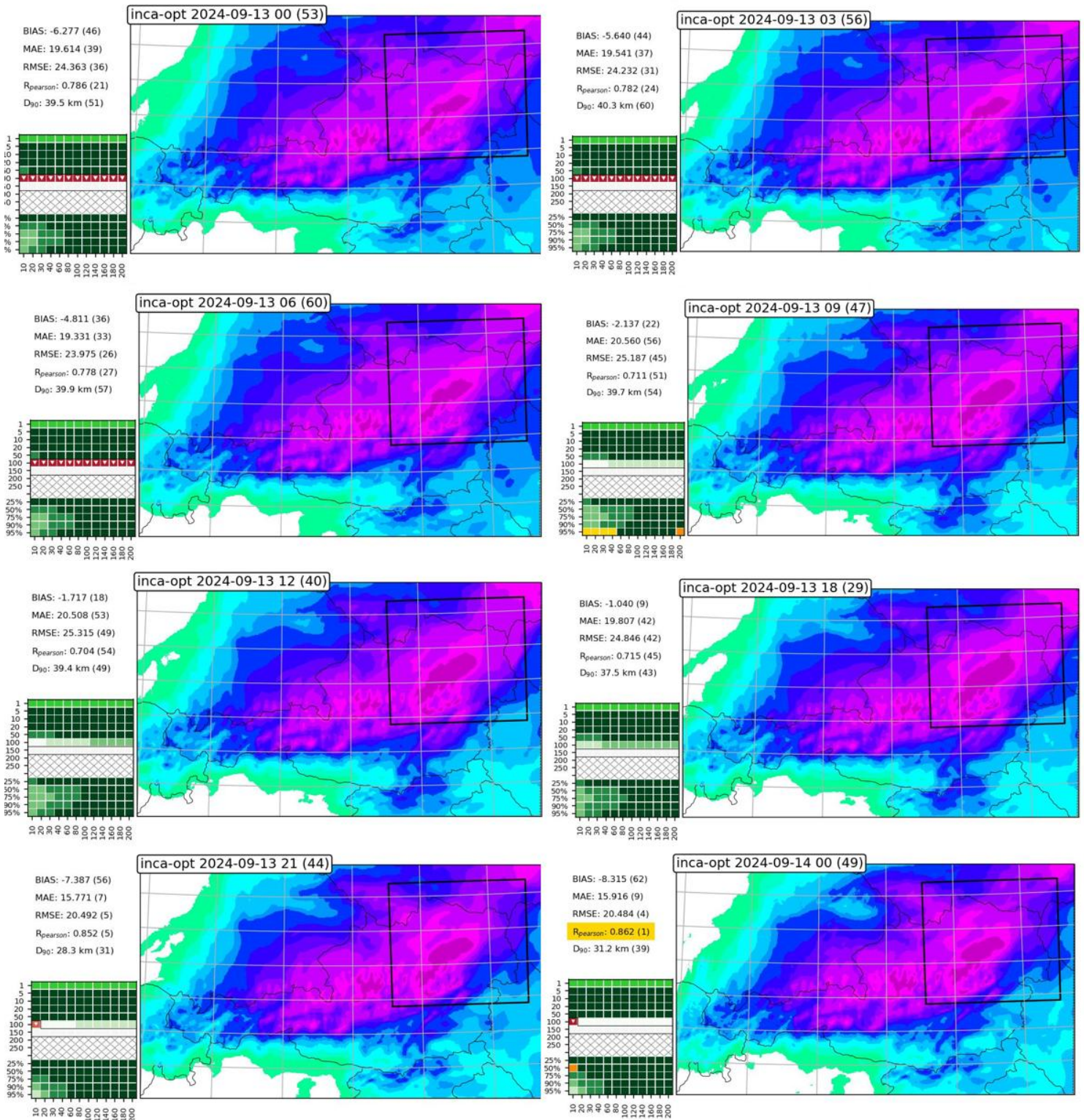


Abb. 20: FSS Grafiken für den 14.9. 2024, INCA OPT Läufe

INCA-OPT schneidet im Vergleich zu den anderen regionalen Modellen an diesem Tag weniger gut ab und liegt naturgemäß zu Beginn der Läufe nahe bei den ECMWF Scores. In den frühen Läufen bleibt es bei einer Unterschätzung der 100mm Kategorie und damit MAE Werten um 19 bis 20. Die Lage der beiden Maxima durch INCA OPT zu einem verbunden) ist allerdings gut erfasst.

14.9. 2024 0-24hUTC ECMWF

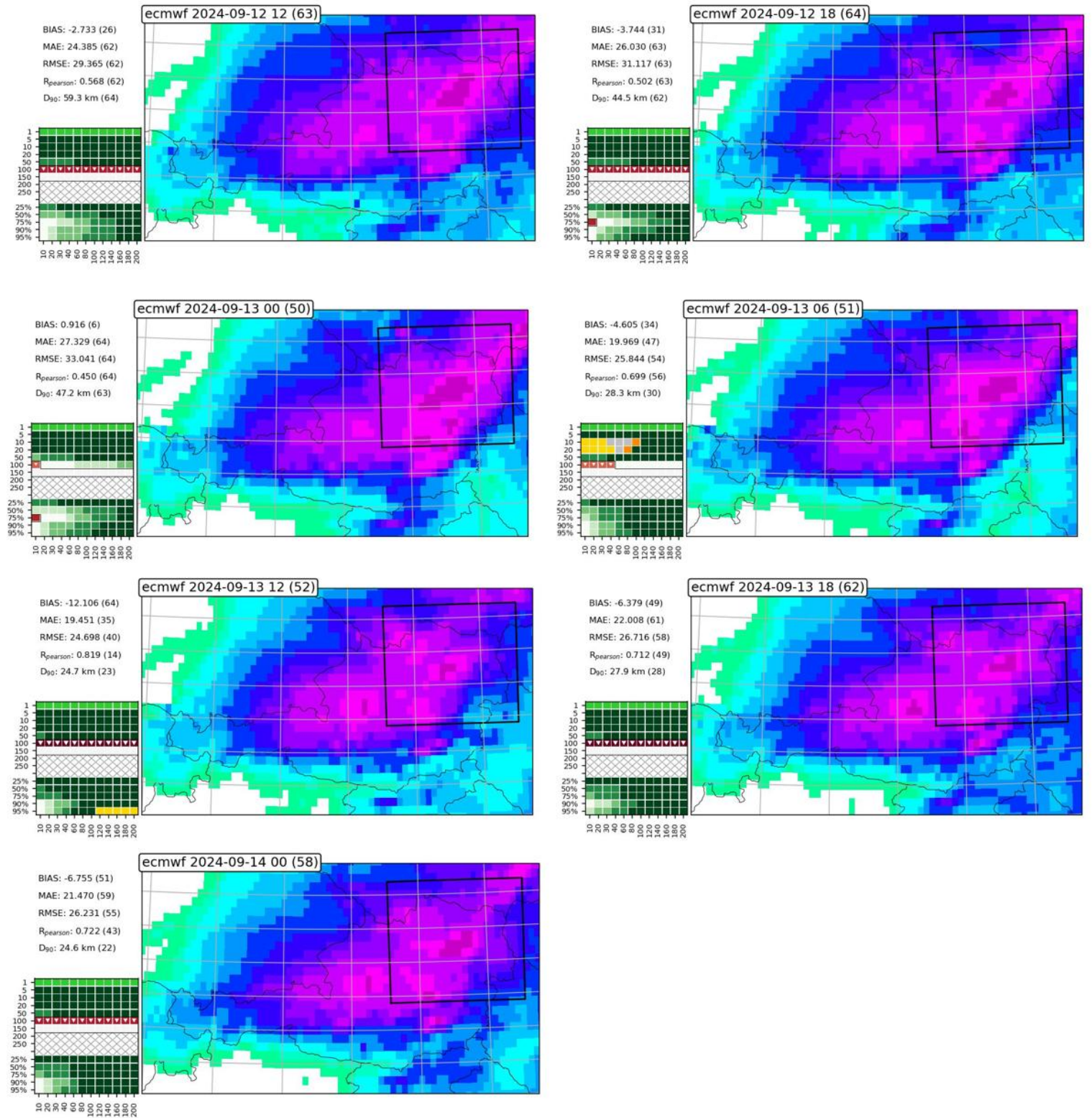


Abb. 21: FSS Grafiken für den 14.9. 2024, ECMWF Läufe

Die Detailfelder von ECMWF zeigen die Unterschätzung des Niederschlags in den höheren Kategorien m gesamten Vorhersagezeitraum (rote Felder in der Matrix) auch für den Fall einer als sehr groß angenommenen Fenstergröße.

Gewichteter FSS Score

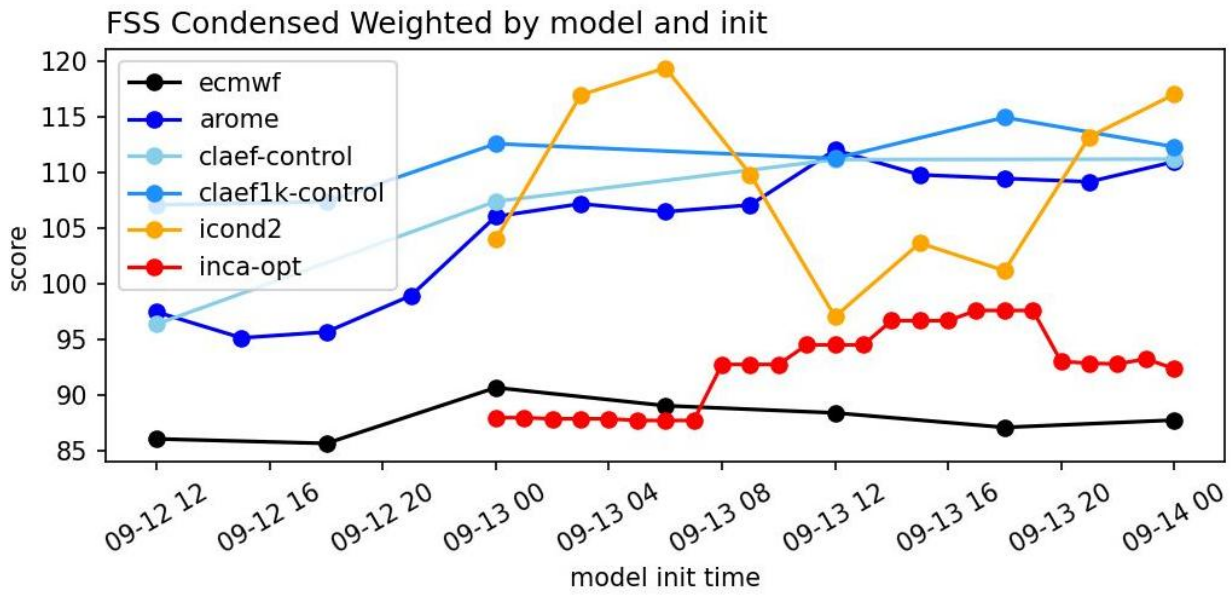
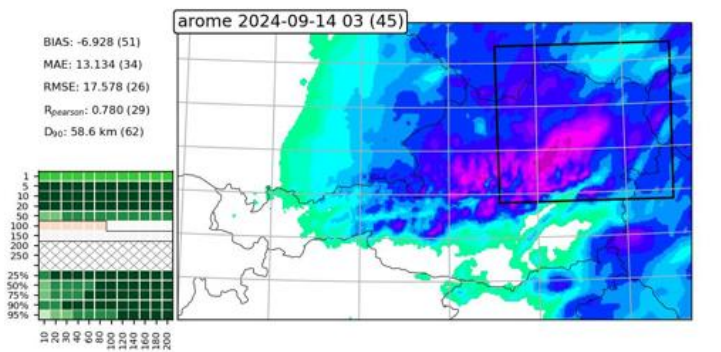
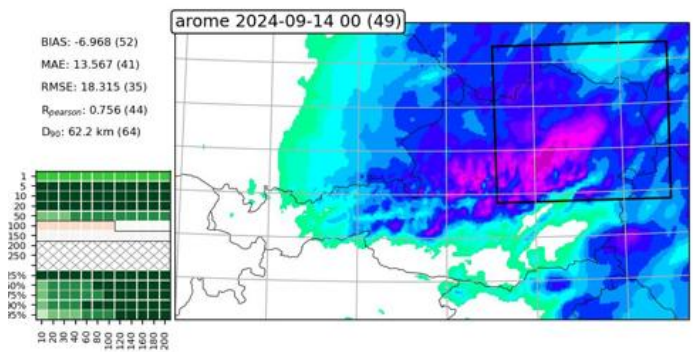
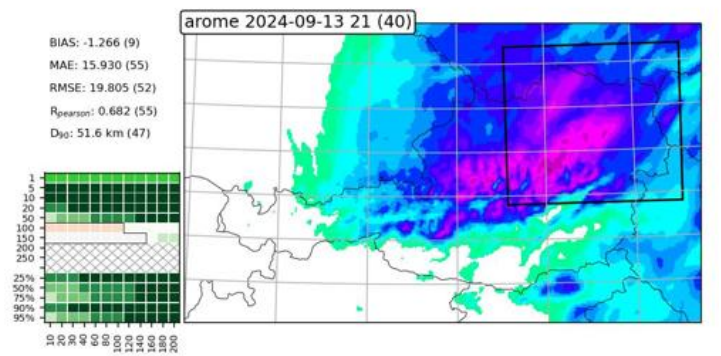
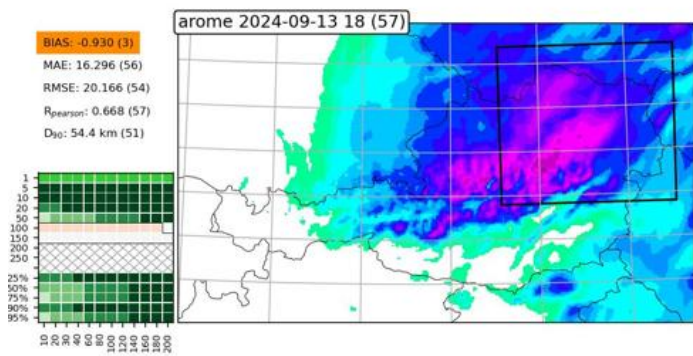
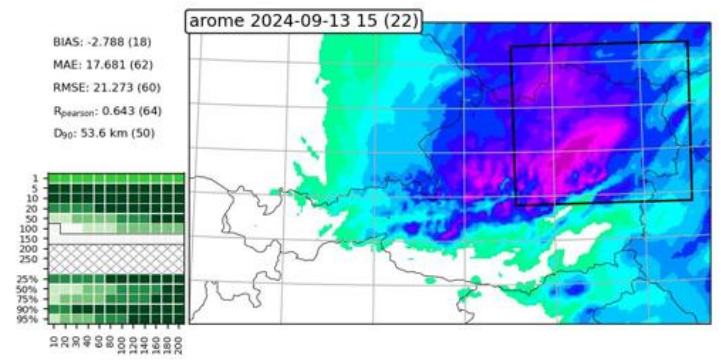
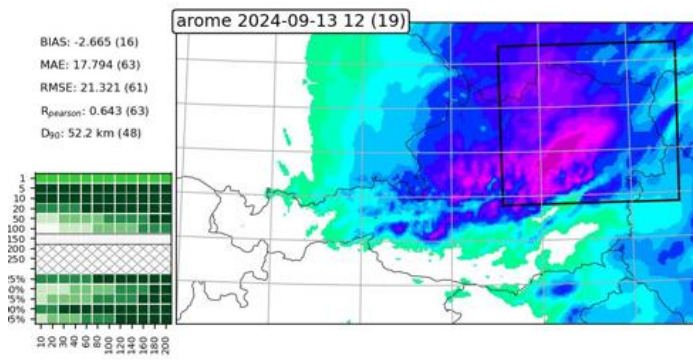
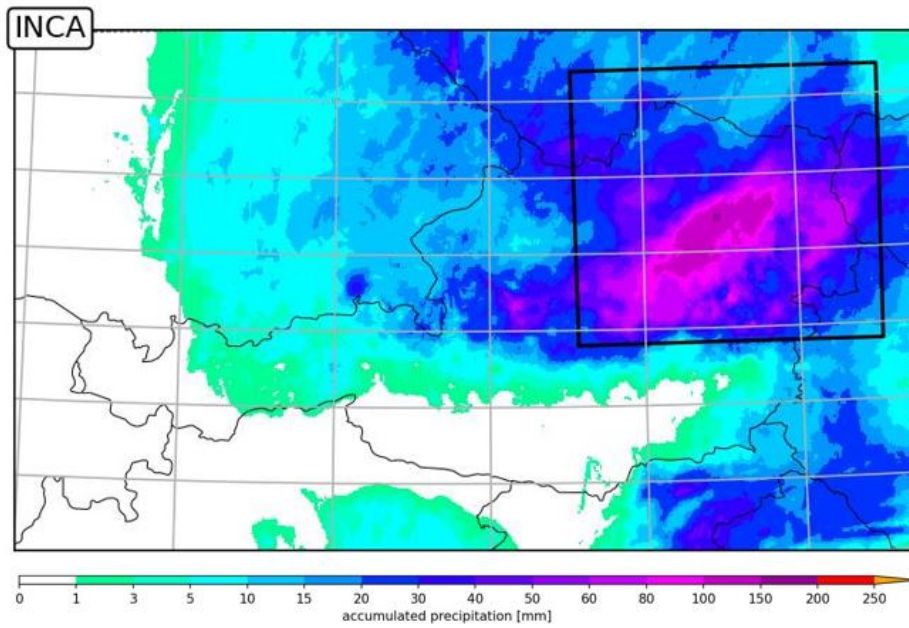


Abb. 22: Gewichteter FSS Score für den 14.9. 2024, Vergleich aller Modelle

Der gewichtete FSS Score summiert die einzelnen Werte der Matrix mit einer stärkeren Wichtung kleinerer Fenster und höherer Niederschlagswerte. Die gleichmäßige Performance erzielt der Control Lauf des CLAEF mit zeitweise höherem Score für ICON D2 im Bereich -24h bis -20h. ECMWF ist zwar schon früher verfügbar, liegt aber konstant deutlich etwas darunter. Dies zeigt, dass regionale Modelle im Kurzfristbereich eine deutliche Verbesserung bringen können.

5.2.2 Ergebnisse FSS 15.9. 2024

15.9. 2024 0-24hUTC AROME



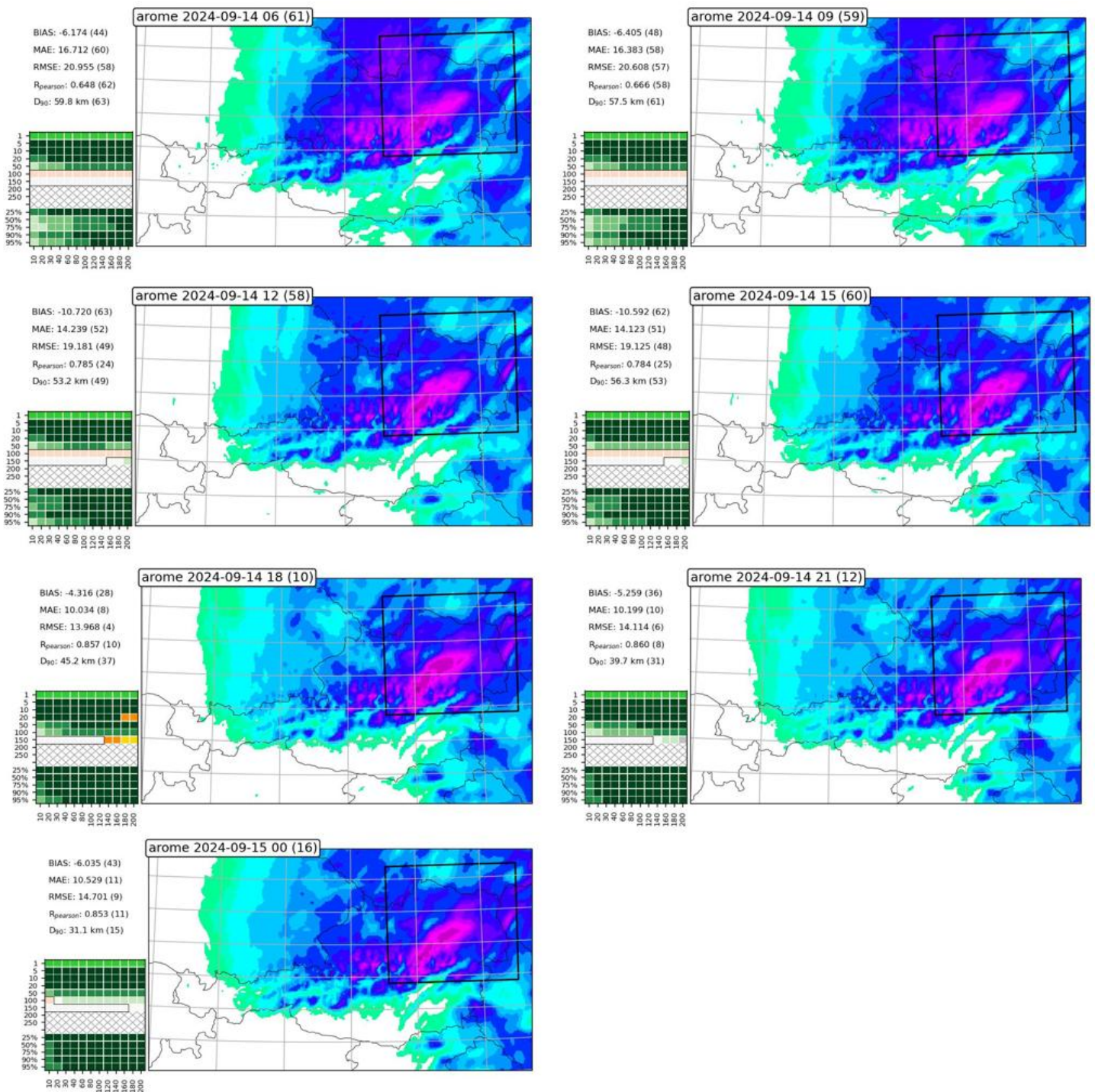
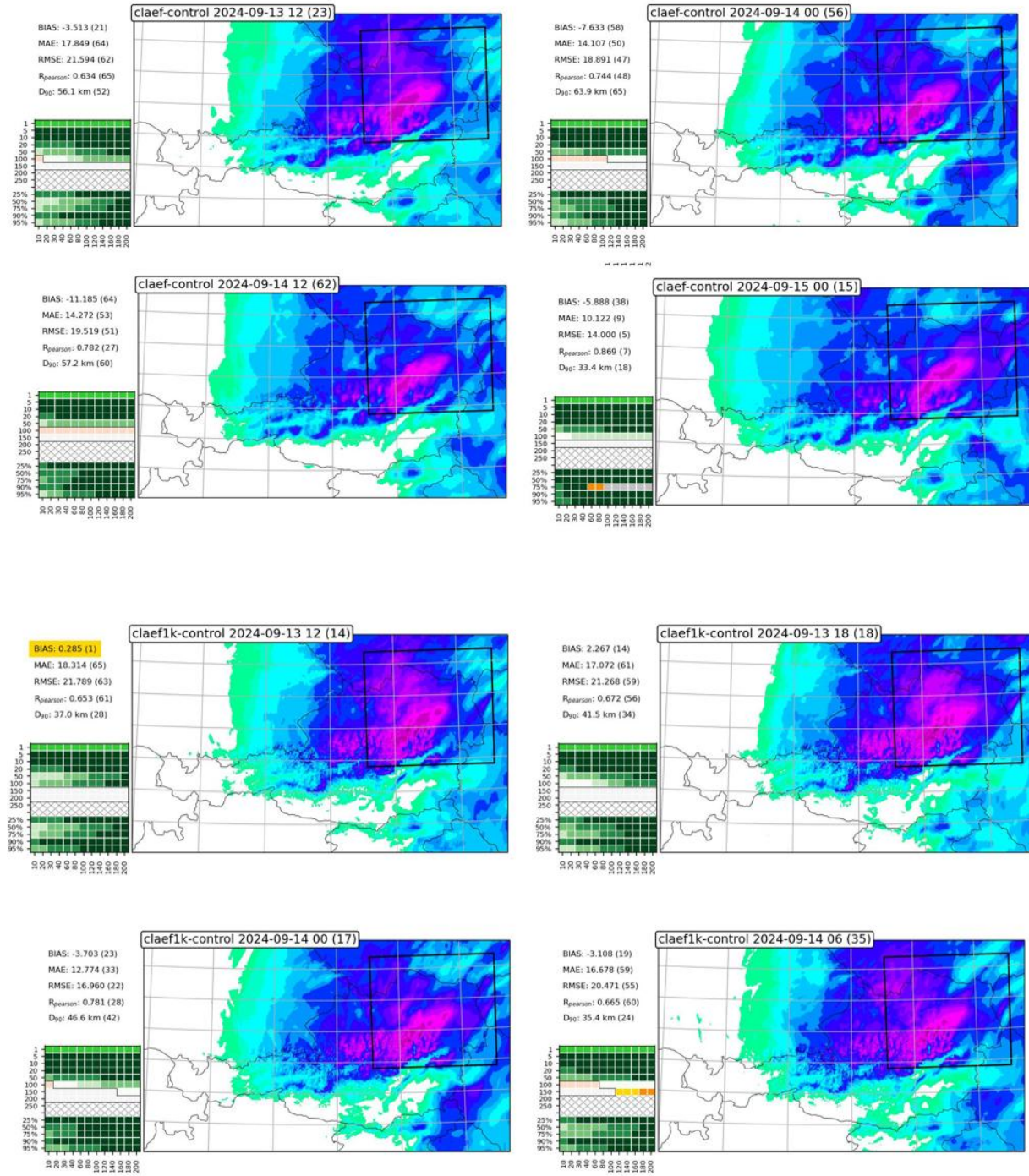


Abb. 23: INCA Analyse und FSS Grafiken für den 15.9. 2024, AROME Läufe

AROME-AUSTRIA zeigt für diesen Tag für fast alle Termine (mit Ausnahme Startpunkt 14.9. 2024 18h) eine stellenweise leichte Unterschätzung der Punkte mit Niederschlägen in allen Fenstergrößen. Das Maximum des Niederschlags ist zwar lagemäßig zu Beginn des Laufs sichtbar, ein zweites, im Norden des Vorhersagegebietes liegendes Maximum realisiert sich jedoch nicht.

