

Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft
(Herausgeber und Verlag)
München 2003

Hochwasser Mai 1999
Gewässerkundliche
Beschreibung

**Hochwasser Mai 1999, Gewässerkundliche Beschreibung
München, 2003**

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, 80636 München,
Telefon 089/9214-01, eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staats-
ministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

Nachdruck und Wiedergabe - auch auszugsweise - nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Einleitung	4
1. Meteorologische Ursachen	5
1.1 Wetterentwicklung	5
1.2 Zeitlicher Verlauf und Intensität des Niederschlags	6
1.3 Räumliche Verteilung der Niederschläge vom 20.-22. Mai.....	8
1.4 Vergleich mit früheren extremen Hochwasserregen.....	10
2. Ablauf des Hochwassers	13
2.1 Wellenablauf	13
2.1.1 Iller	13
2.1.2 Isar.....	15
2.1.3 Lech.....	20
2.1.4 Donau	24
2.2 Vergleich mit früheren extremen Hochwasserabflüssen.....	26
3. Statistische Einordnung und Jährlichkeiten	28
Schluss	30
Veröffentlichungen	31

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1.1.1 Verlauf der täglichen Schneehöhe an der Zugspitze und am Wendelstein sowie der täglichen Niederschlagshöhen an der Zugspitze im Mai 1999 (Quelle: DWD).....	5
Abb. 1.1.2 Satellitenbild mit einer Frontenanalyse vom 21. 05. 1999, 04.00 MESZ (Quelle: DWD).....	6
Abb. 1.2.1 Niederschlagssummenlinien an ausgewählten Niederschlagsstationen.....	7
a) Stationen im nördl. Voralpenland b) Stationen im südl. Alpenvorland/Alpen	
Abb. 1.3.1 Niederschlagssumme 20-22. Mai 1999 in Bayern	9
Abb. 1.3.2 a) Wetterradar von 10 Uhr MEZ b) Wetterradar von 18:00Uhr MEZ	10
Abb. 1.4.1 Niederschlagssummen in Bayern für historische Hochwasser.....	11
a) 7. bis 11.Juli 1954 b) 29. bis 31. Mai 1940	
Abb. 2.1.1 Wellenplan Iller.....	14
Abb. 2.1.2 Wellenplan Isar	16
Abb. 2.1.2 a Wellenplan Loisach	18
Abb. 2.1.2 b Wellenplan Ammer/Amper	19



Abb. 2.1.3	Wellenplan Lech	21
Abb. 2.1.3 a	Wellenplan Wertach	23
Abb. 2.1.4	Wellenplan Donau	25
Abb. 2.1.4 a	Rekonstruktion der Ganglinie in Kelheim ohne Deichbruch bei Neustadt	26
Abb. 3	Schätzung der Jährlichkeiten für die an ausgewählten Pegeln der Gewässer 1. Ordnung gemessenen Hochwasserscheitel Pfingsten 1999 und daraus abgeleitet für Gewässerstrecken	29

Anhang

A 1. Wetterkarten

Abb. A.1.1.1 a	Bodenwetterkarte vom 20.05.1999 (Quelle: DWD)	34
Abb. A.1.1.1 b	Bodenwetterkarte vom 21.05.1999 (Quelle: DWD)	34
Abb. A.1.1.1 c	Bodenwetterkarte vom 22.05.1999 (Quelle: DWD)	35
Abb. A.1.1.2 a	Satellitenbild vom 21. Mai 1999, 8:00 UTC (10:00 Ortszeit, MESZ) (Quelle: DWD)	36
Abb. A.1.1.2 b	Satellitenbild vom 21. Mai 1999, 16:00 UTC (18:00 Ortszeit, MESZ) (Quelle: DWD)	36
Abb. A.1.1.3 a	Niederschlagsintensitäten (aus Radardaten abgeleitet) vom 21.05.1999, 10.00 MESZ (Quelle: DLR)	37
Abb. A.1.1.3 b	Niederschlagsintensitäten (aus Radardaten abgeleitet) vom 21. 05. 1999, 18.00 MESZ (Quelle: DLR)	37

A 2. Scheiteltabellen zum Ablauf des Hochwassers

Tab. A.2.1.1	Scheiteltabelle Iller	38
Tab. A.2.1.1 a	Scheiteltabelle Illerzuflüsse (Quelle: Hochwasserlängsschnitt Iller, LfW)	38
Tab. A.2.1.2	Scheiteltabelle Isar	39
Abb. A.2.1.2	Zuflussganglinie zum Sylvensteinspeicher	39
Tab. A.2.1.2 a	Scheiteltabelle Loisach	40
Tab. A.2.1.2.b	Scheiteltabelle Ammer/Amper	40
Tab. A.2.1.3	Scheiteltabelle Lech	41
Tab. A.2.1.3 a	Scheiteltabelle Wertach	41
Tab. A.2.1.4	Scheiteltabelle Donau	42



Zusammenfassung

Das Pfingsthochwasser 1999 war ein meteorologisch und hydrologisch außergewöhnliches Ereignis. An vielen Messstationen in Bayern wurden neue Höchstwerte des Niederschlages und der Wasserstände, bzw. Abflüsse erfasst.

Der meiste Tagesniederschlag fiel am 21.05.1999 mit 243 mm in Wallgau-Obernach. Kritisch war, dass dieser Starkregen auf den durch Vorregen wassergesättigten Boden fiel und bei Intensitäten zwischen 3 bis 30 mm/h im Iller-, Lech- und Isareinzugsgebiet über 48 Stunden anhielt. Zu diesen langanhaltenden Starkniederschlägen kam es durch ein quasi-stationäres Tiefdruckgebiet über den Alpen, das einen nicht abreißenden Strom feucht-warmer Luftmassen von der Adria aus östlicher Richtung nach Bayern brachte. Diese wassergesättigten Wolken trafen auf von Westen nach Bayern drängende atlantische Luftmassen und regneten sich besonders intensiv im Stau an den Alpen aus. Eine ähnliche Wettersituation führte auch 1940 und 1954 zu extremen Hochwassern.

Durch die feuchte Vorperiode und die Schneeschmelze waren die Wasserstände der Flüsse auf einem relativ hohem Ausgangsniveau als der Starkregen einsetzte. Als Reaktion auf die ungewöhnlich hohen Niederschläge stiegen dann in der Nacht von Freitag auf Pfingstamstag die Wasserstände der Wildbäche in den kleineren alpin und voralpin geprägten Einzugsgebieten extrem an. Vor allem im Illereinzugsgebiet wurden dabei Abflüsse mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 500 Jahren überschritten. Im Laufe des Pfingstamstages erreichten die Wasserstände auch an den Oberläufen von Iller, Lech, Ammer und Isar ihre Höchststände. In Kempten wurde am frühen Abend des 22.5.1999 mit etwa 850 m³/s ein Abfluss gemessen, wie er statistisch nur alle 300 bis 400 Jahre zu erwarten ist. Ebenso selten sind die Abflüsse an der Ammer einzuschätzen mit einem Maximum von ca. 650 m³/s in Weilheim am Mittag des 22. Mai. An der Loisach passierte die Hochwasserwelle um ca. 17:30 Uhr Schlehdorf mit 360 m³/s (Jährlichkeit: 100). Durch den Rückhalt von 58 Mio. m³ Wasser im Sylvensteinspeicher konnten in Bad Tölz und München die Abflüsse auf ein 20-50 jährliches Ereignis reduziert und damit schwere Schäden verhindert werden. An Lech und Wertach verminderten die Stauseen ebenfalls die Wellenscheitel, es stand aber weniger Rückhalteraum zur Verfügung als an der Isar. Daher flossen durch Augsburg am Lech immer noch 1500 m³/s (Jährlichkeit 50-100), 450 m³/s davon brachte die Wertach. Diese Abflüsse bildeten nach dem Zusammenfluss mit den ca. 1060 m³/s aus der Donau bei Donauwörth am 24.05.1999 einen Scheitel von 2270 m³/s in Ingolstadt aus und führten zum Dambruch bei Neustadt. Dieser Abschnitt der Donau war vom Hochwasser am stärksten betroffen. Da die nördlichen Zuflüsse Naab und Regen kein Hochwasser führten, stiegen die Abflüsse auf dem Teilstück bis zur Isar nur noch gering an. Die Isar trug zur Hochwasserwelle mit etwa 1000 m³/s bei. Die Hochwasserwelle vom Inn war nicht sehr hoch und erreichte Passau bereits am 22.05.1999. Erst am 26.05.1999 traf der Scheitel der Donau in Passau ein und am Pegel Achleiten lag er mit 5400 m³/s im Bereich des 5-10 jährlichen Hochwassers.

Beim extremen Hochwasser 1999 kam es in weiten Bereichen Südbayerns zu Überflutungen und Dambrüchen, die großen Schaden anrichteten und Menschen gefährdeten.



Einleitung

Extreme Wetterverhältnisse am Pfingstwochenende 1999 und bereits Mitte Mai vorausgegangene Starkniederschläge im alpinen Raum führten zu einem der größten Hochwasserereignisse in den letzten 100 Jahren in Bayern. Außergewöhnlich hohe Abflüsse verursachten Deichbrüche und großflächige Überschwemmungen. Rund 100.000 Personen waren betroffen. Das Hochwasser forderte 5 Menschenleben und ca. 1000 Personen mussten evakuiert werden. Die Höhe der gemeldeten Schäden beträgt rd. 657 Mio. DM. Im alpinen und voralpinen Bereich kam es durch Erosion zu Hangrutschungen, Geschiebe- und Wildholztransport. Das Pfingsthochwasser 1999 war ein Ereignis, das an die Wasserwirtschaft hohe Anforderungen gestellt hat und weiter stellen wird.



1. Meteorologische Ursachen

Das Pfingsthochwasser war eine direkte Folge der starken Regenfälle in den Nordalpen, dem Alpenrand und Teilen des Alpenvorlandes. Den Auslöser für den dauerhaften Starkregen bildete das Zusammentreffen ostatlantischer feuchtkalter Luft mit quasi-stationären Ausläufern eines Adriatiefs in Staulage an den Alpen. Verschärfend kam hinzu, dass Regenfälle und Schneeschmelze in der ersten Maihälfte bereits vor Pfingsten zu einer Wassersättigung der Böden führten, so dass der Starkregen vom 20. bis 22.05.1999 in Teilgebieten nahezu vollständig zum Abfluss kam.

1.1 Wetterentwicklung

Die Vorperiode zum Starkregenereignis war bereits sehr feucht. Am 11.05.1999 lag die Front eines Tiefdruckgebietes von Polen quer über Süddeutschland. An dieser Luftmassengrenze bildete sich ein breites Niederschlagsgebiet mit mäßigem, örtlich starkem Regen aus. Es regnete bis in Höhenlagen um 2400 m NN. Die Front blieb nahezu ortsfest und die Niederschlagsgebiete zogen bis zum 15.05.1999 parallel zur Front von West nach Ost über den bayerischen Alpenraum.

Diese starken Regenfälle in der Woche vor dem Pfingsthochwasser gingen mit dem Abschmelzen der Schneedecke bis in Höhen von 2000 m NN einher. Am Wendelstein (1835 m NN) zum Beispiel sank die Schneehöhe bis zum 19.05.1999 von mehr als 40 cm Schnee zu Beginn des Monats auf weniger als 5 cm (s. Abb. 1.1.1).

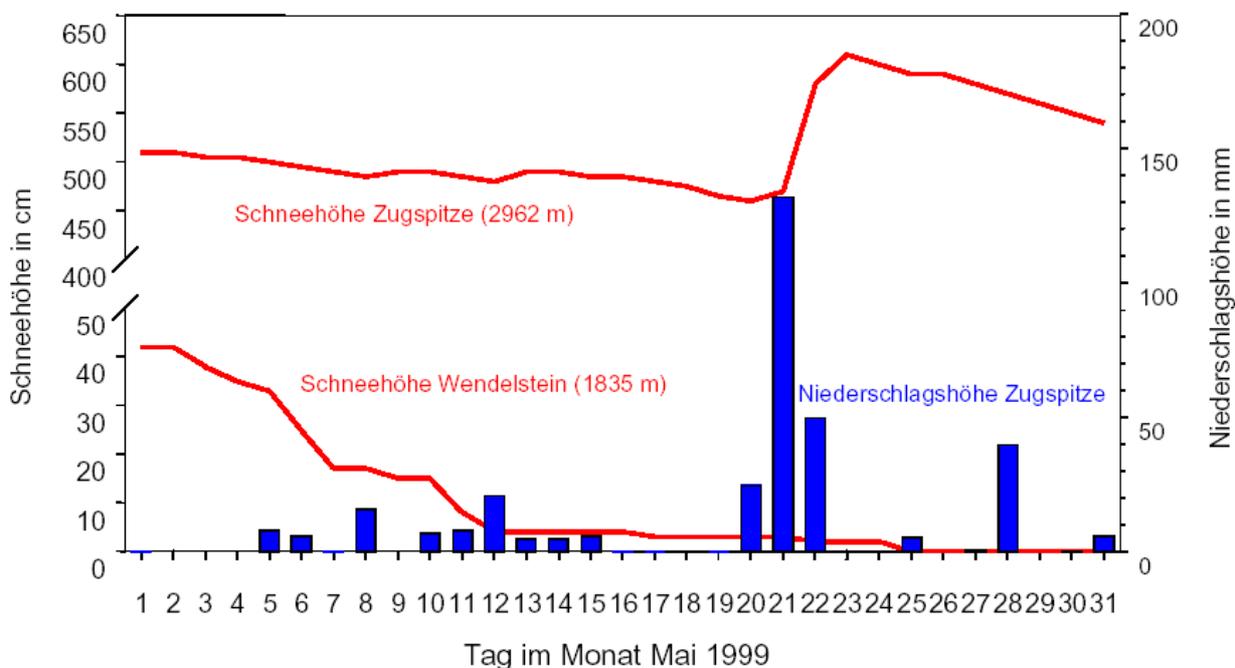


Abb. 1.1.1 Verlauf der täglichen Schneehöhe an der Zugspitze und am Wendelstein sowie der täglichen Niederschlagshöhen an der Zugspitze im Mai 1999 (Quelle: DWD)



Am 20.05.1999 lenkte ein ostatlantisches Hoch an seiner Nordostflanke kühle, feuchte Luftmassen nach Mitteleuropa. Gleichzeitig lag Süddeutschland und der westliche Mittelmeerraum unter einem ausgeprägten Höhentrog, der eine Labilisierung der feuchten Luftmassen bewirkte. Im Bodendruckniveau bildete sich ein Teiltief über Oberitalien und schließlich eine von der Adria bis zum Nordosten Deutschlands reichende Tiefdruckrinne, die strömungsgemäß feuchte, warme Luft vom Balkan heranzuführte und an der Rückseite des Bodentiefs zu den Alpen lenkte (s. Abb. 1.1.2). Durch das Aufgleiten der feuchtwarmen auf die kühlere atlantische Luft sowie die erzwungene Hebung durch die Strömungsblokkierung der Alpen (Nordstau), etablierte sich über 2 bis 3 Tage ein ortsfestes Starkregenband über Süddeutschland.



