Bericht über die Hagelabwehr 2023 in der Region Stuttgart

Zeitraum: 25. April bis 15. Oktober 2023

Radar-Info, Neuburg am Rhein

Der Bericht ist auch als Download unter

http://www.imk-radar.de/Downloads/Berichte/Hagelbericht2023.pdf

Verlauf der Saison 2023

Die Saison 2023 war nicht herausragend. Weder in die eine, noch in die andere Richtung. Der Start war recht ruhig, bevor später in den Kernsommermonaten (Juni, Juli und August) einige Gewitterlagen auftraten. Die längste betrug knapp 6 Tage (vom 12. bis zum 17. August mit einem Tag Pause dazwischen), während ansonsten oft nur zwei bis drei Tage hintereinander stärkere Gewitterentwicklungen auftraten.

Die Verteilung der Gewitter- und Bereitschaftstage über die einzelnen Monate für die beiden Schutzgebiete ist in Abbildung 1 dargestellt. Insgesamt gab es im Württemberger Schutzgebiet 63 Tage an denen irgendwo im Schutzgebet ein Gewitter vorkam, während es im eingebetteten Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg 34 Gewittertage gab. Von diesen bedurften in Württemberg 39 Tage eine Bereitschaft, im um Stuttgart gelegenen Gebiet waren es 22 Bereitschaftstage.

Bei den Gewitterlagen waren nur wenige geprägt von isolierten Zellen mit einem hohen Hagelpotenzial, aber auch sehr guten Einsatzmöglichkeiten Oft waren die Gewitter in größere Regengebiete eingebettet bzw. verclustert, was die operationellen Einsatzmöglichkeiten limitiert, da es schwierig ist den zur Verteilung des Impfmaterials in die Gewitterwolke notwendigen Aufwindbereich anzufliegen. Daneben zogen häufiger als in den vorherigen Jahren die Gewitter erst auf den Sonnenuntergang auf, was durch die zum Einsatz notwendigen Sichtflugbedingungen ebenso die Einsatzmöglichkeiten limitiert bzw. ganz ausschließt.

Nichtsdestotrotz war die Zusammenarbeit gut und das in den vergangenen Jahren etablierte proaktive Vorgehen - die Gewitter möglichst frühzeitig zu bearbeiten - erwies sich als vorteilhaft. Oft wurden Neubildungen antizipiert und die Flugzeuge waren rechtzeitig an den potenziell hagel-trächtigen Zellen. Dabei zeigte sich wiederholt, dass sich nach der Impfung, wenn der Aufwindbereich erreicht wurde, die Zellen abschwächten. In Bezug einer stichhaltigen kausalen Beziehung gilt es dabei aber die Fälle in Zukunft auch genauer zu untersuchen bzw. eine wissenschaftliche Begleitung zu intensivieren.

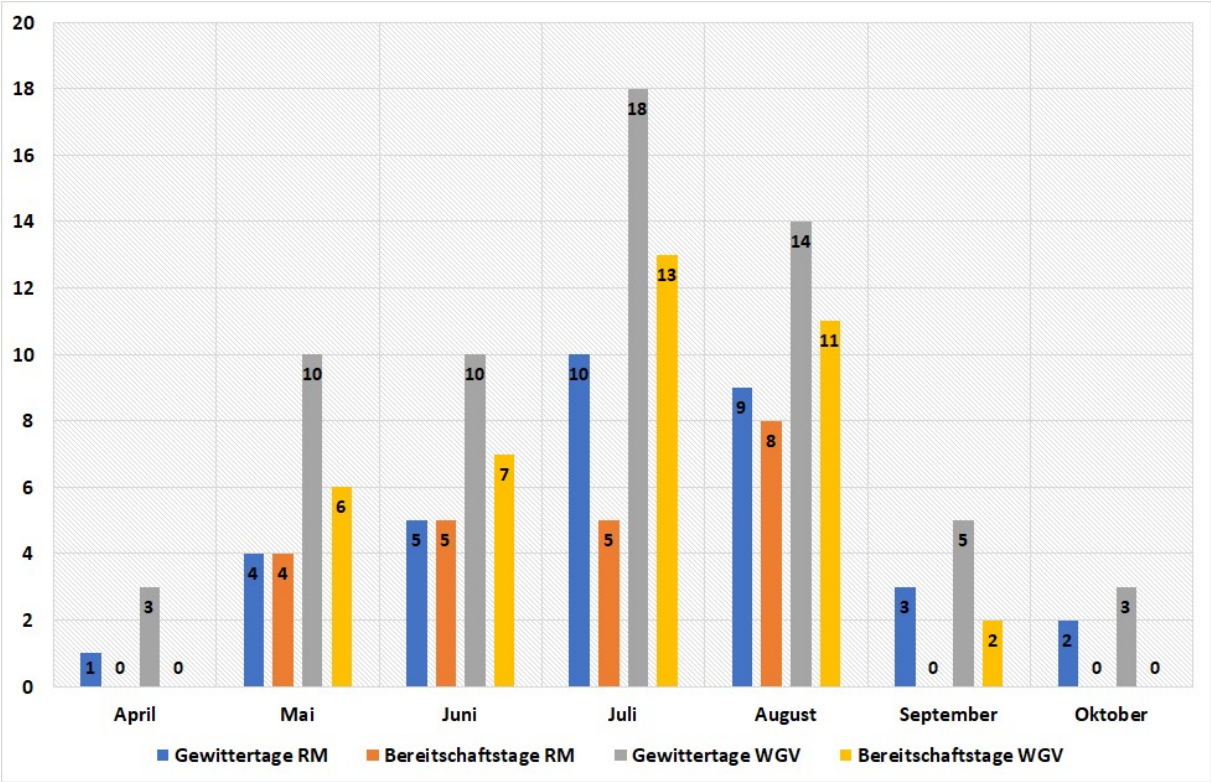


Abbildung 1: Anzahl der Tage an dem in dem betreffenden Schutzgebiet mindestens ein Gewitter aufgetreten ist und Anzahl der Bereitschaftstage -- RM: Schutzgebiet Stuttgart und Nord-Württemberg -- WGV: Schutzgebiet Gesamt-Württemberg

Im Folgenden soll nun kurz auf das Geschehen in den einzelnen Monaten eingegangen werden. Dabei sind in Abbildung 2 zum besseren Witterungsüberblick die Monatsmitteltemperaturen, sowie die Monatsniederschlagssummen der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betriebenen Station Stuttgart-Schnarrenberg[1], samt den dazugehörigen Werten der aktuell gültigen Klimareferenzperiode 1991-2020 wiedergegeben.

April

Vom Saisonstart am 25. April bis zum Monatsende kam es im Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg an einem Tag zu Gewittern, im Württemberger Schutzgebiet waren es 3 Tage. Allerdings eine Bereitschaft war in keinem Schutzgebiet vonnöten. Zwar wurde weiter nördlich – im Raum Mainz - am 28. April im Umfeld von Gewittern, die sich im Bereich einer aktiven Kaltfront entwickelten, kleinkörniger Hagel gemeldet, aber die Hagelgefahr weitete sich nicht in die Schutzgebiete aus und außerdem waren die Temperaturen an diesem Tag zu niedrig. Sie lagen zumeist unterhalb des Schwellenwertes von 18°C ab dem - nach den Vorgaben - erst eine effektive Einbringung des Silberjodids möglich ist.

[1] Im Gegensatz zu den letzten Jahren werden in diesem Jahr die Werte der Station Stuttgart-Schnarrenberg verwendet, da die Station Stuttgart-Flughafen wegen Umbaus einzelne Lücken aufweist.

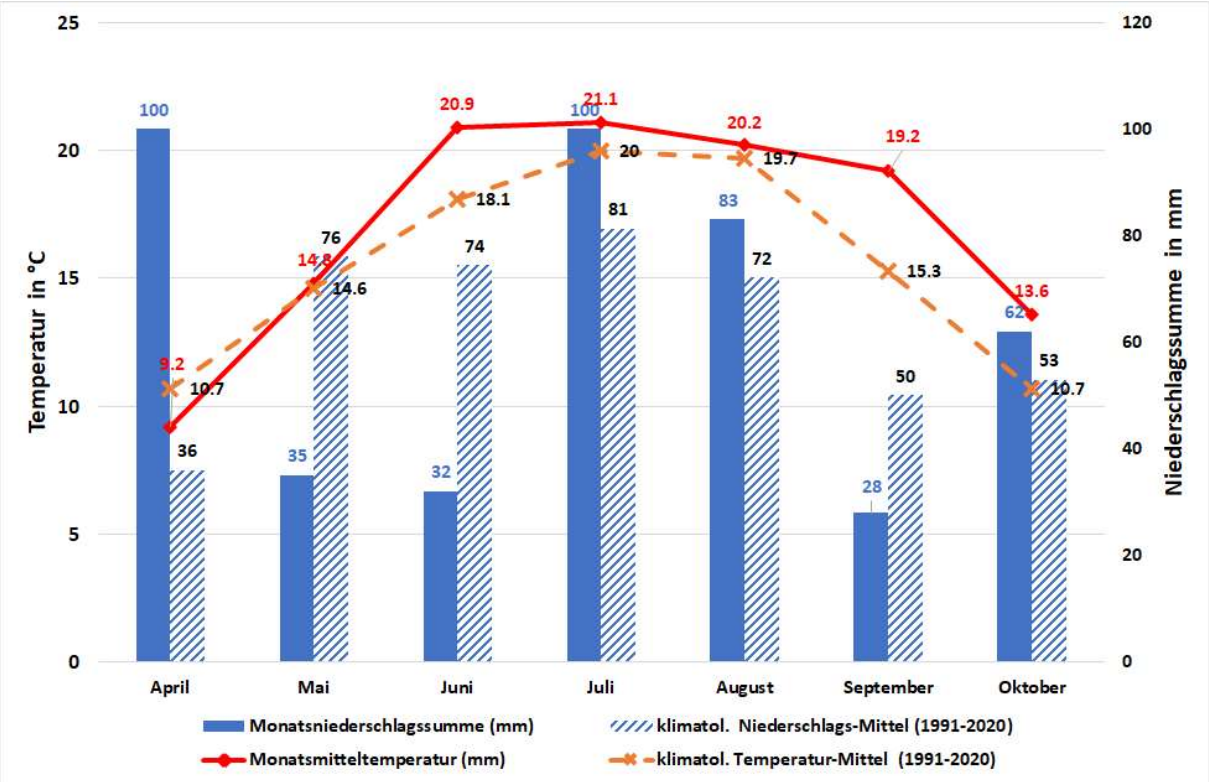


Abbildung 2: Monatsmitteltemperatur und Monatsniederschlagssumme der DWD-Station Stuttgart Schnarrenberg und die Mittelwerte der Klimareferenzperiode 1991-2020

Mai

Der Wonnemonat 2023 entsprach hinsichtlich der Temperaturen, wie auch bei der Sonnenscheindauer in etwa seinem klimatologischen Soll. Allerdings ist dies teilweise auf einige stärkere Gegensätze zurückzuführen. Neben zwei Sommertagen in der Region Stuttgart, gab es am 18. Mai beispielsweise auch noch einmal leichten Bodenfrost. Den Niederschlag betreffend, so zeigten sich im Monatsmittel deutlichere Abweichung. Teilweise wurde kaum die Hälfte des langjährigen Mittelwertes erreicht, wobei der Niederschlag sich auch nur auf 11 bis 12 Niederschlagstage verteilte. Über die gesamte Fläche von Baden-Württemberg gesehen fielen 87.3 mm Niederschlag, was 60.4% Normalwertes darstellt.

Bei den relativ wenigen Niederschlagstagen ist es nicht verwunderlich, dass auch die Anzahl der Gewittertage hinter denen des Vorjahrs zurück bleib, auch wenn in Württemberg immerhin an 10 Tagen Gewitter auftraten, während im Schutzgebiet Stuttgart und Nord-Württemberg lediglich an 4 Tagen irgendwo atmosphärische elektrische Entladungen, sprich Gewitter registriert wurden. Hierbei wurde jedoch allen an 4 Tagen eine Bereitschaft angeordnet. Im Württemberger Schutzgebiet war an 4 Gewittertagen hingegen keine Bereitschaft erforderlich, vornehmlich da an diesen Tagen die Temperaturen zu niedrig ausfielen.

