

Hydrometeorologische Aspekte des Hochwassers in Südbayern im August 2005

Niederschlagsvorhersage, Warnung und klimatologische Bewertung des DWD

Rudolf, B., H. Frank, J. Grieser, G. Müller-Westermeier, J. Rapp, W. Trampf

unter Verwendung von Materialien von J. Asmus., C. Beck, B. Dietzer, D. Heizenreder, O. Kohler, D. Majewski, P. Otto, T. Reich, R. Reitter, P. Schmitt, S. Trömel, H. Weingärtner und der Pressestelle des DWD

Inhalt:

1. Das Hochwasserereignis
2. Die synoptische Wetterlage und Ursachen des Unwetters
3. Die Niederschlagsvorhersagen des DWD im Vergleich mit Beobachtungen
4. Frühzeitige Warnungen des DWD
5. Die Beobachtungssysteme des DWD
6. Die beobachteten Niederschlagsfelder zum Hochwasserereignis
7. Klimatologische Einordnung
8. Schlussbemerkungen

1. Das Hochwasserereignis

In der zweiten Augushälfte des Jahres 2005 ereigneten sich im zentralen und nördlichen Alpenbereich sehr schwere Hochwasser. Vor dem hier behandelten Ereignis in Bayern wurden in der Schweiz nach heftigen Regenfällen am 21. August (Schmid, Bader und Schlegel, 2005) u. a. die Städte Interlaken, Luzern und die Hauptstadt Bern überschwemmt. Am folgenden Tag verlagerte sich das Niederschlagsgebiet auf die Nordseite des Alpenkamms; starke Niederschläge im Nordstau der Alpen führten zu Hochwasser der Flüsse Lech, Iller, Isar und Inn und anschließend auch der Donau. Betroffen waren weite Bereiche Südbayerns, besonders die Städte Garmisch-Partenkirchen, Kempten und Regensburg. In einigen Gebieten wurden sogar höhere Pegelstände als beim Jahrhunderthochwasser im Mai 1999 gemessen. Die starken Niederschläge hielten mehr als 24 Stunden an und erreichten ihr Maximum am Abend des 22. August. Der Deutsche Wetterdienst hatte bereits am 21. August früh und deutlich vor der kommenden Hochwassergefahr gewarnt. Die Hochwasservorhersagezentrale in Kempten veranlasste daraufhin, den Spiegel der Talsperre Forgensee abzusenken. Der Katastrophenschutz wurde alarmiert. Die vorhergesagten Niederschläge bewahrheiteten sich sowohl hinsichtlich der Intensität als auch der räumlichen Ausdehnung.

Obwohl dieses Ereignis regional ein katastrophales Ausmaß erreichte und auch die an einigen Orten gemessenen Niederschlagshöhen sehr nahe bei den Rekordwerten lagen, kann die aufgetretene Situation aus meteorologischer Sicht nicht als sehr außergewöhnlich angesehen werden. Verantwortlich für das Hochwasser war – ähnlich wie bei dem Elbehochwasser im Jahr 2002 – das Zusammentreffen von mehreren für sich alleine nicht ungewöhnlichen meteorologischen Faktoren. Innerhalb der drei Tage vom 21. bis 23. August ergaben sich im Allgäu Niederschlagssummen zwischen 150 und 250 mm. Tagesniederschläge von über 100 mm sind jedoch im Alpenraum an sich nichts ungewöhnliches. So sind die gemessenen 24stündigen Niederschlagshöhen auch keine neuen Rekordwerte. Für das hier behandelte Hochwasser spielte allerdings die zeitliche Andauer sowie die räumliche Lage des Niederschlagsgebiets in Bezug auf die hydrologischen Einzugsgebiete eine große Rolle. Verstärkt wurde die Hochwasserbildung noch durch die nach dem allgemein recht feuchten Sommer bereits weitgehend gesättigten Böden. Dadurch kam es zu einem besonders raschen Abfluss der Regenmengen.

In diesem Beitrag wird der hydrometeorologische Hintergrund der Hochwasserlage nachträglich analysiert, zum einen, um die in diesem Fall bei der Niederschlagsbildung dominierenden Prozesse darzustellen und die Ergebnisse der numerischen Vorhersage mit den gemessenen Daten zu vergleichen, zum anderen um die aufgetretenen hohen Niederschläge klimatologisch zu bewerten.

2. Die synoptische Wetterlage und Ursachen des Unwetters

Den Anstoß für die außergewöhnliche Wetterlage, die zu den intensiven Regenfällen führte, gab die Abspaltung eines Tiefs aus der mäandrierenden Strömung der mittleren Breiten. Dieser „Cut-Off-Prozess“ fand über Westeuropa schon viele Tage vor dem Unwetterereignis statt. Das eigenständige Höhentief wanderte dann über den nördlichen Mittelmeerraum hinweg ostwärts. Da es sich nur relativ langsam verlagerte, konnte es eine große Menge an feuchter und warmer Mittelmeerluft in seine Zirkulation aufnehmen. Diese Luftmasse wurde auf der Ostflanke des Tiefs zunächst nach Norden transportiert, teils über die Alpen hinweg, teils um die Alpen herum. Dann aber änderte sich ihre Verfrachtungsrichtung zunächst nach Westen, später mehr nach Süden hin. Während dieses Transportvorganges kühlte die aufsteigende Luft ab und kondensierte, bildete also Wolken und schließlich ergiebigen Dauerregen. Durch die allmähliche Winddrehung von West auf Nord waren zunächst die Westalpen, später jedoch zunehmend die bayerischen Alpen betroffen, da sich hier die Luft staute und dadurch die Niederschlagsbildung erheblich verstärkte.

Bereits im Juli waren im Gebiet südlich der Donau überdurchschnittlich hohe Niederschläge gefallen. Diese füllten die Böden weitgehend auf, so dass bereits Anfang August im Alpenvorland in der Schicht bis 60 cm Tiefe Bodenfeuchten im Sättigungsbereich errechnet wurden. Im weiteren Verlauf gingen die Werte nur wenig zurück, sodass auch am 10. August im Alpenvorland hohe Werte um 100% der nutzbaren Feldkapazität (nFK) auftraten. Bis zum 20. August stiegen die Bodenfeuchten nochmals auf über 100% nFK an. Die Starkniederschläge, die dann im Verlauf der letzten Dekade im Alpenraum erfolgten, konnten vom gesättigten Boden nicht mehr aufgenommen werden. Für die exorbitanten Regenmengen im unmittelbaren Alpenbereich war insbesondere ein regional begrenztes Starkwindgebiet maßgeblich, dass sich über Baden-Württemberg und Südbayern hinweg nach Osten bewegte. In der unteren Troposphäre (bis zur Höhe von 1500 Metern über dem Meeresspiegel) sorgte es für die entscheidende Intensivierung des staubedingten Niederschlages an den Alpen (siehe Abb. 1). Die Wetterlage ähnelte, gerade bezüglich der Windverhältnisse, sehr der Situation, die im Jahre 2002 zu den Rekordniederschlägen im Erzgebirge und zum Elbehochwasser führte (Rudolf und Rapp, 2003). Allerdings folgte der Kern des Tiefs nicht exakt der immer wieder zitierte Zugbahn „Vb“, sondern eher den Zugbahnen Va und Vc.

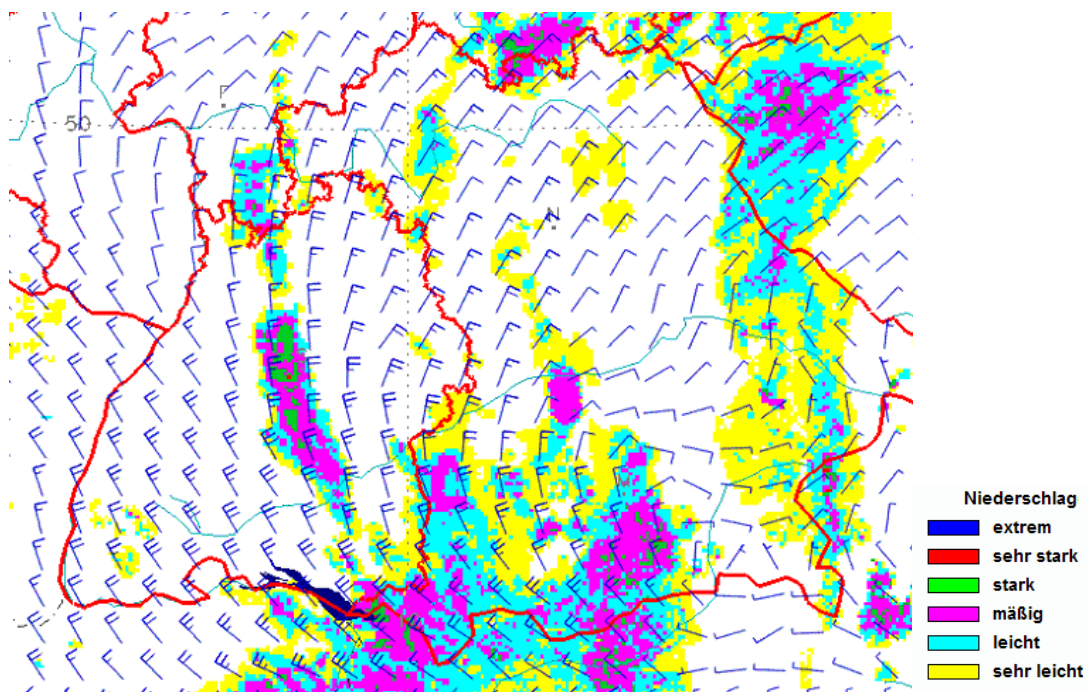


Abb. 1: Bodennahe Radarbild (Zentraleuropäisches Kompositbild) und analysiertes Windfeld in 1500 Meter Höhe NN (LM, 850 hPa) für den 23. 8. 2005, 02 Uhr MESZ