15.9. 2024 0-24hUTC C-LAEF Control und C-LAEF1 Control



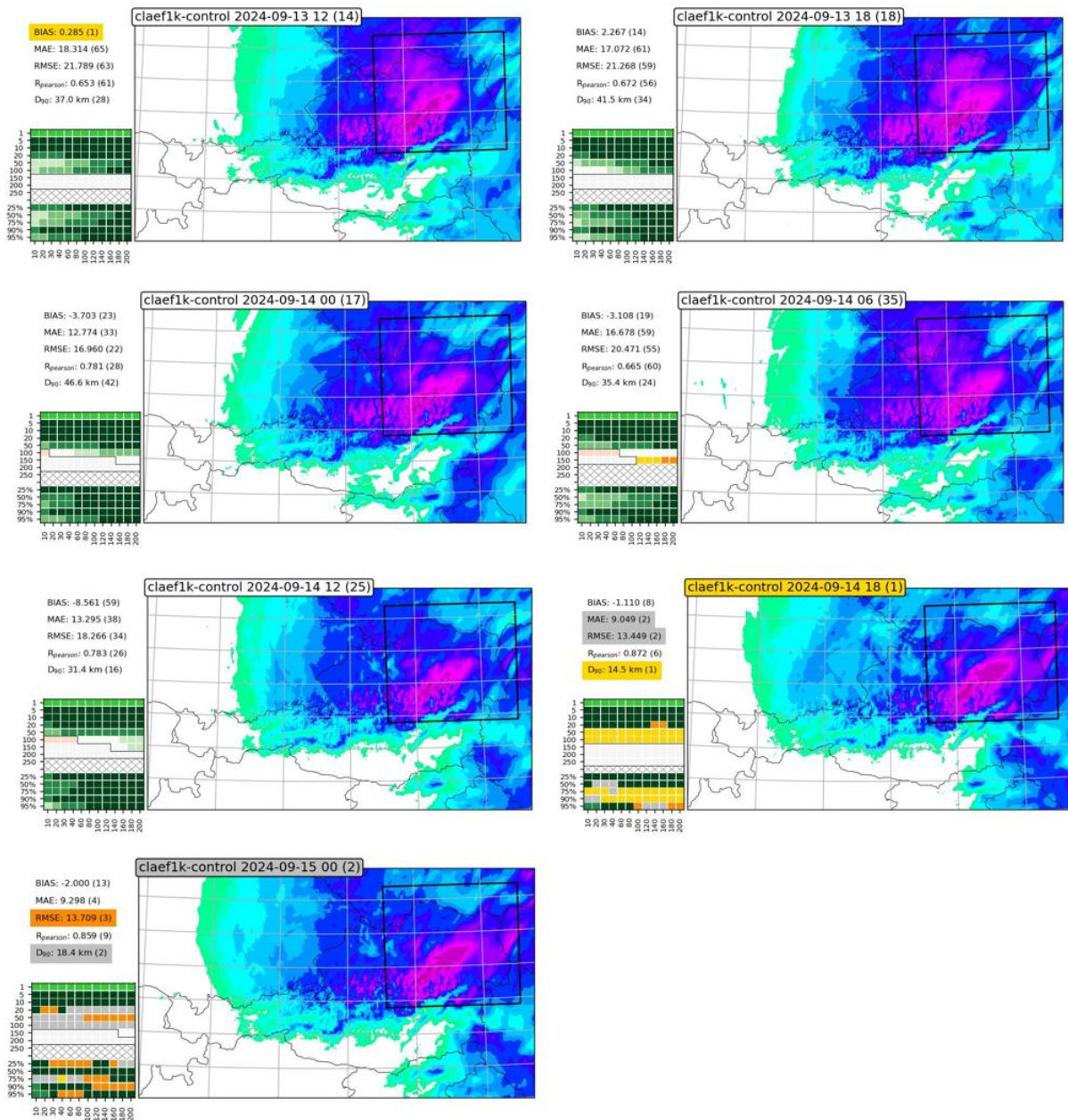


Abb. 24: FSS Grafiken für den 15.9. 2024, C-LAEF CONTROL UND C-LAEF1 CONTROL Läufe

Der Control Lauf der Ensembles (2,5 km Auflösung, erste vier Abbildungen) zeigt eine leichte Unterschätzung der Zahl der Fälle mit korrekten Niederschlägen. eher schlecht ab. Zu Beginn ist auch ein sich nicht realisierendes Maximum im Norden des Betrachtungsraums sichtbar.

Dagegen verbessert sich der hochaufgelöste Control Lauf (1km) während des Vorhersagezeitraums und erreicht Bestwerte in fast allen Kategorien bei den beiden letzten Läufen.

15.9.2024 0-24hUTC ICON-D2

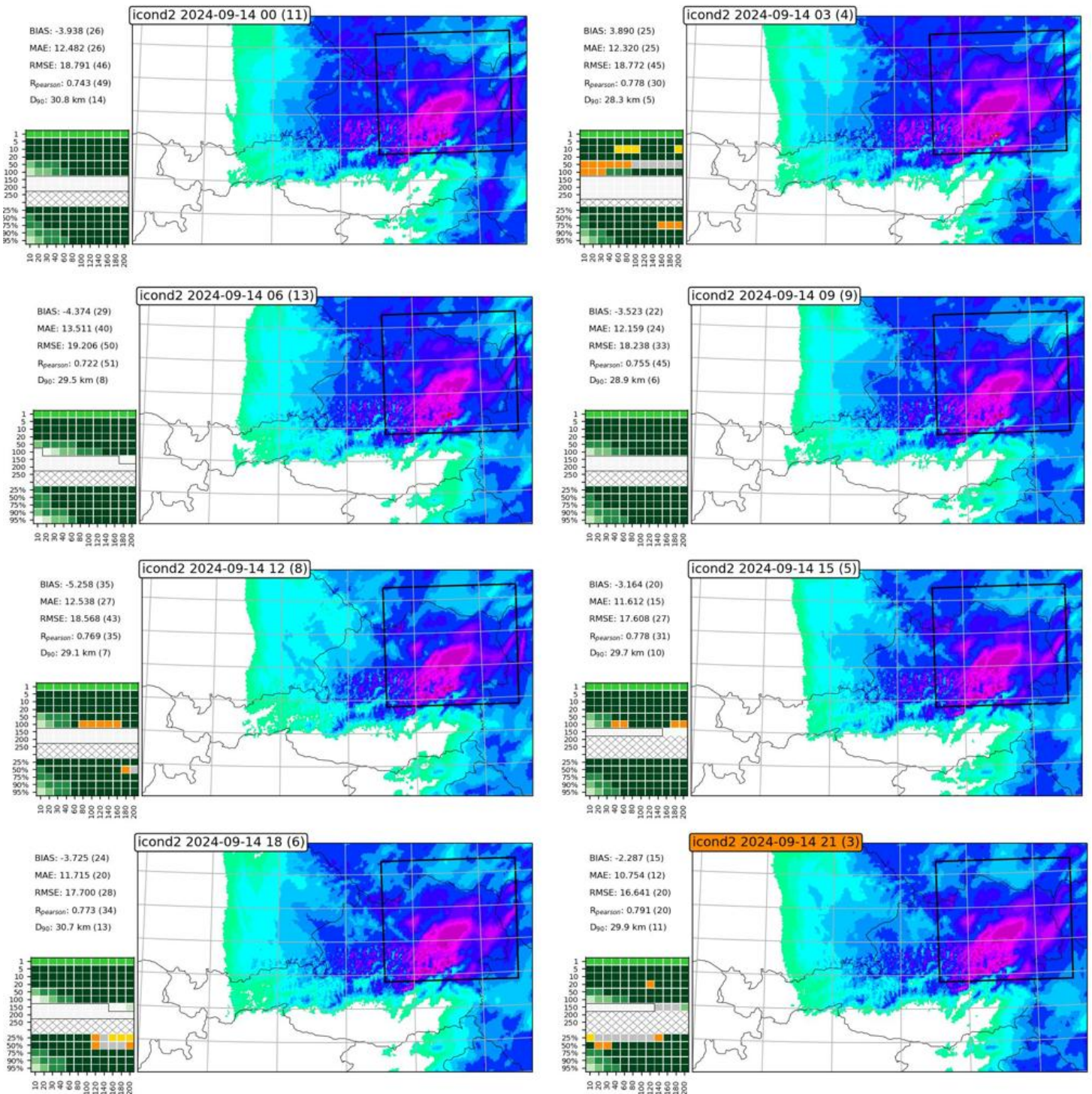


Abb. 25: FSS Grafiken für den 15.9. 2024, ICON-D2 Läufe

In der Summe schneidet der ICON-D2 Lauf recht gut ab, da die Lage des Maximums bereits zu Beginn des Laufs korrekt erkannt wurde und auch die Zahl der Fenster mit den hohen Niederschlagswerten weitgehend korrekt war. Ein zweites, nicht eingetretenes Niederschlagsmaximum im Norden des Vorhersagegebiets (siehe AROME) fehlt bei ICON-D2.

15.9.2024 0-24hUTC INCA-OPT

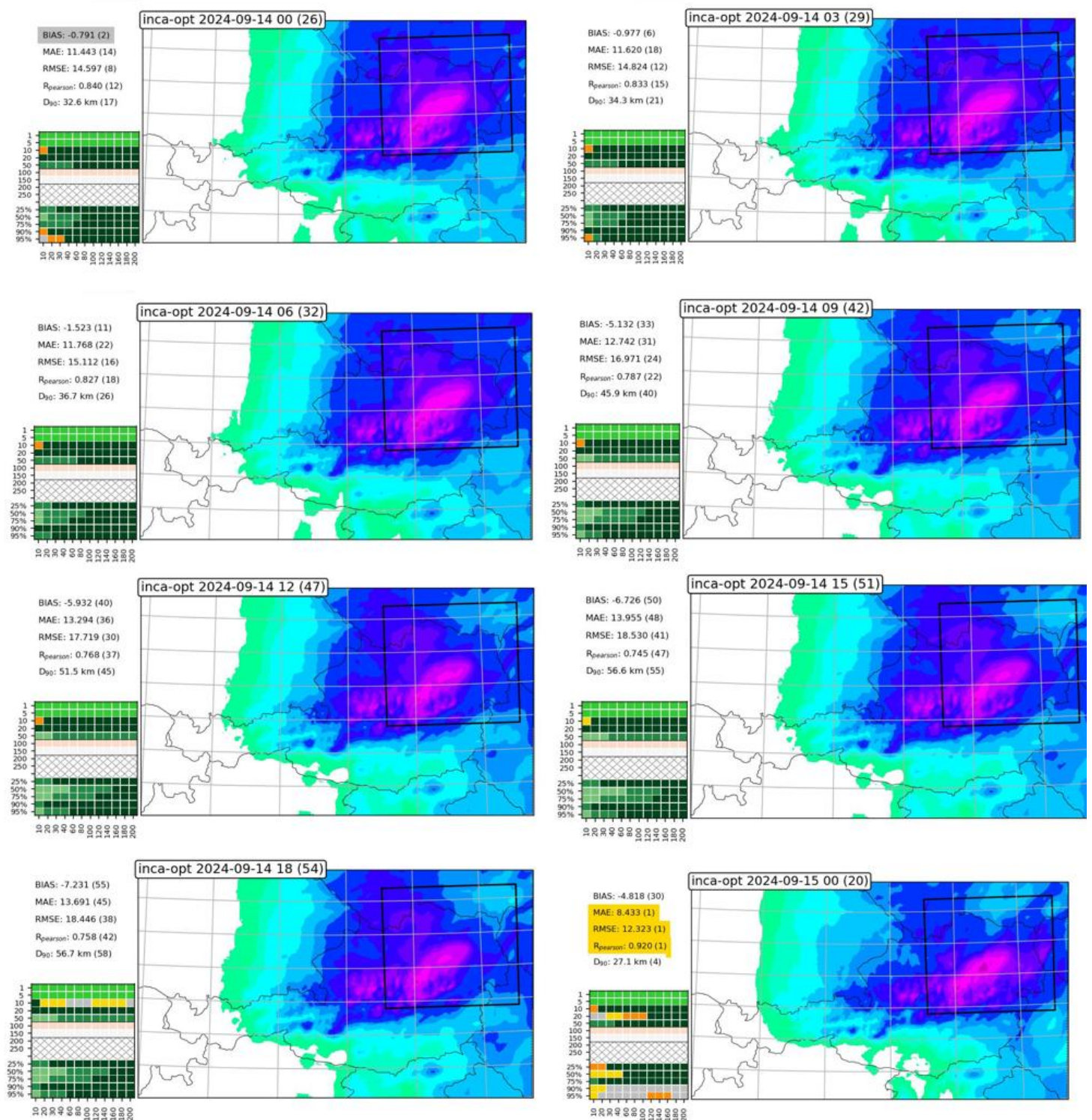


Abb. 26: FSS Grafiken für den 15.9.2024, INCA OPT Läufe

Die Ergebnisse von INCA-OPT zeigen für diesen Tag durchgehend recht stabile Ergebnisse, die die tatsächlich eingetretene Lage des Niederschlagsmaximums weitgehend korrekt wiedergeben. Lediglich das außerhalb des Betrachtungsfensters liegende Maximum am Alpennordrand in Oberösterreich ist wie bei den anderen Modellen auch hier stärker ausgeprägt. In der Summe fällt für alle Fenstergrößen eine teilweise Unterschätzung bei der Kategorie 100mm in allen Läufen auf.

15.9. 2024 0-24hUTC ECMWF

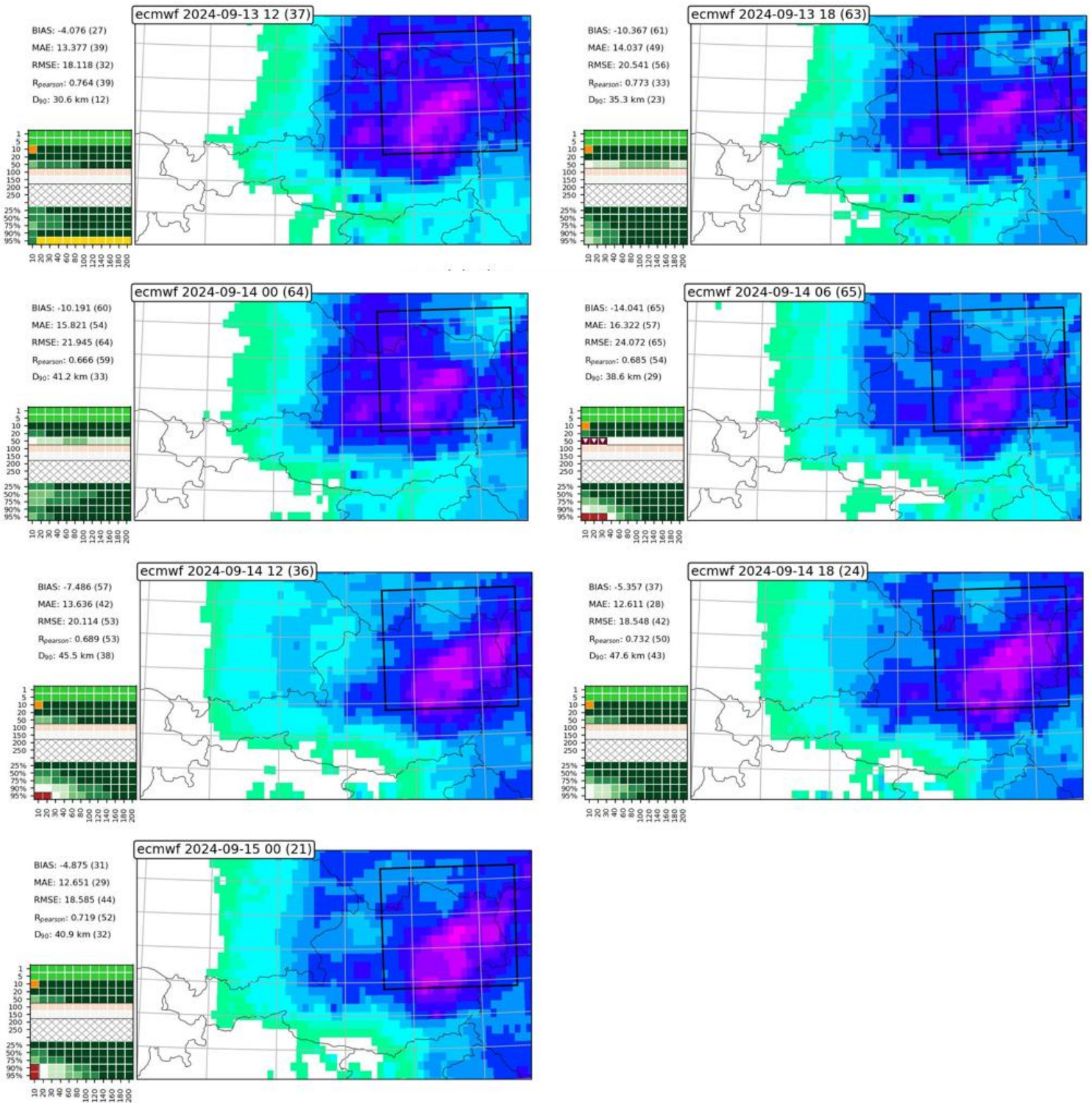


Abb. 27: FSS Grafiken für den 15.9. 2024, ECMWF Läufe

Bei ECMWF zeigt sich in allen Läufen ein negatives bias durch zu trockene vorhergesagte Verhältnisse, das sich aber im Lauf der Zeit verringert. Die Grundstruktur ist war ähnlich, eine genaue Örtlichkeit des Niederschlagsmaximums ist aber nicht erkennbar.