Ann den Bereitschaftstagen hielt sich die Hagelentwicklung meist in Grenzen. Lediglich am 05., 07. und 22. kam es lokal zu Hagel. Am 07. Mai wurden einzelne Gewitterzellen, die nachfolgend aber keinen größeren Hagel brachten, zunächst bearbeitet. Später mussten die Einsätze jedoch wegen limitierter Flugbedingungen abgebrochen werden, wobei unter anderem der Flughafen in Stuttgart wegen der aufziehenden Gewitter vorübergehend seinen Betrieb einstellte.

Am 22. Mai war es ein recht chaotischen Gewittergeschehen mit vielen einzelnen und nicht allzu langlebigen Neubildungen. Es waren alle Maschinen im Einsatz, wobei versucht wurde proaktiv zu

verfahren, das heißt: Neubildungen rechtzeitig zu antizipieren. Nach den jeweiligen Einsätzen an den Zellen schwächten diese sich nachfolgend ab, bzw. blieb die Hagelentwicklung bei den Zellen klein. Im Falle des Schutzgebiets Stuttgart und Nordwürttemberg wurde darüber hinaus die Schließung des Flughafens durch die aufziehenden Gewitter erwartet. Zu diesem Zwecke wurden die Flugzeuge frühzeitig in den Einsatz beordert. Dies erwies sich als vorteilhaft. Denn kurz nach dem Start beider Flugzeuge stellte der Flughafen Stuttgart – wie erwartet - seinen Betrieb ein. Währenddessen griffen aber kräftige Gewitter auf das Schutzgebiet über. Diese konnten somit von beiden Maschinen direkt bearbeitet werden, wobei später noch ein Flugzeug vom Württemberger Schutzgebiet zur Unterstützung nachfolgte. Als dann der Flughafen wieder geöffnet wurde schwächten sich auch die Gewitter ab und alle Maschinen konnten zum Auftanken zurückgeführt werden, rechtzeitig bevor ein weiterer Schwung mit kräftigeren Gewittern ins Schutzgebiet zog und somit einen weiteren Einsatz notwendig machte.

Der Tag mit den größten Hagelkörnern, der hier - den Wonnemonat abschließend – kurz vorgestellt werden soll, war der 05. Mai. Von Westen näherte sich die Kaltfront von Tief „Xaver“, die mit kühlerer Meeresluft eine vorgelagerte warme Luftmasse ersetzte, in der schon am Tag zuvor teilweise die ersten Sommertage registriert wurden. Zunächst sollte es aber etwas dauern bis sich die Gewitter entwickelten. Denn eine vorlaufende Konvergenzlinie brachte schon am Morgen Schauer und einzelne eingelagerte Gewitter und die Wolkenreste dämpften länger die Einstrahlung. Später lockerte es aber vor allem in der Mitte und im Süden auf und nachmittags entstanden hier - nach zunächst mäßig starken Entwicklungen - kräftige Gewitter. Besonders entlang der Schwäbischen Alb entwickelte sich eine kleine Zugbahn mit mehreren aufeinanderfolgenden Zellen. Zu diesen wurden frühzeitig die Flugzeuge des Württemberger Schutzgebiets geschickt, wo sie an unterschiedlichen Zellen ihren Einsatz verrichteten. Allerdings war das Problem an diesem Tag, dass die Gewitter zunehmend zu größeren Komplexen verclusterten und damit die Einsatzmöglichkeiten limitierten. Besonders wurden durch umfangreichere Regengebiete mit eingelagerten Gewittern die Rückflugmöglichkeiten erschwert. In diesem Sinne wurde die eine Maschine frühzeitig zurück zur Basis nach Wächtersberg geschickt, da eine sichere Rückkehr vor dem Sonnenuntergang kritisch wurde. Die andere Maschine, die in Albstadt stationiert ist, bleib zunächst im Einsatz an einer Zelle, die an Ulm vorbeizog. Als diese Zellen dann aus dem Schutzgebiet wanderte, wurde das Flugzeug zur Zwischenlandung nach Mengen geschickt, wo sie ein umfangreicheres Regengebiet über sich hinweg ziehen lassen sollte, um dahinter sicher zurück zum Heimatflughafen zu kommen. Das wurde auch so ausgeführt, und letztlich konnte durch diese Taktik die Gewitterzelle bei Ulm noch ausreichend länger bearbeitet werden.

Weiter im Norden, im Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg, bleiben schon von Anfang an die Gewitterentwicklungen eingebettet, so dass hier überhaupt kein Einsatz möglich war. Allerdings hielt sich durch diese sogenannte Verclusterung auch die Hagelgefahr in Grenzen und Hagelmeldungen liegen aus dem Gebiet nicht vor.

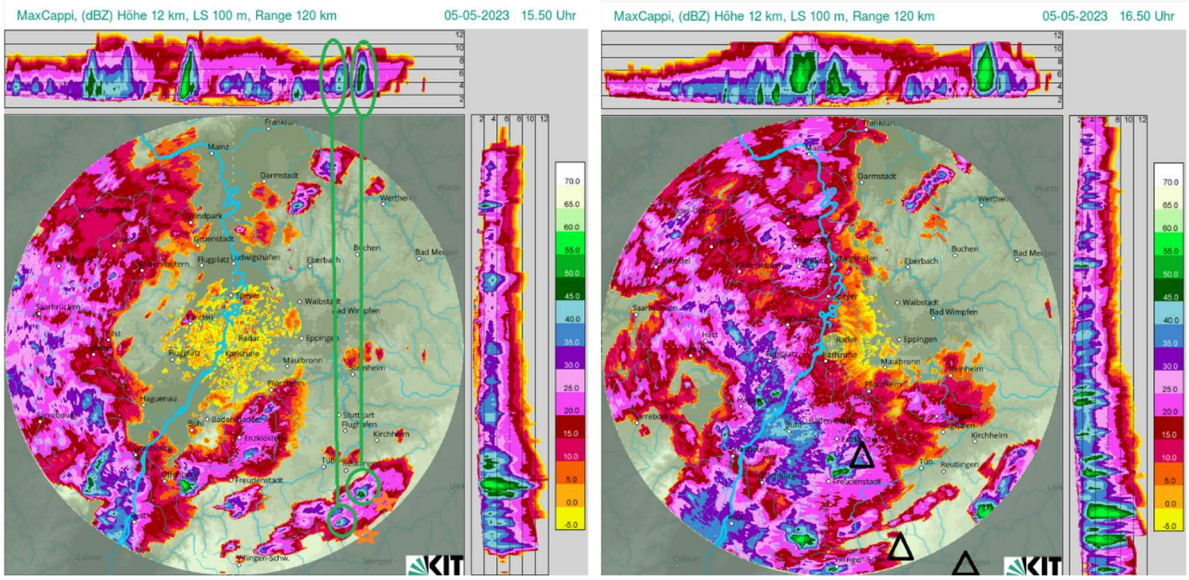


Abbildung 3: Linke Abbildung: Auf- und Seitensicht der maximalen Radarechos am 05.05.2023 um 15:50 Uhr MESZ. Vor allem in der Seitensicht ist das Entwicklungspotenzial deutlich zu erkennen. Es gibt einen abgehobenen Echobereich im Bereich von etwa 8 km Höhe, was deutlich oberhalb des -10 Grad Niveaus liegt, dass an diesem trag bei etwa 5300 Metern Höhe lag und den Beginn der Zone des optimalen Hagelwachstums anzeigt. Als Folge davon wurde ein Einsatz empfohlen. --- Rechte Abbildung: Auf- und Seitensicht der maximalen Radarechos um 16:50 Uhr Von Westen her zieht ein ausgedehntes Regengebiet mit eingelagerten Schauern und auch Gewittern auf, das keine Sichtflugbedingungen mehr zulässt. Nachdem die D-EWGV schon vorher zur Basis nach Wächstersberg (nördliches Dreieck) zurückgeführt wurde, wird zu diesem Zeitpunkt auch die PH-PAZ nach Zwischenlandung in Mengen (südöstliches Dreieck) zu ihrer Basis nach Albstadt (mittleres Dreieck) zurückgeschickt. Die Zwischenlandung wurde vorgenommen, um noch so lange wie möglich an einer aktiven Zelle bei Ulm zu bleiben und dann den Gewittercluster, der nicht durchflogen werden konnte am Boden ‚abzuwettern'.

Juni

Der Juni erwies sich als außergewöhnlich warm, deutlich bis teils extrem zu trocken und wies eine rekordträchtige Sonnenscheindauer auf. Mit 19.4 °C im landesweiten Mittel war der Juni der zweitwärmste Junimonat nach 2003, wobei in Stuttgart um 24 Sommertage registriert werden konnten, und im Rheintal sogar bis auf 3 Tag fast an jedem Tag des Monats die 25 °C Marke erreicht oder überschritten wurde. Dazu kommen noch 5 bis 8, in Waghäusel-Kirrlach (zwischen Mannheim und Karlsruhe gelegen) sogar 13 heiße Tage. In Bezug auf den Sonnenschein konnten auf die Landesfläche gemittelt 340 Sonnenstunden verbucht werden, was zum einen 138 Stunden über dem vieljährigen Mittel liegt und zum anderen einen neuen Junirekord bedeutet.

Bei so viel Sonnenschein und letztlich dominierendem Hochdruckeinfluss waren Regenwolken insgesamt rar. Statt, wie in einem dem Mittel der Referenzperiode entsprechendem Juni mit 107 mm üblich, kamen (im landesweiten Durchschnitt) in diesem Jahr nur 39 mm Niederschlag zusammen. Dabei verteilte sich der Niederschlag im Schwarzwald auf etwa 9 bis 10 Tage, ansonsten auf kaum 4 bis 6 Tage. Hinsichtlich der Gewitter, so wurden an 5 Tagen im Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg Blitze registriert, im Schutzgebiet Württemberg war dies an 10 Tagen der Fall. Alle Tage mit Gewitter zogen im Fall des eingebetteten, kleineren Schutzgebiets jeweils eine Bereitschaftsempfehlung nach sich, während in ganz Württemberg dagegen an 4 Gewittertagen keine Bereitschaft vonnöten war.

Nennenswerter Hagel trat lokal am 08., 20., 21. und am 22. Juni auf.

Am Donnerstag, dem 08. Juni zog sich der bis dato bestimmende Hochdruckeinfluss vorübergehend zurück und ein kleines Höhentief wanderte vom Saarland über Baden-Württemberg hinweg nach

Bayern. Im Umfeld dessen wurde zudem etwas feuchtere und labile Warmluft wirksam, so dass sich im Tagesverlauf vermehrt, teils auch kräftige Schauer und Gewitter entwickeln konnten. Bei einer ausgeprägten Windänderung mit der Höhe war das Hagelpotential sehr ausgeprägt, jedoch zeigte sich, dass die Zellen insgesamt schnelllebig waren und dazu rasch verclusterten, sich also mehr oder weniger zu größeren Komplexen mit mehreren internen Schwerpunkten zusammenballten. Dabei bestand die Schwierigkeit die jeweils aktivste Zelle anzufliegen und zu bearbeiten. Es war eine sehr dynamische Situation, wobei die Anfliegbarkeit teils limitiert war. Insgesamt waren alle Flugzeuge im Einsatz und die Zellen, die rechtzeitig bearbeitet wurden, schwächten sich nachfolgend ab. Allerdings konnte nicht verhindert werden, dass es im Bereich um Großerlach und im Nordosten von Stuttgart zu lokalen Hagelschäden durch Korngrößen um 0.5 bis 1.5 cm kam. Dabei handelte es sich um eine Zelle, die sich, aus einer Ansammlung von mehreren Zellen heraus, in kürzester Zeit (siehe Abbildung 4) westlich von Schwäbisch Hall massiv aufbaute und dann früh um Großerlach Hagel brachte. Dabei standen vor allem Hagelansammlungen im Fokus, die an Pflanzen mit der schieren Masse eng begrenzt einigen Schaden verursachten. Hinsichtlich des Einsatzes, so waren die Piloten erst bei Zellen etwas südlich aktiv, die sich nach der Impfung dann nicht so kräftig entwickelten, was bei solchen Lagen aber auch die Grenzen der operationellen Hagelabwehr deutlich macht. Bei größeren Komplexen kann man nicht jede Zelle bearbeiten und muss sich letztlich für ein oder zwei Zellen entscheiden. Dies war hier der Fall, wobei eben die geimpften Zellen kaum oder nur kleineren Hagel bzw. eher Graupel (mit Korngrößen um 0.3 bis 0.5 cm) brachten.