Abb. 1.1.2 Satellitenbild mit einer Frontenanalyse vom 21. 05. 1999, 04.00 MESZ (Quelle: DWD)

Die Abbildung zeigt das Wolkenband einer Okklusion (violetter Linienzug über Südbayern, Tschechien und Ungarn), die mit ihrer abgehobenen feuchtwarmen Luft aus dem Mittelmeerraum zu diesen Niederschlägen beigetragen hat. Die Abbildung besteht aus einer meteorologischen Analyse, der ein Satellitenbild unterlegt wurde.

1.2 Zeitlicher Verlauf und Intensität des Niederschlags

In der Vorperiode fiel der meiste Regen in den 6 Tagen vom 11.05. bis 17.05.1999 mit einer Niederschlagssumme von 154 mm in Oberstdorf, gefolgt von Kempten mit 135 mm und Garmisch-Partenkirchen mit 112 mm. Herausragende Tagessummen gab es mit 59 mm am 11.05.1999 und 63 mm am 12.05.1999 nur in Oberstdorf; sonst wurden verbreitet 20 bis 30 mm, vereinzelt auch 40 mm überschritten. Nach Osten nahm der Niederschlag ab. Das eigentliche Niederschlagsereignis folgte im Zeitraum vom 20. bis 21.5.1999, am 22.5.1999 fielen nur lokal am Alpenrand größere Summen Niederschlag. Am 23. und 24.05.1999 traten keine nennenswerten Niederschläge mehr auf. Bei den Tagessummen wurden am 21.5.1999 die höchsten Werte aufgezeichnet.

Am 20.5.1999 begann der Niederschlag mit mäßiger Intensität, aber der flächenhaft größten Ausdehnung des Niederschlagsgebietes. Es erstreckte sich von Ostbayern bis zur Isar, aber auch über Nordbayern. Dort fielen vor allem im Regeneinzugsgebiet größere Niederschlagsmengen. Am zweiten Tag traten die höchsten Intensitäten des Nie-



erschlags bei Überregnung des Iller- und Isareinzugsgebietes auf. Am 22. Mai ließ die Intensität des Niederschlags nach, nur am Alpenrand wurden noch stärkere Niederschläge verzeichnet, die durch von Westen nachströmende Kaltluft verursacht wurden.

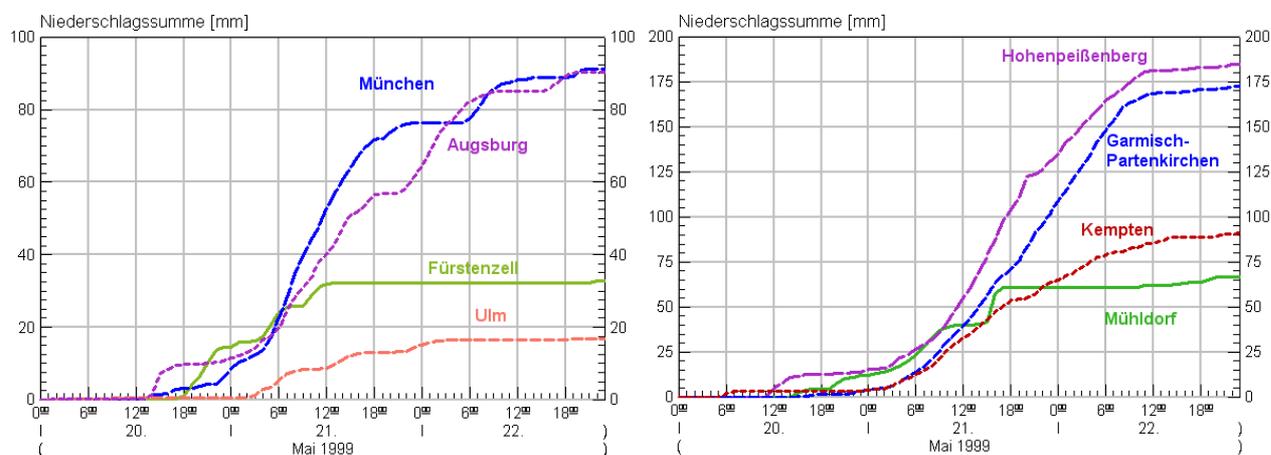


Abb. 1.2.1 Niederschlagssummenlinien an ausgewählten Niederschlagsstationen
a) Stationen im nördl. Voralpenland b) Stationen im südl. Alpenvorland/Alpen

Der zeitliche Verlauf der Niederschläge lässt sich gut an den Summenlinien ausgewählter Niederschlagsstationen im südlichen Donaeinzugsgebiet nachvollziehen (s. Abb. 1.2.1). Am 20. Mai waren von den abgebildeten Stationen bereits die östlichen (Mühldorf und Fürstzell) und weiter nördlich gelegenen Stationen im Isar bzw. Lech-Gebiet (München, Augsburg und Hohenpeissenberg) betroffen. Dort fielen bis in die Morgenstunden des 21. Mai bereits um 20 mm Niederschlag, während an den westlichen Stationen Ulm und Kempten sowie direkt an den Alpen im Isareinzugsgebiet (Garmisch-Partenkirchen) der Regen zu dieser Zeit erst einsetzte. An den östlichen Stationen endete das Ereignis mit dem Abwandern des Niederschlaggebietes nach Westen, wie an der Summenkurve von Fürstzell am 21. Mai mittags und etwas später an der weiter südwestlich gelegenen Station Mühldorf zu sehen ist. Zu dieser Zeit fanden an den anderen Stationen die intensivsten Niederschläge statt. Im Westen, bei Ulm, endeten die Niederschläge um Mitternacht. Nur im Isar- und Lecheinzugsgebiet und an den Alpen hielten die intensiven Niederschläge noch an bis sie sich gegen Mittag des 22. Mai auflösten bzw. abschwächten. Im Vergleich der Stationen im nördlichen Voralpenland mit denen im südlichen Voralpenland (links) zeigt sich, dass über den gesamten Zeitraum an den weiter südlich gelegenen Stationen (rechts) in der Regel etwa doppelt soviel Regen gefallen ist wie an den nördlichen (in der linken Abbildung ist die Skalierung halbiert).

Die Regenrate lag verbreitet zwischen 3 und 10 mm/h (z. B. München) und vereinzelt zwischen 10 und 30 mm/h (z. B. Hohenpeissenberg). Dies sind Werte, die eine Jährlichkeit von 10 bis 50 Jahren besitzen. Die hohen Regenraten hielten über 48 h in einem relativ schmalen Band der Starkregenfront an.

Der meiste Niederschlag fiel am 21. 05.1999 mit 243 mm in Wallgau-Obernach. Auch in Hindelang-Hinterstein wurde an diesem Tag mit 234 mm mehr Regen registriert, als



sonst im gesamten Monat Mai üblich ist (mittlerer Maniederschlag der Periode 1961 – 1990:178 mm). Der bisherige Tageshöchstwert von 137,2 mm in Hindelang-Hinterstein wurde am 31.05.1940 gemessen. Weitere Stationen, die am 21.05.1999 deutlich über 150 mm Niederschlag verzeichneten, sind: Kochel-Einsiedel mit 228 mm, Wertach mit 184 mm, Oberstdorf mit 163 mm, Mittenwald und Jachenau mit 160 mm. Auf dem Hohenpeißenberg regnete es 138 mm in 24 Stunden, in Reutte sogar in nur 12 Stunden 148 Liter Regen pro Quadratmeter (Quelle: Deutscher Wetterdienst).

In Lagen um 3000 Meter Höhe fiel der Starkniederschlag als Schnee. Der Niederschlag vom 20.-22.05. in Höhe von 207 mm führte daher auf der Zugspitze zu einem markanten Anstieg der Schneehöhe von 470 cm am 21.05. auf 610 cm am 23.05.99. So große Schneehöhen wurden seit 1965 im Mai nicht mehr gemessen.

Insgesamt wurden an einigen Stationen neue Rekordwerte des Tagesniederschlags erfasst. Die 48 h-Niederschläge am 21. und 22. 05. von 258 mm in Hindelang-Hinterstein haben eine Jährlichkeit von mehr als 250 Jahren, die 72 h-Niederschläge des Hohenpeißenberg mit 186 mm eine Jährlichkeit von ca. 100 Jahren, von Garmisch-Partenkirchen mit 176 mm eine Jährlichkeit von 75 Jahren und die 24 h-Niederschläge von Obergünzburg mit 93 mm eine Jährlichkeit von 100 Jahren. Flächendeckend sind in dieser Niederschlagsperiode Zweitagesniederschläge einer Jährlichkeit von 50 bis 100 Jahren gefallen, vereinzelt lagen die Jährlichkeiten bei größeren Werten. Der Monat Mai 1999 hat neue Rekordwerte an Monatsniederschlägen, besonders im westlichen Oberbayern, gebracht.

1.3 Räumliche Verteilung der Niederschläge vom 20.-22. Mai

Abbildung 1.3.1 zeigt die räumliche Verteilung der Niederschlagssumme über den Zeitraum vom 20.5. bis zum 22.5.1999 in Bayern. Anhand dieser Darstellung wird deutlich, dass die Niederschläge zu den Alpen hin zunehmen und die Regenschwerpunkte im Staubebereich der Alpen, insbesondere im Oberallgäu und im Werdenfelser Land liegen. Im südlichen Donaueinzugsgebiet zwischen Lech und Isar erstreckten sich die Starkregen mit über 100 mm in 3 Tagen am weitesten nach Norden. Im Einzugsbereich des Lech und der Isar dauerten die Niederschläge auch am längsten an und es traten die größten Intensitäten auf. An den Summenlinien der Abbildung 1.2.1 sieht man, dass das Iller-, bzw. Inngebiet nur max. 24 Stunden überregnet wurde, während das Isareinzugsgebiet von Dauerregen, der z. T. länger als 48 Stunden andauerte, betroffen war. Daher liegt dort die flächenhaft größte Ausdehnung der Niederschlagssummen über 160 mm.



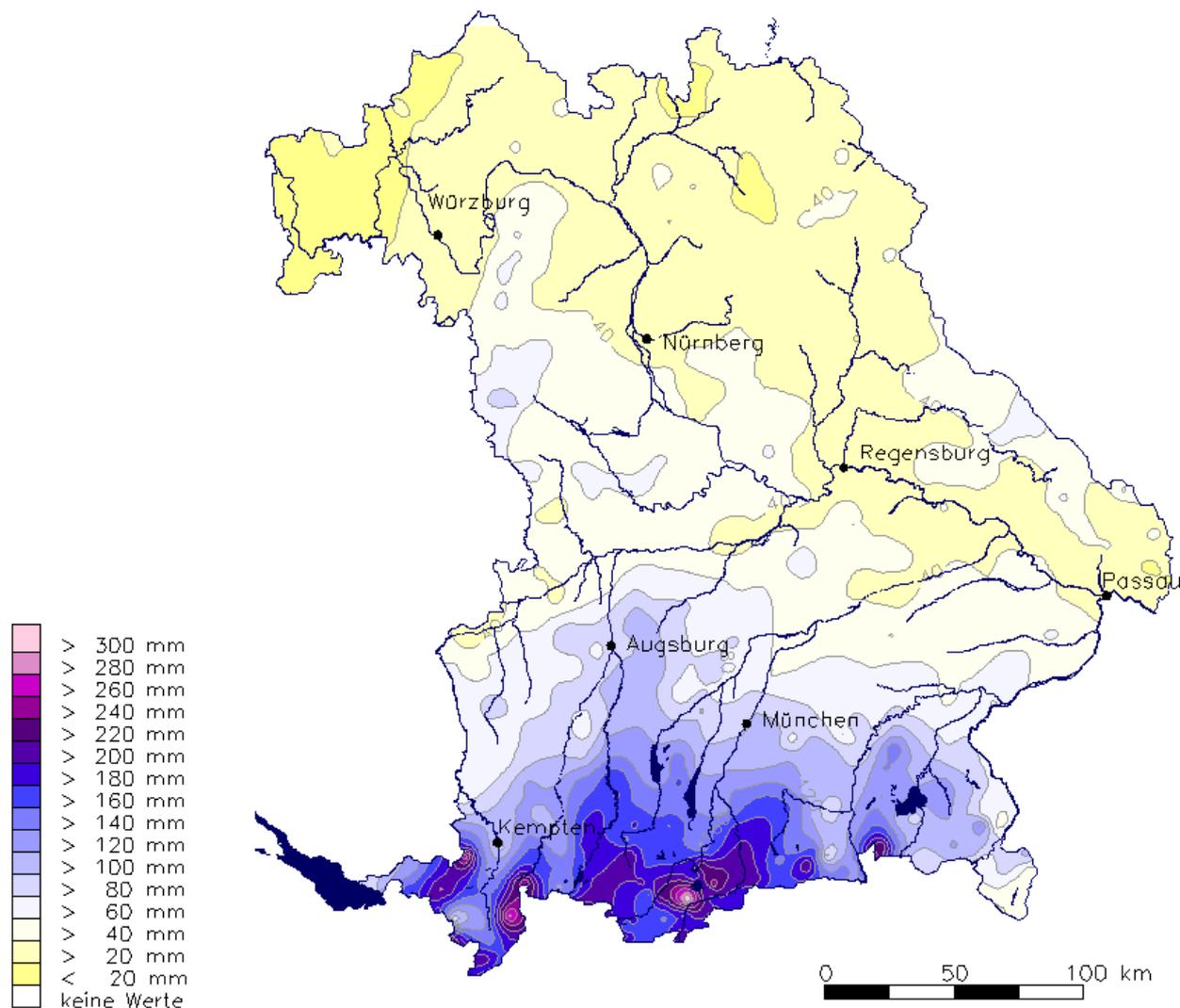


Abb. 1.3.1 Niederschlagssumme 20-22. Mai 1999 in Bayern (Kartenbasis ca. 1000 Messwerte)

Die sich verändernde räumliche Verteilung der Niederschläge lässt sich auch anhand des Wetterradars verfolgen. Vom 20.05. bis zum Morgen des 21.05. erstreckte sich das Niederschlagsfeld über ganz Bayern, wie z.B. das Wetterradarbild vom 21.05. 10 Uhr (Abb. 1.3.2 a) und das Satellitenbild vom 21. 05. 4 Uhr (Abb. 1.1.2) zeigen. Im Laufe des 21.05.1999 konzentrierte sich der Niederschlag zunehmend auf das schmale Band der Starkregenfront, in der die kühlen Atlantikluftmassen auf die warmen Mittelmeerluftmassen trafen, und auf das südl. Donaeinzugsgebiet, in dem durch den Anstau der Wolken am Alpennordrand weiter intensive Niederschläge fielen. Das Radarbild (Abb. 1.3.2 b) zeigt den Anstau an den Alpen und die Lage der Starkregenfront um 18:00 Uhr mit einem Ausläufer über der Frankenhöhe.