3. Die Niederschlagsvorhersagen des DWD im Vergleich mit Beobachtungen

Zunächst einige Erläuterungen zu den Vorhersagemodellen:

Der DWD verwendet verschiedene Modelle zur Vorhersage des Wetters, nämlich das globale Modell „GME“ und darin eingebettet das Lokalmmodell „LM“ für den Ausschnitt Mitteleuropa. Zusätzlich stellt das Europäische Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) globale Vorhersagen für bis zu zehn Tagen im Voraus bereit.

Das GME berechnet – ausgehend von den zum Startzeitpunkt der Prognoserechnung gemessenen Wetterdaten - das Wetter, d.h. Wind, Temperatur, Feuchte, Strahlung, Druck und Niederschlag, für die nächsten bis zu sieben Tage weltweit mit einer Maschenweite von ca. 40 km. Diese räumliche Auflösung ist die größte, die mit der derzeitigen Rechenleistung möglich ist. Alle Prozesse, die auf kleinerer Skala ablaufen, können nicht direkt erfasst werden. Sie müssen „parametrisiert“, d.h. unter gewissen Annahmen und Vereinfachungen geschätzt und in ihrer skalengemäßen mittleren Wirkung berücksichtigt werden. Um mehr regionale und globale Details zu simulieren, werden Ausschnittmodelle wie das LM verwendet. Diese benötigen in der Vorhersage die Daten an den Rändern des betrachteten Gebiets. Diese Randbedingungen liefert die Vorhersage des globalen Modells. Auf diese Weise kann in den begrenzten Modellen auch die Änderung durch von außen heranziehende Wettersysteme berücksichtigt werden.

Das bereits bekannte Ausschnittmodell des DWD ist das Lokalmmodell LM mit der Maschenweite 7 km. Damit können auch stärkere Vertikalwinde simuliert werden, u.a. weil kleinräumigeren Strukturen der Orographie wie steilere Hänge und auch nicht-hydrostatische Prozesse simuliert werden können. Diese sind besonders bei der Entstehung von Starkniederschlägen von Bedeutung. Zurzeit wird eine neue Version des LM, das sog. LME erprobt. Dieses enthält eine verbesserte Modellphysik und deckt einen größeren Raum als das bisherige LM ab (Europa/Nordatlantik).

Da die Natur immer noch wesentlich komplizierter als alle bisher realisierbaren und schon sehr komplexen Modelle ist, bleiben die Wettervorhersagen immer mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Fehler in den Vorhersagen können verschiedene Ursachen haben, z.B. die begrenzte räumliche Auflösung des Modells, Vereinfachungen in der Parametrisierung der subskaligen Prozesse, eine ungenaue Bestimmung der Anfangsbedingungen durch Lücken im Beobachtungsnetz oder auch nicht erkannte Fehler in einzelnen Beobachtungsdaten. Parallel zur Entwicklung der Computertechnik arbeitet daher der DWD kontinuierlich an der Verbesserung und Verfeinerung seiner Beobachtungssysteme und Modelle. Neben der Verfeinerung der räumlichen Auflösung – künftig wird ein „LMK“ mit einer Maschenweite von 2,8 km in der Modellkette zusätzlich eingesetzt – wird die Ensembletechnik neue Möglichkeiten eröffnen. Hierbei werden den Vorhersagen unterschiedliche Modelle und variierte Anfangsbedingungen zugrundegelegt. Auf der Basis des Spektrums der Ergebnisse kann dann die Zuverlässigkeit der Wettervorhersage ortsbezogen und quantitativ bestimmt werden. Der DWD wird sagen können, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Starkregenereignis, das heißt, die Überschreitungswahrscheinlichkeit eines kritischen Wertes in einer bestimmte Region zu erwarten ist. Die neue Ensembletechnik wird gemeinsam von verschiedenen nationalen Wetterdiensten und dem Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage entwickelt.

Schon vom 21. 8. 2005 ausgehend (Modellstart 02 MESZ) berechneten die globalen Modelle GME und ECMWF Niederschlagshöhen bis zu fast 100 mm für den 22. August (s. Abb. 2). Die höchsten Niederschläge wurden allerdings etwas zu weit im Osten vorhergesagt. Die GME-Vorhersagen lagen dennoch in diesem Fall auch deutlich näher an den tatsächlich eingetroffenen Verhältnissen, wie ein Vergleich der Niederschlagskarten aus den Abbildungen 2 und 4 zeigt. Die Vorhersage vom 22. 8. 2005 (Starttermin 02 MESZ) für die nächsten 30 Stunden brachte noch höhere Werte mit dem Maximum um Garmisch-Partenkirchen. Die Lokalmmodelle LM und LME sagten auf Grund der feineren Maschenweite noch höhere Maxima voraus. Das Gebietsmittel ist aber fast gleich. LM und LME verbessern im Vergleich zum GME vor allem die Vorhersage für die Schweiz.

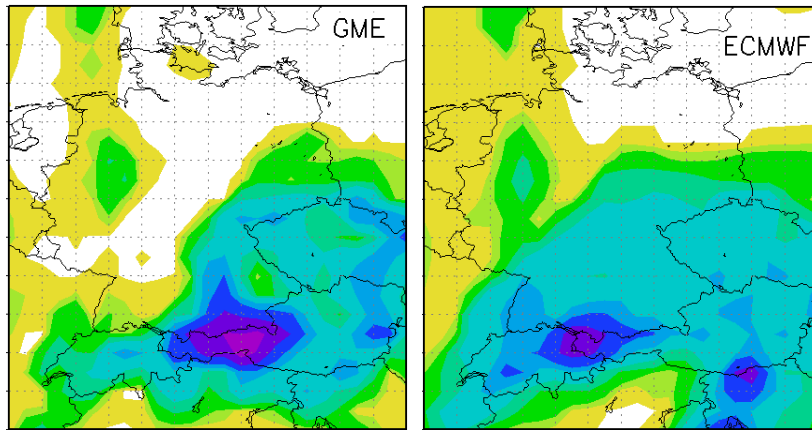


Abb. 2: Niederschlagsvorhersagen vom 21. 8. 2005, 02 MESZ, für den 22. August (22. 8.-23. 8., je 08 MESZ)

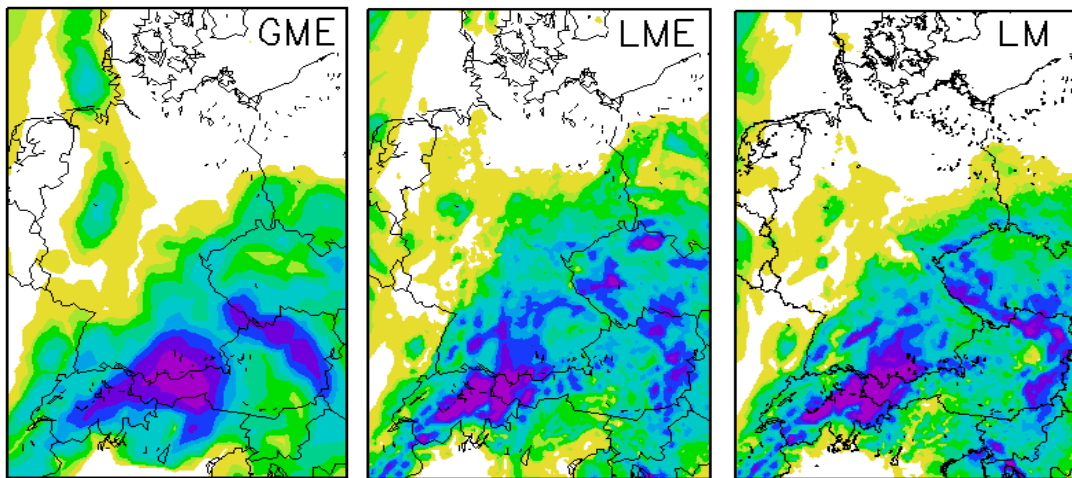


Abb. 3: Niederschlagsvorhersagen vom 22. 8. 2005, 02 MESZ, für den 22. August (22. 8.-23. 8., je 08 MESZ)