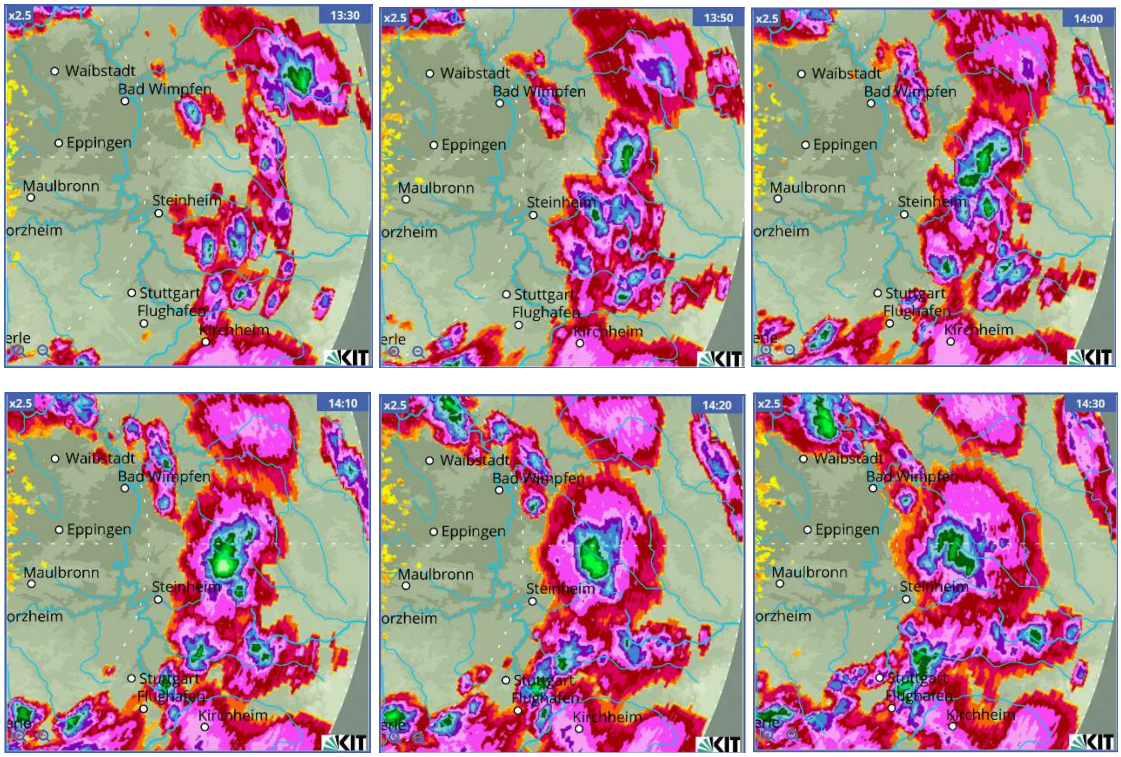


Abbildung 4: Sequenz der maximalen Reflektivitäten in die horizontale Ebene projiziert vom Donnerstag, den 08.06.2023 von 13:30 Uhr bis 14:30 Uhr (MESZ). Von Schwäbisch Hall kommend verstärkt sich die Zelle in der Mitte und erreicht nach Osten ziehend um 14:10 Uhr rasch ihren Höhepunkt mit Hagelpotential und schwächst sich nachfolgend aber ebenso rasch wieder ab. Die Piloten waren dabei zunächst an den Zellen östlich einer Linie zwischen Steinheim an der Murr und Kirchheim unter Teck im Einsatz. Diese Zellen brachten im Gegensatz zur nördlichen Zelle keinen schadensträchtigen Hagel.

Die nächste größere hagelträchtige Gewitterlage im Juni ereignete sich vom Dienstag, dem 20., bis zum Donnerstag, dem 22. Juni. Am 20. Juni war es erst lange Zeit ruhig, hochreichende vertikale Umlagerungen wurden durch einen noch wirksamen Höhenrücken unterdrückt. Allerdings wurde bereits eine feucht warme Luftmasse advehiert und als am späten Nachmittag und abends der

Höhenrücken abwanderte und eine kleine Konvergenzlinie auf die Region übergriff, entwickelten sich einige teils kräftige Schauer und Gewitter. Diese waren allerdings teils als zusammenhängende, linienförmige Komplexe angeordnet, was einen operationellen Einsatz erschwerte bzw. die Rückflugmöglichkeiten verringerte. Ein Flugzeug kam im Süden des Württemberger Schutzgebiets auf die Westseite (Rückseite) der Gewitter und musste den Einsatz abbrechen, während sich gleichzeitig das Gewitter dort verstärkte und an der Südkante der Schwäbische Alb entlang lokal Hagel brachte. Ansonsten konnten aber die nördlich davon anbauenden Entwicklungen - von Horb am Neckar aus nordwärts in das Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg hinein – bearbeitet werden und - bis auf kurzzeitig um Reutlingen herum - bleiben die Gewitter in Bezug auf das Hagelpotenzial schwach.

Am Tag darauf bleib es in weiten Teilen der Region ruhig. Einige schauerartige Regenfälle am späten Vormittag blieben ohne Konsequenz. Das galt bis zum Abend auch für den äußersten Süden. Dann griffen jedoch vom Hegau aus - im Zusammenhang mit einer langgestreckten sich von der Schweiz ausweitenden Konvergenz - Schauer und Gewitter auf die Südwestecke des Württemberger Schutzgebiets über. Im Bereich der A81 zwischen Engen und Geisingen kam es dabei zu Hagel. Jedoch geschah dies im Umfeld des Sonnenuntergangs und ein Einsatz war aufgrund der nicht mehr vorhandenen Sichtflugbedingungen nicht mehr möglich.

Am Donnerstag, dem 22. Juni, wurde schließlich der Höhepunkt der dreitägigen Gewitterlage erreicht. Es war weiter eine warme Luftmasse vorherrschend, die sich aber weiter mit Feuchte anreicherte, was letztlich auch mehr für den Gewitterprozess verfügbare Energie bedeutete. Dazu zog nun ein kleines Tief (Tief "Lambert") von Frankreich her über die Mitte Deutschlands und sorgt für Hebung, um die Labilität der Luftmasse in reale, teils heftige Gewitter zu überführen. Jedoch ließen die Gewitter zunächst auf sich warten, was nicht zuletzt an einer etwas hartnäckigeren Bewölkung lag, die die Sonneneinstrahlung ein wenig abschirmte und damit auch die initiierende Thermik hemmte. Anders war es in der Pfalz der Fall. Hier schien schon früher ausgiebiger die Sonne und dementsprechend entwickelten sich auch rascher einige teils kräftige Gewitter mit Hagelpotenzial. Am späten Nachmittag wurden dann aber ebenso in Württemberg die limitierenden Faktoren ausgeräumt und zum Abend bildete sich im Bereich der Ostalb ein kräftigerer Gewitterkomplex, der unter Verstärkung und Hagelbildung langsam nordostwärts in Richtung Bayern zog. Besonders um Heidenheim und Giengen an der Brenz war sogar etwas größerer Hagel dabei. Diese Zelle konnte leider nicht mehr bearbeitet werden, da die Dienstzeit der Piloten begrenzt ist und bei einem frühen Dienstbeginn auch wieder etwas früher gelandet werden muss. An diesem Tag traten – wie erwähnt - durch die mehrschichtige Bewölkung die Gewitter später auf, wobei außerdem die Zelle genau mehr oder weniger weit im Osten, also weiter weg von den Heimatflugplätzen, entlang zog. Mit dem nahenden Sonnenuntergang musste letztlich diese Zelle unbearbeitet bleiben, was wiederum verdeutlich, dass oft die operationellen Rahmenbedingungen Grenzen setzen.

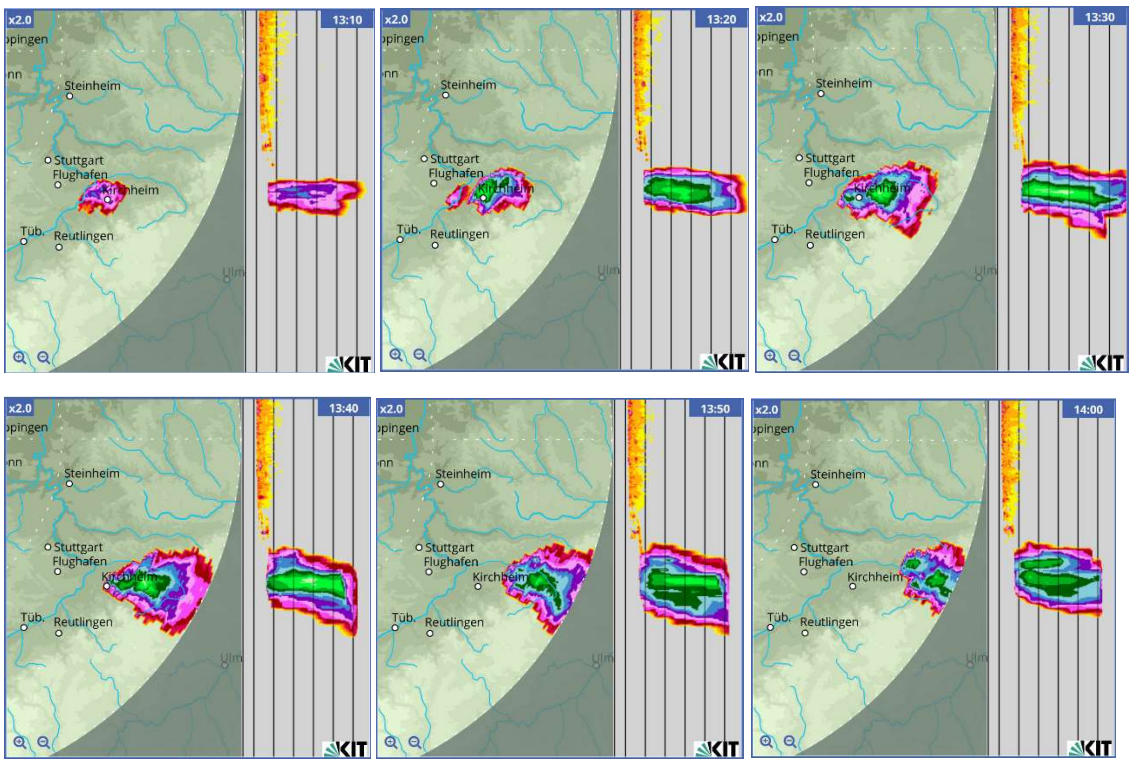
Juli

Der Juli 2023 zeigte sich zweigeteilt. Einer oft heißen und sonnigen ersten Monatshälfte stand eine wechselhafte und meist etwas niedriger temperierte zweite Monatshälfte gegenüber. In der Gesamtschau ergeben sich damit für den Juli 2023 nicht allzu große Abweichungen gegenüber dem langjährigen Mittel. Landesweit war der Monat mit einer Mitteltemperatur von 19.4 °C zwar zu warm, aber die Sonnenscheindauer lag mit 240 Stunden im Bereich (+-10 Stunden) der statistischen Norm. Das hygrische Ambiente kann als leicht zu nass charakterisiert werden, wobei die Abweichungen aber – wie erwähnt – nicht groß waren. In unserm Bundesland kamen im Mittel im Juli 2023 107 mm Niederschlag zusammen, was knapp 16 mm über dem Durchschnittswert der aktuell klimatologisch gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990 liegt.

Dabei gab es in diesem Monat die meisten Gewitter in der Saison 2023. In Württemberg traten an 18 Tagen und im eingebetteten Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg an 10 Tagen Gewitter auf. Das nicht jeder Gewittertag gleich eine Bereitschaft bedeutet, zeigt, dass von diesen Tagen in beiden Schutzgebieten 5 Tage keine Bereitschaft erforderten.

