



Gewässerkundlicher Bericht Hochwasser August 2005

Impressum

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: (0821) 90 71 - 0

Fax: (0821) 90 71 - 55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU: Referat 88: Joachim Stoermer (Kap. 3), Inke Meyer (Kap 4), Referat 83: Thomas Köhler (Kap 5) Kerstin Assauer (Kap 6),

Redaktion

LfU: Referat 88 Dr. Alfons Vogelbacher, Inke Meyer

Stand:

Juli 2007

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Zusammenfassung	7
3	Wetterlage und Niederschlag	8
3.1	Meteorologische Beschreibung	8
3.2	Wetterentwicklung	8
3.3	Niederschlag	11
3.3.1	Niederschlags-Messnetz	11
3.3.2	Zeitlicher Verlauf der Niederschläge	12
3.3.3	Niederschlagshöhen und -Intensitäten	14
3.3.4	Räumliche Verteilung der Niederschläge	17
3.4	Niederschlagsvorhersagen	19
3.4.1	Räumliche Verteilung der Niederschlags-Tagessummen	19
3.4.2	Summenlinien des Gebietsniederschlags	22
3.5	Anhang	23
4	Hochwassersituation an Flüssen und Seen	28
4.1	Überblick über Maximale Wasserstände und Abflüsse	28
4.1.1	Ausuferungen und Überschwemmungen	28
4.1.2	Räumliche Ausdehnung des Hochwassers	30
4.2	Hochwasser in der Schweiz und in Österreich	31
4.3	Wellenablauf in den einzelnen Flussgebieten	31
4.3.1	Iller	31
4.3.2	Günz, Mindel, Zusam, Schmitter, Paar, Ilm	32
4.3.3	Lech	34
4.3.4	Wertach	36
4.3.5	Loisach	37
4.3.6	Ammer/ Amper	39
4.3.7	Isar	40
4.3.8	Mangfall	44

4.3.9	Inn	45
4.3.10	Donau	49
4.4	Jährlichkeiten	52
4.5	Vergleich mit früheren Hochwasser- Ereignissen	54
4.5.1	Hochwassersituation an Pfingsten 1999	54
5	Schwebstofftransport	56
6	Reaktion des Grundwassers	57
6.1	Überblick	57
6.1.1	Vorsättigung des Bodens	57
6.1.2	Einsickerung von Flusswasser in den Grundwasserleiter	58
6.1.3	Stauwirkung des Fließgewässers	58
6.1.4	Grundwasservorkommen der Münchner Schotterebene	58
6.2	Grundwasserstände in den Flusstalfüllungen	59
6.2.1	Einzugsgebiet der Iller	60
6.2.2	Einzugsgebiet des Lech (unterhalb des Forggensees)	62
6.2.3	Einzugsgebiet der Loisach	65
6.2.4	Einzugsgebiet der Isar	67
6.2.5	Einzugsgebiet des Inn	71
6.3	Reaktionen des Grundwassers in der Münchener Schotterebene	73
6.3.1	Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999	73
7	Quellenangaben	75

1 Einleitung

Nach den großen Hochwassern an Pfingsten 1999 und im August 2002 führten im August 2005 außergewöhnlich hohe Niederschläge wieder zu extremen Hochwasser- Abflüssen und auch in Bayern weiträumig zu Überschwemmungen. Die „Flutkatastrophe“ lenkte ein weiteres Mal die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit und der Medien auf die Hochwasserproblematik.

Nach ersten Schätzungen verursachten Starkniederschläge, Murenabgänge im Gebirge, Überschwemmungen - zum Teil in Folge von Überströmen oder Versagen der Deiche - und angestiegene Grundwasserspiegel Schäden von über 150 Mio. € an Gebäuden und landwirtschaftlichen Flächen. Vielfach mussten Straßen gesperrt werden, die Deichsicherung und –Verteidigung machte an einigen Flussabschnitten den großflächigen Einsatz der Rettungskräfte notwendig. [4]

Dank der rechtzeitigen Hochwasserwarnung, der vorausschauenden Bewirtschaftung der Talsperren, der vorhandenen (und insb. seit 1999 nachgerüsteten) Hochwasserschutzanlagen, des engagierten Einsatzes der Katastrophenschutzdienste, der bereits ergriffenen Maßnahmen zur Nachrüstung von Heizölanlagen in Überschwemmungsgebieten und der Verbesserungen bei Wassergewinnungsanlagen waren die eingetretenen Schäden deutlich geringer als 1999.

In diesem gewässerkundlichen Bericht zum Hochwasser im August 2005 werden die Entstehung, der Ablauf und das Ausmaß des Hochwassers sowie die maßgeblichen hydrologischen und anthropogenen Einflüsse detailliert beschrieben. Er dokumentiert die Extremwerte der beobachteten gewässerkundlichen Kenngrößen wie Niederschläge, Hochwasserabflüsse und Wasserstände sowie Schwebstoffkonzentrationen und Grundwasserstände. Außerdem werden hier verschiedene Hintergrundinformationen über Messnetze, Datengrundlagen und zur Modellierung von Hochwasser-Abflüssen gegeben.

2 Zusammenfassung

Im letzten Drittel des Monats August 2005 wurden die rechtsseitigen Einzugsgebiete der bayerischen Donau vom Bodensee bis zum Inn von einem extremen Hochwasser heimgesucht. Intensive und anhaltende Niederschläge ließen die Flüsse in den Alpen ab dem Abend des 22. August außerordentlich schnell ansteigen. Besonders betroffen waren die Flussgebiete der Iller, des Lechs, der Mindel, der Zusam, der Schmutter, der Isar, der Loisach, der Mangfall und des Inns. Infolge der extremen Niederschläge von stellenweise über 200 Liter pro Quadratmeter übertraf das August-Hochwasser 2005 in den Einzugsgebieten von Iller, Lech, Loisach und Isar sogar das Pfingsthochwasser 1999 erheblich. Die Abflüsse erreichten bis über 500-jährliche Ereignisse.

Von den ca. 150 vom Hochwasser betroffenen Pegeln wurden bei ca. 30 Pegeln neue Höchstabflüsse festgestellt. Eine erste vorläufige Abschätzung der durch das Hochwasser erreichten Jährlichkeiten zeigt, dass insbesondere an der Iller sowie an den Oberläufen von Isar und Loisach verbreitet Jährlichkeiten über 100 Jahren erreicht wurden. Am unteren Lech, an Ammer, unterer Loisach, mittlerer Isar und am Inn (bis Einmündung Salzach) konnten Jährlichkeiten zwischen 50 und 100 Jahren registriert werden. In diesen Bereichen wurden die Hochwassermarken des Pfingstereignisses 1999 größtenteils überschritten.

Die Besonderheit dieses Ereignisses war der sehr schnelle und steile Anstieg der Hochwasserwellen in den alpinen Gewässern, der durch die sehr starken und auf etwa einen halben Tag konzentrierten Niederschlagsmaxima zurückzuführen sind. Deshalb wurden bei diesem Ereignis auch an vielen Messstellen höhere Abflussspitzen als 1999 registriert, obwohl die Gesamtsumme des Niederschlages kleiner als beim Hochwasser an Pfingsten 1999 war. Das geringere Abflussvolumen bedingte jedoch eine größere Retentionswirkung, so dass in der Donau die Abflüsse des Pfingstereignisses nicht erreicht wurden. Die Abflüsse der Donau wiesen verbreitet Jährlichkeiten von 10 bis 20 Jahren, im Bereich zwischen Lechmündung und Kelheim von 20 bis 50 Jahren auf.

Die verstärkte natürliche Retention war jedoch nicht allein ausschlaggebend für die Reduktion der Hochwasserwellen. Eine große Rolle spielte auch der Rückhalt in den gesteuerten und teilgesteuerten Rückhaltungen in den Donauzuflüssen und an der Donau selbst. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Foggensee und dem Sylvensteinsee zu, durch die der Abfluss auch großräumig beeinflusst werden kann. Bei beiden Speichern wurden schon auf Grund der Wetterprognosen am Tag vor dem Ereignisbeginn mit der Vorentlastung begonnen, um für das erwartete Extremereignis zusätzlich Rückhalteraum zu schaffen.

In den Talschottern in Südbayern führten die intensiven Niederschläge am 22. und 23. August zu einer für die Jahreszeit ungewöhnlich hohen Grundwasserneubildung mit starkem Anstieg der Grundwasserstände. Sie erreichten an mehreren Grundwassermessstellen den höchsten bisher beobachteten Wert. Im Raum Freising bewirkte der für mehrere Tage bis zu 4 Meter erhöhte Pegelstand der Isar eine starke Aussickerung in das Grundwasser bzw. in die Binnenentwässerung der Hochwasserdeiche.

3 Wetterlage und Niederschlag

3.1 Meteorologische Beschreibung

Die polare Frontalzone (Luftmassengrenze zwischen der Polar- und der Tropikluft) verläuft im Sommer meist zwischen 60 und 70 Grad nördlicher Breite. Manchmal reicht eine Ausbuchtung dieser Frontalwelle (sog. Trog) jedoch über Mitteleuropa bis nach Nordafrika und es entwickelt sich ein Tiefdruckgebiet, das entsprechend der Wellenströmung von Oberitalien und die Adria nach Nordosten zieht. Bei dieser Wetterlage gelangt feuchtwarme Luft aus dem Mittelmeerraum nach Bayern, trifft dort auf kalte Luftmassen, kondensiert und regnet aus. Zusätzlich liegen bei dieser Strömung die Nordalpen und ggf. die ostbayerischen Mittelgebirge in einer Staulage und es kommt dort zu besonders ergiebigen Niederschlägen, die ein größeres Hochwasser auslösen können. Diese Wetterlage führte auch im August 2005 zu den großflächigen und länger anhaltenden Starkniederschlägen in Südbayern.

3.2 Wetterentwicklung

Bereits Anfang August kam es immer wieder zu Regenfällen. So gab es in der Zeit vom 1. bis 19. verbreitet nur 6 niederschlagsfreie Tage. Vom 14. bis 16. traten in Alpennähe Dauerniederschläge auf, die im Bereich Chiemgau/Chiemgauer Alpen (Balkantief "Lars") besonders ergiebig ausfielen (z.B. Inzell: 144 mm in 3 Tagen) und in Südostbayern ein Hochwasser auslösten. Durch die häufigen Niederschläge der ersten Monatshälfte waren die Böden im südbayerischen Raum weitgehend gesättigt (siehe auch Kap.6.1.1).

Vom 20. bis 23. August kam es in den höheren Atmosphärenschichten zu einem Kaltluftvorstoß vom Norden bis in den Mittelmeerraum. Diese Situation veranschaulichen insbesondere die Wetterkarten im 500 hPa und 850 hPa Niveau.

Die Höhenwetterkarte des 500 hPa - Niveaus in Abbildung 3-1 zeigt den ausgeprägten Trog mit tiefem Luftdruck über Mitteleuropa, die weit nach Süden vordringende Kaltluft und die meridionale Strömung an der West- und Ostflanke des Trogs. Aus dieser mäandrierenden Strömung spaltete sich über Westeuropa das Tief "Norbert" (s. Bodenwetterkarte in Abbildung 3-2) ab und wurde von Südfrankreich über den Golf von Genua und Oberitalien zur Adria gelenkt.

Am 20. und 21.8. fielen bereits in der Schweiz, in Norditalien und in Österreich erste Stark- und Dauerniederschläge während sich das Tief "Norbert" über dem warmen Mittelmeer weiter verstärkte. Im Tiefdruckgebiet strömen die Luftmassen gegen den Uhrzeigersinn, d.h. an der Südflanke von Tief "Norbert" konnte sich die Luft über dem Mittelmeerraum stark erwärmen und große Mengen an Wasserdampf aufnehmen. Ab dem 21. lag Südbayern im Bereich der Nordflanke des Tiefs "Norbert" in einer östlichen Strömung und damit trafen die warmen feuchten Luftmassen aus dem Mittelmeerraum auf die kühle Luft in Südbayern, wurden angehoben, kondensierten und regneten aus. Dieses Aufeinandertreffen der Subtropikluft (xS) auf die maritim erwärmte Subpolarluft (mPs) zeigt die 850 hPa – Höhenwetterkarte vom 22.08.2005 in Abbildung 3-3.

Am 22. und 23.8. wurden die feuchtwarmen Luftmassen des Tiefs zunehmend aus nördlichen Richtungen gegen die Nordalpen gelenkt. Durch Staueffekte und die erzwungene Hebung fiel ergiebiger Regen.

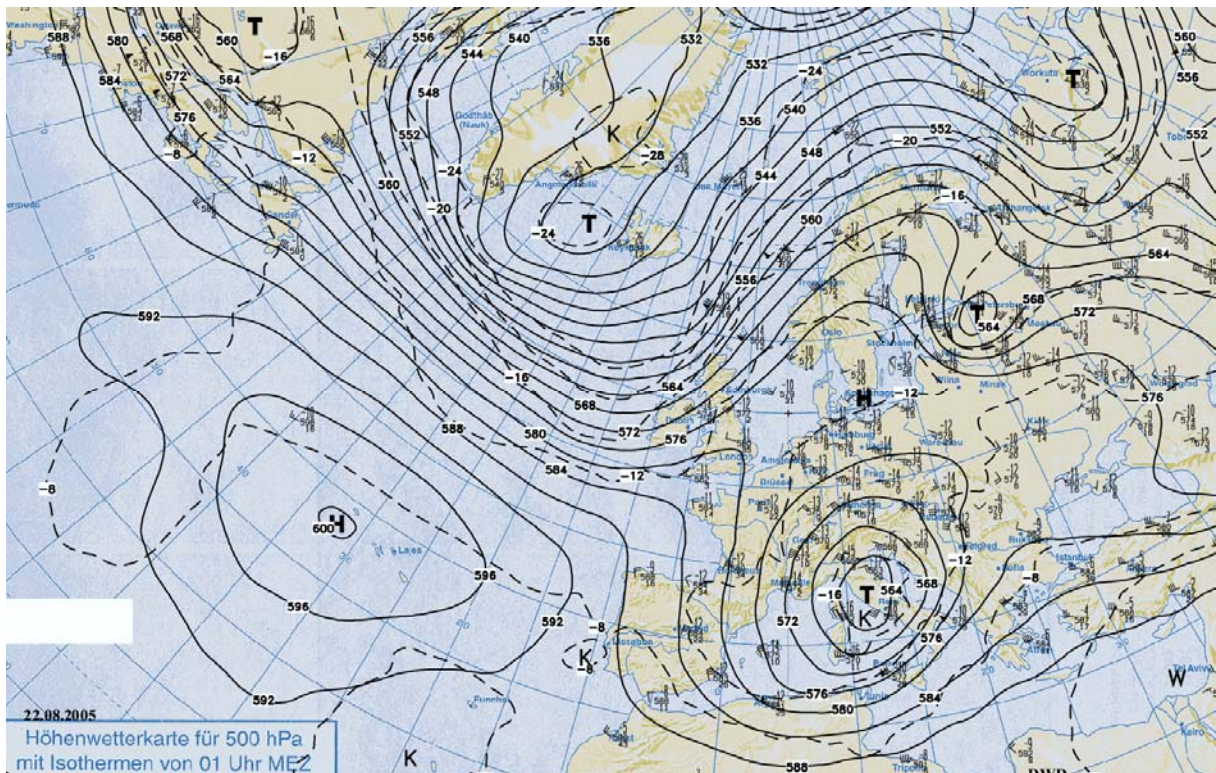


Abbildung 3-1: Höhenwetterkarte für das 500 hPa-Luftdruckniveau (ca. 5,5 km Höhe) vom 22.08.2005, 2 Uhr. Durch die Höhenangaben (geopotentielle Dekameter) ist die Topographie der 500 hPa – Fläche dargestellt (durchgezogen: Linien gleicher Höhe [Isohypsen], gestrichelt: Linien gleicher Temperatur [Isothermen], Windpfeile: Windrichtung und Windgeschwindigkeit). Quelle: [8]

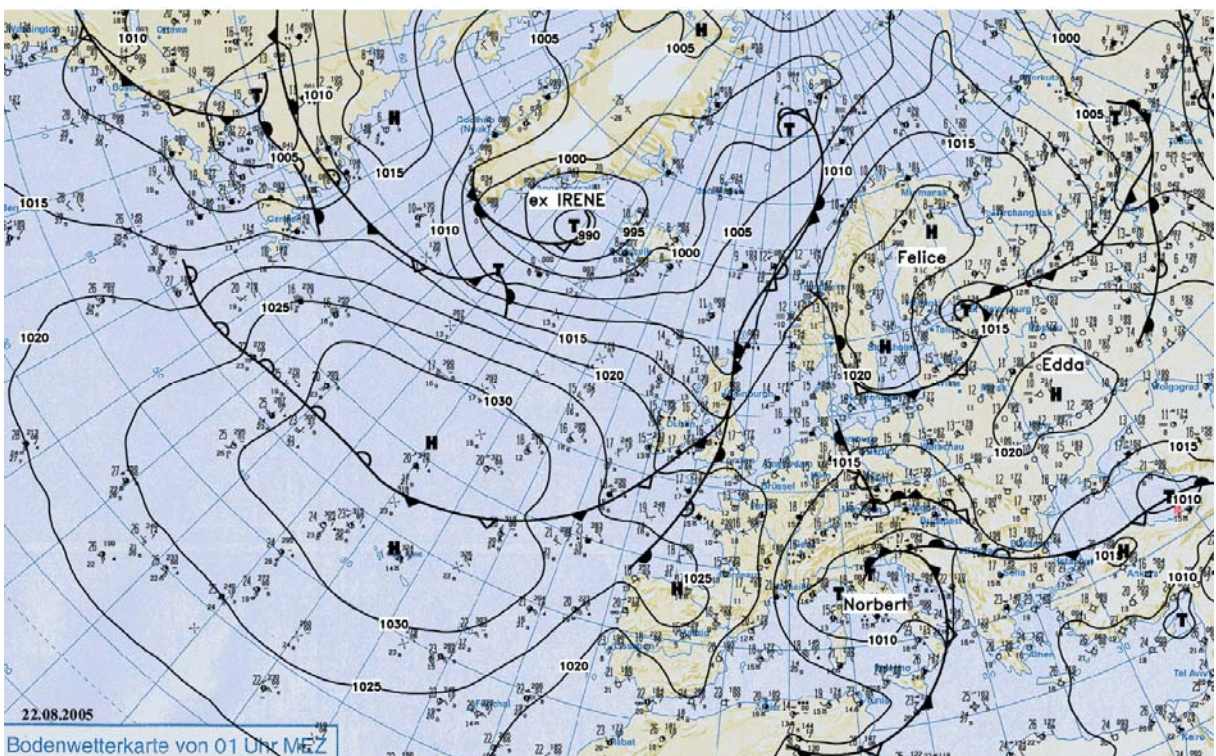


Abbildung 3-2: Bodenwetterkarte vom 22.08.2005, 2 Uhr (durchgezogen: Linien gleichen Luftdrucks [Isobaren], durchgezogen mit Symbolen: Frontensysteme und Stationsmeldungen). Quelle: [8]

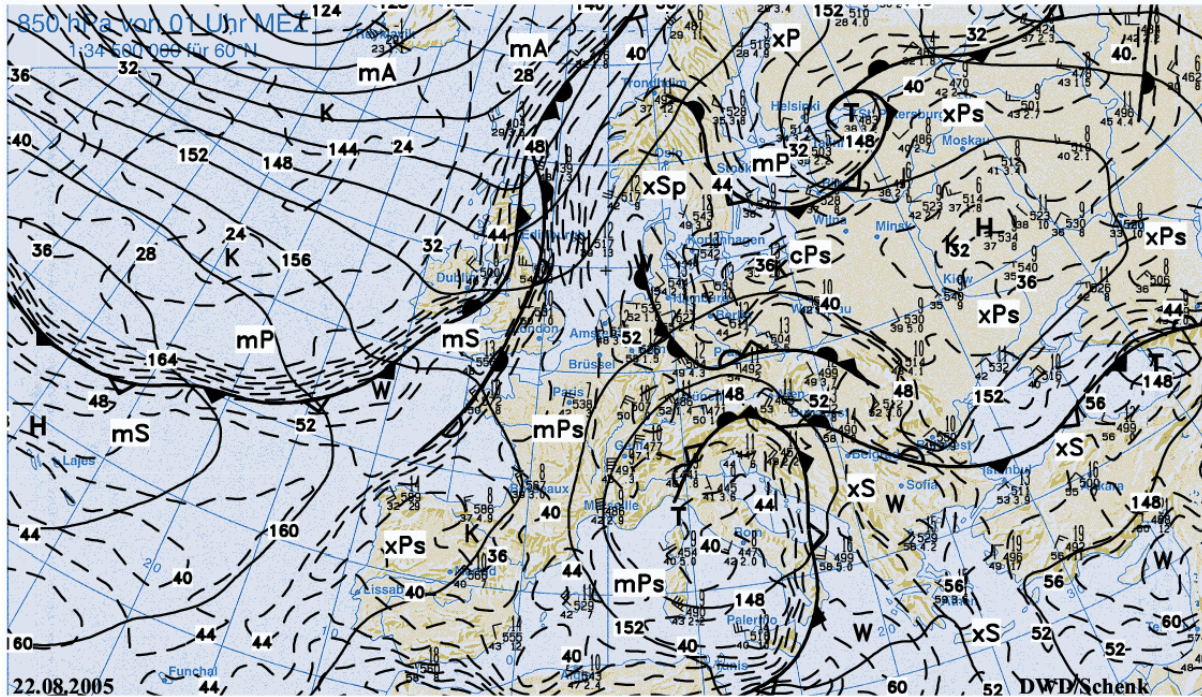


Abbildung 3-3: Höhenwetterkarte für das 850 hPa-Luftdruckniveau (ca. 1,5 km Höhe) vom 22.08.2005, 2Uhr. Durch die Höhenangaben (geopotentielle Meter ohne Tausenderziffer) ist die Topographie der 850 hPa – Fläche dargestellt (durchgezogen: Linien gleicher Höhe [Isohypsen], durchgezogen mit Symbolen: Frontensysteme, gestrichelt: Linien gleicher pseudopotenzieller Temperatur [Isothermen], mPs: maritim erwärmte Subpolarluft, xS: Subtropikluft).
Quelle: [8]

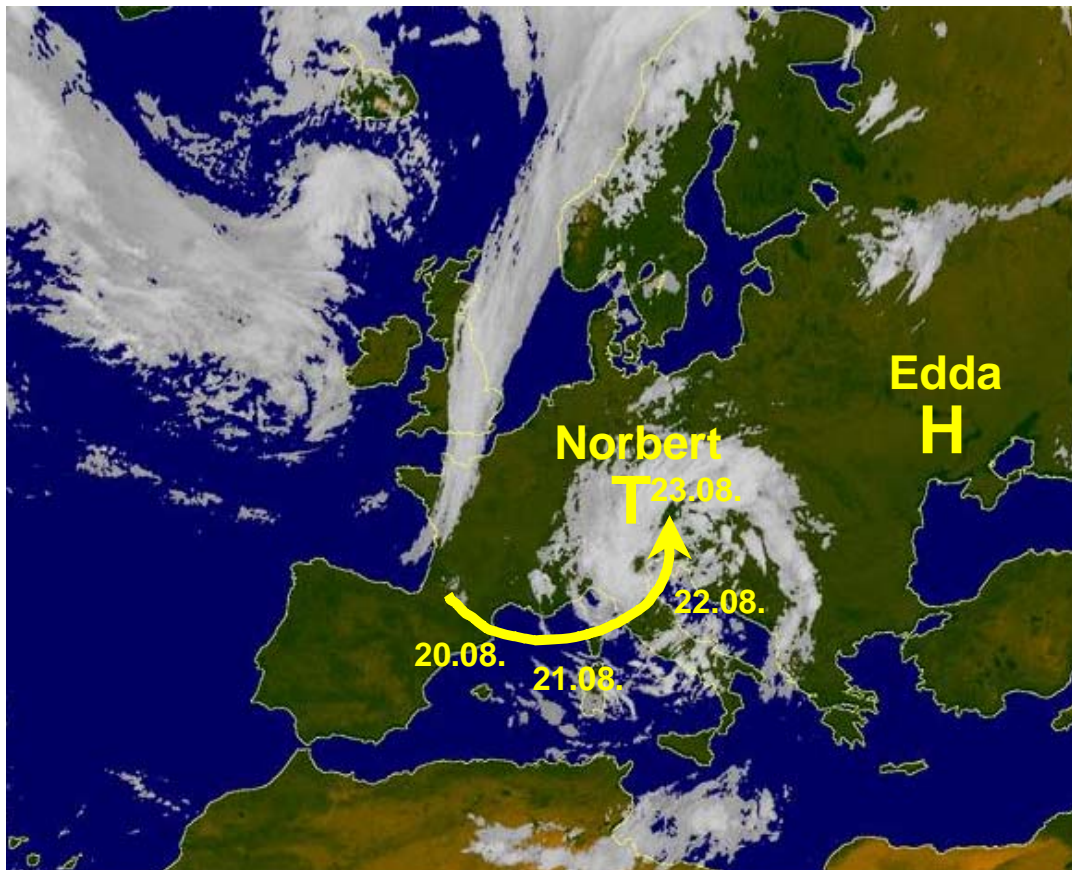


Abbildung 3-4: Infrarot-Satellitenbild vom 22.08.2005, 12 Uhr und Zugbahn des Tiefs “Norbert“

Diese Anströmung verdeutlicht das Satellitenbild vom 22. in Abbildung 3-4. und es ist zu erkennen, dass es in dem Wolkenband auch konvektive Zellen (helle, eng begrenzte Wolkenstrukturen) gab, die den Regen schauerartig verstärkten.

Ab dem 22. verlagerte sich das Tief nur sehr langsam von der Adria nach Nordosten und verursachte ergiebigen Dauerregen, der sich alpennah vom Bodensee bis zum Inn erstreckte. In dieser Zeit kann die Zugbahn als Vb- ähnlich bezeichnet werden (in Abbildung 3-18 im Anhang wird die Klassifikation der Zugbahnen genauer erläutert).

Vom 23. auf den 24. verlagerte sich das Tief "Norbert" deutlich nach Osten (Abweichung von der Vb-Zugbahn), es gab nur noch geringfügige Regenfälle und auch die nächste Kaltfront (Tief "Oedipus") wurde in Bayern nur noch schwach wetterwirksam. Danach sorgte Hochdruckeinfluss für Wetterberuhigung.

3.3 Niederschlag

3.3.1 Niederschlags-Messnetz

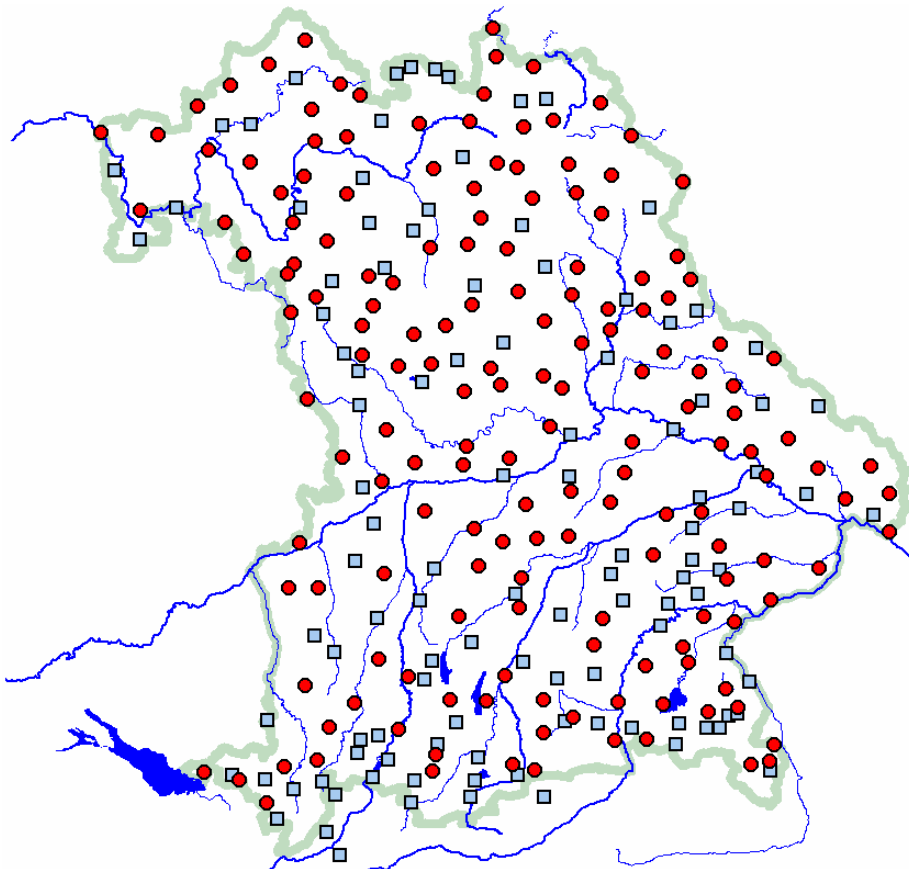


Abbildung 3-5: Zeitlich hoch auflösende Niederschlagsstationen des Messnetzes 2000 (Stand August 2005: DWD 113 Stationen, Bayer. Wasserwirtschaft 103 Stationen)

● Deutscher Wetterdienst (DWD) ■ Bayerische Wasserwirtschaft

Durch das 1999 gestartete Innovationsprogramm "Quantitative Hydrologie" zur Verbesserung der Datenermittlung im Niederschlags- und Pegelwesen sowie durch Rahmenvereinbarungen mit dem Deutschen Wetterdienst und durch Kooperationen mit weiteren meteorologischen Messnetzbetreibern hat sich die Zahl der online verfügbaren Niederschlagsstationen in den letzten Jahren deutlich erhöht. Insbesondere bei 216 Neubaustationen des Messnetzes 2000 (Kooperation Deutscher Wetterdienst und bayerische Wasserwirtschaft zum Aufbau und Betrieb eines gemeinsamen Niederschlagsmessnetzes) standen im August 2005 zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsregistrierungen zur Verfügung, die 1999 noch nicht möglich waren. Die Niederschlagsmessstellenkarte in Abbildung 3-5 gibt einen Überblick zu den im August 2005 verfügbaren 216 Stationen des Messnetzes 2000. Neben weiteren ca. 130 Wetterstationen des DWD, konnten auch Daten von 56 Wetterstationen der Firma Meteomedia und aus weiteren Fremdmessnetzen genutzt werden.

3.3.2 Zeitlicher Verlauf der Niederschläge

Der hochwasserrelevante Niederschlagsverlauf im August 2005 wird in Abbildung 3-6 exemplarisch an der Messnetz-2000-Station Kochel- Einsiedl beschrieben, da dort sehr hohe Intensitäten gemessen wurden.

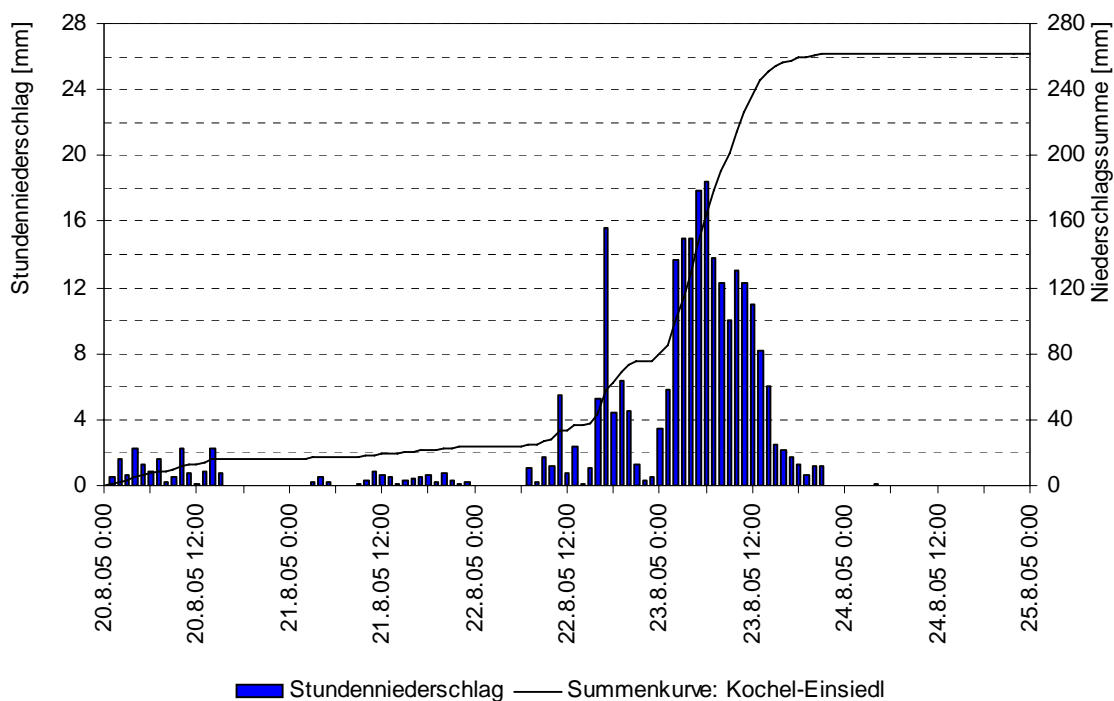


Abbildung 3-6: Niederschlagsregistrierungen der Station Kochel- Einsiedel beim Durchzug des Tiefs "Norbert" vom 20. bis 24.08.2005

Am 20. und 21. wurden in Bayern nur mäßige Niederschläge registriert. Das Tief "Norbert" befand sich zu diesem Zeitpunkt über dem Golf von Genua und sorgte in der Schweiz und in Österreich (Steiermark) schon für intensive Niederschläge, die sofort abflusswirksam wurden (die Nullgradgrenze lag bei ca. 3000 m).

Ab dem Montagmorgen (22.8.) setzten dann in den Zentralalpen, im nördlichen Alpenbereich und im bayerischen Alpenvorland länger anhaltende, zum Teil schauerartige Regenfälle ein. Dabei wurden

die Alpen zunächst aus nordöstlicher, im Tagesverlauf zunehmend aus nördlicher, Richtung angeströmt und durch erzwungene Hebung der Luftmassen in Verbindung mit Kondensation entstanden sehr hohe Niederschlagsintensitäten. Diese Staulage sowie die Erstreckung der südbayerischen Niederschlagsgebiete verdeutlicht auch das Wolkenradarbild vom 22.08.2005 in Abbildung 3-7.

Die höchsten Intensitäten wurden im Allgäu bzw. Allgäuer Bergland bereits am 22. abends (vgl. Zeitreihen von Oberstdorf-Rohrmoos, Mindelheim und Schwangau-Horn im Anhang) und weiter östlich, Richtung Mangfallgebirge, erst am 23.8 morgens erreicht (vgl. Zeitreihen von Lenggries-Sylvensteinspeicher und Kreuth-Glashütte im Anhang).

Vom 23. auf den 24.8, als sich das Tief nach Osten verlagerte, fielen in Bayern nur noch geringfügige Niederschlagsmengen. Die darauf folgende Wetterberuhigung entspannte die Hochwasserlage.

Der Zusammenhang zwischen Wettersituation und Niederschlagsmengen wird im Anhang anhand von Infrarot-Wettersatellitenbildern in Abbildung 3-19 bis Abbildung 3-21 noch dargestellt.

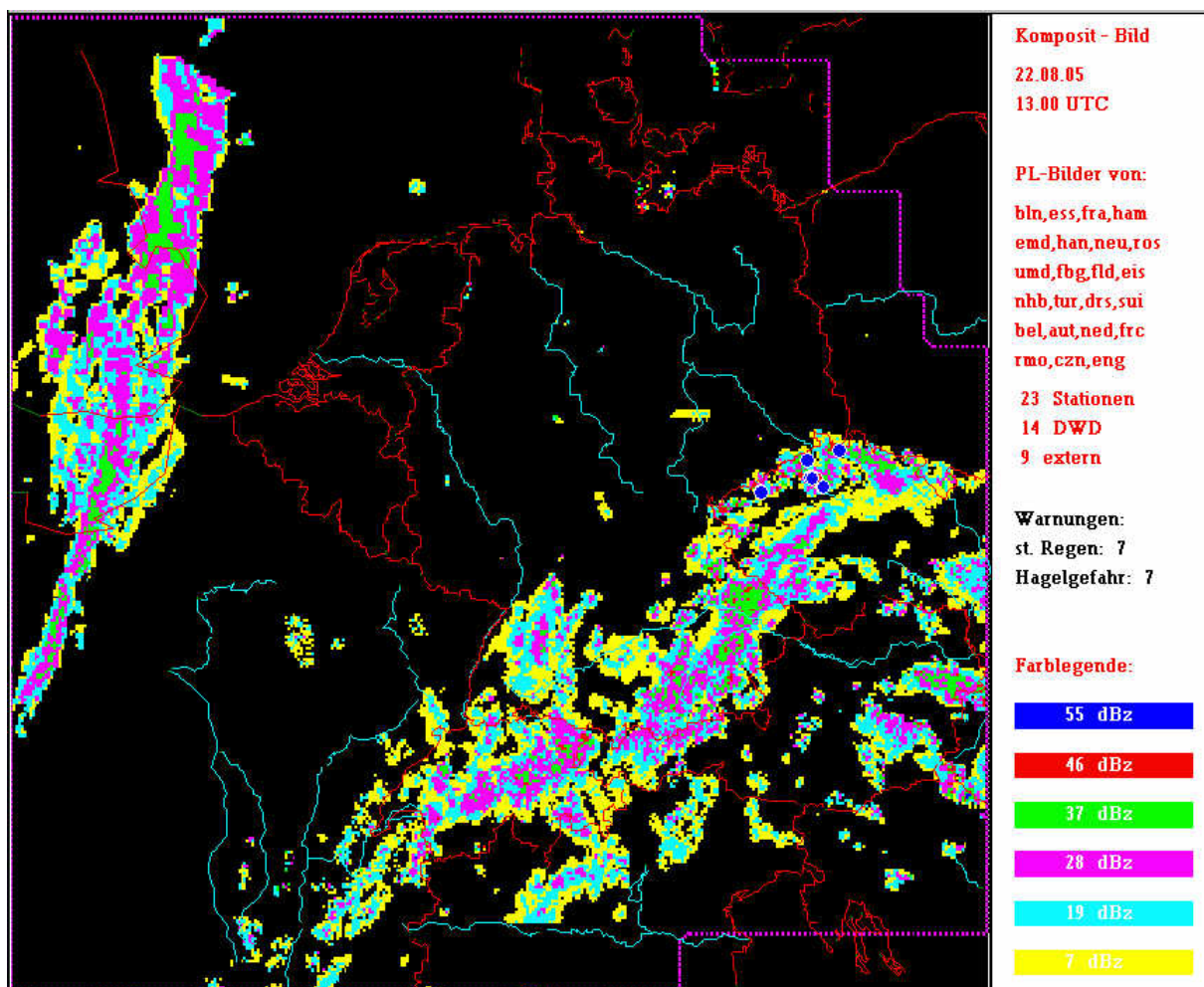


Abbildung 3-7: Komposit- Radarbild aus 23 Stationen vom 22.08.2005, 15 Uhr. An den Wolkentropfen wird ein Teil der Radarstrahlung reflektiert und die gemessene Stärke der Reflektivität [dBz](siehe Farbskala rechts unten) ist ein Maß für die Niederschlagsintensität.