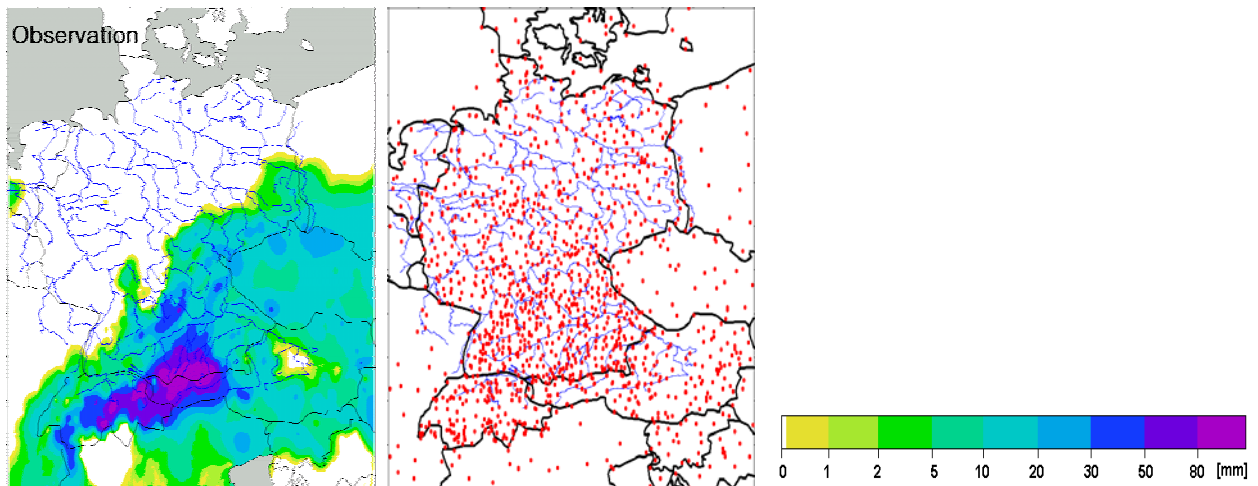


Abb. 4: Analyse auf der Basis der Beobachtungsdaten (Messnetze) für den 22. August (22. 8.-23. 8., 08 MESZ), die Lage der verwendeten 1377 Stationen sowie die Legende aller Niederschlagskarten (Abb. 2 bis 4, mm pro Tag)

4. Frühzeitige Warnungen des DWD

Der Deutsche Wetterdienst hat die gefährlichen Niederschläge im Alpenvorland frühzeitig, exakt und zur Zufriedenheit seiner Partner bei den Hochwasserschutzeinrichtungen vorhergesagt. Er hatte bereits am Vormittag des 21. August die Medien, die Öffentlichkeit und die behördlichen Partner des Deutschen Wetterdienstes über die zu erwartende Unwetterentwicklung in Bayern informiert.

In Vereinbarungen zwischen den Ländern und der Bundesbehörde DWD ist geregelt, dass detaillierte Hochwasservorhersagen und die entsprechenden Warnungen ausschließlich von den Ländern – meistens den Wasserwirtschaftsämtern - aber nicht vom DWD herausgegeben werden. Der DWD ist nur für die Warnung vor gefährlichen Wettererscheinungen, wie zum Beispiel Starkregen, zuständig. Er gibt selbst keine amtlichen Hochwasserwarnungen heraus. Trotzdem weist der nationale Wetterdienst in seinen amtlichen Unwetterwarnungen zum Beispiel für die Medien auch auf drohende Hochwassergefahren hin. Denn der DWD versorgt mit seinen Warnungen vor gefährlichen Wettererscheinungen nicht nur seine behördlichen Partner, sondern auch die Medien und über das Internet (www.wettergefahren.de) die breite Öffentlichkeit.

Chronologie der DWD-Warnungen zum Hochwasser in Bayern

Bereits am Sonntag, dem 21. August 2005 um 8:00 Uhr wies die Unwetterwarnzentrale des DWD in München auf zu erwartende Niederschlagsmengen von bis zu 200 Liter pro Quadratmeter im Alpenraum hin. Die Prognose bezog sich auf die kommenden 48 Stunden bis Dienstag den 23. 8. 2005.

Am selben Tag um 11.15 Uhr warnte die Unwetterwarnzentrale des DWD in München erneut das Wasserwirtschaftsamt Kempten über zu erwartende Maximalniederschläge von bis zu 200 Liter pro Quadratmeter. Aufgrund dieser Informationen des nationalen Wetterdienstes wurden laut Wasserwirtschaftsamt der Wasserspiegel des Forggensee abgesenkt sowie Katastrophenschutzmaßnahmen in Kraft gesetzt.

In einer amtlichen Unwettervorwarnung am Sonntag um 11.55 Uhr an alle DWD-Partner, gültig für den Zeitraum von Montag 22. 8. 2005 ab 3.00 Uhr bis Dienstag 23. 8. 2005 um 10.00 Uhr wurde auf Dauerregen und Niederschläge von 60 bis 100 Liter pro Quadratmeter hingewiesen.

Um 17 Uhr am Sonntag verbreitete das Wasserwirtschaftsamt Kempten: „Nach den vorliegenden Prognosen des DWD sind Gesamtniederschlagsmengen von 100 bis 200 Liter pro Quadratmeter zu erwarten ... Auf Grundlage der Niederschlagsprognosen, der hohen Schneefallgrenze, der vorgesättigten Böden ist ein großes Hochwasser zu erwarten.“

Um 22.04 Uhr konkretisierte der DWD seine Unwettervorwarnung und gab eine amtliche Unwetterwarnung für die besonders gefährdeten Städte und Landkreise wie zum Beispiel Kempten und Garmisch-Partenkirchen heraus. Der DWD warnte vor Niederschlägen von bis zu 120 Liter pro Quadratmeter im Zeitraum von 24 Stunden, von Montag, 22. 8. um 4.00 Uhr bis Dienstag, 23. 8. 2005 um 4.00 Uhr. Die Unwetterwarnung wies auf drohende Hochwassergefahren hin.

Am Dienstag, 23. 8. 2005 um 3.38 Uhr gab die Unwetterwarnzentrale in München erneut eine Unwetterwarnung für mehrere Städte und Landkreise im Alpenraum heraus und wies auf noch zu erwartende Niederschläge im Laufe des Tages - bis 16.00 Uhr - von 40 bis 60 Liter pro Quadratmeter hin.

Die Messdaten bestätigen Vorhersagen und Warnungen des DWD

Eine Überprüfung der Vorhersagen durch die Messungen einiger Wetterwarten des DWD in der betroffenen Region ergibt: In der Summe über die drei Tage vom Sonntag den 21. bis Dienstag den 23. August wurden in Garmisch-Partenkirchen 144, in Oberstaufen 170 und in Oberstdorf 150, im Ortsteil Rohrmoos sogar 179 Millimeter Niederschlagshöhe bzw. Liter pro Quadratmeter gemessen. Die frühzeitigen Prognosen des DWD sind also eingetroffen. Alle an die Hochwasservorhersagezentralen abgegebenen Warnungen wurden im Wortlaut dokumentiert.

5. Die Beobachtungssysteme des DWD

Der DWD verfügt über das dichteste meteorologische Beobachtungsmessnetz in Deutschland mit über insgesamt mehr als 3.000 Stationen. Von diesen liefern 850 Stationen ihre Daten unmittelbar nach der Messung. Diese Daten werden als Echtzeitdaten bezeichnet. 240 dieser sofort meldenden Stationen liegen allein in Bayern, 150 in Baden-Württemberg.

Zusätzlich betreibt der DWD das deutsche Niederschlagsradarmessnetz mit 16 Standorten, durch welche die Fläche Deutschlands fast vollständig abgedeckt wird. In der Kombination beider Systeme können stündliche Niederschlagshöhen quantitativ flächendeckend bestimmt werden. Das Verfahren dazu (RADOLAN, Radar Online Aneichung) wurde vom DWD in Zusammenarbeit mit den Wasserbehörden der Bundesländer entwickelt. Darüber hinaus werden die qualitativen Radarbilder der Mitteleuropäischen Staaten in ein grenzübergreifendes Kompositbild (CERAD, Central European Radar) umgesetzt. Qualitativ bedeutet dabei, dass die Niederschlagshöhe nicht in hoher quantitativer Auflösung sondern nur in graduellen Stufen angegeben werden kann.