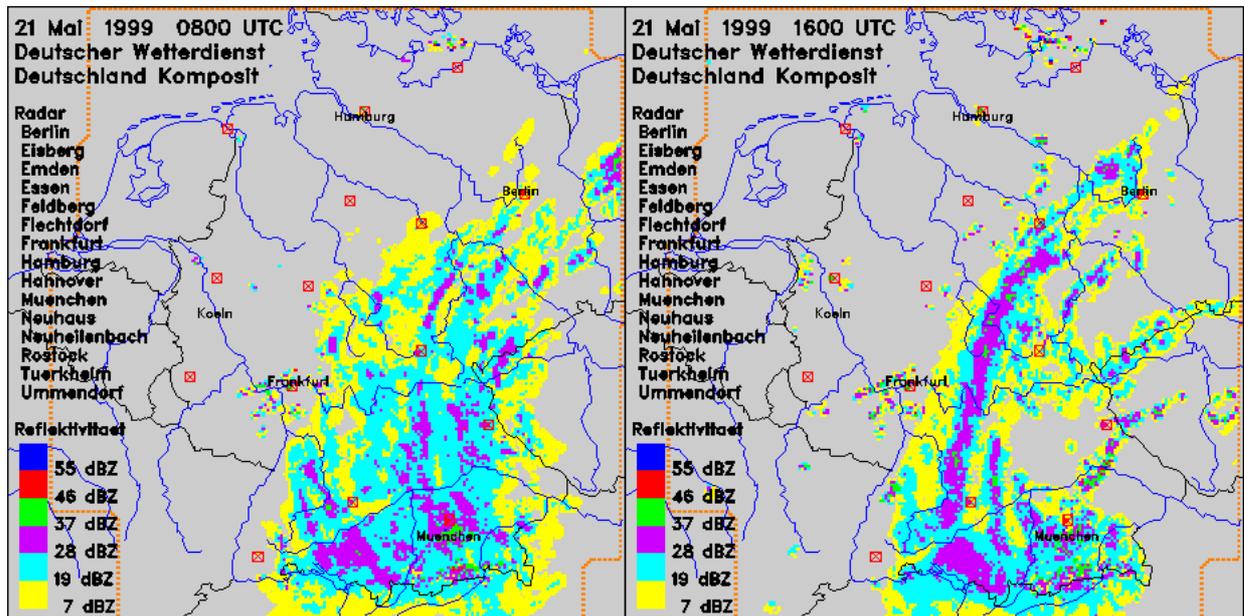


Abb. 1.3.2.a) Werradar von 10:00 Uhr MEZ b) Werradar von 18:00Uhr MEZ

1.4 Vergleich mit früheren extremen Hochwasserregen

Das Pfingsthochwasser 1999 war das Resultat einer durchaus häufig auftretenden Wetterlage, die allerdings durch das Zusammenspiel mehrerer ungünstiger Faktoren zu einem extremen Niederschlagsereignis führte. Sich nach Norden verlagernde adriatische Tiefdruckgebiete sind bekannt für ihr Gefahrenpotential zur Hochwasserentstehung, da die warmen Luftmassen über dem Mittelmeer besonders viel Feuchtigkeit aufnehmen, die beim Aufeinandertreffen mit kühlerer Luft über Süddeutschland kondensiert und ausregnet. Zusätzlich wird die Luftmasse durch die Rückseitenströmung (Westflanke) des Tiefdruckgebietes von Norden auf die Alpenbarriere gelenkt, gestaut und regnet verstärkt durch den erzwungenen Hebungsprozess aus. Je länger diese Staulage anhält, desto mehr Niederschlag fällt, da in der Regel nachströmende Luft neue Feuchtigkeit bringt.

Vergleichbare Wetterlagen führten daher auch 1940 und 1954 (Wetterlage V b, nordöstliche Zugrichtung des Adriatiefs) zu außergewöhnlichen Hochwassern in Bayern. Das Ereignis 1940 ist von der Genese, der Dauer, aber auch von der Niederschlagsverteilung am besten vergleichbar mit dem Ereignis vom Mai 1999. Es regnete wie im Mai 1999 zwei Tage (29. und 30. Mai) intensiv, bevor der Niederschlag am dritten Tag bei geringerer Intensität gegen Mittag endete. Auch 1940 wurde das Isareinzugsgebiet südlich von München besonders intensiv überregnet. Es war - wie auch 1999 - 2 Tage von Starkniederschlägen um 100 mm pro Tag betroffen. Daher konzentrieren sich die Niederschlagsmaxima über die Gesamtdauer des Ereignisses (29.-31. Mai) auf das südliche Isareinzugsgebiet. Der höchste Tagesniederschlag wurde jedoch am 31. Mai mit 215 mm in Sachrang an der Alz (Inneinzugsgebiet) festgestellt und im Isareinzugsgebiet nur der zweithöchste mit 166 mm in der Jachenau. Niederschläge um 150 mm traten verbreitet am Alpenrand im Isareinzugsgebiet auf. (Quelle: Das Hochwasser im Bayerischen Donaueinzugsgebiet im Mai-Juni 1940).



Im Vergleich mit den 1940 vorhandenen Messwerten traten 1999 deutlich höhere Niederschlagsmengen auf (s. Kap. 1.3). Da für die Auswertung aber nur etwa ein Zehntel der heutigen Stationsanzahl zur Verfügung stand, war damals die Wahrscheinlichkeit, Extremwerte zu messen, geringer. Dennoch wurden in Talham (Mangfall) mit Intensitäten von 40 mm in der Stunde kurzzeitig extremere Niederschlagsintensitäten gemessen als 1999.

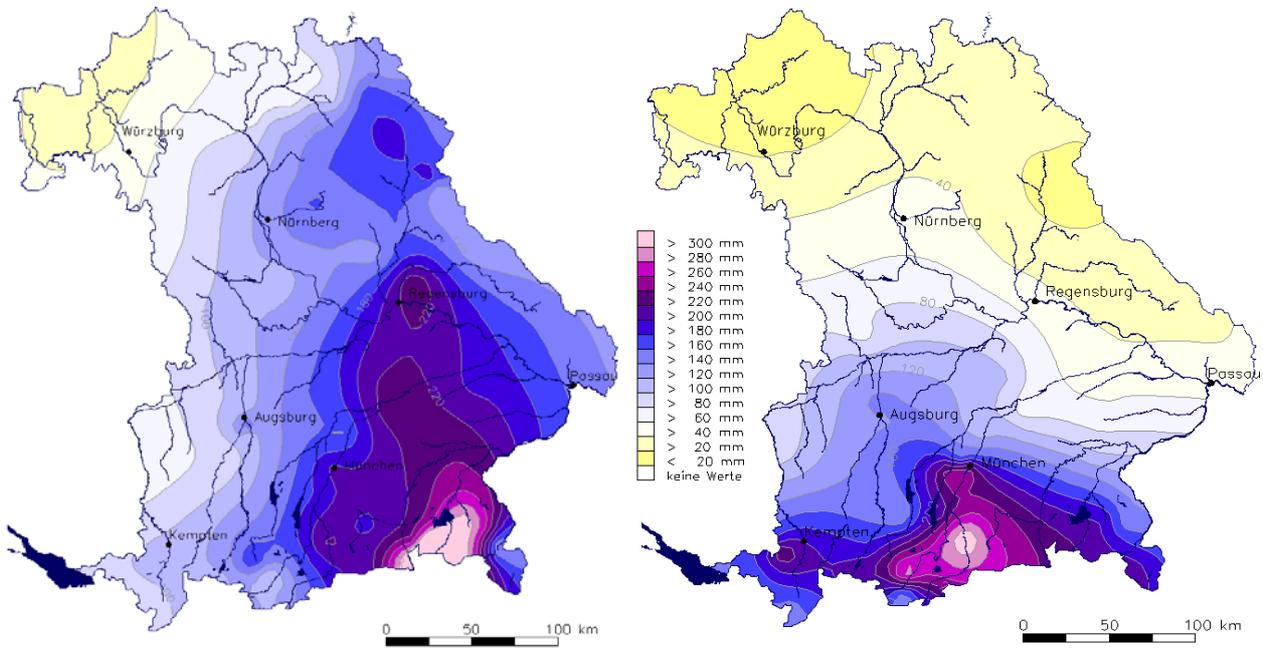


Abb. 1.4.1 Niederschlagssummen in Bayern für historische Hochwasser

a) 7. bis 11. Juli 1954

b) 29. bis 31. Mai 1940

Kartenbasis 1954: 100 Messwerte, Stationen II. und III. Ordnung und Max.

Kartenbasis 1940: 65 Messwerte

Im Vergleich mit dem Hochwasser 1954 kristallisieren sich andere Regenschwerpunkte als 1999 heraus, da das Tiefdruckgebiet Bayern weiter östlich traf. Ganz generell wurden dabei höhere maximale Niederschlagsmengen als 1999 registriert. Der größte Tagesniederschlag betrug 260 mm und fiel am 9.7.1954 in Stein im Priental (Inngebiet). Das sind etwa 7 Prozent mehr als der höchste Tagesniederschlag von 1999 mit 243 mm in Wallgau-Obernach. Neben den zum Teil höheren Tagesniederschlägen war auch die Niederschlagssumme über das Ereignis höher (Stein: 488 mm). Das Ereignis 1954 dauerte jedoch auch vom 7. bis zum 11. Juli, d.h. zwei Tage länger als 1999. Ähnlich wie Pfingsten 1999 ging 1954 eine lange Vorregenperiode voraus, die mit einem Kaltlufteinbruch am 27. Juni begann und zu anhaltenden Niederschlägen führte. Eine Besonderheit war, dass am 1. Juli erstmals eine V b Wetterlage mit kräftigem Regen auftrat und zu einem Hochwasser führte. Auch an den Folgetagen kam es verbreitet zu Regen, so dass schon vor Eintritt des Niederschlagsereignisses vom 7. bis 11. Juli Niederschläge in Höhe des langjährigen Monatsmittels gefallen waren. Damit kam der katastrophale Regen zu einem kritischen Zeitpunkt, als die Wasserstände noch vom Vorregen sehr hoch waren. Das eigentliche Ereignis vom 7. bis zum 11. Juli brachte in nahezu ganz Bayern, mit Ausnahme des Nordwestens, Niederschlagsmengen über 100 mm; in den Gebieten südlich des Regen und östlich der Isar traten sogar verbreitet 200 mm und im Chiemgau über 300 mm auf (vgl. Abbildung 1.4.1a). Summiert zu dem Vorregen ergab das Rekordwerte. An der Station

Stein wurde z. B. das langjährige Monatsmittel vom Juli (1901-1950) von 271 mm mit 777 mm um ein Vielfaches übertroffen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass 1954 sowohl die Ausdehnung als auch die Niederschlagssumme wesentlich größer als 1999 und 1940 waren. Das Hochwasser 1954 war vor allem für das Inneneinzugsgebiet das höchste des letzten Jahrhunderts. Im Illereinzugsgebiet war das Ereignis 1999 ausgeprägter. Das liegt daran, dass 1954 ein deutlicher Ost-West-Gradient für ein Abnehmen der Niederschläge nach Westen hin sorgte, während sich 1940 und 1999 der Regen auf den Süden konzentrierte und 1999 dabei eher eine Zunahme der Niederschlagssummen Richtung Westen erfolgte.

Das Augusthochwasser 2002 ist das jüngste Beispiel für eine solche kritische Wetterlage. Vor einer Wiederholung eines Ereignisses wie 1954 wurde Bayern 2002 hauptsächlich auf Grund einer weiter nord-östlich verlaufenden Zugrichtung des Tiefdruckgebietes verschont. Lediglich das Regeneinzugsgebiet lag voll unter Einfluss dieser Wetterlage, so dass dort ein extremes Hochwasser entstand.



2. Ablauf des Hochwassers

2.1 Wellenablauf

Zu Beginn des Starkniederschlags am Pfingsten 1999 waren vom Hochwasser um Christi Himmelfahrt die Böden noch gesättigt und die Wasserstände der Flüsse noch erhöht. Daher entwickelten sich in den Flüssen zwischen Alpenrhein und Inn als Reaktion auf den Niederschlag schnell Hochwasserwellen, die ab dem 23.5.1999 auch an der Donau zu teils erheblichen Überschwemmungen führten.

In den kleineren alpin und voralpin geprägten Einzugsgebieten wurden die höchsten Wasserstände und Abflüsse in der Nacht von Freitag, 21.05.1999, auf Pfingstsamstag, 22.05.1999, erreicht. Die Wildbäche führten extreme Abflüsse, die zu Erosionen, verbunden mit starkem Geschiebe- und Wildholztransport sowie Hangrutschungen führten. Aus den alpinen Einzugsgebieten sammelten sich die hohen Abflüsse dann am Pfingstsamstag in Iller, Lech, Ammer und Isar. Dort stiegen die Flüsse bis zum Abend in den Oberläufen auf Wasserstände und Abflüsse an, wie sie im Mittel nur alle 200 bis 300 Jahre überschritten werden. Betroffen waren auch die Zuflüsse zu den Wasserspeichern Grüntensee, Forggensee und Sylvensteinsee. Die Speicher konnten einen beträchtlichen Teil des Zuflusses zurückhalten. Die Abflüsse der südlichen Donauzuflüsse führten vor allem im Donauabschnitt zwischen Lechmündung und Regensburg zu extremen Wasserständen. Im Einzugsgebiet der Mangfall führten die nach Osten hin abnehmenden Niederschläge immerhin noch zu einem 20 - 50 jährlichem Hochwasser, was sich auch im Inn unterhalb der Einmündung bei Rosenheim bemerkbar machte. Ein weiterer Niederschlagsschwerpunkt mit allerdings geringeren Niederschlagssummen im Bereich der Frankenhöhe führte in Wörnitz, Fränkischer Rezat und oberer Altmühl zu einem kleineren Hochwasser.

Der Ablauf der Hochwasserwellen ist für die betroffenen Einzugsgebiete in Wellenplänen dargestellt. In den Wellenplänen liegen die Scheitel der Ganglinien auf Höhe des jeweiligen Flusskilometers des Hauptgewässers. Zusammengehörige Scheitel sind jeweils verbunden dargestellt, die Maxima mit Kreisen markiert und die relevanten Scheitelabflüsse angegeben.