Gewichteter FSS Score

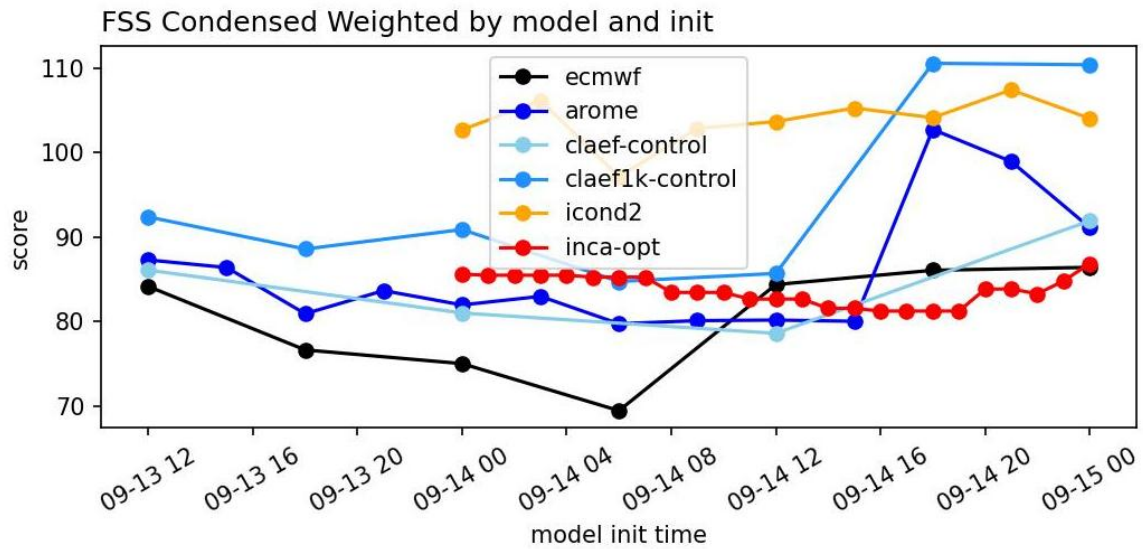


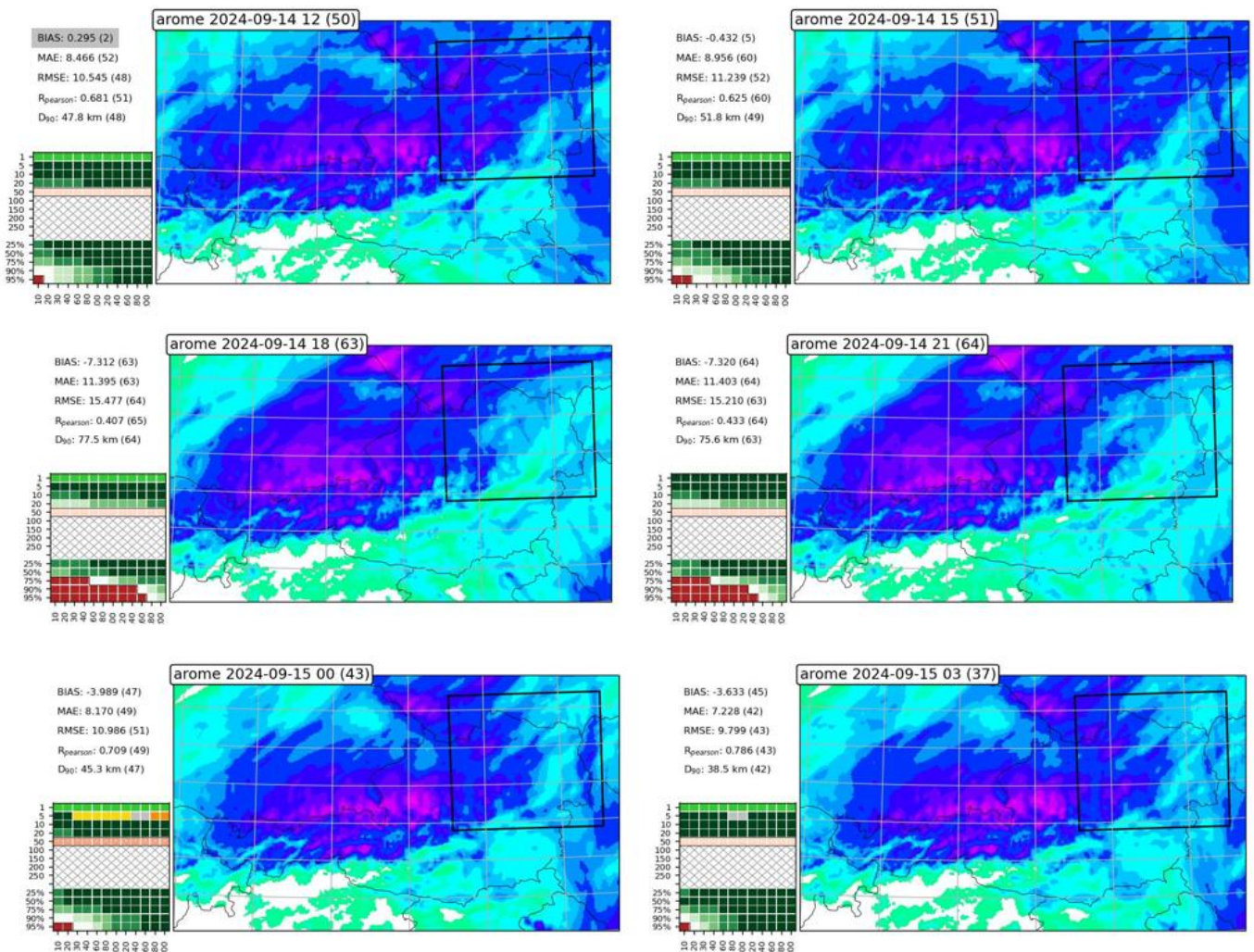
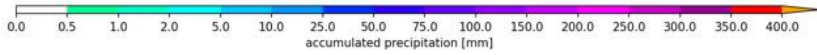
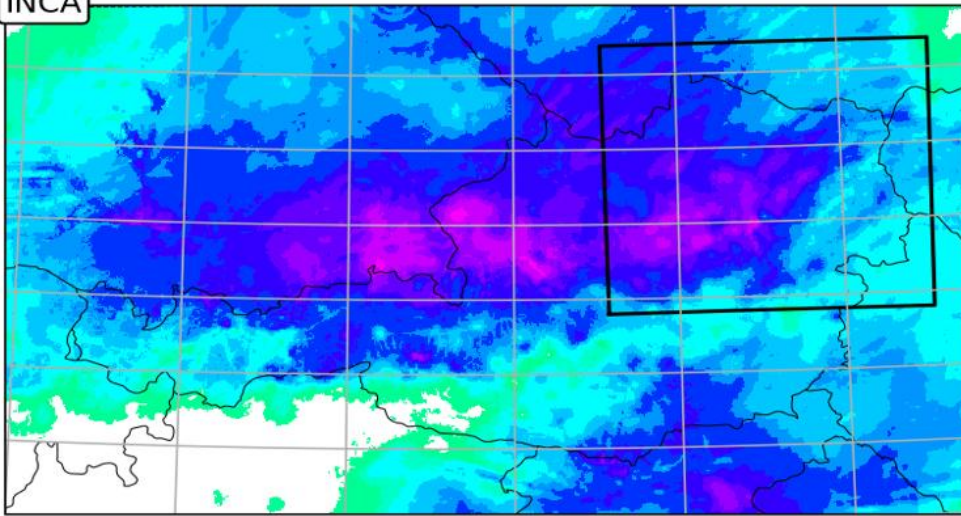
Abb. 28: Gewichteter FSS Score für den 15.9. 2024, Vergleich aller Modelle

Im Gesamtvergleich des Condensed Weighted FSS schneiden ICON-D2 und der CLAEF1k Control Lauf ziemlich gleichwertig ab, auch die Absolutwerte dieses Scores für den 15.9. 2024 sind sehr hoch und liegen nur geringfügig unter den Werten für des 14.9. 2024. INCA-OPT hat zu diesem frühen Zeitpunkt noch nicht die für das Nowcasting notwendigen Datengrundlagen von Radar-, Satelliten- und Bodendaten und bleibt daher nahe an den Werten von ECMWF.

5.2.3 Ergebnisse FSS 16.9. 2024

16.9.2024 0-24hUTC AROME

INCA



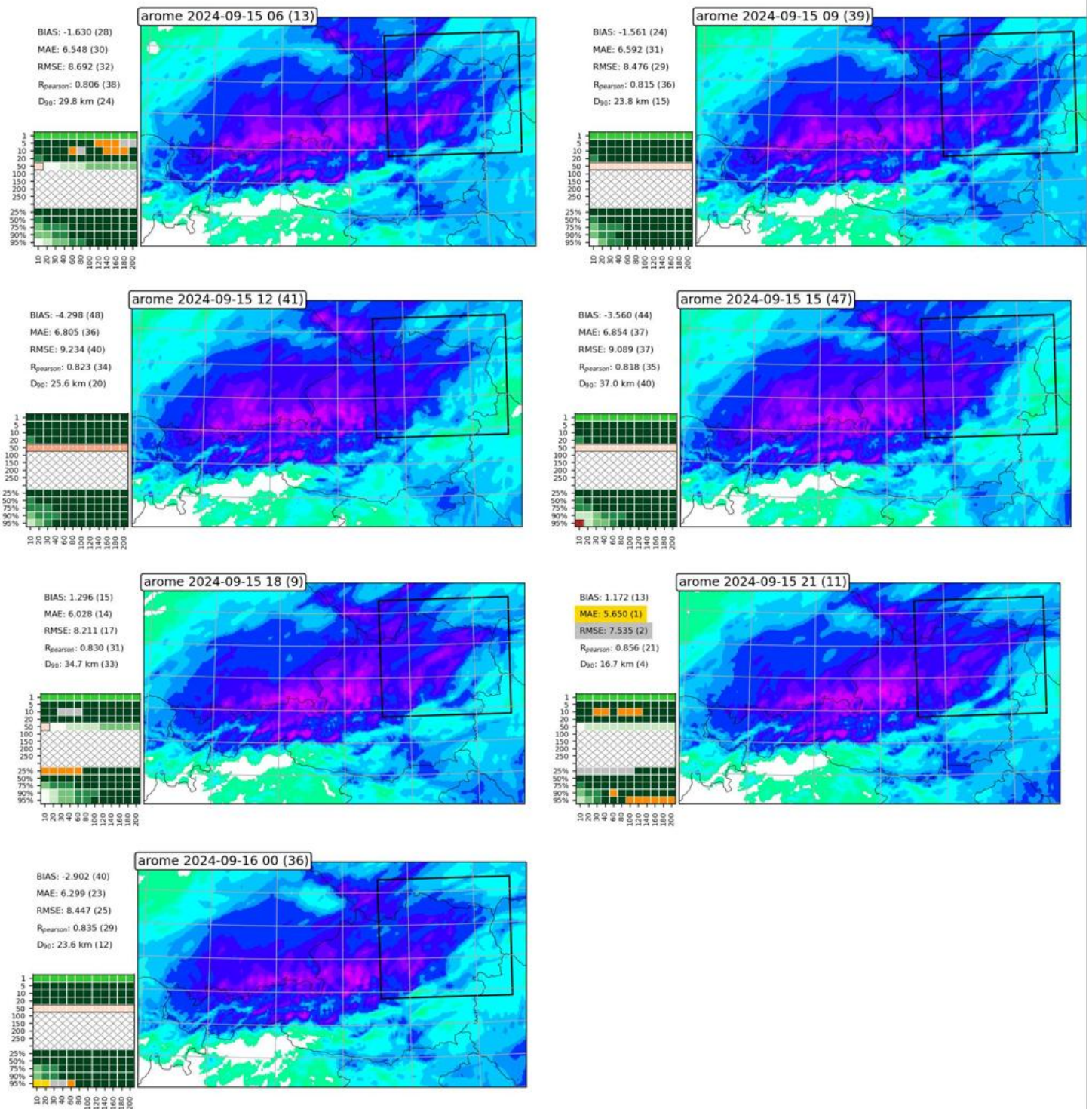


Abb. 29: INCA Analyse und FSS Grafiken für den 16.9. 2024, AROMELäufe

Ähnlich wie am 15.9. 2024 bildet sich bei den anfänglichen Läufen von AROME-AUSTRIA ein zweites, nicht realistisches Maximum im Norden des Vorhersagegebietes, das das Scoring dieses Modells für diesen Tag nachteilig beeinflusst. Wie auch aus den Punktvergleichen der 10 Beobachtungsstationen sichtbar, lagen in den ersten 4 Läufen die vorhergesagten Werte für die höheren Perzentile unter den tatsächlich beobachteten, in den weiteren Läufen verbesserte sich das Ergebnis.

16.9.2024 0-24hUTC C-LAEF CONTROL und C-LAEF1 Control

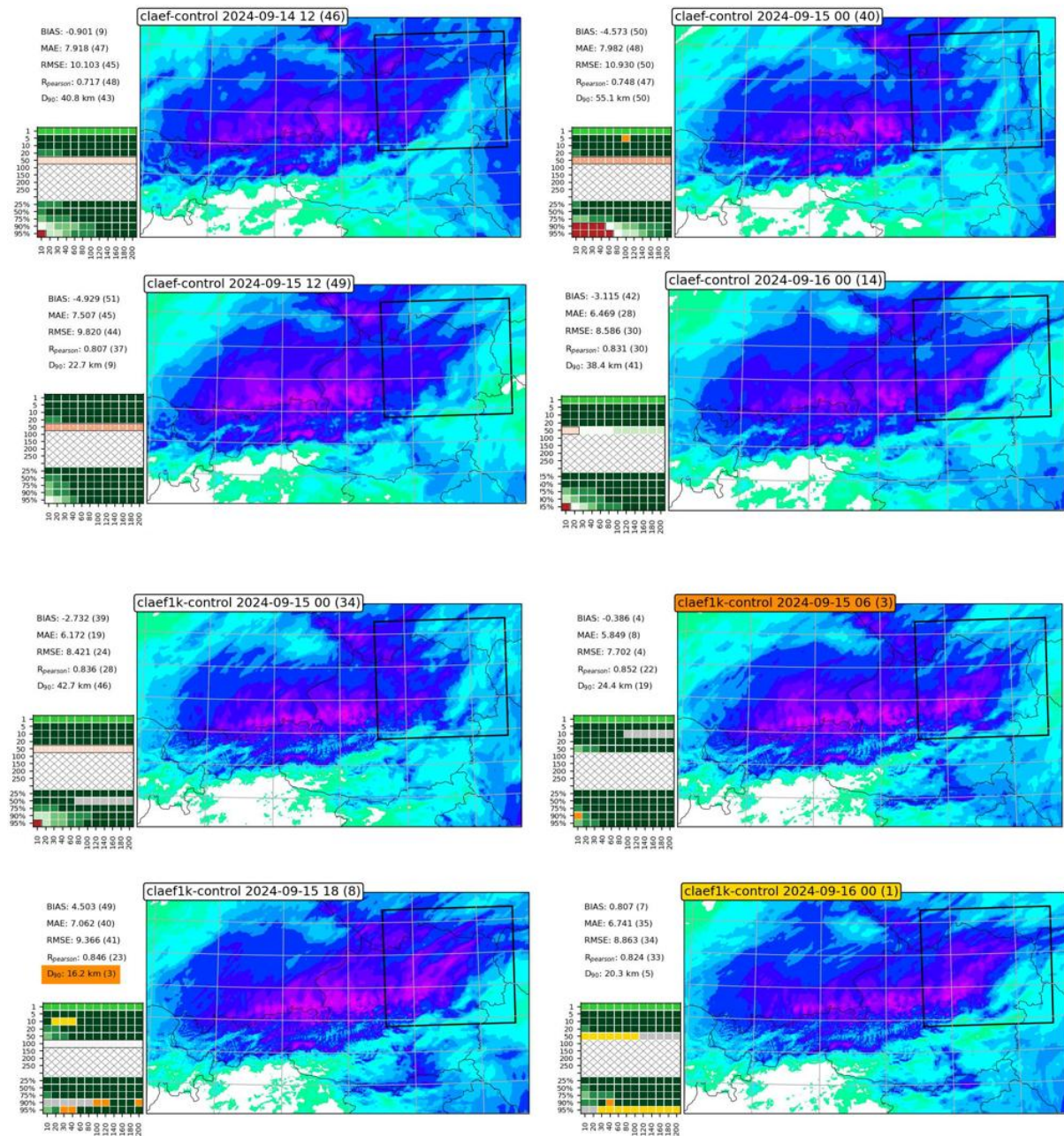


Abb. 30: FSS Grafiken für den 16.9. 2024, C-LAEF CONTROL und C-LAEF1 CONTROL Läufe

Die beiden Control Läufe der Ensemble Läufe weisen bessere Ergebnisse als AROME-AUSTRIA auf und erreichen im vorletzten und letzten Lauf sehr gute Scores. Zu Beginn ist allerdings ähnlich wie bei AROME-AUSTRIA ein nicht realistisches zweites Niederschlagsmaximum im Norden des Vorhersagegebietes gegeben.

16.9.2024 0-24hUTC ICON D2

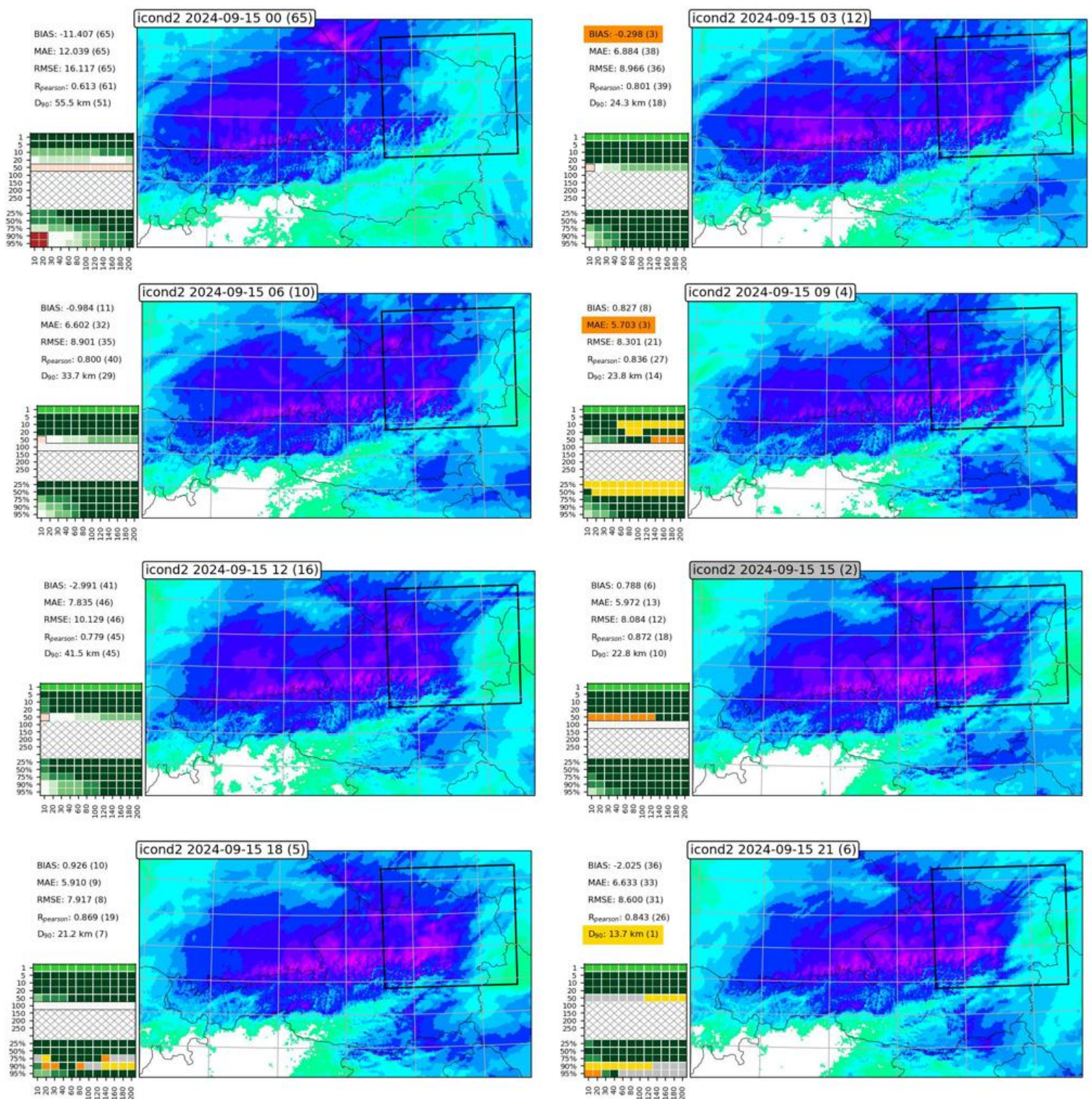


Abb. 31: FSS Grafiken für den 16.9. 2024, ICON-D2 Läufe

ICON-D2 zeigt von allen regionalen Modellen das beste Ergebnis in fast allen Läufen und ist auch deutlich besser als das globale ECMWF. Abgesehen von dem zweiten Maximum in Norden des Vorhersagegebietes ist die Struktur sehr realistisch erfasst, die beiden (außerhalb des Betrachtungsfensters liegenden) Maxima entlang des Alpenhauptkamms sind allerdings etwas zu schwach ausgeprägt.

16.9.2024 0-24hUTC INCA OPT

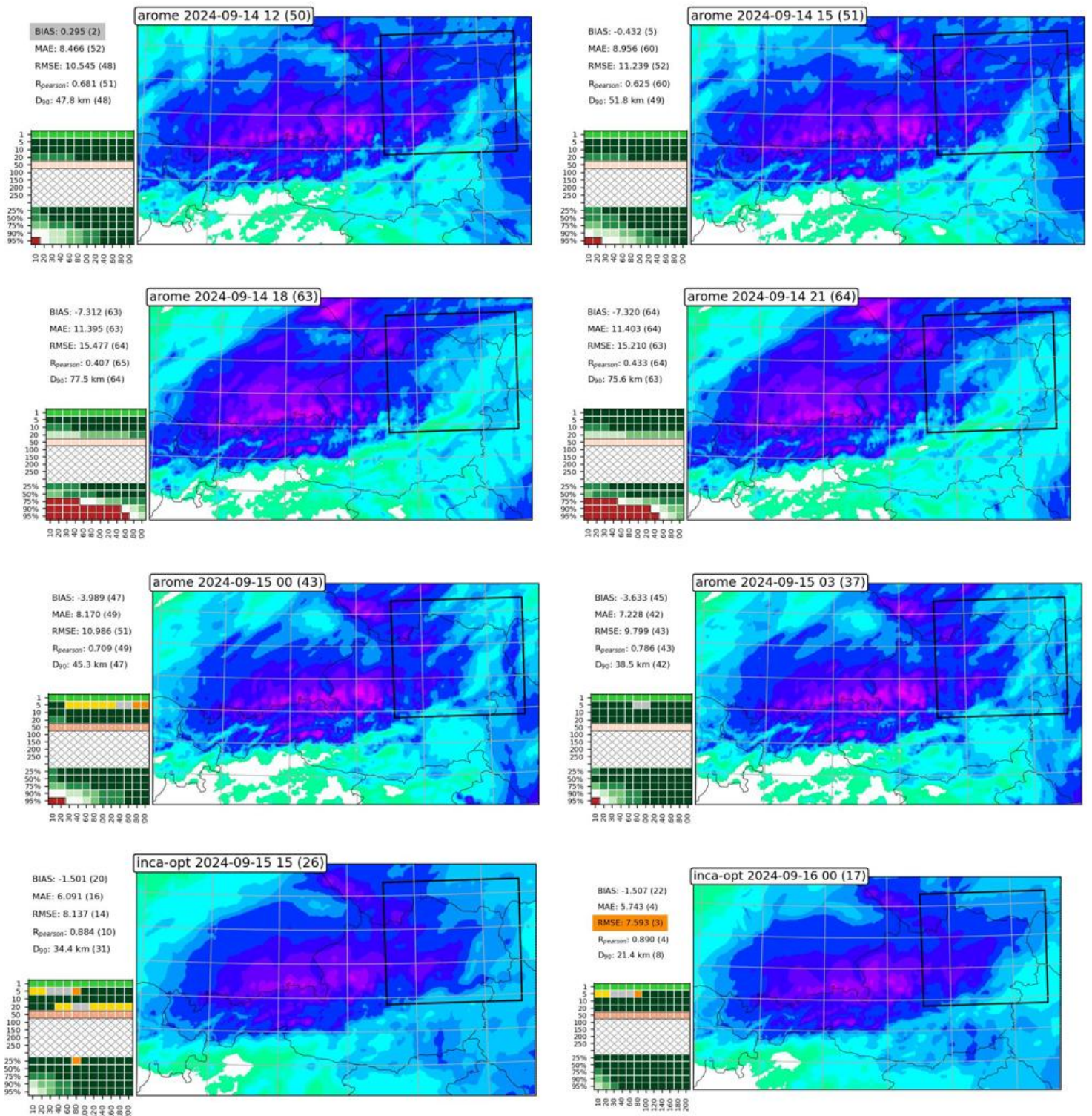


Abb. 32: FSS Grafiken für den 16.9. 2024, INCA-OPT Läufe

Bei INCA OPT scheint das Maximum des Niederschlagsfelds nur unzureichend abgebildet, was sich im FSS in der Unterschätzung ab der Klasse 75% Perzentile niederschlägt. Wie auch bei ICON-D2 ist das (außerhalb des Betrachtungsfensters liegende) Maximum entlang des Alpenhauptkamms deutlich zu schwach ausgeprägt.