Ein drittes Beobachtungssystem sind die Wettersatelliten von EUMETSAT, einer von den nationalen Europäischen Wetterdiensten gemeinsam betriebene Institution. Die Messdaten und Bilder der Wettersatelliten liefern wichtige Informationen zur Initialisierung der Vorhersagemodelle sowie zu deren Verifikation wie auch zur Beurteilung des aktuellen Wetters. Künftig werden Satelliten vermehrt auch zur Klimaüberwachung eingesetzt. Allerdings ist es bis heute noch nicht möglich, operationell aus Satellitenbeobachtungen Niederschlagsdaten von ausreichender räumlicher Auflösung und Genauigkeit zu ermitteln.

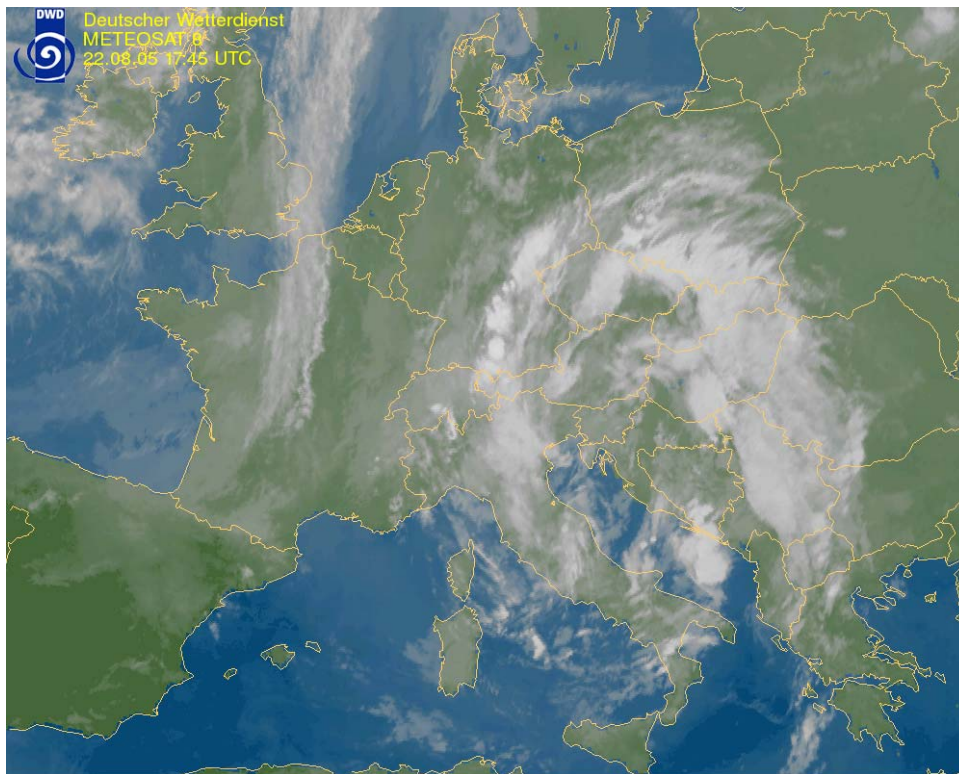


Abb. 5: Satellitenaufnahme des METEOSAT 8 für den 22. August 2005, 19:45 MESZ

Gut zu erkennen in Abb. 5 ist das schmale aber kräftige und in konvektive Zellen aufgelöste Wolkenband, das auf der Westseite des Tiefdruckwirbels mit einer starken Luftströmung aus nördlicher Richtung verbunden ist. Am Nordrand der Alpen wird die feuchte Luft angehoben und dies führte zu den sehr ergiebigen "Steigungsniederschlägen".

6. Die beobachteten Niederschlagsfelder zum Hochwasserereignis

In einem ersten Anlauf wurden alle rasch verfügbaren gemessenen täglichen Niederschlagshöhen mit einem bewährten Interpolationsverfahren (kriging) auf die Fläche interpoliert. Die verwendete Datenbasis umfasst die international regulär ausgetauschten synoptischen, die Echtzeitdaten des DWD und des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) sowie zusätzlich per E-Mail bereitgestellte Daten der Wetterdienste von Österreich und der Schweiz. Die berechnete Lage der Niederschlagsgebiete für die Tage vom 20. bis zum 23. August sind den Karten in Abb. 6 zu entnehmen.

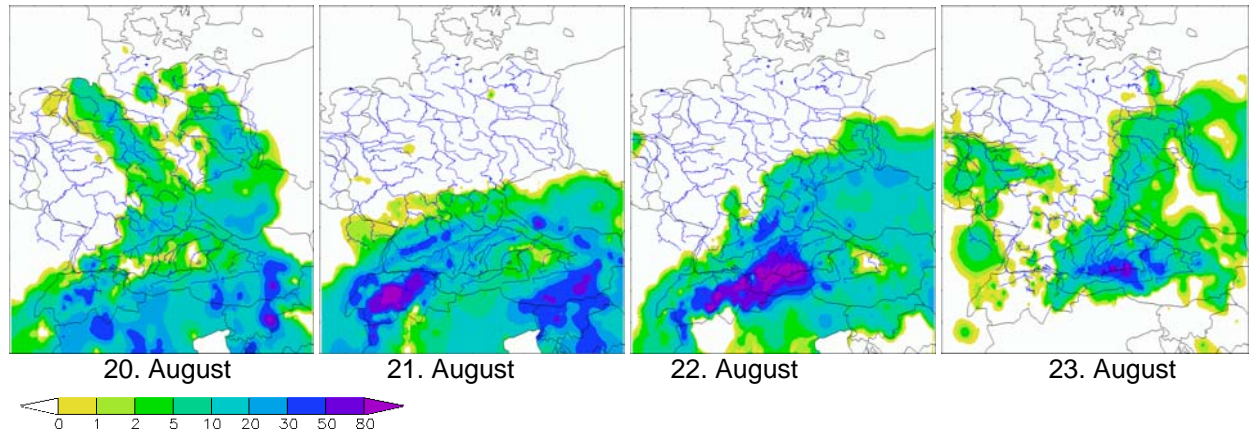


Abb. 6: Analysen der Beobachtungen der synoptischen Messnetze des DWD und der Nachbarstaaten für die Episode 20. bis 23. August (jeweils 08 bis 08 Uhr MESZ), Legende: tägliche Niederschlagshöhe in mm (Liter pro Quadratmeter)

Die Dichte der grenzübergreifend verfügbaren Daten ist im Vergleich zu derjenigen der nationalen Daten gering. Eine größere Genauigkeit und räumliche Auflösung der Analysen kann daher erreicht werden, wenn man sich auf das Territorium Deutschlands beschränkt. Neben den direkten Niederschlagsmessungen aus den dichten nationalen Stationsmessnetze stehen auch die quantitativen indirekt ermittelten Niederschlagsprodukte des Radarnetzes des DWD zur Verfügung. Durch eine Kombination lassen sich die der Gebietsniederschläge am genauesten flächendeckend bestimmen (Abb. 7).