3.3.3 Niederschlagshöhen und -Intensitäten

Insgesamt wurden in Bayern bei diesem Stark- und Dauerregenereignis Niederschlagshöhen und -intensitäten registriert, die deutlich über den Niederschlagshöhen vom August 2002 liegen und sich eher mit dem Niederschlagsgeschehen zu Pfingsten 1999 vergleichen lassen. Daher werden im Folgenden die Tage vom 20. bis 23. Mai 1999 als Referenzzeitraum für die Niederschlagsanalyse betrachtet.

Stationsname	22.08.2005 [mm]	21.05.1999 [mm]	21.-23.08.2005 [mm]	20.-22.05.1999 [mm]
Balderschwang	216	196	259	277
Halblech-Buching	167	140	227	200
Kochel-Einsiedl	164	228	245	286
Wertach	157	173	233	228
Hindelang-Hinterstein	148	234	205	290
Eschenlohe	142	132	185	219
Schwangau-Horn	141	118	180	162
Sonthofen	136	121	175	165
Oberstaufen-Thalkirchdf.	135	136	170	198
Murnau	133	118	182	180
Immenstadt	132	106	182	159
Kreuth-Glashütte	126	130	217	211
Hindelang-Unterjoch	125	169	175	234
Schöffau	124	121	173	166
Pfronten-Ösch	124	121	168	176
Oberstdorf	122	100	149	139
Wallgau-Obernach	98	243	178	330

Tabelle 3-1: Maximale Tagesniederschlagshöhen der Starkregenereignisse August 2005 und Mai 1999 (die drei höchsten Summenwerte im jeweiligen Zeitbereich sind im Fettdruck hervorgehoben)

Die höchsten August 2005-Tagesniederschläge wurden im Oberallgäu (Balderschwang: 216 mm am 22.8. und 259 mm vom 21. bis 23.8.) und zu Pfingsten 1999 im oberen Isareinzugsgebiet (Wallgau-Obernach: 243 mm am 21.05.1999 und 330 mm vom 20. bis 22.05.1999) verzeichnet. Sowohl bei den 1-, als auch bei den 3-Tagesniederschlägen wurden im August 2005 die absoluten Extremwerte von Pfingsten 1999 nicht überschritten.

Die wesentlichen Stark- und Dauerniederschläge erstreckten sich bei beiden Ereignissen in et-wa über einen 72-stündigen Zeitraum und werden daher nachfolgend als Summenkurven von Pfingsten 1999 und August 2005 direkt miteinander verglichen. Zeitlich hoch auflösende Niederschlagsmessstellen gab es 1999 nur in geringer Anzahl (siehe Abbildung 3-5), deshalb wurden für diese Auswertung nur Messstellen ausgewählt, die bei beiden Ereignissen in den Niederschlagsschwerpunkten lagen.

In den Grafiken in Abbildung 3-8 zeigen die Summenkurven von 1999 (gestrichelte Linien) über weite Teile einen kontinuierlich steigenden Verlauf (eher konstanter Dauerregen). Die (durchgezogenen) Summenlinien im August 2005 lassen neben dem Dauerregen zeitweilige steilere Anstiege (kurzzeitige Starkregenschauer) erkennen.

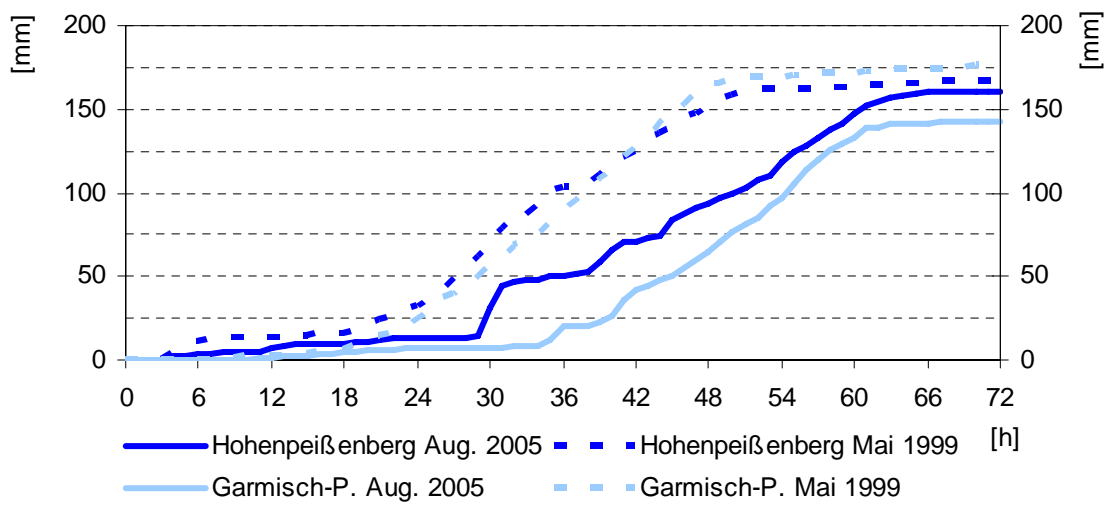
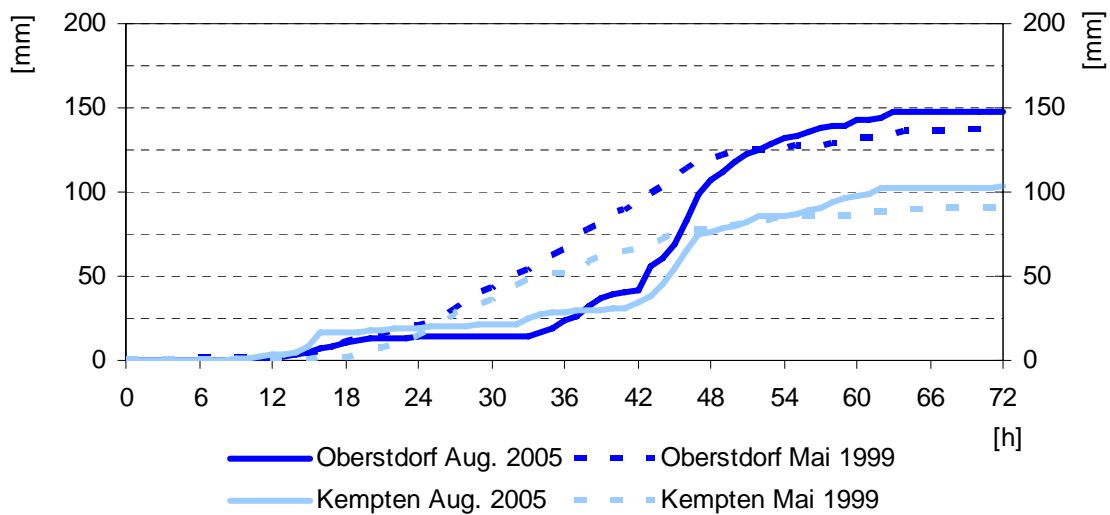
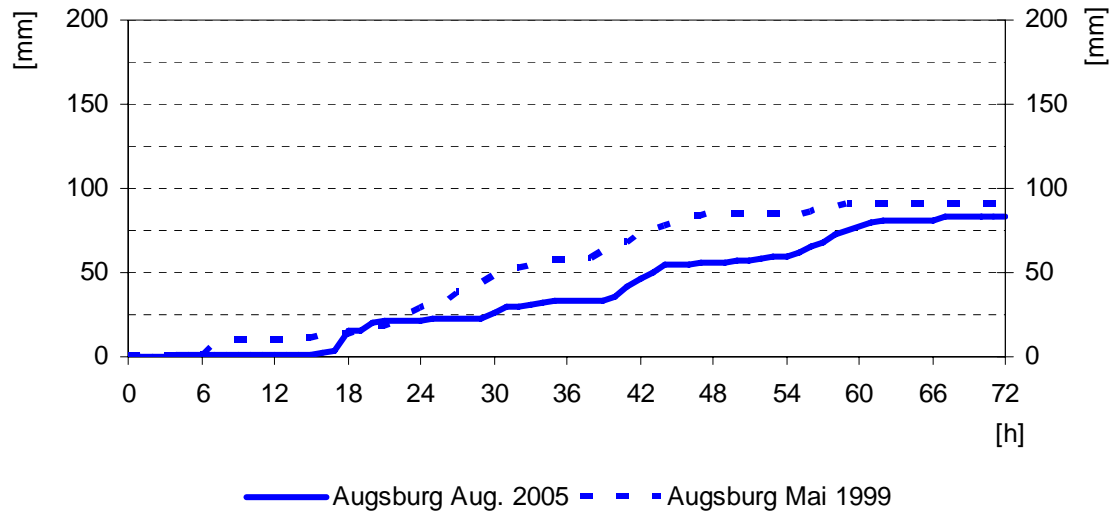


Abbildung 3-8: Vergleich der 72-stündigen Niederschlagssummenkurven vom 20.-22.05.1999 und 21.-23.08.2005.

Dieser qualitative Eindruck lässt sich durch den Vergleich der Niederschlagsintensitäten in den einzelnen Dauerstufen und die Auswertung der statistischen Wiederkehrzeiten noch weiter präzisieren. Dazu wurden die 1h-, 3h-, 6h-, 12h-, 24h- und 72h-Intensitäten von 150 automatischen Niederschlagsstationen in Südbayern gebildet, die höchsten Werte im Zeitraum vom 20. bis 25. August 2005 ermittelt und in Tabelle 3-2 zusammengefasst. Auf die Ausgabe der Werte für die Dauerstufe 1h wurde verzichtet, da keine außergewöhnlichen Intensitäten registriert wurden, die Wiederkehrzeiten lagen hier verbreitet im Bereich von 1 Jahr und kürzer.

20.08 bis 25.08.2005	Niederschlagshöhen [mm] und Jährlichkeiten [a] in verschiedenen Dauerstufen									
	3-Stunden		6-Stunden		12-Stunden		24-Stunden		72-Stunden	
Station	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]
Kochel-Einsiedl	54	15	95	>100	163	>100	217	>100	246	>100
Kreuth-Glashütte	54	5	85	15	140	60	177	40	218	10
Halblech-Trauchgau	37	2	59	5	92	30	149	>100	198	>100
Oberstdorf-Rohrmoos	50	10	79	40	111	100	147	85	179	20
Garmisch-Partenkirchen	23	1	41	2	70	5	119	50	146	10
Mindelheim	59	70	70	75	75	40	90	25	113	30

Tabelle 3-2: Höchste Niederschlagsintensitäten in der Zeit vom 20.-25.08.2005 und deren Jährlichkeiten (statistische Wiederkehrzeit gemäß KOSTRA-DWD [1951-2000]). Datenbasis: 150 automatische Stationen in Südbayern.

Die Tabelle 3-2 zeigt, dass bereits im Zeitbereich von 3 bis 12 Stunden örtlich sehr hohe Intensitäten und Jährlichkeiten gemessen wurden, die in den kurzen Niederschlagsdauerstufen zu Pfingsten 1999 (vgl. Tabelle 3-3) nicht aufgetreten sind.



Abbildung 3-9:
Niederschlagsmessstelle Schlehdorf mit den Messgeräten:
Links: Stationsrechner mit ISDN-Anschluss und Funkverbindung zum Beobachterterminal
Mitte: Automatischer Niederschlagsmesser
Rechts: Hellmann-Niederschlagsmesser zur Kontrollablesung
Quelle: LfU

3.3.3.1 Vergleich mit den Niederschlagsintensitäten früherer Hochwasser

Die beim Auguthochwasser 2002 gefallenen Niederschläge hatten ihre Schwerpunkte in Südost- und Ostbayern und erreichten in Bayern 72-Stundensummen von bis zu 166 mm. Aufgrund der anderen räumlichen Verteilung und der geringeren Niederschlagsintensitäten wird nachfolgend nur das Stark- und Dauerregenereignis an Pfingsten 1999 zum Vergleich mit den hochwasserrelevanten Niederschlägen vom August 2005 herangezogen.

Die vom 20. bis 23.08.2005 registrierten Niederschlagssummen (Dauerstufe 72 Stunden) sind überwiegend niedriger als beim Starkregenereignis zu Pfingsten 1999, lediglich an einigen Stationen im Allgäu bzw. Allgäuer Bergland wurden größere Gesamtniederschläge verzeichnet. Bei den kürzeren Dauerstufen (3 bis 24 Stunden) kam es im August 2005 aber vielerorts zu höheren Intensitäten.

Für die großflächige Niederschlagsentwicklung sind die atmosphärische Strömung und die Luftmasseneigenschaften von zentraler Bedeutung. Die Starkniederschläge von Pfingsten 1999 und vom August 2005 haben gemeinsam, dass in den Frontensystemen der beteiligten Tiefdruckgebiete sehr warme und feuchte Luft aus dem Mittelmeerraum auf subpolare kalte Luft traf und zusätzlich durch nördliche Anströmung der Alpen Stau- bzw. Hebungseffekte einsetzten.

20.05 bis 22.05.1999	Niederschlagshöhen [mm] und Jährlichkeiten [a] in verschiedenen Dauerstufen									
	3-Stunden		6-Stunden		12-Stunden		24-Stunden		72-Stunden	
Station	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]	[mm]	[a]
Garmisch-Partenkirchen	21	1	40	2	78	10	140	>100	176	25
Hohenpeißenberg	25	1	45	2	71	5	119	20	166	45
Oberstdorf	20	0,5	30	1	56	2	99	5	138	5
Wallgau-Obernach *)							243	>100	330	>100
Kochel-Einsiedl *)							228	>100	286	>100
Hindelang-Hinterstein *)							234	>100	290	>100

Tabelle 3-3: Höchste Niederschlagsintensitäten in der Zeit vom 20.-22.05.1999 und deren Jährlichkeiten (statistische Wiederkehrzeit gemäß KOSTRA-DWD [1951-2000]). Datenbasis: 12 automatische Stationen in Südbayern und alle Tagesniederschlagsstationen. *) Diese Stationen zeichnen nur Tagesniederschläge auf.

3.3.4 Räumliche Verteilung der Niederschläge

Die für das Auguthochwasser in Bayern relevanten Niederschläge fielen in dem 72-stündigen Zeitraum vom 21. bis zum 24. August 2005. Die nachfolgende Karte in Abbildung 3-10 zeigt die Niederschlagsschwerpunkte im Alpenvorland und im Bereich der nördlichen Alpen.

Insbesondere in dem Dreieck Allgäuer Alpen – Donauwörth – Mangfallgebirge fiel starker und lang anhaltender Regen mit verbreitet mehr als 60 mm Regen in 72 Stunden. Alpennah waren es im gleichen Zeitraum vielerorts mehr als 150 mm. Die höchsten Niederschlagssummen wurden im Oberallgäu (z.B. Balderschwang: 259 mm vom 22. bis 23.08.) sowie im Raum Garmisch-Partenkirchen und Bad Tölz (z.B. Kochel- Einsiedl: 246 mm in 72 h) registriert.

Nördlich der Donau wurden nur im oberen Wörnitz- und Altmühlgebiet hohe Niederschlagssummen gemessen (z.B. Wassertrüdingen: 94 mm vom 21. bis 23.08.).

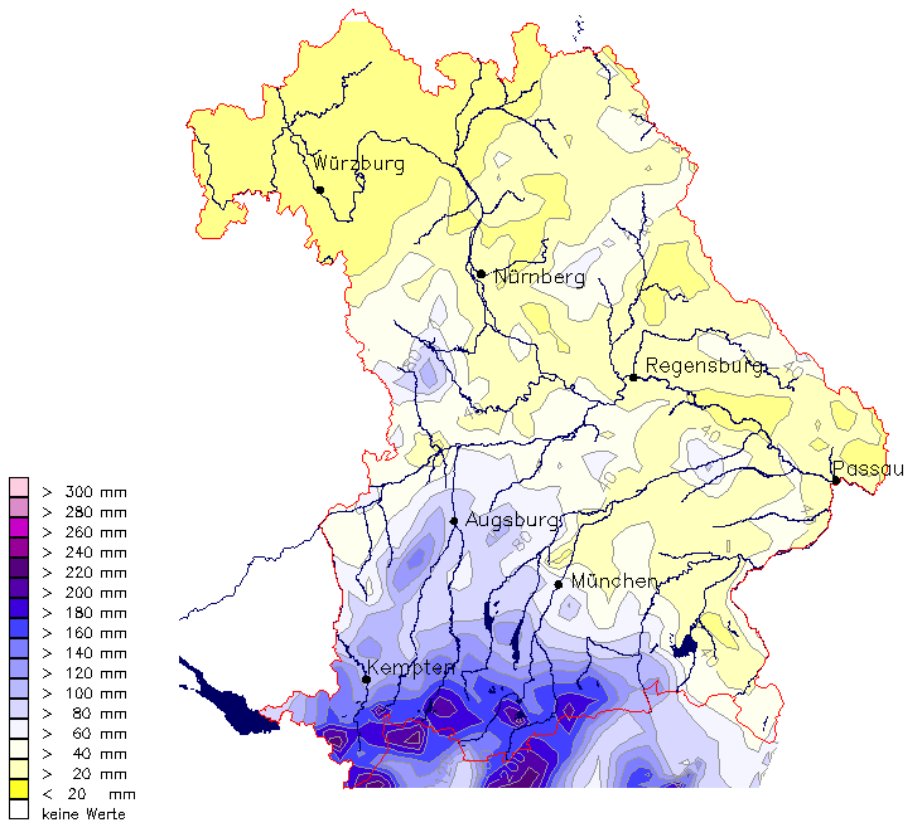


Abbildung 3-10: 72-stündige Niederschlagssumme vom 21.08. 8:00 – 24.08.2005 8:00 Uhr MESZ

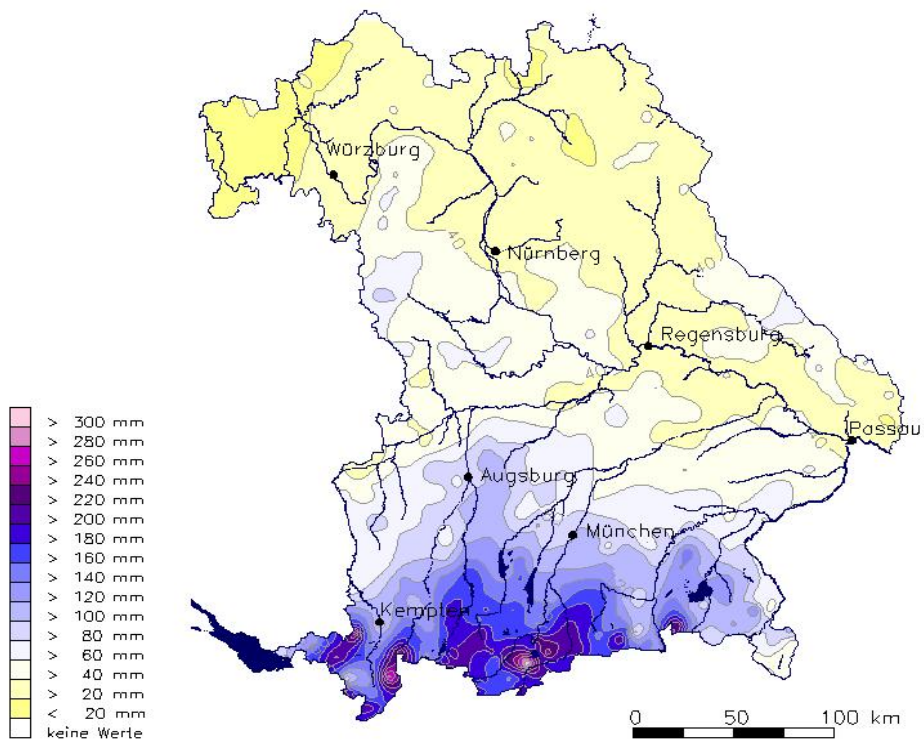


Abbildung 3-11: 72-stündige Niederschlagssumme vom 20.05. 8:00 – 22.05.1999 8:00 Uhr MESZ

In den Alpen fielen die stärksten Regenfälle in der Schweiz (örtlich bis 300 mm), in Vorarlberg (örtlich bis 240 mm), in Tirol (örtlich bis 215 mm) und in der Steiermark (örtlich bis 190 mm). Nähere Angaben finden sich in den im Quellenverzeichnis zitierten Publikationen.

3.3.4.1 Vergleich mit der Niederschlags- Verteilung beim Hochwasser an Pfingsten 1999

Die räumliche Ausdehnung der Niederschläge zu Pfingsten 1999 ist zum Teil ähnlich mit dem Muster vom August 2005. So treten bei beiden Ereignissen hohe Niederschläge in Alpennähe, insbesondere im westlichen Teil der bayerischen Alpen auf. Allerdings kam es zu Pfingsten 1999 (im Gegensatz zu 2005) zu Dauerniederschlägen im Raum Chiemgau/Chiemgauer Alpen und auch die exakte Lage der Niederschlagschwerpunkte in den Allgäuer Bergen und im oberen Isareinzugsgebiet war unterschiedlich.

3.4 Niederschlagsvorhersagen

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt neben den Beobachtungsdaten auch Niederschlagsvorhersagen aus numerischen Wettervorhersagemodellen, wie zum Beispiel aus dem so genannten Lokalmodell (LME, Maschenweite: 7 km) und dem Globalmodell (GME, Maschenweite: 40 km) für die bayerische Wasserwirtschaft zur Verfügung. Zusätzlich werden Wetter- und Unwetterwarnungen per FAX- und Internetbereitstellung vom DWD bekannt gegeben und über telefonische Beratung lassen sich weitere Informationen einholen.

3.4.1 Räumliche Verteilung der Niederschlags-Tagessummen

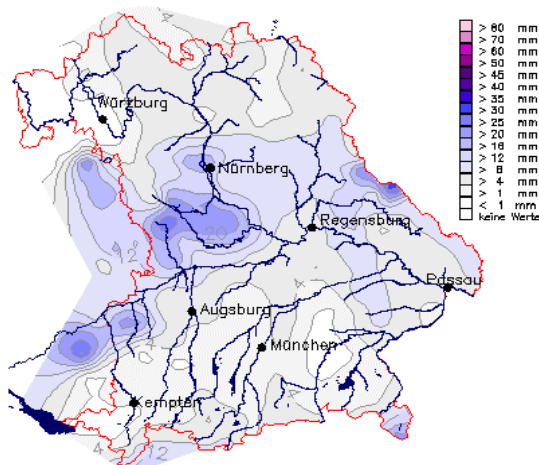
Im Folgenden werden anhand von Karten mit den Niederschlags-Tagessummen Beispiele gezeigt, inwieweit die gemessenen Niederschlagssummen mit den Vorhersagen übereingestimmt haben. Gegenübergestellt werden in den folgenden Vergleichen: Links die tatsächlich gemessene Tagessumme des Niederschlags von 7.00 bis 7.00 Uhr MEZ (= 6 Uhr UTC), rechts die Vorhersagemengen, die für den gleichen Zeitraum mit dem LME- Modell, im 0-Uhr- Lauf¹ berechnet wurden.

3.4.1.1 20. August

Am 20.08. werden vom LM-Modell die Niederschläge in Mittelfranken und Südostbayern nicht richtig wiedergegeben. Die geringeren Niederschläge in Mittelfranken wurden nicht vorhergesagt und die hohen Niederschläge, die in Südostbayern und dem östlichen Niederbayern vorhergesagt waren trafen nicht ein. Dieser Zeitraum war vom Niederschlagsgeschehen für das folgende Hochwasser noch nicht relevant, das Beispiel soll aber gewisse Modellunsicherheiten zeigen.

¹ In den 0 Uhr-Lauf des LME- Modells gehen gemessene Niederschläge bis 24 Uhr mit ein, er wird in der Regel morgens um 6.00 Uhr vom DWD ausgegeben.

Niederschlagssumme 20.8.2005 7 Uhr bis 21.8.2005 7 Uhr MEZ in Bayern



Stand 21. 8. 2005 14:00 UTC

Im NS-Vorhersage (flüssig) für folg. 24 Stunden ab 6 Uhr UTC 20.08.2005

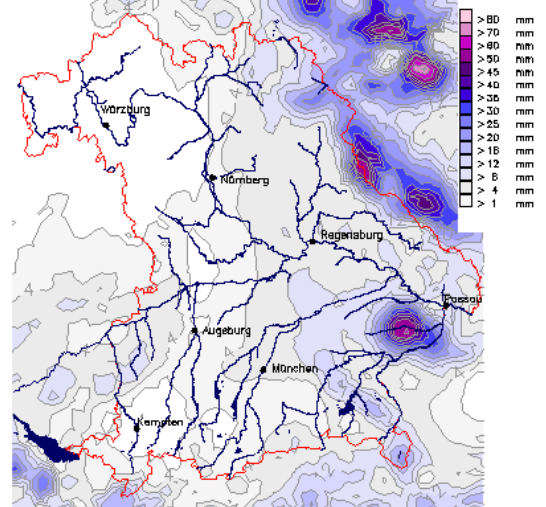


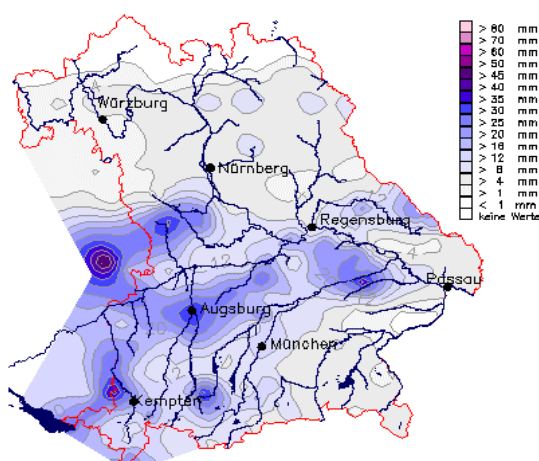
Abbildung 3-12: Vergleich Niederschlagsmessungen und Lokalmodell-Vorhersagen für den 20.08.2005.

3.4.1.2 21. August

Die Niederschlagsverteilung für Sonntag, den 21.08. wird vom LM- Modell (Lauf 21.08. 0 Uhr UTC) nicht richtig wieder gegeben. Die vorhergesagten Starkniederschläge sollten erst ca. 12 Stunden später auftreten.

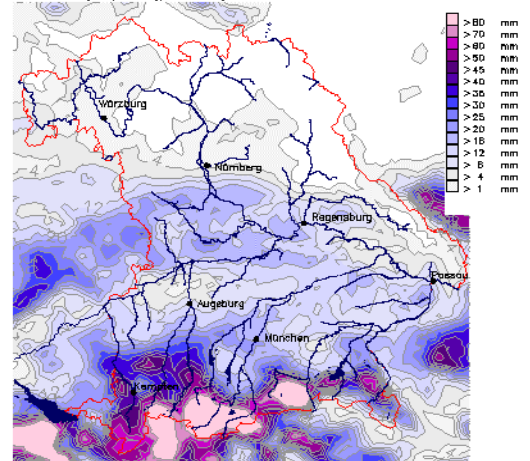
Am 21.08.2005 22:18 Uhr erfolgte vom DWD auch eine Unwetterwarnung für einzelne Landkreise in Schwaben und Oberbayern: „...Bis Dienstag morgen können 60-90, örtlich 100-120 Liter Regen pro Quadratmeter fallen“. Diese Warnung erfolgte rechtzeitig, da wie bereits beschrieben die relevanten Niederschläge erst am 22.08.2005 im Verlauf des Vormittags einsetzten, allerdings fielen alpennah verbreitet 140 mm und örtlich über 200 mm Niederschlag und damit deutlich mehr als in der Warnung angekündigt wurde.

Niederschlagssumme 21.8.2005 7 Uhr bis 22.8.2005 7 Uhr MEZ in Bayern



Stand 22. 8. 2005 14:00 UTC

Im NS-Vorhersage (flüssig) für folg. 24 Stunden ab 6 Uhr UTC 21.08.2005



Im Lauf 00 UTC

Abbildung 3-13: Vergleich Niederschlagsmessungen und Lokalmodell-Vorhersagen für den 21.08.2005

3.4.1.3 22. August

Das LM-Modell für den 22.08.2005 trifft die allgemeine Niederschlagsverteilung relativ gut: Die vorhergesagten sehr hohen Niederschläge werden im Allgäu und den westlichen bayerischen Alpen später auch gemessen. Allerdings wird z.B. der Bereich im Mangfallgebirge nicht richtig wiedergegeben und im Iller/Lechgebiet liegen die Prognosen um rund 4 Stunden zu früh.

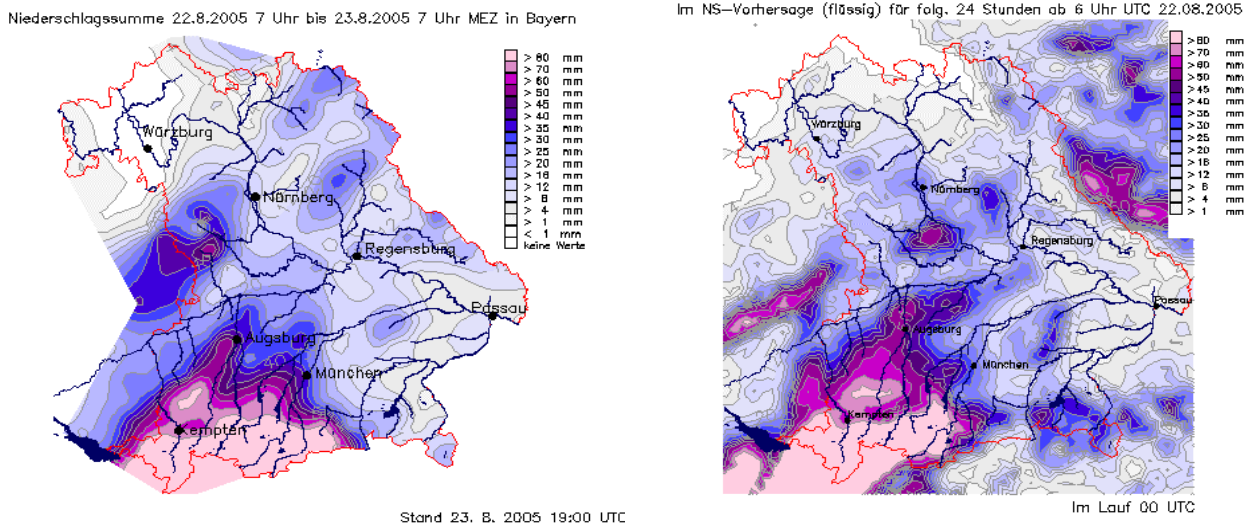


Abbildung 3-14: Vergleich Niederschlagsmessungen und Lokalmmodell-Vorhersagen für den 22.08.2005

3.4.1.4 23. August

Am darauf folgenden Tag prognostizierte das Modell im Oberallgäu und Chiemgau noch länger Starkregen, der nicht fiel. Die Niederschläge am Alpenrand trafen in Prinzip zu, jedoch konnte die Verteilung nicht exakt bestimmt werden: Im Mangfallgebirge wurde die Niederschlagsmenge vom Modell unterschätzt im Berchtesgadener Land deutlich überschätzt.

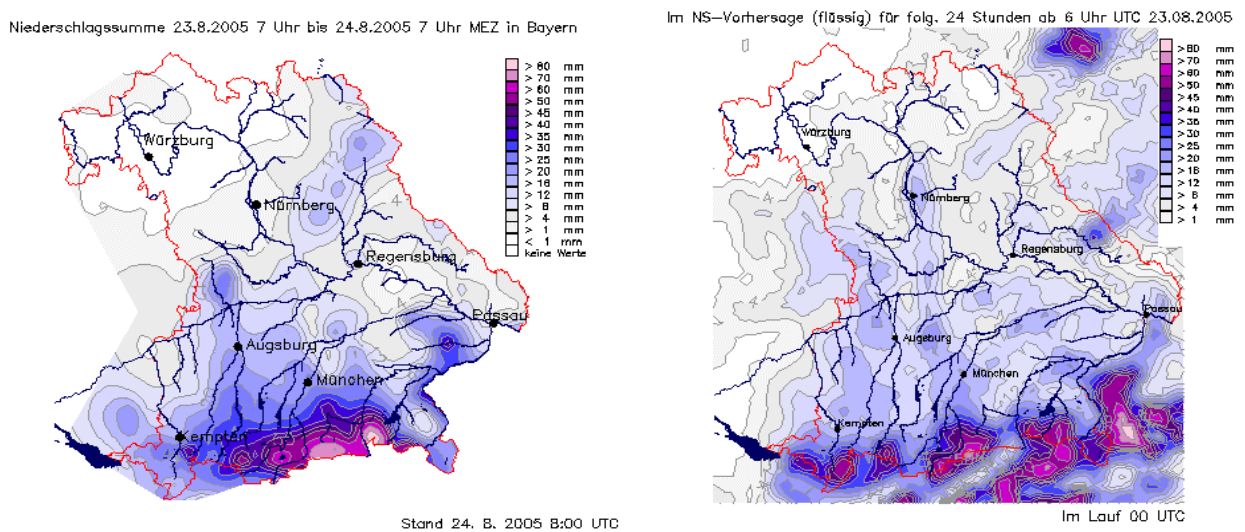


Abbildung 3-15: Vergleich Niederschlagsmessungen und Lokalmmodell-Vorhersagen für den 23.08.2005

3.4.2 Summenlinien des Gebietsniederschlags

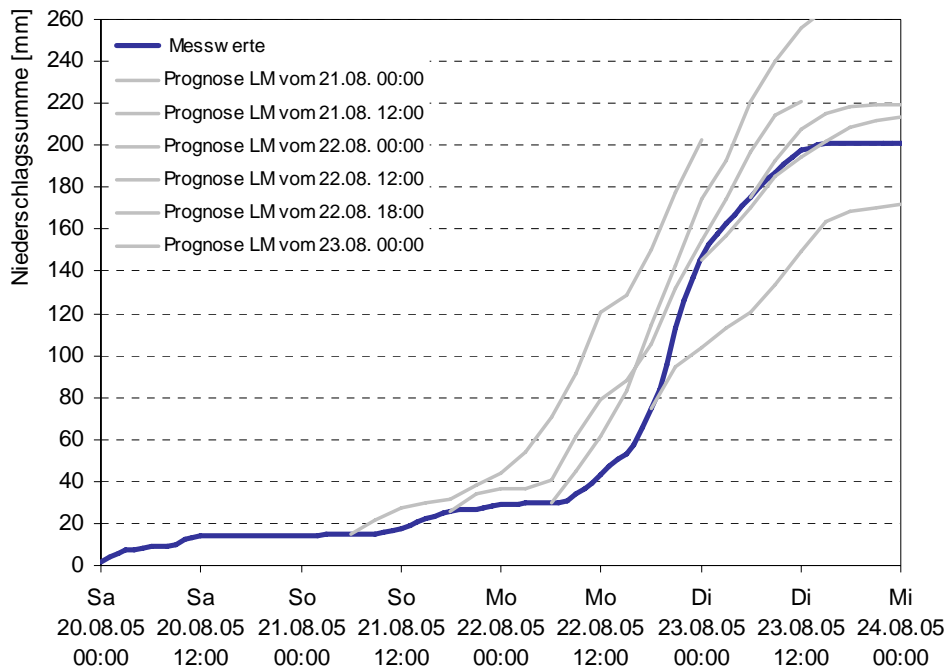


Abbildung 3-16: Gemessener und vorhergesagter Gebietsniederschlag der oberen Iller bis Sonthofen (Lokalmodell (LME) –Rechenläufe vom 21.08. bis 23.08 jeweils 0 u. 12 Uhr UTC).

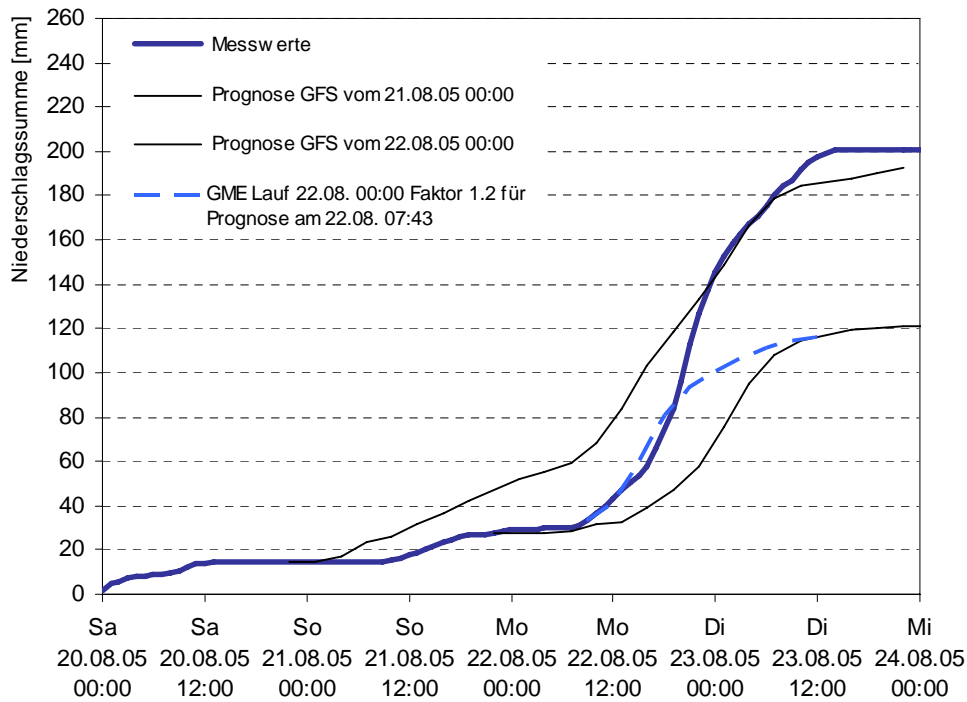


Abbildung 3-17: Gemessener und vorhergesagter Gebietsniederschlag der oberen Iller bis Sonthofen (GFS [Global Forecast System]- und GME (DWD)-Rechenläufe vom 21. u. 22.08.05).

Am Beispiel des gemessenen Gebietsniederschlags im Bereich der Iller bis Sonthofen und anhand der verschiedenen Modellvorhersagen, wird im Folgenden die Vorhersagegüte des prognostizierten zeitlichen Niederschlagsverlaufs analysiert.

Die verschiedenen LM-Vorhersagen in Abbildung 3-16 zeigen, dass das Modell die Starkregenfälle in diesem Gebiet zu früh prognostiziert hat und der Gesamtniederschlag in mehreren Modellläufen auch zu hoch (kurzzeitig auch zu niedrig) berechnet wurde. Auch andere Modellvorhersagen (s. Abbildung 1.16) konnten den tatsächlichen Niederschlagsverlauf in diesem Gebiet nicht exakt vorhersagen.

(Weitere Hinweise zu Niederschlagsvorhersagen des DWD im Vergleich mit Beobachtungen finden sie im Quellverzeichnis unter [9])

Dieses Beispiel zeigt, dass die Niederschlagsvorhersagen bei der Wetterlage im August 2005 zum Teil noch große Unsicherheiten hinsichtlich der Niederschläge aufwiesen und deshalb im Vorhersagezeitraum aufgrund des aktuellen Niederschlagsgeschehens korrigiert werden mussten oder zu verwerfen waren. Die meteorologischen Beratungsleistungen der Wetterdienste zur aktuellen Lage- und Modelleinschätzung wurden deshalb zu einer wichtigen Zusatzinformation.

