Beiträge zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft
c/o Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin
58/21 http://www.berliner-wetterkarte.de ISSN 0177-3984
SO 43/21 28.07.2021

Die Flutkatastrophe im Juli 2021 in Mitteleuropa aus meteorologischer Sicht

Dennis Schneider, Petra Gebauer

Mitte Juli 2021 führte eine Trogwetterlage in Mitteleuropa zu einer schweren Naturkatastrophe. Besonders betroffen waren West-/Südwestdeutschland, Belgien sowie im weiteren Verlauf auch Sachsen und Bayern. Mit Stand vom 27. Juli 2021 starben laut Medienberichten bei dem Ereignis über 215 Menschen, allein mindestens 184 in Deutschland. Es ist gemessen an der Opferzahl die schwerste Naturkatastrophe seit der Sturmflut 1962 an der Nordseeküste. Damals starben 340 Menschen.
Die Folgen der Stark- und Dauerregenfälle waren verheerend. In einigen Ortschaften wurden Wasserstände gemessen, wie sie noch nie vorkamen. Die hohen Opferzahlen sind im Jahr 2021 erschreckend, in den Medien und der Politik wird nun versucht, herauszufinden, warum dies geschehen konnte und warum das Warnmanagement nicht bei der Bevölkerung ankam. Dies soll in dieser Beilage nicht diskutiert werden, die Prognose der Meteorologen und Hydrologen war äußerst genau, die Folgen dieser prognostizierten Zahlen konnten nicht interpretiert werden oder wollten nicht geglaubt werden (Meinung des Autors). Vielmehr soll hier der meteorologische Hintergrund beleuchtet werden, der in den Medien kaum erwähnt wird. Maximal wurde von „Tief **BERND**“ oder von „Trogwetterlage“ gesprochen. Begriffe wie „Okklusion“ wurden beispielsweise gar nicht erwähnt.

Meteorologische Vorgeschichte und Ablauf

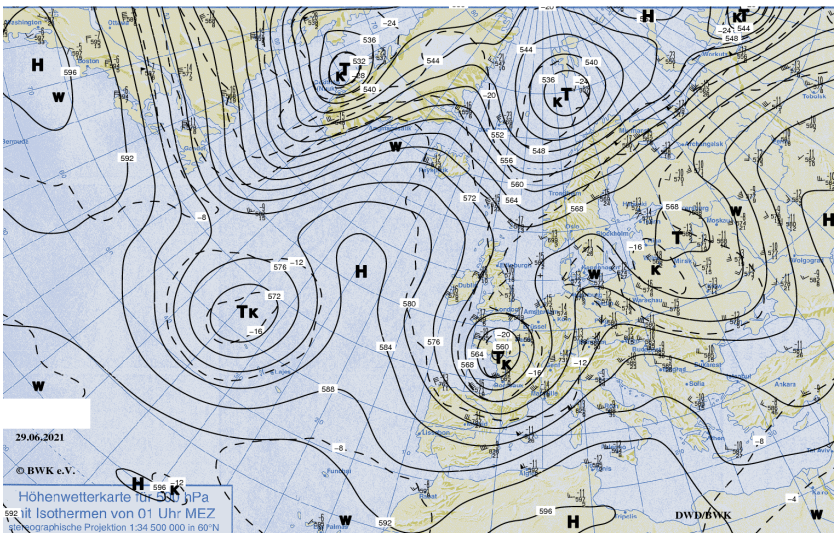
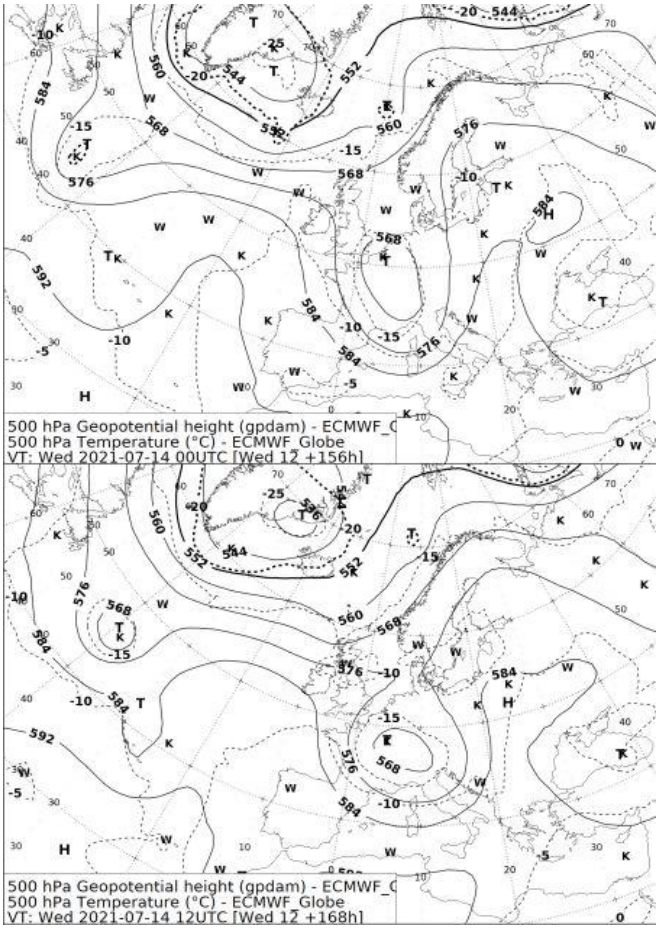


Abb. 1: 500 hPa-Karte am 29. Juni 2021 um 00 UTC, BWK

Ende Juni 2021 stellte sich ein ausgeprägtes Trog-Keil-Trog-Muster bzw. eine Omega-wetterlage ein. Das östlichere Höhentief beeinflusste mit dem Bodentief **XERO** Mitteleuropa mit kräftigen Niederschlägen. Am 30. Juni fielen in Ludwigsburg in der Uckermark in 24 Stunden knapp **199 mm**. Durch das Relief der Uckermark kam es hier nicht zu Überflutungen. Das zu diesem Zeitpunkt über dem Nordatlantik liegende Hochdruckgebiet, sollte in der Folge eine entscheidende Rolle einnehmen. Anfang Juli 2021 stellte sich ausgehend von diesem Keil über Skandinavien eine blockierende Wetterlage ein. Vom 1. bis 15. Juli verlagerte sich im 500 hPa-Niveau das Höhenhoch bzw. der Höhenrücken extrem langsam vom Nordmeer in Richtung westliches Russland und Schwarzes Meer. In 15 Tagen verlagerte sich das Drucksystem nur um rund 4000 km. Dies entspricht 267 km pro **Tag**! Das Ganze geschieht im 500 hPa-Niveau, wo der

Jetstream 200 bis 500 km pro **Stunde** erreicht! Anfang Juli 2021 verschob sich das ganze Omega-Muster nach Osten. Deutschland kam in den Bereich des schwachen Höhenrückens, sodass sich unter dem Hochdruckgebiet **BEATE** eine kurze Wetterberuhigung einstellte. Die blockierende Antizyklone über Skandinavien erhielt am 4. Juli von den MeteorologInnen der Berliner Wetterkarte den Namen **CORNELIEKE**. Mit weiterer Ostverlagerung gelangte Deutschland in den Bereich des westlichen Höhentiefs (siehe Abb. 1). Die Bodentiefs **YAP** und **ZYPRIAN** sorgten für teils kräftige Schauer und Gewitter. Am 8. Juli fielen im Bereich der schleifenden Kaltfront des Tiefs **ZYPRIAN** im Süden und Südwesten Deutschlands in 24 Stunden gebietsweise über 50 mm, Neresheim in Baden-Württemberg vermeldete mit **96,1 mm** den Höchstwert. Aufgrund der blockierenden Antizyklone **CORNELIEKE** entwickelte sich über dem Alpenraum das Tief **ARNO**, welches sich anschließend auf Vb-artiger Bahn in Richtung Ostsee verlagerte. Im Bereich der Okklusion gab es in der Mitte und im Nordosten ergiebige Niederschläge. 24-stündig fielen gebietsweise über 50 mm, die höchste Menge vermeldete Bergen auf Rügen mit **96,7 mm**.



Wie oben erwähnt, blieb die Antizyklone über Osteuropa stationär. Bereits am 09. Juli befand sich das Höhentief, welches die katastrophalen Regenfälle auslösen sollte, südlich von Grönland. Die Modelle deuteten schon länger eine ausgeprägte Troglage über Mitteleuropa an. Abbildung 2 zeigt die Prognose der geopotentiellen Höhe im 500 hPa-Niveau des ECMWF vom 7. Juli 2021 – also ganze 7 Tage vor dem Ereignis. Die Prognose ist für den 14. Juli, 00 UTC und 12 UTC, also 156 h und 168 h im Voraus. Die Lage des Höhentiefs wurde von dem Modell erstaunlich präzise berechnet. Am Freitag, den 9. Juli, schrieb der Verfasser dieser Beilage am Ende der Übersicht der Berliner Wetterkarte: „*Am Montag und Dienstag könnte sich ein Tief von Frankreich her über Deutschland einkringeln und erneut kräftige Regenfälle und Gewitter bringen*.“ Der Montag und Dienstag sind in dem Fall der 12. und 13. Juli, das Hauptstarkregenereignis war am 14. Juli.