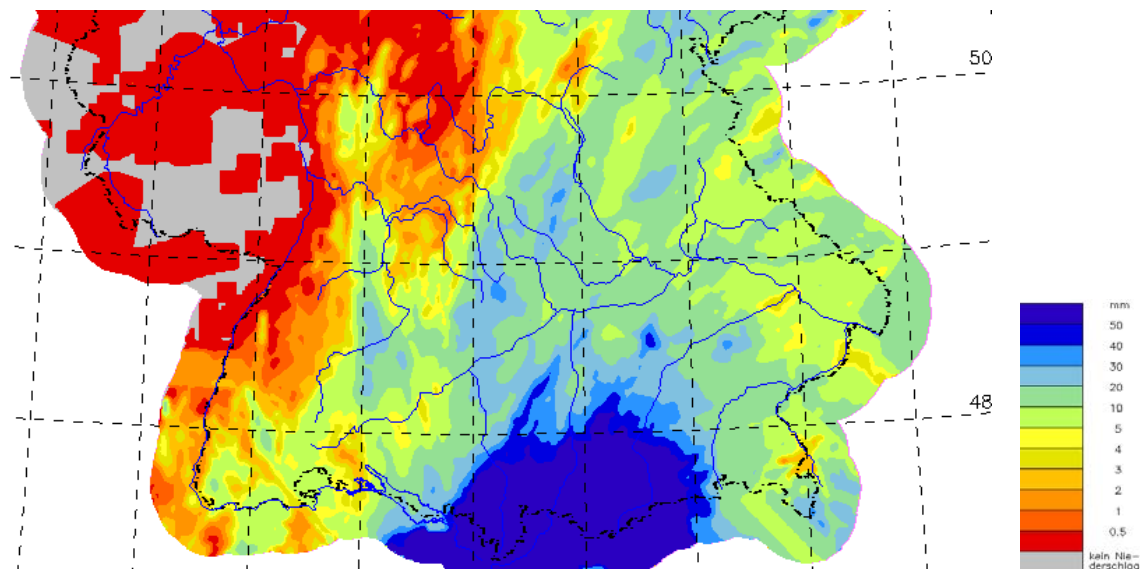


Abb. 7: Kombination von Radar- und Stationsdaten für den 22. August

Für einige ausgewählte Stationen ist der zeitliche Verlauf der stündlichen Niederschlagshöhen vom Morgen des 21. August, 7:00 UTC (= 9:00 Uhr MESZ) bis zum Morgen des 24. August, 7:00 UTC in den Diagrammen von Abb. 8 dargestellt. Nach mäßigen bis kurzzeitig starken Niederschlägen im Laufe des 21. August (besonders in Kempten) fiel der meiste Regen dann von Montagmorgen (22.) bis zum Dienstagnachmittag. Mit mehr als 20,1 mm wurde Kochel-Einsiedl am frühen Morgen des 23. August zwischen 5:00 und 6:00 Uhr MESZ der höchste Stundenwert gemessen.

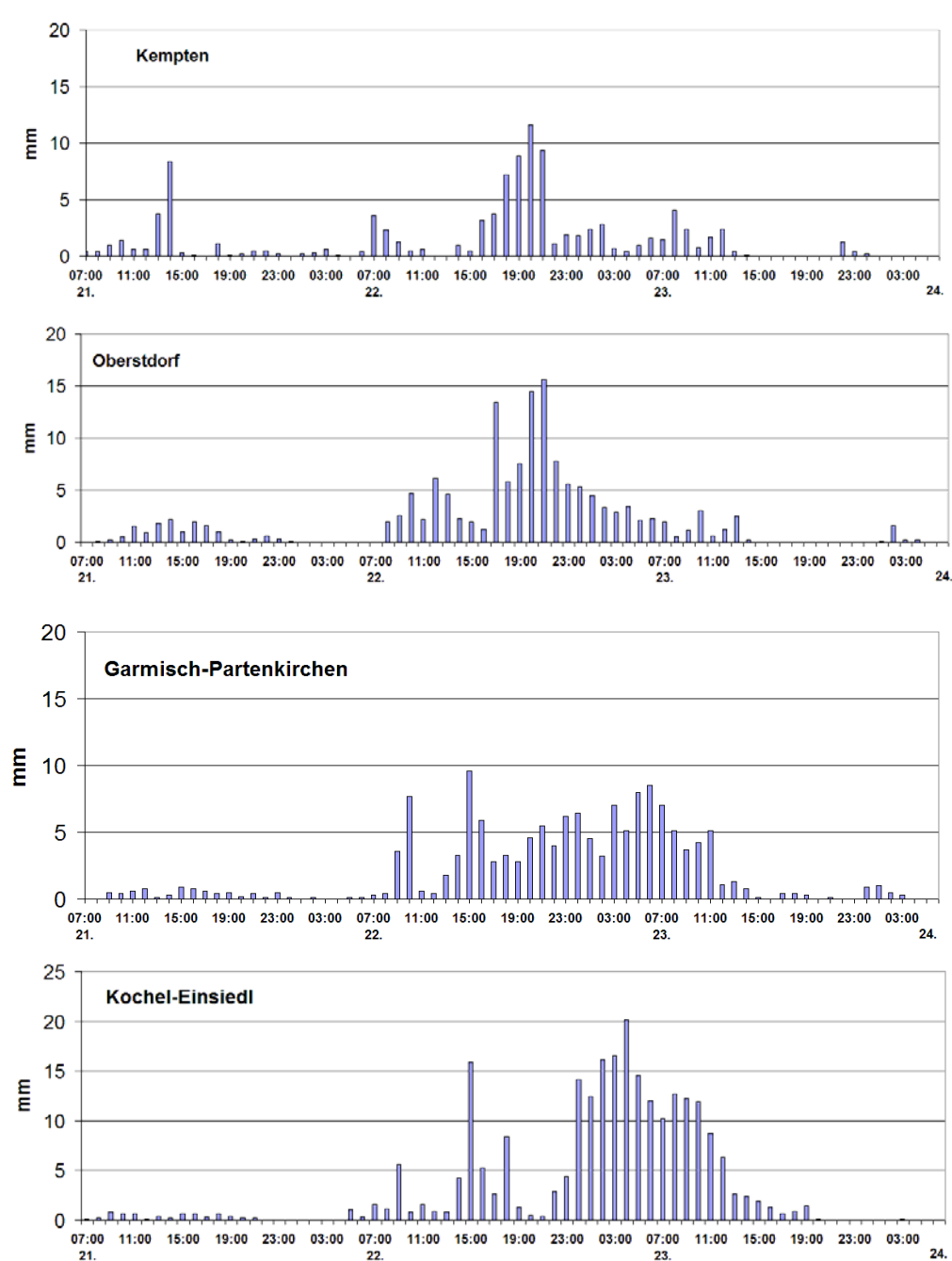


Abb. 8: Die stündlichen Niederschlagshöhen im zeitlichen Verlauf vom bis 21. bis zum 24. August

7. Klimatologische Einordnung

Zunächst stellt sich die Frage, wie hoch die Niederschläge, die zu dem Hochwasserereignis führten, genau waren und wie oft solche Werte zu erwarten sind. Wichtige weitergehende Fragen betreffen jedoch die Häufigkeit des Auftretens hoher Niederschläge in Verbindung mit ihrer zeitlichen Andauer für lokale Risikobetrachtungen sowie zusätzlich in Verbindung mit ihrer räumlichen Ausdehnung, wenn es um die Abschätzung der Häufigkeit von Hochwasser von Flüssen geht.

Schließlich steht die Auswirkung des sich ändernden Klimas zur Debatte. Ist bei diesem neuerlichen Hochwasserereignis ein Zusammenhang mit der Klimaänderung zu sehen?

Die höchsten im August 2005 in Südbayern gefallenen Niederschläge

Über die drei Tage vom 21. bis 23. August ergaben sich im Allgäu Niederschlagssummen zwischen 150 und 250 mm (vgl. Tab. 1). Tagesniederschläge von über 100 mm sind im Alpenraum an sich nichts Ungewöhnliches. Die gemessenen 24stündigen Niederschlagshöhen sind daher keine neuen Rekordwerte. In diesem Sommer traten bereits vergleichbare Niederschlagshöhen im östlichen bayrischen Alpenraum auf. Damals wurden 212 mm innerhalb von drei Tagen (9. bis 11. Juli) an der Station Unterwössen-Hinterwössen bei Reit i. W. gemessen. Der belegte Rekordwert für Kurzzeitniederschläge liegt bei dem unglaublichen Wert von 126 mm, gefallen innerhalb von nur acht Minuten in Füssen am 25. Mai 1920, dokumentiert von der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde (Haeuser, 1922). Die größte in Deutschland beobachtete tägliche Niederschlagshöhe beträgt 312 mm (Zinnwald, 12. bis 13. August 2002, Messtermin 8:00 Uhr MESZ). Das ist das Doppelte des höchsten Tageswertes, der während der hier betrachteten Hochwasserlage gemessen wurde. Der bisher höchste monatliche Niederschlag für Deutschland wurde mit 777 mm gleichermaßen bereits im Mai 1933 (Oberreute/Bodensee) und im Juli 1954 (Stein, Kreis Rosenheim) aus den Messdaten ermittelt.

Station	Niederschlagshöhen in mm					Wiederkehrzeit in Jahren 1951-2000	Mittelwert August (1961-1990) in mm
	Höhe ü. NN in m	21.8.	22.8.	23.8.	Summe 3 Tage (21.-23.8.)		
Kochel-Einsiedl (Kraftwerk)	805	7,2	164,1	73,3	244,6	44	209
Oberstdorf-Rohmoos	1067	15,4	137,3	26,5	179,2	34	230
Oberstaufen-Thalkirchdorf	748	14,8	135,0	20,2	170,0	22	199
Hohenpeißenberg (Observatorium)	977	40,7	79,5	36,8	157,0	35	156
Oberstdorf (Wetterwarte)	806	14,2	121,7	13,1	149,0	9	213
Garmisch-Partenkirchen (Wetterstation)	719	7,4	104,8	32,0	144,2	10	172
Zugspitze (Wetterwarte)	2960	29,1	45,8	7,5	82,4	1	170

Tabelle 1: Tägliche Niederschlagshöhen für die Tage 21., 22. und 23. August 2005, dazu die Dreitagessumme in mm und deren geschätzte Jährlichkeit (Wiederkehrzeit in Jahren nach KOSTRA-DWD-2000, Bartels et al. 2005), sowie die mittlere monatliche Niederschlagshöhe für den August (Bezugsperiode 1961-1990) in mm pro Monat.