3.5 Anhang

Klassifikation der Zugbahnen

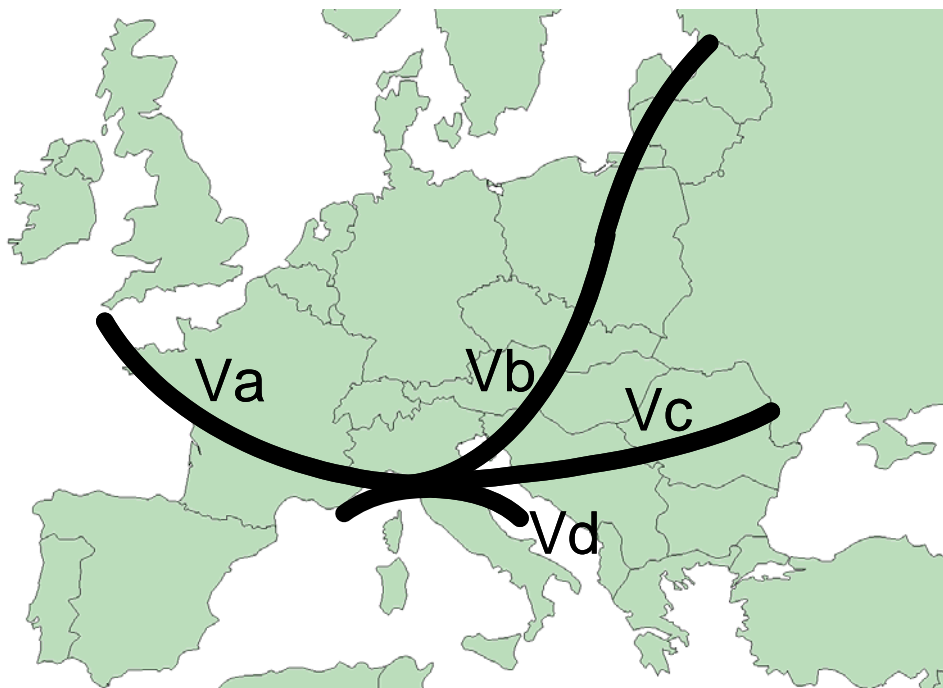


Abbildung 3-18: Schema von 1880 zur Klassifikation von Zugbahnen für Tiefdruckgebiete vom dt. Meteorologen Jakob van Beber. Die Zugbahn Vb wird im allgemeinen Sprachgebrauch noch häufiger verwendet, da Tiefdruckgebiete, die von der Adria nach Nordosten ziehen, durch ihre ergiebigen länger anhaltenden Niederschläge häufig hochwasserrelevant sind.

Satellitenbilder

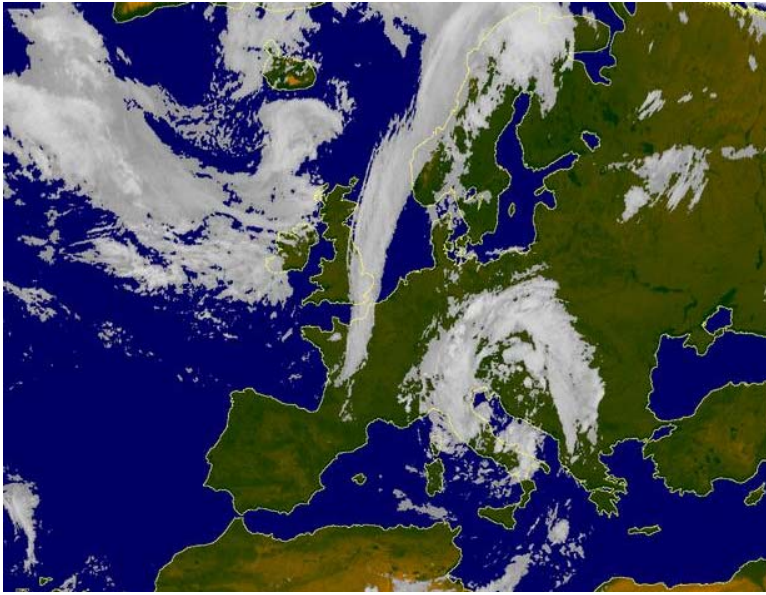


Abbildung 3-19:

Infrarot-Satellitenbild
22.08.2005, 18 Uhr

(Quelle:www.wetter.com)

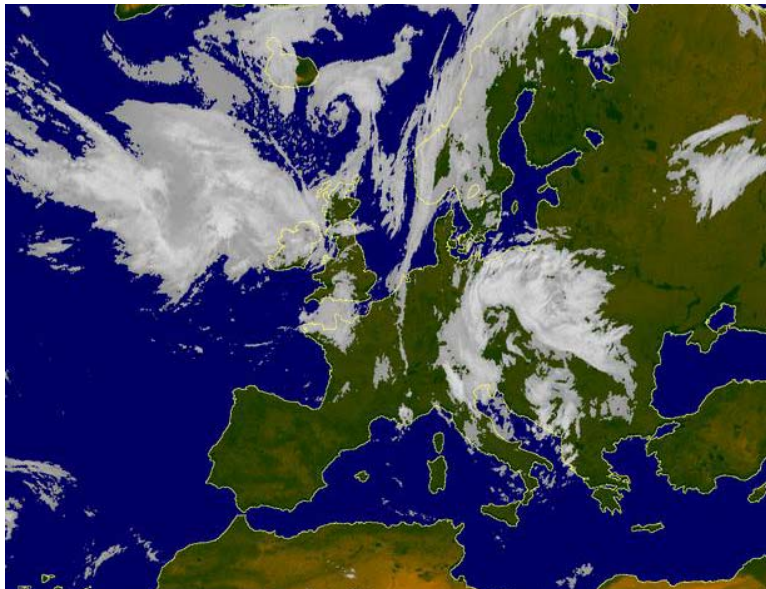


Abbildung 3-20:

Infrarot-Satellitenbild
23.08.2005, 6 Uhr

(Quelle:www.wetter.com)

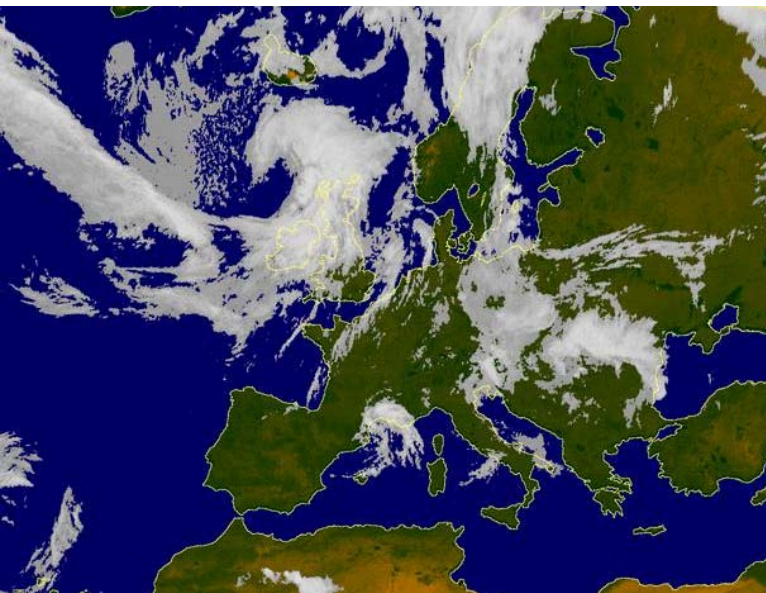


Abbildung 3-21:

Infrarot-Satellitenbild
24.08.2005, 0 Uhr

(Quelle:www.wetter.com)

Ausgewählte Niederschlagsregistrierungen vom 20. bis 24.08.2005

Oberstaufen-Thalkirchhof

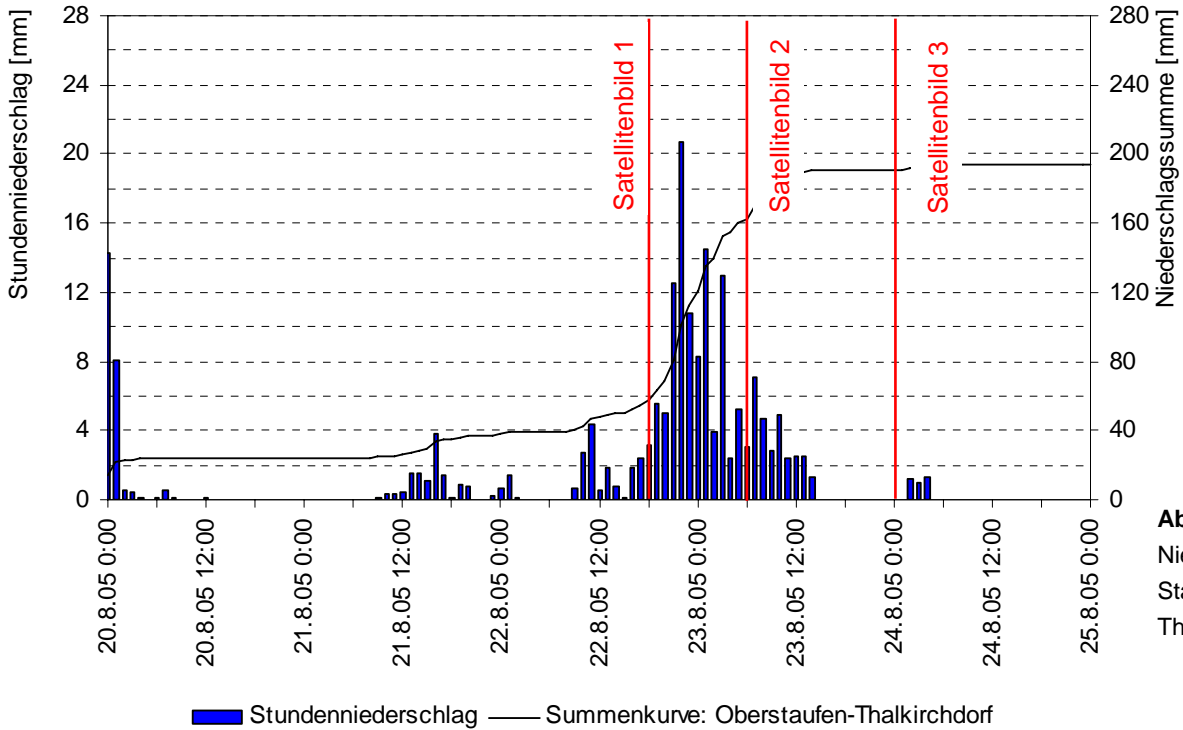


Abbildung 3-22:
Niederschlag an der Station Oberstaufen-Thalkirchhof

Oberstdorf-Rohrmoos

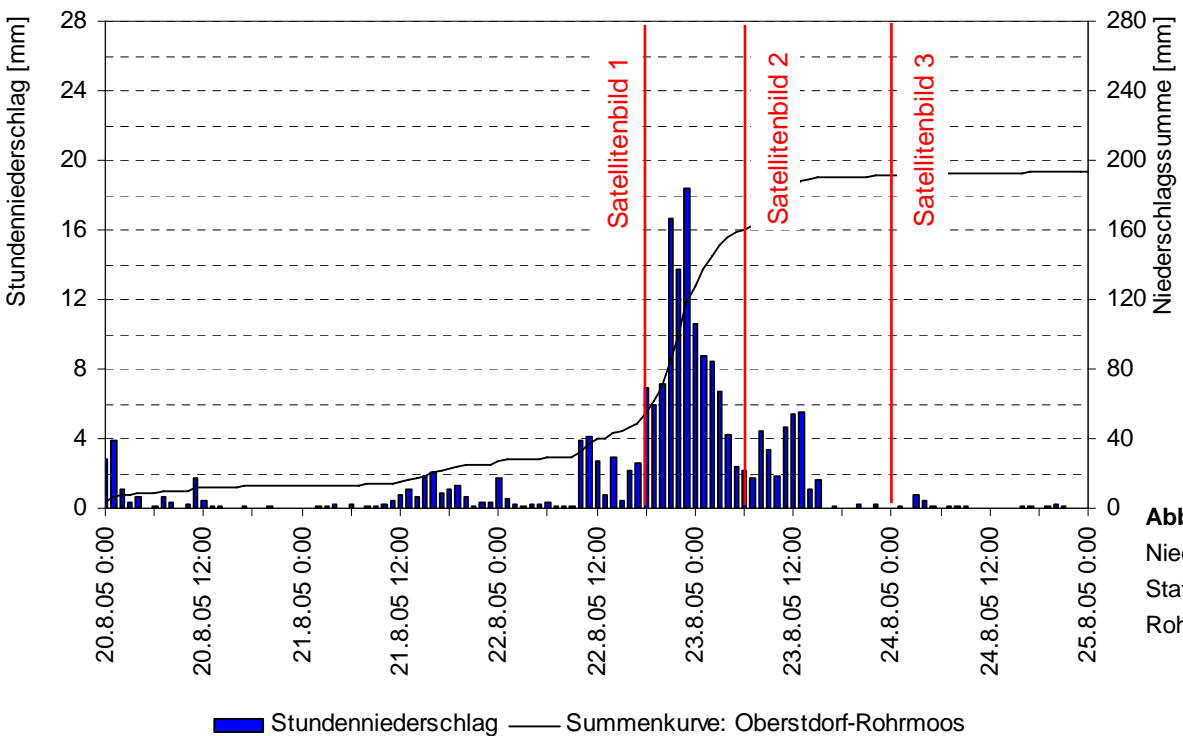


Abbildung 3-23:
Niederschlag an der Station Oberstdorf-Rohrmoos

Schwangau- Horn

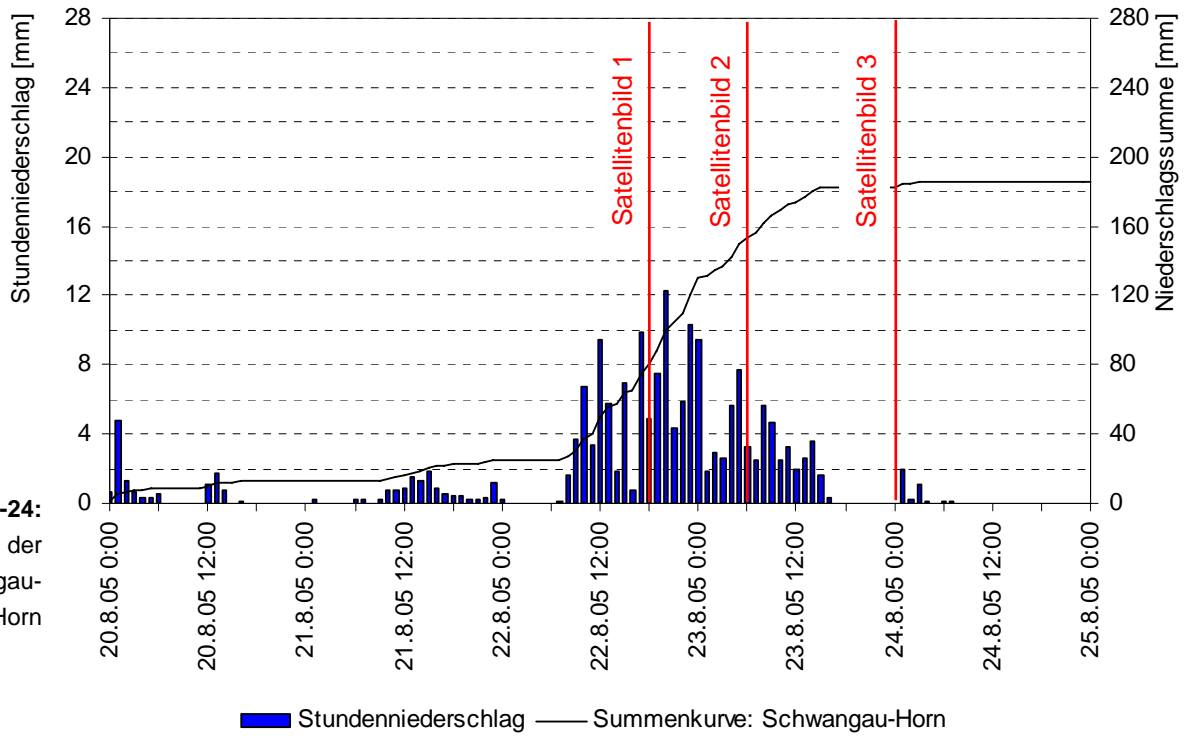


Abbildung 3-24:
Niederschlag an der
Station Schwangau-
Horn

Mindelheim

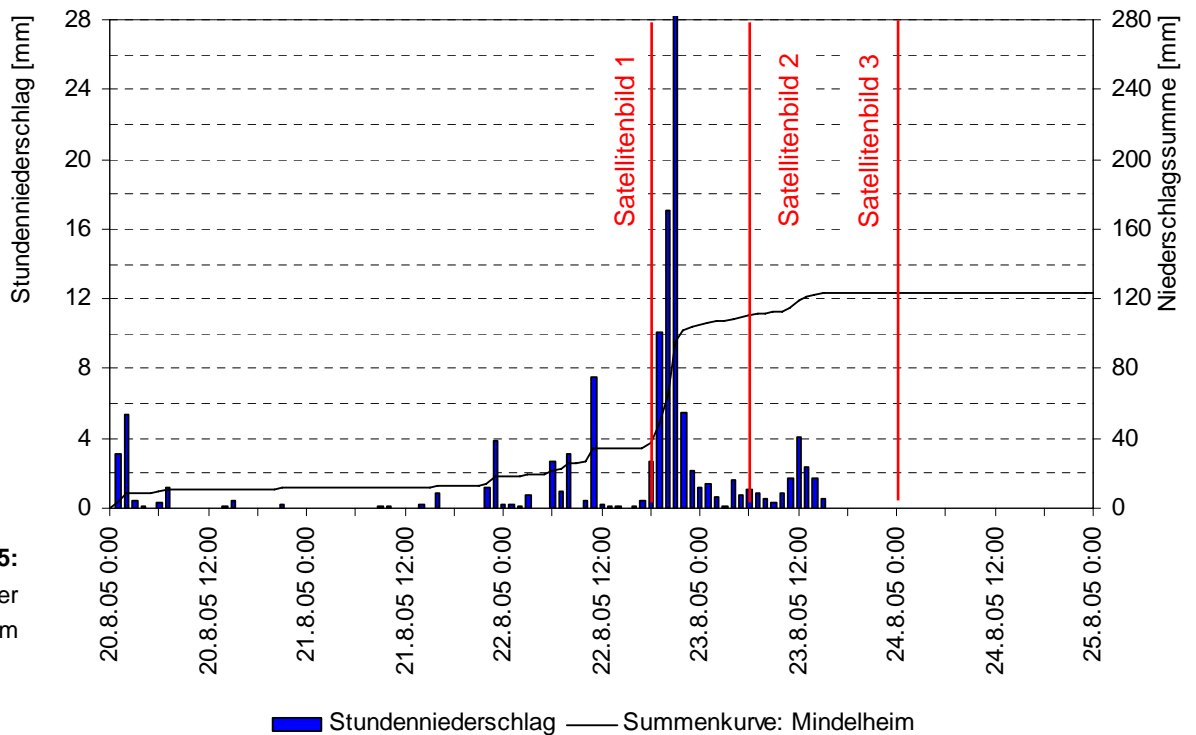


Abbildung 3-25:
Niederschlag an der
Station Mindelheim

Lenggries (Sylvensteinspeicher)

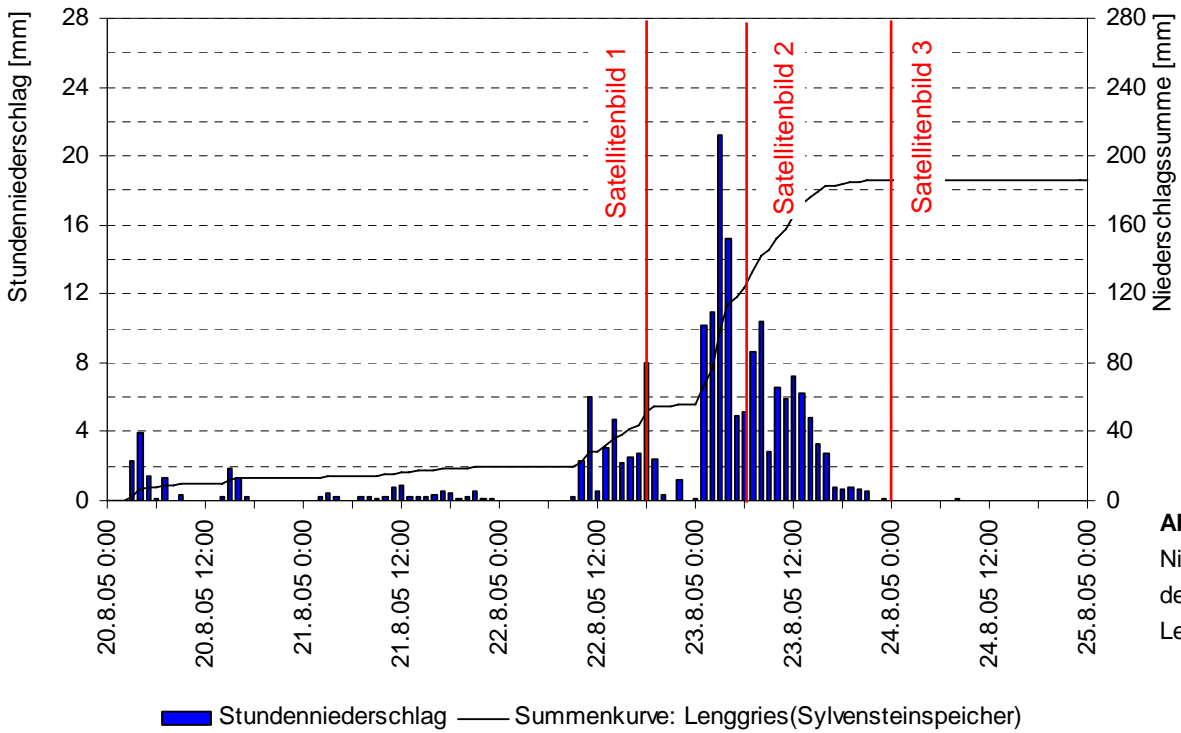


Abbildung 3-26:
Niederschlag an
der Station
Lenggries

Kreuth- Glashütte

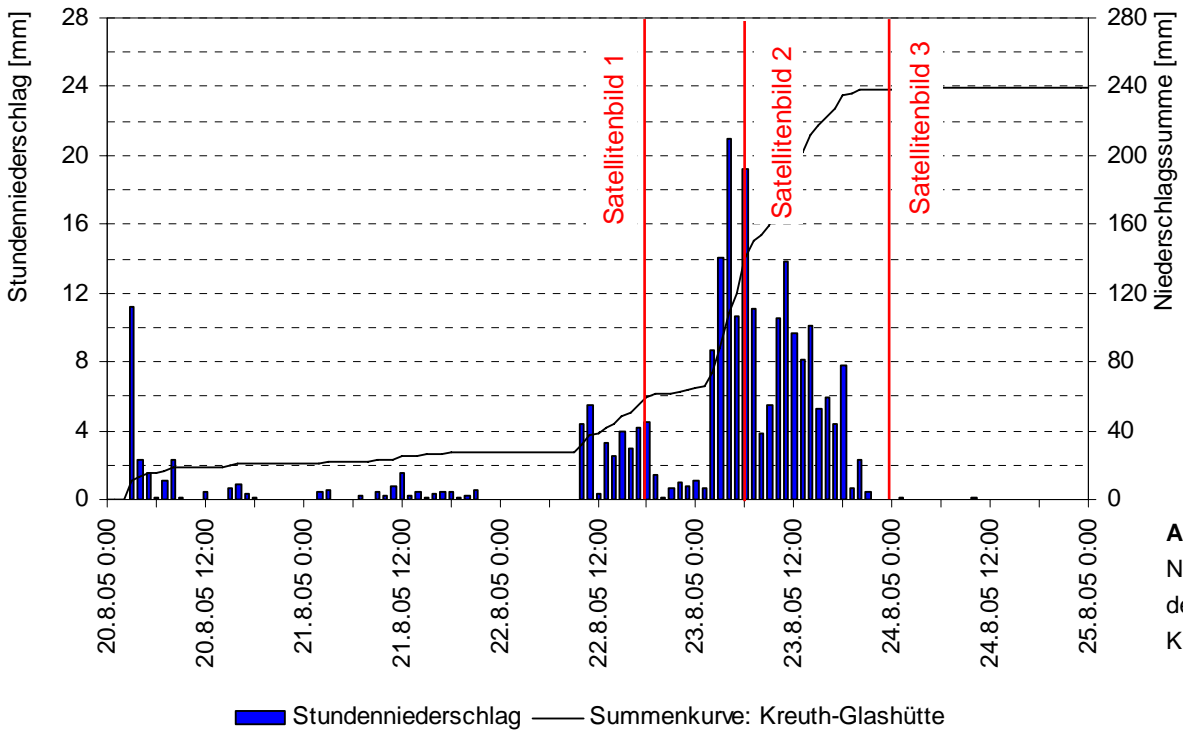


Abbildung 3-27:
Niederschlag an
der Station
Kreuth- Glashütte

4 Hochwassersituation an Flüssen und Seen

In diesem Kapitel werden der Ablauf und das Ausmaß des Hochwassers im August 2005 an den oberirdischen Gewässern beschrieben.

Übersichtskarten mit den Meldestufen und den Gewässerkundlichen Hauptwerten zeigen, wo in Bayern im August 2005 Überschwemmungen und Hochwasser auftraten. Für die betroffenen Flussgebiete wird über einen Vergleich der Abflussganglinien an verschiedenen Pegelmessstellen entlang der Flüsse der Verlauf der Hochwasserwelle detaillierter beschrieben. Außerdem werden maximal gemessene Wasserstände und Abflüsse dokumentiert und Besonderheiten beim Hochwasser im jeweiligen Flussgebiet erläutert. Mit Hilfe der Jährlichkeiten wird das Hochwasser im August 2005 in die Reihe der bisher beobachteten Hochwasserereignisse eingeordnet.

Soweit nicht anders angegeben, stammen die Wasserstands- und Abflussdaten aus der Datenbank des LfU und sind überschlägig auf Plausibilität geprüft worden. Endgültige Werte standen bei der Erstellung des Berichts noch nicht zur Verfügung, es handelt sich also bei allen Wasserstands- und Abfluss- Angaben in den Tabellen und Grafiken um vorläufige Werte. Bei den Angaben der maximalen Abflüsse in den Tabellen wurden die Werte auf 5 m³/s bzw. 3 signifikante Stellen gerundet. Als Ergänzung wurden auch Rohdaten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes (HND), zum Beispiel die Abflussdaten von Kraftwerken oder dem Zu- und Ablauf von Speicherseen, verwendet.

Bei der Angabe der Scheitelwerte bei Abfluss oder Wasserstand werden die maximal erreichten Werte verwendet, die vom 21.8.2005 bis zum 28.8.2005 auftraten: Dem Zeitraum vom Anstieg die Wasserstände in den alpinen und voralpinen Gebieten, bis zu dem Zeitpunkt als die Pegelstände auch in Passau wieder deutlich zurückgingen.

4.1 Überblick über Maximale Wasserstände und Abflüsse

4.1.1 Ausuferungen und Überschwemmungen

Während des Hochwassers wird in Bayern die Hochwasserlage mit Hilfe von vier Meldestufen beschrieben. Die Meldestufen sind für jeden Pegel einzeln festgelegte Wasserstands-Marken die das Ausmaß der Überflutung charakterisieren und bestimmten Auswirkungen wie z.B. Ausuferungen oder Alarmierungsgrenzwerten im weiteren Umkreis eines Pegels entsprechen.

Für die Beschreibung der Meldestufen siehe Bildunterschrift zu Abbildung 4-1.

An fast allen südlichen Zuflüssen zur Donau sowie an der Donau selbst traten starke Überschwemmungen auf, mit großflächigen Überflutungen bebauter Gebiete, Behinderungen bei überörtlichen Verkehrsverbindungen und/ oder der Einsatz der Dammwehr wurde in großem Umfang notwendig.

Besonders betroffen waren die Oberläufe von Iller, Ammer und Mangfall und deren Zuflüsse sowie die gesamte Loisach und die Isar, wo die Wasserstände die höchste Meldestufe 4 zum Teil weit überschritten. Starke Überflutungen gab es auch an den kleineren südlichen Zuflüssen zur oberen Donau wie Günz, Mindel, Zusam, Schmitter und Paar.

An der Oberen Donau stiegen die Wasserstände an fast allen Pegeln auf Werte über die Meldestufen 3 oder 4. An der unteren Donau traten fast durchgängig Wasserstände über der Meldestufe 4 auf. Auch am Inn gab es an einigen Abschnitten Überflutungen der Meldestufe 4.

Überflutungen geringeren Ausmaßes mit Meldestufen 1 und 2 und Überflutungen landwirtschaftlicher Flächen und/oder Gemeindestraßen traten an fast allen weiteren Pegeln der südlichen Donauzuflüsse sowie an der Wörnitz, der Altmühl und vereinzelt an Regnitz- Zuflüssen auf.

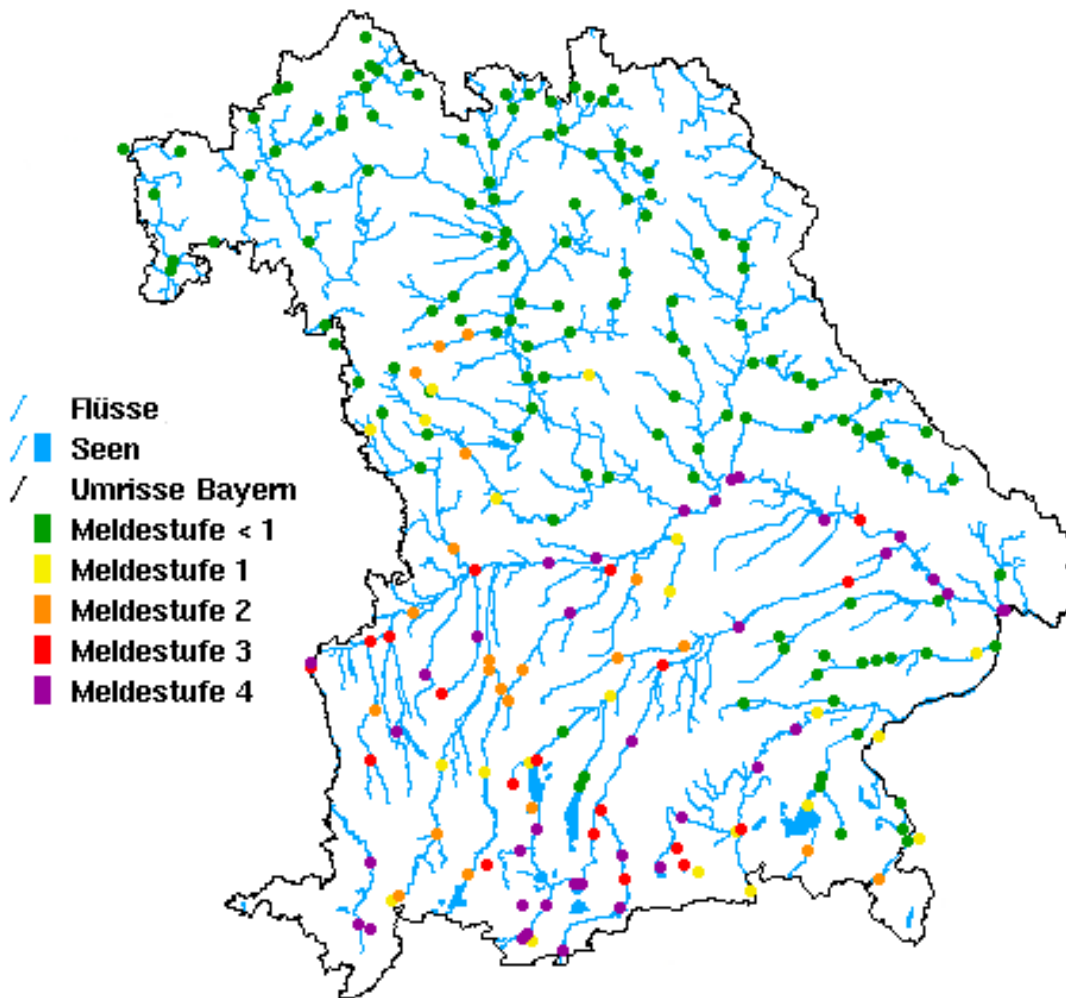


Abbildung 4-1: Meldestufen, die während des Hochwassers vom 20.-30.8. erreicht oder überschritten wurden. Grüne Punktsymbole kennzeichnen Pegel an denen die Wasserstände unterhalb der Meldestufe 1 blieben. Die einzelnen Meldestufen sind wie folgt definiert:

- Meldestufe 1: Stellenweise kleinere Ausuferungen
- Meldestufe 2 Land- und forstwirtschaftliche Flächen überflutet oder leichte Verkehrsbehinderungen auf Hauptverkehrs- und Gemeindestraßen.
- Meldestufe 3 Einzelne bebaute Grundstücke oder Keller überflutet oder Sperrung überörtlicher Verkehrsverbindungen oder vereinzelter Einsatz der Wasser- oder Dammwehr erforderlich.
- Meldestufe 4: Bebaute Gebiete in größerem Umfang überflutet oder Dammwehr in großem Umfang erforderlich.

4.1.2 Räumliche Ausdehnung des Hochwassers

Mit Hilfe der Gewässerkundlichen Hauptwerte werden verschiedene Abfluss- oder Wasserstandsbereiche, wie Niedrig- Mittel- oder Hochwasser gekennzeichnet.

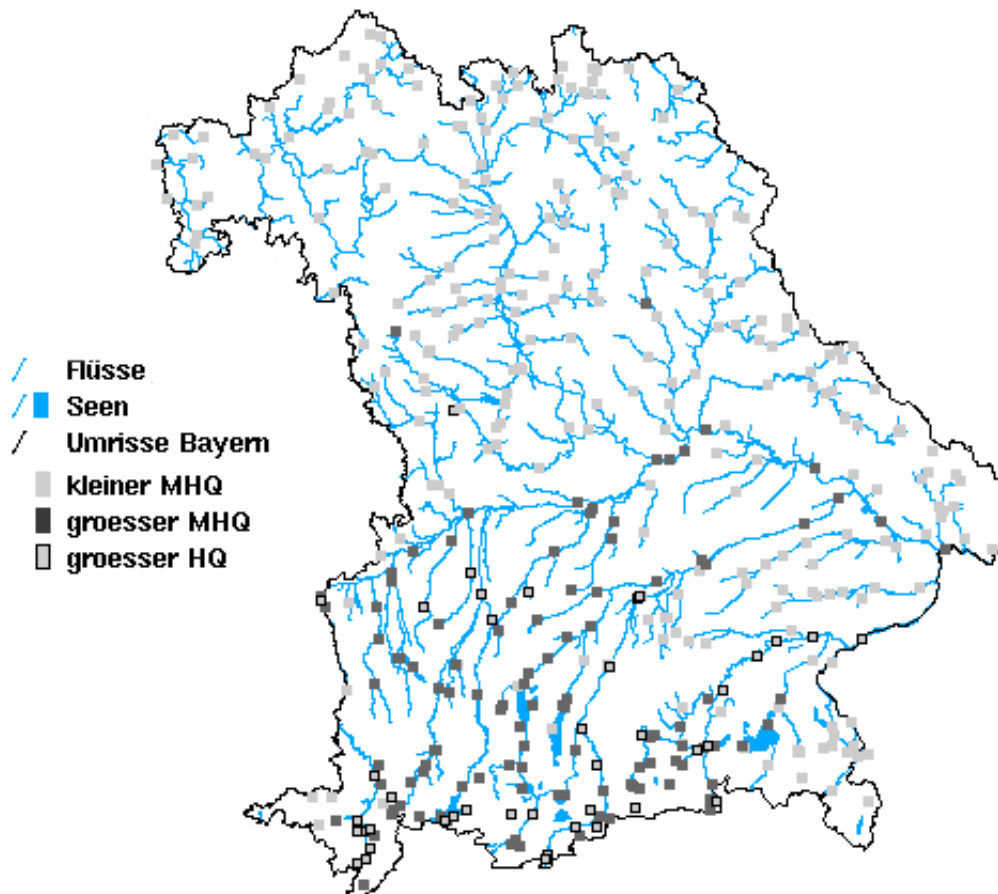


Abbildung 4-2: Gewässerkundliche Hauptwerte die beim Hochwasser erreicht oder überschritten wurden. Dabei bedeuten:

HQ: Höchster bisher jemals gemessener Abfluss

MHQ: Mittlerer Jährlicher Hochwasserabfluss.

In der Karte in Abbildung 4-2 ist dargestellt, an welchen Pegeln die Gewässerkundlichen Hauptwerte HQ und MHQ überschritten wurden.

Der **HQ**- Wert bezeichnet den höchsten jemals gemessenen Abflusswert im gesamten Beobachtungszeitraum des Pegels (bzw. für eine gleichartige Abflussmessreihe). Der **MHQ**- Wert steht für den Mittleren Jährlichen Hochwasserabfluss und wird berechnet als Mittelwert (arithmetisches Mittel) der höchsten Abfluss- Werte eines jeden Jahres aus der gesamten Messreihe.

Hier erkennt man die räumliche Ausdehnung des Hochwassers: An fast allen Pegelmessstellen der südlichen Donauzuflüsse sowie an der Donau selbst gab es im August 2005 ein überdurchschnittlich großes Hochwasser bei denen Abflüsse über dem mittleren jährlichen Hochwasserabfluss (MHQ) lagen.

Neue Höchstabflüsse - höher als der bisher maximal beobachtete Abfluss (HQ) - wurden an Pegeln im Einzugsgebiet der Iller, des Lech oberhalb des Forggensees, der oberen Loisach, der Isar sowie am Inn registriert.

4.2 Hochwasser in der Schweiz und in Österreich

Auch in der Schweiz und in Österreich verursachten die Niederschläge ab dem 20.8. extreme Hochwasser und Überschwemmungen.

In der Schweiz gab es entlang fast des gesamten Alpennordhangs vom Kanton Waadt bis zum Kanton Graubünden Hochwasser. In den Einzugsgebieten der Aare, der Emme und der Reuss traten an vielen Pegeln Abflusswerte mit Jährlichkeiten von über 100 Jahren auf. An einigen Pegeln wurden historische Höchststände gemessen. Statische und dynamische Überschwemmungen, Ufererosion, Ablagerungen von Geschiebe und Schwemmholz aber auch Murengänge und Hangrutschungen verursachten große Schäden [6].