Abb. 2: 500 hPa-Geopotential height-Prognose des ECMWF vom 7. Juli 2021 für den 14. Juli 2021, 00 UTC und 12 UTC, aus dem online-Bereich der Berliner Wetterkarte

Die Abbildung 3 zeigt die Zugbahn des Höhentiefs, welches zur Flutkatstrophe führte. Dargestellt ist jeweils das Zentrum des Tiefs um 00 UTC des jeweiligen Tages. Schön zu sehen ist, dass das Tief sich zunächst „normal“ dem Jetstream folgend ost- bis südostwärts verlagerte. Am 13. Juli erreichte das Tief den Süden Frankreichs, wo es sich aufgrund der blockierenden Antizyklone deutlich verlangsamte. Vom 14. auf den 15. Juli überquerte das Höhentief den Alpenraum und kam am 15. Juli knapp westlich von München zum Liegen. Das Höhentief hatte keine Möglichkeit sich wegzubewegen, wie deutlich in Abb. 4 zu erkennen ist. Östlich und westlich des Höhentiefs befanden sich ein Höhenrücken bzw. ein Höhenhoch. Man könnte von einem auf den Kopf stehenden oder umgekehrten Omega sprechen. Bei dieser stabilen Lage bewegte sich das Höhentief vom 15. zum 16. Juli gar nicht und blieb nahe München stationär. Erst am 17. Juli kippte die Achse des westlichen Höhenrückens nach Westen und der östliche Höhenrücken schwächte sich leicht ab, sodass das Höhentief südostwärts über die Alpen hinweg geschoben wurde und sich über Mittelitalien befand. Am 18. und 19. Juli stellte sich erneut ein Gleichgewicht ein, sodass das Höhentief östlich von Sizilien stationär wurde. Dadurch wurden auch in Ost- und Südosteuropa

Niederschläge ausgelöst, welche in ihrer Intensität aber nicht so hoch waren, wie die in Mitteleuropa. Am 20. Juli ließ sich nur noch ein Randtrog über Serbien ausmachen, der in der Folge von einem Kaltlufttropfen über Ungarn aufgenommen wurde.

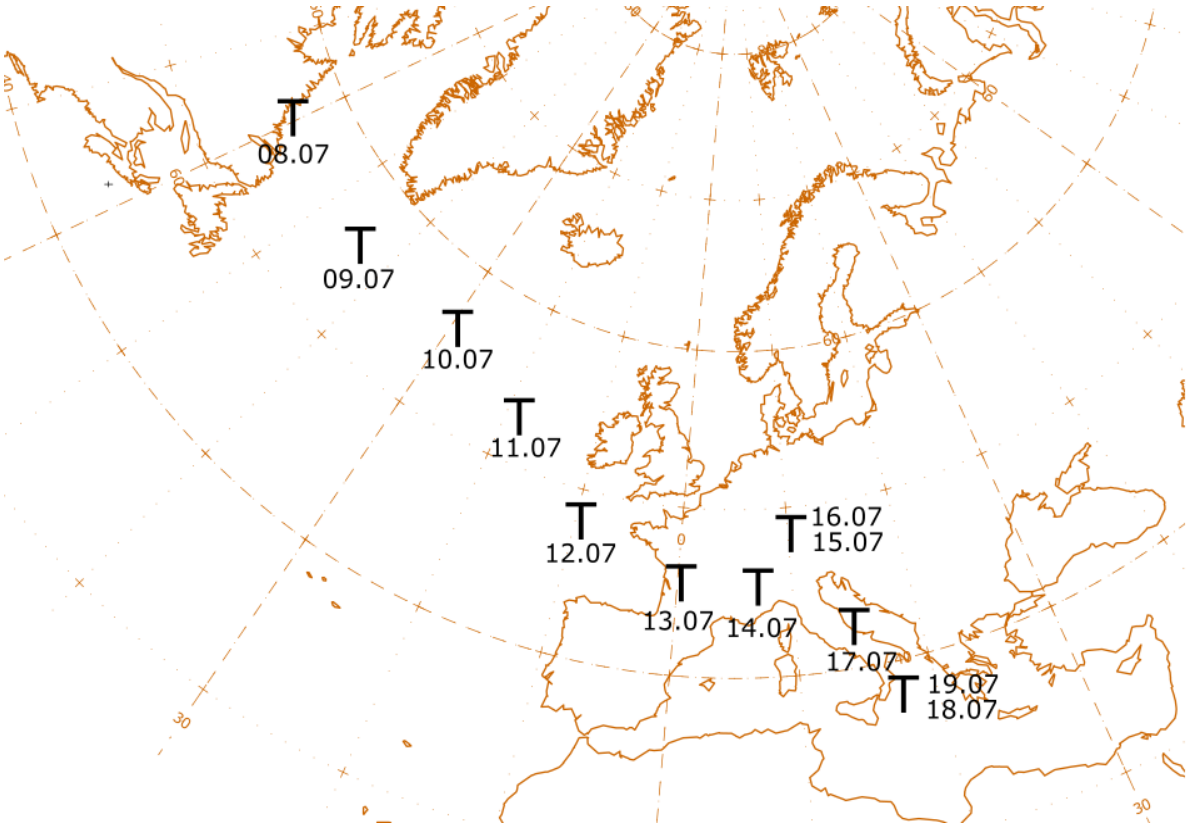


Abb. 3: Position des Kerns des Höhentiefs jeweils um 00 UTC, das die kräftigen Regenfälle über Mitteleuropa auslöste. Grafik erstellt von Dennis Schneider aus den 500 hPa-Karten der Berliner Wetterkarte

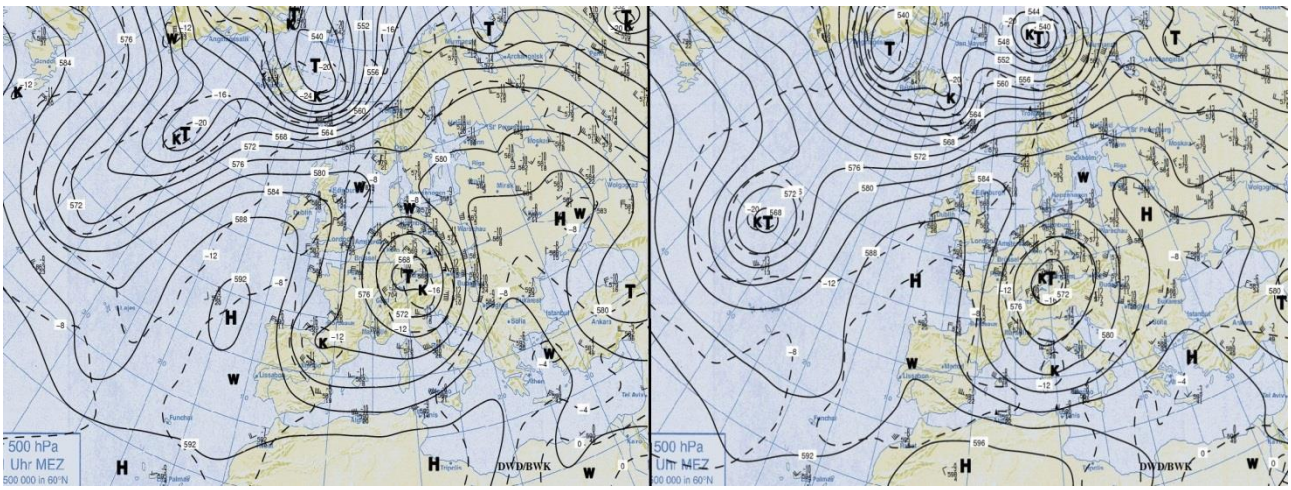


Abb. 4: Ausschnitt der 500 hPa-Karte vom 15. und 16. Juli 2021 um 00 UTC, Berliner Wetterkarte

Bereits im Vorfeld des Niederschlagsereignisses gab es eine Sättigung des Bodens. Nach den trockenen Jahren 2018 bis 2020 stellten sich im ersten Halbjahr 2021 immer wieder Wetterlagen mit ergiebigen Niederschlägen ein. Im Juni wurden vor allem Teile Süddeutschlands von zahlreichen Gewittersystemen überquert, wobei örtlich im Monat über 300 mm fielen (z.B. Biberach an der Riß in Oberschwaben mit 309,9 mm). Bis zum 13. Juli fielen bundesweit durchschnittlich rund 65 mm, welches im Vergleich zum Klimamittel 1991 bis 2020 zu diesem Zeitpunkt ein Plus von 30 mm darstellte. Vor allem in Bayern und Baden-Württemberg fielen bis zum 13. Juli bereits 50 bis 150 mm, in der Schweiz bis 200 mm. Die Konsistenz der Wetterlagen ist erstaunlich. So ähneln sich die Abläufe der Tiefs **ZYPRIAN**, **ARNO** und **BERND** sehr. Besonders **ARNO** und **BERND** sind auf der Bodenwetterkarte fast eine Eins zu Eins-Kopie.