2.1.1 Iller

In Abb. 2.1.1 ist der Wellenablauf an der Iller dargestellt. Es wird deutlich, dass der Abfluss mit Einsetzen des Niederschlags am 21.5.1999 im alpinen Bereich vor allem in den östlichen Einzugsgebieten rasch auf große Höhen anstieg, z. B. am Pegel Reckenberg an der Ostrach ($A_{E0} = 127 \text{ km}^2$) auf einen Scheitel von ca. $240 \text{ m}^3/\text{s}$. Diese Wassermengen konnten nicht mehr im Flussbett abgeführt werden. Deiche wurden überströmt und brachen, außerdem stürzten mehrere Brücken ein. Allein an der Ostrach und oberen Iller bis Kempten wurden insgesamt 2678 ha überflutet, davon ca. 383 ha bebaute Fläche. Durch die extreme Höhe der Zuflüsse verdoppelte sich der Abfluss in der Iller auf der Strecke zwischen Sonthofen ($A_{E0} = 388 \text{ km}^2$) und Kempten ($A_{E0} = 955 \text{ km}^2$) von etwa $450 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $850 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Scheitel wurde in Sonthofen um 11:30 Uhr und in Kempten um 18:00 Uhr erreicht.



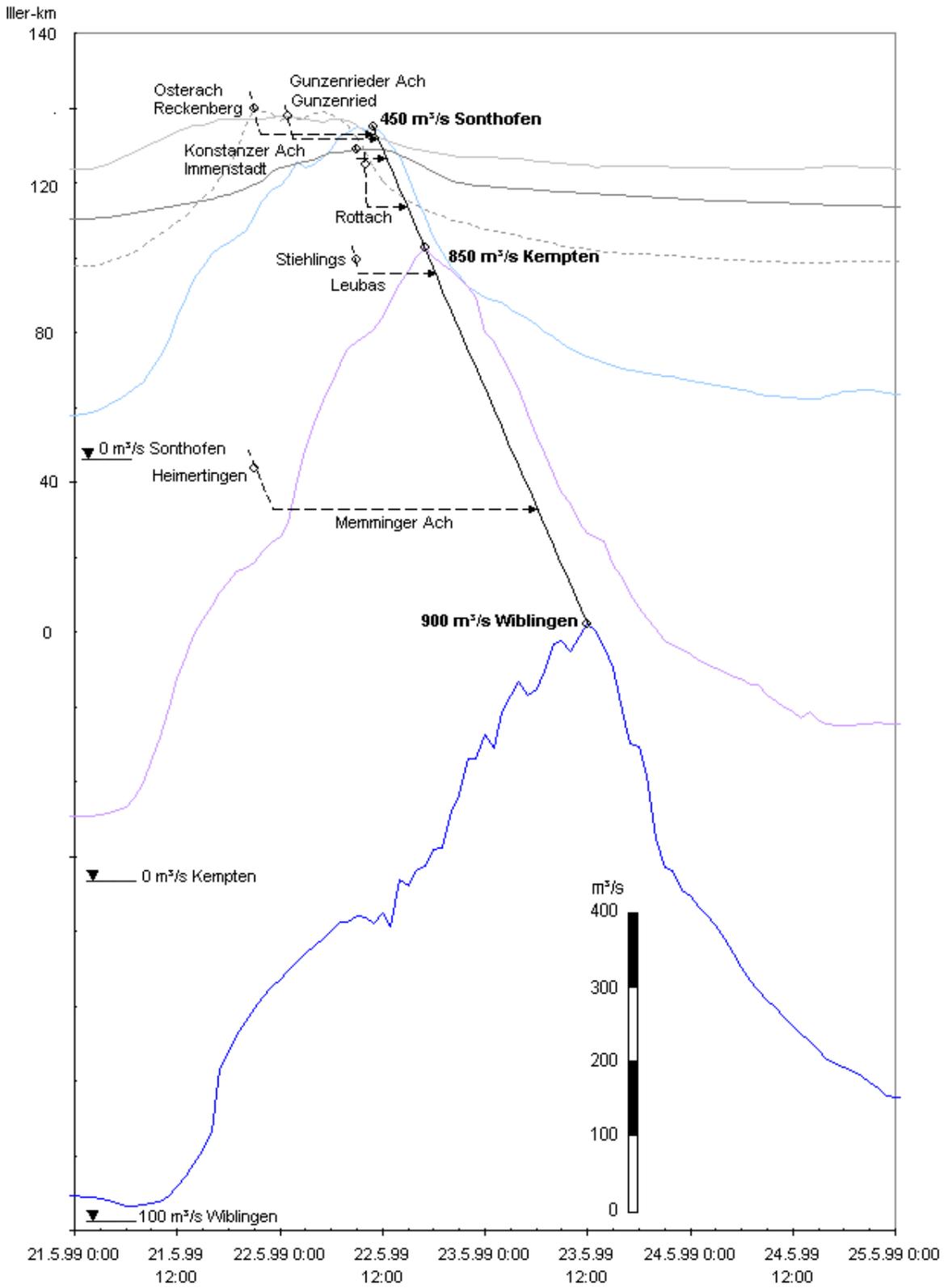


Abb. 2.1.1 Wellenplan Iller



Das Niederschlagsereignis war hauptsächlich auf den alpinen Bereich beschränkt, daher nahm der Abfluss unterhalb von Kempten kaum noch zu. Der Beitrag der Zuflüsse unterhalb von Kempten liegt nur noch um 1 % (s. Anhang Tabelle A.2.1.1), entsprechend fällt die Hochwasserspende von 890 l/s*km in Kempten auf 441 l/s*km in Wiblingen ab. Am 23.5.1999 um 12:30 Uhr erreicht der Wellenscheitel der Iller mit 900 m³/s die Donau und sorgt von Altenstadt bis Neu-Ulm für Überschwemmungen.

2.1.2 Isar

Sylvensteinspeicher

Am Pfingstsonntag, den 22.05. 1999 um 3:00 Uhr wurde der größte bisher gemessene Zufluss zum Sylvenstein-Speicher von etwa 920 m³/s registriert (s. Anhang Abb. A.2.1.2). Bezogen auf den Speicherzufluss entspricht das in etwa einem 150- bis 200 jährlichen Hochwasserereignis. Um den Hochwasserschutz für die Isaranlieger Bad Tölz und München zu gewährleisten, wurde die Speicherabgabe zum Zeitpunkt des Zuflussscheitels über mehrere Stunden auf 30 - 40 m³/s reduziert. Zu dieser Zeit musste auch mit Hochwasserbeiträgen in schadensverursachender Höhe aus den Zwischeneinzugsgebieten gerechnet werden. Durch den Einsatz eines Hochwasserbewirtschaftungsmodells konnte erreicht werden, dass zur Zeit der Spitzenabflüsse in Bad Tölz der größte Rückhalt durch den Sylvensteinspeicher erfolgte und somit der Scheitel drastisch reduziert wurde. Es wurden rd. 58 Mio m³ Wasser von insgesamt 140 Mio m³ (in 144 Std.) zurückgehalten. Dabei stieg der Speicherspiegel innerhalb von 30 Std. um rund 12,85 m auf nur 15 cm unter seinem Höchststauziel von 763 m NN an. Nachdem die Welle aus den Zwischeneinzugsgebieten bereits am Abfließen war, wurde so schnell wie möglich der Speicherinhalt reduziert, um auf das Normalstauziel zurückzukommen. Dafür mussten fast eine Woche lang 300 m³/s Wasser abgelassen werden.

Wellenlauf an der Isar

Der Wellenplan der Isar zeigt sehr deutlich den Einfluss der Rückhaltung im Sylvensteinsee. Weiter beeinflussen mehrere Staustufen und Ableitungen an der mittleren und unteren Isar die Ganglinien. Die Scheitelpunkte in der Ganglinie sind entsprechend anthropogen erzeugt. Im Wellenplan (Abb. 2.1.2) ist die Absenkung des Abflusses am Sylvensteinspeicher vom Mittag des 21.5. bis zum Mittag des 22.5.1999 deutlich zu sehen. Aber auch in den unterhalb gelegenen Ganglinien bis München bleibt die Absenkung als Wellental erkennbar, da die Zwischengebietsabflüsse schneller wieder abfallen als die Speicherabgabe ansteigt. Der im Wellenplan markierte, wenig ausgeprägte Scheitel entspricht größtenteils der Reaktion der Zwischeneinzugsgebiete unterhalb des Sylvensteinspeichers (ca. 430 m³/s) und des Kochelsees (ca. 335 m³/s).

Durch den Zufluss der Loisach wird dieser Scheitelpunkt leicht nach hinten versetzt. Am Zufluss der Loisach sieht man die Retentionswirkung des Kochelsees. Zum Zeitpunkt der stärksten Überregnung, am frühen Morgen des 22.5.1999, erreicht in etwa zeitgleich zur Spitze in Puppling eine erste Welle (ca. 307 m³/s) der Loisach die Isar.



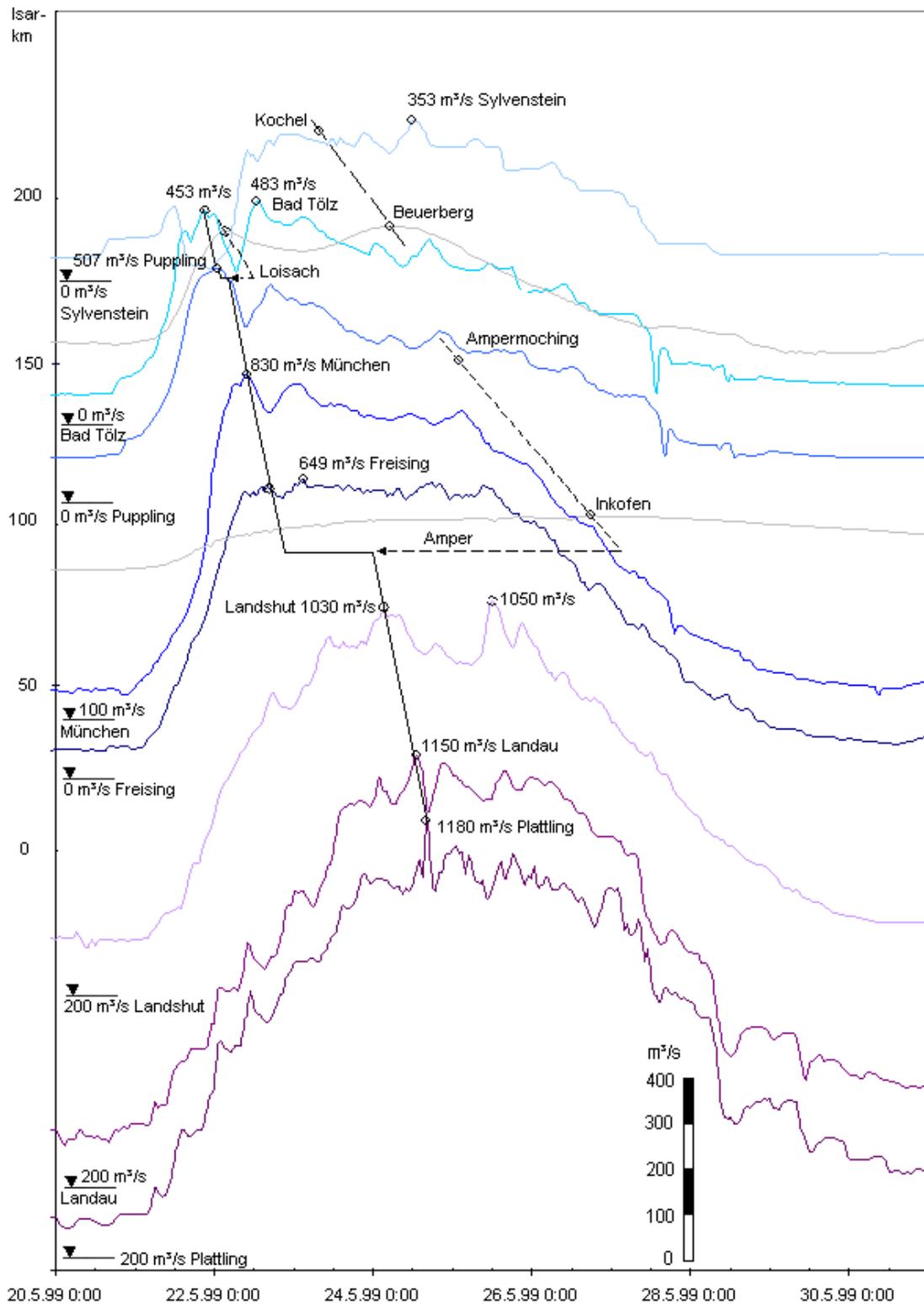


Abb. 2.1.2 Wellenplan Isar

Sie entsteht durch das Zwischeneinzugsgebiet unterhalb des Kochelsees. Erst am Morgen des 24.5.1999 trifft dann der gepufferte und verzögerte Scheitel des oberen Einzugsgebietes auf die fallenden Abflüsse der Isar. In München trifft der Scheitel am 22.5.1999 um 10:30 Uhr mit einer Höhe von $830 \text{ m}^3/\text{s}$ ein, auf ihn folgt ein langes Plateau mit hohen Abflüssen. Simulationen haben ergeben, dass ohne den Sylvensteinspeicher in Bad Tölz ein maximaler Abfluss von rd. $1230 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. in München von $1550 \text{ m}^3/\text{s}$ aufgetreten wäre. Damit wäre die Leistungsfähigkeit der Isar bei weitem überschritten und tiefliegende Stadtbezirke überschwemmt worden. Durch den Sylvensteinspeicher wurde die Stadt Bad Tölz (Baulicher Hochwasserschutz bis $450 \text{ m}^3/\text{s}$), aber auch München (Baulicher Hochwasserschutz bis $900 \text{ m}^3/\text{s}$) vor schlimmeren Auswirkungen geschützt.

Der Abfluss in Freising ist um die Ableitung in den mittleren Isar Kanal reduziert und bildet einen Scheitel mit nahezu konstanten Abflüssen zwischen 600 und $650 \text{ m}^3/\text{s}$ vom 22.5. bis 25.5.1999 aus; ein ausgeprägter Scheitel ist nicht mehr vorhanden. Die unterhalb gelegenen Pegel sind durch die Staustufen stark beeinflusst. Die Amper hebt mit ihrer langgezogenen Welle aus dem Ammersee das Abflussniveau der Isar nochmals deutlich an. In Landshut erreicht der Abfluss am 24.05.99 $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ und am 25.5.99 um 13:30 $1050 \text{ m}^3/\text{s}$, in Landau $1150 \text{ m}^3/\text{s}$ am 24.5.1999 um 14:30 Uhr und in Plattling fließen am 24.5.1999 um 18:30 etwa $1180 \text{ m}^3/\text{s}$ der Donau zu. Erst am 27.5.1999 fallen die Wasserstände in Plattling wieder deutlich.