16.9. 2024 0-24hUTC ECMWF

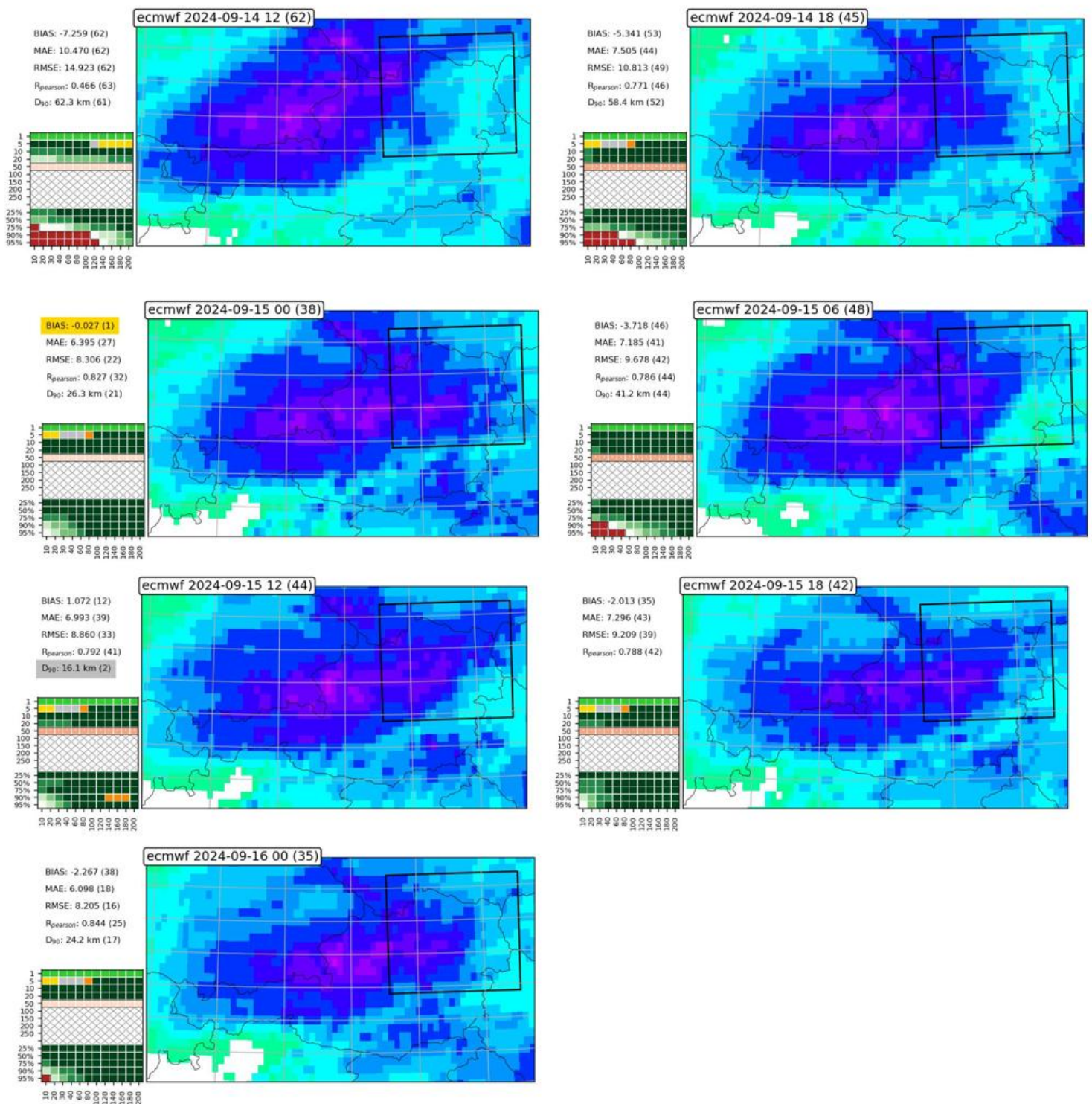


Abb. 33: FSS Grafiken für den 16.9. 2024, ECMWF Läufe

Das Niederschlagsmaximum im südwestlichen Quadranten des Betrachtungsfensters bildet sich erst in den letzten drei Läufen aus. Das hatte eine unmittelbare Folge auch für die auf ECMWF basierenden regionalen Modelle. Der 12h Lauf des 15.9. 2024 zeigt die geringen Niederschlagsklassen korrekt, die entscheidende 50mm Klasse allerdings deutlich in allen Fenstergrößen unterschätzt.

Gewichteter FSS Score

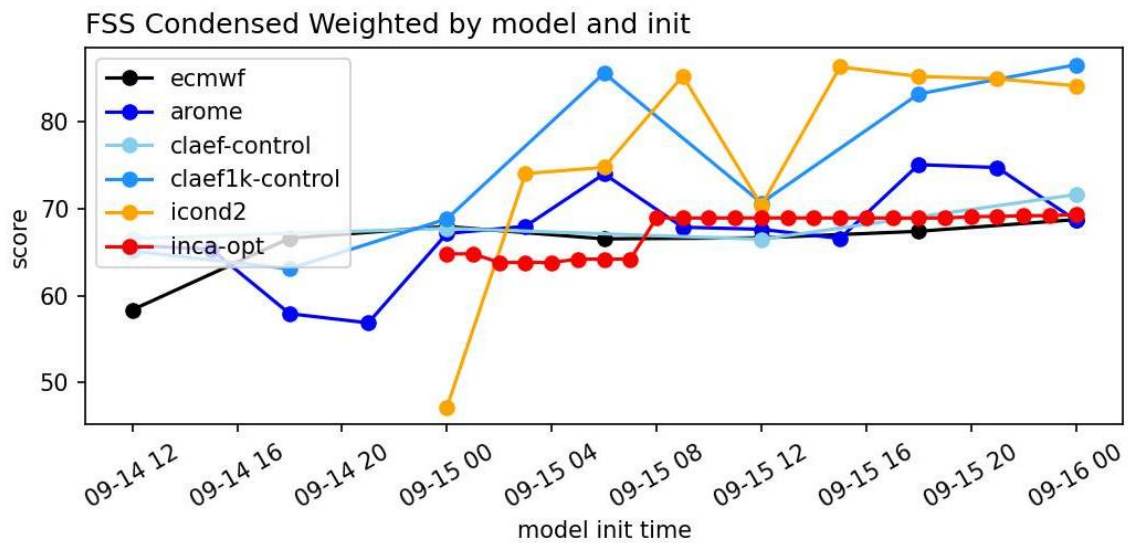


Abb. 34: Gewichteter FSS Score für den 16.9. 2024, Vergleich aller Modelle

Im Gesamtvergleich aller Modelle im gewichteten FSS Score liegt der 16.9. 2024 ICON-D2 zu den meisten Zeitpunkten über den anderen Modellen. Lediglich beim letzten Lauf liegt der Controllauf von AROME etwas besser als ICON-D2.

Da das Maximum von allen Läufen leicht unterschätzt wurde erreicht der maximale Score nur den Wert von 80 und damit deutlich unter den Werten der beiden Vortage.

6. Konvektive Einzelereignisse

Ereignisse dieser Art können von den Modellen mit Wahrscheinlichkeiten für konvektive Niederschläge im Zeitrahmen mehrerer Stunden relativ gut vorhergesagt werden. Genaue Ort- und Zeitverhältnisse sind aber eine größere Schwierigkeit, die nicht in allen Fällen optimal durch die Modelle gelöst wird, das „double penalty“ Problem hochaufgelöster Vorhersagen im Vergleich zu Modellen mit geringerer Auflösung wird hier sehr deutlich sichtbar.

Dieser Herausforderung kann nur durch effizienten Dialog zwischen Meteorologie und Hydrologie und eine gut konzipierte Planung von kurzfristigen Maßnahmen begegnet werden. Um die zur Verfügung stehenden Unterlagen ganzheitlich sichtbar zu machen, werden für diese Ereignisse folgende Daten für die einzelnen Zeitschritte dargestellt:

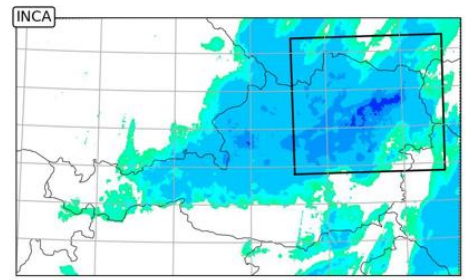
- Wetterkarten
- Punktprognosen verschiedener Modelle für jeweils zwei repräsentative Orte
- INCA-Analyse der Niederschläge für die jeweiligen Prognosezeiträume
- Prognosenfelder von AROME für das gesamte Gebiet
- Textprognosen der Meteorologen für Niederösterreich

Die Punktprognosen der einzelnen Modelle zeigen in den meisten der untersuchten Fälle nur schwache Signale bei der Vortagsprognose. An dem jeweils aktuellen Tag zeigt das Nowcastsystem INCA lokale Niederschlagsextreme in den Stunden knapp vor dem Ereignis sehr deutlich, längere und großräumigere Niederschlagsereignisse (wie z.B. 13.- 15.4. 2023) werden bereits viel früher von regionalen, aber auch globalen Modellen gut erfasst.

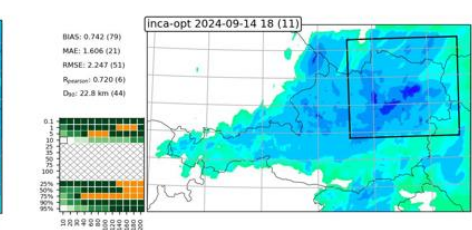
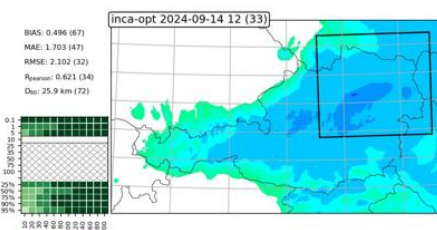
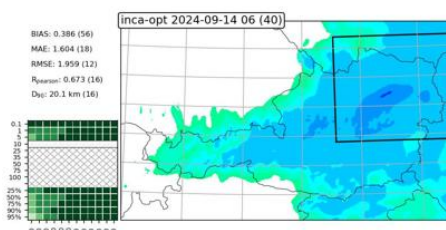
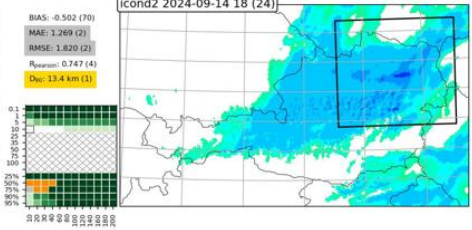
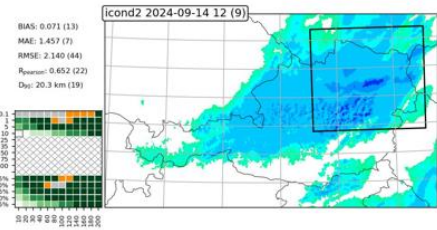
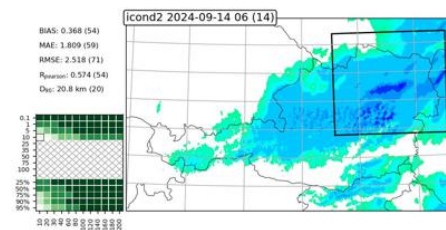
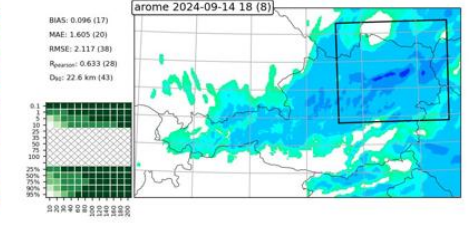
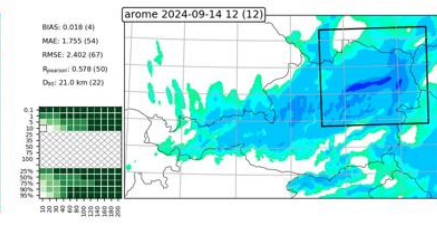
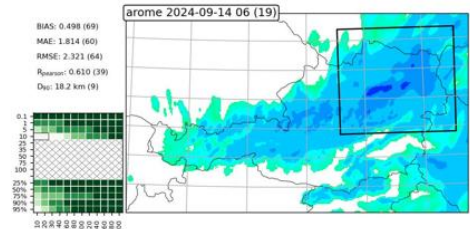
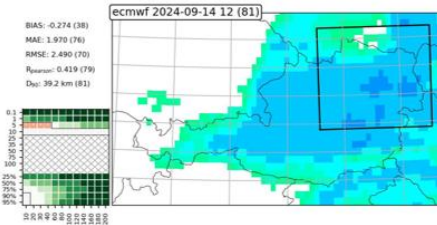
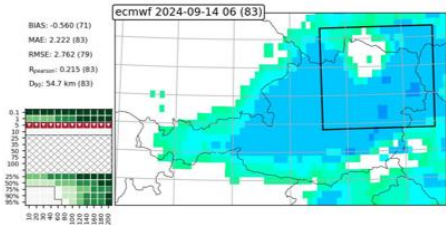
Abb. 35 zeigt die Niederschlagsverteilung am 14. 9. 2024 für eine typische Stunde (18 bis 19h UTC) und die Vorhersagen für diese Stunde von ECMWF, ICON-D2, AROME und INCA-OPT, sowie den Condensed Weighted FSS.

Die sehr intensiven Niederschläge im Süden Niederösterreichs werden von AROME und ICON-D2 bereits in der Ausgangslage zum Zeitpunkt 6UTC in der Struktur erkannt. INCA-OPT ist zu diesem Zeitpunkt noch stärker von ECMWF gesteuert und zeigt dies nur ansatzweise.

An diesen Bedingungen ändert sich zum Ausgangszeitpunkt 12h UTC nur wenig, erst um 18h als die Radarmessungen und aktuelle Bodenbeobachtungen stärker in die Modellrechnungen eingehen stellen sich die Stärken von INCA mit einer präzisen räumlichen Struktur und dadurch einem stark gestiegenen Condensed Weighted FSS dar.



RR 18 -19h



Ausgangszeitpunkt 6h

12h

18h

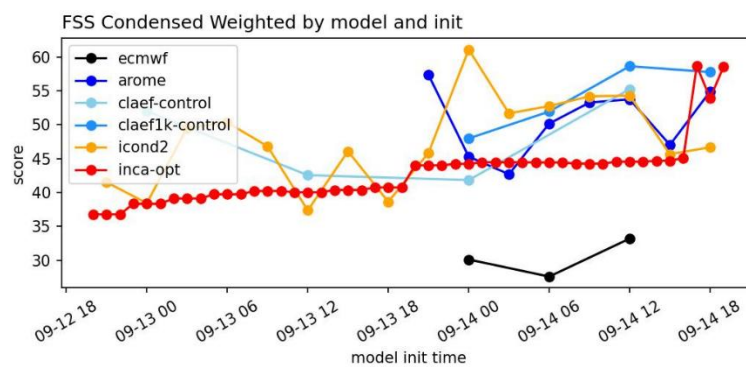
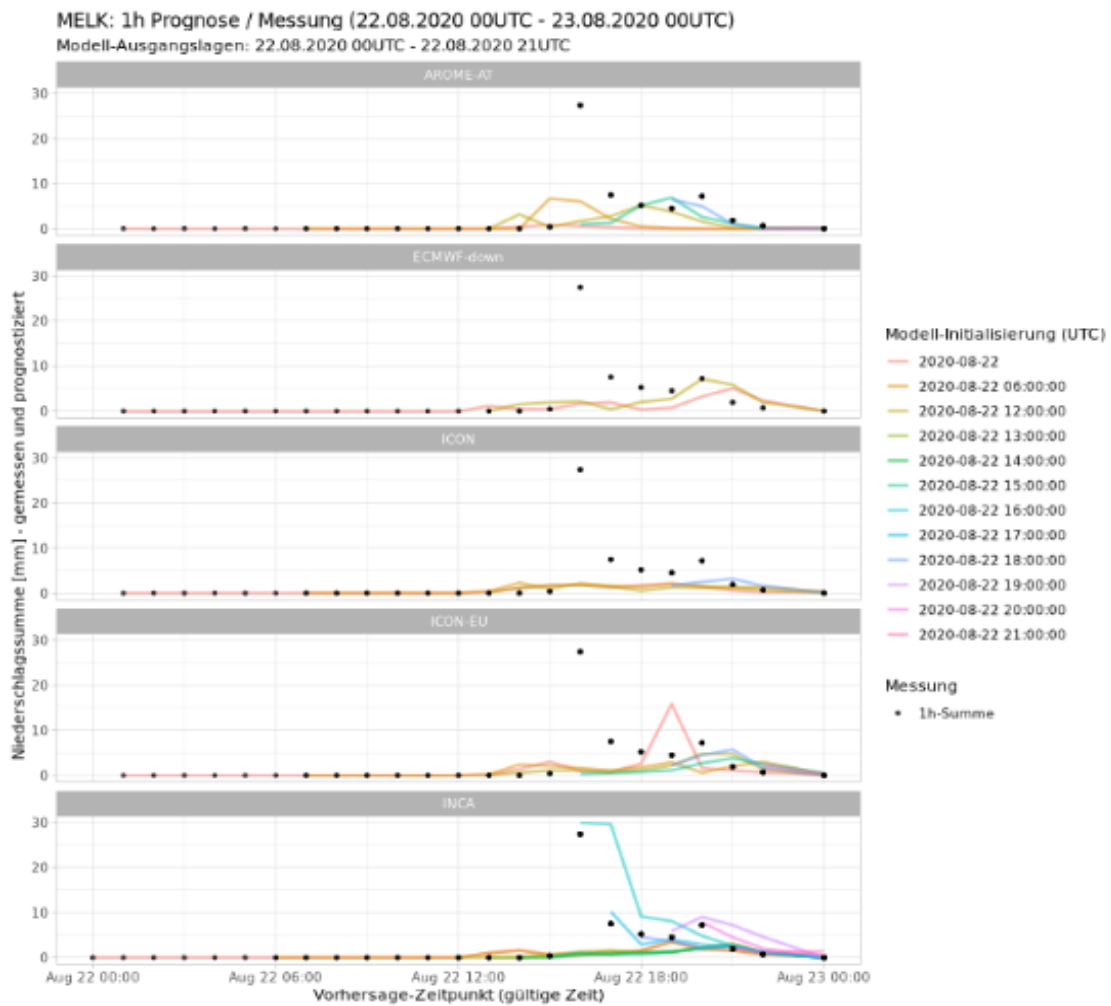
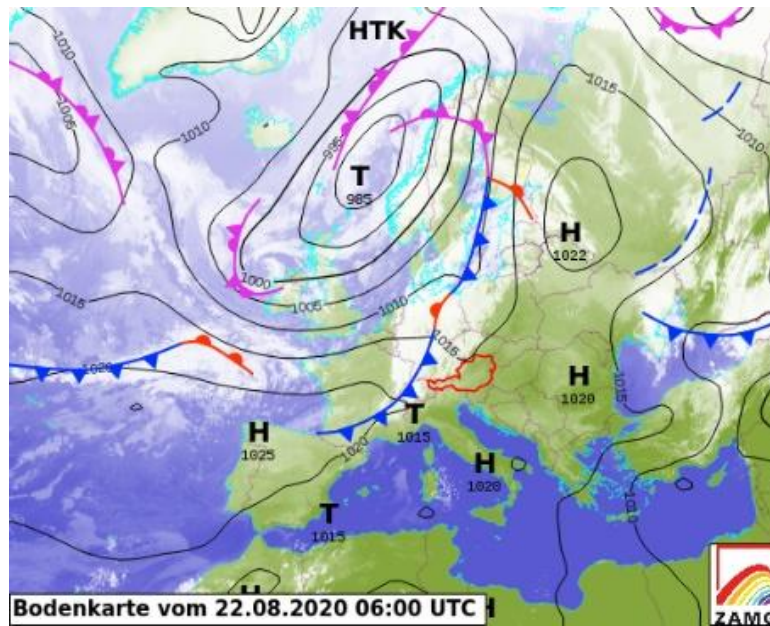


Abb. 35: Niederschlag 14. 9. 2024 18 -19h UTC, Vorhersagen ECMWF, ICON-D2, AROME und INCA-OPT, Condensed Weighted FSS

6.1. 22. August 2020

In den Bezirken Neunkirchen, Mistelbach, Krems, St. Pölten, Melk und Zwettl waren heftige Unwetter mit Starkregen, Hagel und Sturmböen niedergegangen.