Die Tage mit den stärksten Gewittern mit Hagelpotenzial für Korngrößen um 1cm und mehr waren der 10. bis 12. Juli, der 18. und 19. Juli und schließlich der 29. Juli. Hervorzuheben ist hier vor allem der dreitägige Abschnitt vom Montag, dem 10. bis zum Mittwoch, dem 12. Juli.

Am Montag, dem 10. Juli hatte eine Kaltfront schon am Vormittag weite Teile des Bundeslandes überquert, wobei im Süden auch in den Morgenstunden einige kräftige Gewitter mit Hagel durchzogen, die aber aufgrund der Tageszeit nicht bearbeitet werden konnten. In der Folge beruhigte es sich erst einmal und in weiten Teilen setzte sich auch stabilere Luft durch. Allerdings nicht überall. Reste hielten sich vor allem in einem engen Streifen nördlich der Schwäbischen Alb von Kirchheim ostwärts. In diesem Bereich bildete sich (siehe Abbildung 5) kurz nach 13.00 Uhr eine isolierte Gewitterzelle, die rasch kräftig wurde und teilweise evtl. Hagel mit Korngrößen um 2 cm brachte. In der Folge schwächte sich die Zelle jedoch ebenso rasch wieder ab, wobei ab etwa 13.45 Uhr die Zelle bearbeitet wurde, nach dem sich der Start zunächst verzögerte.



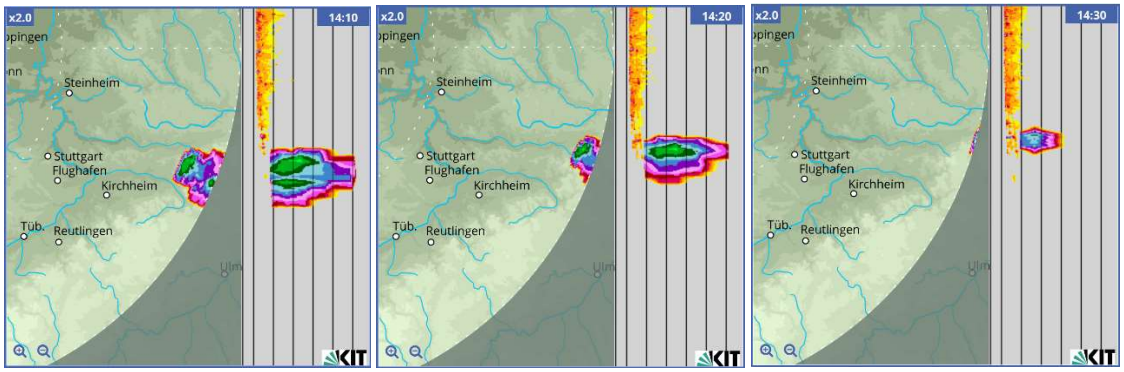


Abbildung 5: Sequenz der maximalen Reflektivitäten in die horizontale Ebene und von West nach Ost in einen Seitenriss projiziert vom Montag, den 10.07.2023 von 13:10 Uhr bis 14:30 Uhr (MESZ). Die Gewitterzelle bildet bei Kirchheim unter Teck mit einem starken Aufwindpuls einen ausgeprägten Hagelkern mit Reflektivitäten im Bereich von 65 dBZ, was meist mit größerem Hagel in Zusammenhang steht. In der Folge kam es dann auch zu lokalen Hagelmeldungen am Boden, bevor sich die Zelle – nach einsetzender Bearbeitung – rasch abschwächte.

Am folgenden Dienstag, dem 11. Juli wurde auf der Vorderseite richtiggehend schwülheiße herangeführt, in der die Temperaturen verbreitet auf Werte jenseits der 30 Grad Marke anstiegen. Da sich aber zum Abend auf der Vorderseite von Tief „Ronson“ eine vorlaufende Konvergenzzone nach Baden-Württemberg vorarbeitet, war die Szenerie gesetzt für eine bemerkenswerte Unwetterlage, die unter anderem eine hohes Hagelpotenzial aufwies. Jedoch entfaltetet dieses sich erst spät. Nachdem nachmittags nur auf der Schwäbische Alb zwei kräftigere Gewitter teils aber noch vor dem Bereitschaftsbeginn entstanden, dauerte es bis zum Abend bis die hochreichende Feuchtekonvektion richtig in Gang kam. Mit der von Frankreich übergreifenden Konvergenzlinie bildeten sich zahlreiche Gewitter, die mitunter erhebliches Hagelpotenzial aufwiesen und sich ostwärts ausweiteten. Allerdings kamen diese zu spät, so dass vor dem Sonnenuntergang in Bezug auf die notwendigen Sichtflugbedingungen kein Einsatz mehr möglich war. Daneben war auch im Umfeld der Gewitter der Wind ein Thema. Im Süden von Württemberg traten im Gewitterumfeld (im Rahmen einer vorlaufenden Böenfront) ausgewachsene Orkanböen auf, im Norden waren es teils zumindest Sturmböen. Auch das ist ein Aspekt, der die Einsätze aus Sicherheitsgründen leider limitierte.

Am Mittwoch, dem 12. Juli, dem letzten Tag der kurzen Gewitterlage, hielten sich noch südlich der Schwäbischen Alb Reste der labilen Gewitterluft, während im Norden stabilere Luft für einen ruhigeren Tag sorgte. Dabei kam es erst im Süden nur zu einzelnen kurzen Gewittern, die wechselweise bearbeitet wurden und keinen nennenswerten Hagel brachten. Später zog jedoch von der Schweiz her eine intensive, in sich selbst leicht rotierende Gewitterzelle (eine sogenannte Superzelle) über das Hegau, die Südkante der Schwäbischen Alb bis nach Ulm. Diese Zelle wurde dabei von beiden Flugzeugen bearbeitet. Lokal trat jedoch Hagel auf, nordwestlich von Radolfzell sogar wahrscheinlich größerer Hagel mit Korngrößen um 3 cm. Eine genauere Georeferenzierung zeigt, dass zu diesem Zeitpunkt der Komplex in seinem Südbereich, mehr in Richtung Bodensee bearbeitet wurde, wo dann kein oder kaum Hagel auftrat. Nichtsdestotrotz sind gerade solche umfangreichen Superzellengewitter mit ihrem quasi persistenten Aufwind immer schwierig zu bearbeiten, da in ihnen unter anderem eine erhebliche Menge an unterkühltem Wasser in die Hagelbildung umgesetzt wird und die Bearbeitung nur einen Teil davon beeinflusst.

August

Für einen Sonne- bzw. Sommerliebhaber blieb der August 2023 hinter seinen klimatologischen Erwartungen zurück. Nichtsdestotrotz ging er als ein erneut zu warmer Monat in die

Wettergeschichte ein – die Monatsmitteltemperatur lag im landesweiten Mittel mit 18.7 °C um 2.3 K über dem langjährigen Mittelwert der international gültigen Referenzperiode von 1961 bis 1990. Aber das basierte vor allem auf eine längere Hitzeperiode in der mittleren und am Anfang der letzten Monatsdekade, in der Temperaturen bis zu 37.4 °C (am 24. August in Rheinfelden) gemessen wurden.

Bezüglich der Sonnenscheindauer so kamen im landesweiten Mittel 194 Sonnenstunden zusammen, womit der Durchschnittswerte für einen August um 29 Stunden verfehlt wurde. Diese Statistik zeigt schon den insgesamt eher wechselhaften Charakter des Monats, der durch die hygrischen Kennzahlen noch einmal verdeutlicht wird.

Im August fielen im landesweiten Durchschnitt 130 mm Niederschlag vom Himmel, wohingegen in einem der klimatologischen Norm entsprechenden August 94 mm zusammenkommen. Der Niederschlag verteilte sich in den hier betrachteten Schutzgebieten auf 17 bis 21 Tage, das heißt, dass meist an zwei von drei Tagen im Monat Niederschlag fiel, was aber mit Rückblick auf die teils erheblichen Dürreperioden der letzten Jahre nicht unbedingt als unwillkommen gilt.

Als Gewitter ging der Niederschlag in Württemberg an 14 Tagen, im Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg an 9 Tagen nieder, was im Falle vom Württemberger Schutzgebiet 11 Bereitschaftstage und im Falle vom eingebetteten Schutzgebiet um Stuttgart 8 Bereitschaftstage nach sich zog.

Zu nennenswertem Hagel kam es am 04., in der Zeit vom 12. bis zum 17., sowie am 24. August, wobei noch der 26. August zu erwähnen ist, an dem ein dort unbearbeiteter ‚Hagelsturm' im Bayrischen Alpenvorland bis zu zehn Zentimeter große Hagelschloßen hervorbrachte und um 230 Millionen Euro Schaden verursachte. Demgegenüber sind die Schäden in den Schutzgebieten aber gering geblieben.

Allerdings schaffte es vor allem der 04. August in die landesweiten Schlagzeilen. Sehr eng begrenzt kam es in Reutlingen zu Hagel, wobei aber nicht die Korngrößen im Vordergrund standen, sondern die schieren Hagelmasse bzw. eher ein sulziges Hagel-Wasser Gemisch. Solche Gewitter sind mit der Hagelabwehr nicht zu bearbeiten. Da dieser Hagelschlag aber Schlagzeilen-trächtig war, wird er in diesem Bericht in einem Extra-Abschnitt am Ende noch gesondert vorgestellt.

Am Samstag, dem 12. August, zog innerhalb vorherrschender feucht-warmer und labiler Luft erst eine Konvergenzlinie auf, die für einen ersten Schwung mit lokal teils kräftigen Schauern und Gewittern sorgte, bevor am späten Nachmittag die Kaltfront von Tief „Arend" auf die Region übergriff und weitere teils kräftige Schauer und Gewitter auslöste.

Beide Gewitterschübe wurden jeweils vorzeitig antizipiert, so dass sie auch frühzeitig bearbeitet werden konnten. Ein Gewitter, dass sich bei Ludwigsburg rasch verstärkte, brachte hier zwar Hagel, aber nachdem erst noch einzelne Probleme herrschten, den richtigen Aufwindbereich zu finden, schwächte es sich mit der Impfung ab. Ansonsten wurde taktisch in der Form operiert, dass sich die Einsätze in beiden Schutzgebieten ergänzten und unterstützten und die Zellen jeweils an den Grenzen übergeben wurden.

Am folgenden Tag bleib die am Tag zuvor aufgezogene Kaltfront als quasistationäre Luftmassengrenze quer über dem Gebiet und im Tagesverlauf entwickelten sich vor allem in ihrem Bereich neue, teils kräftige Gewitter mit Hagelpotenzial. Besonders betroffen war der Bereich im Umfeld der Schwäbischen Alb, von Albstadt bis Laupheim. Dabei zeigte sich, dass das Gewitter vor allem am Anfang größeren Hagel bracht. Als dann aber effektiv die Aufwindbereiche mit Fackeln und

Generatoren geimpft wurden, schwächten sich die Zelle jeweils ab und die Hagelkorngrößen gingen zurück.

Am Montag, dem 14. August blieb die Luftmassengrenze weiter aktiv und die Gewitterlage setzte sich fort. Hierbei zogen insbesondere am frühen Nachmittag zwei Zellen vom Schwarzwald in die Schutzgebiete, wobei sie sich zunächst rasch verstärkten und auch deutliches Hagelpotenzial aufwiesen. Die eine Zelle griff von Villingen-Schwenningen auf das Württemberger Schutzgebiet über und zog an der Schwäbischen Alb entlang ostwärts. Dabei teilte sie sich jedoch, wobei zunächst der nördliche Teil bearbeitet wurde, der sich dann auch nach der beginnenden Impfung bei Reutlingen abschwächte. Der südliche – zunächst ungeimpfte – Teil verstärkte dagegen erheblich und brachte im Bereich um Albstadt lokal größeren Hagel. Nach der Abschwächung der nördlichen Zelle wurde das Flugzeug zur südlichen Zelle geführt, die sich nach der Bearbeitung ebenso abschwächte.

Die andere – vom Nordschwarzwald auf das Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg übergreifende - Zelle wurde ebenso wechselweise bearbeitet, wobei nordwestlich von Stuttgart auch Hagel auftrat. Nachdem aber eine zweite Maschine zur Unterstützung vor Ort war schwächte sich die Zelle ab.