In Österreich traten größere Hochwasser vor allem in den westlichen Bundesländern auf. Im Land Vorarlberg wurden an Lech, Bregenzerach, im Laternser Tal, Klostertal, Silbertal und in Gisingen an der Ill, im Land Tirol an Inn, Lech, Vils und Sanna neue Höchstwerte des Wasserstandes gemessen. Der Tiroler Teil des Lech und des Inn führten noch an der Grenze zu Bayern großes Hochwasser (Jährlichkeiten >100 Jahren); an der Großsache (Jährlichkeiten 2 –5 Jahren) und der Salzach (Jährlichkeit von unter 2 Jahren) trat im Bereich der Grenze lediglich ein geringeres Hochwasser auf. Die Hochwasserwelle der Donau erreichte an der Grenze zu Österreich, d.h. unterhalb von Passau nur noch Scheitel- Abflüsse die einer Jährlichkeit etwa 2-5 Jahren entsprechen. (Weitere Beschreibung bei den jeweiligen Flussgebieten in Kapitel 4.3) [3]

4.3 Wellenablauf in den einzelnen Flussgebieten

Das Hochwassergeschehen in den einzelnen Flussgebieten wird anhand von Abflussganglinien und mit Tabellen der Hochwasser- Kennwerte beschrieben. Bei den Grafiken wurde in Kapitel 4.3 eine einheitliche Zeitskala vom 20. – 30.8.2005 gewählt, um die Ganglinien unterschiedlicher Flüsse miteinander vergleichen zu können, die Skala der Abflüsse (Y-Achse) wurde jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit variabel gewählt.

Die Tabellen geben für die einzelnen Pegel die Scheitelabflüsse und -Wasserstände an, deren Jährlichkeit und den Zeitpunkt der der maximal auftretenden Werte. Zum Vergleich werden auch die maximalen Abflüsse beim Hochwasser an Pfingsten 1999 angegeben. Auch Pegel an wichtigen Nebenflüssen wurden in die Tabellen mit aufgenommen.

In den einzelnen Kapiteln werden gebietspezifische Besonderheiten und der Wellenablauf entlang des Flusses beim Hochwasser im August 2005 erläutert. Dabei wird auch auf besondere Aspekte wie Speichersteuerung, modellmäßige Erfassung des Wellenablaufs und die Probleme der Wasserstands- und Abflussmessung bei Extremhochwasser eingegangen.

4.3.1 Iller

Die Abflussganglinien am Oberlauf zeigen einen schnellen Anstieg, am Pegel Sonthofen um etwa 500 m³/s in ca. 12 Stunden, am Pegel Kempten um etwa 800 m³/s innerhalb von 24 Stunden. Der Wellenscheitel wird am Pegel Sonthofen bereits in der Nacht zum 23. August erreicht, am Pegel Kempten nur etwa 6 Stunden später. Zwischen Kempten und Wiblingen beträgt die Wellenlaufzeit ca. 11 Stunden.

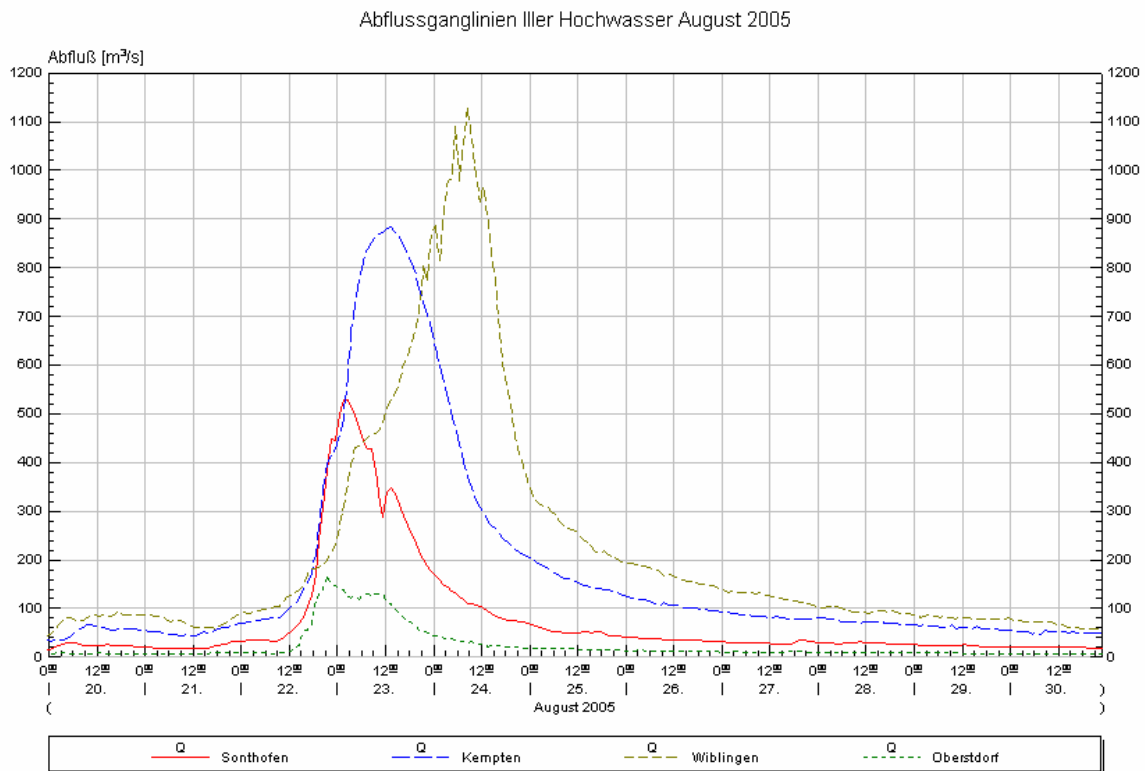


Abbildung 4-3: Abflussganglinien vom 20.8.2005 bis 30.8.2005 an der Iller und am Pegel Obersdorf/ Trettach



Abbildung 4-4: Großflächige Überflutungen an der Iller bei Martinszell. Luftaufnahme vom 24.8.2005. Quelle: WWA Kempten

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstan d (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlich keit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlich keit Qmax
			m ³ /s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Trettach	Obersdorf	0,5	165	214	22.08.05 21:00	>100	105	>100
Iller	Sonthofen	135.1	530	432	23.08.05 02:00	>100	445	>100
Iller	Kempton	102.7	885	641	23.08.05 13:00	>100	850	>100
Iller	Wiblingen	2.1	1135	777	24.08.05 08:00	>100	900	>100

Tabelle 4-1: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Iller. An der Iller gab es sowohl im Ober- als auch im Unterlauf ein extremes Hochwasser, mit höheren Abflüssen als beim Pfingsthochwasser 1999 und Jährlichkeiten von über 100 Jahren. Am Oberlauf wurden Maximalwerte im Bereich der 1000-jährlichen Abflüsse erreicht.

4.3.2 Günz, Mindel, Zusam, Schmutter, Paar, Ilm

Die kleineren südlichen Zuflüsse zur oberen Donau hatten im August Hochwasser mit vergleichsweise geringen Jährlichkeiten von meist 5 –20 Jahren.

Eine Ausnahme macht die Schmutter, bei der beispielsweise am Pegel Fischach Abflüsse im Bereich des 1000-jährlichen Hochwassers und in Achsheim ein Scheitelabfluss von deutlich über dem Wert des 100-jährlichen Hochwassers (75 m³/s) gemessen wurden. Wie auch die Angabe der Scheitelzeitpunkte in Tabelle 4-2 zeigt, gab es bei den kleineren südlichen Zuflüssen zur oberen Donau (mit Ausnahme der Günz) aufgrund des geringen Gefälles sehr lange Laufzeiten der Welle von ungefähr einem Tag für eine Fließstrecke von etwa 40 Kilometern.

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstan d (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlich keit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlich keit Qmax
			m ³ /s	cm	Datum Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Günz	Lauben	54,2	75	256	23.08.05 07:00	10 - 20	72	5 - 10
Günz	Nattenhausen	29,7	75	218	23.08.05 14:00	5 - 10	87	10 - 20
Günz	Waldstetten	14,8	80	223	23.08.05 18:00	5 - 10	90	10 - 20
Mindel	Hasberg	45,5	55	196	23.08.05 06:00	5 - 10	53	5 - 10
Mindel	Offingen	3,2	90	434	24.08.05 04:00	5 - 10	102	10 - 20
Zusam	Fleinhausen	54,0	30	185	23.08.05 12:00	10 - 20	21	2 - 5
Zusam	Pfaffenhofen	14,9	35	133	24.08.05 20:00	2 - 5	30	2 - 5
Schmutter	Fischach	68,6	120	313	22.08.05 23:00	>100	27	5 - 10
Schmutter	Achsheim	29,3	100	162	23.08.05 22:00	>100	52	20 - 50
Paar	Mering	114,0	20	131	23.08.05 18:00	2 - 5	35	10 - 20
Paar	Dasing	93,8	20	187	23.08.05 18:00	2 - 5	32	20 - 50
Paar	Mühlried	53,4	35	321	24.08.05 06:00	5 - 10	35	5 - 10
Paar	Manching Bahnbrücke	10,7	45	318	25.08.05 13:00	5 - 10	62	10 - 20
Ilm	Thalmansdorf	72,2	5	103	23.08.05 13:00	2 - 5	7	2 - 5

Tabelle 4-2: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Günz, Mindel, Zusam, Schmutter, Paar und Ilm beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

4.3.3 Lech

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstand (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlichkeit Qmax
			m³/s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m³/s	Jahre
	Forggensee Werkszufluss*	158,0	1260		23.08.05 13:00			
	Forggensee Werksabfluss*	156,0	670		23.08.05 21:00			
Lech	Lechbruck	146,6	835	455	23.08.05 21:00	20 - 50	851	20 - 50
Lech	Landsberg	85,4	980	413	23.08.05 18:00	20 - 50	1097	20 - 50
Lech	Haunstetten	50,4	1130	370	24.08.05 01:00	50 - 100	1146	50 - 100
Lech	Augsburg u. d. Wertachm.**	38,6		559	24.08.05 01:00		1496	50- 100

Tabelle 4-3: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Iller beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

* Rohdaten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes

** Aufgrund von Querschnittsveränderungen sind die Abflusswerte am Pegel Augsburg u. d. W unsicher.

Abflussganglinien Lech Hochwasser August 2005

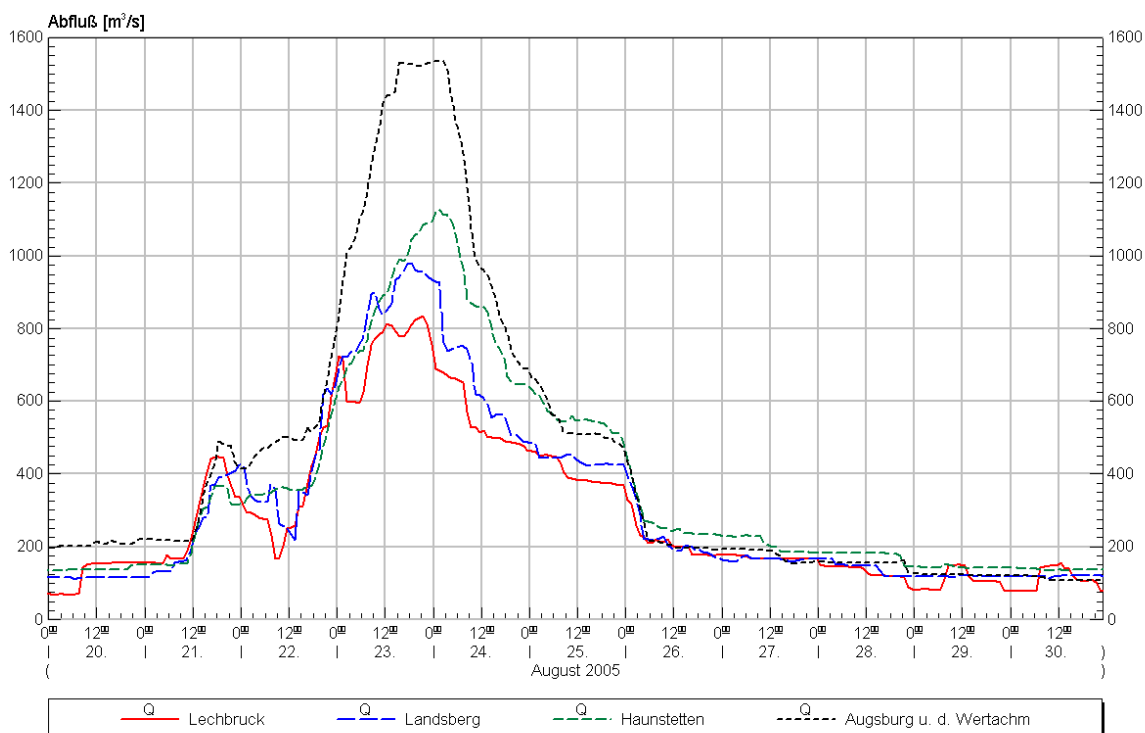


Abbildung 4-5: Abflussganglinien vom 20.8.2005 bis 30.8.2005 am Lech (Aufgrund von Querschnittsveränderungen sind die Abfluss- Scheitelwerte am Pegel Augsburg u. d. Wertachm. mit Unsicherheiten behaftet.)

Am Lech trat auf österreichischer Seite, in Vorarlberg und Tirol ein extremes Hochwasser auf. Am Pegel Lechaschau (Flusskilometer 173,4) erreichte das Hochwasser ähnliche Dimensionen wie an Pfingsten 1999 und wird in diesem Flussabschnitt als ein über 100-jährliches Ereignis eingestuft. [3]

Auf deutscher Seite ist das Abflussgeschehen am Lech stark durch die Steuerung des Forggensees (Siehe Kapitel 4.3.3.1) und durch die weitere Kette an Staustufen beeinflusst.

Unterhalb des Forggensees traten noch Abflussspitzen mit Jährlichkeiten von 20 – 50 Jahren, am Pegel Haunstetten von 50 – 100 Jahren auf. Die Scheitelwerte liegen etwas niedriger als beim Hochwasser an Pfingsten 1999.

Die Zacken in der Abflussganglinie gehen auf die Steuerung des Forggensees und den weiteren Staustufen zurück. Wellenlaufzeiten sind dadurch schwierig zu bestimmen. Der zeitliche Unterschied zwischen dem maximalen Abfluss am Pegel Lechbruck und am Pegel Haunstetten beträgt, wie auch beim Hochwasser an Pfingsten 1999, vier Stunden. Die Abflüsse am Pegel Augsburg u. d. Wertachm. sind aufgrund von Veränderungen im Querprofil mit großen Unsicherheiten behaftet, die in der Grafik gezeigte Ganglinie sind Anhaltswerte. Die Differenz der Abflüsse am Pegel Haunstetten und am Pegel Augsburg u. d. Wertachm. zeigt den Anteil der Zuflüsse aus der Wertach.

4.3.3.1 Speichersteuerung Forggensee

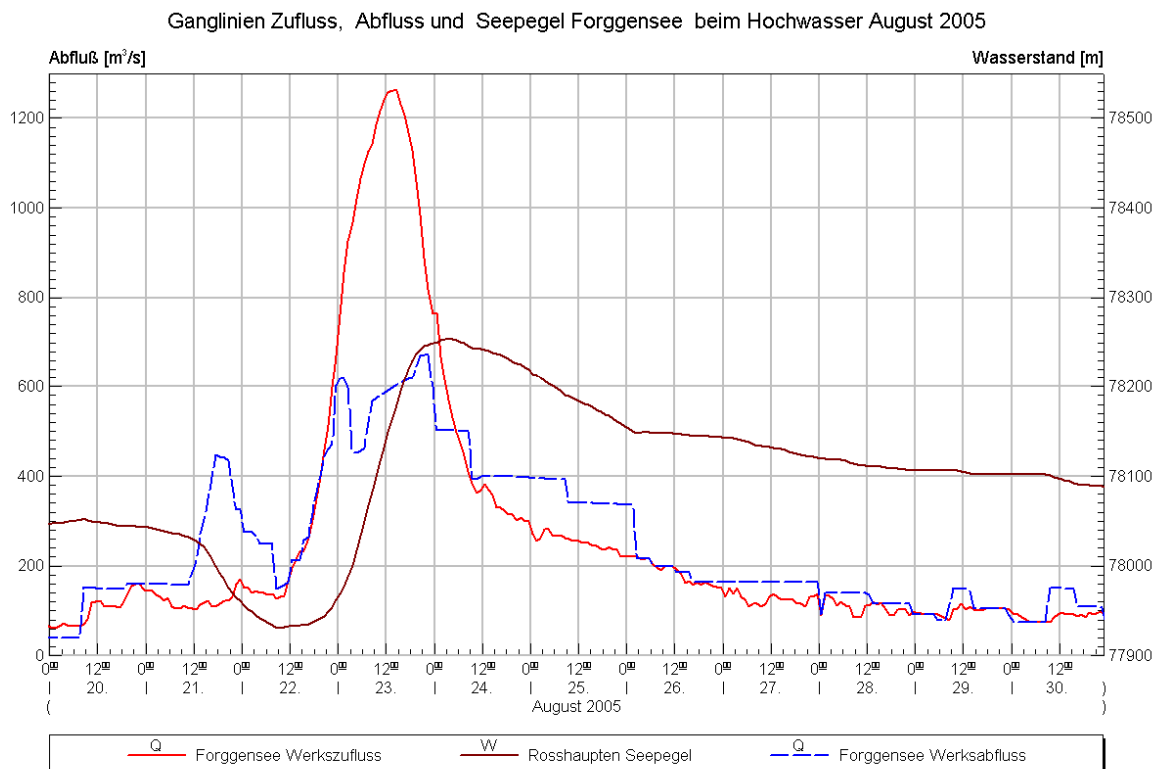


Abbildung 4-6: Abflussganglinien vom 20.8.2005 bis 30.8.2005 am Werkszufluss und Werksabfluss des Forggensees mit der Wasserstandganglinie am Seepiegel Rosshaupten (Rohdaten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes)

Abbildung 4-6 zeigt die Ganglinie der Zu- und Abflüsse aus dem Forggensee zusammen mit der Wasserstandsganglinie des Sees.

Durch die Vorabsenkung am 21. und 22. August konnte der Rückhalteraum im Forggensee vergrößert werden, der minimale Wasserspiegel am 22.8.2005 beträgt 779,3 Meter über Normalnull (müNN). In Folge des Rückhalts im See steigt der Wasserspiegel schnell an und erreicht am 24.08.2005 einen Höchstwert vom 782,5 müNN.

Der Rückhalt im Forggensee wurde, vor allem wegen der im August 2005 im Bau befindlichen Autobahnbrücke bei Gersthofen, so gesteuert, dass die Abflüsse am Lech unterhalb der Wertachmündung nach Möglichkeit unterhalb der kritischen Marke von 1500 m³/s blieben. Nach dem Rückgang der Zuflüsse wurde der See nur langsam abgelassen um die Inspektionen an der Brücke zu ermöglichen.[1] Insgesamt wurde ein Volumen von 45 Mio. m³ im See zurückgehalten, was in der Grafik der Fläche zwischen der Ganglinie des Zuflusses (rot) und des Abflusses (blau) vom 22.-24.8.2005 entspricht. Der Scheitel der Welle konnte von 1260 m³/s auf 670 m³/s reduziert werden, was die Hochwassersituation am gesamten Flusslauf unterhalb deutlich entschärfte.

4.3.4 Wertach

An der Wertach sind die Abflüsse durch die Stauhaltung im Grüntensee beeinflusst. Insgesamt werden die Hochwasserabflüsse aber deutlich weniger durch Steuerungen und Stauhaltungen verändert als am Lech.

Am Oberlauf der Wertach und ihren Zuflüssen traten 50 bis 100 jährliche, am Unterlauf 20 bis 50 jährliche Abflussmaxima auf. Die Werte blieben damit, vor allem am Unterlauf, deutlich unter den Werten die beim Hochwasser an Pfingsten 1999 gemessenen wurden.

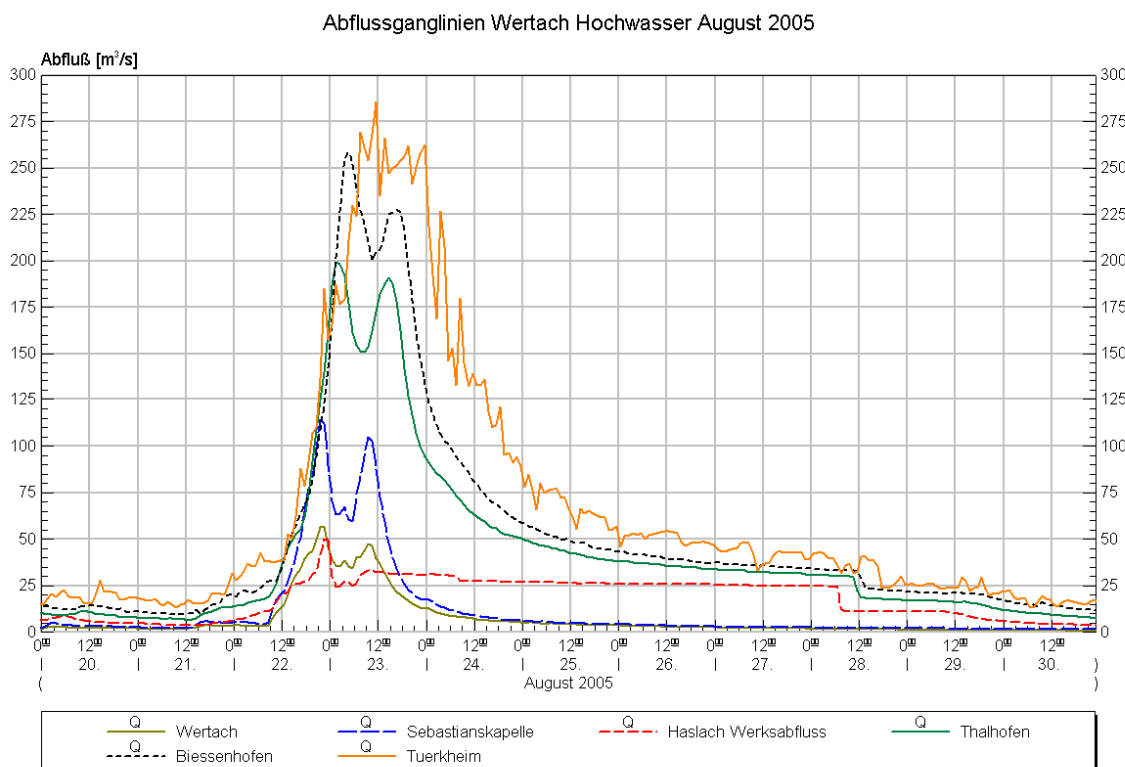


Abbildung 4-7: Abflussganglinien vom 20.8.2005 bis 30.8.2005 an der Wertach

Die zweigipflige Welle der Ganglinie am Pegel Sebastianskapelle geht auf den zeitlichen Ablauf des Niederschlags, mit Maxima der Niederschlagsintensität am Nachmittag des 22.8. und am Morgen des 23.8.2006 zurück. Im Grüntensee wurde die Hochwasserwelle zwar gedämpft, wie am Pegel Haslach Werksabfluss zu sehen, bis Thalhofen hat sich durch den Zufluss aus dem Zwischeneinzugsgebiet mit Waldbach und Lobach wieder eine Hochwasserwelle herausgebildet. Die Laufzeit der Welle vom Pegel Thalhofen bis Türkheim beträgt etwa 10 Stunden, beim Hochwasser an Pfingsten 1999 waren es etwa 12 Stunden.

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstan d (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlich keit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlich keit Qmax
			m ³ /s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Wertach	Wertach	131,1	55	230	22.08.05 22:00	50 -100	63	>100
Wertach	Sebastianskapelle	128,0	115	237	22.08.05 21:00	50 -100	143	>100
Wertach	Haslach Werksabfluss	123,0	50	206	22.08.05 22:00	20 - 50	111	>100
Wertach	Thalhofen	91,6	200	243	23.08.05 01:00	50 -100	262	>100
Wertach	Biessenhofen	80,0	260	345	23.08.05 04:00	50 -100	288	>100
Wertach	Türkheim	45,4	285	307	23.08.05 11:00	20 - 50	388	>100
Wertach	Augsburg Oberhausen	3,0		440	24.08.05 02:00			

Tabelle 4-4: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Iller beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

4.3.5 Loisach

Am Oberlauf der Loisach gab es ein extremes Hochwasser mit Hochwasserabflüssen der Jährlichkeiten von 50 - 100 Jahren am Pegel Garmisch o. d. Partnach. Am Pegel Eschenlohe wurden im Scheitel der Hochwasserwelle Abflüsse mit Jährlichkeiten im Bereich von bis zu 1000 Jahren registriert, die sogar deutlich über den bisher höchsten Abflusswerten, gemessen beim Hochwasser an Pfingsten 1999, lagen. In diesem Abschnitt gab es beträchtliche Schäden [4]. Auch an den Pegeln unterhalb des Kochelsees wurden Abflüsse mit Wiederkehrintervallen von 50 – 100 Jahren gemessen

Die Abflussganglinien in Abbildung 4-8 zeigen einen sehr schnellen Anstieg der Abflüsse am Pegel Eschenlohe: Innerhalb von 12 h stieg der Abfluss von 100 m³/s auf ca. 450 m³/s an. Durch den Rückhalt im Kochelsee wurde die Abflussganglinie am Pegel Kochel stark abgeflacht. Die Zuflüsse unterhalb des Kochelsees bildeten am Pegel Beuerberg, (in der Abbildung 4-8 wurden für die Darstellung die Abflüsse aus dem Loisach- Isar- Kanal hinzugerechnet) eine erste Welle vor der zweiten Welle der Abflüsse aus dem Kochelsee.

An den Pegeln am Oberlauf, Garmisch o. d. Partnach, Eschenlohe und Partenkirchen an der Partnach trat der Scheitel der Hochwasserwelle fast gleichzeitig ein. Vom Pegel Eschenlohe bis Kochel hatte die Welle eine Laufzeit von ca. 27 Stunden, beim Pfingsthochwasser 1999 waren es 23 Stunden.

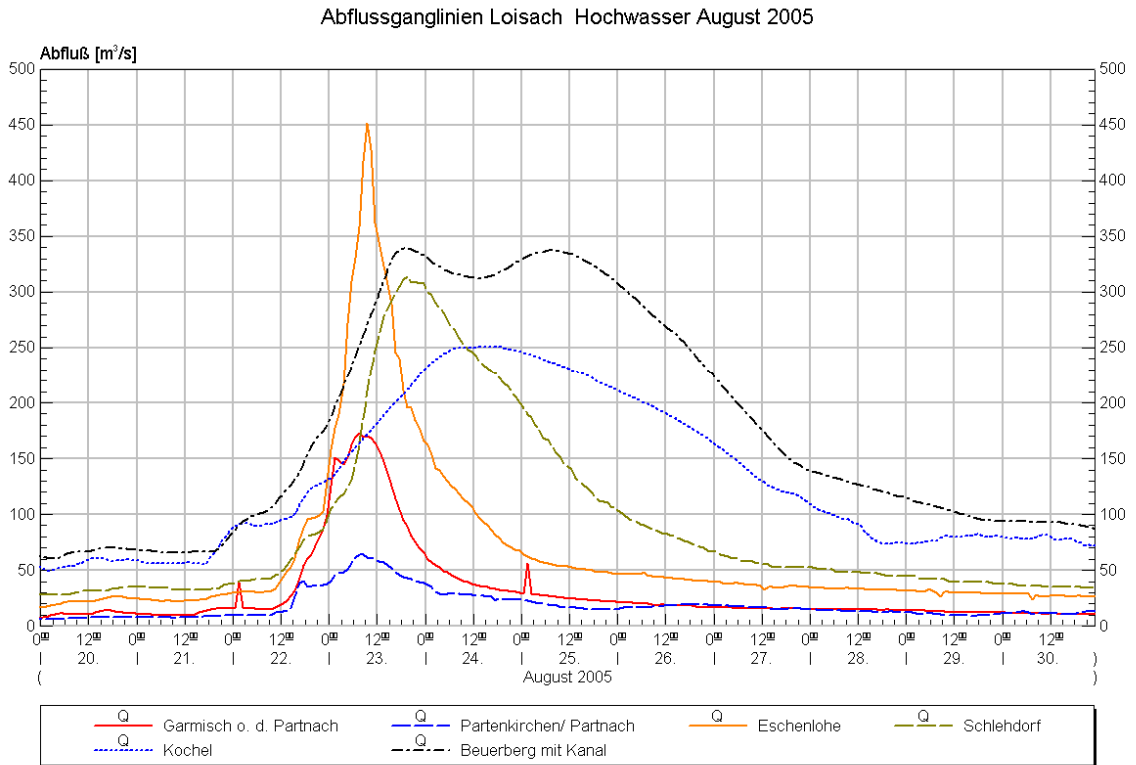


Abbildung 4-8: Abflussganglinien an der Loisach und am Pegel Partenkirchen Partnach vom 20.8.2005 bis 30.8.



Abbildung 4-9: Deichüberflutung in Eschenlohe an der Loisach am 24.8.2005. Quelle: WWA Weilheim

Fluss	Pegel	Fluss-km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstand (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlichkeit Qmax
			m ³ /s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Loisach	Garmisch o. d. Partnach	88,5	175	281	23.08.05 07:00	50 -100	180	50 -100
Partnach	Partenkirchen	3,3	65	206	23.08.05 08:00	10 - 20	55	10 - 20
Loisach	Eschenlohe	71,0	450	417	23.08.05 09:00	> 100	300	50 -100
Loisach	Schlehdorf	51,9	315	467	23.08.05 19:00	20 - 50	360	>100
Loisach	Kochel *	45,1	250	455	24.08.05 11:00	50 -100	244	20 - 50
Loisach	Beuerberg **	16,0	310	563	23.08.05 19:00	50 -100	318	50 -100

Tabelle 4-5: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Iller beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

* Daten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes

** Abflussangaben ohne die Abflüsse aus dem Kanal von ca. 30m³/s im August 2005 bzw. ca. 25 m³/s beim Hochwasser Pfingsten 1999

4.3.6 Ammer/ Amper

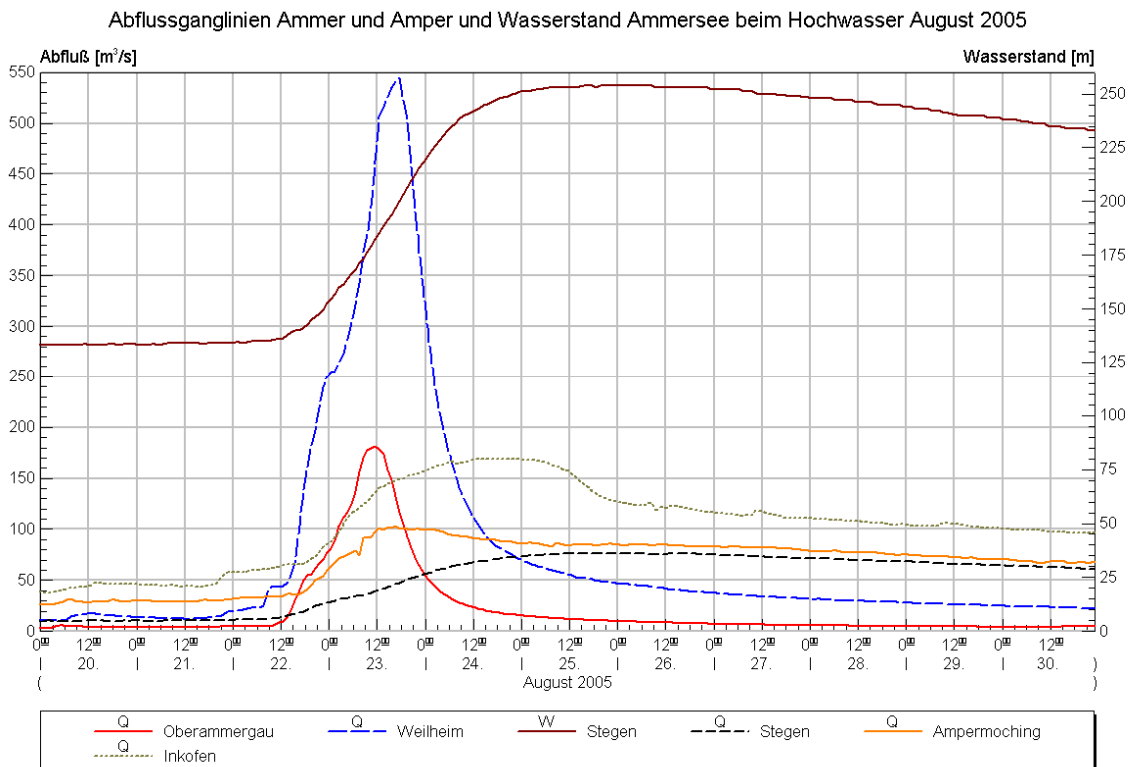


Abbildung 4-10: Abflussganglinien an Ammer und Amper mit dem Wasserstand am Ammersee vom 20.8.2005 bis 30.8

Die Abflüsse an der Ammer und der Amper zeigen den großen Rückhalt durch natürliche Seen. An der Ammer traten Abflüsse von etwas über den 100 jährlichen Werten auf, an der Amper gab es

demgegenüber Scheitelabflüsse mit einer Jährlichkeit von nur noch 2- 10 Jahren.

Aus den in der Abbildung 4-10 dargestellten Abflussganglinien wird der steile Anstieg am Pegel Weilheim auf den Scheitelwert von 545 m³/s erkennbar. Der Wasserstand des Ammersees stieg im Zeitraum 25. 8. 16.00 bis 26.08. 8.00 Uhr um 1,35 m auf einen Maximalwert von 254 cm. Unterhalb an der Ammer zeigt die Ganglinie am Pegel Stegen eine stark gedämpfte und lang gestreckte Welle mit einem maximalen Abfluss von noch 76 m³/s. Durch die Zuflüsse aus dem Zwischengebiet trat der Scheitel an den Pegeln Ampermoching und Inkofen früher ein als am Pegel Stegen.

Auch an der Würm gab es durch den Rückhalt im Starnberger See eine lang gezogene Welle. Wegen des deutlich kleineren Einzugsgebietes stieg der Starnberger See allerdings vom 22. bis zum 24. August nur um etwa 25 cm.

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstan- d (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlich- keit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlich- keit Qmax
			m³/s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m³/s	Jahre
Ammer	Oberammergau	180,8	180	316	23.08.05 11:00	>100	168	>100
Ammer	Peissenberg	142,3	315	364	23.08.05 13:00	>100	359	>100
Ach	Oberhausen	2,6	45	200	23.08.05 08:00	20 - 50	46	20 - 50
Ammer	Weilheim	128,3	545	477	23.08.05 17:00	>100	648	>100
Amper	Stegen	105,6	75	233	26.08.05 00:00		148	
Amper	Grafrath	99,2	80	243	26.08.05 15:00	5 - 10	166	>100
Amper	Fürstenfeldbr.	86,2	75	156	27.08.05 01:00	2 - 5	161	>100
Würm	Leutstetten*	35,2	10	160	23.08.05 23:00		13	
Würm	Obermenzing	14,6	5	81	23.08.05 13:00		7,6	
Amper	Ampermoching	59,4	105	333	23.08.05 14:00	2 - 5	171	50 -100
Glonn	Hohenkammer	6,4	45	258	24.08.05 12:00	2 - 5	39	< 2
Amper	Inkofen	11,9	170	273	24.08.05 17:00	2 - 5	199	10 - 20

Tabelle 4-6: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Ammer und Amper beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

* Daten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes

4.3.7 Isar

Die Isar war auf der gesamten Flusslänge sehr stark vom Hochwasser betroffen. Durch den Sylvenstein- Stausee konnten die Scheitelabflüsse unterhalb zwar deutlich reduziert werden, (siehe auch Kapitel 4.3.7.1) durch Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet unterhalb des Sylvensteinspeichers, vor allem aus der Loisach, blieb die Hochwassersituation in diesem Bereich aber angespannt.

Oberhalb des Sylvensteinspeichers wurden Abflüsse von etwas über den 100 jährlichen Werten gemessen, etwas höher als beim Hochwasser an Pfingsten 1999. Die Jährlichkeits- Werte an den Pegeln unterhalb beziehen sich auf die Zeitreihe nach Bau des Sylvensteinspeichers. Am Pegel Lenggries wurden Abflüsse mit über 100 jährlichen Wiederkehrintervallen gemessen, an den Pegeln Bad Tölz Kraftwerk, München und Freising mit Jährlichkeiten von 50 – 100 Jahren, am Unterlauf von 20 – 50 Jahren. Hier lagen die Abflussspitzen auch etwas unterhalb der beim Hochwasser an Pfingsten gemessenen Werte.

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstand (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlichkeit Qmax
			m³/s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m³/s	Jahre
Isar	Mittenwald	257,5	190	319	23.08.05 10:00	>100	160	50 -100
	Sylvensteinsee Seepegel*	224,9	-	76424	24.08.05 01:00			
Isar	Sylvensteinsee Zufluss*	225,0	1030	-	23.08.05 13:00	>100		
Isar	Sylvensteinsee Abfluss*	225,3	350	-	23.08.05 16:00 bis 24.8.05 22:00	50 -100		
Isar	Sylvenstein	223,9	345	452	23.08.05 16:00		351	
Isar	Lenggries	210,9	595	420	23.08.05 18:00	>100	446	20 - 50
Isar	Bad Tölz Kraftwerk	198,9	575	451	23.08.05 18:00	50 -100	481	20 - 50
Isar	München	145,9	1040	538	24.08.05 05:00	50 -100	828	20 - 50
Isar	Freising	113,7	855	452	24.08.05 14:00	50 -100	644	20 - 50
Isar	Landau	29,0	1040	461	25.08.05 11:00	20 - 50	1129	50 -100
Isar	Plattling	9,1	985	373	25.08.05 11:00	20 - 50	1139	50 -100

Tabelle 4-7: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Isar beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

* Daten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes

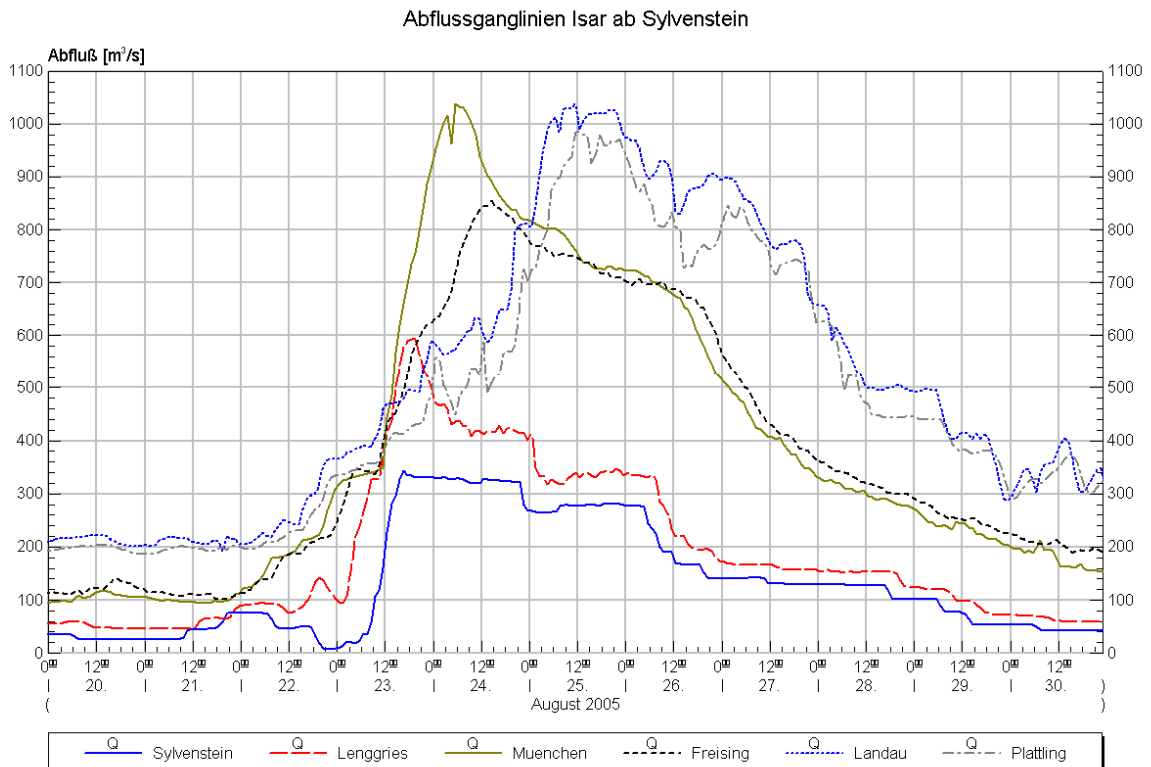


Abbildung 4-11: Abflussganglinien Isar unterhalb des Sylvensteinspeichers.