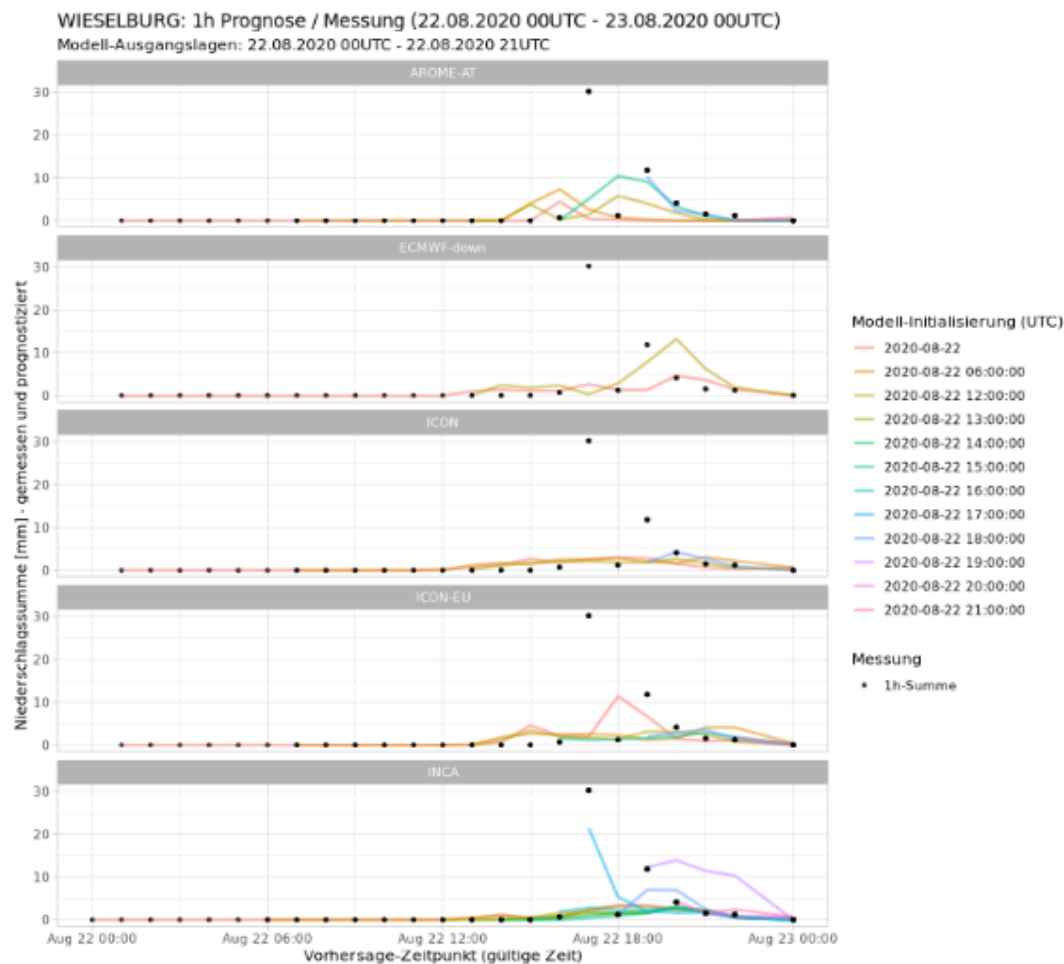


Abb. 36 Großwetterlage, Modell Punktprognosedaten 22.8. 2020

Die Prognosen der ZAMG zeichneten für diesen Tag folgendes Bild:

Prognose gültig ab 22.08.2020 12 Uhr UTC, ausgegeben am 22.08.2020 06:33:53 Uhr UTC

Vor allem im Osten scheint die Sonne noch länger ungestört, während sich von Westen her immer mehr teils hochreichende Wolken und mit ihnen auch Schauer und Gewitter ausbreiten. Betroffen sind zunächst vorwiegend das Berg- und Hügelland, bis zum Abend schließlich nahezu alle Landesteile. **Örtlich können die Zellen heftig ausfallen, nachts regnet es oft noch anhaltend.** Mit der Störung frischt der Wind deutlich auf und dreht auf West. Die Tageshöchsttemperaturen liegen bei 28 bis 33 Grad.

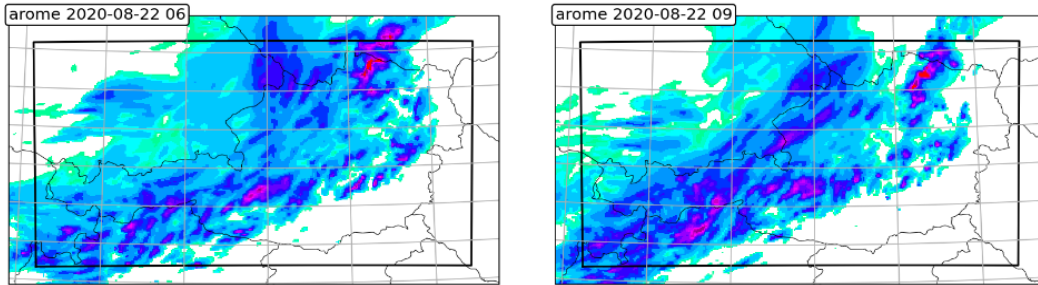
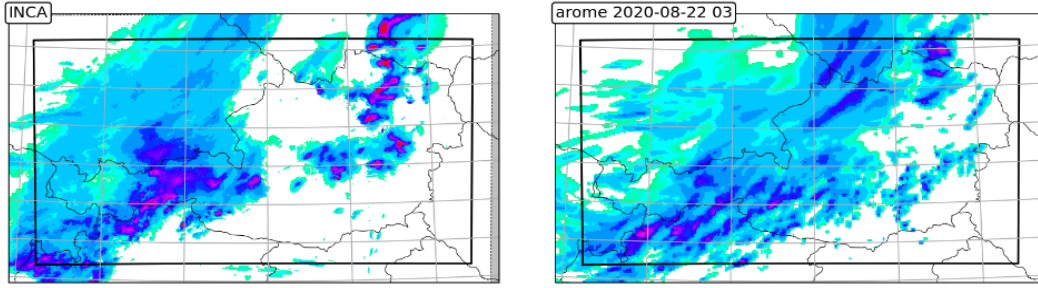
Prognose gültig ab 22.08.2020 18 Uhr UTC, ausgegeben am 22.08.2020 08:04:15 Uhr UTC

In der **Nacht ziehen die Gewitterzellen immer mehr ostwärts ab. Gebietsweise kann es aber noch länger regnen.** In den Morgenstunden lockert schließlich von Westen her die Bewölkung immer mehr auf und die Niederschläge klingen ab. Der Wind aus Nordwest weht teils lebhaft bei Frühtemperaturen zwischen 14 und 19 Grad.

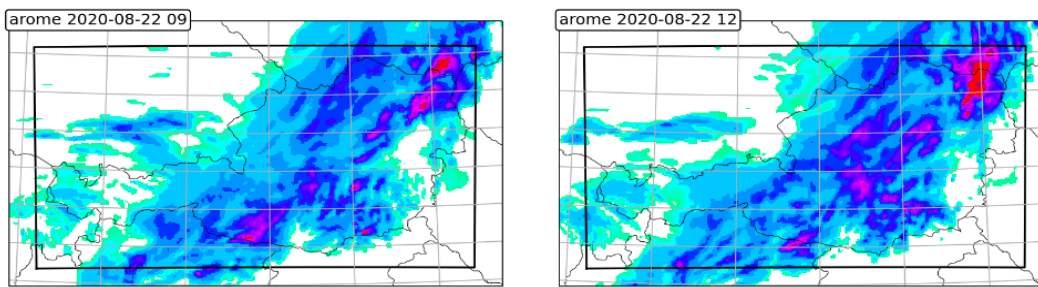
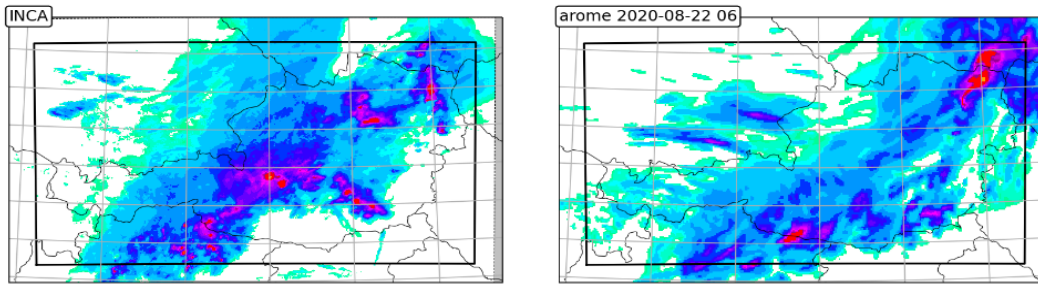
An beiden untersuchten Lagen traten innerhalb einer Stunde sehr kleinräumig Niederschläge von bis zu 30mm auf. In Wieselburg ist beim AROME Modell bereits am Morgen dieses Tages ein schwaches, aber unzureichendes Signal erkennbar, an der Station Melk sind erst in den beiden letzten Stunden realistische Vorhersagewerte im Nowcastingmodell INCA erkennbar.

Die flächigen AROME Prognosen zeigen die ca.30mm Niederschlag von 12 bis 15h im nördlichen Niederösterreich ab dem 6h Lauf recht deutlich, die zweite (15 – 18h) Staffel im Donauraum ist ab 9h im Ansatz, im 12h Lauf besser erkenntlich. Das abendliche Niederschlagsmaximum nahe Tullnerfeld ist auch im 15h Lauf nur ansatzweise abgebildet.

Acc. Precip. [mm] from 20200822 12 to 20200822 15 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20200822 15 to 20200822 18 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20200822 18 to 20200822 21 UTC

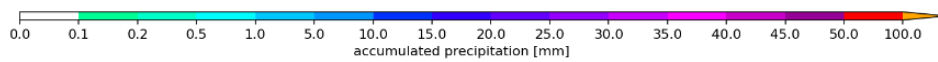
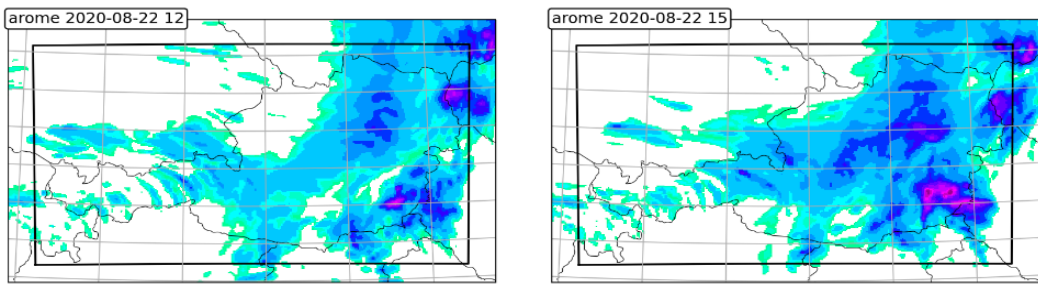
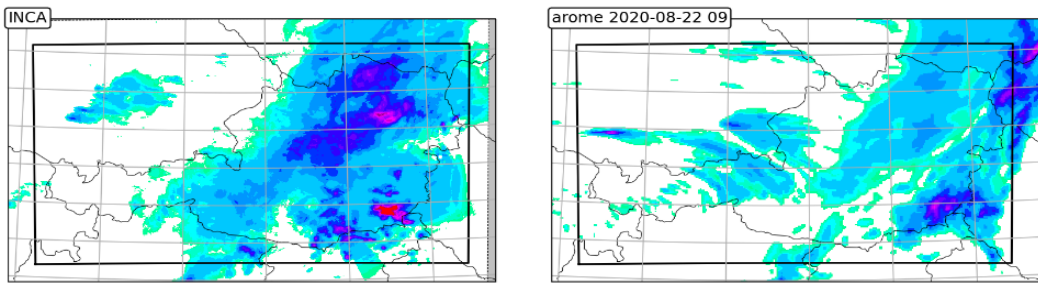
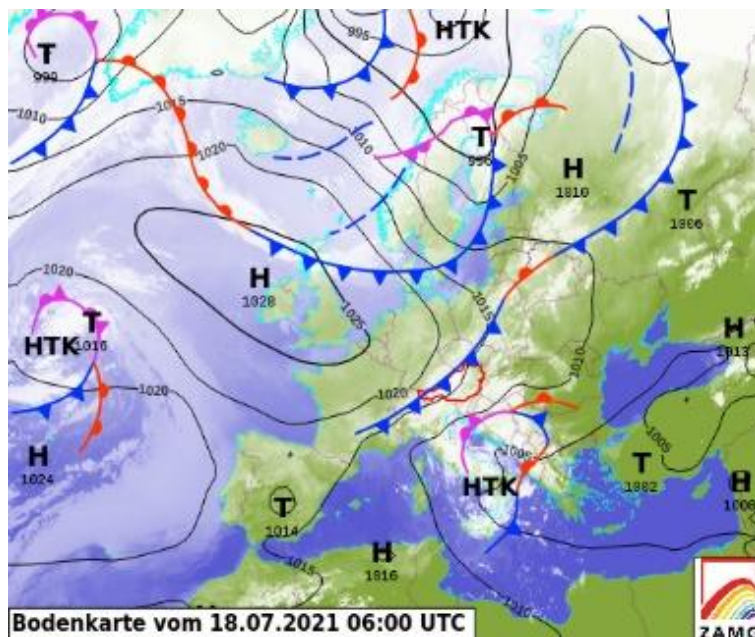


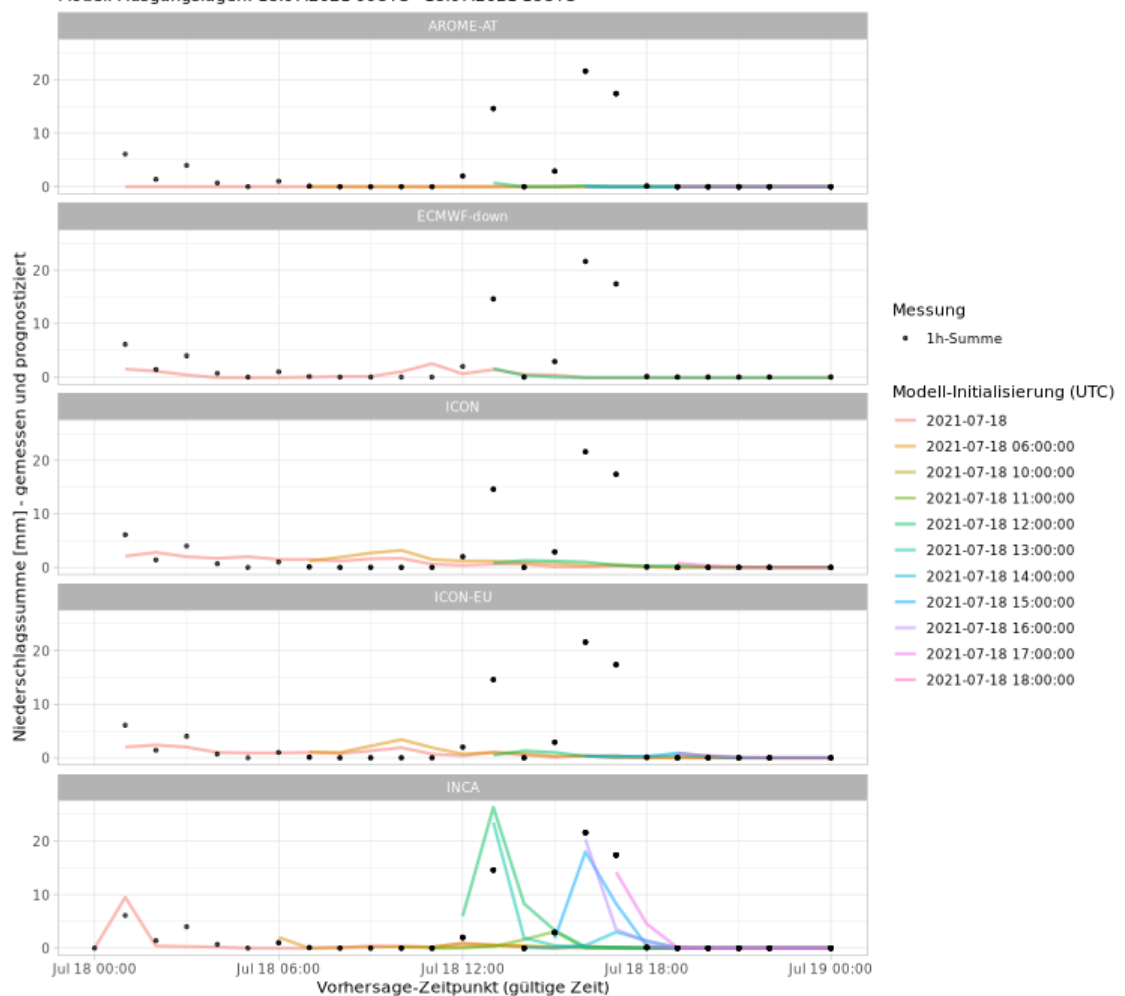
Abb. 37 INCA Analyse Summe Niederschlag, AROME-Felder für 22.8. 2020

6.2. 18. Juli 2021

Heftige Gewitter, die von Regenfällen begleitet wurden, verursachten Überflutungen von Straßen, Feldern, Häuser/ Keller, Verklausungen sowie Hangrutschungen in Niederösterreich.



JAUERLING/ORF: 1h Prognose / Messung (18.07.2021 00UTC - 19.07.2021 00UTC)
 Modell-Ausgangslagen: 18.07.2021 00UTC - 18.07.2021 18UTC



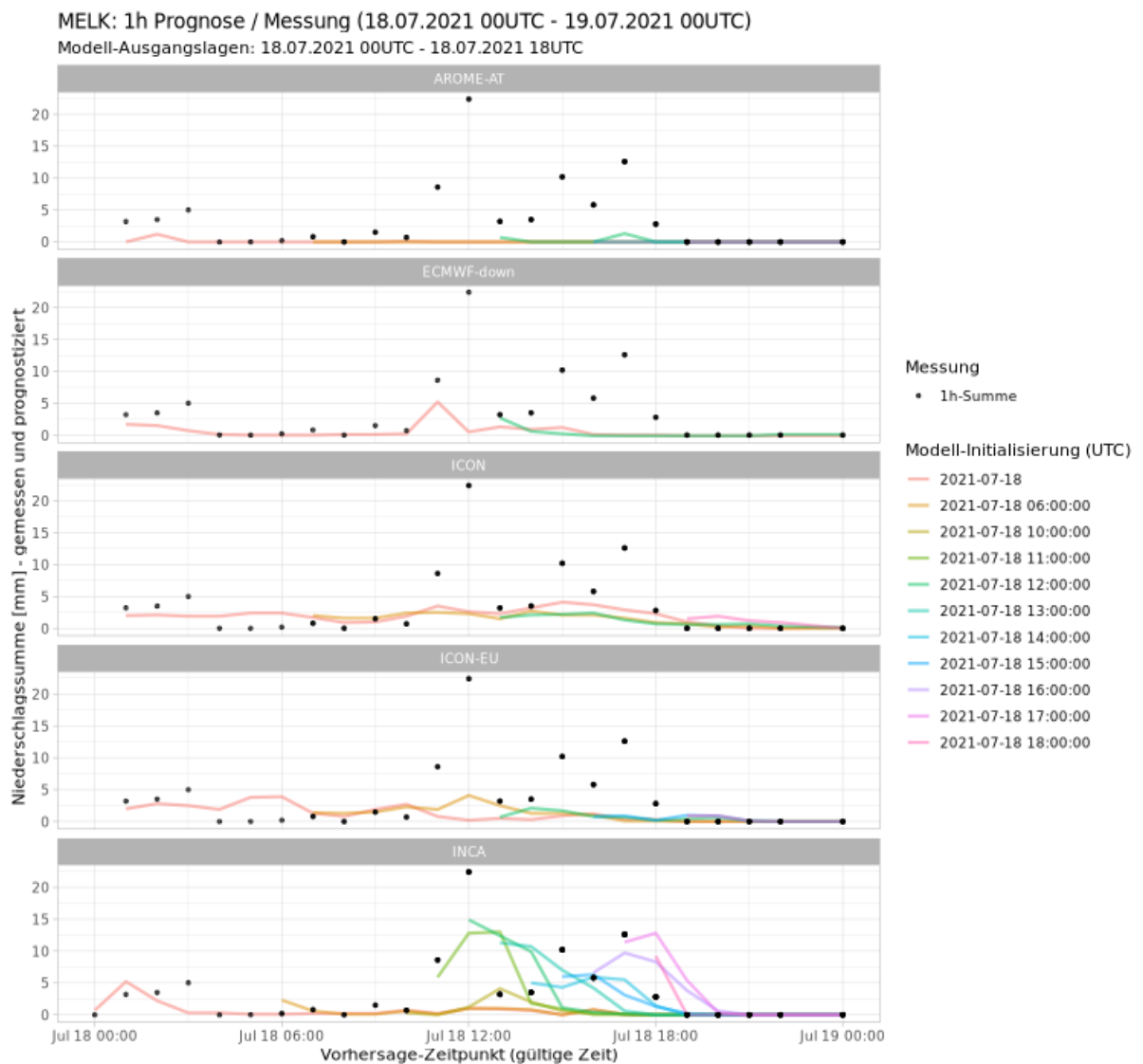


Abb. 38 Großwetterlage, Niederschlagsfelder und Prognosedaten 18. Juli 2021

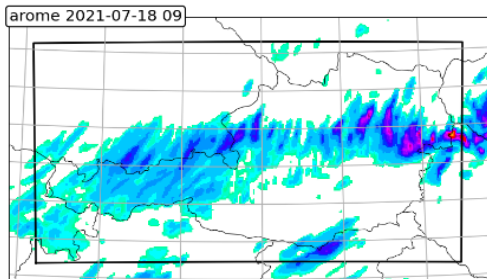
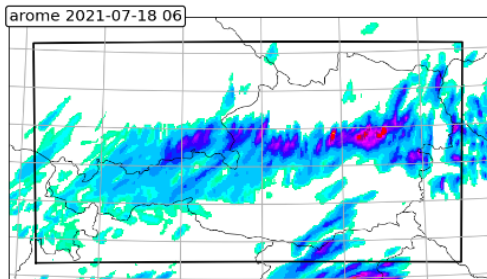
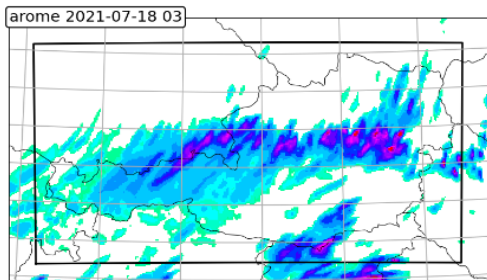
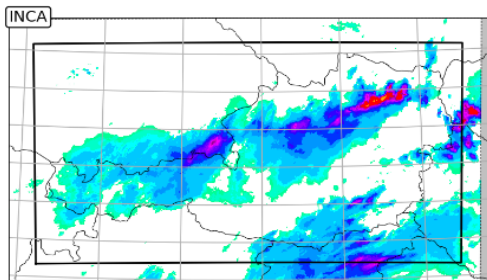
Prognose gültig ab 18.07.2021 06 Uhr UTC, ausgegeben am 18.07.2021 04:18:53 Uhr UTC

Die Wolken dominieren und oft sind einige teils **gewittrige Regengüsse zu erwarten. Im Bergland des Mostviertels regnet es anhaltend und intensiv.** Zwischendurch zeigt sich mit Ausnahme des Berglandes aber auch die Sonne. Abends beruhigt sich das Wetter dann aber nachhaltig. Der Wind kommt mäßig bis lebhaft aus West bis Nord. Die Nachmittagstemperaturen liegen zwischen 20 und 27 Grad.