Loisach, Ammer

In den alpinen Einzugsgebieten der Loisach und Ammer führte der Niederschlag zu extremen Abflüssen, die weiträumige Überflutungen und große Schäden verursachten. Die Pegel an der Loisach (Abb. 2.1.2a) und der Ammer (Abb. 2.1.2b) reagierten sehr schnell auf den Niederschlag und es bildeten sich steile Abflusswellen aus, die mit wachsendem Einzugsgebiet - bis zum Kochelsee und Ammersee - immer extremer wurden, da das gesamte Gebiet gleichzeitig überregnet wurde.

An der Loisach stiegen die Wasserstände am 21.5.1999 rasch an und führten ab Oberau zu weiträumigen Ausuferungen. Durch die Ausuferungen wird der Scheitel aus dem Oberlauf bei Garmisch-Partenkirchen vom 22.05.1999 um ca. 10:00 Uhr mit $250 \text{ m}^3/\text{s}$ (s. Tab. A.2.1.2a) gekappt und kann nicht mehr an den unterhalb liegenden Pegeln nachverfolgt werden. In Eschenlohe sorgen die extremen Abflüsse ($300 \text{ m}^3/\text{s}$) in der Nacht vom 21.05. auf den 22.5.1999 zu so großen Ausuferungen, dass eine teilweise Evakuierung der Bevölkerung notwendig wird. Verschärft wird die Abflusssituation durch das Zusammentreffen des Scheitels der Eschenlaine mit den hohen Abflüssen aus der Loisach.

An der Ammer ist der Scheitel deutlicher ausgeprägt als an der Loisach, da oberhalb Weilheim kaum Ausuferungen stattfinden. Der Scheitel passiert um etwa 5:00 Uhr früh am 22.5.1999 mit $168 \text{ m}^3/\text{s}$ Oberammergau (s. Tab. A.2.1.2b). Um ca. 7:30 Uhr hat sich der Abfluss auf der Strecke bis zum Hohenpeißenberg mehr als verdoppelt und steigert sich bis Weilheim auf ca. $650 \text{ m}^3/\text{s}$ um 12:30 Uhr. Auf der Strecke von Weilheim zum Ammersee nehmen die Ausuferungen dabei immer weiter zu, so dass das Ammertal im Süden des Ammersees auf voller Seebreite überflutet ist.



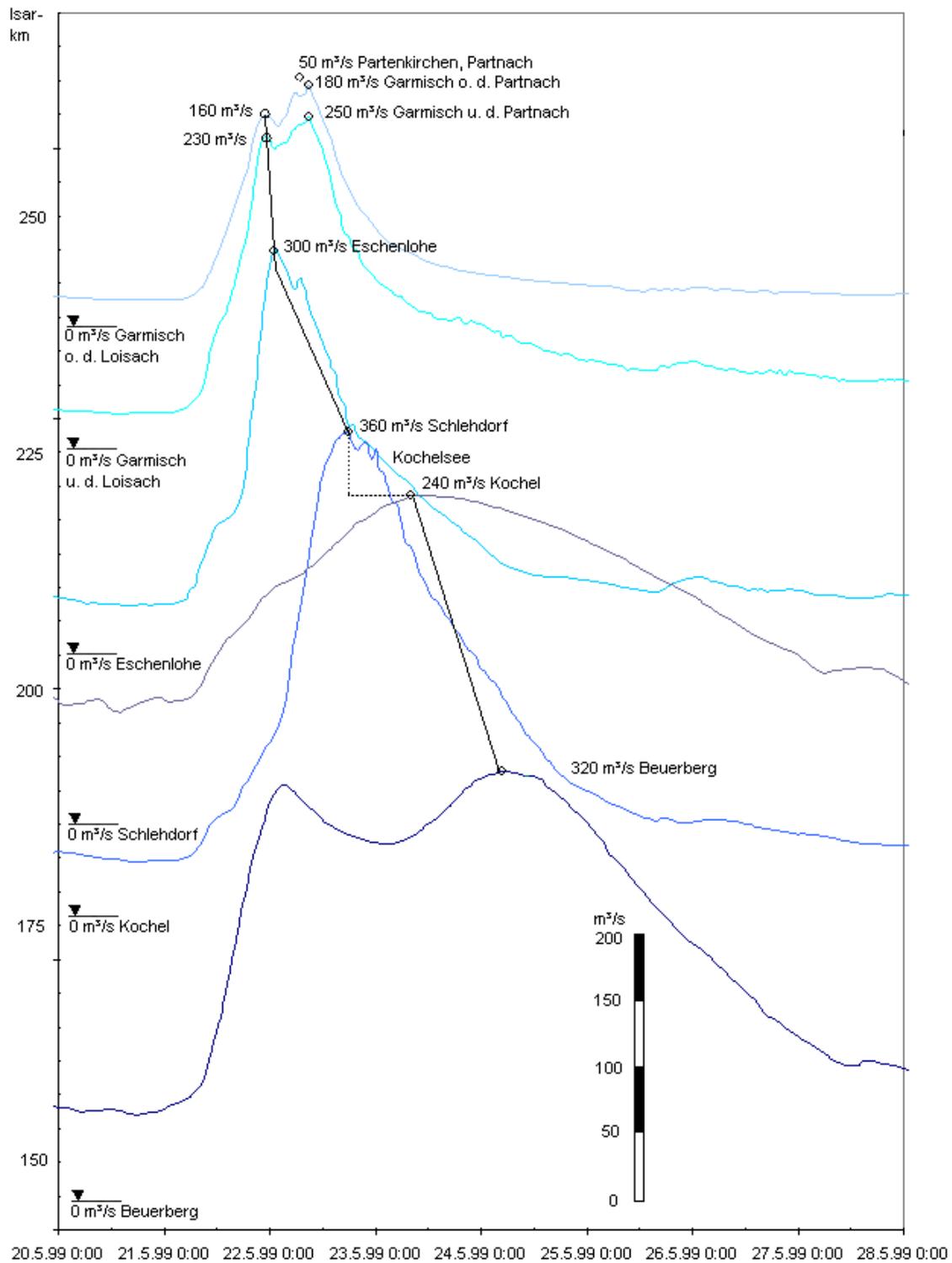


Abb. 2.1.2a Wellenplan Loisach



Amper

Am Wellenplan Ammer/Amper ist der durchgreifende Einfluss des Ammersees zu erkennen. Er reduziert auf natürliche Weise die Hochwasserspitze von 650 m³/s in Weilheim auf 150 m³/s in Stegen. Dabei wird die Welle insgesamt flacher, aber auch sehr viel länger. Der Scheitelbereich erstreckt sich über etwa drei Tage. In Inkofen entsteht ein langezogenes Plateau mit einem Abfluss um 200 m³/s vom 24. bis 28. Mai. Deutlich ist anhand der Ganglinien auch zu erkennen, dass der Beginn der Hochwasserwellen über dem gesamten Gebiet gleichzeitig und zwar am Morgen des 20.5.1999 stattgefunden hat. Durch den Einfluss des Ammersees trifft der Scheitel der Hochwasserwelle aus dem Alpengebiet erst nach den Scheiteln der Zuflüsse aus der Maisach und Glonn ein. Daher ist ihr Beitrag zum Scheitel der Amper gering (s. Tabelle 2.1.2b). Der natürliche Rückhalt im Ammersee hat so zur Entschärfung der Hochwassersituation beigetragen. Ähnliche Wirkung hat der Kochelsee an der Loisach und der Starnberger See an der Würm.

2.1.3 Lech

In den alpinen Bereichen des Lecheinzugsgebietes, auch an der Wertach, war das Pfingsthochwasser besonders extrem. Trotz der deutlichen Reduktion der Hochwasserscheitel am Ausfluss der Speicherseen, am Grüntensee an der Wertach um 70 % und am Forggensee am Lech um 40 %, trug der verbleibende Zufluss von 1450 m³/s entscheidend zur Verschärfung der Hochwassersituation an der Donau bei.

Forggensee

Der Forggensee dient nicht primär dem Hochwasserschutz, sondern als Kopfspeicher der Lechstauufenkette der Energieerzeugung. Es stehen 15 Mio. m³ Hochwasserschutzraum zur Verfügung, was im Vergleich zu der Größe des Einzugsgebietes mit einem Verhältnis von nur 9000 m³/km² sehr gering ist. Hinzu kommt, dass 1999 nur geringe Steuermöglichkeiten im Hochwasserfall vorhanden waren. Dennoch konnte durch Rückhaltung im Forggensee die Spitze des Hochwasserabflusses im Auslauf um 40 % gesenkt werden. Bereits das Hochwasser von Christi-Himmelfahrt reichte aus, um den Hochwasserschutzraum voll in Anspruch zu nehmen. Vor dem Pfingsthochwasser war der Normalstau wieder erreicht, der auf Grund der Niederschlagsvorhersage um weitere 30 cm vorabgesenkt werden konnte.

Bei Einsetzen des Niederschlags lief der Forggensee innerhalb der ersten 12 Stunden bis zum Vormittag des 21.05.1999 bereits fast voll (Hochwasserschutzraum bis 782 m ü. NN), da Steuermöglichkeiten erst ab einem Stauziel von 781,70 m ü. NN zur Verfügung stehen. Die Spitze des Zuflusses trat jedoch erst am 22.05.1999 gegen Mittag auf. Ohne Inanspruchnahme des außergewöhnlichen Schutzraumes, hätte der volle Zulauf (max. 1115 m³/s) nach unten weitergegeben werden müssen. Die Städte Lechbruck, Landsberg und Augsburg und andere Gemeinden entlang des Lechs hätten dadurch immense Schäden erlitten. Weitere Schäden wären an der Donau und ihren anliegenden Städten aufgetreten. Daher wurde in dieser extremen Situation in den außergewöhnlichen Schutzraum hineingestaut, um die Spitze von 1115 m³/s auf 680 m³/s (max. Abgabe) zu reduzieren.



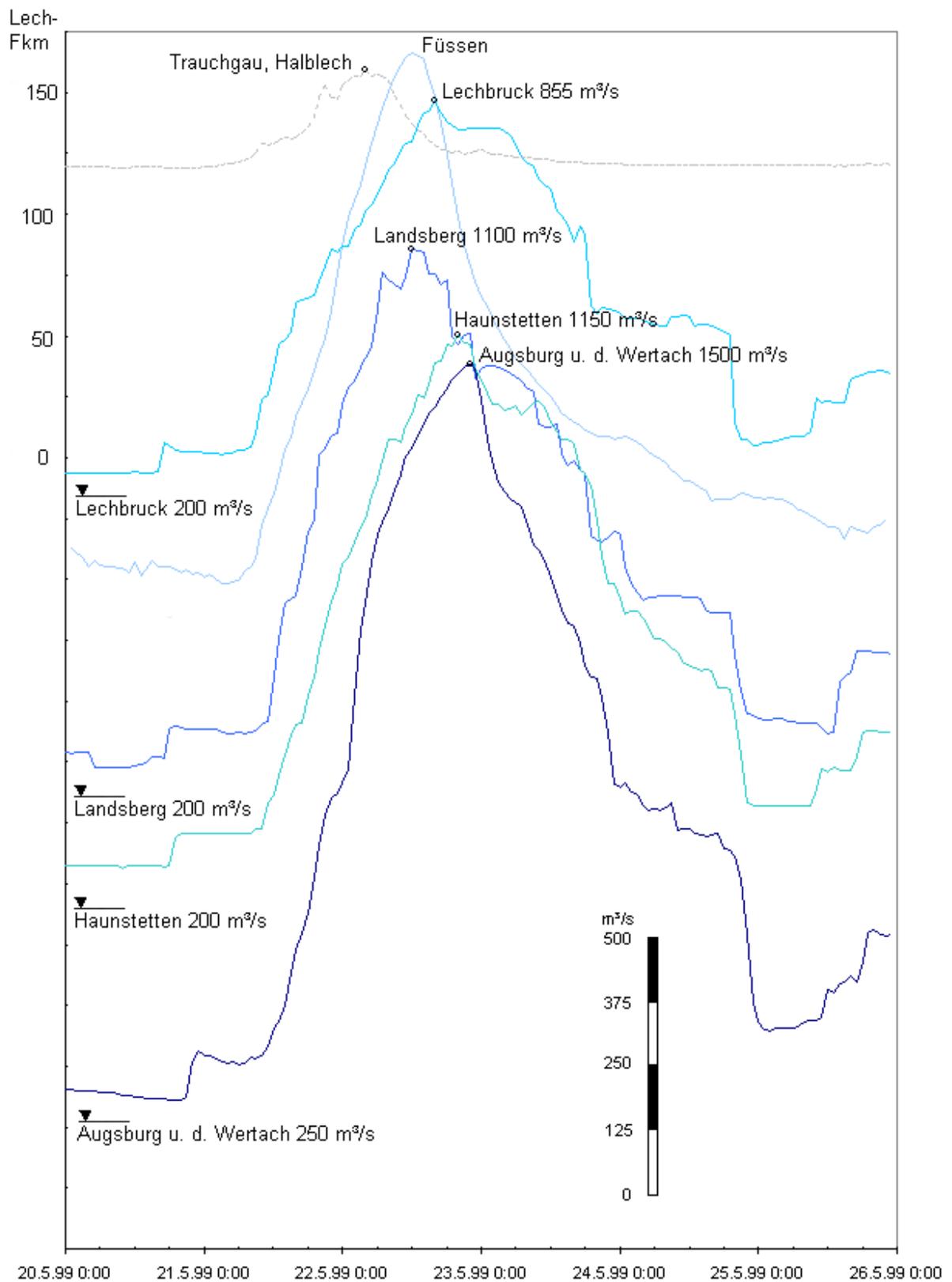


Abb. 2.1.3 Wellenplan Lech



Lech

Der natürliche Wellenablauf ist am Lech durch die Rückhaltung im Forggensee und die nachfolgenden Stauhaltungen so überprägt, dass er ohne ein komplexeres Niederschlags-Abflussmodell nicht nachvollzogen werden kann. Daher sind auch in der Graphik keine Verbindungslinien zwischen den Scheiteln dargestellt.

Der Scheitel in Lechbruck unterhalb des Forggensees ist im Gegensatz zu dem extremen Ereignis in Füssen oberhalb des Forggensees wesentlich gedämpft und flacher (s. Abb. 2.1.3). Der Halblech als Hauptzufluss des Lech unterhalb des Forggensees bringt mit $200 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einer Spende von $2404 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}$ einen großen Beitrag zu der Abflussspitze von $855 \text{ m}^3/\text{s}$ am 22.7.1999 um 17:00 Uhr in Lechbruck. Dieser Scheitel kann aber nicht mit dem Scheitel in Landsberg in Verbindung gebracht werden, da sich die Welle bis Landsberg durch die Staukette verändert und der Scheitel vorverlegt wird. Der Scheitel der Wertach trifft in Augsburg zu etwa der gleichen Zeit (am Pfingstsamstag gegen 11:00 Uhr) ein, wie der Scheitel vom Lech; zusammen bilden sie einen maximalen Abfluss von $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Augsburg unterhalb der Wertach. Die hohen Abflüsse führten am Lech nördlich von Augsburg bis zur Mündung in die Donau und auf dem Teilstück von Königsbrunn bis zum südlichen Stadtrand von Augsburg zu Ausuferungen und Überschwemmungen.