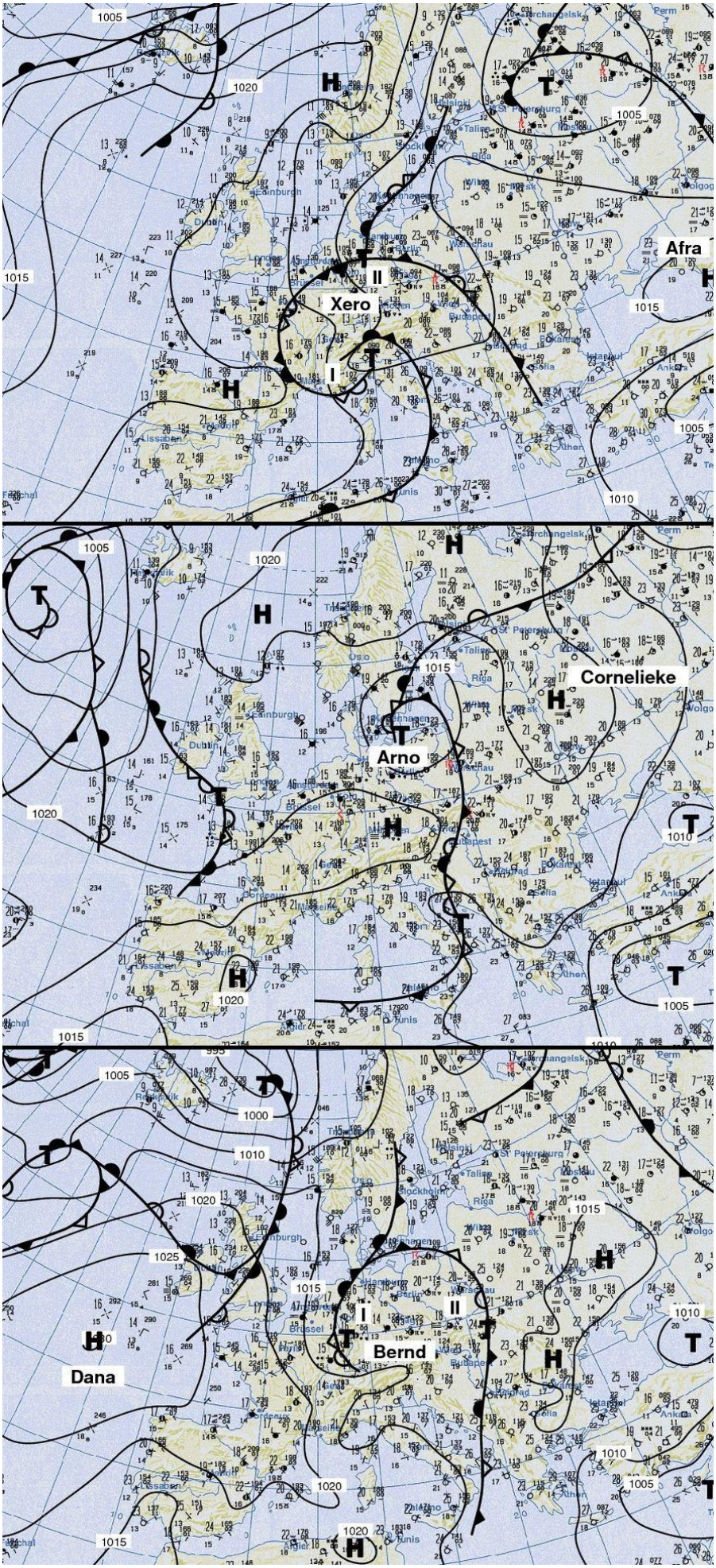


Abb. 5: Ausschnitt aus der Bodenwetterkarte (Berliner Wetterkarte) jeweils um 00 UTC. Oben ist das Tief **XERO** vom 30. Juni 2021, in der Mitte Tief **ARNO** am 10. Juli 2021 und unten Tief **BERND** am 15. Juli 2021 zu sehen.

Deutlich ist die Ähnlichkeit der Lagen erkennbar. Die Warmluftsektoren erstreckten sich jeweils über Nordostdeutschland bzw. über der Ostsee. **XERO** und **ARNO** zogen aufgrund der Strömungskonfiguration relativ schnell nord- bzw. ostwärts. Tief **BERND** kringelte sich aufgrund des oben beschriebenen Höhensetups genau über Deutschland ein. Ein nicht unerheblicher Faktor ist die Lage der langen Okklusion, welche schließlich über Westdeutschland zum Liegen kam Die warme Luftmasse gelangte um das Tief herum über Osteuropa und der Ostsee. Die Ostsee war zu diesem Zeitpunkt 20 bis 23°C warm, in Finnland gab durch die blockierende Antizyklone und dem damit verbundenen sonnigen und warmen Wetter sogar Werte von 25 bis 26°C. Dadurch wurde zusätzlich Energie in das System eingespeist. Schaut man sich die Rückwärtstrajektorien (Abb. 6) am 15. Juli um 00 UTC für Karlsruhe und München im 850 hPa-Niveau an, so wurden die Luftmassen von Polen über der Ostsee und Nordsee bogenförmig und weiter über Nordostfrankreich herangeführt. Potsdam befand sich

dagegen noch im Zustrom subtropischer Luftmassen aus dem Adria-Raum. Bereits an den Trajektorien lässt sich die zyklonale Drehung bzw. das Zentrum des Tiefs über Deutschland ausmachen.

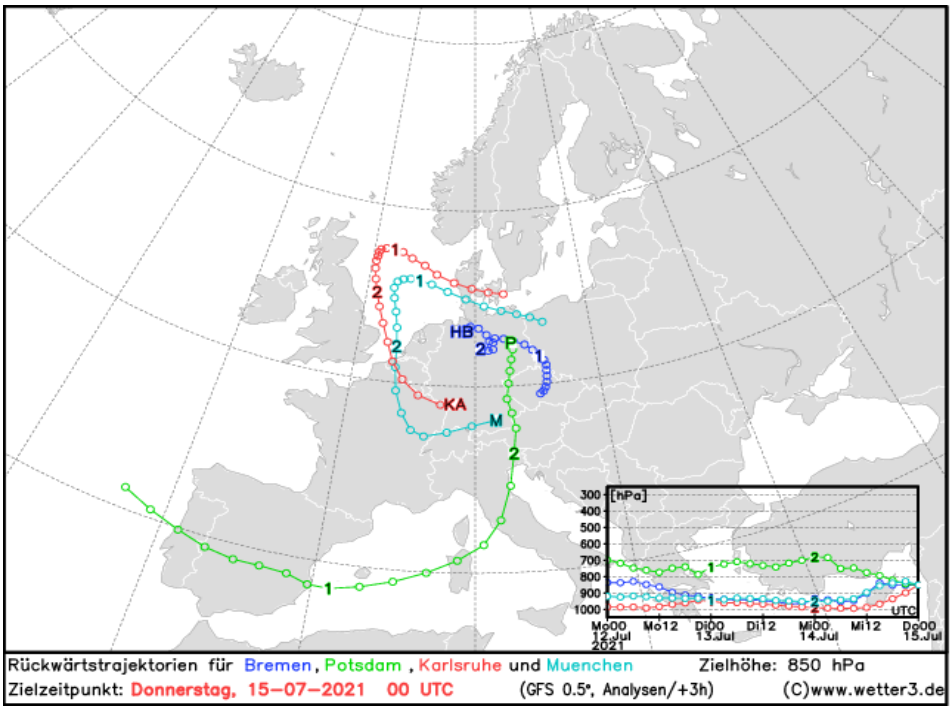


Abb. 6: Rückwärtstrajektorien der Luftmassen im 850 hPa-Niveau für Bremen, Potsdam, Karlsruhe und München am 15. Juli 2021 um 00 UTC. Quelle: www.wetter3.de