Am folgenden Tag gab es unter dem Einfluss eines Zwischenhochs eine kurze Pause, bevor sich am Mittwoch, dem 16. August, die Gewitterlage fortsetzte. An diesem Tag kam es lokal zu großem Hagel mit Korngrößen um 6 bis 7 cm. Allerdings geschah dies genau an der Gebietsgrenze bzw. knapp außerhalb des Württemberger Schutzgebiets. Als die Zelle dann auf das Schutzgebiet übergriff, war ein Pilot vor Ort und impfte die Zelle, die sich daraufhin - mit der Entfernung aus dem Schwarzwald heraus - abschwächte.

Am Donnerstag, dem 17. August, war es erneut der Nordschwarzwald und der Bereich um Villingen-Schwenningen – diesmal aber etwas weiter südlich der Doppelstadt – aus denen sich heraus Zellen entwickelten, die sich verstärkten, ostwärts in bzw. durch die Schutzgebiete zogen und zeitweise Hagel brachten. Allerdings war an diesem Tag das Problem, dass die Entwicklungen zum Teil in umfangreichere Niederschlagsgebiete eingebettet waren und operationell der Aufwindbereich nur schwierig oder kaum angeflogen werden konnte. Wo dies möglich war wurde aber geimpft.

Der letzte nennenswerte Gewittertag des Augusts 2023 war der Donnerstag, der 24. August. Innerhalb einer sehr energiereichen Luftmasse – an diesem Tag wurden oft sogar Temperaturen weit über der 30 Grad Marke gemessen – bildeten sich ab dem späteren Nachmittag - vom Schwarzwald nach Osten übergreifend – zahlreiche, teils kräftige Gewitter. Der erste Schwung beinhaltete einen größeren Gewitterkomplex, der sich vor allem über das Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg erstreckte und in seinem Südbereich teils kräftige Aufwinde samt folgender Hagelbildung aufwies. Zwar war ein Flugzeug frühzeitig vor Ort, aber zum einen war der Komplex sehr umfangreich mit vorhängendem Regen und zum anderen gab es Probleme mit dem Generator, so dass ‚nur' mit Fackeln geimpft werden konnte, was bei dem Ausmaß der Zelle zu wenig erscheint.

Spätere folgende Entwicklungen konnten dann effektiver bearbeitet werden, wobei diese dann auch generell schwächer bleiben. Das gilt auch für den Fall am späten Nachmittag/Abend über der Schwäbischen Alb. Hier war das andere Württemberger Flugzeug vor Ort – wobei es wegen einer Limitierung der Flugzeit erst am späten Nachmittag in den Einsatz geschickt wurde. Jedenfalls erreichte es die Zelle aber rechtzeitig und konnte sich vor sie in den Aufwindbereich setzen und impfen. In der Folge schwächte sich die Zelle ab. Allerdings bildete sich parallel dazu eine weitere Zelle südlich, die – ungeimpft – stärker wurde und dann Hagel brachte.

September

Der September 2023 wurde dominiert durch persistente Hochdrucklagen, bei denen zudem meist sehr warme Luft wirksam war. Auf ganz Baden-Württemberg bezogen fiel der September im Vergleich zum klimatologischen Mittel der international gültigen Referenzperiode 1961-1990 deutlich zu warm aus. Es war sogar mit Abstand der wärmste September seit Messbeginn, wobei die Landesmonatsmitteltemperatur 17.7 °C betrug, was ungewöhnliche 4.4 K über dem langjährigen Mittel bedeuten. Das deutlich zu warme Temperaturniveau wird nicht zuletzt unterstrichen durch die hohe Anzahl der Sommertage und der heißen Tage. Im Raum Stuttgart wurden beispielsweise 19 Tage registriert an dem die Temperatur die 25 °C Marke erreichte oder überbot. Das sind 14 mehr als im klimatologischen Mittel in einem September zu erwarten sind. Außerdem kam es noch zu 2 heißen Tagen, also Tagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C, wobei anzumerken ist, dass im Oberrheingraben sogar teilweise 8 Tage dieser Kategorie auftraten.

Neben den hohen Temperaturen, war auch die Sonnenscheindauer deutlich überdurchschnittlich. Im Landesmittel wurden 255 Sonnenstunden gemessen, was 89 Stunden mehr als der Mittelwert sind. Der September geht damit als zweitsonnigster September seit Messbeginn in die Wetterhistorie ein. Lediglich der September 1959 war mir 286 Stunden etwas sonniger.

Die ausgedehnten Hochdrucklagen sorgten zudem dafür, dass das Niederschlagssoll nicht erreicht wurde und dies zum Teil erheblich. Landesweit gesehen gingen im Mittel nur 28 mm der 70 mm, die in einem klimatologisch normalen September zu erwarten sind, nieder. Allerdings gab es einige lokale Unterschiede, die auf kurze und eng begrenzet, aber kräftige Starkniederschläge zurückzuführen sind. Denn es kam im September im Schutzgebiet Stuttgart und Nordwürttemberg an 3 Tagen und im Württemberger Schutzgebiet an 5 Tagen zu Gewittern. Während die Gewitter im kleineren der beiden Schutzgebiete aber schwach bleiben und keine Bereitschaft erforderten, wurde für das Württemberger Schutzgebiet an 3 Tagen eine Bereitschaft empfohlen.

Von diesen Tagen ist besonders der Dienstag, der 12. September zu erwähnen. Der bis dato dominierende Hochdruckblock bekam eine kleine Lücke in die eine kleine Störung mit vorlaufender Konvergenzlinie eindringen konnte. Dabei war vor allem in der Südhälfte von der Gewitterneigung betroffen, während sich die Situation im Norden etwas stabiler darstellte. In diesem Sinne wurde auch nur für das Schutzgebiet Württemberg eine Bereitschaft angeordnet. Nachdem am frühen Nachmittag innerhalb schwülwarmer Luft erste Schauer und kurze Gewitter entstanden, kam mit der Annäherung der Konvergenzlinie vom Schwarzwald aus die hochreichende Feuchtekonvektion stärker in Gang. Zunächst wurde daher die PH-PAZ von Albstadt aus in den Einsatz geschickt, bevor dann um 16.50 Uhr die D-EWGV nachfolgte. Beide Flugzeuge impfen bei Zellen im Bereich der Schwäbischen Alb, wobei sich die Situation als recht dynamisch darstellte. Es kam zu einigen Zellteilungen. Zum Teil war zuerst die linke Tochterzelle kräftiger, bevor später - wie oft üblich - die rechte Tochterzelle die Dominante wurde. Dabei war es besonders am anfangs an der westlichen Gebietsgrenze schwierig den richtigen Zugang zu den aktiven Zellen zu finden, wobei hier der größte Hagel (insbesondere im Dreieck Villingen-Schwenningen-Balingen und Sigmaringen) auftrat. Als die Zellen weiter ins Gebiet reinzogen, konnten die Aufwindbereiche besser angeflogen werden und hierbei nahm auch die Hagelentwicklung ab. Erst am östlichen Rand des Schutzgebiets (bei Ulm) - als das Impfmaterial zur Neige ging - verstärkte sich das Hagelpotenzial wieder.

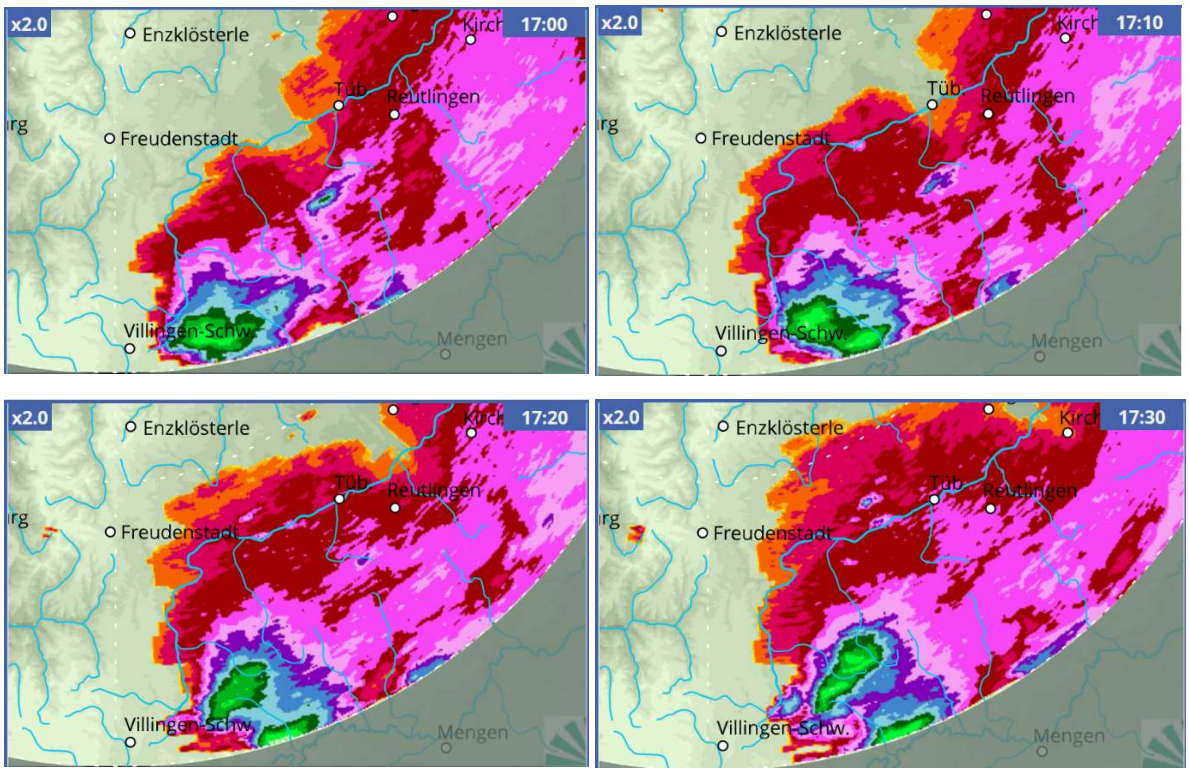


Abbildung 6: maximale Radarechos in auf die horizontalebene projiziert von 17.00 bis 17:30 Uhr MESZ am 12. September 2023. Von Villingen-Schwenningen aus teilt sich die Gewitterzellen, wobei in der Folge die südliche Zelle dominant wird und anfangs auch Hagel bringt. Später – nach einsetzender Bearbeitung – lässt die Zellintensität nach. Die Zelle zieht dabei am Rand des 120 km Bereichs des Karlsruher Niederschlagsradars entlang, so dass die südliche Zelle nur teilweise ausreichend erfasst wird.

Oktober

Im Mittel ist im Oktober alle drei Jahre mit einem Tag zu rechnen, der noch einmal kräftige Gewitter samt Hagelschlag bringt. Der diesjährige Oktober ist nicht zu jenen Jahren zu rechnen. Zwar wurden im Bereich Stuttgart und Nord-Württemberg an zwei Tagen und in ganz Württemberg an drei Tagen Gewitter registriert, aber diese blieben – trotzdem der Oktober deutlich zu warm ausfiel und in unserem Bundesland als drittwärmster Oktober gilt - ohne Hagelgefahr.

Zusammenstellung des Verlaufs der Niederschlagsintensität

Abbildung 7 zeigt die Zusammenstellung des Verlaufs der Niederschlagsintensität anhand der von der Radarsoftware versendeten Warnmails. Die stärksten Signale im Schutzgebiet wurden am 19. Juni sowie am 14. August registriert, die stärksten Signale außerhalb im Sektor der herannahenden Zellen am 16. August. Allerdings ist anzumerken, dass im Fall vom 19. Juni das Hagelpotenzial gering war und die Gewitter sich vor allem durch Ihrer hohe Regenintensität bei großtropfigem Regen auszeichneten, was auch hohe Radarreflektivitätsfaktoren verursacht. Dies wird im Seitenriss deutlich, in dem der Niederschlagskern sehr nah am Boden war, was nicht unbedingt auf einen vorlaufenden hochkriechenden Aufwindpuls samt starker Hagelbildung hindeutet.