Grüntensee

Der Grüntensee wurde 1961 zum Hochwasserschutz mit einem Rückhaltevermögen von ca. 10 Mio. m^3 gebaut, das sind $120\,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$. Auf Grund des kleinen Einzugsgebietes sind die Reaktionszeiten sehr gering und daher eine vorausschauende Steuerung schwierig.

Zum Zeitpunkt der Niederschlagsvorhersage von 150 mm für das Pfingstwochenende war der Grüntensee noch teilweise von den Vorregen gefüllt. Am 20.5.1999 wurde daher die Abgabe erhöht, um den Hochwasserschutzraum leer zu fahren. Am Freitag Morgen, den 21.05.1999, um 8:00 Uhr wurde dann die Speicherabgabe mit $25 \text{ m}^3/\text{s}$ auf den Rückhalt von 150 mm Niederschlag zuzüglich 50 mm Rückhaltereserve angepasst. Am Freitag Abend musste die Abgabe jedoch auf $65 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht werden, da klar wurde, dass insgesamt mehr als die 150 mm Niederschlag fallen werden. In der Tat summierte sich der Niederschlag bis zum Ende des Ereignisses im Einzugsgebiet des Grüntensees auf etwa 300 mm. Damit fiel die Zuflussspitze wesentlich höher aus als erwartet und trat auch erst später ein. In der Spitze gegen Mitternacht des 21.5.1999 liefen dem Grüntensee ca. $200 \text{ m}^3/\text{s}$ zu, dies entspricht dem HQ_{1000} . Nach Abfallen des Zuflusses auf etwa $150 \text{ m}^3/\text{s}$ um 3:00 Uhr blieb der Zufluss über mehrere Stunden konstant auf diesem hohen Niveau. Der Zufluss war zu hoch, um ihn bei einer Abgabe von $65 \text{ m}^3/\text{s}$ abzufangen. Dennoch wurde die Abgabe so lange wie möglich bei $65 \text{ m}^3/\text{s}$ gehalten bis die Zuflüsse aus den Zwischengebieten wieder zurückgingen. Ab den frühen Morgenstunden wurde die Abgabe dann auf $100 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht und der Seewasserstand bei 881,85 m ü NN zum Stillstand gebracht, nur 15 cm unter dem zulässigen Höchststau.



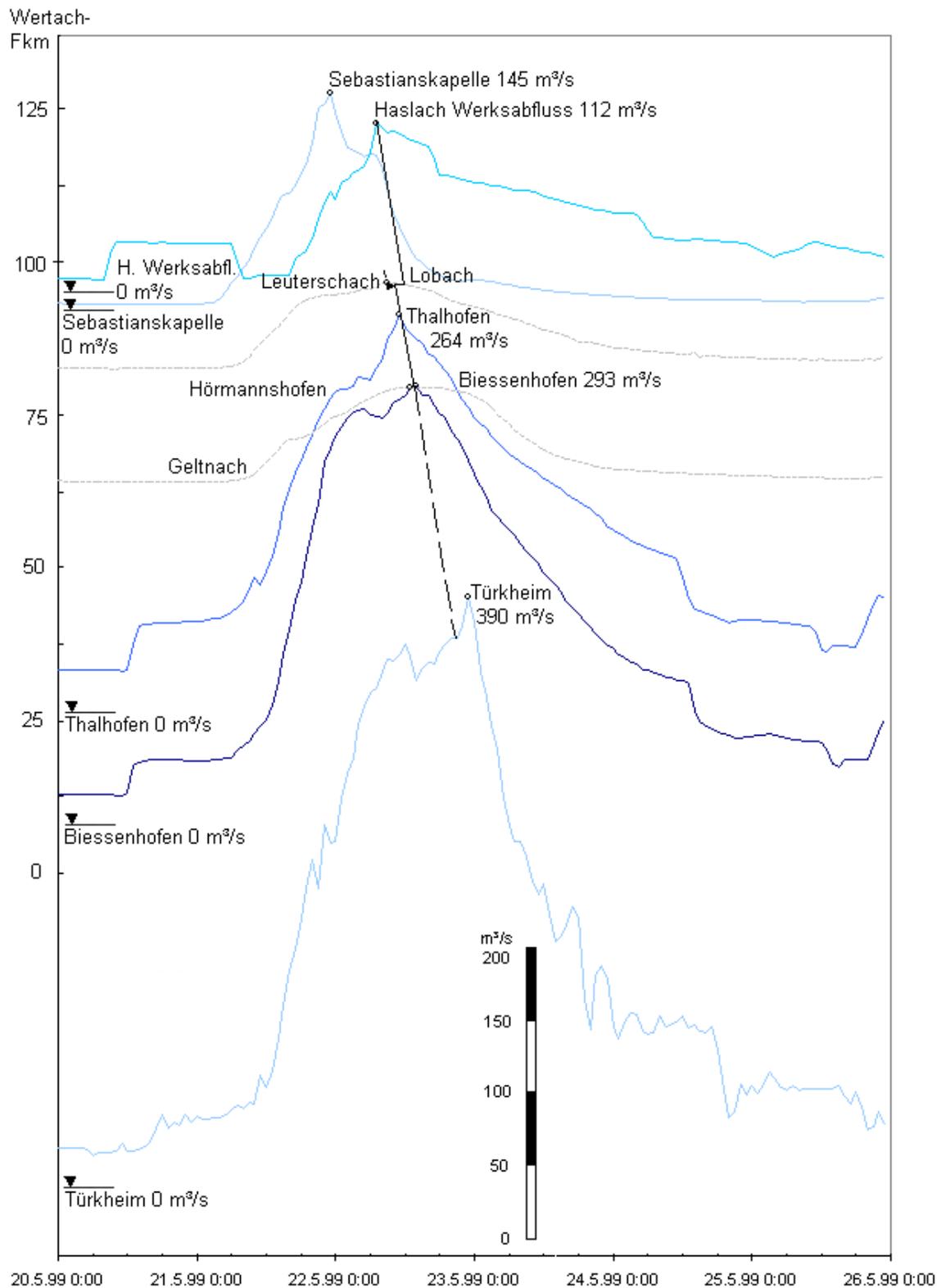


Abb. 2.1.3a Wellenplan Wertach



Wertach

Trotz des Rückhalts im Grüntensee entstand im Unterlauf noch eine extreme Welle (vgl. Kapitel 3.), die die Zerstörung mehrerer Wasserbauwerke zur Folge hatte und die Sohle z. B. bei Türkheim stark erodierte. Unterhalb des Lobachs (in der Spitze etwa 60 m³/s Anteil an der Hochwasserwelle der Wertach) kam es fast an der gesamten Wertach, sowie den Unterläufen der Zuflüsse Lobach, Kirnach, Gennach und Singold zu Ausuferungen. Zum Hochwasserscheitel des Lech bei Augsburg trug die Wertach etwa 450 m³/s bei.

Auch an der Wertach wird der Wellenaufbau durch die Rückhaltung im Grüntensee und durch Staustufen kompliziert. Da der Scheitel jedoch ausgeprägter ist, kann anhand der weniger beeinflussten Pegel Thalhofen (264 m³/s) und Biessenhofen (293 m³/s) die Wellenlaufzeit im Wellenplan der Wertach bestimmt werden. Die theoretische Laufzeit zum zugehörigen Scheitel in Türkheim ist gestrichelt eingezeichnet.

2.1.4 Donau

Für die Donau waren die Zuflüsse von Lech, Isar und Iller hochwasserbildend. Dabei kam es zu Überlagerungen mit dem mehrere Tage andauernden Scheitel der Isar.

Am Pfingstsonntag, 23.05.1999, erreichten die Hochwasserscheitel des Lech am frühen Morgen und der Iller am frühen Nachmittag die Donau. Der Scheitelabfluß des Lech ergab zusammen mit den Abflüssen der Donau und den Hochwasserzuflüssen aus dem südlichen Donauvorland (Günz, Mindel, Schmutter, Paar) einen Abflussscheitel der am Pfingstmontag, 24.05.1999, um 8:00 Uhr Ingolstadt mit 2200 m³/s erreichte (s. Tab. A.2.1.4). Erst 24 Stunden später erreichten die höchsten Zuflüsse aus der Iller die Donau im Bereich der Lechmündung (s. Abb. 2.1.4). Unterhalb der Lecheinmündung kam es dadurch zu einem langgestreckten Hochwasserscheitel. Am Pegel Ingolstadt blieb ein Abfluss von 2000 m³/s über 40 Stunden lang überschritten.

Infolge des Deichbruches bei Neustadt fielen die Wasserstände in Kelheim am 24.05.1999 nach 10:00 Uhr, stiegen aber über Nacht zum Dienstag, 25.05.99 bis 14:00 Uhr wieder leicht an.

Der Vergleich in Abb. 2.1.4 a der Abflüsse von Kelheim (rote Linie) mit den Abflüssen von Ingolstadt (schwarze durchgezogene Linie) zeigt, dass ca. 22,7 Millionen Kubikmeter Wasser über den Deich in die Polderflächen geflossen sind. Zum Zeitpunkt des Deichbruches war der Scheitelstand nahezu erreicht. Am Pegel Kelheim wäre der Wasserstand ca. 24 cm höher gestiegen, wenn der Deich nicht gebrochen wäre. Damit die Ganglinien sich überdecken, wurde die Ganglinie des Pegels Kelheim um 10 Stunden (Laufzeit) zeitlich zurückversetzt.

Die bei Regensburg nördlichen Zuflüsse Naab und Regen führten kein Hochwasser. Dadurch flachte die Hochwasserwelle bis zur Einmündung der Isar leicht ab.

Die Isar führte über Tage hinweg Zuflüsse um ca. 1000 m³/s in die Donau, die sich mit dem Scheitel der Donauwelle in Hofkirchen am Mittwoch, dem 26.05.1999, auf 3300 m³/s summieren. Der Scheitel der Donauwelle erreichte Passau gegen Mittag des gleichen Tages. Der Höchststand trat in Passau jedoch schon in den frühen Morgenstunden infolge erhöhter Zuflüsse aus dem Inn auf. Der Inn brachte am 26.05.1999 nur geringe Hochwasserabflüsse, die erste Welle am 22.5.1999 war deutlich höher (vgl. Tab. A.2.1.4).

Zu Ausuferungen kam es nahezu an der gesamten Donau unterhalb der Lechmündung. Besonders weiträumige Überschwemmungen traten im Bereich Bertoldsheim, zwischen Neuburg und Ingolstadt und nach dem Deichbruch bei Neustadt auf.