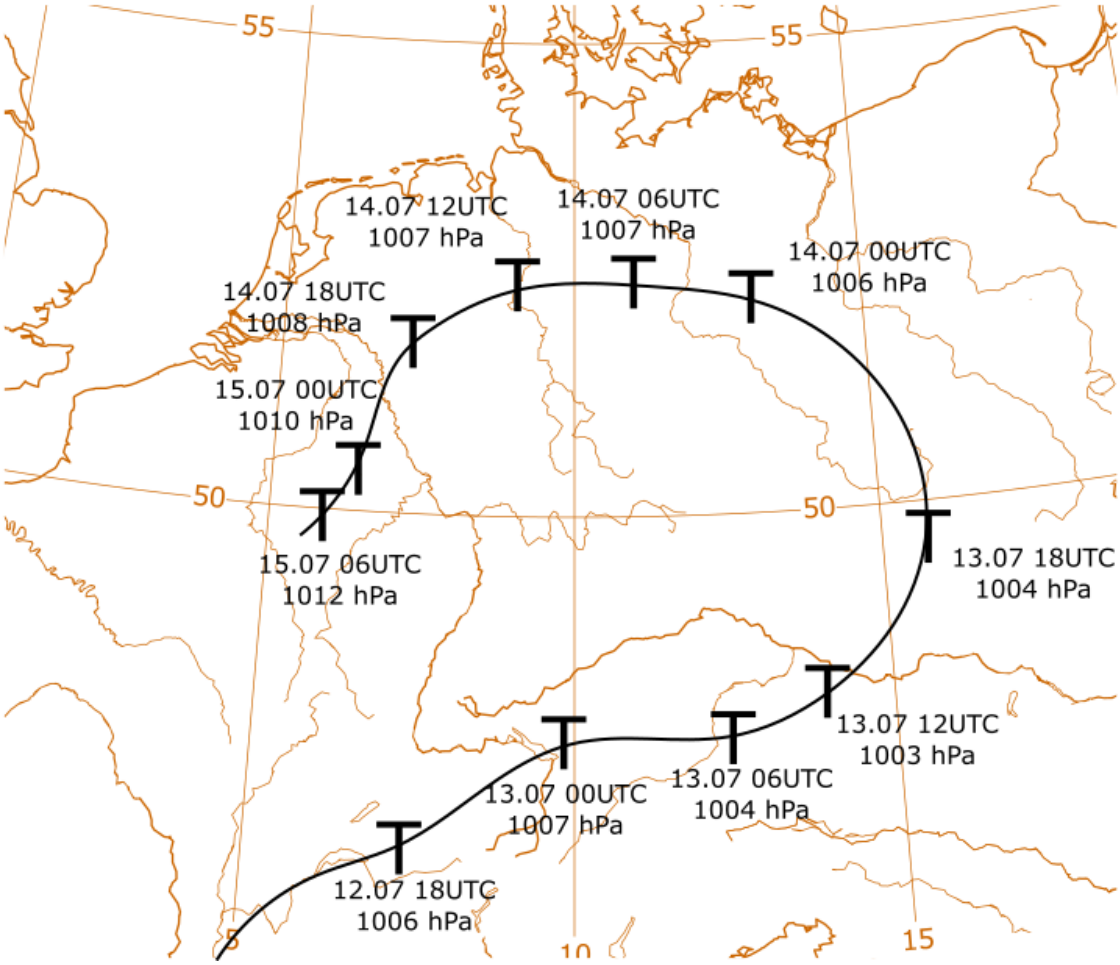


Abb. 7: Verlauf des Kerns von Tief **BERND** vom 12. Juli, 18 UTC, bis zur Auflösung am 15. Juli, 06 UTC. Grafik erstellt von Dennis Schneider aus den stündlichen Werten (online-Bereich der Berliner Wetterkarte)

Abbildung 7 zeigt den zeitlichen Ablauf der Verlagerung von Tief **BERND**. Den tiefsten Luftdruck wies die Zyklone mit rund 1003 hPa am Mittag des 13. Juli auf. Anschließend verlagerte sie sich unter Auffüllung auf Vb-artiger Zugbahn. Genau genommen handelt es sich aber nicht um eine Vb-Zugbahn, da das Bodentief sich nie über dem Mittelmeer befand (über Südfrankreich). Das Tief „beschleunigte“ sich in der Nacht zum 14. Juli im Bereich eines Gewittersystems (MCS), ehe es sich westlich von Berlin wieder mit Annäherung an das Höhentief verlangsamte. Erst im Laufe des Vormittags des 15. Juli füllte sich das Bodentief auf, da es zunehmend senkrecht unter dem Höhentiefkern stand (Vergleich Abb. 3). Davor befand sich **BERND** entwicklungstechnisch günstiger gelegen auf der Vorderseite des Höhentiefs.

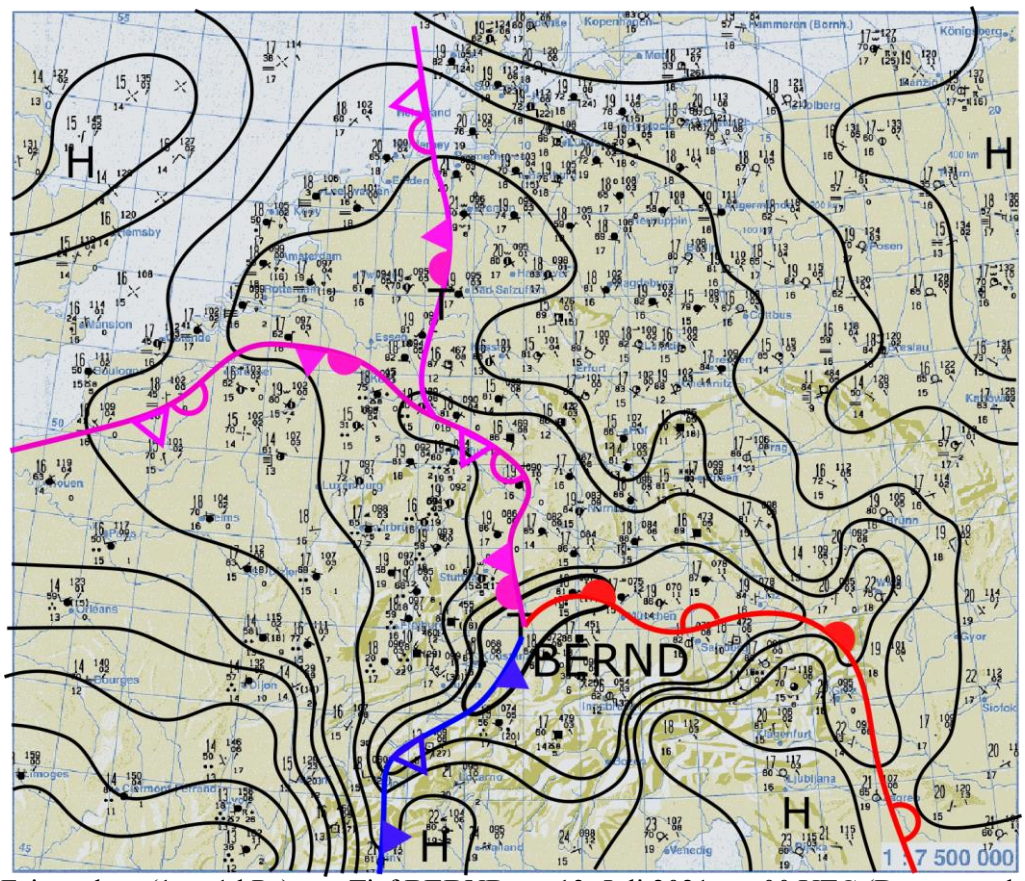


Abb. 8: Feinanalyse (1 zu 1 hPa) von Tief **BERND** am 13. Juli 2021 um 00 UTC (Daten aus dem online-Bereich der Berliner Wetterkarte). Karte erstellt von Dennis Schneider mit dem Programm Incscape.

Abbildung 8 zeigt, wie Tief **BERND** in der Nacht vom 12. zum 13. Juli über dem Alpenraum nahe dem Bodensee liegt. Der Südwesten und Westen Deutschlands gelangte bereits in den Bereich der Okklusion, sodass erste ergiebige Niederschläge auftraten. Im westlichen Baden-Württemberg fielen bis zum 06 UTC-Termin am 13. Juli 24-stündig 30 bis 50 mm, im besonders betroffenen Landkreis Ahrweiler (Rheinland-Pfalz) gab es 8 bis 15 mm. Tagsüber löste die Okklusion im Westen Regenfälle aus, welche von der Eifel bis zum Sauerland oftmals 30 bis 50, örtlich bis 96 mm (Hagen) betrugen. Im Landkreis Ahrweiler fielen vom 13. bis 14 Juli, 06 UTC, 9 bis 16 mm. Abbildung 9 zeigt Tief **BERND** westlich von Berlin. Zu diesem Zeitpunkt befand sich im Bereich der Okklusion ein sogenannter MCS, also ein großräumiges Gewittersystem, welches sich aber aufgrund ungünstiger Tageszeit abschwächte. Schön in Abbildung 11 links ist das bogenförmige Echo bei Berlin sichtbar. In Berlin-Dahlem brachte dieses System aber nur 3,2 mm. Die lange Okklusion, an der sich ein kräftiges Regengebiet befand, erstreckte sich weiterhin über Nordrhein-Westfalen bis in den Nordosten Frankreichs. In den nächsten 24 Stunden schwenkte die Front nur sehr langsam ostwärts und befand sich am 15. Juli um 00 UTC (Abb. 10) im Grenzgebiet von BeNeLux, Frankreich und Deutschland. Die intensivsten Niederschläge gab es am 14. Juli tagsüber. Hier verstärkten sich die Regenfälle tageszeitlich bedingt nochmals. Im westlichen Niedersachsen bildeten sich an der Grenze zur Warmluft gebietsweise kräftige Gewitter. Über Rügen zog am Nachmittag im Bereich der Okklusion ein Gewitterkomplex hinweg.