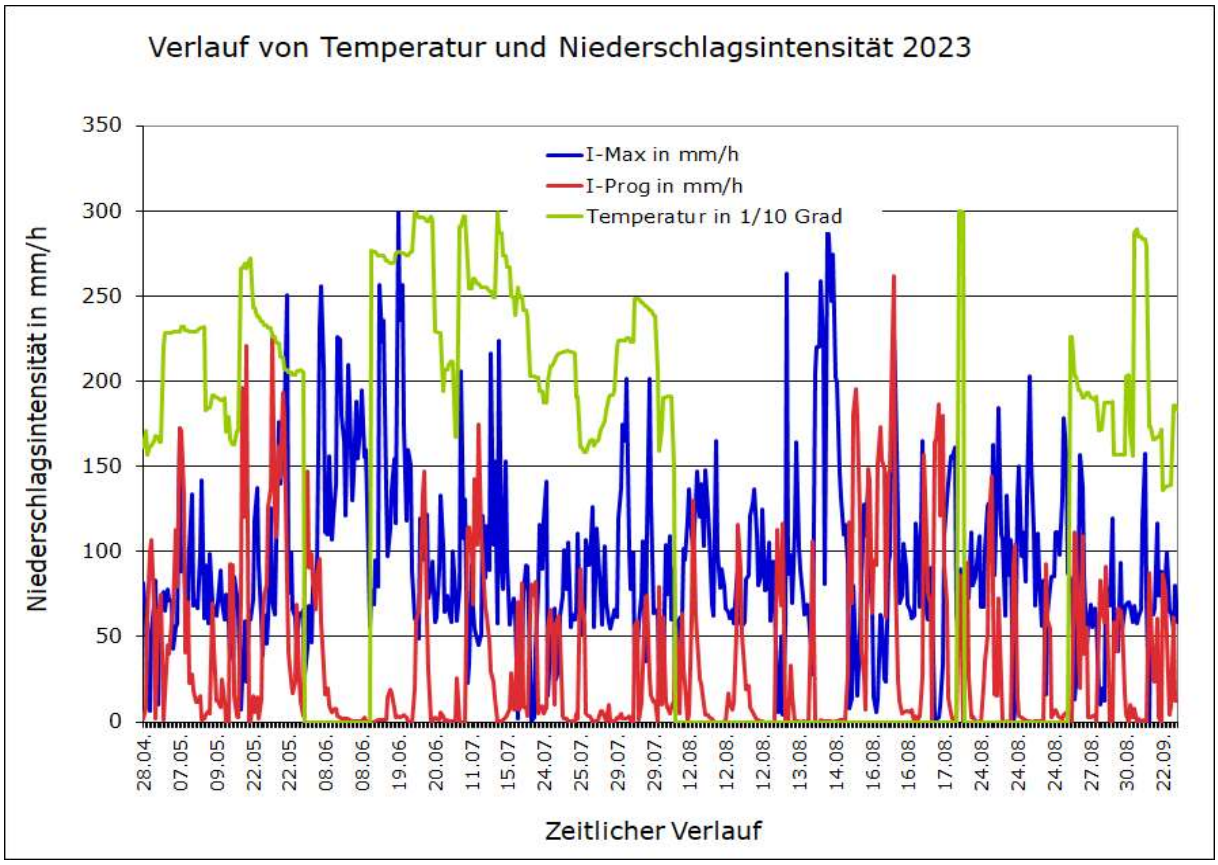


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der bodennahen Temperatur und maximalen Niederschlagsintensität der in 2023 verschickten Frühwarnmails. Die blaue Linie zeigt die Intensität im Schutzgebiet, die rote Linie diejenige der von außen herannahenden Gewitterzellen. Die grüne Linie gibt die 2 m Temperatur 1/10 Grad an, wobei im Juni und vor allem im August der Sensor defekt war und damit in diesen Abschnitten keine Temperaturwerte vorhanden sind.

Hagelereignis in Reutlingen am Freitag, dem 04. August 2023

Radar-Info, Stand 07.08.2023

Am Freitag, dem 04. August 2023 kam es in der Innenstadt von Reutlingen in einem eng begrenzten Bereich zu einer massiven Hagelansammlung. Der kleinkörnige Hagel wurde im Zusammenhang durch den Abfluss des begleitenden Starkregens aufgeschwemmt und bedeckte den Bereich in einer ansehnlichen Höhe. Zur Beseitigung mussten Schneepflüge eingesetzt werden und die Bilder des Ereignisses gingen in den Medien regelrecht viral.

In der Folge soll kurz auf die Ausgangslage eingegangen werden und auf die Möglichkeiten der Hagelabwehr.

Wetterlage:

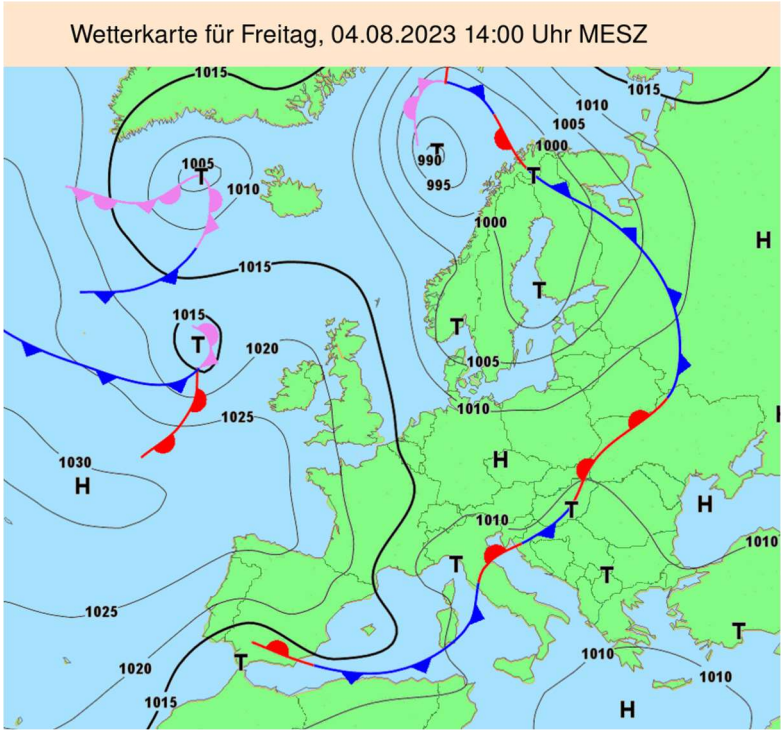


Abbildung 8: Bodenwetterkarte mit Isobaren und Fronten vom Freitag, 04.08.2023 - 00:00 UTC - Quelle: Bearbeitet nach Deutscher Wetterdienst

Bestimmend war ein umfangreicher, sich von Skandinavien bis zum Mittelmeer erstreckender Trog. In seinem Bereich wurde mäßig warme, aber feuchte und instabile Meeresluft herangeführt. In dieser sorgte nun die hereinschwenkende Trogachse, bzw. auch ein okkludierter Tiefausläufer für etwas initiierende Hebung. Mit dieser sowie vor allem mit Hilfe von lokalen Einflüssen, die sich aus dem Strömungsfeld im Umfeld des orografisch gegliederten Geländes (das ist insbesondere des Schwarzwalds und der Schwäbischen Alb) ergeben, entstanden im Tagesverlauf dann vermehrt Schauer und auch eingelagerte Gewitter. Die Unwetter- und Hagelgefahr war allerdings insgesamt nur mäßig bis gering ausgeprägt. Die potentiell für den Schauer- und Gewitterprozess verfügbare Energie war –

wie aus dem Radiosondenaufstieg der Station Stuttgart-Schnarrenberg in Abbildung 2 ersichtlich, mit knapp 400 J/kg nicht übermäßig groß und der niederschlagbare Wassergehalt der Atmosphärensäule mit 28.2 mm ist auch kein Wert, der für ein massives Unwetterpotenzial spricht. Allerdings war die Zuggeschwindigkeit der Schauer- und Gewitterzellen mit knapp 8 Knoten nicht allzu rasch, so dass sich die Zellen auch nur eher langsam verlagerten und somit ihre nasse Fracht länger an einem Ort abladen konnten. In Bezug auf den Hagel zeigt der Radiosondenaufstieg zwar ein leichtes Hagelpotenzial, aber das für kleinkörnigen Hagel und das auch nur lokal. Denn es gab zwar eine für die Organisation der Gewitter leichte Windänderung mit der Höhe, aber ausreichend für umfangreichere Multizellen oder gar Superzellengewitter war diese nicht. Von den Umgebungsbedingungen waren eher verclusterte Regengebiete mit einem schauerartigen Charakter und eingelagerten Gewittern zu erwarten mit recht umfangreicher Bewölkung und tiefen Wolkenuntergrenzen. Eine explizite sommerliche Hagellage, bei der durch den Hagelschlag bzw. den Aufprall des Hagels schwere Schäden entstehen, lag nicht vor.

Die Entwicklung in den Radar- und Satellitenbildern bestätigt diese Erwartung. Bei insgesamt starker Bewölkung entwickelten sich ausgedehntere Bereiche mit schauerartigem Regen. Diese griffen mit der Verlagerung des Hebungsantrieb von Westen her zum Nachmittag auf die Region um Reutlingen über. Bis dahin hielt sich das Auftreten von eingelagerten Gewittern in Grenzen bzw. waren die schauerartigen Regenfälle noch weitgehend gar nicht von Blitz und Donner begleitet. Dafür waren Aufwindpulse noch verbreitet zu niedrig. Erst um 15.30 Uhr zeigt sich bei Tübingen ein Aufwindpuls, der etwas höher reichte. Dieser schwächte sich aber 10 Minuten später erst einmal wieder ab. Um 15.50 Uhr ist im Radarbild der nächste, diesmal noch höher reichende Puls zu sehen, der zu einem substantielleren Hydrometeorwachstum führt. Im Radarbild von 16.00 Uhr ist dann sogar im Aufriss der Zelle, die nun knapp westlich vor Reutlingen zu finden ist, ein leichter Echoüberhang auszumachen, der eine Signatur für einen kräftigeren Aufwind und in der Folge für eine stärkere Gewitterentwicklung ist. In der Hydrometeorklassifikation sind außerdem erste Anzeichen von signifikanterer Hagelbildung auszumachen. Die Umwandlung des angedeuteten Potenzials in das reale Ausmaß, zeigt sich im folgenden Radarbild. Um 16.10 Uhr weist der Aufriss ein Bereich auf, der auf Hagel hindeutet, wobei um 16.13 Uhr vom Karlsruher Niederschlagsradar automatische Warnungen ausgegeben wurden und in der Hydrometeorklassifikation auch bodennah sehr eng begrenzt kleinkörniger und recht nasser Hagel analysiert wird. Kurz nach diesem Zeitpunkt kam es dann auch zu dem Unwetter, wobei insgesamt erst Starkregen einsetzte und danach eingebettet und engbegrenzt kleinkörniger Hagel fiel. 10 Minuten später weist das Radarbild allerdings schon wieder eine deutliche Abschwächung auf. Die Zelle geht in ihre Zerfallsphase über und in der Folge bleibt es bei der Verlagerung nach Osten bei zwar starkem Regen, aber ohne weiteren Hagel, wie es auch die Hydrometeorklassifikation aufzeigt.