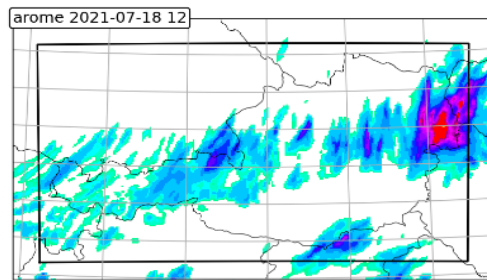
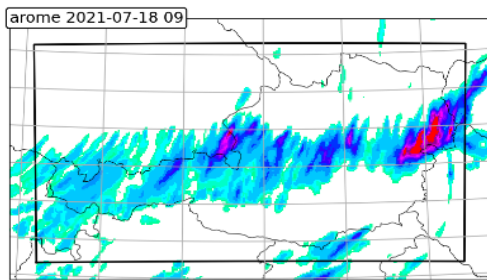
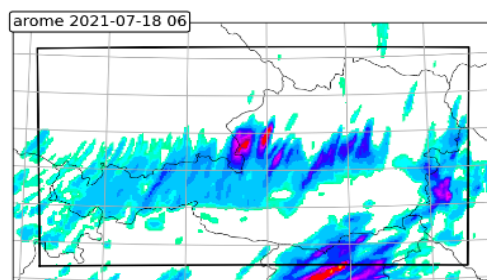
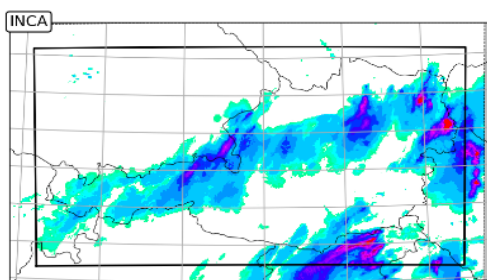
Zwischen einem schwachen Höhentief über dem Mittelmeer und einem Hoch über den britischen Inseln lag eine schwache Kaltfront, die jedoch im Lauf des 18.7. 2021 eine starke Labilisierung über dem Norden Österreichs bewirkte. AROME erkannte die Niederschlagsintensität des Kaltfrontereignisses recht gut, die prognostizierte Örtlichkeit lag jedoch im Zeitraum 12 bis 15h deutlich zu weit im Süden und zwar sowohl bei den 3, 6h und 9h Läufen. Für den Zeitraum 15 bis 18h wurde das inzwischen nach Osten verlagerte Maximum ab dem 9h Lauf ansatzweise recht gut erkannt, die genaue Lage der einzelnen, sehr begrenzt auftretenden Maxima konnte aber nur teilweise im Modell nachvollzogen werden. Im Zeitraum 18 bis 21h nahm die Niederschlagsintensität deutlich ab, sowohl Lage als auch Intensität wurden dabei besser vorhergesagt.

Bei den Punktprognosen zeigten die Modelle in den ersten Läufen für die Stationen Jauerling und Melk zunächst kaum Niederschläge, die INCA Läufe konnten dann aber ab den Mittagsstunden die tatsächlichen Verhältnisse gut abbilden und auch die ergiebigen Niederschläge am Nachmittag im Nowcastingbereich weitgehend korrekt prognostizieren.

Acc. Precip. [mm] from 20210718 12 to 20210718 15 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20210718 15 to 20210718 18 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20210718 18 to 20210718 21 UTC

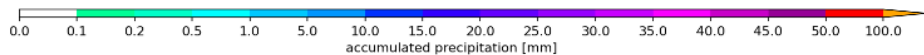
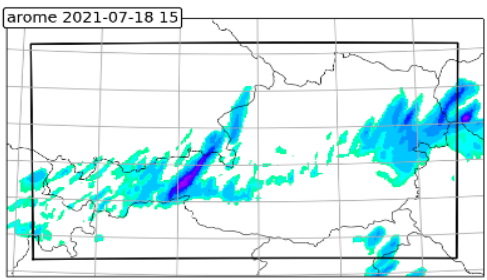
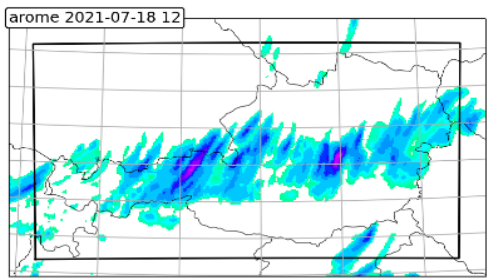
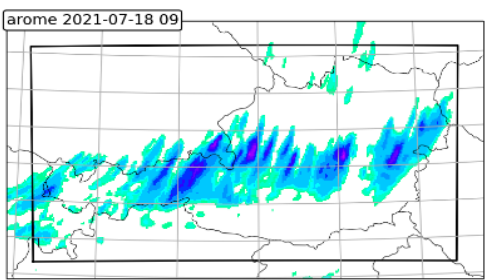
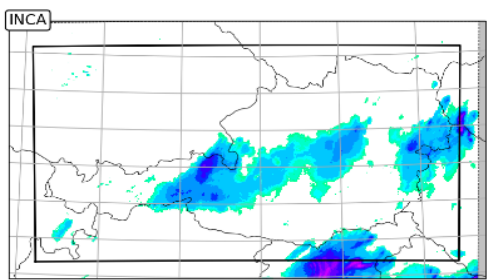
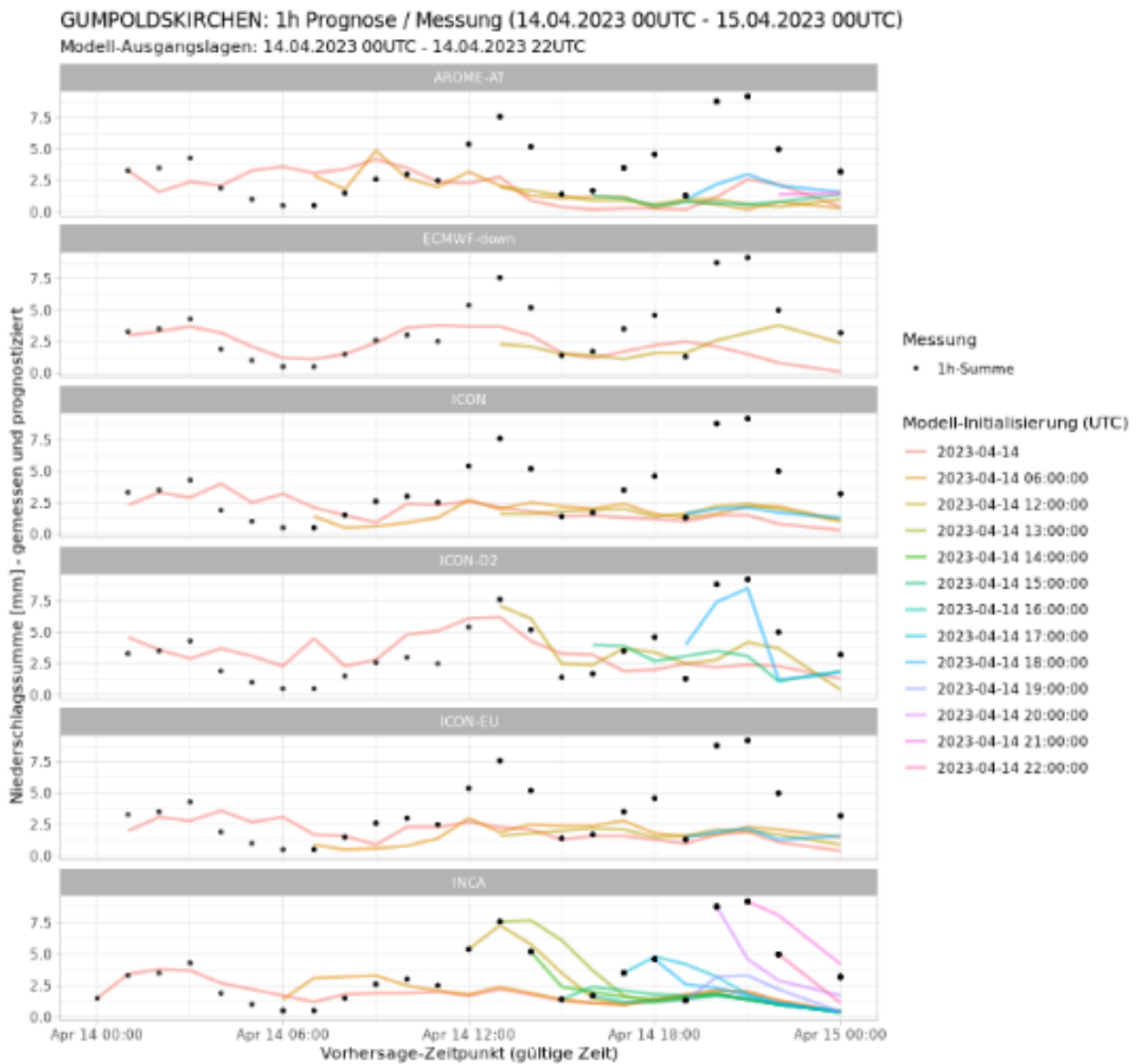
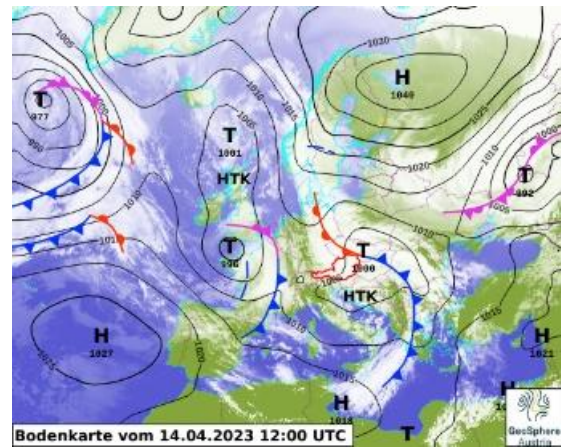
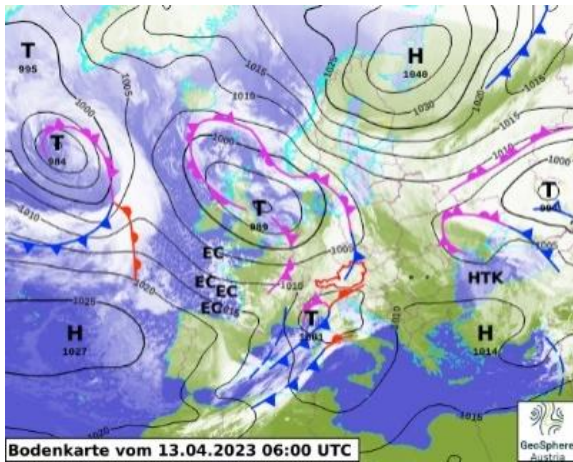


Abb. 39: INCA Analyse Summe Niederschlag, AROME-Felder für 22.8. 2020

6.3 14. April 2023

Traiskirchen, Opponitz, Wieselburg, Haag, Zwettl, Gmünd, Amstetten, Horn, Hollabrunn, Baden, Melk, Bruck an der Leitha, Tulln: Anhaltender Niederschlag sorgte nach besorgniserregender Trockenheit für lokale Überflutungen.



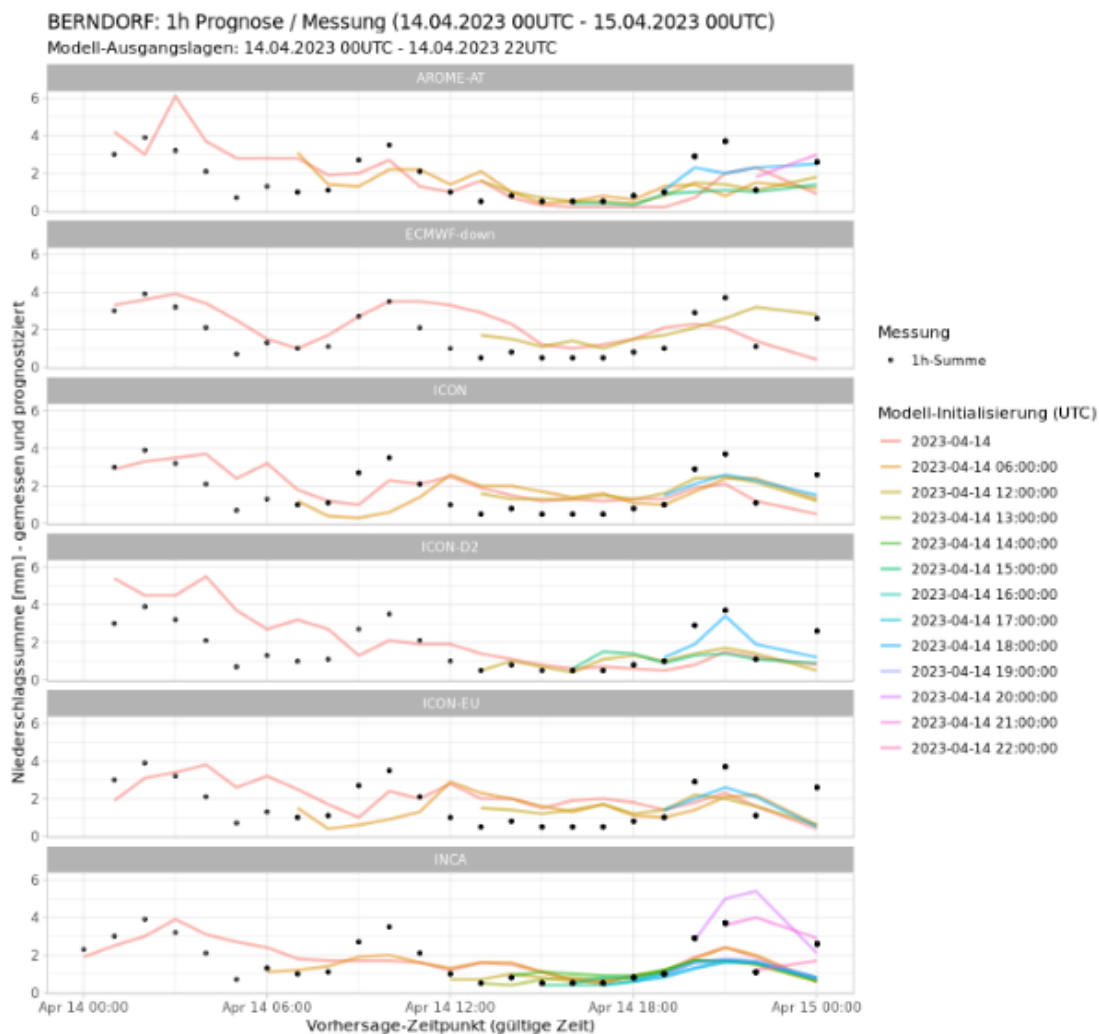


Abb. 40: Großwetterlage, Niederschlagsfelder und Prognosedaten 14. April 2023

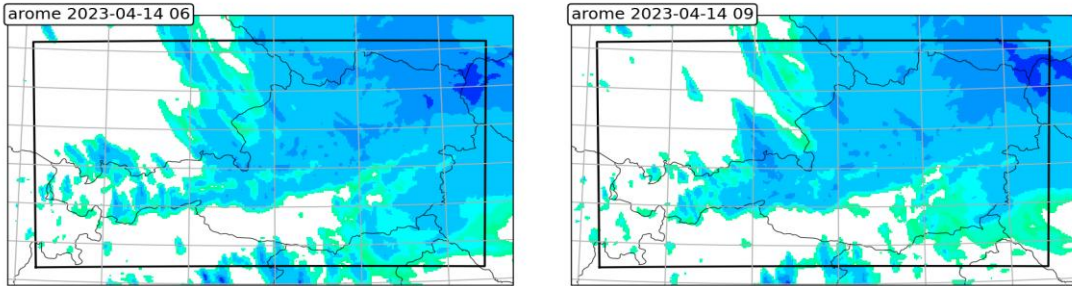
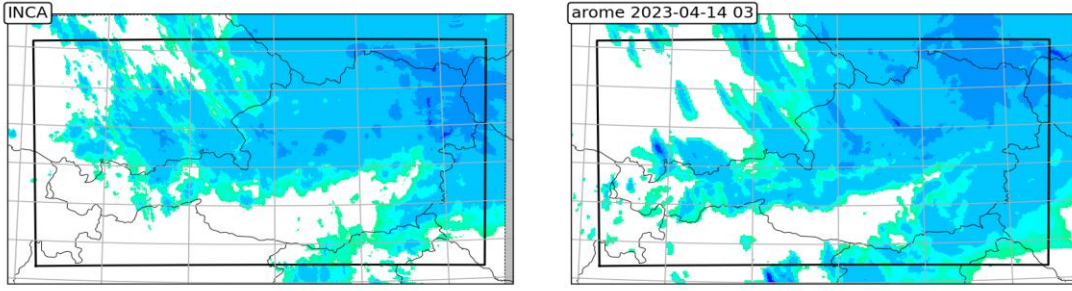
Prognose gültig ab 14.04.2023 06 Uhr UTC

Unter Tiefdruckeinfluss bleibt es trüb **und meist regnet es anhaltend, phasenweise auch kräftig**. Während kräftigeren Regenphasen sinkt die Schneefallgrenze vor allem im Wald- und Mostviertel vorübergehend auf knapp 500m, sonst liegt sie zwischen 800m und 1200m Seehöhe. Der Wind weht mäßig, in höheren Lagen auch lebhaft, aus West bis Nordwest. Frühtemperaturen 1 bis 5 Grad, Tageshöchsttemperaturen 3 bis 8 Grad.

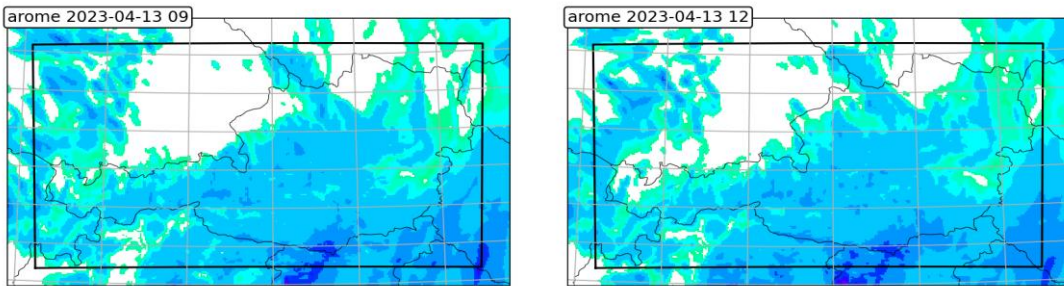
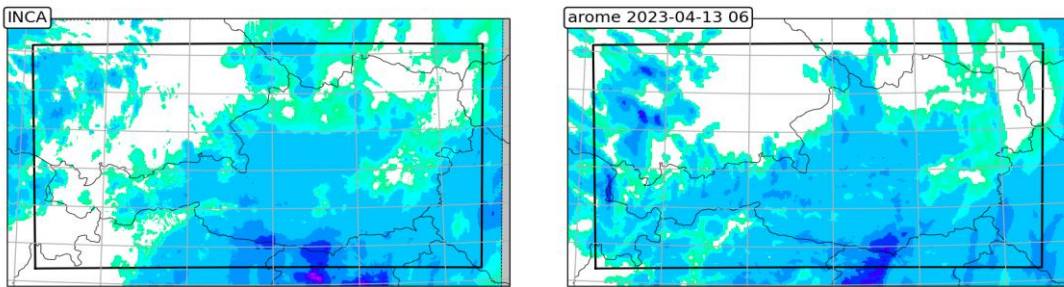
Am 13.4. 2023 hatte sich ein Tief über dem Mittelmeer gebildet und eine Kaltfront erreichte den Norden Österreichs, die dann zum 14.4. 2023 langsam Richtung Osten zog. Die Niederschläge waren dabei großflächig und über den ganzen Tag verteilt. Sie wurden von allen Modellen in ihrem zeitlichen Ablauf gut erfasst. Die regionalen Modelle waren gegenüber den globalen Modellen (ECMWF, ICON) in der Lage einzelne Stunden mit stärkeren Niederschlägen präziser abzubilden, INCA, das im Bereich von 12h noch stark von AROME gesteuert erfasste (wie AROME und ECMWF) bei den Punktprognosen von Gumpoldskirchen und Berndorf die Spitzenwerte erst mit kurzem Vorlauf mit größerer Präzision.

Die flächigen AROME Prognosen für diese 3 Tag zeigen die Gesamtmengen recht gut. Das schwache Maximum im Nordosten Niederösterreichs zwischen 12 und 15h wird von AROME allerdings in allen Läufen überzeichnet. Ebenso gibt es eine leichte Überzeichnung im nördlichen Waldviertel zwischen 15h und 18h. Der Zeitraum 18h bis 21h wird in allen Landesteilen sehr realistisch wiedergegeben.