Der dargestellte Abflussverlauf am Pegel Sylvenstein in Abbildung 4-11 entspricht größtenteils dem Abfluss aus dem Sylvensteinspeichers von bis zu 350 m³/s. (Ganglinien oberhalb des Sylvensteinspeichers sind im Kapitel 4.3.7.1 dargestellt.) Am Pegel Lenggries kommt es zu einer Abflussspitze mit einem Scheitelabfluss von 594 m³/s. Bis zum Pegel München steigt der maximale Abfluss auf einen Wert von ca. 1040 m³/s. Zu diesem Wert steuert allein die Loisach etwa 340 m³/s bei.

Im Kapitel 4.3.7.2 werden die Prozesse beschrieben, die bei der Verringerung des Scheitelabflusses zwischen München und Freising eine Rolle spielen. Unterhalb von Freising werden die Abflüsse vor allem durch Einmündung der Amper erhöht.

Die Laufzeiten der Welle zwischen Lenggries und München betragen ca. 13 Stunden, beim Hochwasser an Pfingsten 1999 wurden die Scheitel etwa zur gleichen Zeit gemessen. Zwischen dem Eintreffen des Scheitels in München und in Plattling lagen beim Hochwasser August 2005 30 Stunden, beim Hochwasser an Pfingsten 1999 sogar 53 Stunden.

4.3.7.1 Speichersteuerung Sylvenstein- Stausee

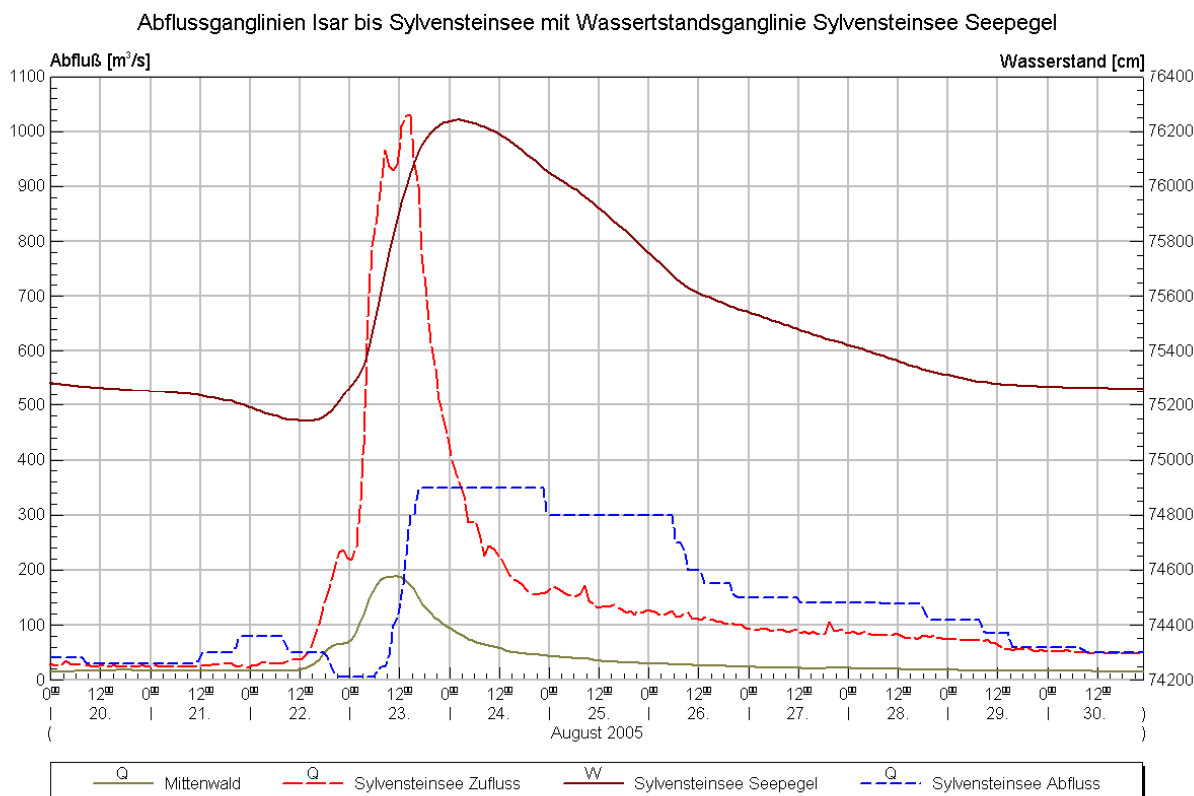


Abbildung 4-12: Abflussganglinien Isar bis Sylvensteinspeicher

In der Abbildung 4-12 ist der Wasserstand des Sylvenstein- Stausees und die Abflussganglinien am Zufluss und Abfluss des Stausees sowie am Pegel Mittenwald dargestellt. Die Zuflussganglinie zeigt einen sehr schnellen Anstieg um fast 1000 m³/s in 24 Stunden. Der Abfluss aus dem Sylvenstein beträgt bis zu 350 m³/s vom 23.8. ca.16.00 bis 24.8. ca. 22.00 Uhr.

Durch die Vorentlastung sank der Wasserstand zunächst auf einen Wert von 751,4 müNN am Mittag des 22.8.2005. Im Laufe des Hochwassers wurde danach ein Volumen von insgesamt 52 Mio. m³

zurückgehalten, zu erkennen in der Differenz zwischen Zu- und Abfluss des Sylvensteinspeichers. Der Wasserstand im Stausee stieg dabei innerhalb von 36 Stunden wieder um fast 13 Meter auf bis zu 764,2 müNN in der Nacht zum 24.8.05 an. Beim Hochwasser an Pfingsten 1999 wurde ein Höchststand von 762,9 müNN erreicht.



Abbildung 4-13: Große Abflussmengen am Isarkraftwerk Bad Tölz am 24.8.2005. Quelle: WWA Weilheim

4.3.7.2 Wellenablauf zwischen München und Freising

Die Abbildung 4-14 zeigt den Vergleich der Abflussganglinien am Pegel München/Isar und Freising/Isar: In blau ist die gemessene Ganglinie dargestellt, in grau die - auf Basis der gemessenen Abflüsse in München und weiterer Zuflüsse aus dem Zwischengebiet - simulierte Ganglinie.

Bis zu einem Abfluss von etwa 650 m³/s stimmt die simulierte (grau) mit der gemessenen Ganglinie (blau) gut überein, d.h. der Wellenablauf mit einer Laufzeit von ca. 6 Stunden ist plausibel und kann mit dem Modell gut nachgebildet werden. Im Spitzenbereich wird am Pegel Freising deutlich weniger Abfluss gemessen als am Pegel München und die Hochwasserwelle hat ein deutlich geringeres Gesamtvolumen. Die gemessenen Werte ergeben 14,5 Mio. m³ weniger Gesamtvolumen als die simulierten Werte (Zeitraum 23.8. 21.00 bis zum 25.8. 21:00 Uhr). Auch im Vergleich mit der gemessenen Ganglinie am Pegel München (Zeitraum vom 23.8. 15.00 bis zum 25.8. 15:00 Uhr) „fehlen“ am Pegel Freising noch 9 Mio. m³.

Der Mittlere Isar Kanal (MIK), durch den im Normalfall etwa 150 m³/s fließen, war zur Zeit des Hochwassers geschlossen. Als Ursache für die Verringerung des Scheitelabflusses zwischen München und Freising werden u. a. Versickerungen in den in diesem Bereich mächtigen Schotterkörper vermutet, der durch einen relativ niedrigen Grundwasserstand (Siehe Kapitel 6.2.4) deutlich verstärkt wurde. Beim Hochwasser an Pfingsten 1999 trat, bei hohen Grundwasserständen, der Effekt der Scheitelreduzierung in diesem Bereich nicht bzw. nur in geringem Ausmaß auf.

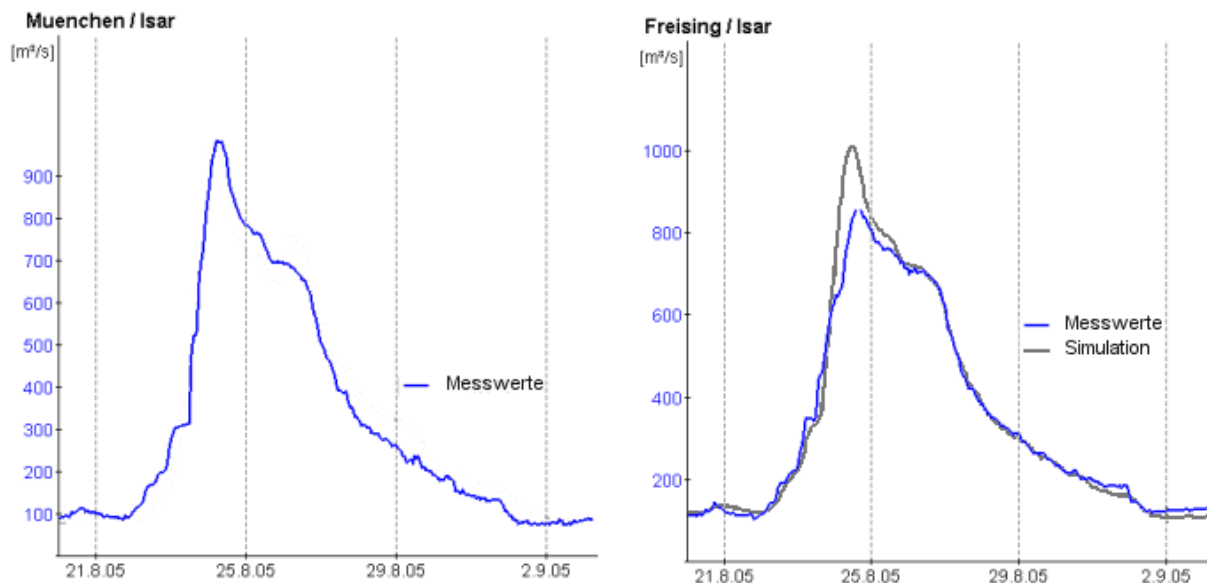


Abbildung 4-14: Gemessene (blau) und aus den Abflüssen am Pegel München simulierte Ganglinie (grau) am Pegel Freising /Isar

4.3.8 Mangfall

Am Pegel Schmerold am Oberlauf der Mangfall führte die Hochwasserwelle im August 2005 Scheitelabflüsse mit einem Wiederkehrintervall von 50- 100 Jahren, an den weiter flussabwärts gelegenen Pegeln waren es Abflüsse mit einer Jährlichkeit von 20 – 50 Jahren. Die maximalen Abflüsse blieben unter den beim Hochwasser an Pfingsten 1999 gemessenen Werten. Das relativ kleine Einzugsgebiet reagierte auf die am 22. und 23. 8. gefallenen Niederschläge mit steil ansteigenden und rasch wieder sinkenden Abflüssen. Der Scheitel wurde am Nachmittag bis Abend des 23. 08.2005 erreicht. Am Pegel Rosenheim wurde der Scheitelwert der Welle bereits ca. 4 Stunden nach dem Wellenscheitel am Pegel Valley erreicht.

Bereits am 16. und 17.8. gab es in diesem Gebiet ein kleineres Hochwasser, so dass die Abflüsse aus dem Interflow- und Basisabflussspeicher vor dem Wiederanstieg am 22.8. ähnlich wie beim Hochwasser an Pfingsten 1999 noch erhöht waren.

Fluss	Pegel	Fluss-km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstand (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlichkeit Qmax
			m³/s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m³/s	Jahre
Mangfall	Schmerold	53.3	105	316		50 -100	110	50 -100
Mangfall	Valley	35.9	140	289	23.08.05 15:00	20 - 50	124	20 - 50
Mangfall	Feldolling	25.0	245	297	23.08.05 16:00	20 - 50	253	20 - 50
Mangfall	Rosenheim	1.9	350	381	23.08.05 19:00	20 - 50	383	20 - 50

Tabelle 4-8: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Mangfall beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

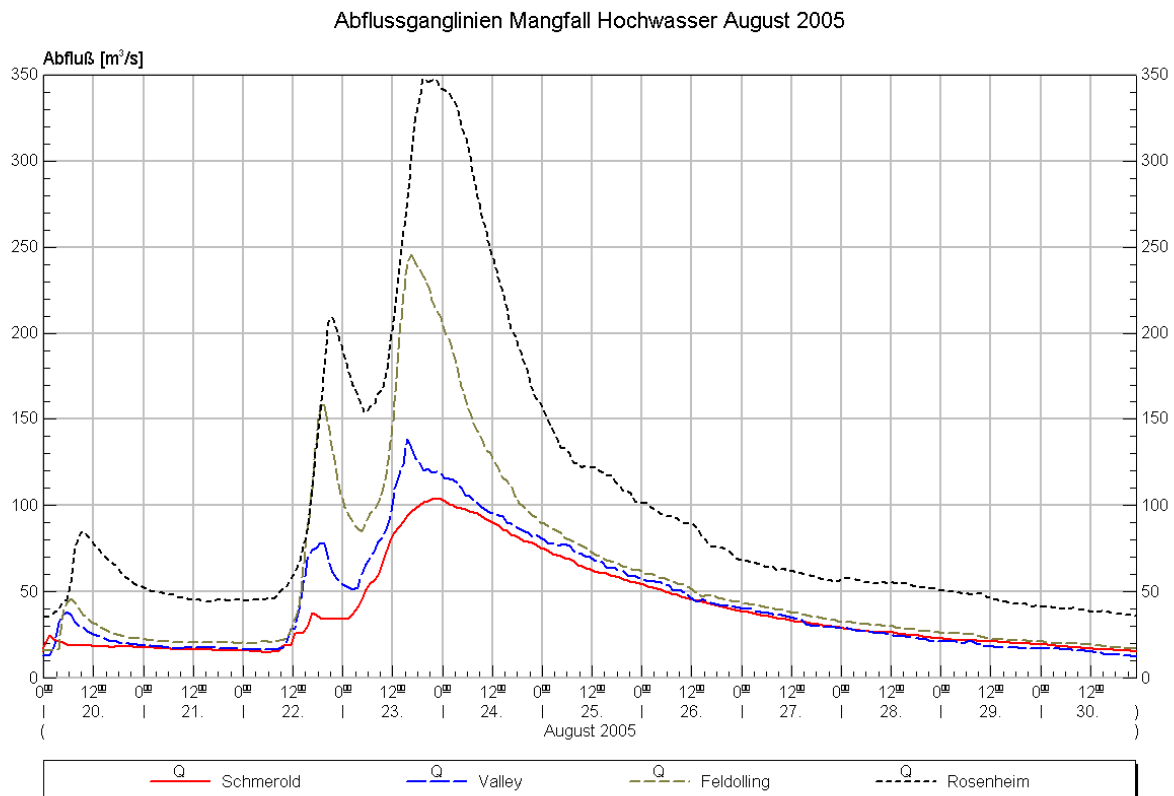


Abbildung 4-15: Abflussganglinien Mangfall vom 20.8.2005 bis 30.8

4.3.9 Inn

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Qmax)	Max. Wasserstand (Wmax)	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Qmax	Max. Abfluss (Qmax)	Jährlichkeit Qmax
			m ³ /s	cm	Datum / Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Inn	Oberaudorf	211,0	Ca.2500	533	23.08.05 20:00	>100	1770	10 - 20
Inn	Rosenheim oberhalb der Mangfallm.	185,5		538	23.08.05 20:00	>100	1978	20 - 50
Inn	Wasserburg	158,7	2940	717	23.08.05 23:00	>100	2281	20 - 50
Inn	Kraiburg	122,4	2710	790	24.08.05 06:00		2022	
Inn	Mühldorf	104,0	2555	798	24.08.05 08:00		1980	
Salz- zach	Burghausen	11,4	1335	476	24.08.05 08:00	< 2	1222	< 2
Inn	Braunau Sim- bach Kraftw. *	61,1	4120	-	24.08.05 13:00			
Inn	Schärding Kraftwerk *	18,8	4140	-	24.08.05 14:00			
Inn	Passau Ingling	3,1	4050	796	24.08.05 16:00	5 - 10	3475	2 - 5

Tabelle 4-9: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle am Inn beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999

* Abflussdaten der Kraftwerke aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes

Der Inn hatte sowohl auf Tiroler als auch auf bayerischem Gebiet bis zur Salzachmündung ein extremes Hochwasser mit Wasserständen, die an einigen Pegeln noch nie gemessen wurden.

In Tirol trat durch die Zuflüsse aus der Sanna ein sehr großes Hochwasser mit Abflüssen von deutlich über den 100-jährlichen Werten auf. Vielfach, z.B. in Innsbruck, wurden die höchsten Abflüsse seit Beobachtungsbeginn gemessen, von Landeck bis Kufstein gab es erhebliche Überschwemmungen [3].

In Deutschland wurde am Pegel Oberaudorf mit einem Scheitelabfluss von ca. 2500 m³/s der Wert für das 100-jährliche Hochwasser von 2250 m³/s deutlich überschritten. Durch den hohen Ausbaugrad des Gewässers in diesem Bereich traten dabei jedoch nur Überschwemmungen der Meldestufe 1 auf (Siehe Abbildung 4-1). In diesem Bereich sind allerdings nur Überschwemmungen der Meldestufe 1 (ab 250 cm: Kleinere Ausuferungen innerhalb der Deiche) oder der Meldestufe 4 (ab 670 cm: Bei Überströmen der Deiche bzw. Einsatz der Dammwehr) möglich.

Auch an den Pegeln Rosenheim und Wasserburg wurden Abflüsse mit einem Wiederkehrintervall von etwas über 100 Jahren gemessen. Durch den Inn-Kanal flossen im August 2005 etwa 340 m³/s, die am Pegel Kraiburg und Mühldorf nicht mit erfasst wurden. Am Pegel Mühldorf traten wegen des hohen Ausbaus des Gewässers nur Überschwemmungen der Meldestufe 1 (400 cm) auf. Weitere Meldestufen gibt es für diesen Pegel nicht, die nächste Hochwassermarken, die der Ausuferung am Linken Ufer der Pegelstelle entspricht, liegt bei 870 cm und wurde nicht erreicht.

Die Salzach trägt einen großen Teil zum Abfluss am Inn bei (siehe auch Abbildung 4-16). An der Salzach gab es bereits am 16. bis 17.8.2005 ein kleineres bis mittleres Hochwasser dessen Scheitel höher war als am 24.8., als die Salzach nur ein kleineres Hochwasser mit Jährlichkeiten von ca. 1 Jahr führte. Auch an der Alz mit den Zuflüssen Tiroler Achen und Traun wurden im Zeitraum vom 22. bis zum 28.8.2005 nur Abflüsse mit Jährlichkeiten von unter 2 Jahren gemessen.

Dadurch wurde die Hochwassersituation am Inn unterhalb der Salzachmündung wesentlich entschärft. Für diesen oberösterreichischen Teil des Inn wird eine Jährlichkeit von 10 –30 Jahren angegeben [3]. In Passau Ingling wurde ein Abfluss-Scheitelwert von 4050 m³/s beobachtet, der einem Wiederkehrintervall von 5 –10 Jahren entspricht.

Die maximalen Abflusswerte der Hochwasserwelle aus den Daten der Kraftwerken Braunau-Simbach und Schärding sind Rohdaten und als Anhaltswerte zu verstehen. Unterschiede bei den Maximalwerten der Abflüsse zu denen am Pegel Passau Ingling ergeben sich auch aus den unterschiedlichen Messmethoden: An den Kraftwerken werden die Abflüsse direkt gemessen, an den Pegeln des LfU wird (mit wenigen Ausnahmen) der Wasserstand kontinuierlich gemessen und die mit einer Wasserstands- Abflussbeziehung in Abflüsse umgerechnet. Bei höheren Abflüssen können bei beiden Methoden auch Fehler von etwa 10% auftreten.

Die Ganglinien der Inn-Welle in Abbildung 4-16 zeigen sowohl einen schnellen Anstieg als auch einen schnellen Rückgang der Abflüsse. Die Kraftwerke können im Hochwasserfall aufgrund des vergleichsweise geringen Speichervolumens wenig Abfluss zurückhalten und haben somit bei großen Hochwasser-Ereignissen nur geringen Einfluss. Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden zu den am Pegel Mühldorf gemessenen Abflüssen in der Abbildung 4-16 die Abflüsse des Inn-Kanals addiert, die am Pegel Mühldorf vorbei geleitet werden.

Von Oberaudorf bis Mühldorf erhöht sich der Maximalabfluss am Inn um ca. 500 m³/s. Durch die Salzach, die zwar selber kein großes Hochwasser führte (siehe oben) deren Scheitel aber mit dem des Inn zeitlich zusammenfällt, wird der Scheitelabfluss um über 1000 m³/s erhöht.

Die Hochwasserwelle bewegt sich am Inn, aufgrund des Gefälles und evtl. auch der Steuerung der Kraftwerke relativ schnell, vom Pegel Oberaudorf bis Mühldorf war die Wellenlaufzeit beim Hochwasser im August 2005 nur 12 Stunden, von Mühldorf bis Passau Ingling 9 Stunden, so dass die Hochwasserwelle aus dem Inn vor der aus der Donau in Passau eintraf. (Siehe auch Kapitel 4.3.10) Beim Hochwasser an Pfingsten 1999 betrug die Wellenlaufzeit für diese Strecken 9 Stunden bzw. 15 Stunden.

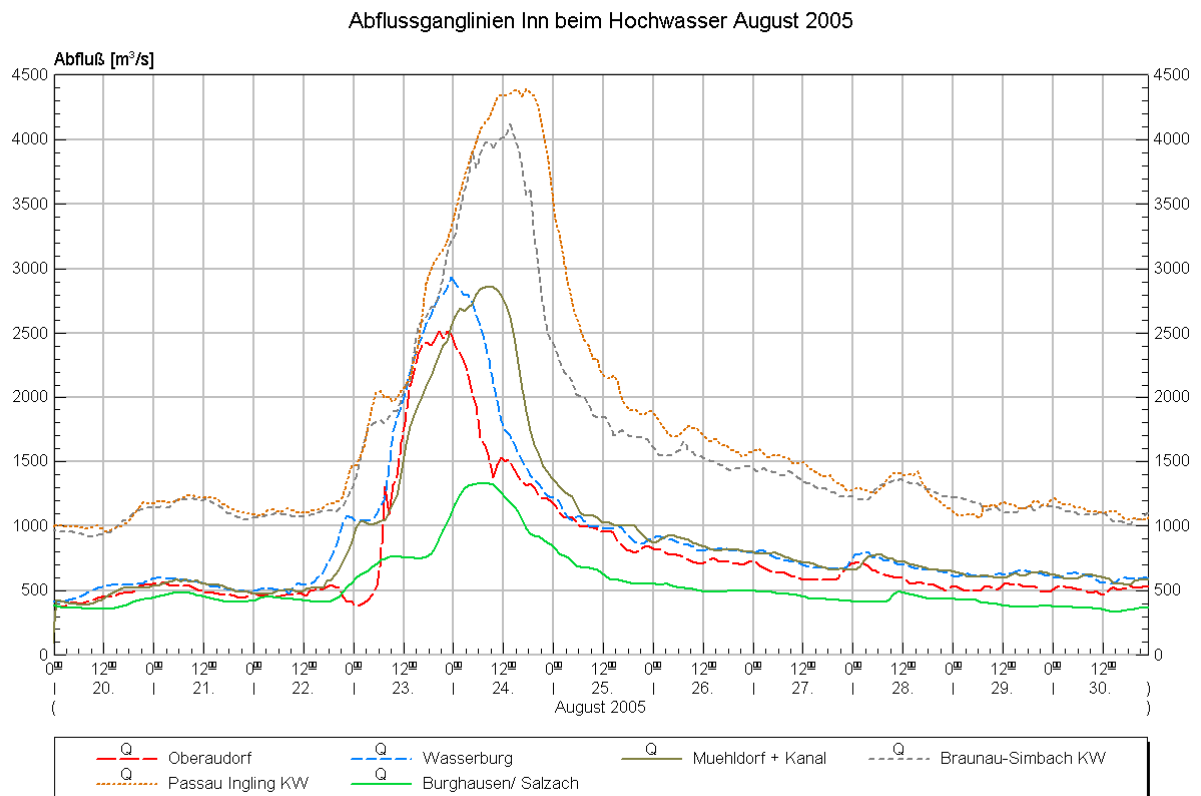


Abbildung 4-16: Abflussganglinien am Inn und am Pegel Burghausen/Salzach vom 20.8.2005 bis 30.8. Am Pegel Mühldorf wurden die Abflüsse für eine bessere Vergleichbarkeit im Kanal mit hinzugerechnet. Die Abflüsse am Pegel Braunau- Simbach Kraftwerk und Passau Ingling Kraftwerk sind Rohdaten aus der Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes.

4.3.9.1 Probleme bei Wasserstands- und Abflussmessungen

Durch die extrem hohen Abflüsse in Bereichen, wie sie bisher noch nicht oder nur wenige Male beobachtet wurden, traten auch besondere Probleme und/ oder Unsicherheiten bei den Wasserstandsmessungen und Abflussbestimmungen auf.

In der Abbildung 4-17 sind als Beispiel drei Wasserstands-Ganglinien am Inn dargestellt, wie sie als Rohdaten über das Online-Messnetz dem Hochwassernachrichtendienst während des Hochwassers übermittelt wurden. (Die Abflussdaten in der Tabelle 4-9 und der Abbildung 4-16 wurden im Nachhinein durch Abgleich mit den Abflüssen anderer Pegel und Auswertung zusätzlicher Information korrigiert oder nicht verwendet.)

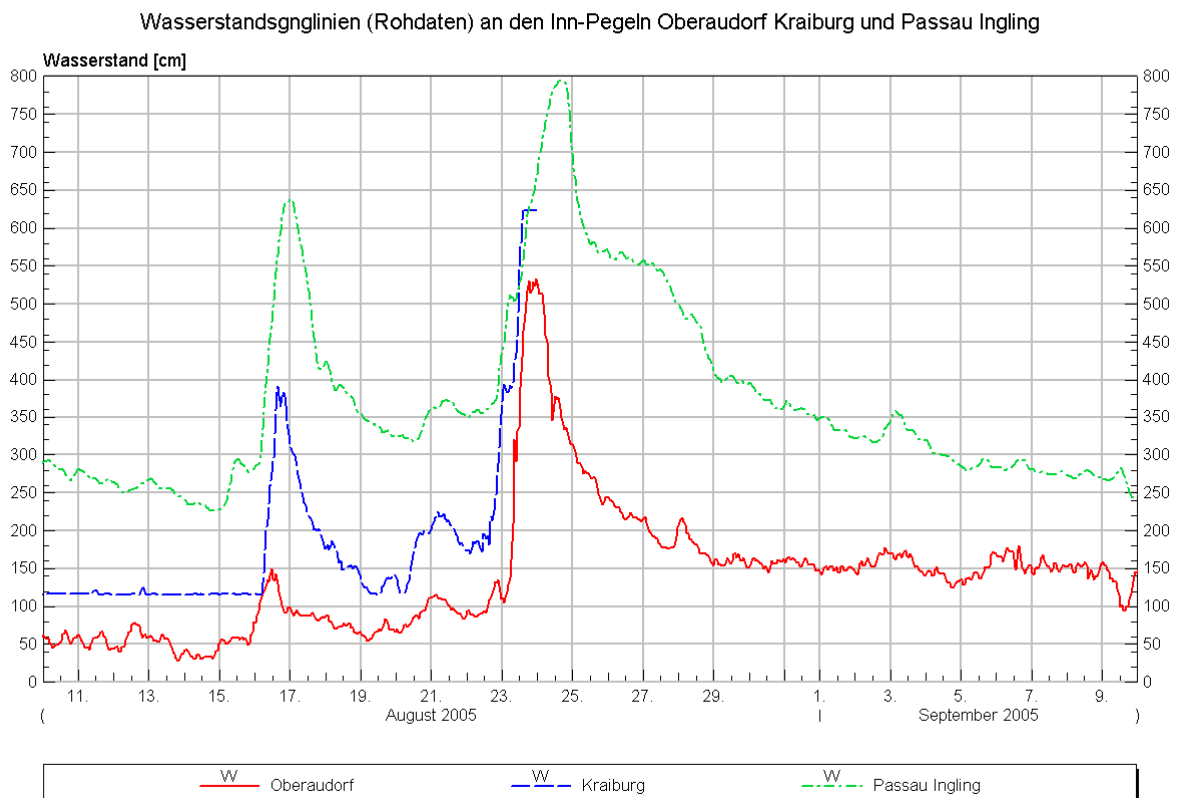


Abbildung 4-17: Rohdaten der Wasserstände der Pegel Oberaudorf – Kraiburg – Passau/Ingling wie sie während des Hochwassers vorlagen.

Beim Hochwasser machten sich vor allem folgende Fehler bemerkbar:

- Am Pegel Oberaudorf/ Inn stellt sich nach dem Hochwasser ein höherer Wasserstand ein als vorher: Durch Ausräumung und Auflandung von Lockermaterial kommt es zu Veränderungen des Sohlquerschnitts. Die Wasserstands- Abflussbeziehung, die bisher zur Ermittlung der Abflüsse verwendet wurde, ist nach und eventuell auch während des Hochwassers nicht mehr gültig. Der Pegel Oberaudorf besitzt außerdem eine zweite Messeinrichtung mit Drucksonde die aufgrund von Aufkiesung zur Zeit des Wellenscheitels einen um etwa 1,5 m höheren „Wasserstand“ meldete als die hier abgebildete Ganglinie der ersten Messeinrichtung.
- Die Ganglinie am Pegel Kraiburg/ Inn, wo die zweithöchsten bisher gemessenen Wasserstände auftraten, zeigt, dass der Messbereich des Pegels nicht ausreichte um die extremen Wasserstände zu erfassen. Kurze Zeit später fiel der Pegel aus.
- Der Pegel Passau Ingling am Inn ist noch etwa 3 km von der Mündung in die Donau entfernt, trotzdem wurde beim Hochwasser im August 2005 die Wasserstandsganglinie durch Rückstau von der Hochwasserwelle der Donau beeinflusst, die hier nicht mehr als eigene Welle sondern nur durch den langsameren Rückgang der Wasserstände vom 25. bis 28. 8 zu erkennen ist. Im staubeeinflussten Bereich können die Abflüsse nicht mehr über eine feste Wasserstands-Abflussbeziehung ermittelt werden.

Probleme bei der Abfluss- und Wasserstandsbestimmung traten gleichermaßen auch an den anderen vom extremen Hochwasser betroffenen Flüssen, wie der obere Bereich von Iller, Loisach und Isar auf. An mehreren Pegeln wurden die Effekte der Sohlveränderungen am Pegelquerschnitt durch Verlager-

ung von Lockermaterial im Flussbett festgestellt. An einigen Pegeln überschritten die Wasserstände den Gültigkeitsbereich der Wasserstands- Abflussbeziehung, was bedeutet, dass aktuelle Abflusswerte während des Hochwassers nicht verfügbar waren.

Insgesamt war jedoch die Ermittlung und Übertragung der Abflüsse beim Hochwasser im August 2005 dem Ausmaß des Hochwassers entsprechend gut. Auch kam es, durch die Verbesserungen im Pegelwesen nach den Erfahrungen beim Hochwasser an Pfingsten 1999, kaum zu Ausfällen.

4.3.10 Donau

An der Donau wird die Hochwassersituation zum großen Teil bestimmt aus der Überlagerung der Hochwasserwellen aus den Donauzuflüssen. Beim Hochwasser im August 2005 kamen die großen Abflussmengen vor allem von Iller, Lech, Isar und Inn, während die nördlichen Zubringer Altmühl, Naab und Regen kein Hochwasser hatten.

Wie anhand der Abflussganglinien in Abbildung 4-18 zu sehen führte die Donau oberhalb der Illermündung kein größeres Hochwasser, am Pegel Berg in Baden-Württemberg blieben die Abflüsse mit einem Scheitelwert von etwa 45 m³/s unterhalb der Marke für das 2 jährliche Hochwasser. Unterhalb der Einmündung Iller, die ein großes Hochwasser führte, gab es auch an der Donau im Bereich des Pegels Neu Ulm bis zum Pegel Kelheim Hochwasser mit Wiederkehrintervallen von 20 – 50 Jahren. Zwischen Donauwörth und Ingolstadt führten die Zuflüsse aus Zusam, Schmutter und vor allem des Lech zu einer Erhöhung des Abflusses. Demgegenüber fand zwischen Ingolstadt und Regensburg- Schwabelweis kaum eine Erhöhung des Abflusses statt.

Fluss	Pegel	Fluss- km	August 2005			Pfingsten 1999		
			Max. Abfluss (Q _{max})	Max. Wasserstand (W _{max})	Scheitelzeitpunkt (circa)	Jährlichkeit Q _{max}	Max. Abfluss (Q _{max})	Jährlichkeit Q _{max}
			m ³ /s	cm	Datum /Uhrzeit	Jahre	m ³ /s	Jahre
Donau	Neu Ulm Bad Held	2586,7	985	542	24.08.05 11:00	20 - 50	1019	20 - 50
Donau	Donauwörth	2508,1	950	532	25.08.05 03:00	5 - 10	1060	10 - 20
Donau	Ingolstadt	2458,3	1800	648	25.08.05 06:00	20 - 50	2270	>100
Donau	Kelheim	2414,8	1850	729	25.08.05 21:00	20 - 50	2138	50 - 100
Donau	Kelheimwinzer	2409,7	1920	646	25.08.05 22:00	-	2177	-
Donau	Oberndorf	2397,4	1860	664	26.08.05 01:00	10 - 20	2180	50 - 100
Donau	Schwabelweis	2376,5	1860	575	26.08.05 04:00	2 – 5	2280	10 - 20
Donau	Pfelling	2305,5	1880	770	26.08.05 16:00	2 – 5	2350	10 - 20
Donau	Hofkirchen	2256,9	2720	644	27.08.05 02:00	10 - 20	3300	20 - 50
Donau	Achleiten	2223,1	5560	662	24.08.05 15:00	5 - 10	5351	5 - 10

Tabelle 4-10: Abfluss, Wasserstand, Zeitpunkt und Jährlichkeiten des Scheitels der Hochwasserwelle an der Donau beim Hochwasser im August 2005 und im Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999. Beim Scheitelzeitpunkte an den Pegeln der unteren Donau handelt es sich wegen der langgezogenen Wellen um Näherungswerte.

Da die nördlichen Donauzuflüsse kein Hochwasser führten, wurde die Hochwassersituation an der Donau unterhalb Regensburg etwas entschärft, am Pegel Schwabelweis und Pfelling wurden noch Scheitelwerte mit einer Jährlichkeit von 2 – 5 Jahren gemessen. Mit Einmündung der vom Hochwasser stark betroffenen Isar verschärfte sich auch die Situation an der Donau wieder mit Hochwasser-Scheitelwerten am Pegel Hofkirchen von ca. 2720 m³/s mit einer Jährlichkeit von 10 – 20 Jahren.

Unterhalb der Inn-Mündung, am Pegel Achleiten, dominierte die Hochwasserwelle aus dem Inn, die zeitlich etwas vor der Welle der Donau eintraf, die Hochwasserspitze. Hier wurden maximale Abflüsse von 5560 m³/s beobachtet. Ähnlich wie am Unterlauf des Inn wurden hier noch Jährlichkeiten von 5 – 10 Jahren erreicht. Der Rückgang des Abflusses aus dem Inn fiel am Pegel Achleiten mit dem Anstieg des Abflusses aus der Donau zusammen und ergab satt einer zweiten Welle ein fast 2 Tage andauerndes Verharren des Abflusses bei etwa 4400 m³/s. In Österreich wurde an der Donau lediglich ein 1 –5 Jährliches Hochwasser beobachtet. [3]

Die Abflussscheitelwerte blieben an der gesamten Donau bis oberhalb der Innmündung niedriger als die Werte beim Hochwasser an Pfingsten 1999. Nur am Pegel Achleiten war der Scheitelabfluss beim Hochwasser im August 2005 höher.

Die Ganglinien an der unteren Donau zeigten aufgrund des insgesamt geringeren Gefälles und der Überlagerung der Abflüsse aus den verschiedenen Zuflüssen einen langsamen Anstieg und einen sehr breiten Wellenscheitel mit über einige Tage anhaltenden hohen Abflüssen sowie einen langsamen Rückgang der Abflüsse. In Hofkirchen und Achleiten gingen die Abflüsse erst ab dem 27.08. langsam wieder zurück.