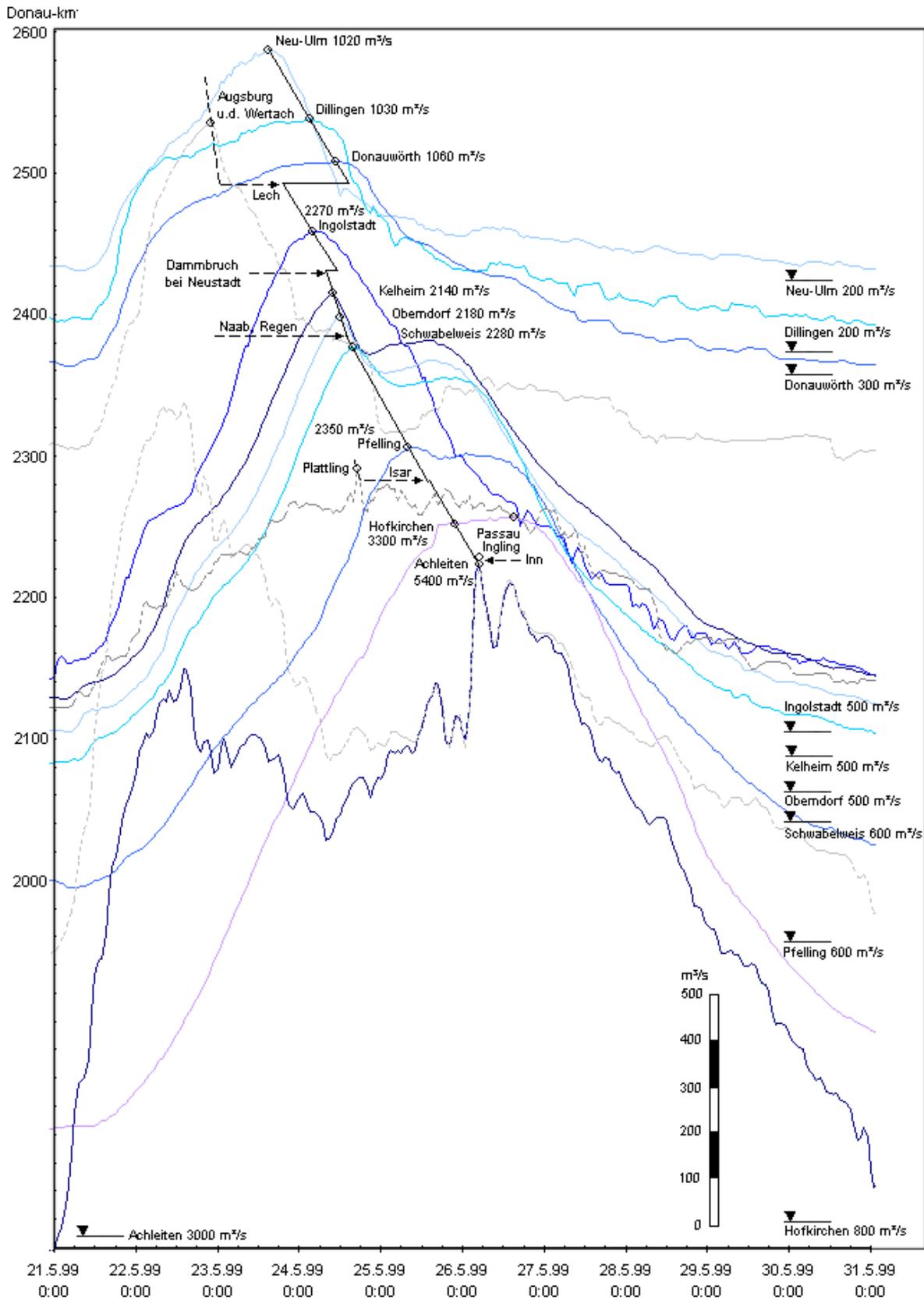


Abb. 2.1.4 Wellenplan Donau



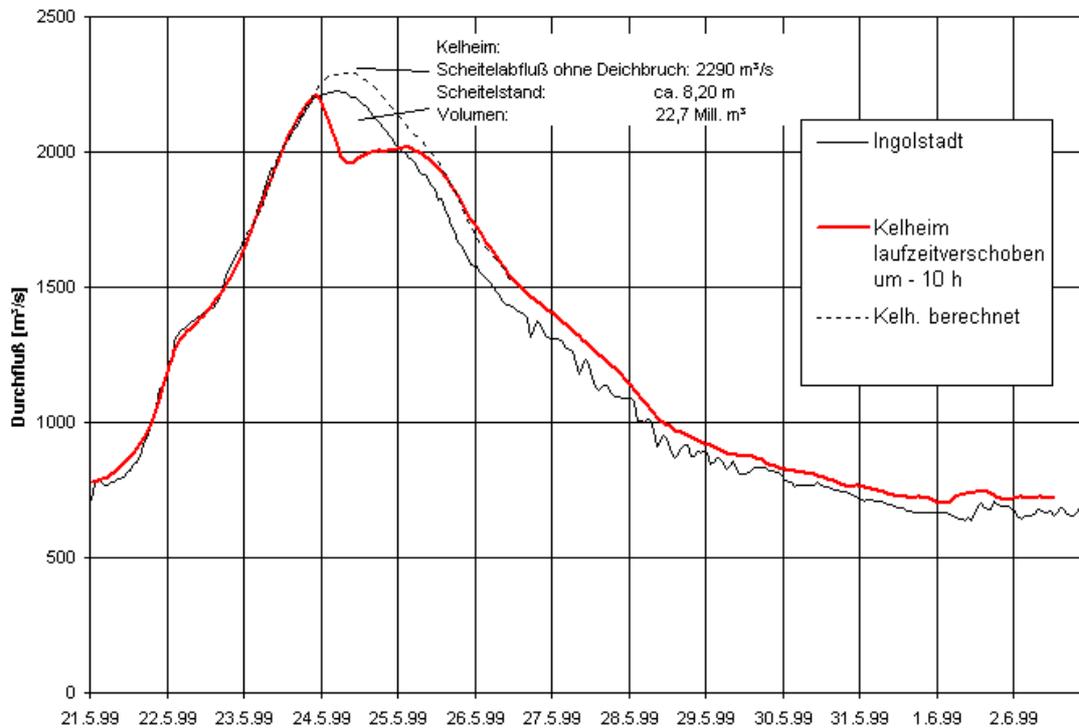


Abb. 2.1.4 a Rekonstruktion der Ganglinie in Kelheim ohne Deichbruch bei Neustadt

2.2 Vergleich mit früheren extremen Hochwasserabflüssen

Im Vergleich mit den größten historischen Abflüssen seit 1845 hat das Hochwasser 1999 neue Rekordhöhen erreicht. In Kapitel 1 wurde bereits auf die meteorologischen Hintergründe der beiden historischen Hochwasserereignisse 1940 und 1954 eingegangen, die an vielen Pegeln die bisherigen Rekordwerte gestellt haben und in diesem Kapitel häufig zum Vergleich herangezogen werden. Das Ereignis 1940 ist auf Grund der ähnlichen Genese auch vom Wellenablauf her am besten vergleichbar.

An der Donau erreichte Ingolstadt mit einem Abfluss von 2270 m³/s im Vergleich zu 1940 mit ca. 1700 m³/s eine deutliche Erhöhung und übertraf den Rekordabfluss von 1845 (2030 m³/s). An der Iller sind die Abflüsse von 1940, sowie die höchsten Abflüsse des Jahrhunderts von 1910 und 1944, mit Abstand überschritten worden. An der Wertach und dem Lech unterhalb der Wertach wurden sogar Abflüsse übertroffen, die vor Bau der Speicherseen gemessen wurden. In Lechbruck, Landsberg und Augsburg war jedoch das Hochwasser von 1970 etwas höher. An der Isar liegen die Abflüsse von 1899, 1940 und 1954, als der Sylvensteinspeicher noch nicht gebaut worden war, über denen vom Pfingsthochwasser. Hier konnte durch die Speichersteuerung eine Senkung unter die historischen Abflüsse bewirkt werden. Berechnungen mit dem Flussgebietsmodell der Isar bis München haben jedoch ergeben, dass ohne den Sylvensteinspeicher die historischen Abflüsse auch an der Isar bis München deutlich überschritten worden wären: mit theoretischen 1230 m³/s in Bad Tölz wären z. B. die Werte von 1899 (850 m³/s) und 1940 (897 m³/s) übertroffen worden. Belegen kann man auch anhand der unbeeinflussten alpinen Einzugsgebiete der Loisach und der Ammer, dass natürlicherweise im

alpinen und voralpinen Einzugsgebiet der Isar höhere Abflüsse als 1940, 1970, 1954, 1946 und 1910 gebildet wurden. Vor allem an der Ammer zeigen sich große Unterschiede zu den früheren Hochwasserereignissen. Am Pegel Weilheim wurde das historische Maximum seit 1899 von 461 m³/s im Jahre 1946 (1940: 400 m³/s) um ca. 30 % angehoben auf 649 m³/s. Im Ampereinzugsgebiet wurden nur bis Fürstenfeldbruck außergewöhnlich hohe Abflüsse erreicht (s. Abb.2.2). Die Scheitel der Nebengewässer sind mit ca. 23 m³/s (Bergkirchen an der Maisach) und 39 m³/s (Hohenkirchen an der Glonn) weit hinter den maximalen Abflüssen von fast 50 m³/s (Maisach), bzw. über 100 m³/s (Glonn) zurückgeblieben. In Fürstenfeldbruck liegt der Scheitel mit 161 m³/s noch deutlich über dem von 1940 (140 m³/s) und 1965 (148 m³/s), bei Inkofen wurde im Jahre 1940 mit 300 m³/s der Abfluss von 1999 (200 m³/s) bei weitem überschritten.

An der Donau unterhalb der Naab- und Regenmündung nimmt das Hochwasser 1999 keine Spitzenposition ein. 1954 und 1988 waren hier die höchsten Hochwasser des 20. Jahrhunderts. 1954 brachte das Zusammentreffen der Naabwelle mit der Donauwelle und der vorangegangenen Regen-Welle, die nur langsam abfiel, katastrophale Auswirkungen. Für Passau selbst spielt der Inn eine Schlüsselrolle. Für den Inn in Passau war 1954 das extremste Ereignis (6700 m³/s) und führte daraufhin auch an der Donau in Passau zu dem höchsten Abfluss (9100 m³/s) seit Mitte des 19. Jahrhunderts.

1999 brachten die nördlichen Zuflüsse auf Grund der Wetterentwicklung kaum einen Beitrag und durch die westliche Zugrichtung des Niederschlagsgebietes liefen die hohen Abflüsse des Inns der Welle der Donau voraus, daher war das Ereignis niedriger als 1954. Auch 1940 waren die Abflüsse auf diesem Donauteilstück höher als 1999, vor allem der Beitrag des Inn zum Hochwasser war größer. Nur am Pegel Hofkirchen wurde 1999 ein höherer Abfluss gemessen als 1940. Der Scheitel der Isar läuft der Donau voraus, daher ist der Abfluss der abfallenden Welle der Isar entscheidend für die Entwicklung der Hochwassersituation in Hofkirchen. 1940 fielen die Wasserstände an der Isar schneller als 1999, daher war das Hochwasser 1999 in Hofkirchen größer als 1940, obwohl der Scheitel der Isar in Plattling 1940 ca. 70 m³/s höher war als 1999.



3. Statistische Einordnung und Jährlichkeiten

Das Pfingsthochwasser 1999 war ein extremes Ereignis; örtlich wurde das Tausendjährige Ereignis erreicht und großflächig das Hundertjährige Ereignis überschritten. Ein 1000-jährliches Hochwasser lief z.B. dem Grüntensee in Spitze und Fülle zu. Damit musste der vorhandene Hochwasserschutzraum zum ersten Mal in der Geschichte voll ausgeschöpft werden. Ähnliches gilt für den Sylvensteinspeicher. Die erst kurz vor dem Ereignis fertiggestellte Dammerhöhung sorgte für ein größeres Hochwasserrückhaltevolumen, das Pfingsten 1999 komplett ausgeschöpft werden konnte, um die Isaranlieger vor Schaden zu bewahren.

Die seltensten Ereignisse traten im oberen Einzugsgebiet von Iller und Lech auf sowie an der Ammer (s. Abb. 3). Iller, Ammer, Wertach und Halblech (100-200 jährlich) erreichten ihre höchsten Abflüsse im Laufe des 22. Mai 1999 mit Werten, die statistisch seltener als einmal in 100 Jahren zu erwarten sind. Gerade in den alpinen Einzugsgebieten kam es zu sehr seltenen Ereignissen, z.B. an der Ostrach 500-1000 jährlich. An den Pegeln Sonthofen und Kempten an der Iller traten Jährlichkeiten von 300 bis 400 auf. An den Pegeln Oberammergau und Peißenberg an der Ammer trat ein 200 jährliches Ereignis ein, das sich bis Weilheim zu einem Ereignis mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 400 Jahren verschärfte. An der gesamten Wertach traten Jährlichkeiten von 100 bis 300 Jahren auf.

Ein Ereignis wie 1999 tritt an der Loisach statistisch gesehen alle 50 bis 100 Jahre ein. Unterhalb vom Forggensee lag die Wiederkehrzeit am Lech zunächst bei 20 bis 50 Jahren, durch die Addition des Wertachscheitels wurde sie aber auf 50 bis 100 Jahre angehoben. Diese Jährlichkeit wurde an der Isar nur im Unterlauf nahe der Donaumündung erreicht, weiter oberhalb pufferte der Sylvensteinspeicher die hohen Abflüsse ab, so dass etwa ein HQ_{20-50} abfloss. Die Amper brachte am Zufluss zur Isar nur noch ein HQ_{10-20} , da sich durch den geringen Beitrag der Zwischengebiete die Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 bis 200 Jahren am Pegel Stegen rasch reduzierte.

An der bayrischen Donau oberhalb der Lechmündung kann von Scheitelabflüssen zwischen HQ_{10} und HQ_{30} ausgegangen werden. Die Donau in Baden-Württemberg führte kein Hochwasser und die Donauzuflüsse oberhalb des Lechs hatten maximal ein HQ_{10} , während die Iller mit einem HQ_{100} den größten Anteil zum Scheitel brachte. Ein extremes Ereignis entstand nach dem Lechzufluss. In Ingolstadt trat mit einem Durchfluss von $2270 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem Wasserstand von 7,48 m ein Ereignis ein, wie es statistisch nur alle 200 Jahre vorkommt. Er führte zum Deichbruch bei Neustadt a. d. Donau. Die nördlichen Zuflüsse bei Regensburg (Naab und Regen) führten kein Hochwasser. Dadurch flachte die Hochwasserwelle leicht ab. Bis zum Zufluss der Isar wurde nur noch ein 10 - 20 jährlicher Hochwasserscheitel erreicht. Die Isar führte über Tage hinweg Zuflüsse um ca. $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Donau, die sich mit dem Scheitel der Donauwelle in Hofkirchen am Mittwoch, dem 26.05.1999, auf $3300 \text{ m}^3/\text{s}$ addierten, was hier einem 20 - 50 jährlichen Hochwasserscheitel entspricht. Der Scheitel aus dem bayrischen Innggebiet dagegen erreichte Passau bereits am 22.5.1999. Ein Nebenscheitel am 26.05.1999 wirkte dann scheitelbildend an der Donau; durch den geringen Zufluss (HQ_{5-10}) bildete sich in der Summe aber nur ein Abfluss von HQ_{5-10} bei Achleiten aus.

Für Passau war das Pfingsthochwasser 1999 nicht extrem. Die Aufstellung veranschaulicht aber deutlich, dass in allen Gebieten Südbayerns, in denen die großen Schäden entstanden sind, die Hochwasserspitzen zum Teil ganz erheblich über dem Ausbaugrad der Hochwasserdeiche (in der Regel HQ_{100}) lagen. In Südbayern wurden insgesamt ca. 40.000 ha überschwemmt. Über 50 % der Überschwemmungen auf Siedlungsflächen sind je-

doch nicht direkt durch Oberflächengewässer, sondern durch hoch ansteigendes Grundwasser verursacht worden.

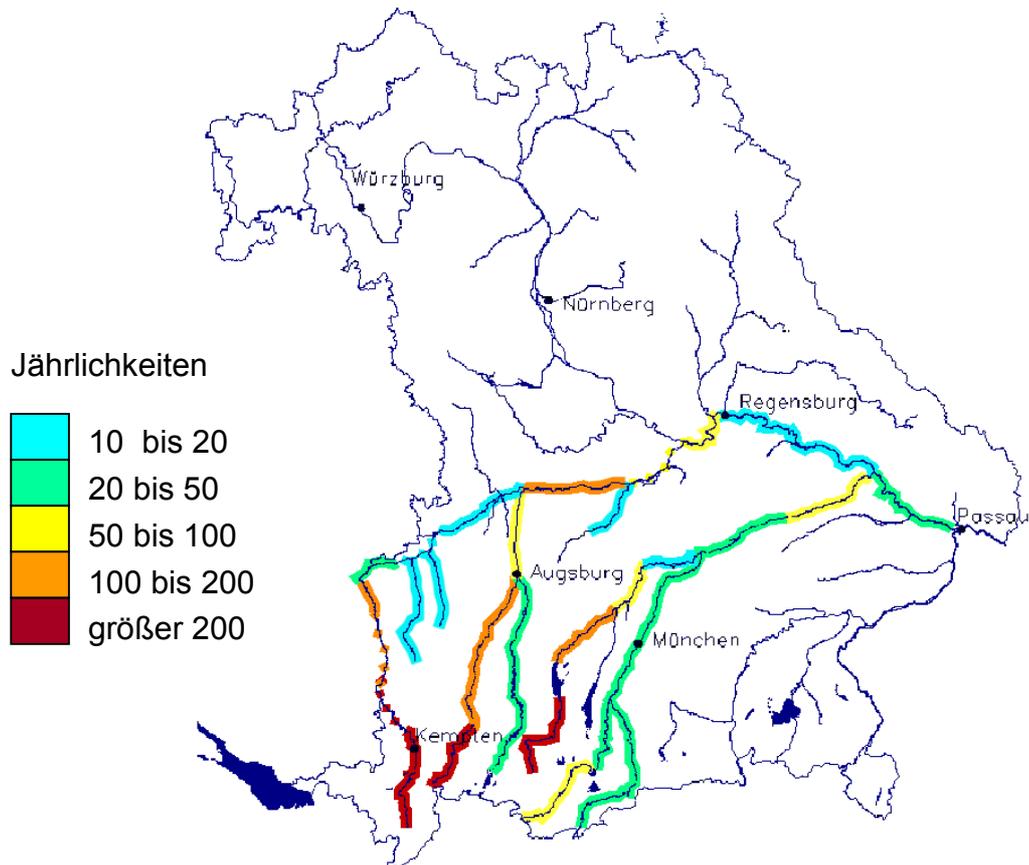


Abb. 3 Schätzung der Jährlichkeiten für die an ausgewählten Pegeln der Gewässer 1. Ordnung gemessenen Hochwasserscheitel Pfingsten 1999 und daraus abgeleitet für Gewässerstrecken

(Im Bereich zwischen Kempten und Wiblingen an Teilabschnitten der Donau ist der Verlauf der Jährlichkeit nur angedeutet, da kein Pegel zur Belegung herangezogen werden kann. An der Donau unterhalb Ingolstadt führt ein Deichbruch zur Reduktion des Scheitels und der Jährlichkeit.)