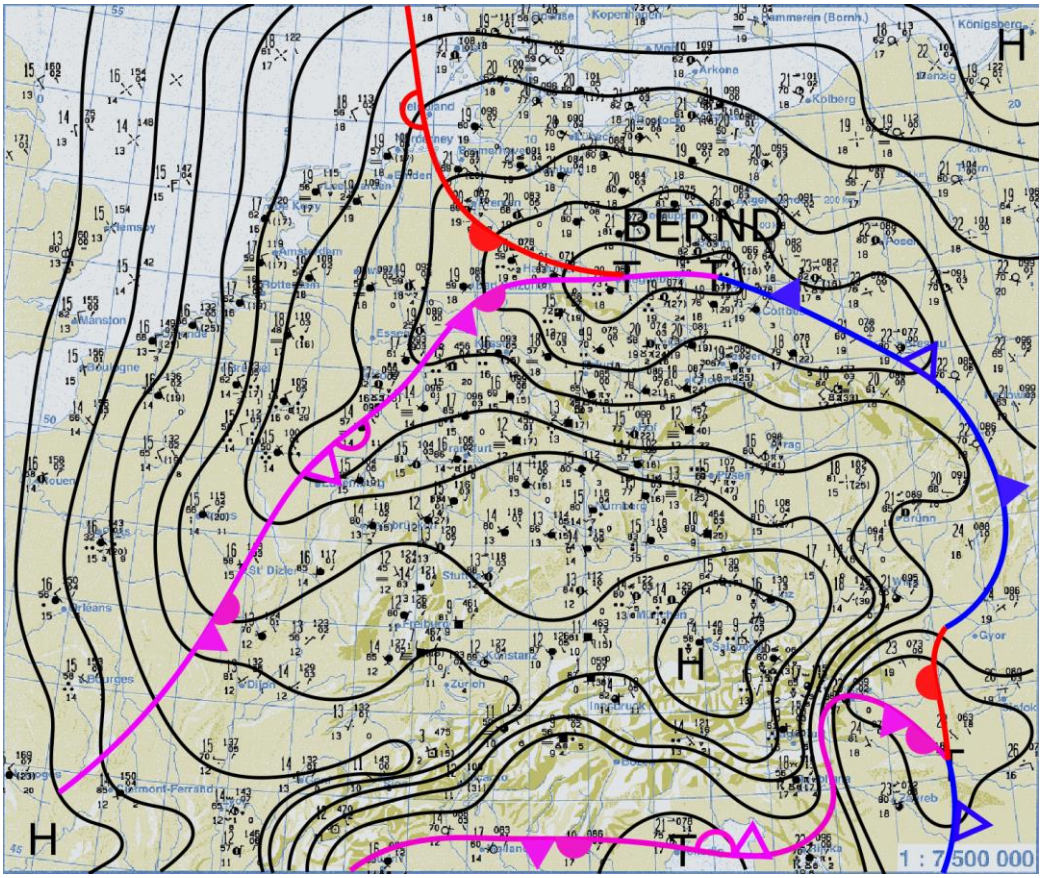


Abb. 9: Feinanalyse (1 zu 1 hPa) von Tief **BERND** am 14. Juli 2021 um 00 UTC (Daten aus dem online-Bereich der Berliner Wetterkarte). Karte erstellt von Dennis Schneider mit dem Programm Incscape.

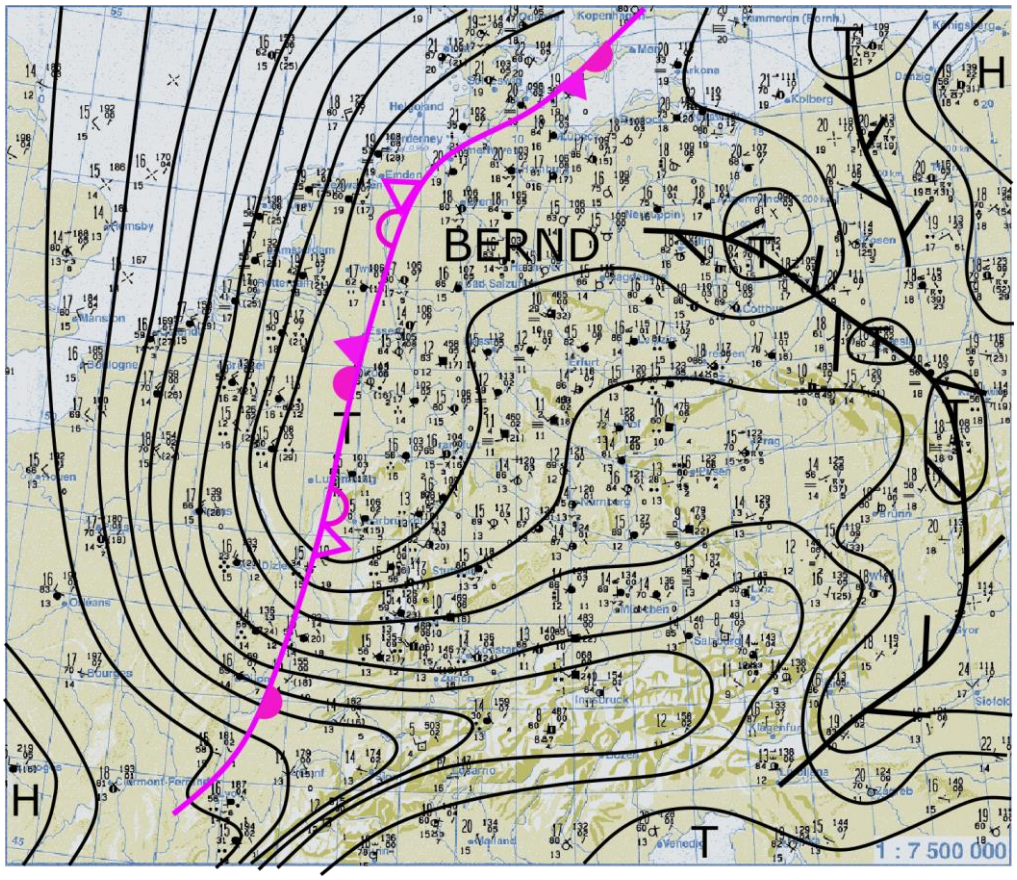


Abb. 10: Feinanalyse (1 zu 1 hPa) von Tief **BERND** am 15. Juli 2021 um 00 UTC (Daten aus dem online-Bereich der Berliner Wetterkarte). Karte erstellt von Dennis Schneider mit dem Programm Incscape.

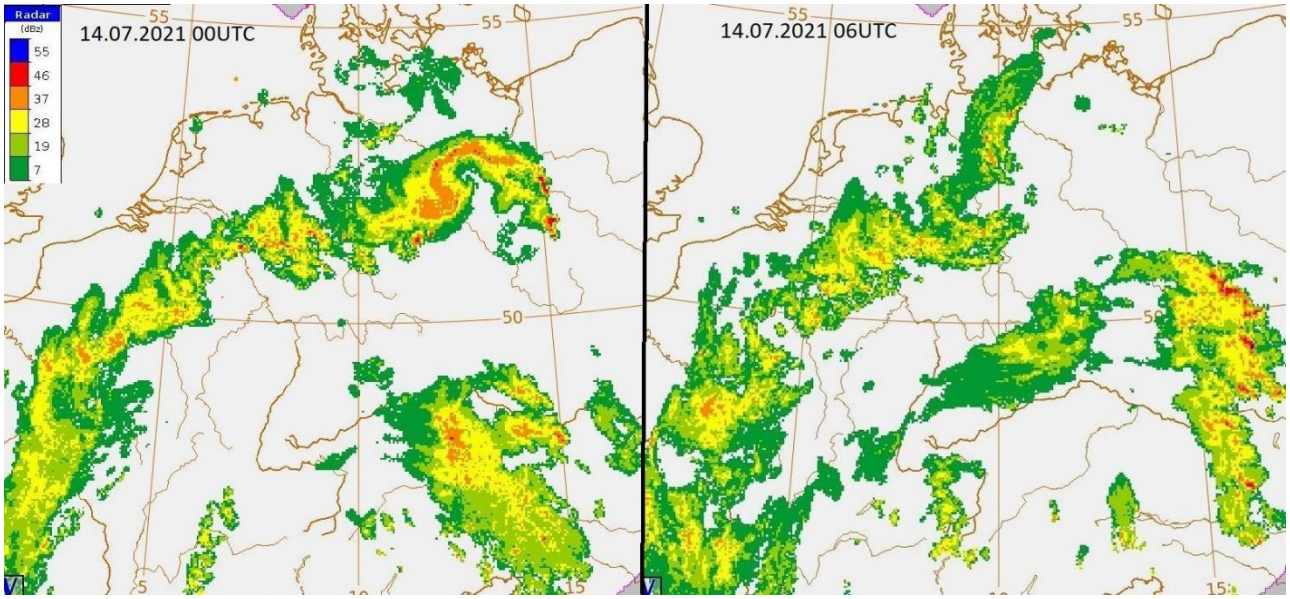


Abb. 11: Radarechos über Deutschland: links: 14. Juli um 00 UTC, rechts: 14. Juli um 06 UTC, Ninjo/DWD