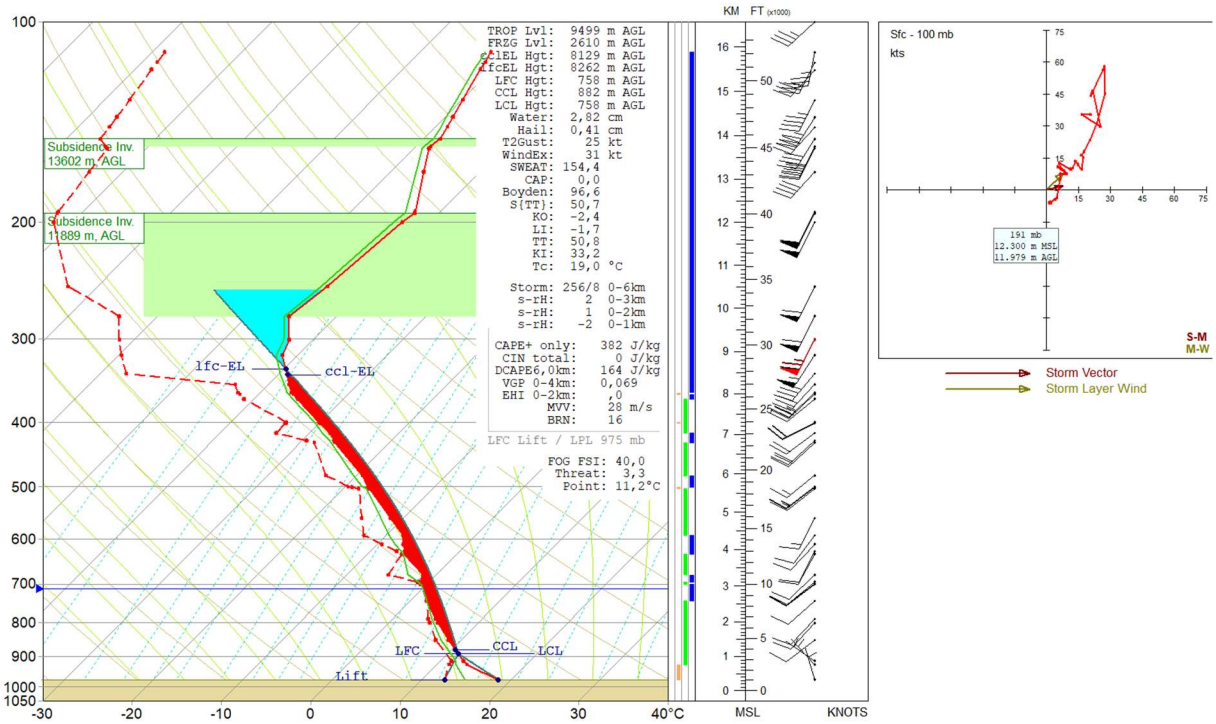


Abbildung 9: Radiosondenaufstieg der Station Stuttgart-Schnarrenberg (WMO-Id: 10739) vom 04.08.2023 - 14:00 Uhr MESZ

Bewertung:

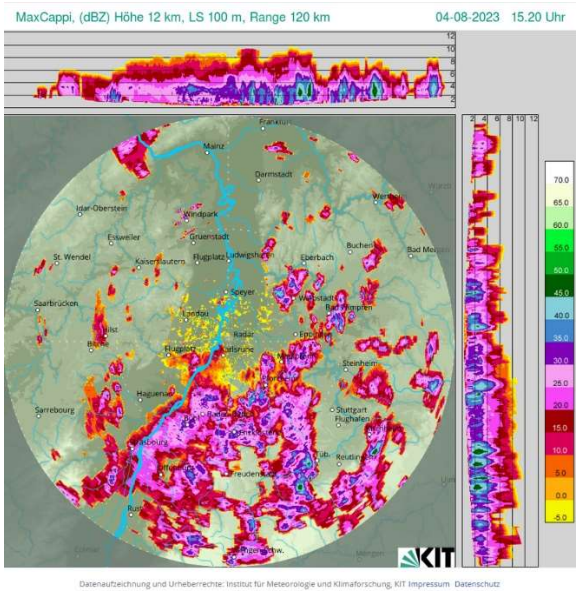
Es handelt sich bei dem Reutlinger Hagelunwetter vom 04.08.20223 um ein sehr kleinräumiges und auch relativ kurzes Ereignis. Die Entwicklung ging rasch vonstatten und zerfiel auch wieder rasch. Im

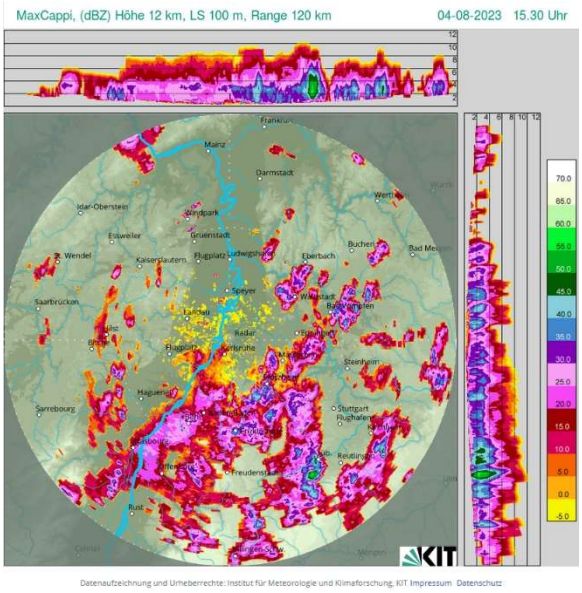
Fokus waren dabei – wie auch aus den Umgebungsbedingungen zu erwarten – nicht die Hagelkorngrößen, sondern der Niederschlag als Mischung aus Starkregen und einer Masse an sehr kleinkörnigem Hagel und Graupel. Diese Mischung kann von der Konsistenz etwas mit dem vom Jahrmarkt bekanntes Slush-Ice verglichen werden, dass sich durch den teils verhinderten Abfluss in den Straßen aufgetürmt hat. Der Hagel selbst hat dagegen mit seinen Korngrößen kaum, bzw. keinen Schaden verursacht.

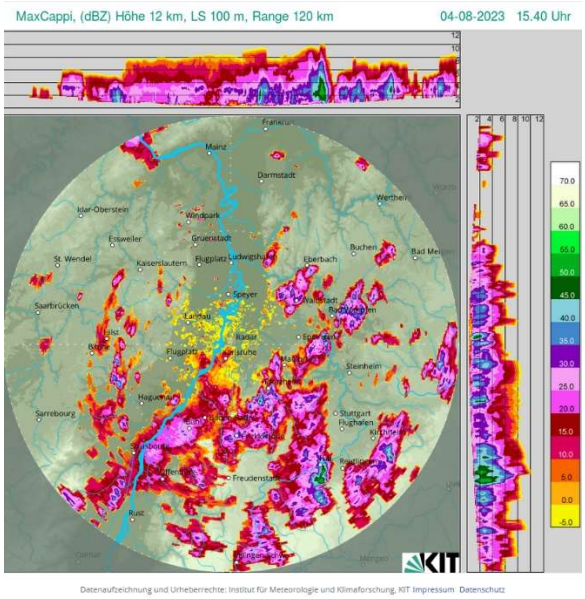
Hinsichtlich der Möglichkeiten der Hagelabwehr, so muss man deutlich sagen, dass in diesem Fall kein operationeller Einsatz möglich war. Die Entwicklungen waren in Regen eingebettet, sowie – wie gezeigt – recht kurzlebig. Außerdem waren die Wolkenuntergrenzen niedrig, wie auch die Temperaturen mit 18 bis 20 Grad. In diesem Sinne ist einerseits ein Anfliegen an die Aufwindbereiche, wie auch eine effektive Ausbreitung der Impfsubstanz im Zustrombereich nicht möglich. Andererseits gibt es für solche Lagen in einigen Hagelabwehrprojekten sogar ein Abbruch-Kriterium. Denn mit dem Eintrag von zusätzlichen Eiskeimen, wären bei hier vorhandenen der Überverfügbarkeit an unterkühltem Wasser und der recht tiefen Zone des optimalen Hagelwachstums (die 0°C Grenze lag an diesem Tag bei 2935 m und die -10°C Grenze bei 4641m) die Niederschlagsmassen evtl. sogar noch eher verstärkt worden. Das heißt, es wäre letztlich ggf. eine noch größere Menge an dem feinkörnigem Hagel-Graupel und Wasser-Gemisch entstanden

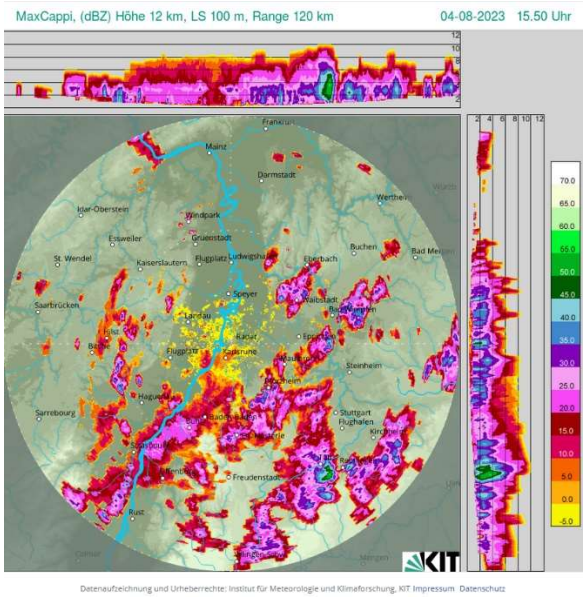
Entwicklung der Zelle im Radarbild:

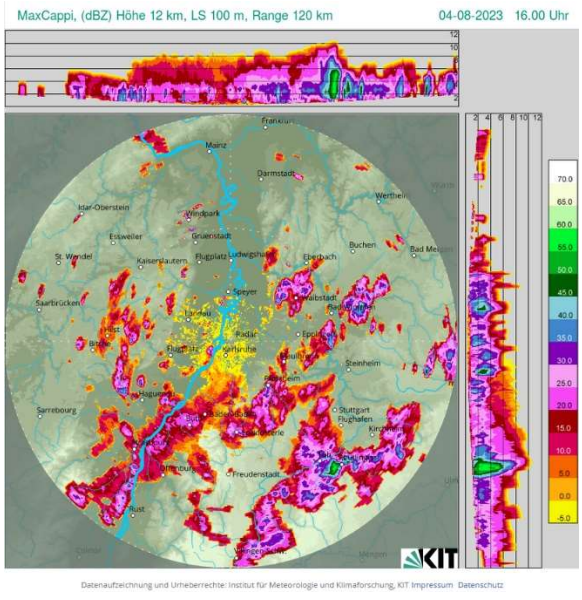
1. **MaxCAPPI Darstellung:**

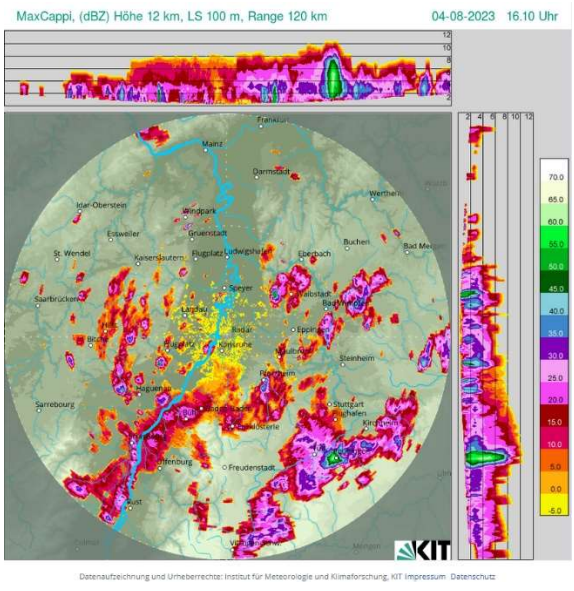


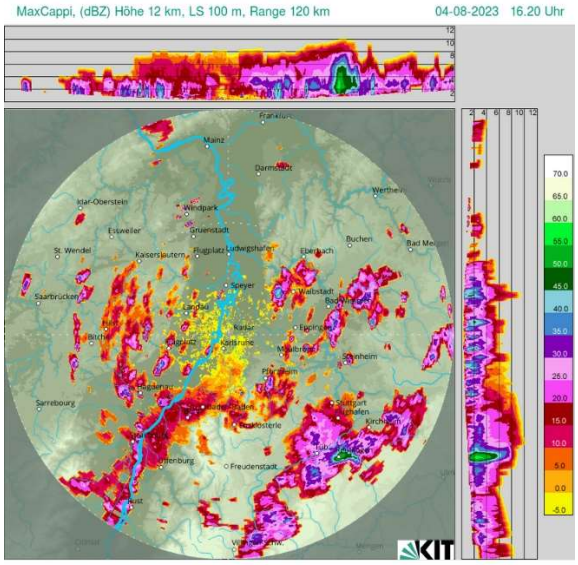


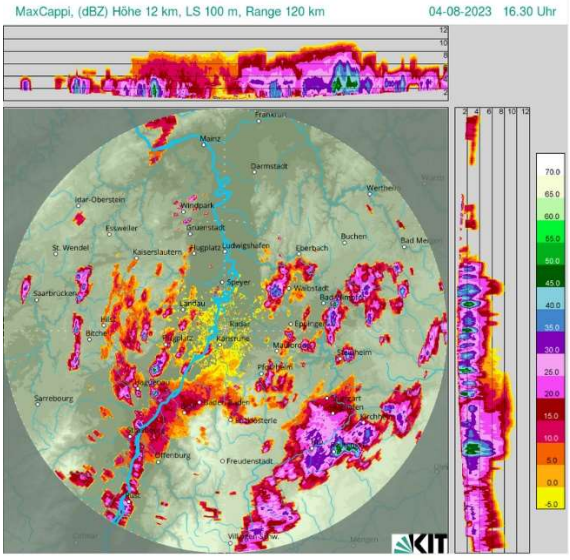

MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 15.40 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz