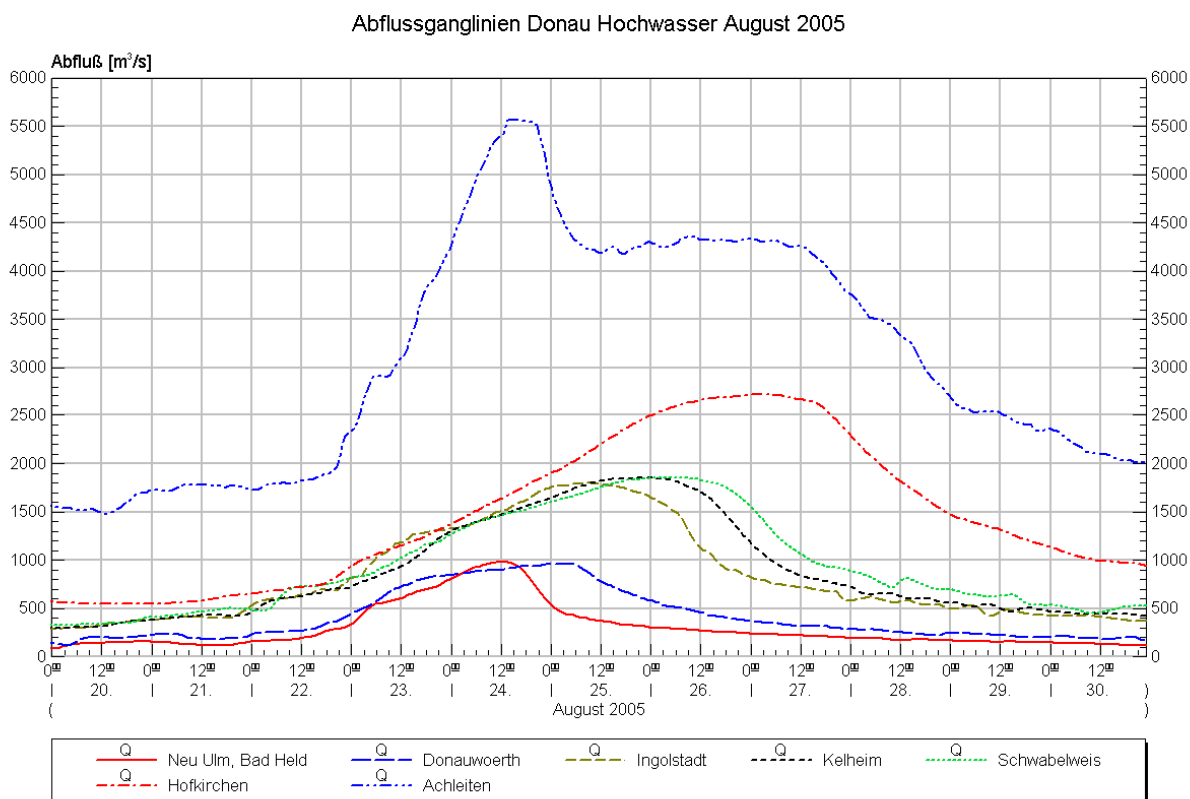


Abbildung 4-18: Abflussganglinien an der Donau beim Hochwasser August 2005

Bei langgezogenen Wellen wie am Unterlauf der Donau ist der Zeitpunkt des Scheitels nur ungeraht zu bestimmen, auch bei den Wellenlaufzeiten handelt es sich daher um Näherungswerte. In Neu Ulm wurden die höchsten Abflüsse 34 Stunden früher gemessen als in Kelheim, beim Hochwasser an Pfingsten 1999 waren es circa 18 Stunden. Die Wellenlaufzeit von Kelheim bis Hofkirchen betrug beim Hochwasser im August 2005 ca. 29 Stunden, beim Hochwasser an Pfingsten 1999 ca. 18 Stunden.

4.3.10.1 Wellenablaufmodellierung der oberen Donau bei Hochwasser

Die Abbildung 4-19 zeigt die gemessene Ganglinien an den Pegeln Augsburg u. d. Wertachm. und Donauwörth sowie an den Pegeln Ingolstadt und Kehlheim zusätzlich die nachträglich simulierten Abflussganglinien. Die Simulation am Pegel Ingolstadt wurde auf Basis der gemessenen Abflüsse am Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung und Donauwörth berechnet, am Pegel Kelheim auf Basis der gemessenen Werte am Pegel Ingolstadt.

Im Flussabschnitt Neu-Ulm bis Ingolstadt lagen zu wenige Informationen über die Anfangsfüllungen der Stauhaltungen und die Wechselwirkungen zwischen Hauptbett, Vorländern und den Grundwasserbegleitströmen (Riedstrom) vor. Die Effekte sind zwar indirekt durch die Aneichung, vor allem am Hochwasser an Pfingsten 1999, im Modell berücksichtigt worden, allerdings gab es beim Hochwasser im August 2005 große Unterschiede bei den Anfangs- Wasser- und Grundwasserständen (siehe Kapitel 6.3). Diese Unterschiede bei Ausgangsbedingungen hatten jedoch einen großen Einfluss auf die Abflussganglinie in Ingolstadt [5] wie die Differenzen ab einem Abfluss von ca. 1250 m³/s zwischen der gemessenen (blau) und der simulierten Ganglinie (grau) zeigen.

Die Abflussganglinie in Kelheim, auf Basis der gemessenen Werte in Ingolstadt, kann vom Modell gut nachvollzogen werden. Bei der operationellen Hochwasservorhersage wurden jedoch, bei Vorhersagezeiten die über die Wellenlaufzeit hinausgingen, die Vorhersage- Fehler an die Pegel flussabwärts weitergegeben.

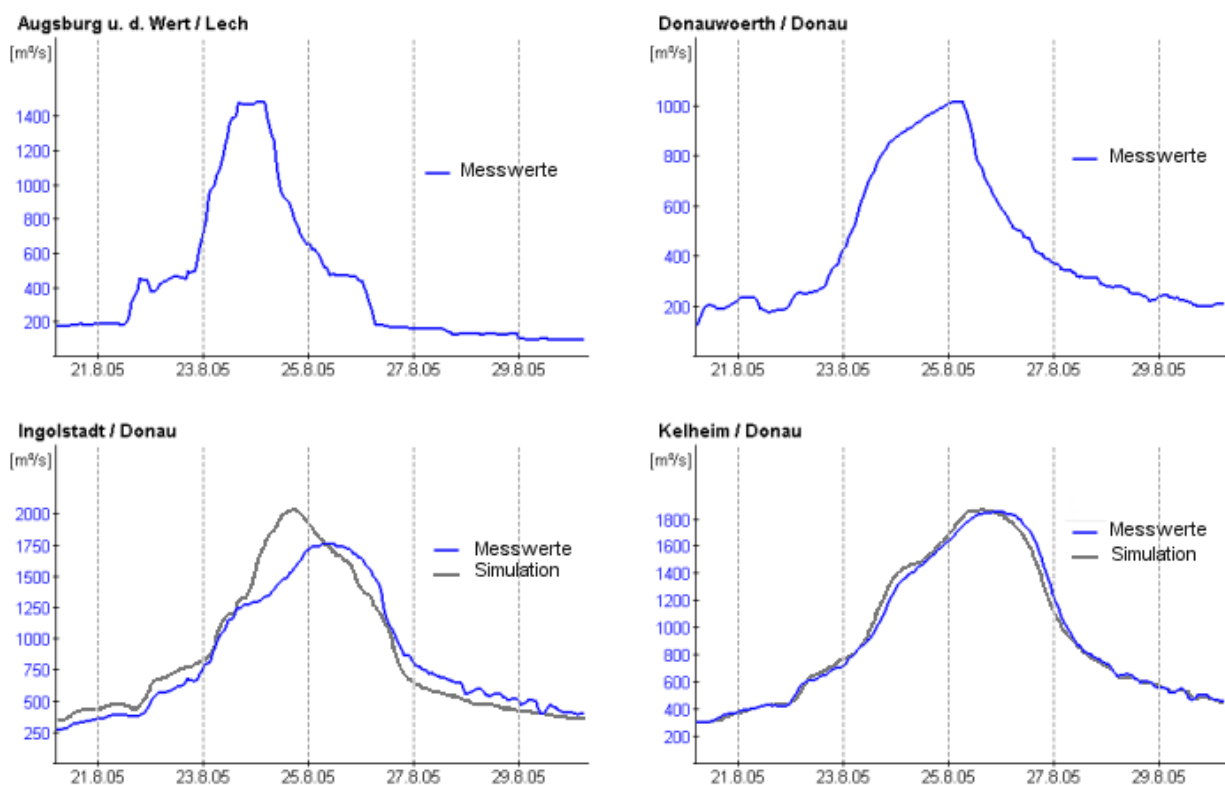


Abbildung 4-19: Nachsimulation des Hochwassers August 2005 mit gemessenen Ganglinien an der oberen Donau: Inputdaten am Pegel Augsburg unterhalb der Wertachmündung und Donauwörth (oben); simulierte und gemessene Abflussganglinie am Pegel Ingolstadt und am Pegel Kelheim (unten). Datenquelle: Datenbank des Hochwassernachrichtendienstes.

4.4 Jährlichkeiten

Jährlichkeiten oder Wiederkehrintervalle kennzeichnen wie oft – bei gleich bleibenden Bedingungen - mit einem Hochwasser des jeweiligen Abfluss-Maximums zu rechnen ist. Sie werden durch statistische Auswertung aus den jeweils höchsten Abfluss-Werten jeden Jahres der gleichartigen Zeitreihe ermittelt. Bei großen anthropogenen Eingriffen in das Hochwasser- Abflussgeschehen wie etwa der Bau eines Stausees oder Ausleitung größerer Wassermengen, müssen die Jährlichkeiten aus den Werten der Zeitreihe nach den Veränderungen berechnet werden. Bei kürzeren Messreihen, durch (nicht berücksichtigte) anthropogene Veränderungen und Ungenauigkeiten bei der Abflussbestimmung können die ermittelten Jährlichkeits-Werte zum Teil mit größeren Unsicherheiten berechnet werden. Es handelt sich daher eher um Anhalts- und Orientierungswerte, weshalb die Jährlichkeiten in den Klassen <2, 2-10, 10-20, 20-50, 50-100 und >100 Jahre angegeben werden.

Die räumliche Verteilung der Wiederkehrintervalle oder Jährlichkeiten der maximal gemessenen Abflusswerte beim Hochwasser im August 2005 (Abbildung 4-20) und zum Vergleich beim Hochwasser an Pfingsten 1999 (Abbildung 4-21) sind hier schematisch entlang der Flüsse erster und zweiter Ordnung dargestellt. An den Flussstrecken ohne Signatur traten nur Abflüsse mit einer Jährlichkeit von weniger als 2 Jahren auf.

Extremes Hochwasser mit Abflüssen der Jährlichkeit von zum Teil weit über 100 Jahren gab es an der gesamten Iller, der Schutter, dem Lech oberhalb des Forggensees, der oberen Isar und der oberen Loisach, der Ammer sowie am Inn oberhalb der Salzachmündung. Ein 50-100jähriges Hochwasser gab es streckenweise an der Wertach, am Lech etwa ab der Wertachmündung, an der unteren Loisach, der Isar bis zur Einmündung der Amper. An der Donau traten im oberen und mittleren Teil streckenweise Hochwasserwellen mit Jährlichkeiten von 20- 50 Jahren auf.

Der Vergleich mit den Jährlichkeiten des Hochwassers an Pfingsten 1999 zeigt, dass an der Iller, dem Ober- und Mittellauf von Isar und Loisach sowie am Inn beim Hochwasser im August 2005 Abflüsse höherer Jährlichkeiten auftraten. Demgegenüber hatten die Wertach, die Amper und die Donau Hochwasser größerer Jährlichkeiten als beim Hochwasser an Pfingsten 1999.

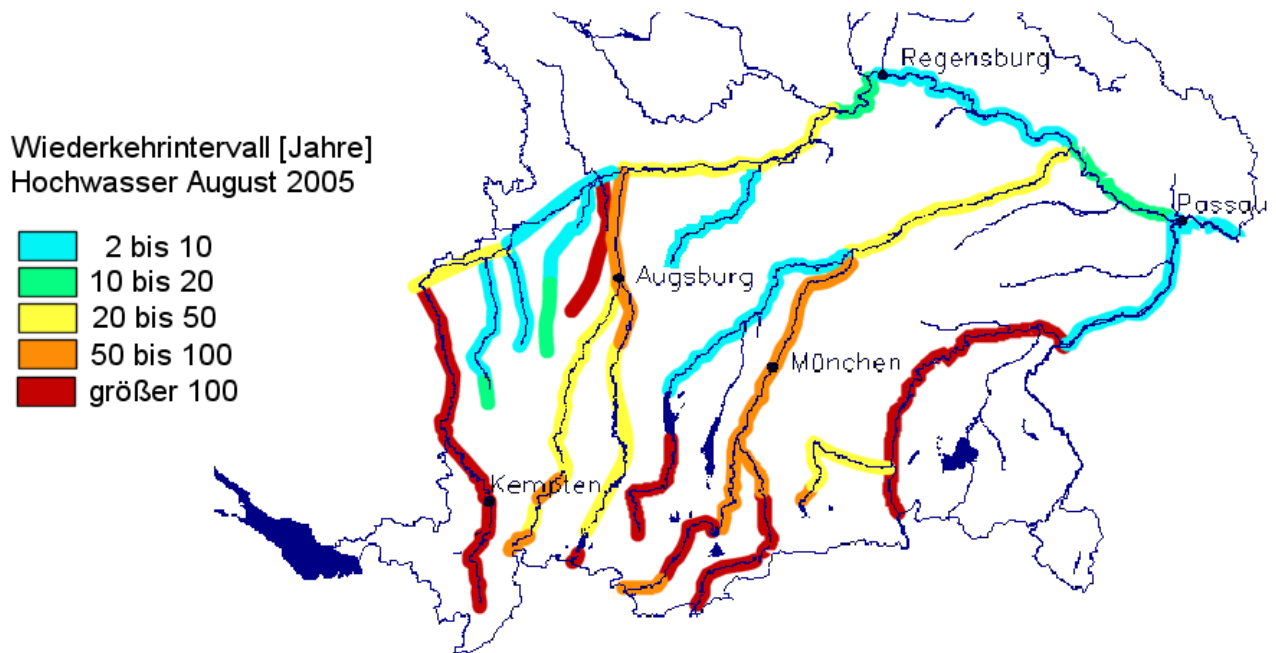


Abbildung 4-20: Schematische Darstellung der Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse beim Hochwasser August 2005 an den Flüssen 1. und 2. Ordnung.

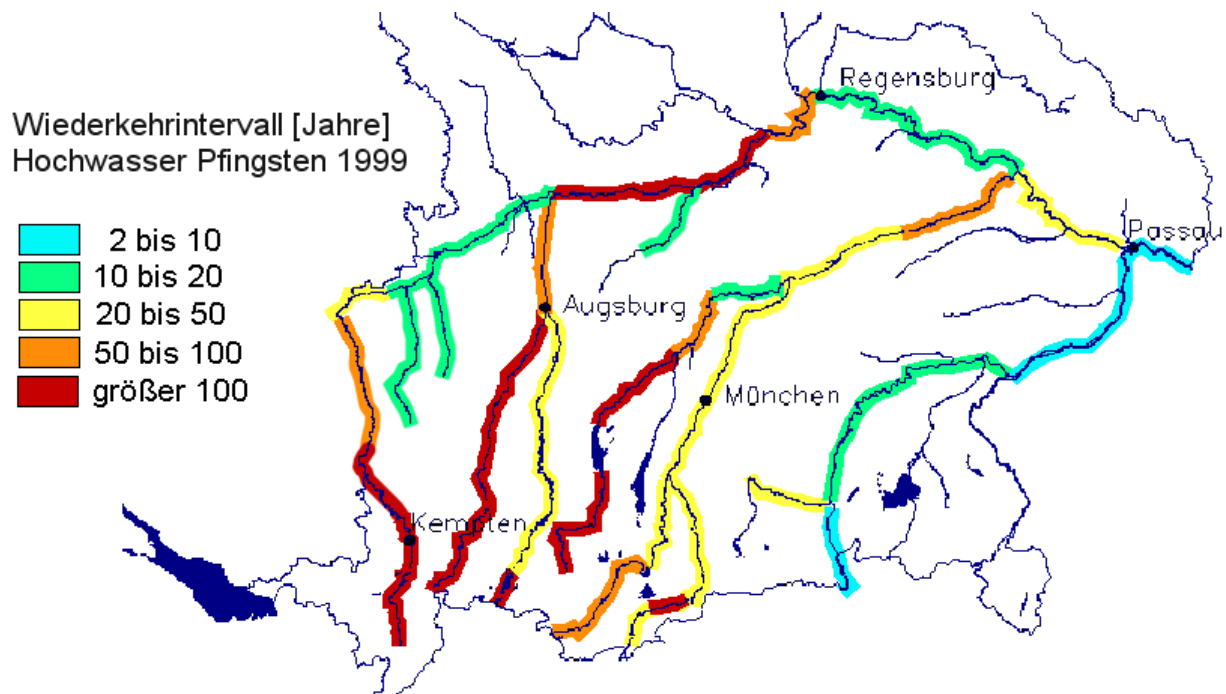


Abbildung 4-21: Schematische Darstellung der Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse beim Hochwasser an Pfingsten 1999 anhand der Flüsse 1. und 2. Ordnung.

4.5 Vergleich mit früheren Hochwasser- Ereignissen

Das Hochwasser im August 2002 wurde zwar, wie das Ereignis im August 2005, von einer Vb - ähnlichen Großwetterlage ausgelöst, betraf aber ein anderes Gebiet. In Bayern gab es vor allem am Regen ein extremes Hochwasser mit einer Jährlichkeit von über 100 Jahren sowie an Teilstrecken der oberen Iller, der Tiroler Aachen und der Salzach sowie an der Donau in Passau mit Jährlichkeiten von 20-50 Jahren.

Das Hochwasser an Pfingsten 1999 wurde durch anhaltenden, ergiebigen Starkregen in Kombination mit Schneeschmelze im Staubebereich der Alpen und des Alpenvorlandes verursacht. Mit Ausnahme des Inn waren die südlichen Donauzuflüsse und die Donau betroffen. Das Ereignis ist daher gut für einen genaueren Vergleich mit dem Ereignis im August 2005 geeignet.

4.5.1 Hochwassersituation an Pfingsten 1999

Um die generelle Hochwassersituation vom Hochwasser im August 2005 mit der an Pfingsten zu vergleichen sind in Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23 ausgewählte Abflussganglinien an der Donau im Zeitraum von einem Monat dargestellt.

Der deutlichste Unterschied zwischen den beiden Ereignissen ist, dass dem Hochwasser an Pfingsten 1999 bereits ein kleineres bis mittleres Hochwasser, das Vatertagshochwasser vom 12. bis 18. Mai 1999, vorausging. Dadurch waren die Boden- (Interflow) Grundwasserspeicher, Retentionsräume und auch die Überschwemmungsflächen zum Teil noch gefüllt und konnten weniger Wasser aufnehmen als beim Hochwasser im August 2005, das auf deutlich niedrigere Grundwasserstände traf.

Dies ist auch am Abfluss vor dem Hochwasser (Basisabfluss) zu erkennen: Am 19./ 20. 5. 1999 gab es deutlich höhere, an vielen Pegel doppelt so hohe, Abflüsse wie am 19./29. 8.2005. Beim Hochwasser ab dem 22.- 28.8. 2005, verursachten vorhergehende Niederschläge zwar im gesamten Gebiet eine hohe Vorfeuchte der Böden, ein Hochwasser im Vorfeld gab es jedoch nur im östlichen Teil der Alpen, im Einzugsgebiet der Mangfall, des Inns und der Salzach am 16./17. 8.2005.

Die überschlägig ermittelten Gesamtvolumina der Hochwasserwellen (Abflussfüllen), d.h. die über das Ereignis aufsummierten der Abflusswerte nach Abzug des Basisabflusses , ergaben an den meisten Pegeln beim Hochwasser an Pfingsten 1999 etwas (ca. 5- 20 %) höhere Werte als beim Hochwasser im August 2005.

Durch die intensiven Niederschläge innerhalb weniger Tage beim Hochwasser im August 2005 liegen im allgemeinen die Spitzenabflüsse an den Oberläufen der Flüsse, d.h. im voralpinen Bereich beim Ereignis August 2005 höher, an den Unterläufen und der Donau sind die Spitzenabflüsse ähnlich hoch oder niedriger als an Pfingsten 1999.

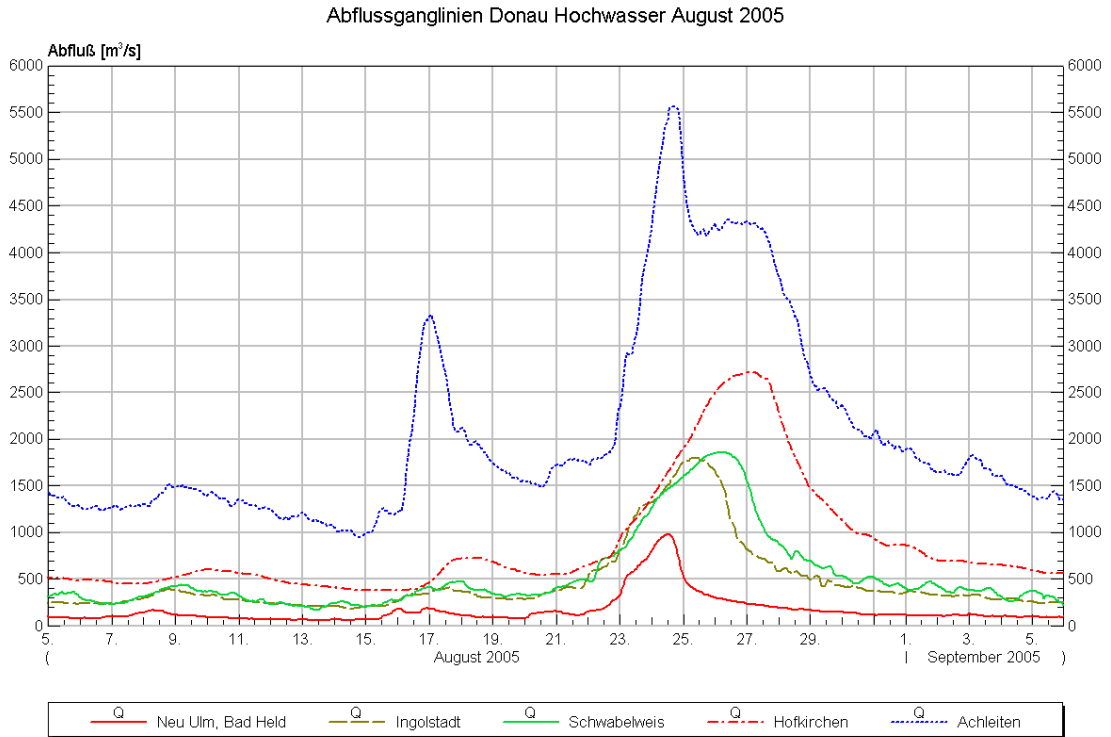


Abbildung 4-22: Abflussganglinien an der Donau im Zeitraum vom 5.8.2005 bis zum 5.9.2005

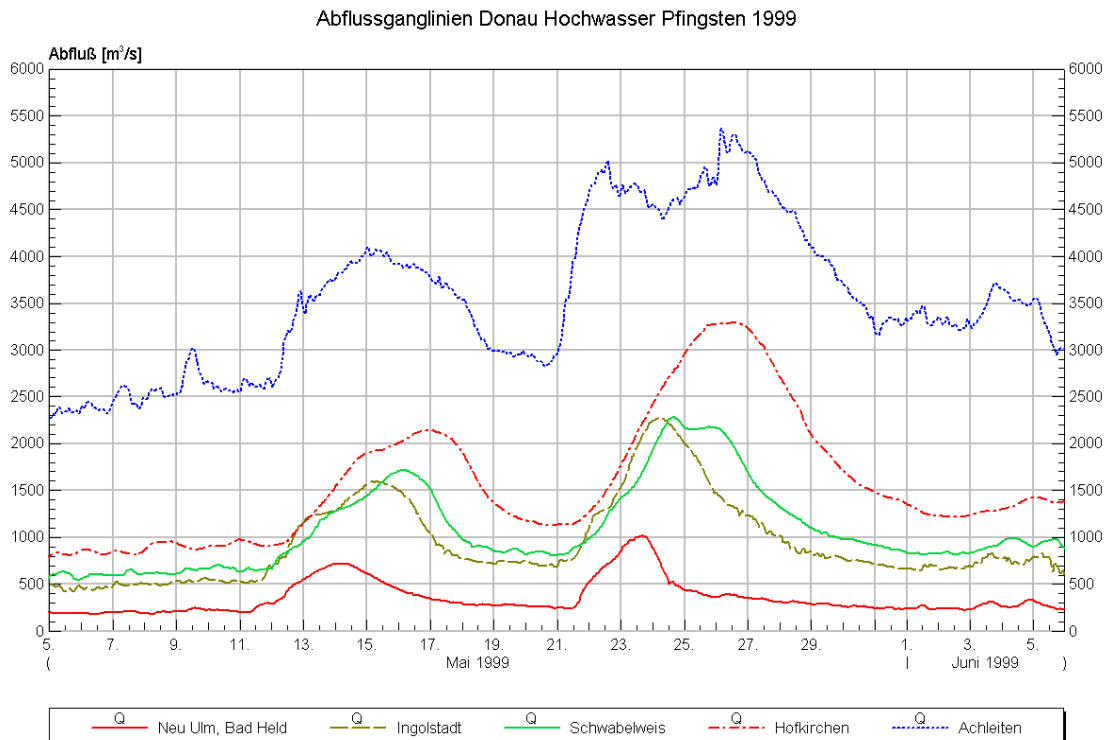


Abbildung 4-23: Abflussganglinien an der Donau im Zeitraum vom 5.5.1999 bis zum 5.6.1999

5 Schwebstofftransport

Während des Hochwassers wurden routinemäßig wasserstandsabhängige Messungen der Schwebstoff-Konzentration durchgeführt. Für die Berechnung der transportierten Schwebstoff-Fracht wird die Schwebstoff-Konzentration mit dem Abfluss multipliziert und über einen bestimmten Zeitraum aufsummiert.

Dabei wurde bestätigt, dass während der kurzen Zeit, in der die Flüsse Hochwasser führen, ein sehr hoher Anteil der Schwebstoff-Fracht, transportiert wird.

So wurden z. B. an der Iller in Kempten am 23. und 24. August 2005 (6 Messungen) mit ca. 200.000 t sogar über 120 % der durchschnittlichen Jahresfracht erreicht. Beim Pfingsthochwasser vom 21.-23. 05.1999 wurden dagegen "nur" knapp 80 % der durchschnittlichen Jahresfracht gemessen.

In Füssen am Lech waren es vom 22.-26. August 2005 (8 Messungen) mit knapp 280.000 t und in Passau Ingling am Inn vom 24.-29. August (3 Messungen) mit fast 2.580.000 t jeweils 75 % der durchschnittlichen Jahresfracht.

In Schlehdorf wurden an der Loisach vom 23.-26. August (21 Messungen) rund 40 % der mittleren Jahresfracht erreicht.

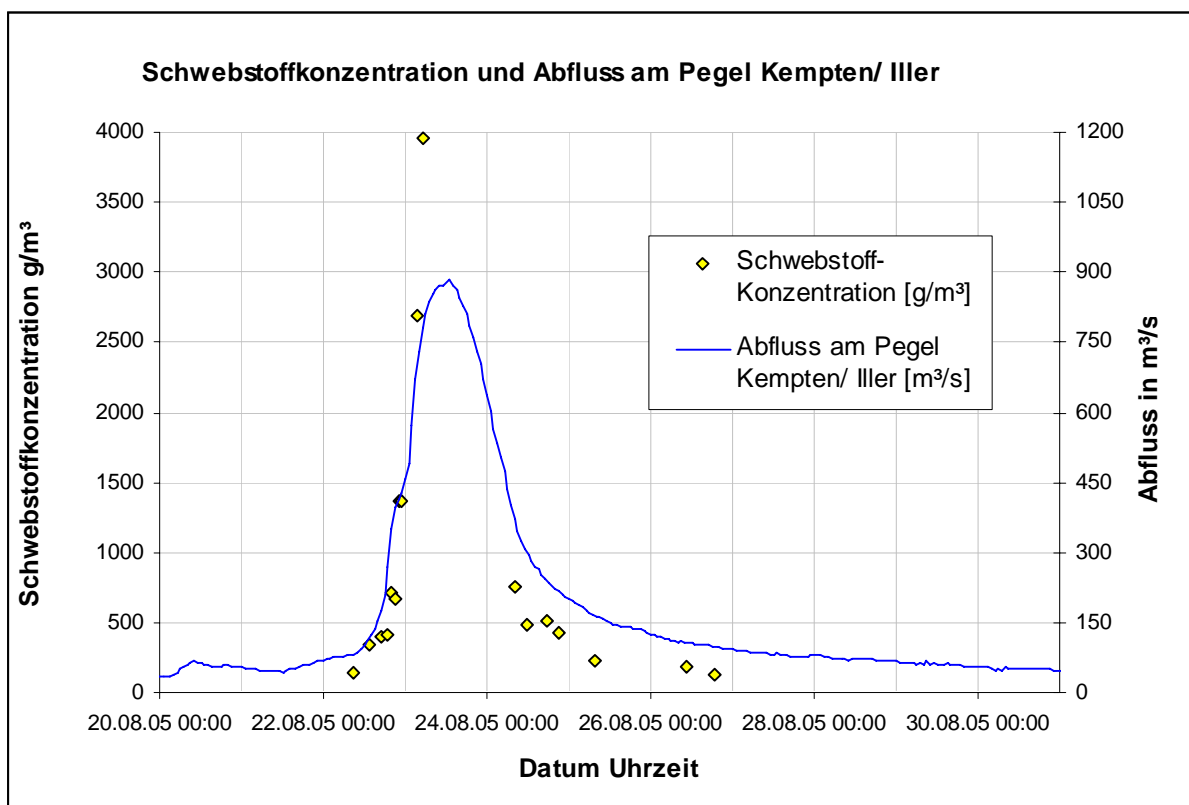


Abbildung 5-1: Gemessene Schwebstoff- Konzentrationen und die Abflussganglinie am Pegel Kempten/ Iller während des Hochwassers. Die Schwebstoff-Fracht berechnet sich aus der Schwebstoff-Konzentration multipliziert mit dem Abfluss.

6 Reaktion des Grundwassers

6.1 Überblick

In den Talschottern in Südbayern führten die intensiven Niederschläge am 22. und 23. August zu einer für die Jahreszeit ungewöhnlich hohen Grundwasserneubildung, und demzufolge zu einem starken Anstieg der Grundwasserstände. Sie erreichten an mehreren Grundwassermessstellen den höchsten bisher beobachteten Wert (siehe Abbildung 6-1). Begünstigt wurde dieser Vorgang durch die in den Talschottern verbreitet günstigen Versickerungseigenschaften und die hohen Fließraten des Grundwassers.

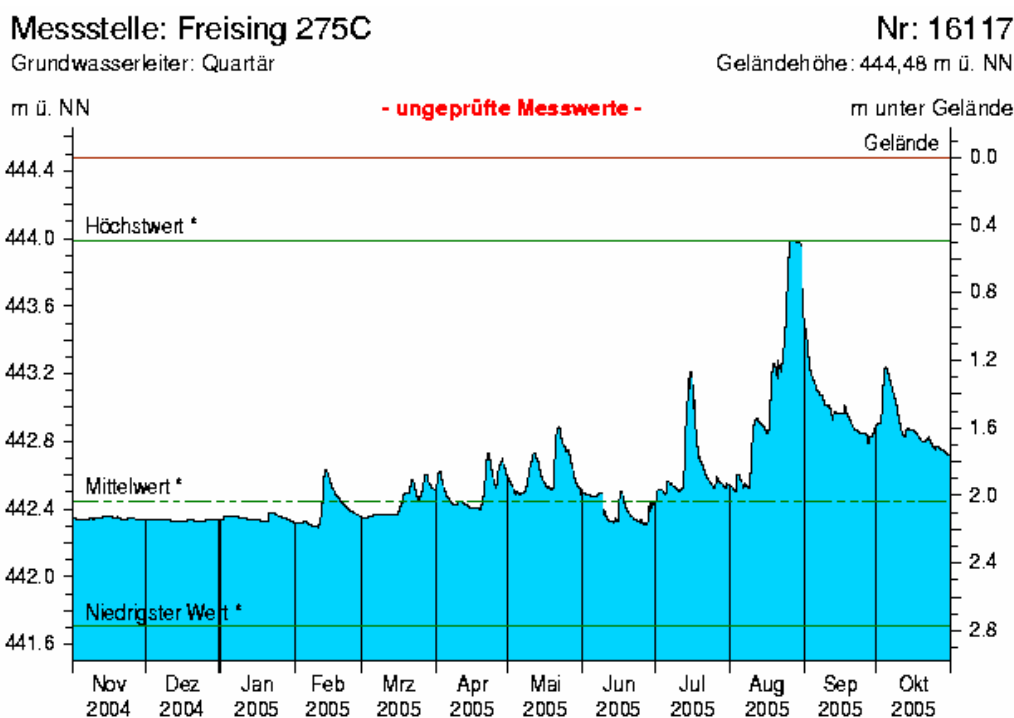


Abbildung 6-1: Verlauf der Grundwasserstände in der nördlichen Münchner Schotterebene, Messstelle Freising 275 C, beobachtet seit 1938

Im Normalfall bewegt sich der Grundwasserstrom über weite Strecken zum Fluss hin und sickert in den Fluss aus. Im Hochwasserfall ist es umgekehrt – der Fluss gibt Wasser an den Grundwasserleiter ab bzw. bewirkt einen Aufstau des Grundwassers. Dieser Grundwasseraufstau in den Talschottern ist bis in eine Entfernung von mehreren Kilometern messbar.

So hatte der Grundwasseranstieg im August 2005 umfangreiche Vernässungen von Bauwerken in insgesamt 19 Landkreisen in Bayern zur Folge.

6.1.1 Vorsättigung des Bodens

Bereits vor dem Hochwasserereignis waren die Böden für die Jahreszeit ungewöhnlich stark mit Niederschlagswasser gesättigt und somit kaum noch aufnahmefähig. Während das Starkregenereignis im Bergland teilweise extrem hohe Direktabflüsse bewirkte, waren im flachen Gelände, insbesondere in den quartären Talfüllungen und Schotterflächen, sehr hohe Versickerungsraten und vorübergehend kräftig ansteigende Grundwasserspiegel die Folge. Beide Vorgänge konnten im

Bereich der Talauen je nach Niederschlagsverteilung und örtlichen hydraulischen Gegebenheiten zusammenwirken.

6.1.2 Einsickerung von Flusswasser in den Grundwasserleiter

Die voralpinen Flüsse stehen in der Regel mit dem begleitenden Grundwasserstrom hydraulisch in Verbindung. Infolge eines Hochwassers steigen die flussnahen Grundwasserstände rasch an. Der zeitliche Verlauf des Anstiegs ist im Wesentlichen von der Dauer und der Spitze des Hochwassers, von der Durchlässigkeit des flussnahen Untergrundes und vom Ausgangsniveau des Grundwasserspiegels abhängig. Die zeitweilige Retention von Flusswasser kann in den gut aufnahmefähigen Talschottern Südbayerns erheblich sein. Im Raum Freising bewirkte der für mehrere Tage bis zu 4 Meter erhöhte Pegelstand der Isar eine starke Aussickerung in den Grundwasserleiter bzw. in die Binnenentwässerung der Hochwasserdeiche.

6.1.3 Stauwirkung des Fließgewässers

Neben der Aussickerung von Flusswasser in den Grundwasserleiter spielt auch die flächige Anhebung des Grundwasserspiegels durch den versickernden Niederschlag eine wesentliche Rolle. Sobald der Wasserspiegel im Fließgewässer höher liegt als der benachbarte Grundwasserspiegel, kann das Grundwasser nicht mehr in den Vorfluter abfließen. Es kommt zum Aufstau des weiträumig nachströmenden Grundwassers; ein maßgeblicher Effekt, der bereits bei mittlerem Hochwasser einsetzt. Die anströmende Grundwassermenge hängt von den hydrogeologischen Kenngrößen des Grundwasserleiters im Einzugsgebiet ab. Erst nachdem die Hochwasserwelle im Fluss abgelaufen ist, können die Grundwasserstände im Vorland wieder sinken. Wie schnell dies vor sich geht, hängt vom Gefälle der Grundwasseroberfläche und der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters ab.

6.1.4 Grundwasservorkommen der Münchner Schotterebene

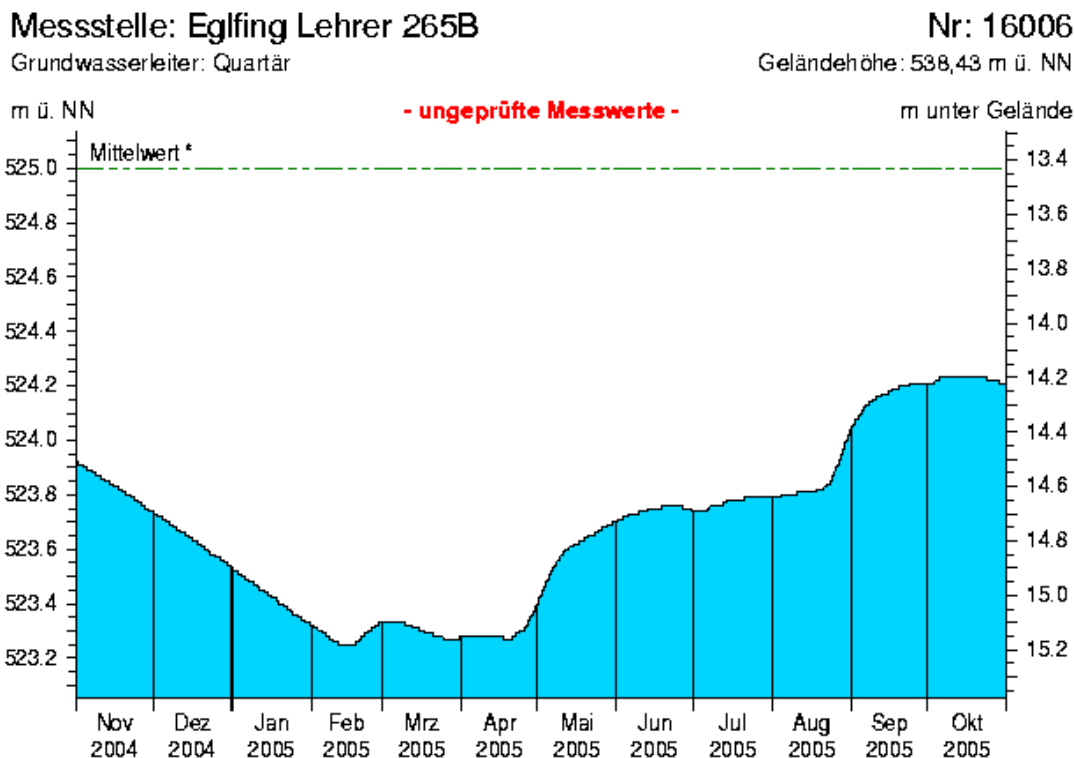


Abbildung 6-2: Messstelle Eglfing Lehrer 265B, beobachtet seit 1915

In der Münchener Schotterebene liegen besondere Bedingungen vor. Bedingt durch seine Größe (ca. 2400 km²) reagiert dieses Grundwasservorkommen stark verzögert auf Niederschläge. Im zentralen Bereich stieg das Grundwasser Ende August sehr kräftig an. Dieser Anstieg setzte sich bis Ende September ca. 2 cm pro Tag fort (Abbildung 6-2). Mit diesem starken Neubildungsschub wurde der Grundwasserstand des Vorjahres leicht überschritten, lag aber noch weit unter dem mehrjährigen Mittel. Weitere geringe Niederschläge blieben ohne Wirkung, so dass die Grundwasserganglinie Ende September abflachte und anschließend langsam fiel. Der Rückgang verlief aufgrund der Größe des Grundwasserleiters weniger rasch als in den anderen Schotterflächen und Flusstalfüllungen des Alpenvorlandes.

Am Nordrand der Münchener Schotterebene liegt der Grundwasserspiegel nur knapp unter Gelände und es strömen im Normalfall große Grundwassermengen zügig in die Vorfluter. Durch die Stauwirkung des Hochwassers und die geringen Grundwasserflurabstände in den flussbegleitenden Talauen kann dort das Grundwasser im Extremfall bis über Geländehöhe ansteigen. So kann die allgemeine Hochwassersituation mit Überflutungen durch diese Grundwasserproblematik noch verschärft werden, wie dies z. B. an der Isar im Raum Freising im Jahr 2005 zu beobachten war.