Acc. Precip. [mm] from 20230414 12 to 20230414 15 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20230413 15 to 20230413 18 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20230414 18 to 20230414 21 UTC

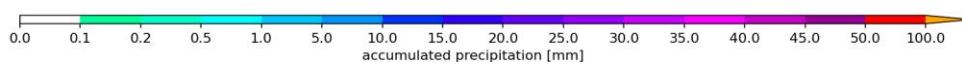
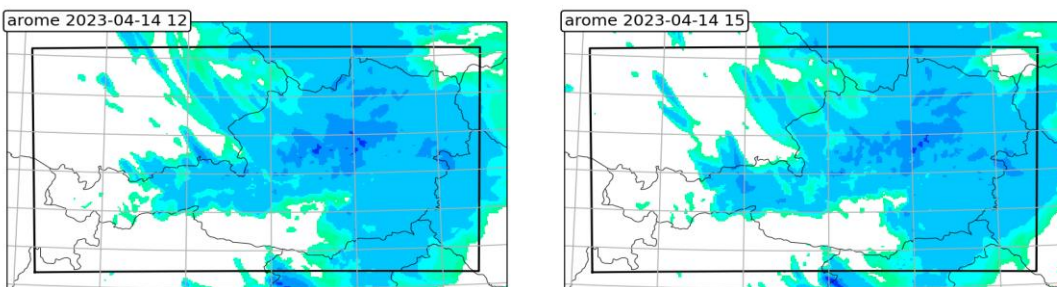
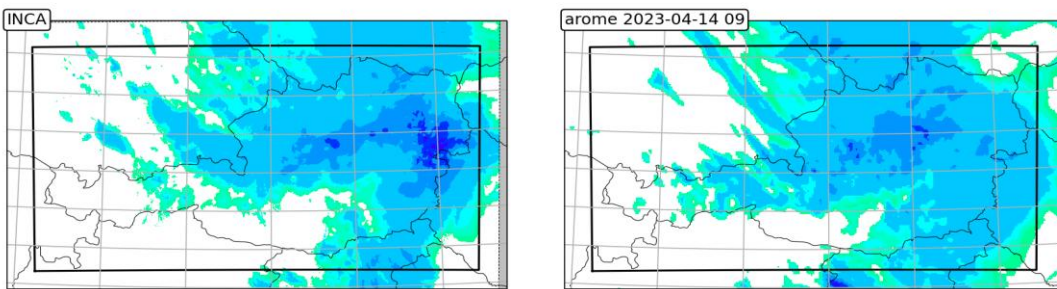
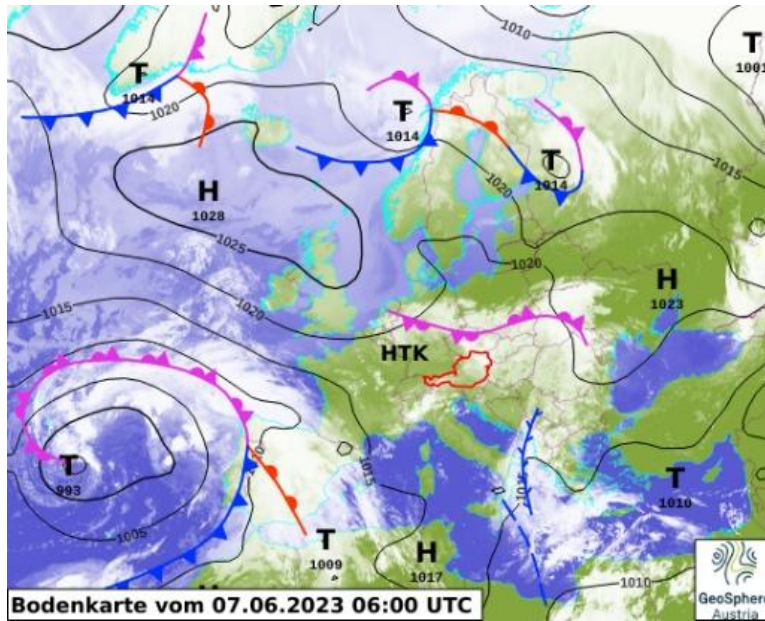


Abb. 41: INCA Analyse Summe Niederschlag, AROME-Felder für 14.4. 2023

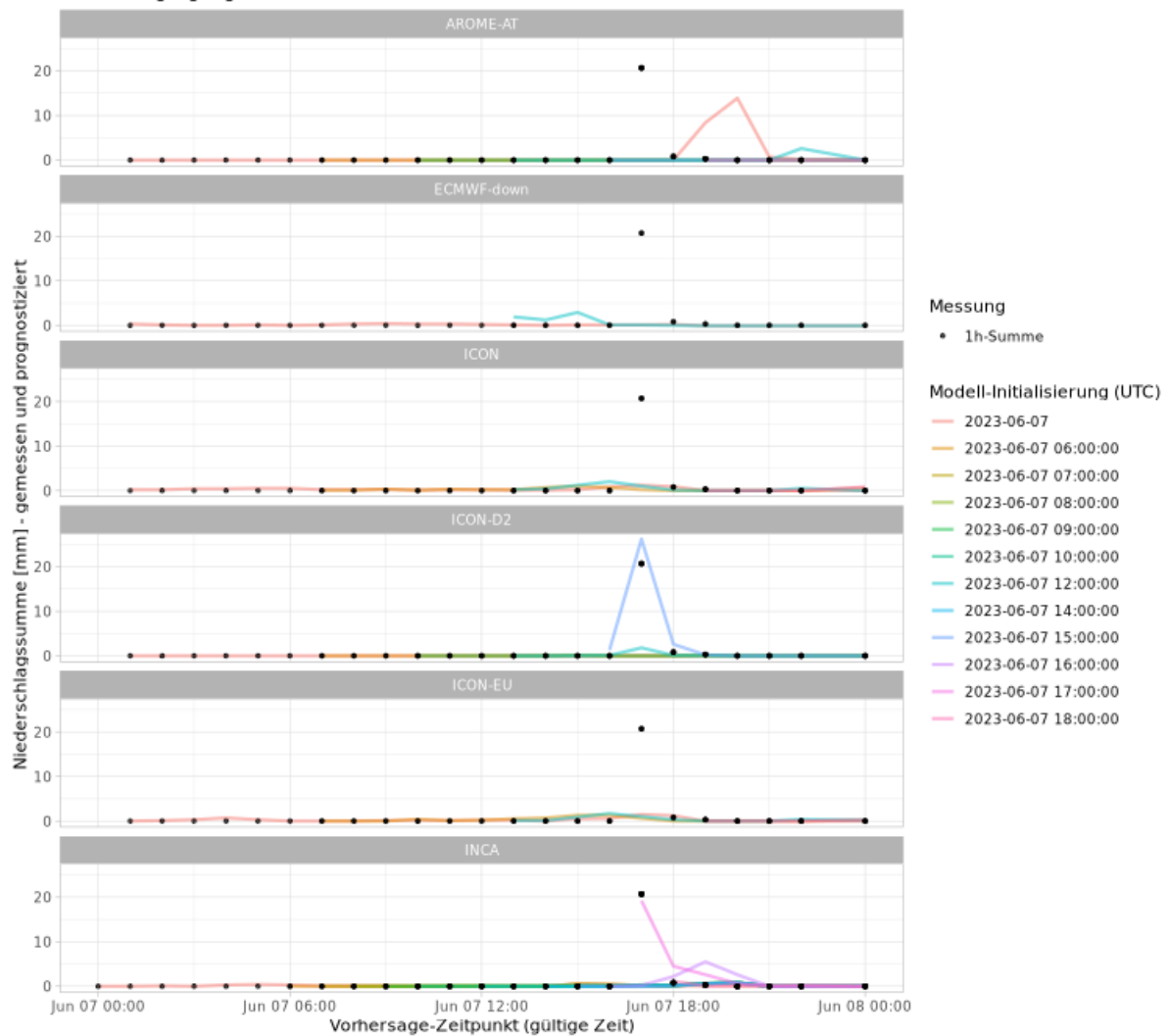
6.4. 7. Juni 2023

Hollabrunn, Wullersdorf, Brunn am Gebirge, Mödling: Starkregen führte zu überfluteten und verschlammten Straßen, Keller, überlasteten Kanälen und überfluteten Siedlungen.



LAA/TH.KLAERANLAGE: 1h Prognose / Messung (07.06.2023 00UTC - 08.06.2023 00UTC)

Modell-Ausgangslagen: 07.06.2023 00UTC - 07.06.2023 18UTC



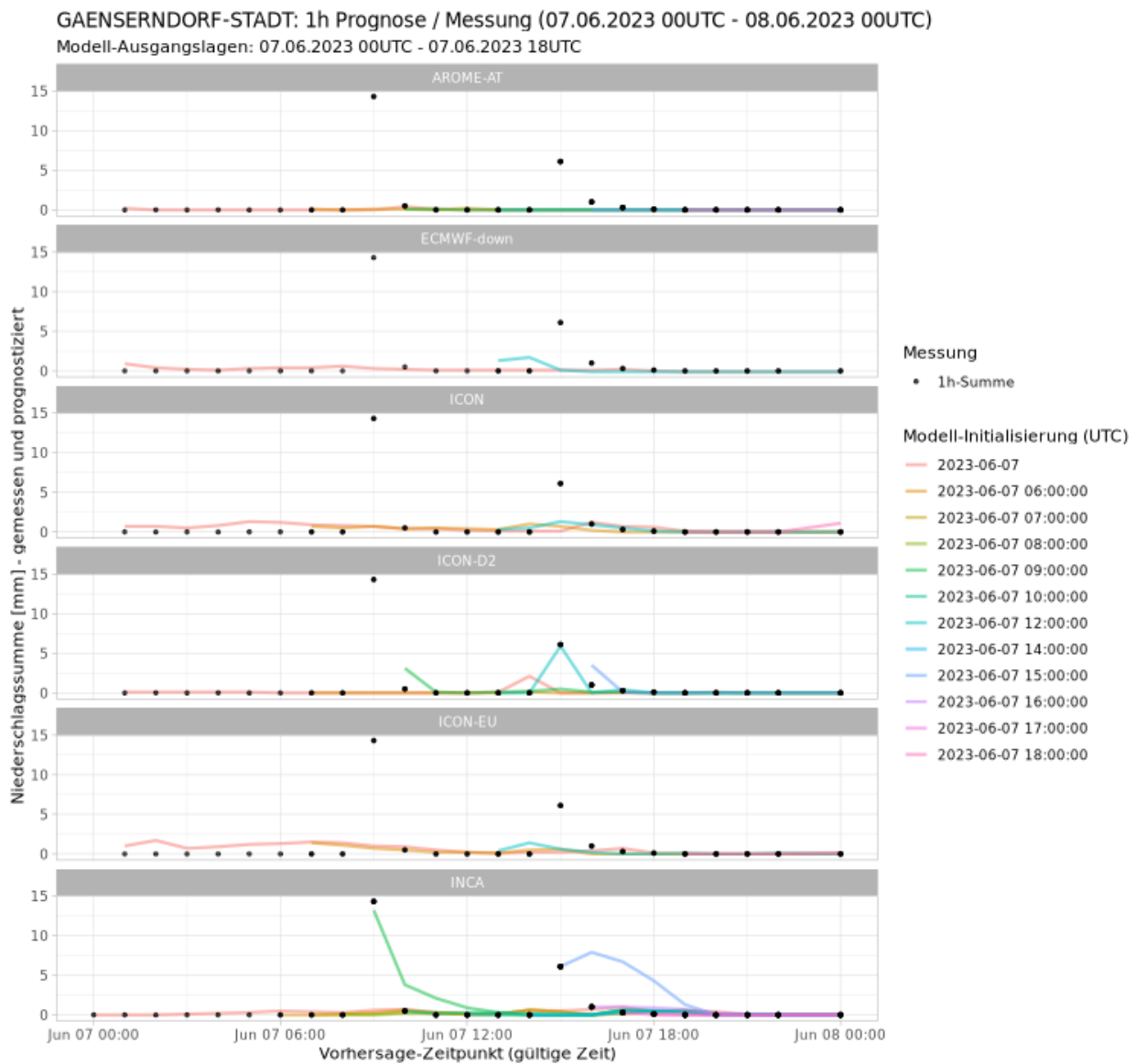


Abb. 42: Großwetterlage, Niederschlagsfelder und Prognosedaten 7. Juni 2023

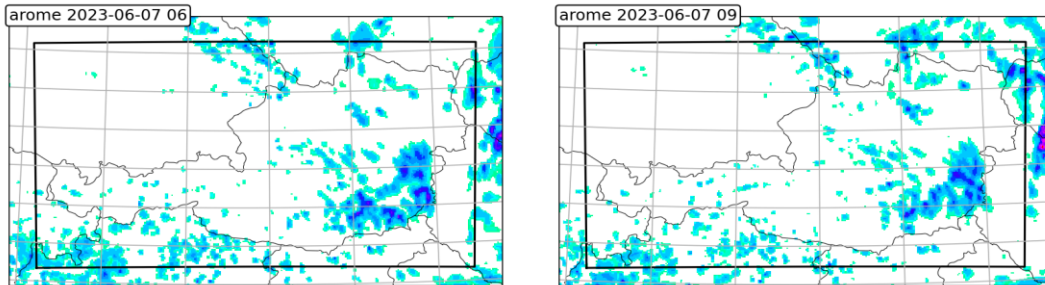
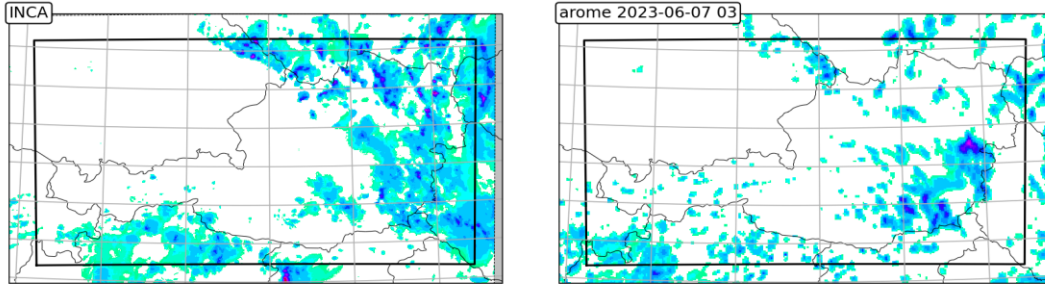
Prognose gültig ab 07.06.2023 06 Uhr UTC

Das Wetter bleibt anfällig für Regenschauer. Schon in der Früh und am Vormittag ziehen starke Wolkenfelder sowie Regenschauer durch, vor allem im Norden und Osten Niederösterreichs. Tagsüber lockert es zumindest zeitweise auf und es wechseln Sonne und Schauer ab, örtlich kann es auch gewittern. Der Wind weht schwach aus West bis Nord. Tageshöchsttemperaturen 20 bis 25 Grad.

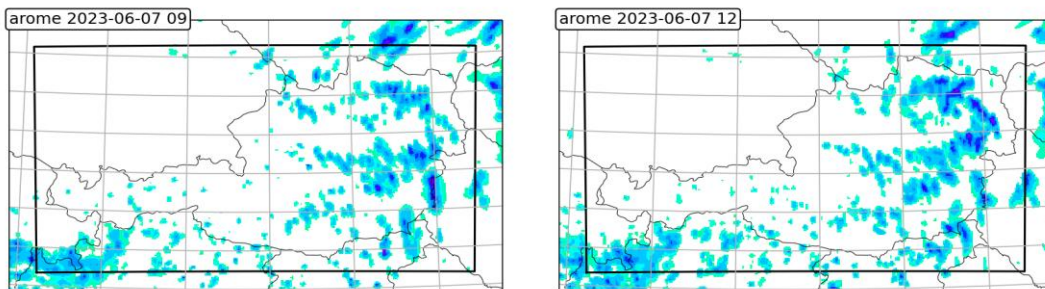
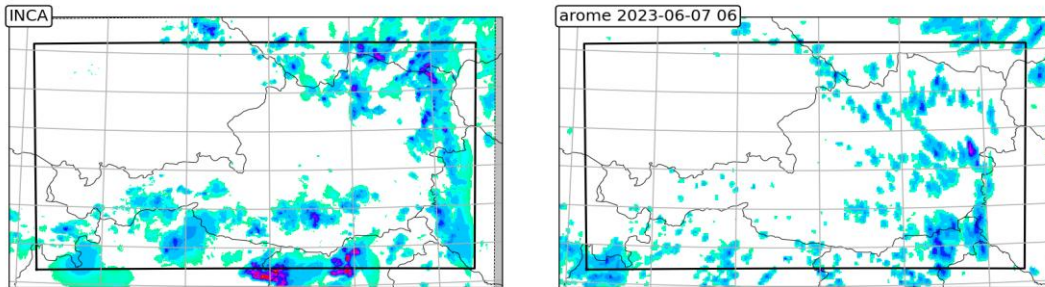
Ein Höhentief lag am 7.6. 2023 über den Alpen, die Zufuhr feuchtwarmer Luftmassen führte zu einer Labilisierung bereits am Vormittag dieses Tages. An beiden Punkten zeigten die regionalen Modelle kein frühzeitiges Signal für die konvektiven Ereignisse. Die kurzfristig örtlich sehr ergiebig ausfallenden Niederschläge um 17h in Laa an der Thaya wurden von ICON-D2 bereits mit dem 12h Lauf sehr gut erfasst, für INCA war dieses Ereignis erst kurzfristig, dafür aber mit großer Präzision sichtbar.

INCA Analyse und der Vergleich mit den AROME Feldern zeigen die sehr kleinräumige Struktur der Niederschläge, die vor allem frühen Nachmittag modellmäßig nicht wiedergegeben wurde. Die konvektiv auftretenden Niederschläge am späteren Nachmittag hingegen konnten ab dem 12h Lauf relativ gut erfasst werden, wenn auch räumlich leicht nach Westen verschoben.

Acc. Precip. [mm] from 20230607 12 to 20230607 15 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20230607 15 to 20230607 18 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20230607 18 to 20230607 21 UTC

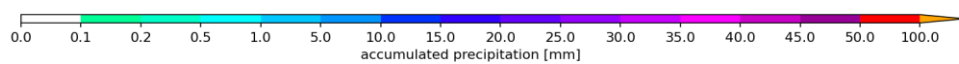
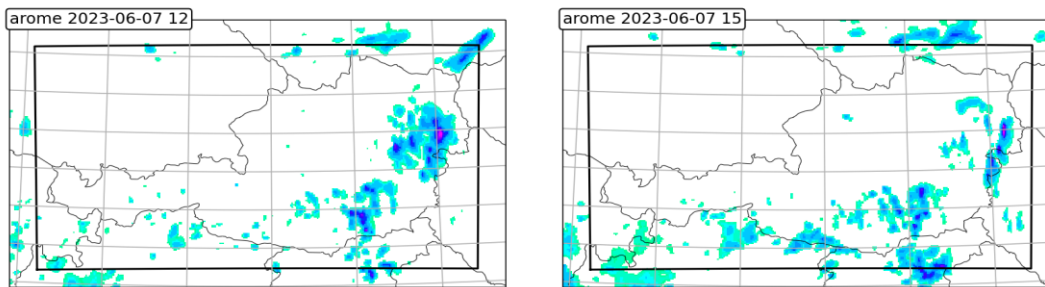
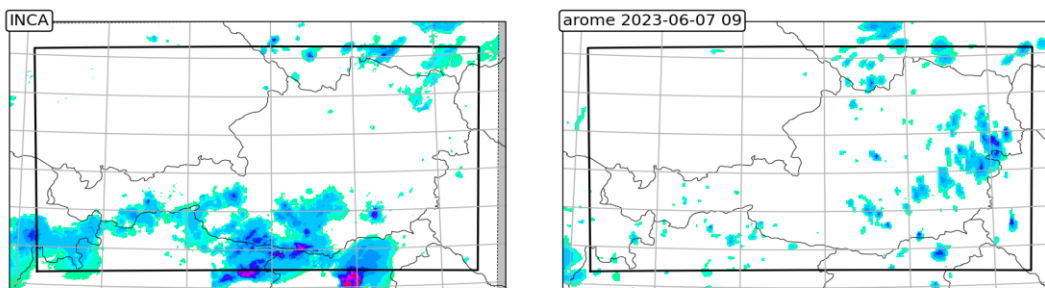
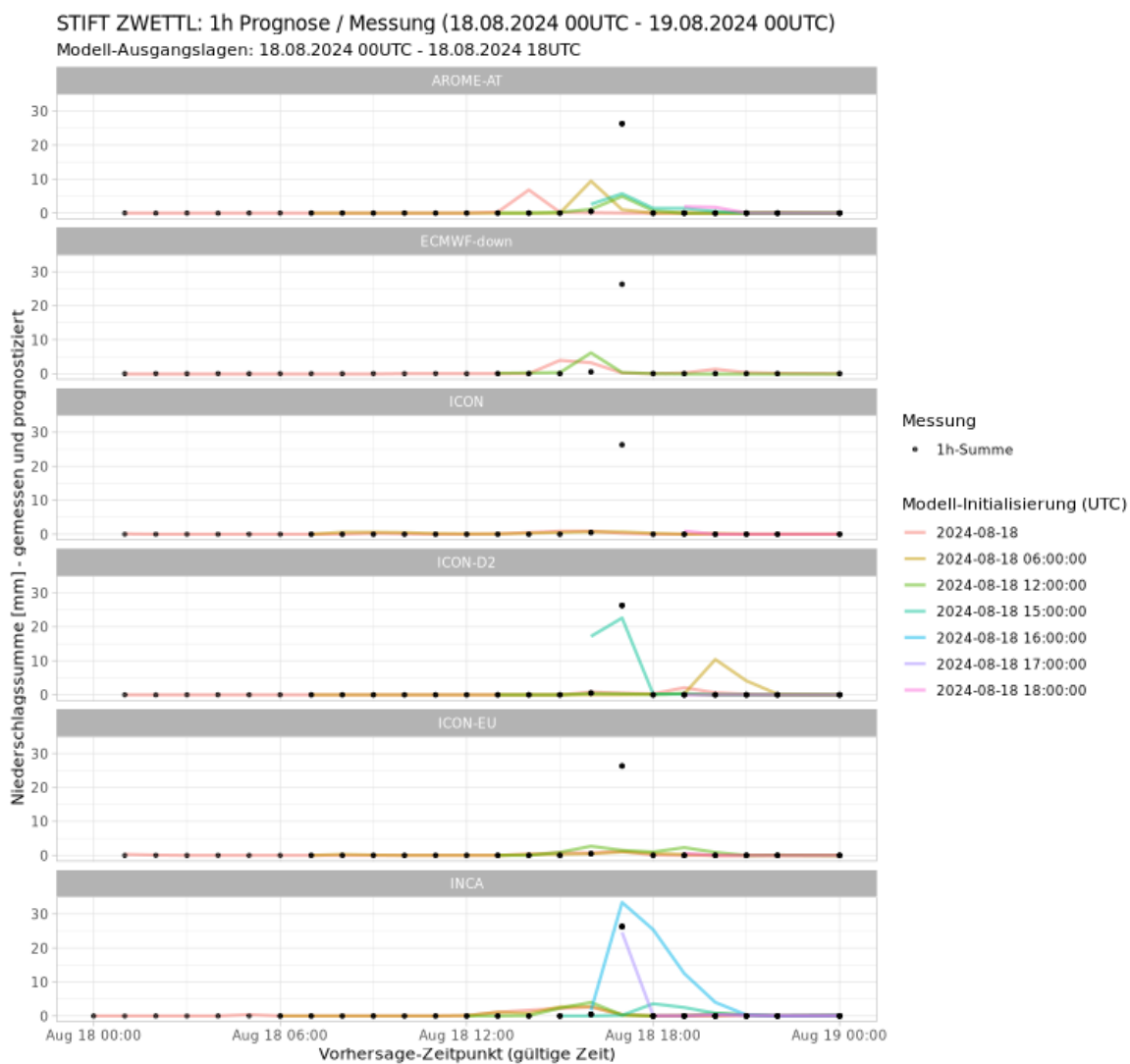
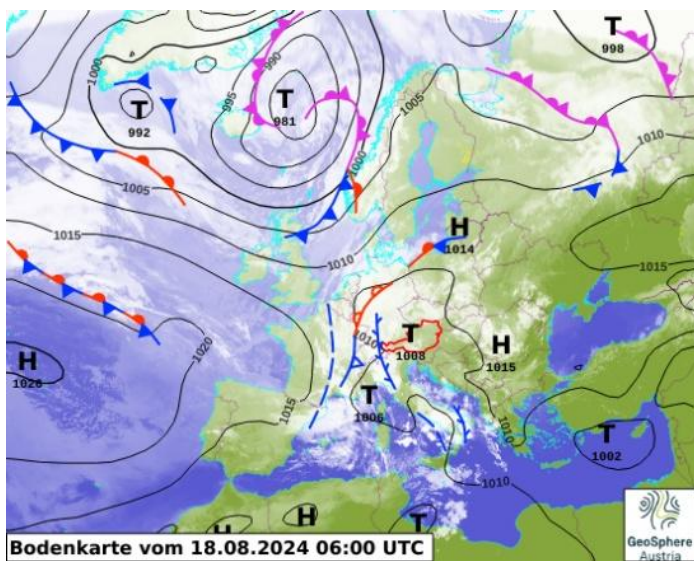


Abb. 43: INCA Analyse Summe Niederschlag, AROME-Felder für 7.6. 2023

6.5 18. August 2024

Gewitter mit Sturm, Starkregen und Hagel waren über das Land gezogen, den Bezirk Hollabrunn, St. Pölten sowie Wald- und Weinviertel, traf es mit Überschwemmungen schwer