Basierend auf der Annahme zeitlicher Stationarität wurden aus den täglichen Beobachtungsdaten des Zeitraums 1951 bis 2000 die in der Tabelle angegebenen Wiederkehrzeiten des Dreitagessniederschlags geschätzt. An den meisten der im Allgäu gelegenen Stationen liegen die Wiederkehrzeiten der Dreitagessumme zwischen 20 und 40 Jahren. In Kochel-Einsiedl wurden die höchsten Niederschläge sowohl an den einzelnen Tagen 22. und 23. August als auch in der Dreitagessumme gemessen; letzterer besitzt auch die größte Wiederkehrzeit/Jährlichkeit von 44 Jahren. Führt man dieselben Berechnungen für die Tageswerte des 22. August durch, ergeben sich für die Stationen Kochel-Einsiedl, Oberstdorf-Rohmoos und Mindelheim sogar Wiederkehrzeiten von mehr als 100 Jahren. Für alle übrigen Stationen im betroffenen Gebiet wurden jedoch auch für die Tageswerte deutlich geringere Wiederkehrzeiten ermittelt. In diesen Ergebnissen zeigt sich wieder die hohe Variabilität des Niederschlags.

Im den Alpen eher vorgelagerten Kempten sowie in der großen Höhe des Zugspitzgipfels war der Niederschlag weit weniger außergewöhnlich. In Kempten wurde an 14 der fast 39000 Beobachtungstage seit 1895 ein höherer Niederschlag gemessen, auf der Zugspitze wird der am 22. 8. 2005 beobachtete Wert im Durchschnitt 2 mal im Jahr überschritten.

Die räumliche Verteilung der für den 22. August an den Wetterstationen gemessenen Niederschlags-höhen ist in der Karte Abb. 9 dargestellt.

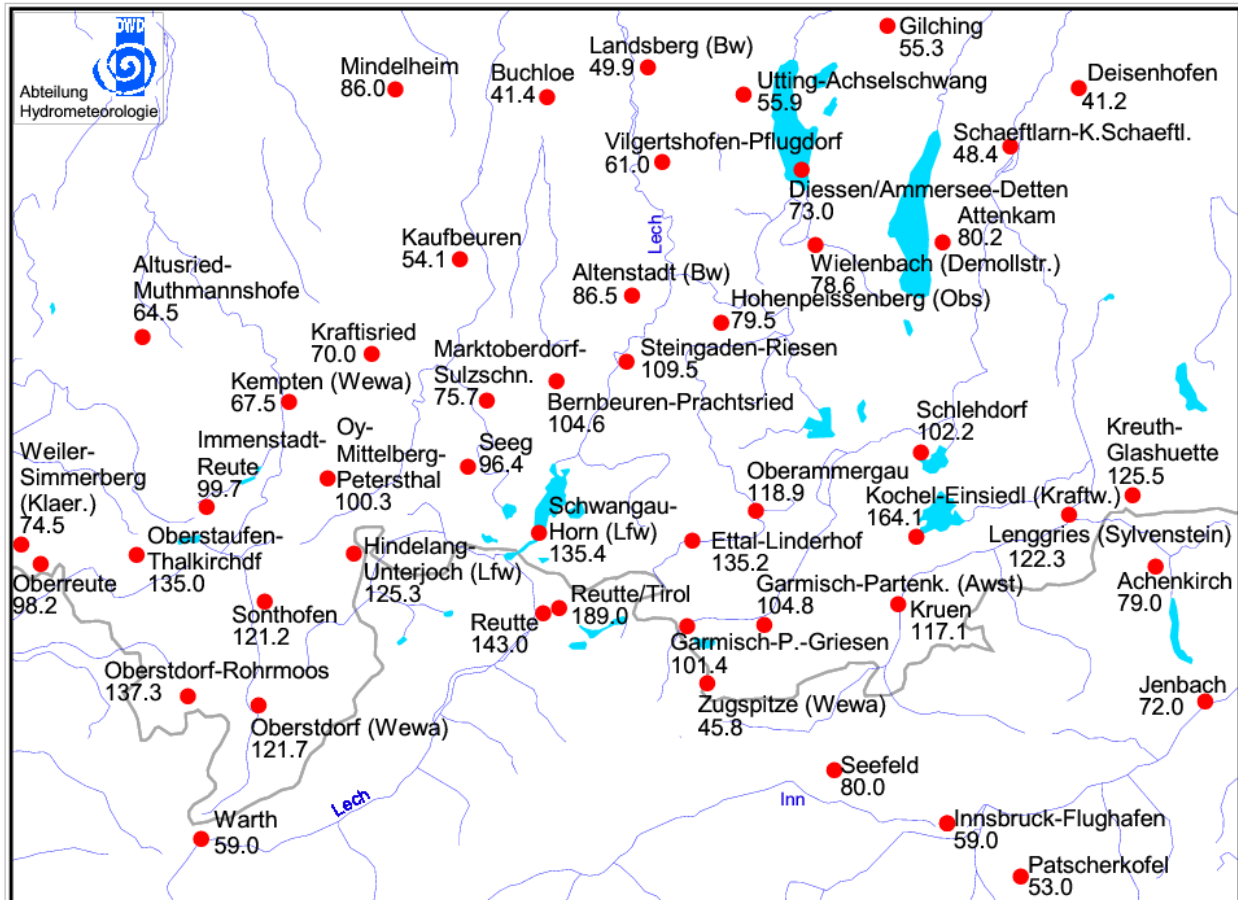


Abb. 9: Messwerte der täglichen Niederschlagshöhe in mm (22.8., 08 MESZ bis 23.8., 08 MESZ)

Neben der Bewertung des Niederschlags in Bezug auf die Jährlichkeit erlauben lange Zeitreihen auch, nach Veränderungen in der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Starkniederschlagsereignissen zu suchen. In Abb. 10 ist zu diesem Zweck beispielhaft für drei Stationen für jedes Beobachtungsjahr der höchste Tagesniederschlag eingezeichnet. Eine systematische Veränderung über den jeweils gesamten Beobachtungszeitraum ist nicht erkennbar. Diese Zeitreihen der höchsten Tagesniederschläge weisen daher nicht auf einen kontinuierlichen Klimawandel hin.

An den Stationen Garmisch, Oberstdorf und Oberstaufen wurden am 22. August jeweils der zweithöchste je beobachtete Tagesniederschlag verzeichnet. Während die Rekordniederschläge in Oberstdorf und Oberstaufen nur um 0,1 mm und 1,3mm verfehlt wurden, lag der zu Pfingsten 1999 (21.5.1999) gemessene höchste Tagesniederschlag in Garmisch mit 138,2 mm deutlich über den am 22. 8. 2005 beobachteten 104,8 mm. Auf der Basis der jeweils etwa 25.000 bisher beobachteten Tagesniederschläge an diesen Stationen kann die Jährlichkeit daher in Übereinstimmung mit den oben genannten Analysen auf etwa 100 Jahre geschätzt werden.