Abbildung 6-3: Überflutung einer Eisenbahnunterführung durch austretendes Grundwasser in Marzling / Freising beim Hochwasser im August 2005. Quelle: WWA Freising

6.2 Grundwasserstände in den Flusstalfüllungen

Im Folgenden werden die Reaktionen des Grundwassers auf das Hochwasser im August 2005 für die größeren Flusstäler beschrieben. Betrachtet werden dabei Grundwassermessstellen in den Flusstalfüllungen in einer durchschnittlichen Entfernung von 0,5 km von Loisach, Isar und Inn und 1,5 km von Iller und Lech. Neben der Beeinflussung durch Niederschlagsereignisse ist an diesen Messstellen der direkte Einfluss der Hochwasserwellen in den Oberflächengewässern auf den Grundwasserleiter erkennbar (Rückstauereffekt).

Die Abbildungen zeigen jeweils die Grundwassersituation des entsprechenden Flusses in den Jahren des Pfingst-Hochwassers 1999 (1.5.1998 bis 31.12.1999) und des August-Hochwassers 2005 (1.5.2004 bis 31.12. 2005). Die Anordnung der Grafiken von oben nach unten entspricht der Lage der Messstellen entlang des entsprechenden Flusses von der Quelle zur Mündung.



Abbildung 6-4: Schreibgerät-Grundwassermessstelle im Raum Freising, August 2005

Seitlich zufließende Grundwassermengen in den Quartär- Talschottern unter der Aue- Lehmschicht im Vorland eines Flusses führen zu artesisch gespanntem Grundwasser, das durch die Luftlöcher der Messstelle austritt.

Quelle: WWA Freising

6.2.1 Einzugsgebiet der Iller

6.2.1.1 Die Grundwassersituation vor dem Hochwasserereignis

Zu Jahresbeginn 2005 lagen die Grundwasserstände in den Flusstalfüllungen im gesamten Einzugsgebiet der Iller unterhalb des langjährigen Mittels. Nach der Schneeschmelze wurde ab Ende April/Anfang Mai kurzfristig das langjährige Mittel erreicht oder knapp überschritten. Im Sommer sanken die Grundwasserstände wieder unter bzw. auf das langjährige Mittel. Lediglich die Grundwassermessstelle Voehringen 9259 (Abbildung 6-7) zeigte während des gesamten Jahres 2005 überdurchschnittlich hohe Grundwasserstände.

6.2.1.2 Die Grundwassersituation während und nach dem Hochwasserereignis

Grundsätzlich baute das Hochwasserereignis im August auf Grundwassertiefständen auf, wie sie für den Sommer aufgrund der geringeren Grundwasserneubildung normal sind. So wurde an den Messstellen Sonthofen 13145 (Abbildung 6-5) während der Hochwasserspitze ein Grundwasserstand registriert, wie er bereits im Frühjahr nach der Schneeschmelze aufgetreten war. An der Messstelle Haeuser 13103 (Abbildung 6-6) waren nach der Schneeschmelze Ende März sogar höhere Grundwasserstände gemessen worden als während des Hochwassers 2005.

Am Mittel- und Unterlauf der Iller zeigen die Grundwassermessstellen in den Flusstalfüllungen einen gleichmäßigeren Verlauf der Ganglinien als am Oberlauf des Flusses. Die Hochwasserwelle der Iller setzte sich dort im angrenzenden weiträumigen Grundwasserleiter langsamer fort und baute sich nach dem Durchgang der Hochwasserwelle auch langsamer wieder ab (Messstelle Betlinshausen 9231, Abbildung 6-8).

Am Oberlauf der Iller ist der Grundwasserleiter seitlich eng begrenzt, so dass es hier zu raschen Reaktionen im gewässernahen Grundwasserleiter kommt. Gleichzeitig lag das Maximum des Niederschlages am Oberlauf, so dass durch Direktabfluss die Aufhöhung der Grundwasserstände noch verstärkt wurde.

6.2.1.3 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Im Jahr 1999 lagen die Grundwasserstände im Einzugsgebiet der Iller ca. 0,5 bis 1,0 m höher als 2005 und befanden sich im Bereich des langjährigen Mittels oder darüber. Das Pfingsthochwasser traf zudem direkt auf hohe Grundwasserstände, die sich nach der Schneeschmelze im Frühjahr gebildet hatten. Zusätzlich waren dem Pfingsthochwasser vom 6. bis 8. Mai und vom 12. bis 14. Mai zwei kleinere Hochwässer vorangegangen, welche die Grundwasserleiter bereits stark aufgefüllt hatten. Dadurch stieg der Grundwasserstand während des Pfingsthochwassers 1999 auf höhere Werte als beim Hochwasser 2005. Lediglich im Mündungsbereich der Iller in die Donau lagen die Grundwasserstände 1999 und 2005 auf ähnlichem Niveau (Messstelle Gerlenhofen 9275, Abbildung 6-9).

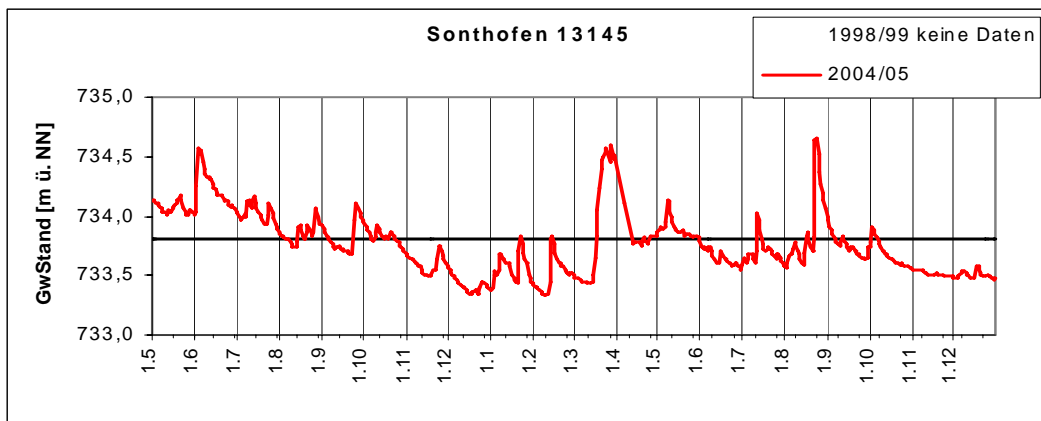


Abbildung 6-5:
Grundwasserstände an der Messstelle Sonthofen

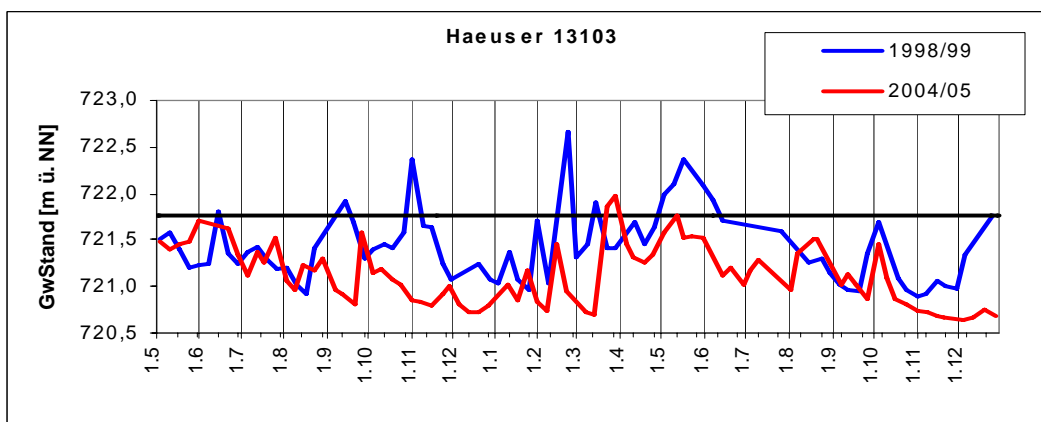


Abbildung 6-6:
Grundwasserstände an der Messstelle Haeuser

Abbildung 6-7:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Voehringen

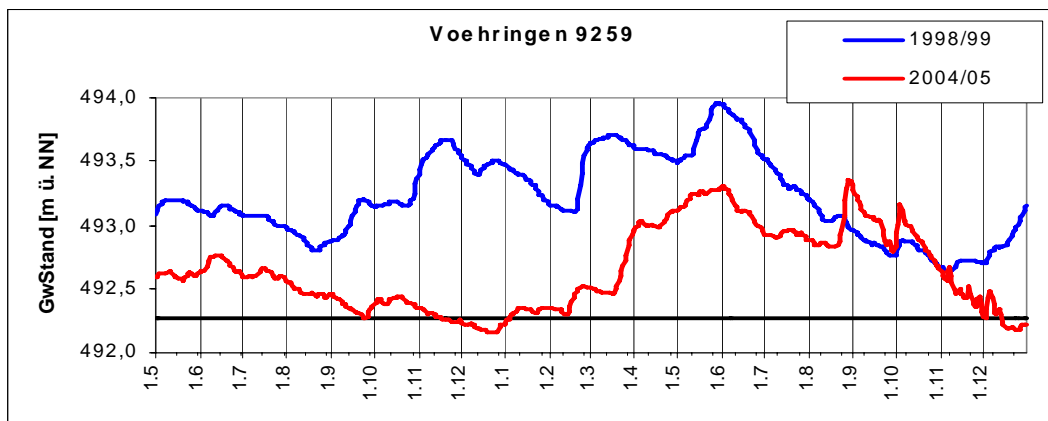


Abbildung 6-8:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Betlinshausen

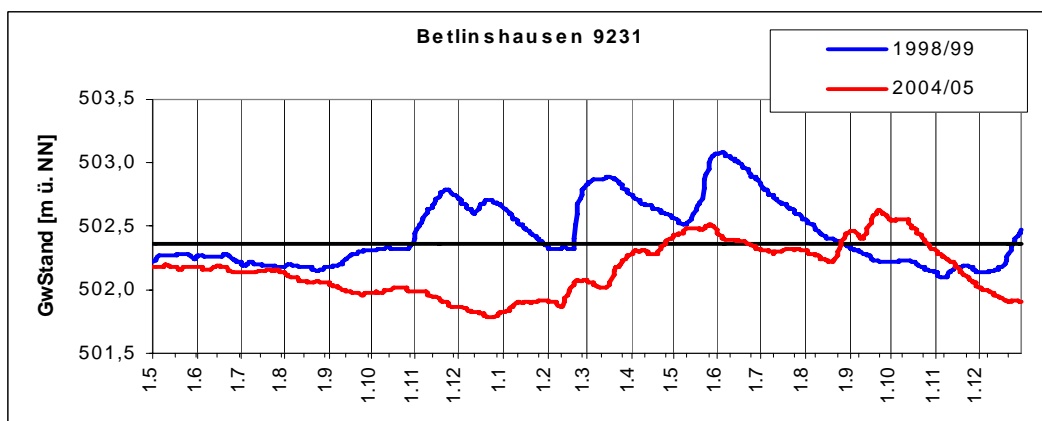
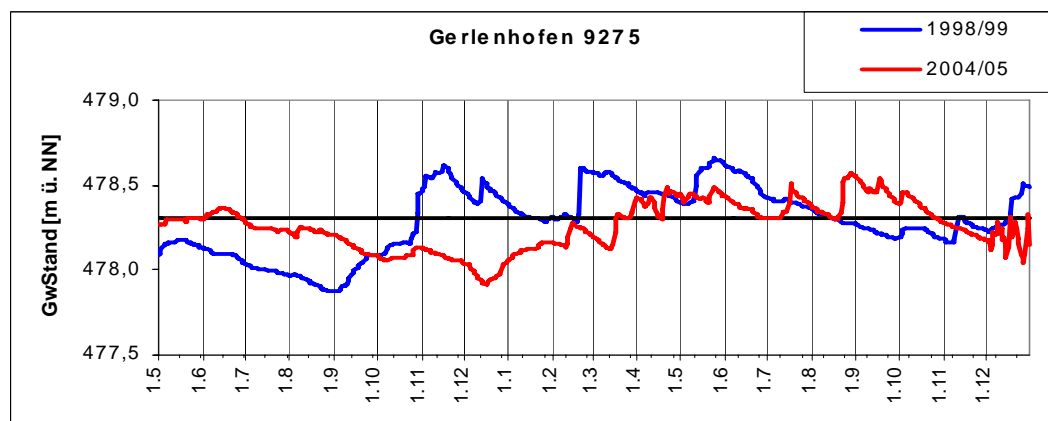


Abbildung 6-9:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Gerlenhofen



6.2.2 Einzugsgebiet des Lech (unterhalb des Forgensees)

Da der Wasserstand im Lech durch Staustufen geregelt wird, werden Hochwasserwellen nach Möglichkeit abgefangen und kontrolliert abgeleitet. Dementsprechend ist auch der Grundwasserstand in den vom Lech beeinflussten Bereichen der Flusstalfüllungen von der Staustufenregelung abhängig.

Der Grundwasserstand in den Flusstalfüllungen entlang des Lechs lag zu Beginn des Jahres 2005 unterhalb des langjährigen Mittels. Erst mit der Schneeschmelze füllte sich der Grundwasserleiter bis auf das Niveau des langjährigen Mittels auf, um dann ab Juni wieder unter dieses Niveau abzusinken.

6.2.2.1 Die Grundwassersituation beim Hochwasserereignis

Während des Hochwassers 2005 wurde vor allem am Forgensee und Grüntensee eine Steuerung des Abflusses an Lech und Wertach vorgenommen. Die südlichste beobachtete

Grundwassermessstelle Denklingen 25156 (Abbildung 6-10) liegt auf Höhe der Staustufe 11. Hier lag der Grundwasserstand während des gesamten Jahres 2005 unterhalb des langjährigen Mittelwertes. Das Hochwasser brachte lediglich einen Anstieg des Grundwasserstands um ca. 0,5 m, so dass kurzfristig das langjährige Mittel erreicht wurde.

Grundsätzlich verstärkte sich lechabwärts der durch das Hochwasser erzeugte Grundwasseranstieg. An der Messstelle Igling 25155 (Abbildung 6-11) lag die Anhebung des Grundwasserstandes bei lediglich ca. 0,2 m; im Bereich der Staustufen 20 und 23 sowie auf Höhe der Autobahn A8 lag sie zwischen 0,3 und 0,4 m (vgl. Mst. Lechhausen 8197, Abbildung 6-12) und bei Thierhaupten 8253 (Abbildung 6-13) schließlich bei 1,0 bis 1,4 m. Außer an der Messstelle Igling war der Anstieg jeweils sehr steil, während das Abflauen der Hochwasserwelle im Grundwasserkörper wesentlich langsamer erfolgte. Dies ist vermutlich auf die rasche Flutung der Staustufen zu Beginn des Hochwassers und den langsameren, gesteuerten Ablass während und nach dem Hochwasser zurückzuführen. Die Grundwasserstände reagierten analog.

6.2.2.2 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Der Grundwasserspiegel im Einzugsgebiet des Lechs lag 1999 grundsätzlich deutlich höher als 2005; im Schnitt über dem langjährigen Mittel.

Am Oberlauf des Lechs stieg 1999 der Grundwasserspiegel ab Anfang März an und hatte so bereits zu Beginn des Hochwassers ein hohes Niveau erreicht. An der Grundwassermessstelle Denklingen 25156 (Abbildung 6-10) führte das Eintreffen der Hochwasserwelle zu einem sprunghaften Anstieg des Grundwasserstandes um ca. 3,5 m, so dass sich kurzfristig der Grundwasserspiegel knapp 5,0 m über dem langjährigen Mittelwert einstellte. Flussabwärts lag der durch das Hochwasser ausgelöste Anstieg des Grundwassers an den Messstellen Igling 25155, Scheuring 25160 und Thierhaupten D42 – 8253 bei 1,0 bis 1,3 m, an der Messstelle Lechhausen 8197 bei ca. 0,5 und 0,7 m (Abbildung 6-12) und damit nur wenig höher als 2005. Die Differenz zwischen dem Grundwasserspiegel 1999 und 2005 lag im Mündungsbereich des Lechs – an der Messstelle Niederschönenfeld 8261 (Abbildung 6-14) – noch bei etwa 0,6 m. Im Gegensatz dazu war 1999 der hochwasserbedingte Grundwasseranstieg im Oberlauf deutlich höher. Die Differenz der maximalen Grundwasserspiegel lag bei knapp 5 m, was wahrscheinlich damit zusammenhängt, dass im Jahr 2005 der Hochwasserscheitel im Oberlauf durch den Rückhalt im Forggensee stärker reduziert werden konnte.

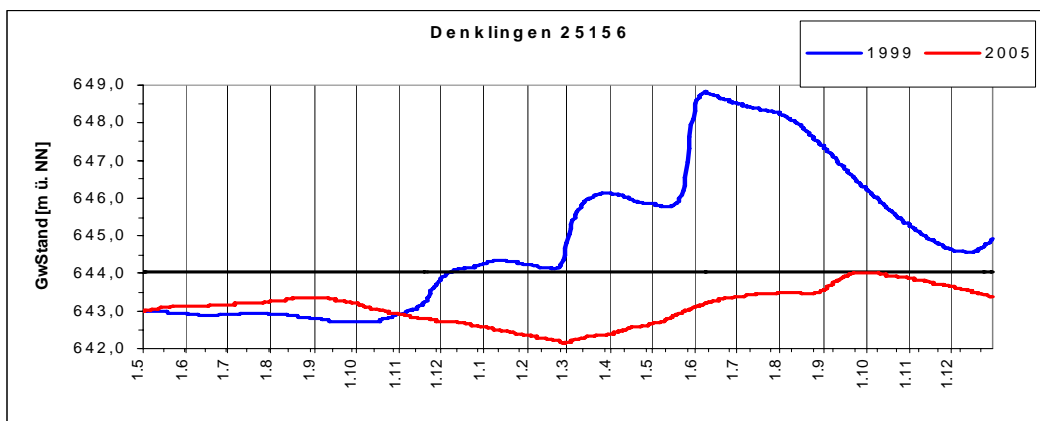


Abbildung 6-10:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Denklingen

Abbildung 6-11:
Grundwasserstände an
der Messstelle Igling

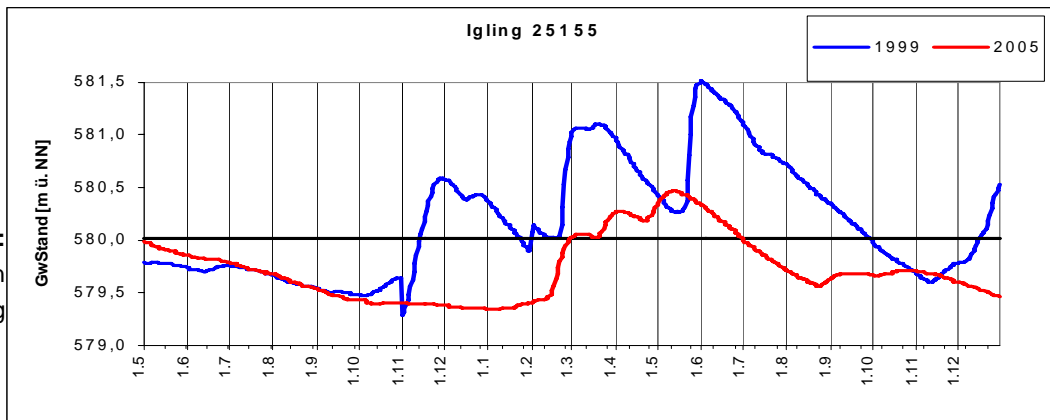


Abbildung 6-12:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Lechhausen

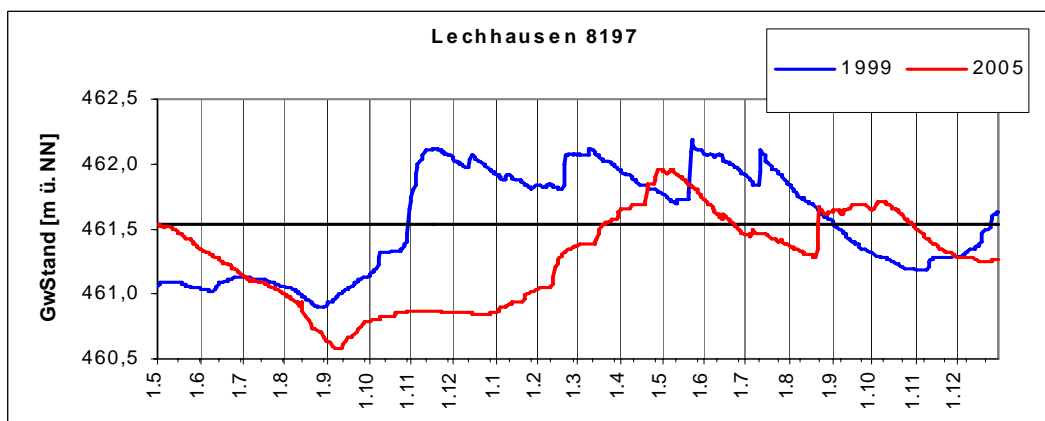


Abbildung 6-13:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Thierhaupten

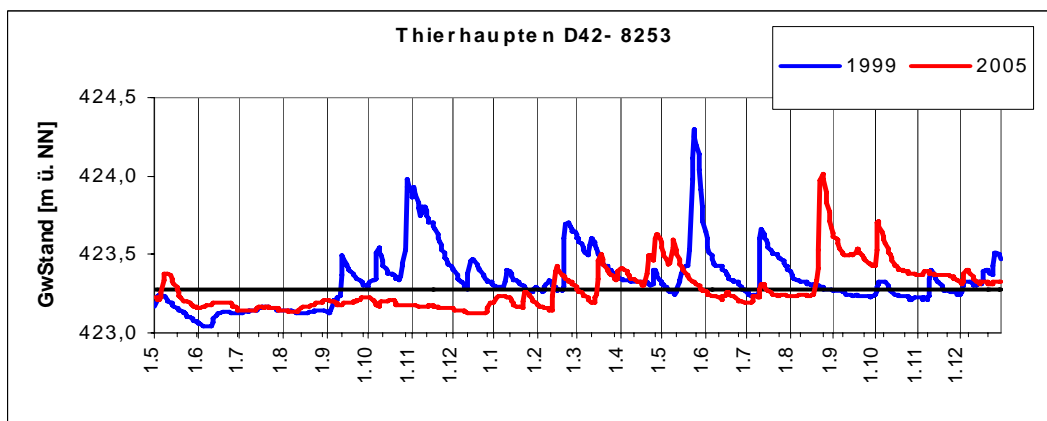
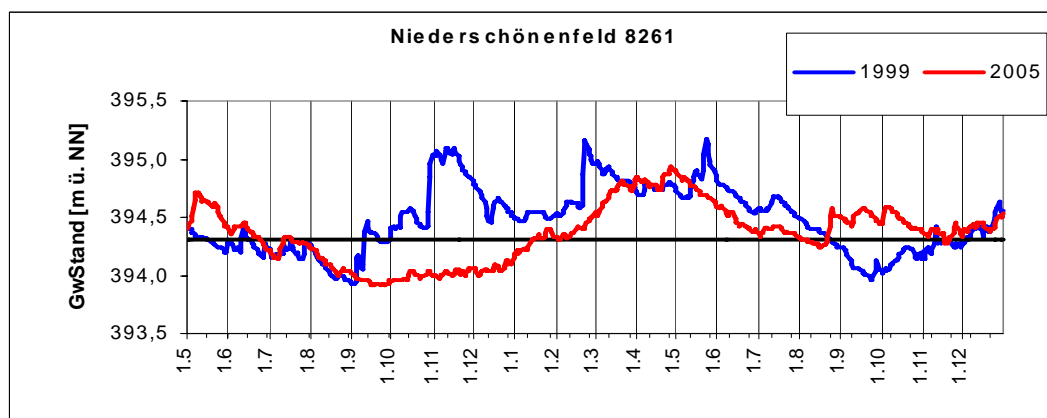


Abbildung 6-14:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Niederschönenfeld



6.2.3 Einzugsgebiet der Loisach

6.2.3.1 Die Grundwassersituation vor dem Hochwasserereignis

Außer den natürlichen Nebengewässern wirkt das Einzugsgebiet des Walchensees einschließlich des Anteils aus der Reißbach- und Isarüberleitung über den Kochelsee auf das Abflussgeschehen der Loisach ein. Der Wasserzulauf wird über das Walchenseekraftwerk geregelt. Der Abfluss aus dem Kochelsee in die Loisach wird über ein Wehr geregelt.

Im Einzugsgebiet der Loisach lagen die Grundwasserstände zu Beginn des Jahres 2005 allgemein unter dem langjährigen Mittel. Erst die Schneeschmelze im März führte dazu, dass die Grundwasserstände z.T. rapide ($>2,5$ m an der Messstelle Garmisch-Burgrain 25700, Abbildung 6-15) bis über das langjährige Mittel anstiegen. An der Messstelle Garmisch-Burgrain 25700 wurde dieser Grundwasserstand bis zum Hochwasser im August gehalten. An den Messstellen im weiteren Verlauf der Loisach war bis Mitte Juli ein Rückgang bis in den Bereich des langjährigen Mittels zu verzeichnen. Länger anhaltende Stauniederschläge und Regenschauer führten im Südosten von Bayern vom 10. bis 12. Juli zu einem kleineren Hochwasserereignis. Dieses ließ die Grundwasserstände bereits lokal über 1 m ansteigen (Messstellen Oberau 25668, Abbildung 6-16 und Eschenlohe 25707, Abbildung 6-17). Nach Durchlaufen der Hochwasserwelle sank der Grundwasserstand rasch wieder auf Werte im Bereich des langjährigen Mittels ab.

Die Messstelle Wolfratshausen 25151 (Abbildung 6-18) liegt kurz vor der Mündung der Loisach in die Isar und befindet sich als einzige der beschriebenen Messstellen unterhalb des Kochelsees. Hier betrug der Grundwasseranstieg nur ca. 0,5 m, wurde aber bis zum Hochwasser im August gehalten. Da die Loisach zwischen Kochelsee und Mündung neben dem Grundwasserzustrom kaum Zuflüsse aus Nebengewässern erhält, dürfte hier der flussnahe Grundwasserstand vom gezielten Ablass des Kochelsees beeinflusst sein.

6.2.3.2 Die Grundwassersituation während und nach dem Hochwasserereignis

Im Bereich der Kalkalpen (Messstelle Garmisch-Burgrain 25700, Abbildung 6-18) folgte das August-Hochwasser 2005 auf einen relativ hohen Grundwasserstand. Der hochwasserbedingte maximale Grundwasserspiegel lag ca. 0,8 m höher als beim Pfingsthochwasser 1999. Der Grundwasserstand kehrte nach Durchlaufen der Hochwasserwelle rasch wieder auf das Ausgangsniveau zurück. Die gleiche Reaktion zeigte das Grundwasser auch im Bereich der Messstellen Oberau 25668 und Eschenlohe 25707 (Abbildung 6-17). Nach einem raschen Anstieg des Grundwasserstandes um ca. 1,3 bis 1,7 m folgte ein rasches Absinken des Pegels.

An der Grundwassermessstelle Wolfratshausen 25151 (Abbildung 6-18) stieg der Grundwasserstand ebenso rasch um rund 1,0 m; danach folgte ein eher langsames und stetiges Absinken. Leichte Grundwasseranstiege im Oktober, wie sie an den Grundwassermessstellen flussaufwärts zu beobachten waren, traten hier nicht auf. Auch dies spricht zum einen für die indirekte Beeinflussung des Grundwasserstandes durch die gezielte Ableitung des Kochelsees, wodurch Abflussspitzen abgemildert werden; zum anderen für die bessere Ausbreitungsmöglichkeit des Grundwassers im Talaquifer.

6.2.3.3 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Dem Pfingsthochwasser ging ein stetiger Anstieg des Grundwasserspiegels am Alpenrand seit Mitte Februar voraus. Dieser war einerseits bedingt durch die Schneeschmelze im Alpenraum, andererseits durch starke Niederschläge, die zum so genannten Vatertagshochwasser am 17. Mai 1999 führten.

Die Grundwasserganglinie an der Messstelle Garmisch-Burgrain 25700 (Abbildung 6-15) zeigte für 1999 und 2005 einen sehr ähnlichen Verlauf. Auf den stark von der Schneeschmelze beeinflussten Grundwasserhöchststand setzte zusätzlich das Pfingsthochwasser auf. Allerdings erfolgte der Anstieg

während des Auguthochwassers 2005 rapider als beim Pfingsthochwassers und auch das Absinken des Grundwasserstandes erfolgte beim Auguthochwasser wesentlich rascher. Vermutlich wurde ein Teil der Niederschläge 1999 noch in Restschneebeständen gespeichert und anschließend langsam an den Grundwasserleiter abgegeben. Insgesamt lag das Niveau des Grundwasserstandes beim Hochwasser 2005 bis zur Messstelle Oberau 25668 (Abbildung 6-16) oberhalb des Niveaus von 1999. An der Messstelle Eschenlohe 25707 lag der Grundwasserstand 2005 um ca. 0,7 m niedriger als 1999, nahe der Mündung in die Isar um ca. 0,3 m niedriger (s. Messstelle Wolfratshausen 25151, Abbildung 6-18).

Abbildung 6-15:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Garmisch-Burgrain

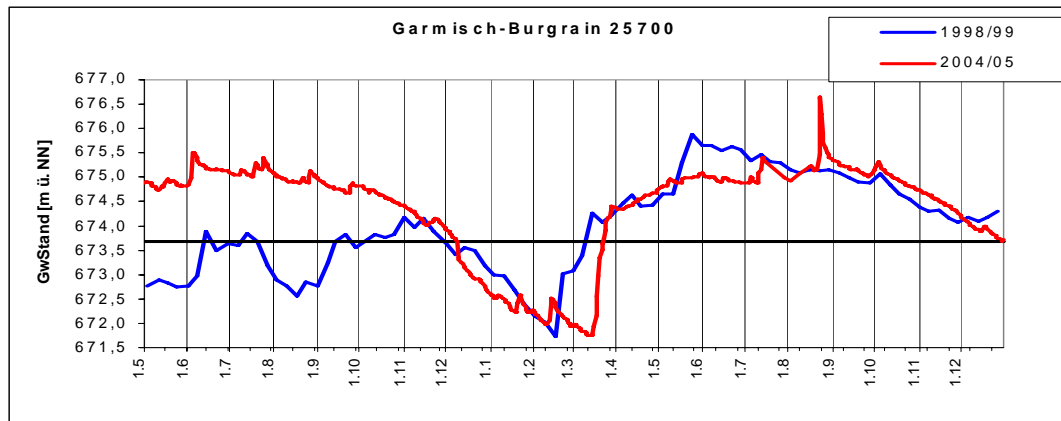


Abbildung 6-16:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Oberau

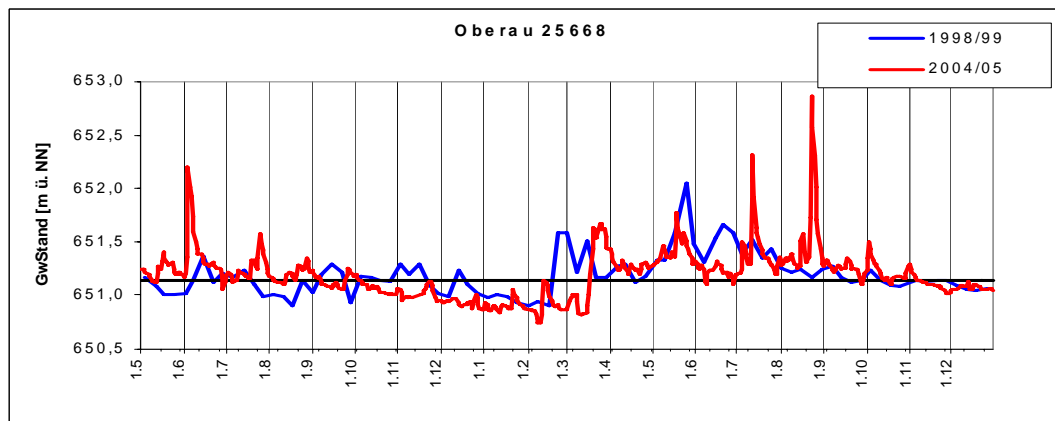
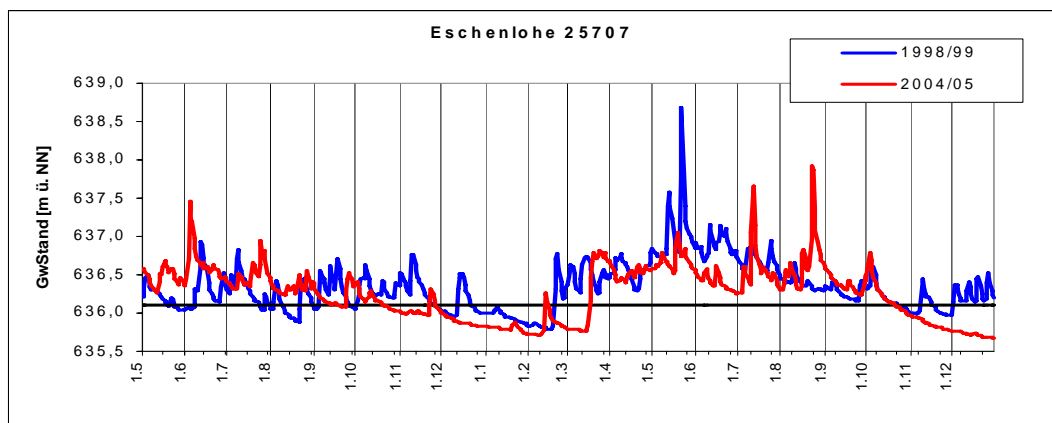


Abbildung 6-17:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Eschenlohe



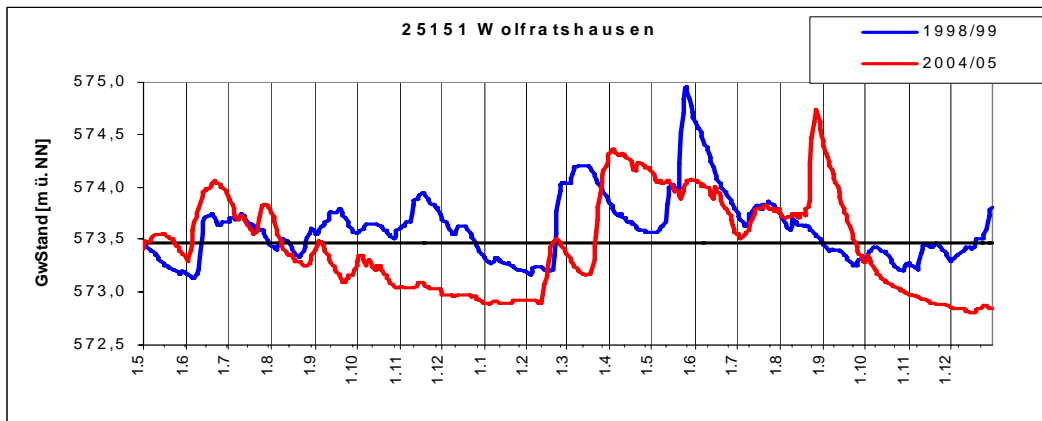


Abbildung 6-18:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Wolfratshausen

6.2.4 Einzugsgebiet der Isar

6.2.4.1 Die Grundwassersituation vor dem Hochwasserereignis

Der Abfluss der Isar wird im Oberlauf durch den Sylvensteinspeicher geregelt. Der Sylvensteinspeicher dient unter anderem dem Hochwasserrückhalt und zur Erhöhung des Restwasserabflusses. Wie an der Loisach lagen die Grundwasserstände zu Jahresbeginn auch in den Flusstalfüllungen der Isar bis zur Loisachmündung unterhalb des langjährigen Mittels. Sie stiegen erst im März wieder an und erreichten dann zum größten Teil das langjährige Mittel. Unterhalb der Loisachmündung lag das Grundwasserniveau bereits zu Jahresbeginn im langjährigen Mittel, um im Frühjahr um bis zu 0,5 m anzusteigen.

Die Messstelle Mittenwald-Gerber 25135 (Abbildung 6-19) an der oberen Isar zeigt eine ähnliche Reaktion auf die Schneeschmelze wie die Messstelle Garmisch-Burgrain 25700 an der Loisach (Abbildung 6-15). Auch hier kam es im März zu einem sprunghaften Anstieg des Grundwasserspiegels. Bis zum ersten Hochwasserereignis im Juli sank der Grundwasserspiegel auch hier nur leicht. Der ähnliche Verlauf der Grundwasserganglinien hängt wahrscheinlich auch damit zusammen, dass beide Messstellen in den Nördlichen Kalkalpen liegen.

An den Grundwassermessstellen oberhalb des Sylvensteinspeichers (Wallgau 25170, Abbildung 6-20 und Lenggries-Vorderriss 25163, Abbildung 6-21) blieb der Grundwasserspiegel bis zu einem (kleineren) Hochwasserereignis im Juli im Bereich des mehrjährigen Mittelwertes bzw. knapp darunter. Unterhalb des Sylvensteinspeichers reagierten die Grundwassermessstellen alle ähnlich mit leichten Grundwasserstandsspitzen Ende März und Anfang Mai und einer Abnahme des Grundwasserstandes bis Mitte Juli.

6.2.4.2 Die Grundwassersituation während und nach dem Hochwasserereignis

An allen Grundwassermessstellen entlang der Isar bewirkte bereits ein geringeres Hochwasser im Juli 2005 einen Anstieg des Grundwasserstandes. Bei den Messstellen oberhalb des Sylvensteinspeichers ging der Grundwasserspiegel nach Durchgang der Hochwasserwelle im Juli nicht wieder auf das Ausgangsniveau zurück. Besonders an der Messstelle Wallgau 25170 (Abbildung 6-20) wurde ein sehr hoher Grundwasserstand gehalten, der um ca. 6,0 m über dem langjährigen Mittel lag. Auch direkt unterhalb des Sylvensteinspeichers, an der Messstelle Winkl Klaffenbach 25100 (Abbildung 6-22) wurde der Grundwasserstand vom Ereignis im Juli bis zum August-Hochwasser gehalten. Im weiteren Verlauf der Isar hatte das Hochwasser im Juli 2005 keine bis nur geringe Auswirkungen auf den Grundwasserstand (Anstieg des Grundwasserstandes kurzfristig um maximal ca. 0,3 m).

Die quartären Grundwasserleiter waren bei Eintritt des August-Hochwassers vor allem oberhalb des Sylvensteinspeichers gut gefüllt, so dass die Grundwasserstände z.T. höher (Messstelle Lenggries-Vorderriss 25163, Abbildung 6-21) bzw. ähnlich hoch (Messstellen Mittenwald-Gerber 25135,

Abbildung 6-19 und Wallgau 25170, Abbildung 6-20) lagen wie beim Hochwasser 1999. Während der Grundwasserspiegel an den meisten Messstellen nach Durchgang der Hochwasserwelle rasch wieder sank (Messstellen Mittenwald-Gerber 25135, Lenggries-Vorderriss 25163), trat an der Messstelle Wallgau 25170 eine deutliche Verzögerung ein.