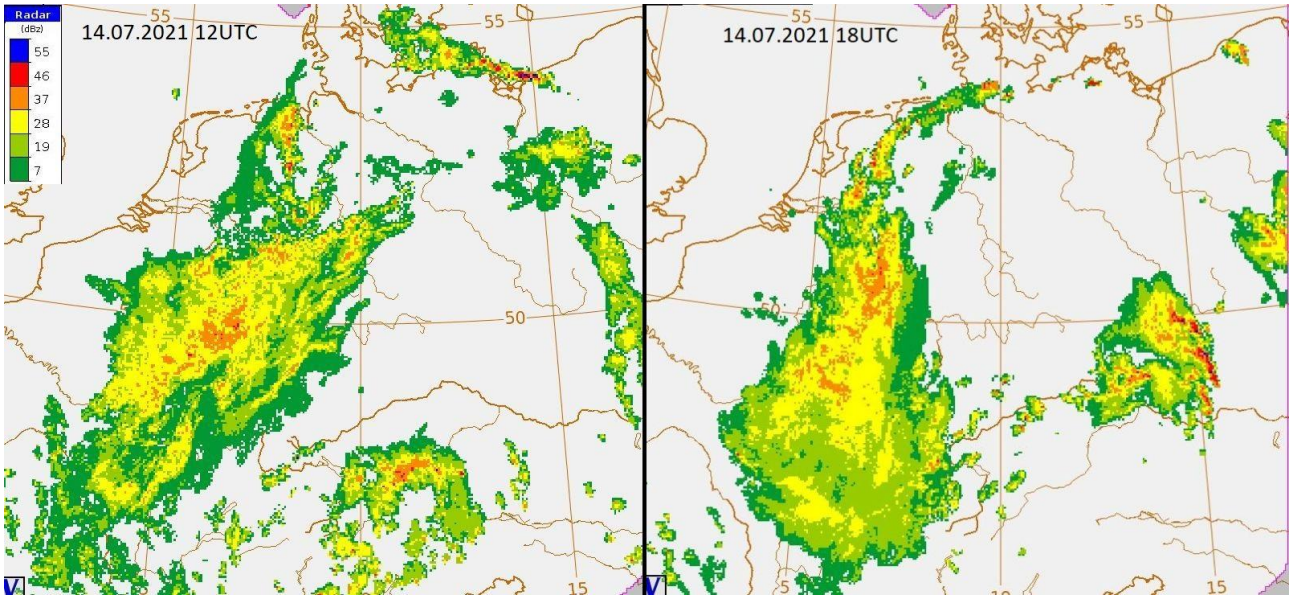


Abb. 12: Radarechos über Deutschland: links: 14. Juli um 12 UTC, rechts: 14. Juli um 18 UTC, Ninjo/DWD

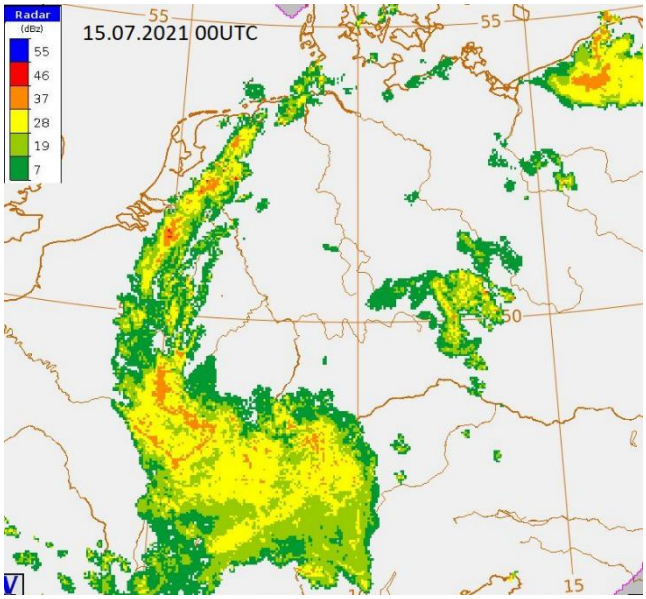


Abb. 13: Radarechos über Deutschland: 15. Juli um 00 UTC, Ninjo/DWD

Abb. 10 zeigt die lange Okklusion, welche eine Nord-Süd-Ausrichtung aufwies. Über Ostdeutschland bis nach Österreich blieb rückseitig des Frontensystems eine Tiefdruckrinne mit konvergenten Windströmungen zurück. In der tagesungünstigen Zeit gab es hier nur örtlich Schauer und Gewitter. Tagsüber bildeten sich vermehrt Schauer und Gewitter, welche beispielsweise in Altentreptow (MV) **43,5 mm** am 14. Juli brachten. In der Folge verlagerten sich die Okklusion bzw. die feucht-warmen Luftmassen langsam ostwärts und lösten am 17. und 18. Juli im Nordstau der Alpen und des Erzgebirges erneut kräftige Niederschläge aus, die dort ebenfalls zu einem Hochwasser führten.

Niederschlagswerte

Ort/Station	Bundesland	Tagesniederschlag 06 UTC bis 06 UTC Folgetag in mm	Datum
Köln/Stammheim	NW	153,5	14.07.
Kall-Sistig	NW	144,8	14.07.
Bischofswiesen-Winkl	BY	130,5	17.07.
Dahlem-Schmidtheim	NW	129,2	14.07.
Ruhpolding-Seehaus	BY	126,8	17.07.
Aitrang	BY	126,0	18.07.
Schneifelforsthaus	RP	124,1	14.07.
Lissendorf	RP	119,4	14.07.
Gerolstein	RP	116,5	14.07.
Bischofswiesen-Loipl	BY	116,0	17.07.

Tabelle 1: Die 10 höchsten 24-stündigen Niederschlagssummen an Stationen des DWD zwischen dem 12. und 18. Juli im Bereich des Tiefs **BERND** bzw. im Bereich des Höhentiefs

Eine private Wetterstation in Hagen-Nahmer (Nordrhein-Westfalen) verzeichnete am 14. Juli eine 24-stündige Niederschlagsmenge von **211,2 mm** (Quelle: www.kachelmannwetter.com). Weitere Messwerte anderer Institutionen vom 14. Juli (z.B. Umweltbundesamt): Rodder (Kreis Ahrweiler) 150,0 mm und Nettersheim (Kreis Euskirchen) 151,0 mm. Gerade im Einzugsgebiet der Ahr zeigen die Radarsummenanalysen im Kreis Euskirchen 72-stündige Regenmengen von 100 bis knapp 180 mm (Zeitraum 12. Juli bis 15. Juli, 06 UTC). Die Niederschlagswerte haben laut DWD eine Wiederkehrzeit von 100 Jahren, möglicherweise auch 1000 Jahren.

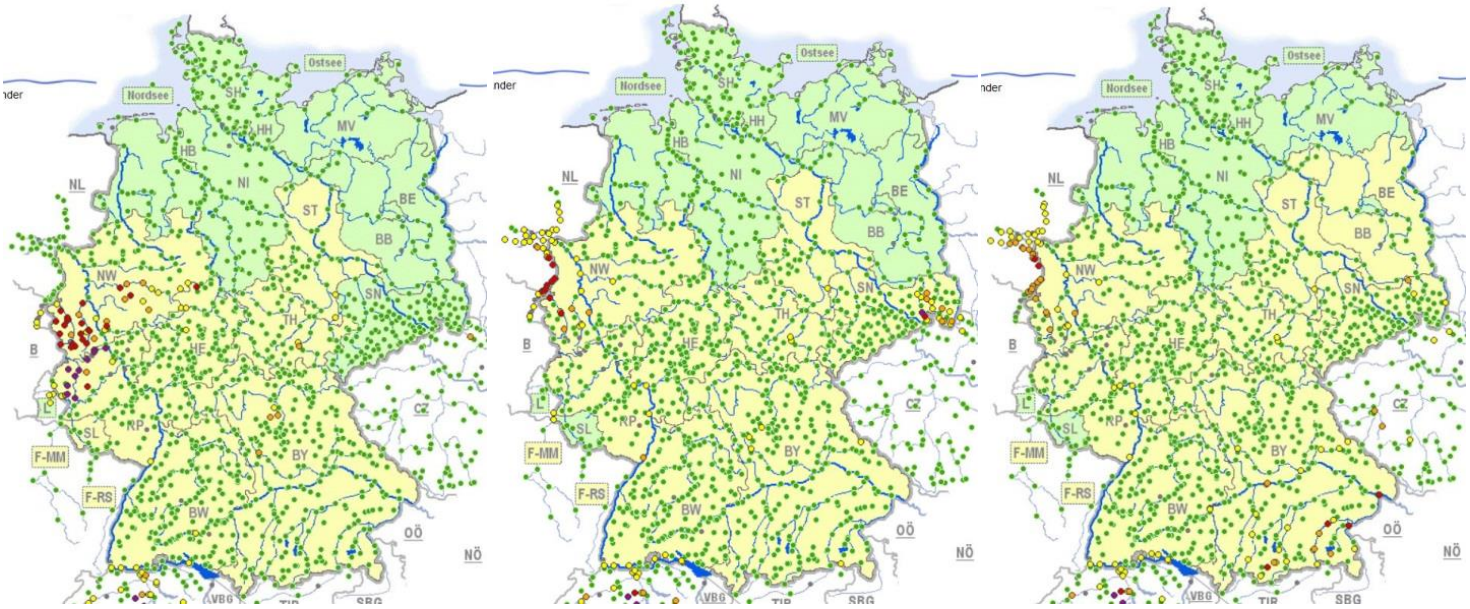
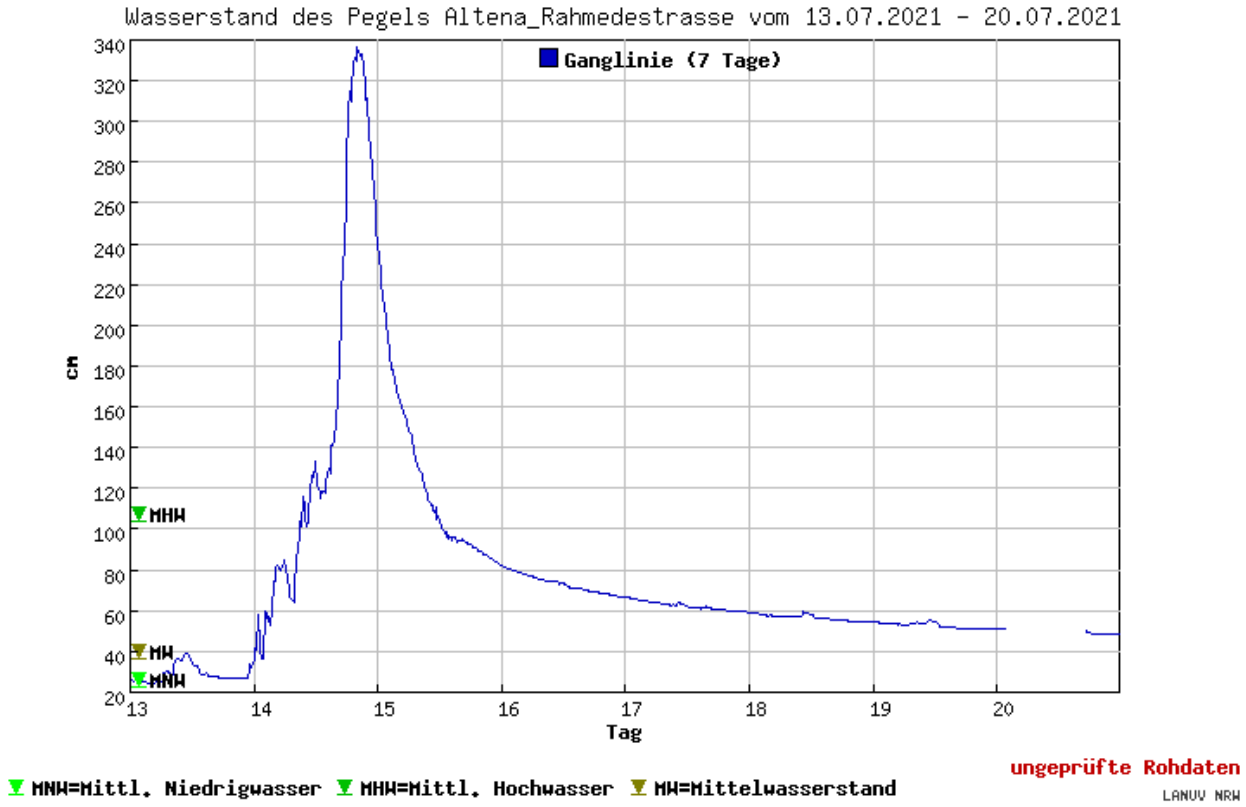