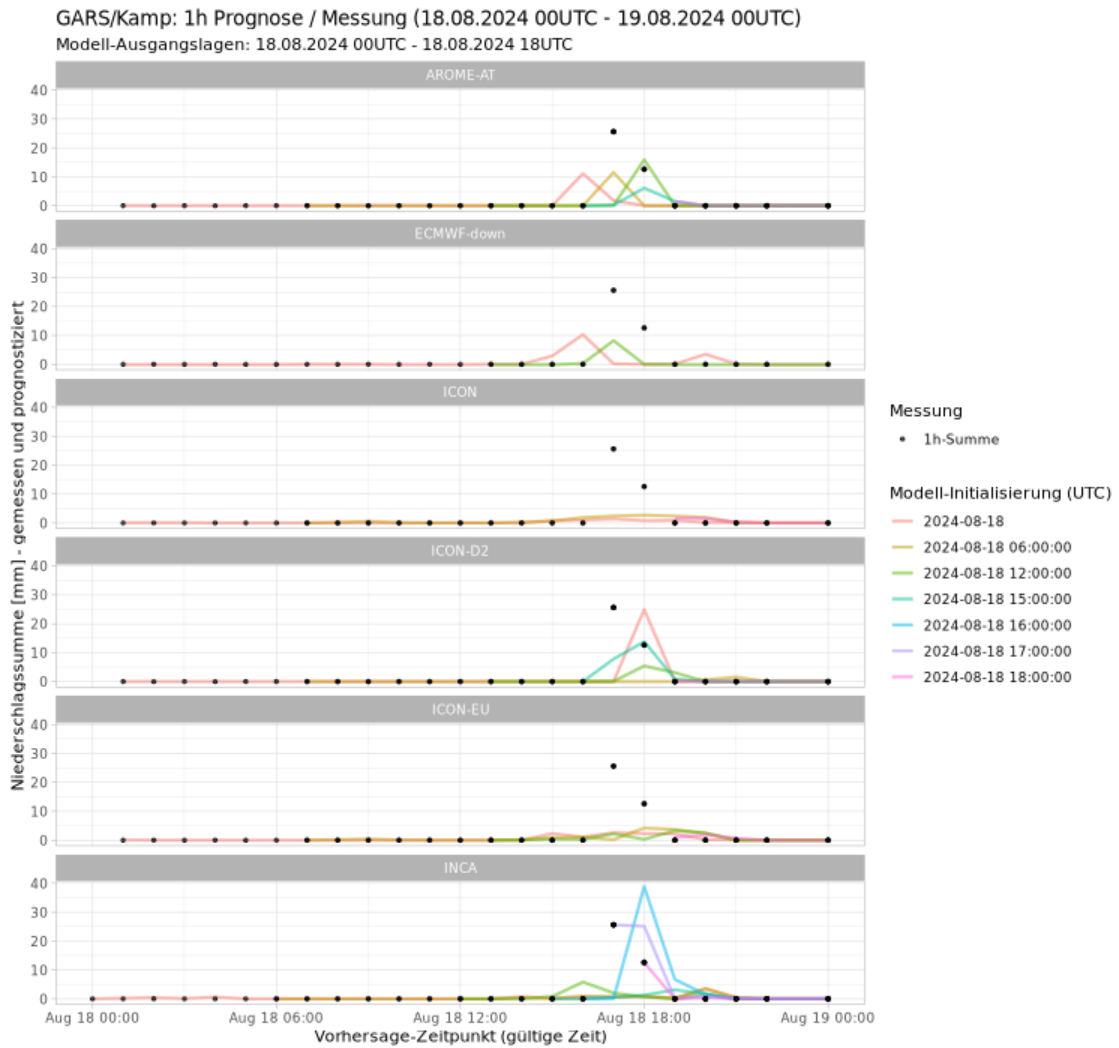


Abb. 44 Großwetterlage, Niederschlagsfelder und Prognosedaten 18. August 2024

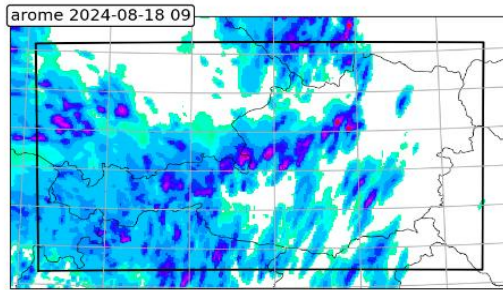
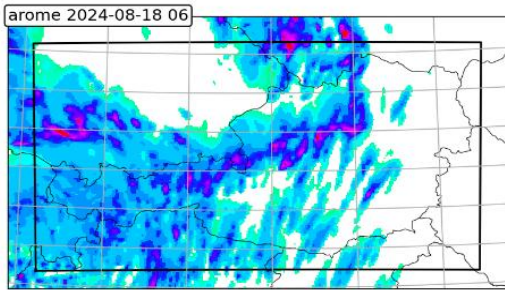
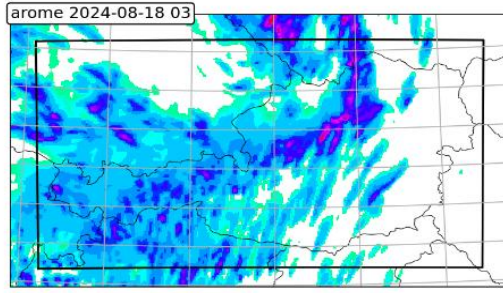
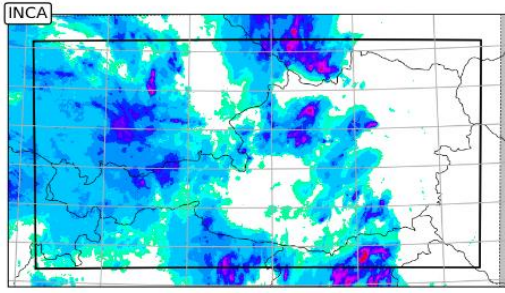
Prognose gültig ab 18.08.2024 06 Uhr UTC

Anfangs gibt es regional Restbewölkung oder Hochnebel. Spätestens im Laufe des Vormittages setzt sich aber überall die Sonne durch. Während der zweiten Tageshälfte wachsen Quellwolken empor und anschließend sind teils heftige Gewitter oder Regenschauer zu erwarten. Der Wind kommt schwach bis mäßig, ab dem Nachmittag mäßig bis stark, aus Südost bis West. Die Nachmittagstemperaturen liegen zwischen 26 und 33 Grad.

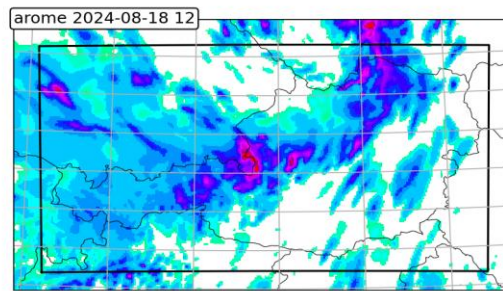
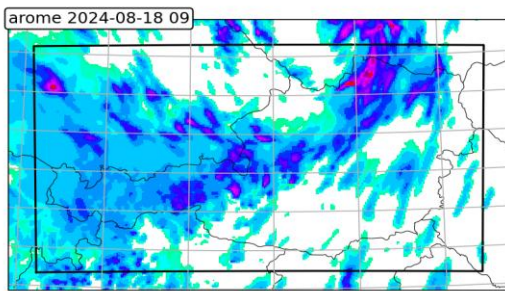
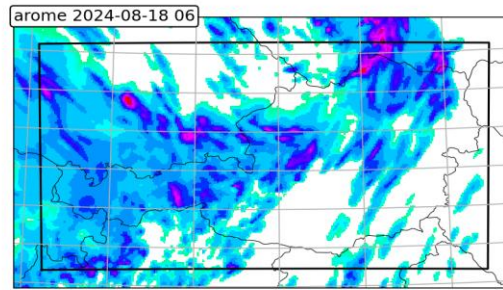
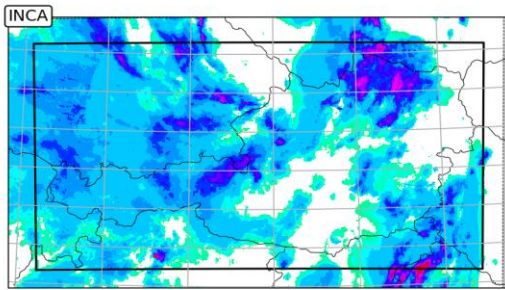
Am 18.8. 2024 lag ein Tief über den Alpen, von Norden war bereits am Vortag kühlere Luft eingesickert, die zu sehr feuchtlabilen Verhältnissen führte. Am Nachmittag dieses Tages (17h) brachten örtliche Gewitter Niederschlagsmengen von knapp 30mm, die sowohl von ICON-D2 als auch von INCA mit dem 16h Lauf korrekt prognostiziert wurden. Die globalen Modelle zeigten Niederschlagssignale für diesen Nachmittag, konnten aber die Details nicht vollständig auflösen, bzw. örtlich zuordnen.

Das Maximum im Norden Niederösterreichs am frühen Nachmittag war ein den ersten AROME Läufen zwar vorhanden, wurde beim letzten Lauf aber etwas abgeschwächt. Im Zeitraum 15 bis 18h konnte der Fortbestand dieses Maximums zwar wiedergegeben werden, AROME zeigte jedoch ein zweites Maximum am Alpennordrand, das sich jedoch nicht in dieser Form materialisierte.

Acc. Precip. [mm] from 20240818 12 to 20240818 15 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20240818 15 to 20240818 18 UTC



Acc. Precip. [mm] from 20240818 18 to 20240818 21 UTC

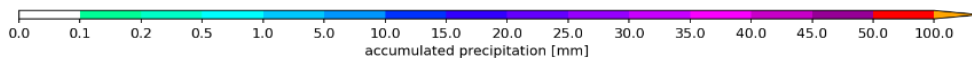
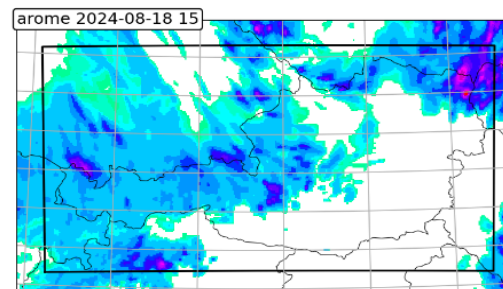
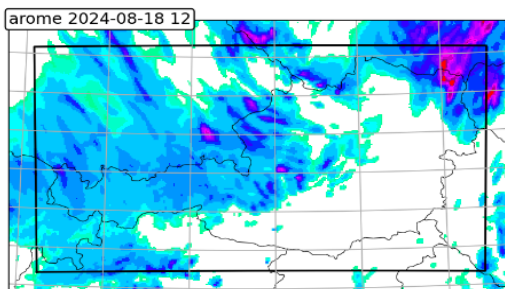
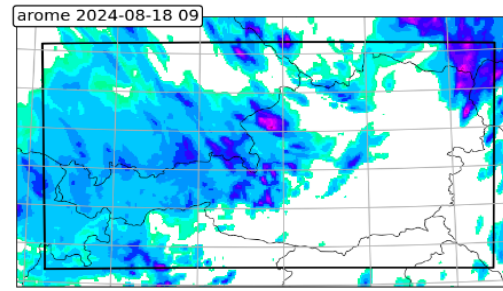
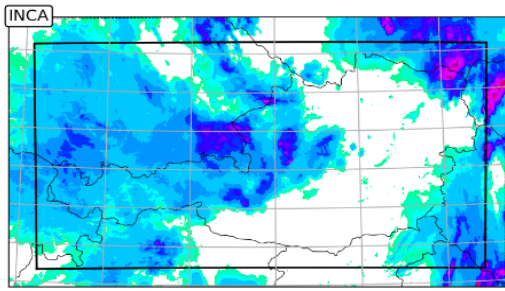


Abb. 45: INCA Analyse Summe Niederschlag, AROME-Felder für 7.6. 2023

7. Annex

7.1. Abkürzungen

AIFS	Artificial Intelligence/Integrated Forecasting System
AROME	Applications of Research to Operations at Mesoscale
C-LAEF	Convection-permitting Limited-Area Ensemble Forecasting system
COSMO	Consortium for Small-scale Modeling
CRPS	Continuous ranked prob score
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium Range Weather Forecast
FSS	Fraction Skill Score
GFS	Global Forecast System
GTS	Global Telecommunication System
ICON	Icosahedral Nonhydrostatic Model
IFS	Integrated Forecasting System (des ECMWF)
INCA	Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis

7.2. Modellbeschreibungen

Modell	Auflösung horizontal (km)	Auflösung vertikal (Zahl der Schichten)	Läufe pro Tag	Vorhersagehorizont (h)	Domäne	Datengrundlagen	Konzeptueller Ansatz, Stärken, Schwächen, Modellbetreiber
ECMWF 0,125	12,5	137	4	360	Global	Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS-Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld	<p>ECMWF (IFS) beschreibt mit Navier-Stokes-Gleichungen die Bewegung von Luftmassen, simuliert mit Strahlungstransfermodellen Sonnen- und Erdwärmestrahlung, modelliert die Feuchteprozesse (Konvektion, Wolkenbildung Verdunstung, Kondensation und Niederschlag, berücksichtigt den Einfluss der Bodenreibung und atmosphärischer Turbulenz und modelliert mit Ozean- und Landoberflächen-modellen die Interaktion zwischen Atmosphäre, Meeren und Landflächen, inklusive Vegetation und Bodenfeuchte.</p> <p>Im längerfristigen Vergleich schneiden die Ergebnisse des ECMWF Modells besser ab als alle anderen globalen Modelle, in Einzelfällen bzw. einzelnen Regionen können andere Modelle bessere Ergebnisse aufweisen.</p> <p>Modellbetreiber: ECMWF</p>

ECMWF HRES	9	137		360	Global	Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS-Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld	s.o. mit etwas höherer räumlicher (9km) Auflösung Modellbetreiber: ECMWF
ECMWF-down	1	137	4	240	Downscaling der ECMWF -0,125 to 1 km (INCA-Domain)	Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld	s.o. mit einem an das Endprodukt von ECMWF angehängten statistischem Downscalingverfahren Modellbetreiber: ECMWF
AIFS	25	137	4	360	Global, ECMWF mit AI Input	Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld	AIFS verwendet die Grundlagen von IFS und optimiert mit AI die Ergebnisse Modellbetreiber: ECMWF
GFS	28	68	4	384	NOAA, Global	Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld	GFS beschreibt wie ECMWF mit Navier-Stokes-Gleichungen die Bewegung von Luftmassen, simuliert mit Strahlungstransfermodellen Sonnen- und Erdwärmestrahlung, modelliert die Feuchteprozesse (Konvektion, Wolkenbildung Verdunstung, Kondensation und Niederschlag, berücksichtigt den Einfluss der Bodenreibung und atmosphärischer Turbulenz und modelliert mit Ozean- und Landoberflächenmodellen die Interaktion zwischen Atmosphäre, Meeren und Landflächen, inklusive Vegetation und Bodenfeuchte.

							<p>Die Parametrisierung einzelner Prozesse ist etwas anders als bei IFS. Die Wissenschaftler beider Institutionen (NOAA und ECMWF) stehen jedoch im engen Austausch. Die Qualität von GFS liegt im langfristigen Vergleich geringfügig unter der des IFS (ECMWF)</p> <p>Modellbetreiber: NOAA</p>
AROME AT	2,5	60	8	60	Europa	ECMWF boundary conditions, lokale Daten von Bodenstationen und Radiosonden	<p>AROME baut auf den boundary conditions von IFS auf und beschreibt wie ECMWF mit Navier-Stokes-Gleichungen die Bewegung von Luftmassen, simuliert mit Strahlungstransfermodellen Sonnen- und Erdwärmestrahlung, modelliert die Feuchteprozesse (Konvektion, Wolkenbildung Verdunstung, Kondensation und Niederschlag, berücksichtigt den Einfluss der Bodenreibung und atmosphärischer Turbulenz und modelliert mit Landoberflächen-modellen die Interaktion zwischen Atmosphäre, Meeren und Landflächen, inklusive Vegetation und Bodenfeuchte. Die höhere räumliche Auflösung und der zusätzliche Dateninput von lokalen Stationen bringen eine spürbare Qualitätsverbesserung im lokalen Bereich.</p>

							<p>Voraussichtlich ab Ende 2025 wird der AROME operationell mit 1km Auflösung gerechnet.</p> <p>Modellbetreiber: GeoSphere Austria</p>
C-LAEF CONTROL	2,5	60	2	48	Europa	ECMWF boundary conditions, lokale Daten von Bodenstationen und Radiosonden	<p>C_LAEF ist eine Ensemble Erweiterung von AROME die mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen 16 Versionen der gleichen Situation rechnet um mögliche, auch extreme Szenarien zu zeigen und eine Grundlage für die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Szenarien zu liefern.</p> <p>C-LAEF CONTROL ist der Control Lauf von diesen Ensembles, der dem AROME Lauf zwar ähnlich, läuft aber auf einem anderen Rechner und hat dadurch auf Grund leicht zeitlich unterschiedlicher Datengrundlagen in der Assimilation leicht unterschiedliche Ergebnisse zu AROME.</p> <p>Modellbetreiber: GeoSphere Austria</p>
C-LAEF1k CONTROL	1	60	2	48	Europa	ECMWF boundary conditions, lokale Daten von Bodenstationen und Radiosonden	<p>C_LAEF1k ist eine derzeit noch experimentelle Ensemble Erweiterung von AROME die mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen 16 Versionen der gleichen Situation in 1km Auflösung rechnet um mögliche, auch extreme Szenarien zu zeigen und eine Grundlage für die</p>

							<p>Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Szenarien zu liefern. C-LAEF1k CONTROL ist der Control Lauf von diesen Ensembles. Voraussichtlich ab Ende 2025 wird der C-LAEF1k CONTROL Lauf operationell- Modellbetreiber: GeoSphere Austria</p>
ICON	13	120	8	180	Global	<p>Globale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld;</p>	<p>ICON beschreibt wie ECMWF mit Navier-Stokes-Gleichungen die Bewegung von Luftmassen, simuliert mit Strahlungstransfermodellen Sonnen- und Erdwärmestrahlung, modelliert die Feuchteprozesse (Konvektion, Wolkenbildung Verdunstung, Kondensation und Niederschlag, berücksichtigt den Einfluss der Bodenreibung und atmosphärischer Turbulenz und modelliert mit Ozean- und Landoberflächen-modellen die Interaktion zwischen Atmosphäre, Meeren und Landflächen, inklusive Vegetation und Bodenfeuchte. ICON kommt in der Qualität der Ergebnisse sehr nah an ECMWF heran und hat in regionalen Einzelfällen dies sogar übertroffen. Modellbetreiber: DWD</p>

ICON-EU	7	74	8	78	Europa	Regionale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld; Boundary conditions aus dem ICON global	ICON-EU verwendet ICON als Randbedingung rechnet aber für Europa mit einer höheren Auflösung und erzielt dadurch in diesem Gebiet bessere Ergebnisse. Modellbetreiber: DWD
ICON-D2	2,1	74	8	27	Deutschland, Schweiz, Österreich Teile der übrigen Nachbar-staaten	Regionale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden und aus dem maritimen Umfeld; Boundary conditions aus dem ICON global	Für die Gebiete von Deutschland, Schweiz und Österreich werden mit ICON-D2 nochmals höhere Auflösungen und einige zusätzliche Daten von lokalen Stationen verwendet, um zu besseren Ergebnissen zu gelangen, wie auch im Vergleich für Niederösterreich 12.-16.9. 2024 gezeigt wurde. Modellbetreiber: DWD
INCA / INCA+	1	21	144	48	Österreich und Umgebung, Blending von AROME und ECMWF mit Gewichtung (INCA+ umfasst eine etwas größere Domain)	Boundary conditions von ECMWF, AROME. Regionale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS und zusätzliche lokale Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden	INCA und INCA+ sind Nowcastingverfahren, die unmittelbar gewonnenen lokalen Beobachtungen und Satellitendaten mit den Modellergebnissen von AROME und IFS (ECMWF) in einem blendingverfahren (Mischverfahren) kombinieren, um die jeweils letzten Informationen für eine Verbesserung der Modellergebnissen zu verwenden. Die hohe Auflösung und die rasche zeitliche Abfolge (bis zu 10 min Intervallen) bringen im Nowcasting

							deutliche Vorteile. In späteren Vorhersagezeiträumen von 2 bis 6 Stunden gleichen sich die Ergebnisse durch das Blendingverfahren an die Werte von AROME und ECMWF an. Modellbetreiber: GeoSphere Austria
INCA-OPT	1	21	144	24	Österreich und Umgebung. Optimale Wichtung zur Fehlerminimierung	Boundary conditions von ECMWF, AROME. Regionale Satellitendaten mit aktiven und passiven Sensoren, GTS und zusätzliche lokale Daten von Flugzeugen, Bodenstationen und Radiosonden	Funktioniert wie INCA mit einem zusätzlichen statistischen Verfahren zur Fehlerminimierung. Modellbetreiber: GeoSphere Austria
DWD MOS-MIX S	-	1	2	240	MOS Verfahren, global, wird für 5400 Stationen berechnet	ICON-D2 Datengrundlage optimiert mit MOS Verfahren für Klimadaten einzelner Stationen	Das Model Output Statistic Verfahren (MOS) verbessert für einzelne Stationen die Ergebnisse. Zunächst nur für Temperatur verwendet, hat für Niederschlag mäßige Ergebnisse Modellbetreiber: DWD
Model B				360	Global	Nicht bekannt	Modellbetreiber: Nicht bekannt
Model C				108	Global, amerikanischer Anbieter	Nicht bekannt	Modellbetreiber: Nicht bekannt
Model D				360	Global	Nicht bekannt	Modellbetreiber: Nicht bekannt
Model E					Global	Nicht bekannt	Modellbetreiber: Nicht bekannt
Model H					Global	Nicht bekannt	Modellbetreiber: Nicht bekannt

7.3. Literatur

ⁱ Krug, A., et al. (2022). Moisture sources of heavy precipitation in Central Europe in synoptic situations with Vb-cyclones. *Clim Dyn* **59**, 3227–3245 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06256-7>

ⁱⁱ Lledó L, 2023: Scale-dependent verification of precipitation and cloudiness at ECMWF. ECMWF Newsletter 174

ⁱⁱⁱ Skok, G. & N. Roberts, 2016: Analysis of Fractions Skill Score properties for random precipitation fields and ECMWF forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **142**(700), 2599–2610. [Doi:10.1002/qj.2849](https://doi.org/10.1002/qj.2849)

^{iv} Skok, G. & N. Roberts, 2016: Analysis of Fractions Skill Score properties for random precipitation fields and ECMWF forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **142**(700), 2599–2610. [Doi:10.1002/qj.2849](https://doi.org/10.1002/qj.2849)

^v Roberts, N. (2008), Assessing the spatial and temporal variation in the skill of precipitation forecasts from an NWP model. *Met. Apps*, 15: 163-169. <https://doi.org/10.1002/met.57>

^{vi} Mittermaier, M. P., 2021: A “Meta” Analysis of the Fractions Skill Score: The Limiting Case and Implications for Aggregation. *Mon. Wea. Rev.*, 149, 3491–3504, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0106.1>.

^{vii} T. Haiden et. al., 2023: Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2023 upgrade; ECMWF Technical Memo 911