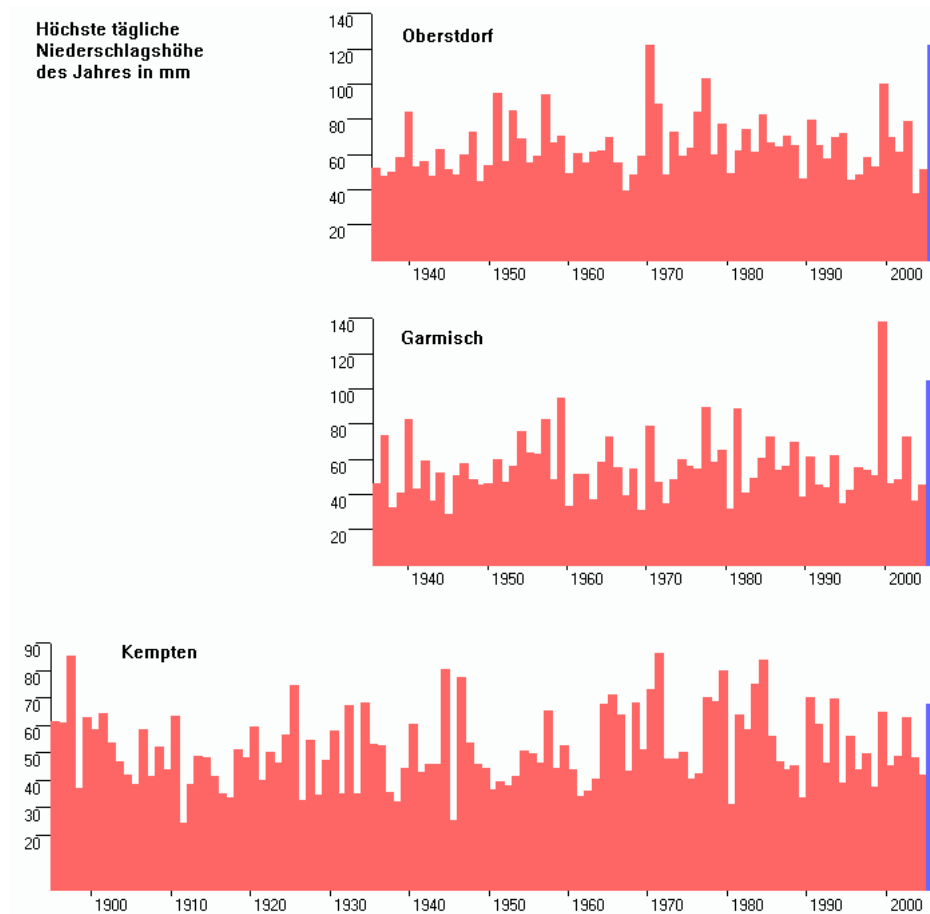


Abb. 10: Zeitreihen des an der Station je Jahr höchsten gemessenen Tagesniederschlags in mm für die Stationen Oberstdorf, Garmisch und Kempten.

Da die Variable Niederschlag von einer sehr großen zeitlichen und räumlichen Variabilität geprägt ist, sind Analysen des zeitlichen Trends schwierig und entsprechende Ergebnisse mit großer Vorsicht zu interpretieren. Aufgrund des nach unten hin begrenzten Wertebereichs und der keinesfalls Gaußschen Verteilung sind lineare Trendfunktionen kein geeignetes Maß zur Beschreibung der Niederschlagsverteilung. Dennoch werden sie in der Praxis häufig verwendet. Um so wichtiger ist daher, die Signifikanz der errechneten Trendwerte zu bestimmen.

Die Balkendiagramme von Abb. 11 zeigen den zeitlichen Verlauf der monatlichen Niederschlagssummen im August seit Beginn der Messung bis zum August des Jahres 2005 für Stationen, von denen lange Beobachtungszeitreihen verfügbar sind. Neben den Daten selbst sind jeweils die linearen Trends für den Gesamtzeitraum sowie die Periode 1951 bis 2000 eingetragen.

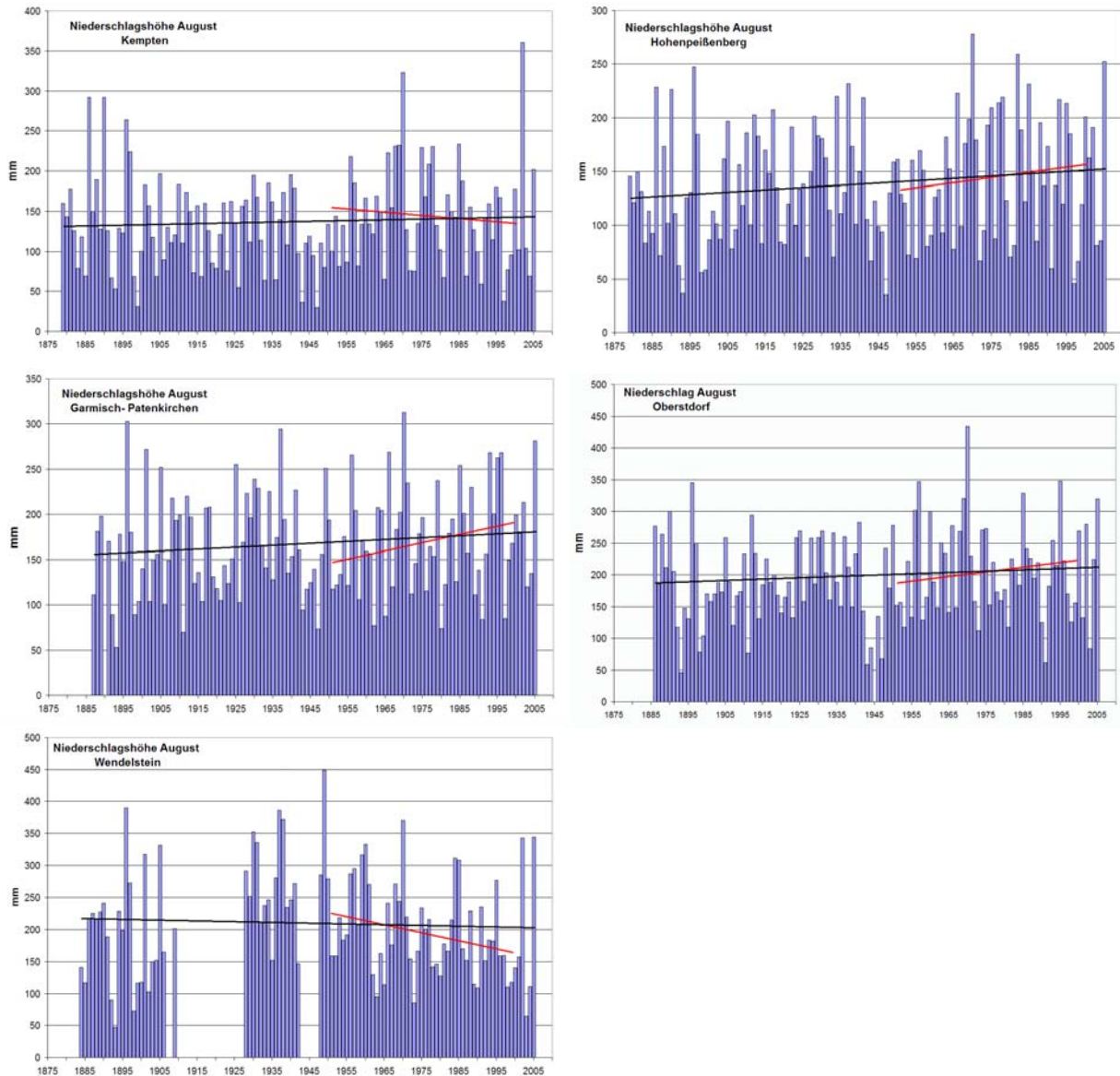


Abb.11: Zeitreihen der monatlichen Augustniederschlagshöhen mit dem linearen Trend

Die berechneten linearen Trends sind weder im Vergleich der Zeiträume noch der Stationen einheitlich. Die Unterschiede können sowohl durch nicht klimabedingte Inhomogenitäten (Veränderung der Stationsumgebung oder der Beobachtungsmethode) oder durch lokalklimatische Besonderheiten bedingt sein.

Die vom Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie des DWD publizierte 50jährige globale Variabilitätsanalyse liefert weltweit Niederschlagstrends für die Periode 1951 bis 2000 im Raster 0,5° geographische Länge und Breite (Projekt VASCLimO, Beck, Grieser u. Rudolf, 2005). Dazu wurden ausschließlich qualitäts- und homogenitätsgeprüfte Datenreihen verwendet. Aus den Rasterdaten wurde der mittlere Trend der Augustniederschläge im Gebiet der mittleren Nordalpen (hier eingegrenzt durch die geographischen Koordinaten von 9,0° bis 12,0° Ost und von 46,5° bis 48,0° Nord) berechnet. Für diese Periode ergab sich ein negativer Trend, also eine Abnahme der mittleren Augustniederschläge von rund 150 mm auf 140 mm, also um sieben Prozent (vgl. Abb. 12). Das entsprechende Gebietsmittel im August 2005 beträgt nach einer ersten Schätzung 160 mm. Für keinen der berechneten linearen Trends konnte statistisch eine ausreichende Signifikanz festgestellt werden. Wir können also keine allmähliche Änderung der Sommerniederschlagshöhen nachweisen (siehe auch KOSTRA-DWD-2000, Bartels et al. 2005).