Abb. 14: Hochwasserlage am:
links: 15.07.2021, 01 Uhr MESZ, Mitte: 17.07.2021, 21 Uhr MESZ, rechts: 18.07.2021, 20 Uhr MESZ
(Quelle: https://www.hochwasserzentralen.de/archiv.php?html=true)

Situation am Pegel:
- Kleines Hochwasser
- Mittleres Hochwasser
- Großes Hochwasser
- Sehr großes Hochwasser
- Kein Hochwasser
- Keine Daten

Die Pegel zeigen deutlich, dass parallel zu den in Tabelle 1 aufgeführten höchsten Tagesniederschlägen, zunächst die Gebiete westlich des Rheins und das Sauerland, dann Teile Sachsens und zuletzt der Süden Bayerns von den Starkniederschlägen erfasst wurden und an vielen Flüssen zu hohen Wasserständen führten.

Abbildung 14 gibt beispielhaft die Ganglinien des Wasserstands am Pegel Altena-Rahmedestraße (Lenne) und Bliesheim (Erft) vom 13. bis 20.07.2021 wieder. Deutlich ist der extrem rasche Anstieg des Wasserstands vom 14. zum 15. Juli zu sehen, der zum Teil das 10-fache des Ausgangswerts erreichte.



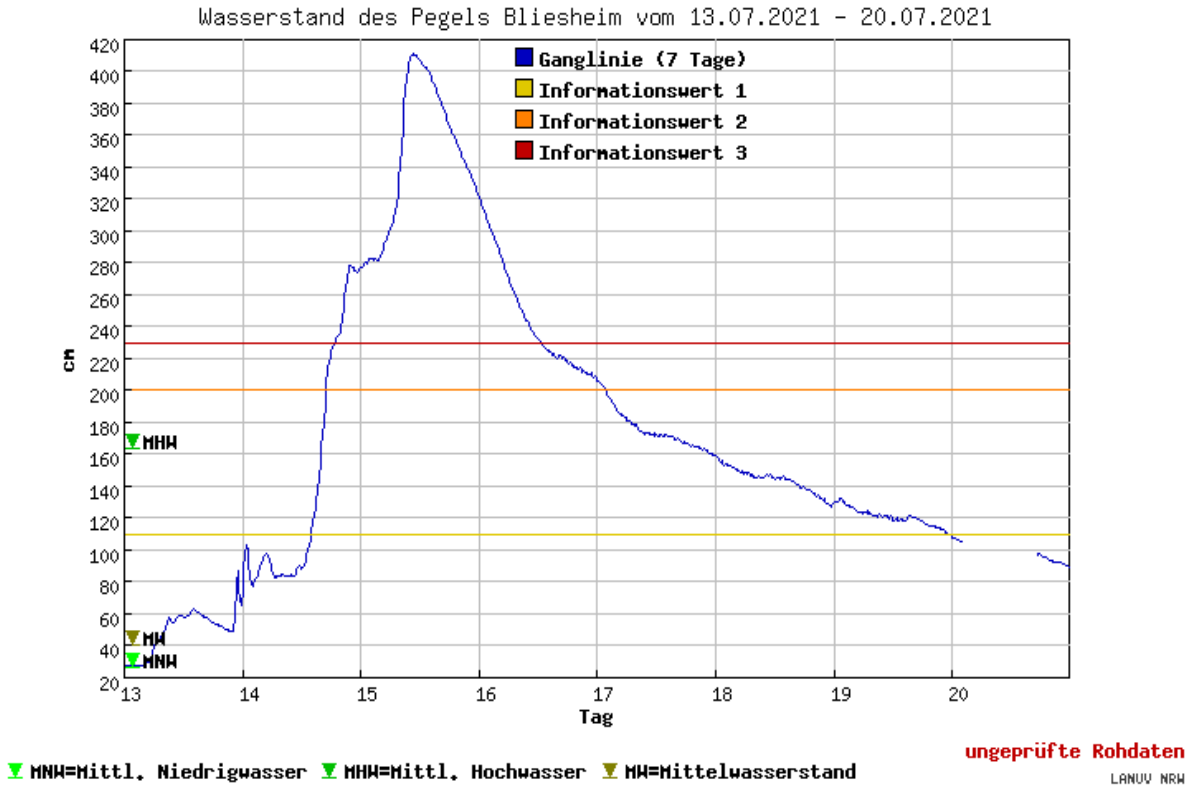


Abb. 15: 7-Tages-Ganglinien des Wasserstands am Pegel Altena-Rahmedestraße (Lenne) (oben) und Bliesheim (Erft) (unten) vom 13. bis 20.07.2021
(Quelle: https://luadb.it.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php

An der Ahr sind viele Pegel ausgefallen, es wird von Wasserständen ausgegangen, die vielfach weit über den bisherigen Hochwassermarken liegen. So wird z.B. für den Pegel Altenahr (Ahr) ein Hochwasserstand von etwa **7 m** geschätzt, der bisherige Höchstwert betrug am 02.06.2016 3,71 m. Damals betrug der Abfluss maximal 236 m^3/s, ein Wert, der wahrscheinlich in dieser Flutkatastrophe weit überschritten wurde.
Auch in Sachsen gab es etwa zwei Tage später enorme Anstiege der Wasserstände, als Beispiel zeigt Abbildung 16 den Verlauf an der Sebnitz.
Bayern folgte mit Hochwasser einen Tag später, wie der Pegel in Kraiburg am Inn in Abbildung 17 verdeutlicht.

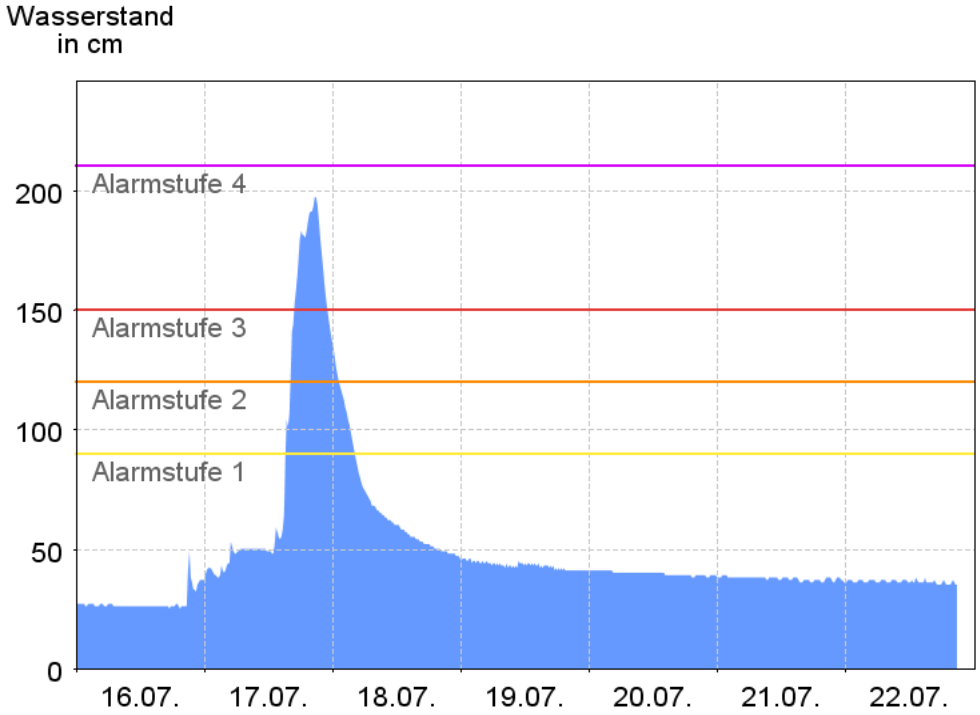


Abb. 16: Ganglinie des Wasserstands am Pegel Sebnitz 2 (Sebnitz) vom 16. bis 22.07.2021, Quelle: https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/hwims/portal/web/wasserstand-uebersicht