Während direkt oberhalb des Sylvensteinspeichers der stärkste Grundwasseranstieg zu verzeichnen war (ca. 4,3 m an der Messstelle Lenggries-Vorderriss 25163, Abbildung 6-21) wurde unterhalb des Sylvensteinspeichers der Grundwasserspiegel im Talraum durch die gesteuerte Abgabe und die fast vollständige Nutzung des Hochwasserrückhalterums nur in wesentlich geringerem Maße angehoben (z.B. ca. 1,5 m an der Messstelle Winkl Klaffenbach 25100, Abbildung 4.20). Lediglich an Einmündungen von Nebenflüssen war der hochwasserbedingte Anstieg des Grundwasserstandes höher (ca. 2,7 m an der Messstelle Arzbach 25106 unterhalb der Einmündung des Arzbaches, Abbildung 6-23 und ca. 1,2 m an der Messstelle Pupplinger Au 25164 unterhalb der Einmündung der Loisach, Abbildung 6-25).

6.2.4.3 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Auch im Einzugsbereich der Isar machte sich 1999 an der Mehrzahl der Grundwassermessstellen das vorausgegangene Vatertagshochwasser bemerkbar. Zusammen mit der Schneeschmelze bewirkte es vor allem oberhalb der Loisachmündung eine erhebliche Auffüllung des Grundwasserspeichers. Mit Ausnahme der Grundwassermessstellen direkt oberhalb des Sylvensteinspeichers (z.B. Lenggries-Vorderriss 25163, Abbildung 6-21) blieben die vom Augusthochwasser 2005 hervorgerufenen Grundwasserspitzen durchweg unter dem Niveau des Pfingsthochwassers 1999.

Abbildung 6-19:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Mittenwald- Gerber

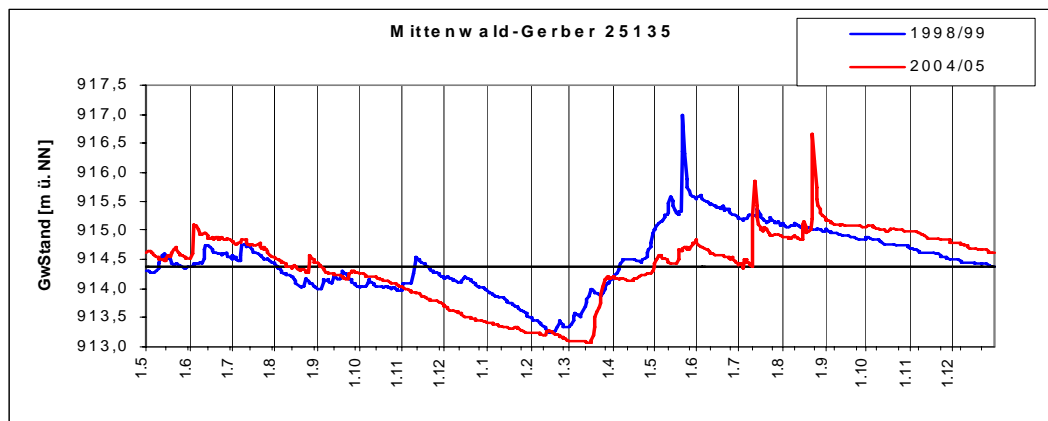
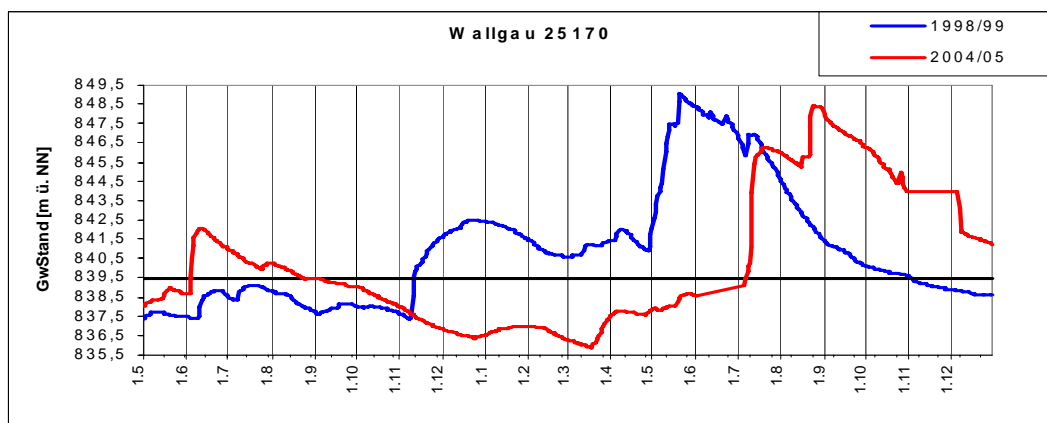


Abbildung 6-20:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Wallgau



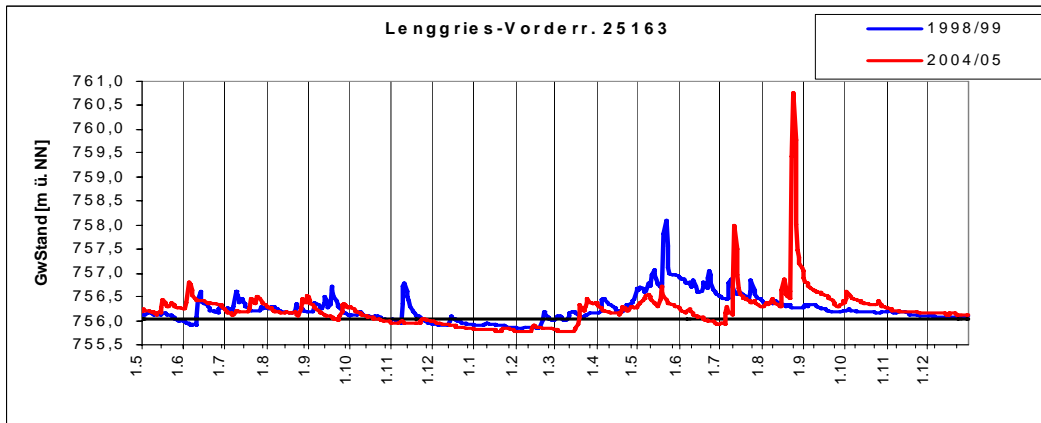


Abbildung 6-21:
Grundwasserstände an
der Messstelle
Lenggries-Vorderriss

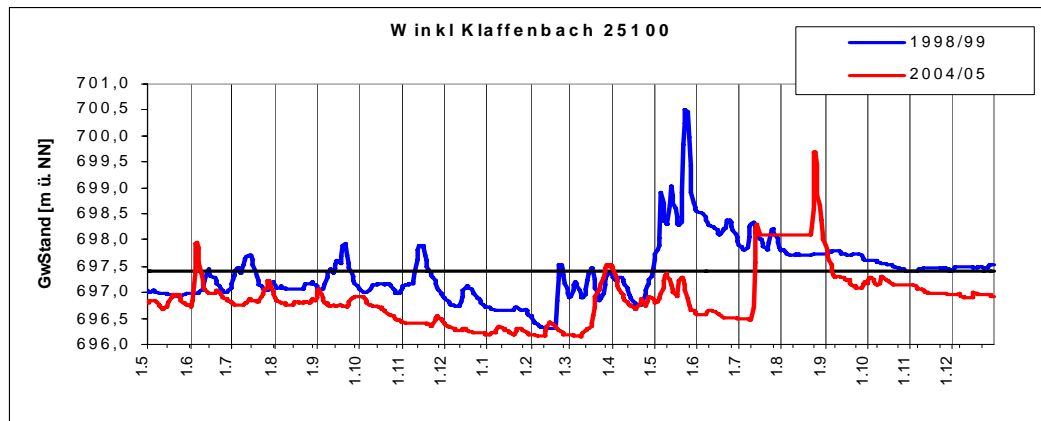


Abbildung 6-22:
Grundwasserstände an
der Messstelle Winkel
Klaffenbach

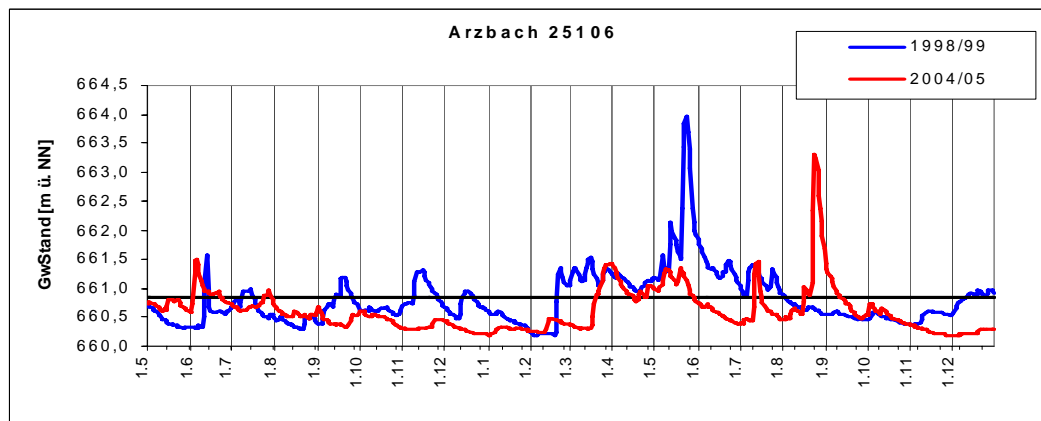


Abbildung 6-23:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Arzbach

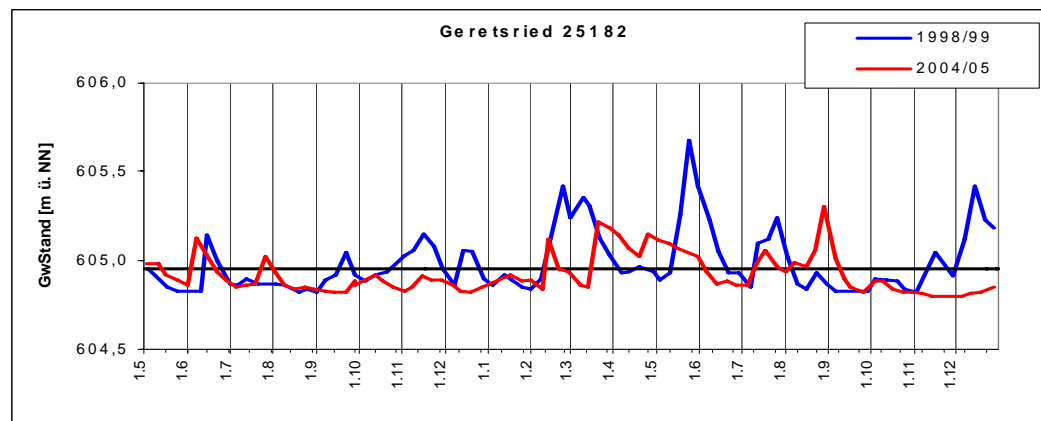


Abbildung 6-24:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Geretsried

Abbildung 6-25:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Pupplinger Au

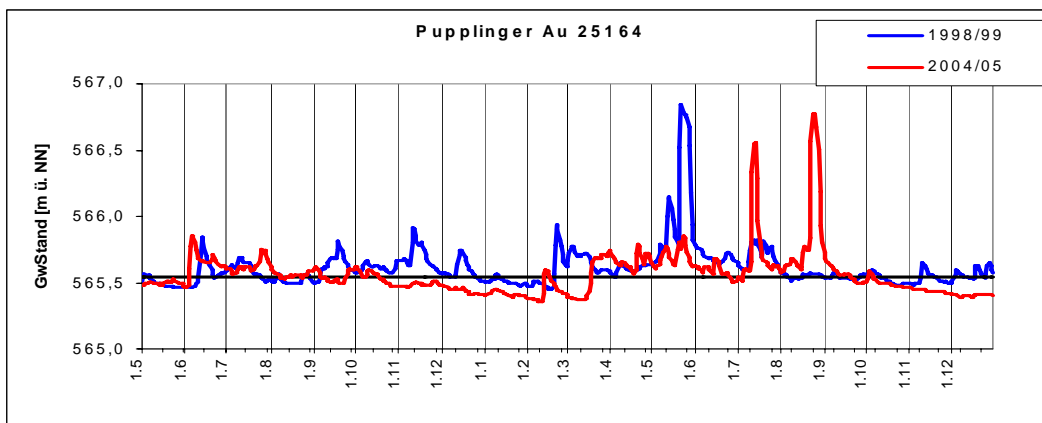


Abbildung 6-26:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Moosburg

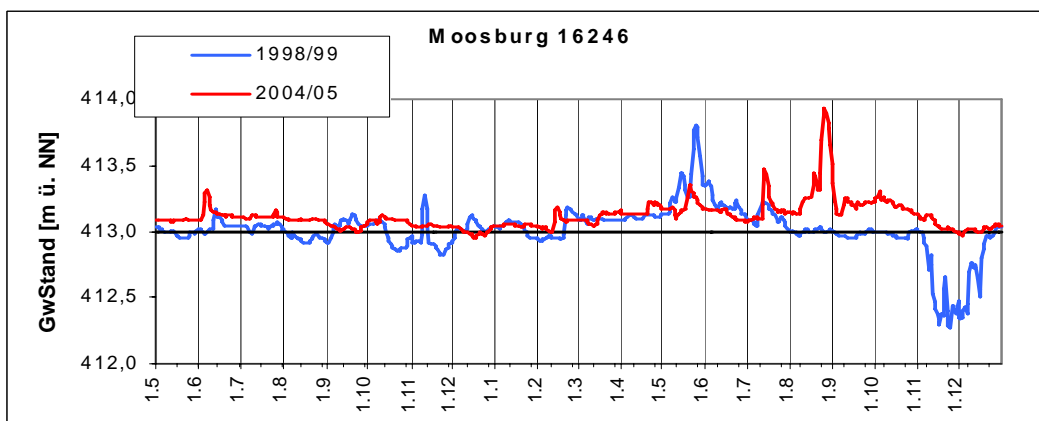


Abbildung 6-27:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Nikolaikirche

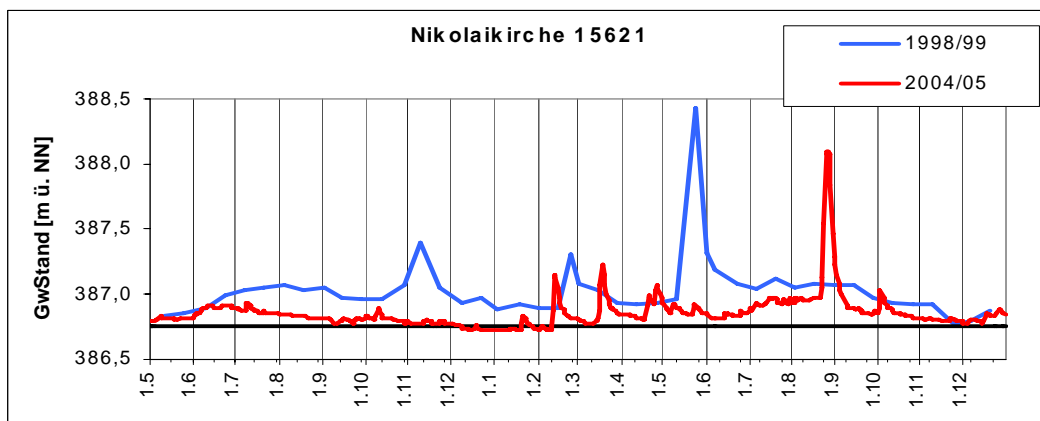
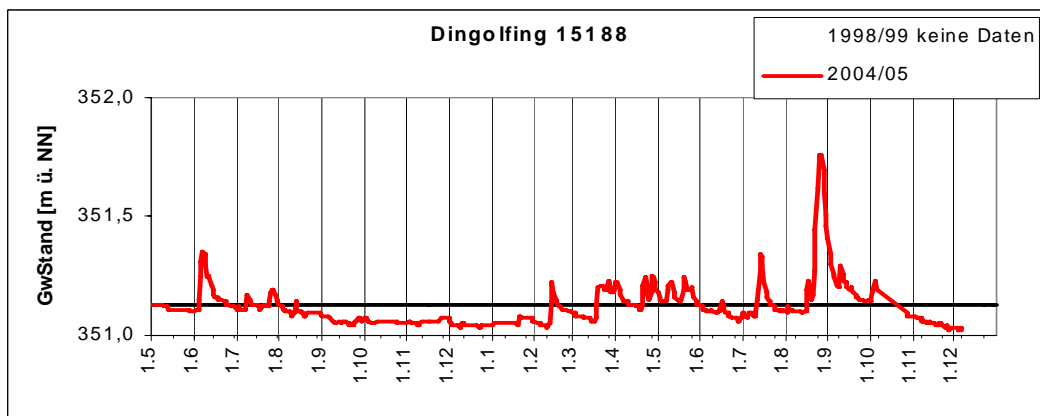


Abbildung 6-28:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Dingolfing



6.2.5 Einzugsgebiet des Inn

6.2.5.1 Die Grundwassersituation vor dem Hochwasserereignis

Die Grundwasserstände pendelten im Einzugsgebiet des Inns in der 1. Jahreshälfte 2005 um das langjährige Mittel. Nach einem Grundwasseranstieg im Frühjahr folgte ab Juni wieder ein leichtes Absinken des Grundwasserstandes, wie es für die Sommermonate in unseren Breiten typisch ist. Mit dem Mitte Juli auftretenden kleineren Hochwasser füllten sich auch hier die Grundwasserleiter teilweise auf, wobei der Grundwasseranstieg mit durchschnittlich ca. 0,3 m gering war.

6.2.5.2 Die Grundwassersituation während und nach dem Hochwasserereignis

An der südlichsten Grundwassermessstelle in den Flusstalfüllungen des Inn fehlen die Aufzeichnungen während des Hochwassers 2005. An den flussabwärts gelegenen Messstellen Pfaffenhofen 21138 (Abbildung 6-29) und Sendling 21139 (Abbildung 6-30) stiegen die Grundwasserstände durch das Hochwasser um ca. 1,0 m an. Allerdings zeigen die Ganglinien allgemein einen unruhigen Verlauf mit mehreren Grundwasserhöchstständen im Jahresverlauf. Die Flusstalfüllungen werden hier von gering durchlässigem Moränenmaterial unterlagert, so dass sich neben extremen Hochwasserereignissen auch stärkere Niederschlagsereignisse rasch auf den Grundwasserspiegel auswirken. Bereits im Frühjahr waren beispielsweise an der Messstelle Sendling 21139 ähnlich hohe Grundwasserstände aufgetreten wie beim Auguthochwasser.

An der Messstelle Mühldorf Hallenbad 21136 (Abbildung 6-31) stieg der Grundwasserspiegel mit Eintreffen der Hochwasserwelle innerhalb kurzer Zeit um knapp 1,5 m, während an der Messstelle Simbach 19140 (Abbildung 6-32) nur ca. 0,3 m registriert wurden.

6.2.5.3 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Auch im Bereich des Inns setzten die Grundwasserstände des Pfingsthochwasser 1999 auf dem Vatertagshochwasser auf.

An den Messstellen Pfaffenhofen 21138 (Abbildung 6-29) und Sendling 21139 (Abbildung 6-30) lagen die Hochwasserspitzen in ähnlichen Bereichen wie 2005, während der Höchststand von 1999 an der Messstelle Mühldorf Hallenbad 21136 (Abbildung 6-31) nicht erreicht wurde. Es fehlten ca. 0,5 m. Die Grundwasserstände an der Messstelle Simbach 19140 (Abbildung 6-32) zeigte eine wesentlich deutlichere Reaktion auf das Auguthochwasser als auf das Hochwasser von 1999. Die Reaktion blieb aber bei beiden Hochwasserereignissen hinter den Grundwasseranstiegen zurück, welche durch die Schneeschmelze im Frühjahr ausgelöst wurden.

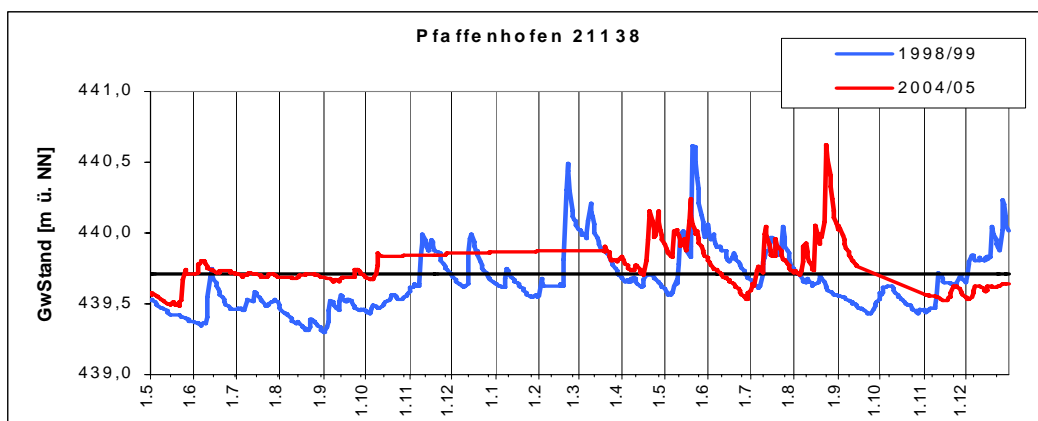


Abbildung 6-29:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Pfaffenhofen

Abbildung 6-30:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Sendling

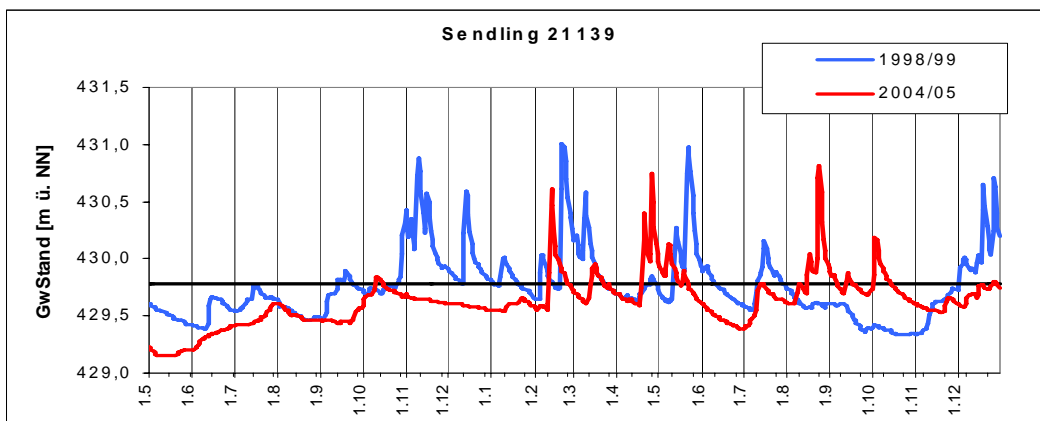


Abbildung 6-31:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Mühldorf Hallenbad

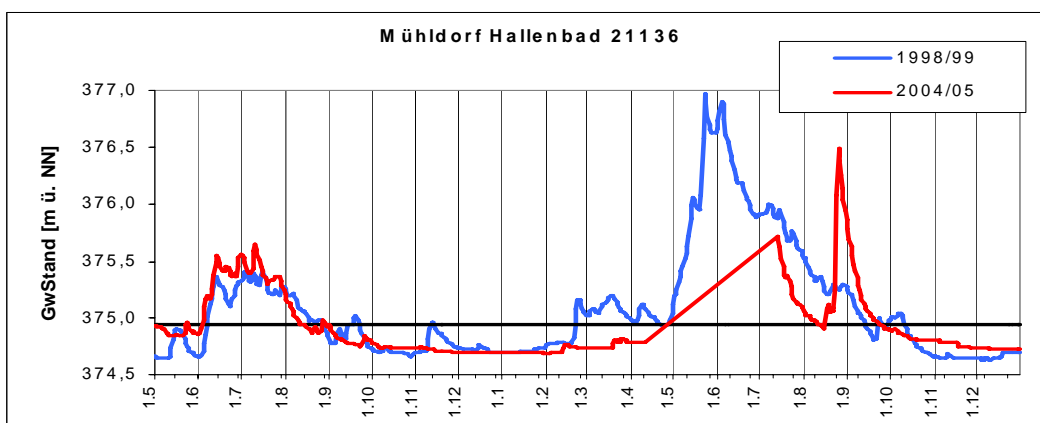


Abbildung 6-32:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Simbach

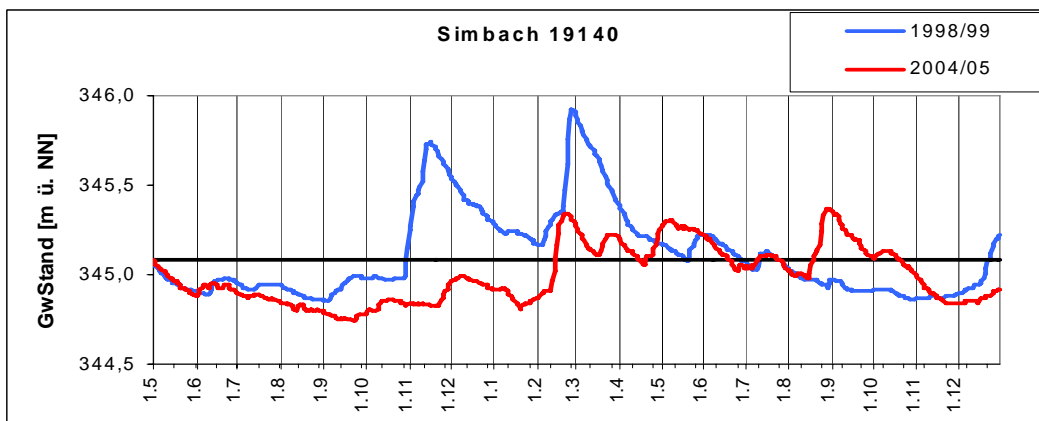
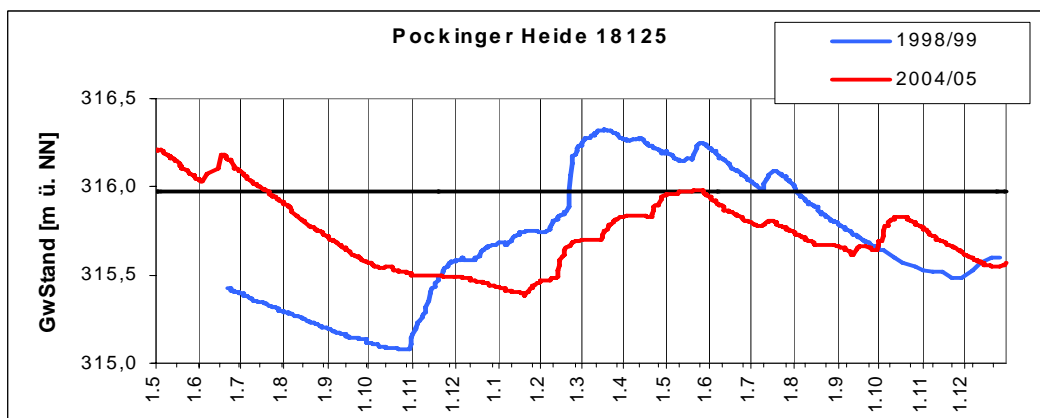


Abbildung 6-33:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Pockinger Heide



6.3 Reaktionen des Grundwassers in der Münchener Schotterebene

Für die Beurteilung der Auswirkungen des Augusthochwassers auf die Grundwasserstände in der Münchener Schotterebene ist es zwangsläufig notwendig, auch gewässerferne Grundwassermessstellen heranzuziehen, da der Grundwasserkörper sehr weiträumig ist und nur zum Teil auf einen Vorfluter orientiert und damit direkt von einem Hochwasserereignis beeinflusst ist. Eine wesentlich größere Rolle spielen hier Faktoren wie Niederschlagsmenge, Vorsättigung des Bodens und Grundwasserflurabstand.

Aufgrund der vorangegangenen niederschlagsarmen Jahre 2003 und 2004 lag der Grundwasserspiegel zu Beginn des Jahres 2005 an allen Messstellen in der Münchener Schotterebene unterhalb des langjährigen Mittels. Der allgemeine Abwärtstrend endete Anfang Februar. Bei einigen Messstellen stellte sich anschließend bis Mitte April/Anfang Mai ein nahezu konstanter Grundwasserstand ein (Anzingersauschütt 16000, Abbildung 6-34 Eglfing Lehrer 16006, Abbildung 6-35 Unterbiberg 16103, Gauting 16249). Bis Oktober erfolgte ein stetiger Anstieg des Grundwasserstandes, so dass an einigen Messstellen das langjährige Mittel wieder erreicht wurde. An den Messstellen Aying 16008 (Abbildung 6-36), Eching 16119 (Abbildung 6-37) und Obermenzing 16130 (Abbildung 6-38) begann dieser Anstieg bereits im Februar. Hier reagierte der Grundwasserstand auch wesentlich rascher auf die Schneeschmelze im Frühjahr und den Starkregen im August. Der Anstieg lag bei maximal 0,5 m und führte an den Messstellen Aying 16008 und Obermenzing 16130 kurzfristig zur Überschreitung des langjährigen Mittels.

6.3.1 Vergleich mit dem Pfingsthochwasser 1999

Auch 1999 lagen die Grundwasserstände zu Beginn des Jahres in der Münchener Schotterebene unter dem langjährigen Mittel, wobei der Tiefststand bereits im November des Vorjahres erreicht war. Im Winterhalbjahr füllte sich der Grundwasserleiter stetig auf, so dass im März überall das langjährige Mittel überschritten wurde. Der durch die Schneeschmelze und die Niederschlagsereignisse bzw. der durch das Hochwasserereignis hervorgerufene Anstieg war mit 0,5 bis 1,0 m deutlich höher als der hochwasserbedingte Anstieg 2005. Auch zeigten 1999 Grundwassermessstellen deutliche Anstiege, die 2005 kaum reagierten. So stieg z. B. an der Messstelle Gauting 16249 der Grundwasserstand im Juni, nach dem Pfingsthochwasser 1999, um über 4,5 m an.

Grundsätzlich folgt in der Münchener Schotterebene aufgrund der trägen Reaktion des Grundwasserleiters auf Starkregenereignisse oder – in Gewässernähe – auch auf Hochwasserereignisse eine länger anhaltende Phase der Auffüllung des Grundwasserleiters.

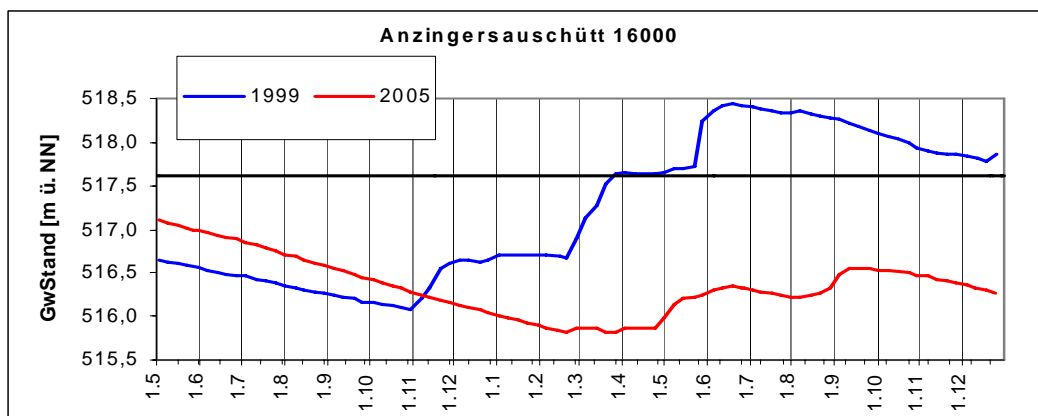


Abbildung 6-34:
Grundwasserstände an
der Messstelle
Anzingersauschütt

Abbildung 6-35:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Eglfing Lehrer

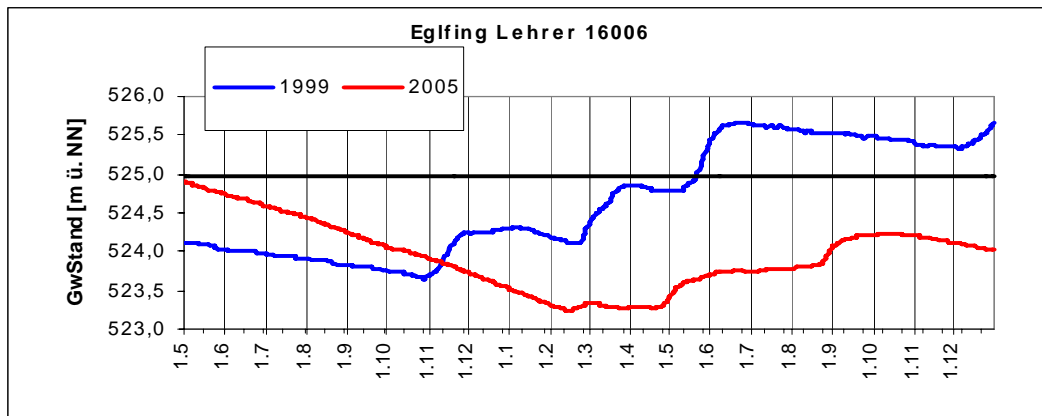


Abbildung 6-36:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Aying

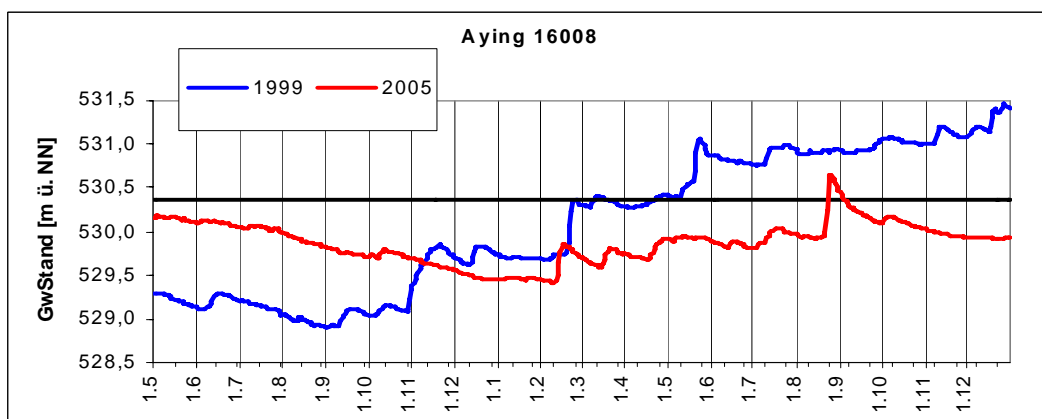


Abbildung 6-37:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Eching

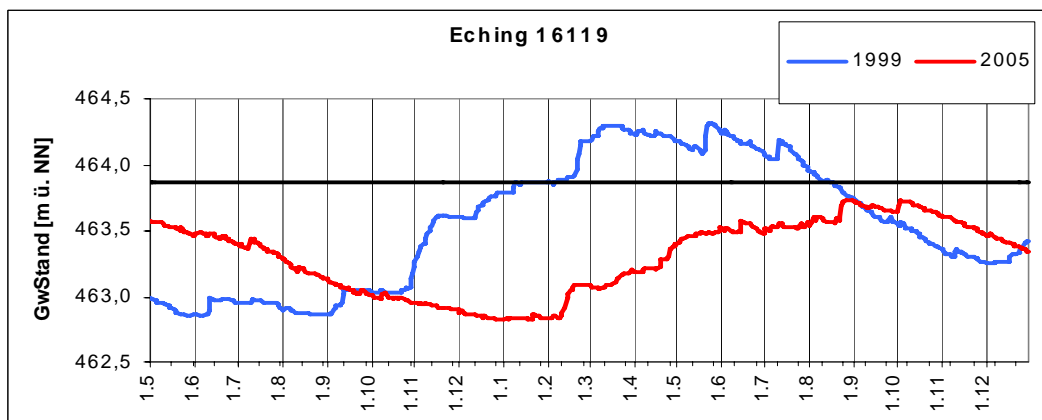
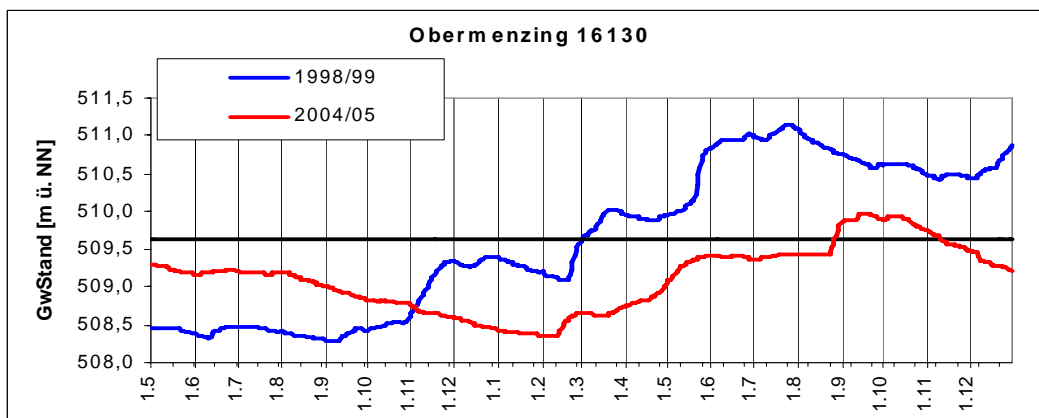


Abbildung 6-38:
Grundwasserstände
an der Messstelle
Obermenzing



7 Quellenangaben

- [1] Ehret, U.(2005): Hochwasser August 2005 – Speichersteuerung Forggensee. Wasserwirtschaftsamt Kempten. Unveröffentlicht.
- [2] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2003): Hochwasser Mai 1999. <http://www.hnd.bayern.de/ereignisse/hw210599/Bericht-HW99.pdf>
- [3] Godina, R.,P.Lalk, P.Lorenz, G.Müller, V.Weilguni (2005): Das Hochwasser in Österreich vom 21. bis 25. August 2005. Veröffentlichung des (Österreichischen) Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserhaushalt. Wien.
- [4] LfU (2006): Endbericht August-Hochwasser 2005 in Südbayern. Unveröffentlicht.
- [5] Vogelbacher, A., S. Roser, K. Daamen (2006): Hochwasservorhersage und Hochwassernachrichtendienst in Bayern. Hochwasserschutz und Hochwassermanagement1, S. 36 - 42, Berlin.
- [6] BWG: Schweizerisches Bundesamt für Wasser und Geologie (2005): Bericht über die Hochwasserereignisse 2005. Veröffentlichungen des Bundesamtes für Umwelt. Biel.
- [7] Maniak, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. 5. Auflage. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- [8] Berliner Wetterkarte e.V., Inst. für Meteorologie der Freien Universität Berlin.
- [9] Rudolf, B. et al. (2006): Hydrometeorologische Aspekte des Hochwassers in Südbayern im August 2005. DWD–Hydrometeorologie. Veröffentlichung des DWD.