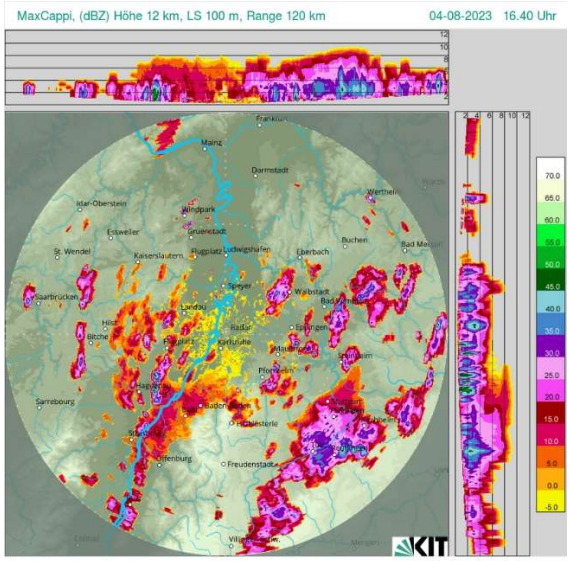

MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 15.50 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz


MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 16.00 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz

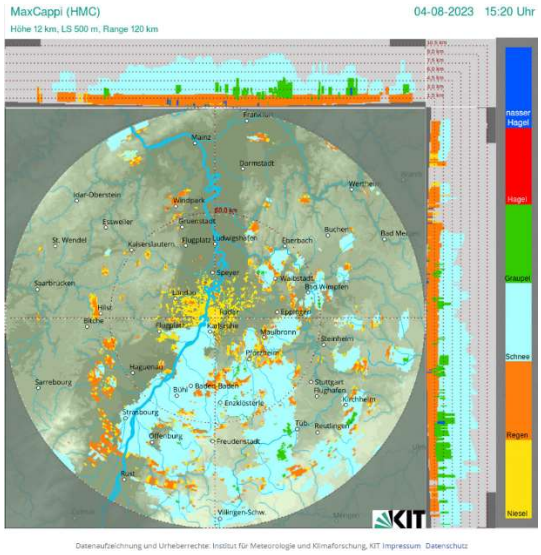

MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 16.10 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz

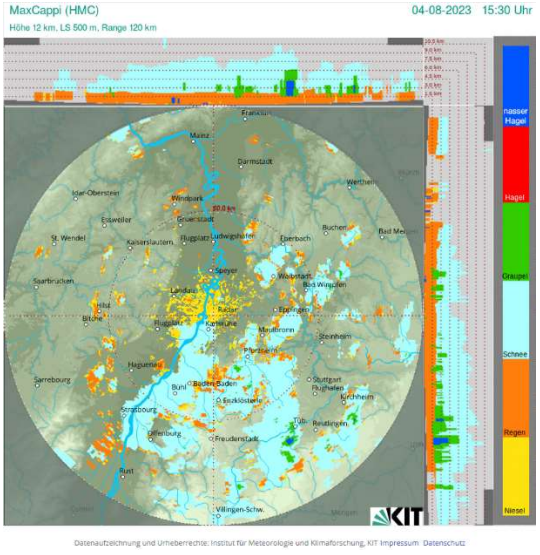

MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 16.20 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz

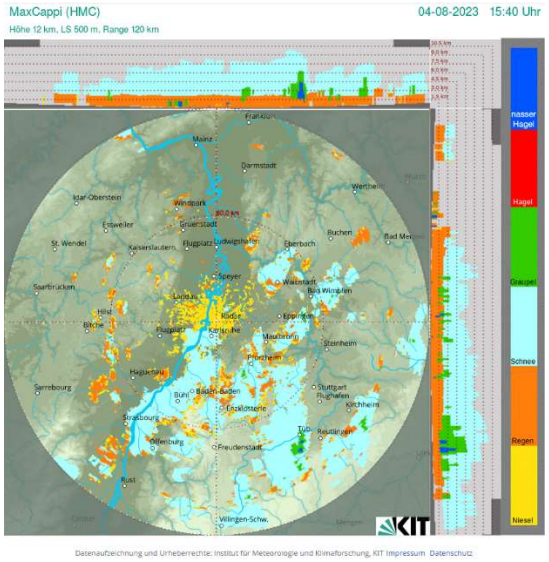

MaxCappi, (dBZ) Höhe 12 km, LS 100 m, Range 120 km
04-08-2023 16.30 Uhr
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz

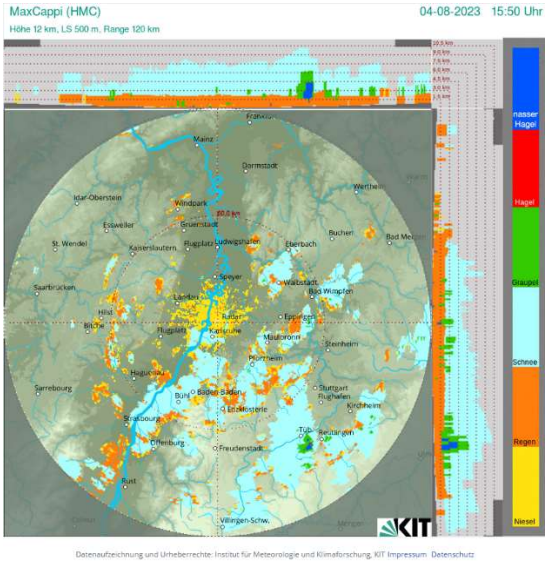


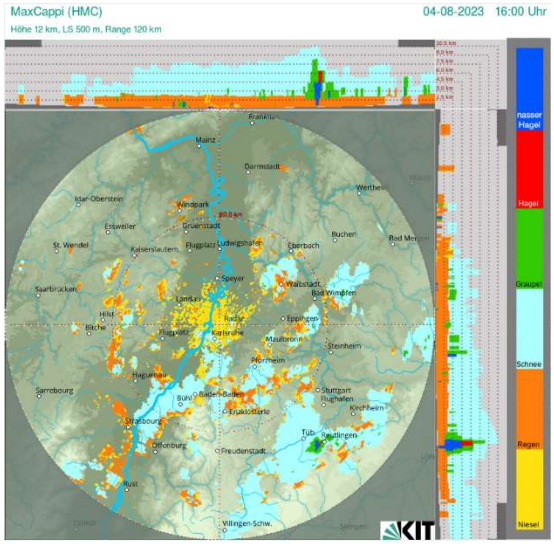
2. Hydrometeor-Klassifikation

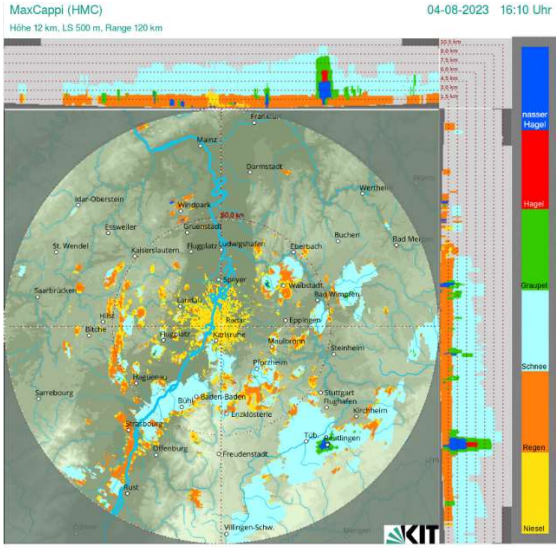


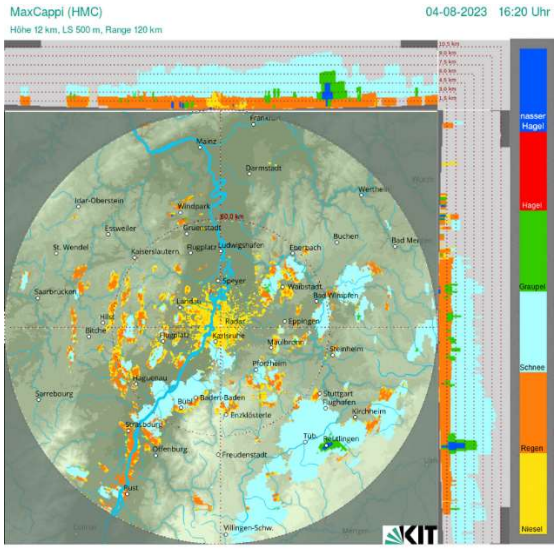


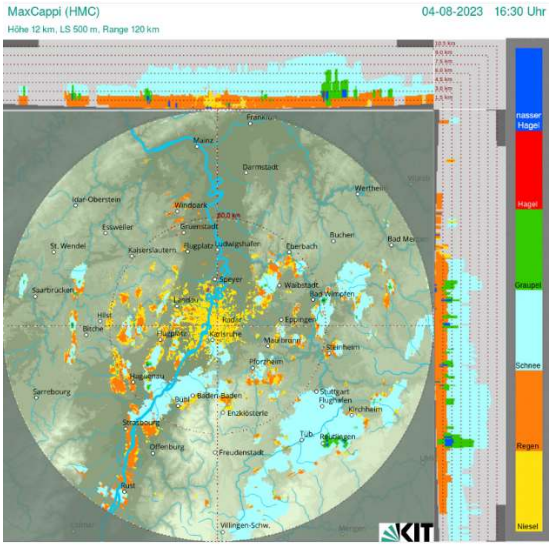


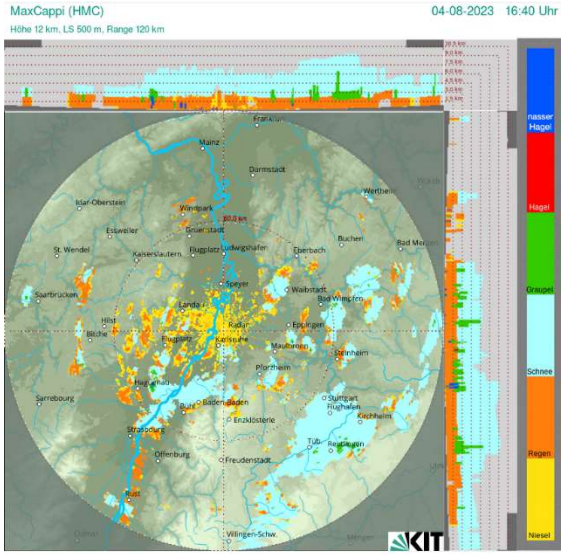



MaxCappi (HMC)
04-08-2023 16:00 Uhr
Höhe 12 km, LS 500 m, Range 120 km
nasser Hagel
Hagel
Graupel
Schnee
Regen
Niesel
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz


MaxCappi (HMC)
04-08-2023 16:10 Uhr
Höhe 12 km, LS 500 m, Range 120 km
nasser Hagel
Hagel
Graupel
Schnee
Regen
Niesel
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz


MaxCappi (HMC)
04-08-2023 16:20 Uhr
Höhe 12 km, LS 500 m, Range 120 km
nasser Hagel
Hagel
Graupel
Schnee
Regen
Niesel
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz


MaxCappi (HMC)
04-08-2023 16:30 Uhr
Höhe 12 km, LS 500 m, Range 120 km
nasser Hagel
Hagel
Graupel
Schnee
Regen
Niesel
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz


MaxCappi (HMC)
04-08-2023 16:40 Uhr
Höhe 12 km, LS 500 m, Range 120 km
nasser Hagel
Hagel
Graupel
Schnee
Regen
Niesel
Datenaufzeichnung und Urheberrechte: Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT Impressum Datenschutz