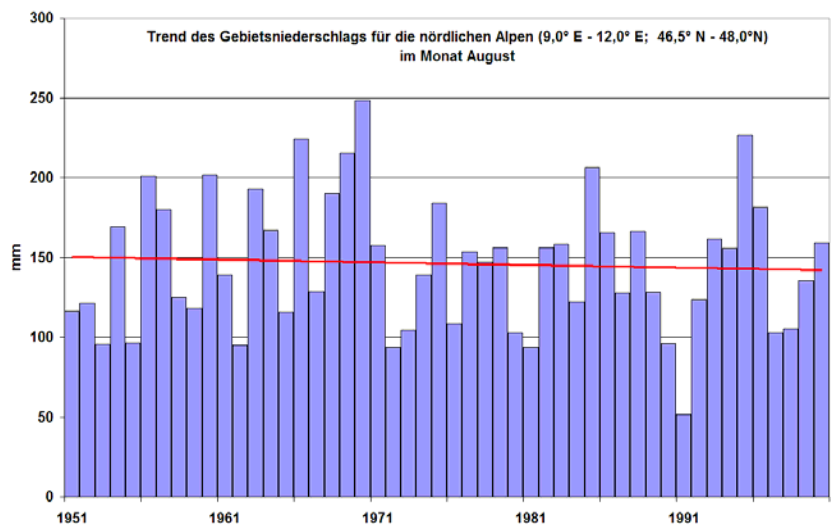


Abb.12: Zeitreihe der monatlichen Gebietsniederschlagshöhe im August für die durch die im Bild angegebenen Koordinaten eingegrenzte Region „mittlere Nordalpen“.

Anders verhält sich dies in der Häufigkeit statistisch extremer monatlicher Werte (Trömel, 2005, Trömel und Schönwiese, 2005). In einer Untersuchung der Universität Frankfurt, welche im Rahmen des Deutschen Klimaforschungsprogramms DEKLIM gemeinsam mit dem DWD durchgeführt wurde, ergab sich insbesondere in den Wintermonaten und im Westen Deutschlands im Laufe des 20. Jahrhunderts ein allmählicher Anstieg der Wahrscheinlichkeiten besonders trockener und besonders feuchter Monate bei gleichzeitig nur wenig veränderten mittleren Niederschlägen. Als Kriterien wurden die Unterschreitungswahrscheinlichkeit des Perzentilwertes von 5% für relativ trockene und die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Perzentilwertes von 95% für relativ feuchte monatliche Niederschlagssummen verwendet. Die wissenschaftliche Methode beruht auf der Anpassung einer Gumbelverteilung an die Beobachtungsdaten und der zeitlichen Analyse der Verteilungsparameter. Die beobachteten Änderungen der Niederschlagscharakteristika im 20. Jahrhundert sind jedoch regional unterschiedlich. Beispielsweise zeigt Bild 13 in den Sommermonaten Juli und August den allmählichen und zunehmenden Anstieg der Häufigkeit feuchter Monate für die Station Marktoberdorf im Oberallgäu.

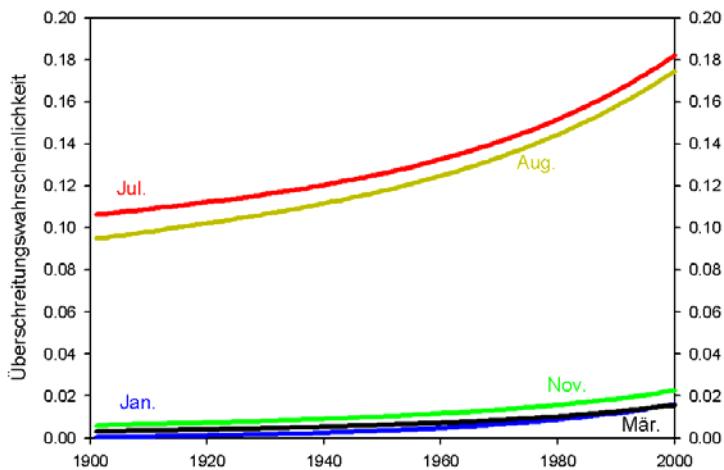


Abb. 13: Überschreitungshäufigkeit des 95-Perzentils für die Station Marktoberdorf (Oberallgäu)

Auf der Basis der elektronisch verfügbaren 100jährigen Reihen der täglichen Niederschlagshöhe wurde bereits von Grieser und Beck (2003) ein Anstieg des Anteils extremer Werte in der Niederschlagsverteilung gezeigt, wobei aber die Ergebnisse für die einzelnen Stationen erheblich streuen. Da bis heute nur sehr wenige lange Datenreihen in täglicher Auflösung digital vorliegen, wurde vom DWD in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut Hamburg und der Universität Bonn ein Projekt zur Sichtung der Daten in den alten Papierarchiven und deren elektronischen Erfassung begonnen.

8. Schlussbemerkungen

Die sehr guten Vorhersagen der Niederschläge, welche im August 2005 die Überschwemmungen in Südbayern verursachten, belegen die erfolgreiche Weiterentwicklung der Modelle, der Beobachtungsnetze und der Datenassimilation (Anpassung der Modelle an die Daten). Künftig bietet der DWD ergänzende Vorhersageprodukte an, die Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit der Vorhersagen ermöglichen. Ob ein Extremereignis mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten wird, wird sich aber auch künftig nicht langfristig, z.B. Monate im Voraus, vorhersagen lassen. Wenn eine entsprechende Großwetterlage frühzeitig prognostiziert wird, ist Wachsamkeit geboten. Eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extremer Ereignisse wird sich öfter um einige Tage im Voraus erkennen lassen. Eine raum-zeitliche Zuordnung aber, die für hydrologische Vorhersagen notwendig ist, können die Modelle häufig erst kurzfristig erfassen.

Zu Hochwasser führende Niederschläge werden immer wieder auftreten. Auch ein Jahrhundertereignis kann sich bald wiederholen, in einer anderen oder sogar in der vorher betroffenen Region. Dies widerspricht nicht den statistischen Gesetzen. In Anbetracht der globalen Erwärmung und damit der erhöhten Verdunstung über den Ozeanen ist aber zu erwarten, dass – auch wenn sich die Mittelwerte und üblichen Extremwerte des Niederschlags nur wenig verändern – Extremniederschläge häufiger auftreten und heftiger ausfallen werden. Klimamodelle wie auch statistische Datenanalysen zeigen eine Verschiebung in den Verteilungsfunktionen der Niederschlagshöhen zugunsten der sehr hohen wie auch der sehr geringen Niederschläge.

Gegen Schäden durch Hochwasser oder extreme Niederschläge kann sich die Gesellschaft durch geeignete Schutzmaßnahmen und eine angepasste Besiedlungsplanung weitgehend schützen. Schwieriger, wenn überhaupt möglich, sind Maßnahmen gegen die Folge von länger andauernden Dürren wie in diesem Jahr 2005 über Südwesteuropa oder im Sommer 2003 über Mitteleuropa. Solche Dürren werden dann durch die globale Erwärmung begünstigt, wenn die erhöhte Verdunstung nicht durch eine Zufuhr von Wasser ausgeglichen wird. Eine entsprechende Zunahme der Niederschläge können wir bisher in den Daten nicht erkennen.

Literaturnachweis:

Bartels, H., B. Dietzer, G. Malitz, F. M. Albrecht, J. Guttenberger (2005): KOSTRA-DWD-2000 - Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951–2000), Fortschreibungsbericht. Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorologie, Offenbach, September 2005.

Beck, C., J. Grieser and B. Rudolf (2005): A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. DWD, Klimastatusbericht KSB 2004, ISBN 3-88148-402-7, ISSN 1437-7691, 181-190.

Grieser, J., C. Beck (2003): Extremniederschläge in Deutschland Zufall oder Zeichen ?, Klimastatusbericht 2002, Deutscher Wetterdienst, ISBN 3-88148-388-8, 142-151.

Haeuser, J. (1922): Ein Wolkenbruch von bisher noch nicht gekannter Intensität. In: Kurze starke Regenfälle in Bayern, ihre Ergiebigkeit, Dauer, Intensität, Häufigkeit und Ausdehnung. Abhandlungen der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, 1. Ergänzungsband, umfassend den Beobachtungszeitraum 1916 - 1920, München 1922.

Rudolf, B., J. Rapp (2003): Das Jahrhunderthochwasser der Elbe: Synoptische Wetterentwicklung und klimatologische Aspekte. Klimastatusbericht 2002, Deutscher Wetterdienst, ISBN 3-88148-388-8, 173-188.

Schmid, K., S. Bader, T. Schlegel (2005): Starkniederschläge, 19. - 23. August 2005. Internetpublikation vom 23. 8. 2005: <http://www.meteoschweiz.ch/de/Prognosen/Aktuell/aktuell1.shtml>

S. Trömel: Statistische Modellierung von Klimazeitreihen (Dissertation). Bericht Nr. 2, Inst. f. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/M. 2005.

S. Trömel, C.-D. Schönwiese: A generalized method of time series decomposition into significant components including probability assessments of extreme events and application to observational German precipitation data. Meteorol. Z. 14, 417-427 (2005).