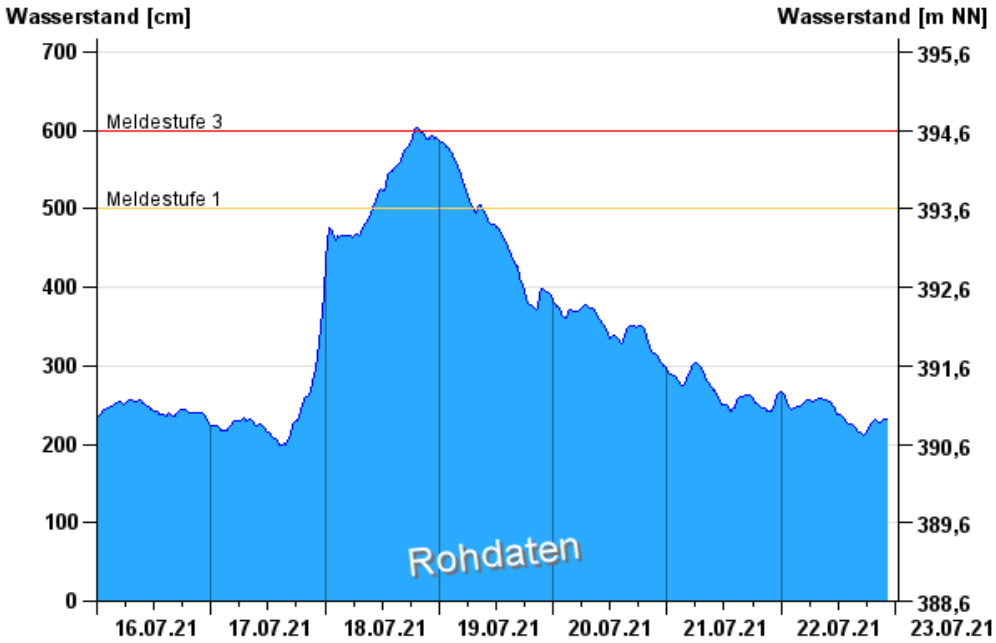


Abb. 17: Ganglinie des Wasserstands am Pegel Kraiburg (Inn) vom 16. bis 22.07.2021, Quelle: https://www.hnd.bayern.de/pegel/inn/kraiburg-18004007

Bilderanhang

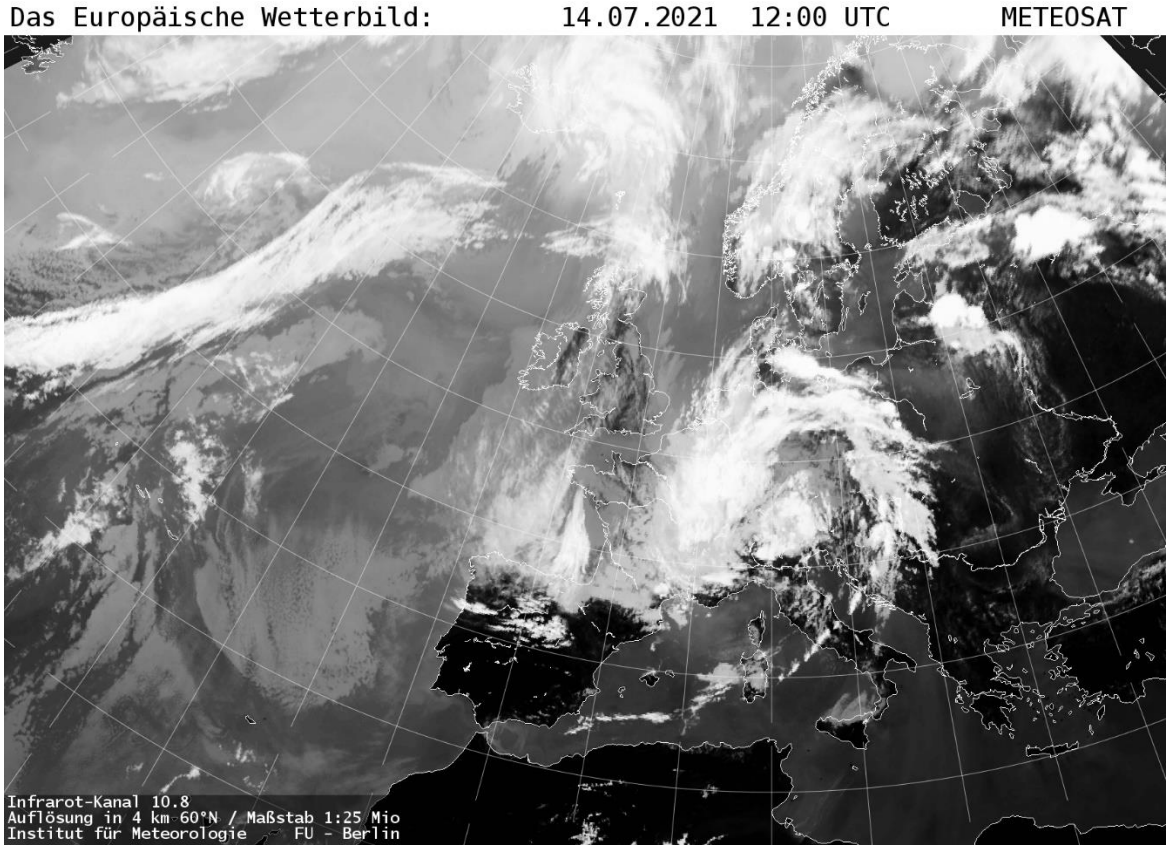


Abb. 18: Satellitenbild vom 14. Juli 2021 um 12 UTC, Berliner Wetterkarte

Die Abbildung 18 zeigt schön die sich um das Höhentief eindrehenden Wolken, deren Ursprung sich bis zur Adria und Sardinien zurückverfolgen lassen. Während es sich an der Kaltfront von Polen bis nach Mittelitalien um Schauer- und Gewitterzellen handelt, war es entlang der Okklusion im Westen Deutschlands stratiformer, teils konvektiv durchsetzter Dauerregen.

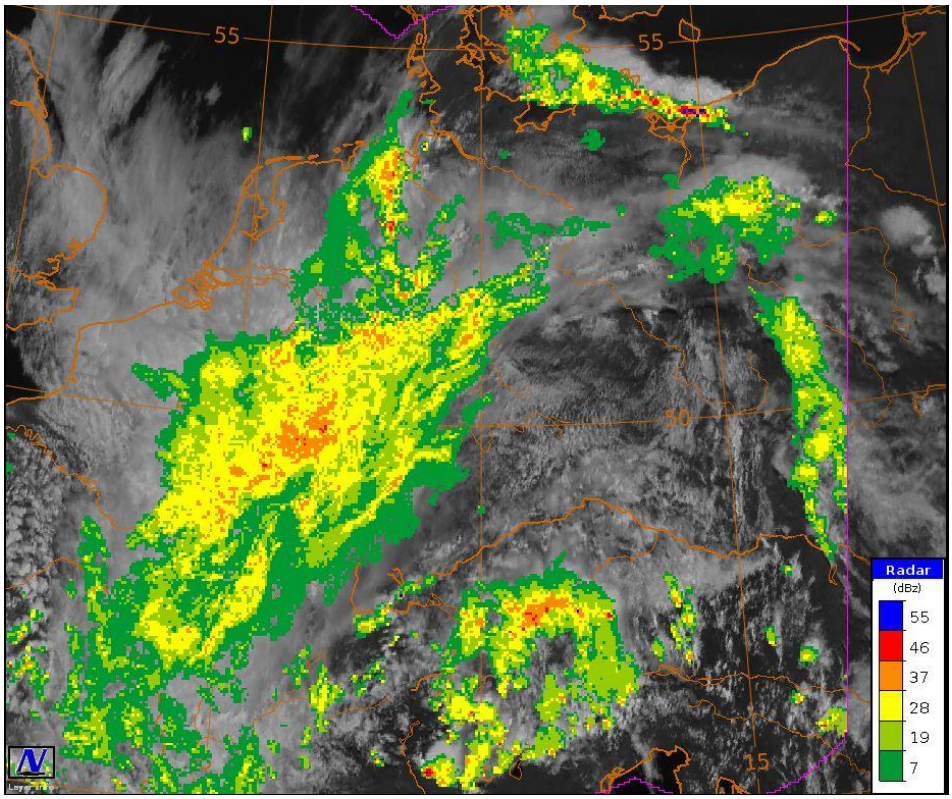


Abb. 19: Kombiniertes Radar- und Satellitenbild am 14. Juli um 12 UTC, Ninjo/DWD