Schluss

1954 beendete Herr Oberregierungs- und baurat J. Völkl seinen Bericht zum Hochwasser im Bayerischen Donauebiet mit folgenden Worten: "...Es hat [] wieder einmal aufs neue gezeigt, dass die Zahl der Hochwassermöglichkeiten an der Donau unbeschränkt groß ist. [] Jetzt gewinnen auf einmal die Hochwassermarken am Rathaus in Passau und manch anderen Orten aus vergangenen Jahrhunderten, zu denen man bisher staunend und ungläubig hinaufgesehen hat, an Glaubwürdigkeit." (Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, 1955). Auch das Hochwasser im Mai 1999 unterstreicht nochmals eindrücklich die Glaubwürdigkeit der historischen Marken und lässt fürchten, dass mancherorts auch beobachtete extreme Wasserstände noch übertroffen werden können.



Veröffentlichungen

Dokumentationen und Veröffentlichungen zum Pfingsthochwasser 1999

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Jahresbericht 1999/2000, Pfingsthochwasser 1999; S. 10-19, München 2001

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Auswirkungen des Pfingst-Hochwassers vom Mai 1999 auf Vegetation und Tierwelt der Oberen Isaraue. Institut für Ökologie, Universität Essen / Institut für Landschaftspflege und Naturschutz, Universität Hannover im Auftrag des BLfW, 2000.

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Bericht zum Pfingsthochwasser 1999 (unveröff. Manuskript).

Deutsche Rückversicherung AG: Das Pfingsthochwasser im Mai 1999.

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): Das Bodenseehochwasser im Frühsommer 1999, Erfahrungsbericht Dezember 1999.

Kästner, Willy: Pfingsthochwasser 1999 – Wie kam es dazu? in: VHBB Mitteilungen 2/99, S.16-17, 1999.

Overhoff, Gregor / Erich Winner: Das Jahrhunderthochwasser im Griff. Wasser und Boden 52(2000)6, S. 49-54.

Schaupp, Armin: Pfingsthochwasser 99 im Allgäu – Ablauf, Erfahrungen und Folgerungen. Wasserwirtschaft 91 (2001) 4, S. 206-211.

Vogelbacher, Alfons / Kästner, Willy: Entstehung und Ablauf des Pfingsthochwassers. Die Flußmeister 1999/2000, S. 13-16.

Wasserwirtschaftsamt Weilheim, Jahresbericht 1998/1999, Pfingsthochwasser 1999.

Wasserwirtschaftsamt Weilheim: Dokumentation Pfingsthochwasser 1999, Loisach, Großweil – Wolftratshausen, GeoAlp im Auftrag des WWA Weilheim, Wackersberg, Juni 2000

Wasserwirtschaftsamt Weilheim: Ereignisdokumentation Pfingsthochwasser 1999, Isar. Weilheim 2000.

Internet:

Landesamt für Wasserwirtschaft: www.bayern.de/lfw/hnd/ereignisse.htm

StMLU: http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/wasser/jhd_hoch.htm

WWA Freising: <http://www.bayern.de/wwa-fs/Aktuelles/Hochwasser99/hochwasser99.htm>



Gewässerkundliche Hochwasserberichte und -dokumentationen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft

Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (1941): Das Hochwasser im Bayerischen Donaugebiet im Mai-Juni 1940. Veröffentlichungen aus dem Arbeitsbereich der Landesstelle für Gewässerkunde, München.

Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (1955): Das Hochwasser im Bayerischen Donaugebiet im Juli 1954. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 14, München.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986): Das Hochwasser im bayerischen Inngebiet im August 1985. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 5/86.

— Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986): Das Hochwasser im bayerischen Inngebiet im August 1985. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 5/86.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1989): Das Märzhochwasser 1988 in Bayern. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, 3/89.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1991): Das August-Hochwasser 1991. In: Jahresbericht 1991, S. 47-50.

— Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1994): Die Hochwasser im Dezember 1993 und im April 1994. In: Jahresbericht 1994, S. 50-56.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Die Hochwasser im Januar 1995. In: Jahresbericht 1995, S. 71-75.

Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft (1977): Hochwasseruntersuchung Inn - Hochwasser der Jahresreihe 1840 - 1975. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 6.

Hartmann, Otto (1914): Der Aufbau und Verlauf der Tauflut vom Februar 1909 im Bayer. Donaugebiet. Ein Beitrag zur Frage über die Entstehung und den Verlauf der Flutwellen. Abhandlungen des Königlich-Bayerischen Hydro-technischen Bureaus, München.

Hyeuser, J. (1924): Die Hochwasserregen im südlichen Donaugebiet in den Tagen vom 3.-7. September 1920. Veröffentlichungen der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München.

Kern, H. / Streil, J. (1972): Das Hochwasser im Bayerischen Donaugebiet im Juni 1965. Bes. Mitteilung zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 32, München.

Kern, H. / Völk, J. (1955): Das Hochwasser im bayerischen Donaugebiet im Juli 1954. Bes. Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 14, München.

Specht, Adolf (1905): Größte Regenfälle in Bayern und ihre Verwertung für Hochwasser. Berechnungen, nach Beobachtungen der Regenstationen in den Jahren 1899-1904. Abhandlungen des Kgl. Bayer. Hydrotechnischen Bureaus, München.





Unbehauen, W. (1971): Die Hochwasserabflußverhältnisse der bayerischen Donau. Hochwasser der Jahresreihe 1845/1965. Bes. Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 30, München.

A 1. Wetterkarten

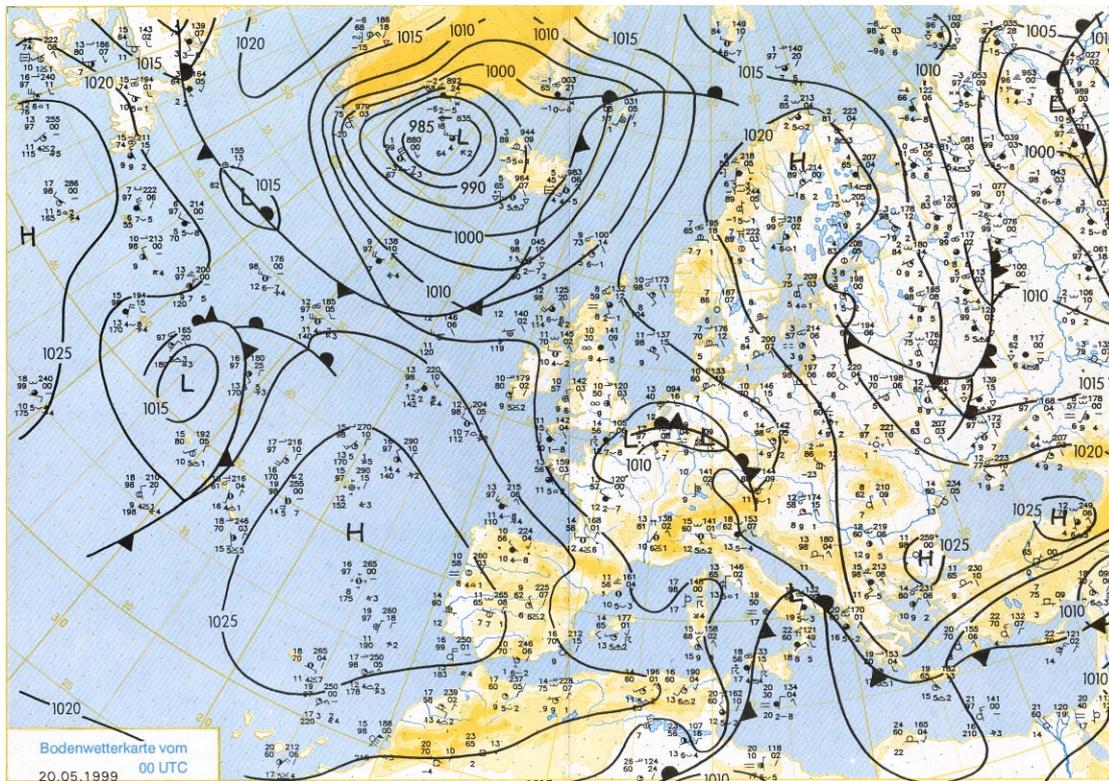


Abb. A.1.1.1 a Bodenwetterkarte vom 20.05.1999 (Quelle: DWD)

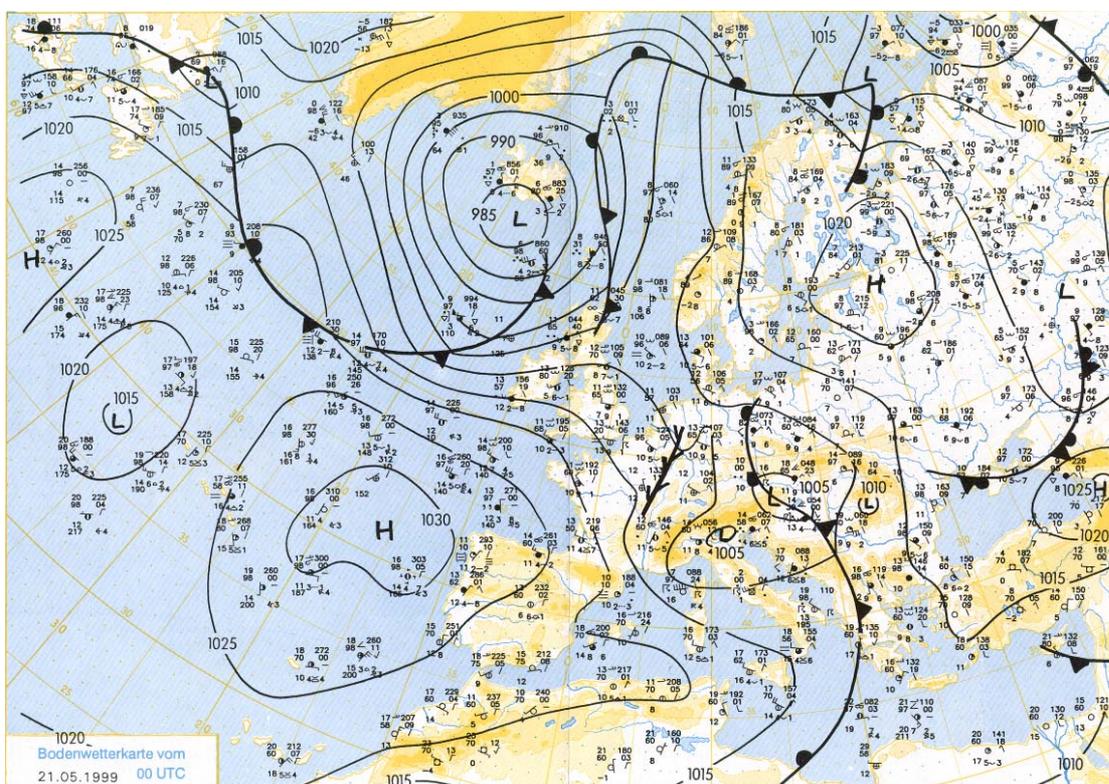


Abb. A.1.1.1 b Bodenwetterkarte vom 21.05.1999 (Quelle: DWD)



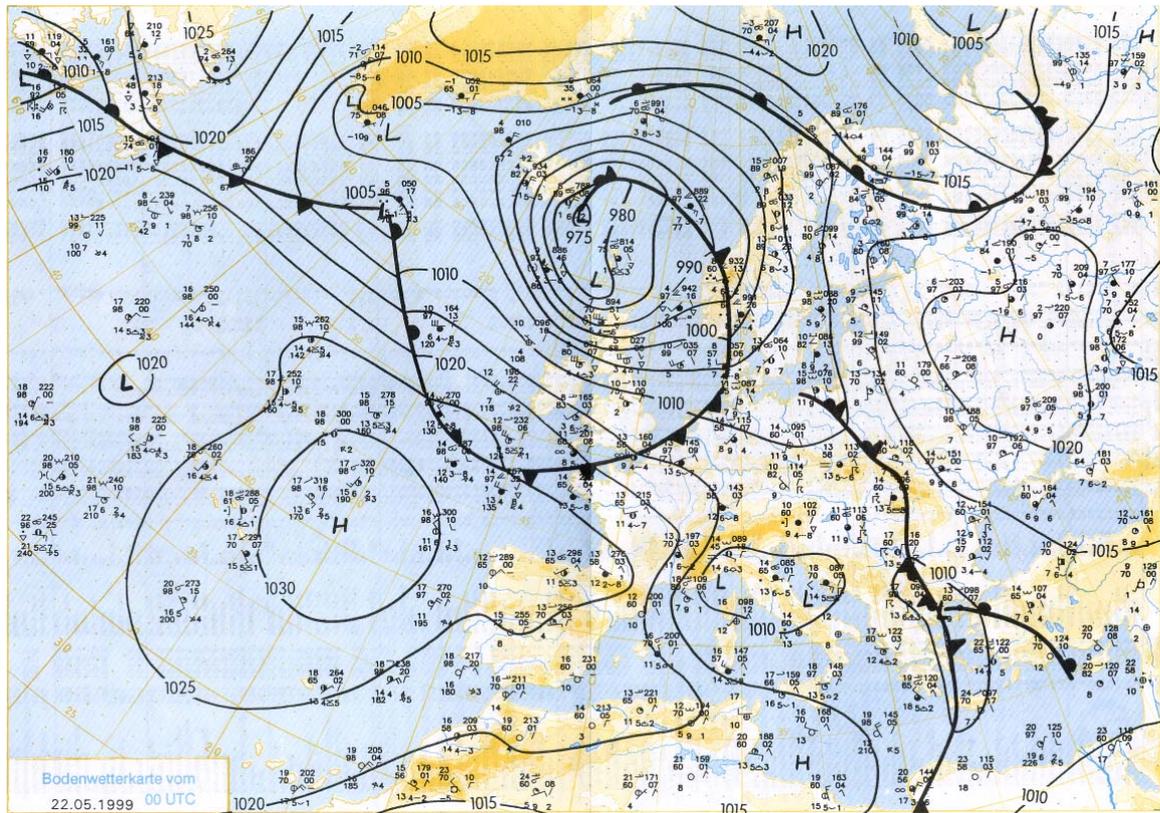


Abb. A.1.1.1 c Bodenwetterkarte vom 22.05.1999 (Quelle: DWD)



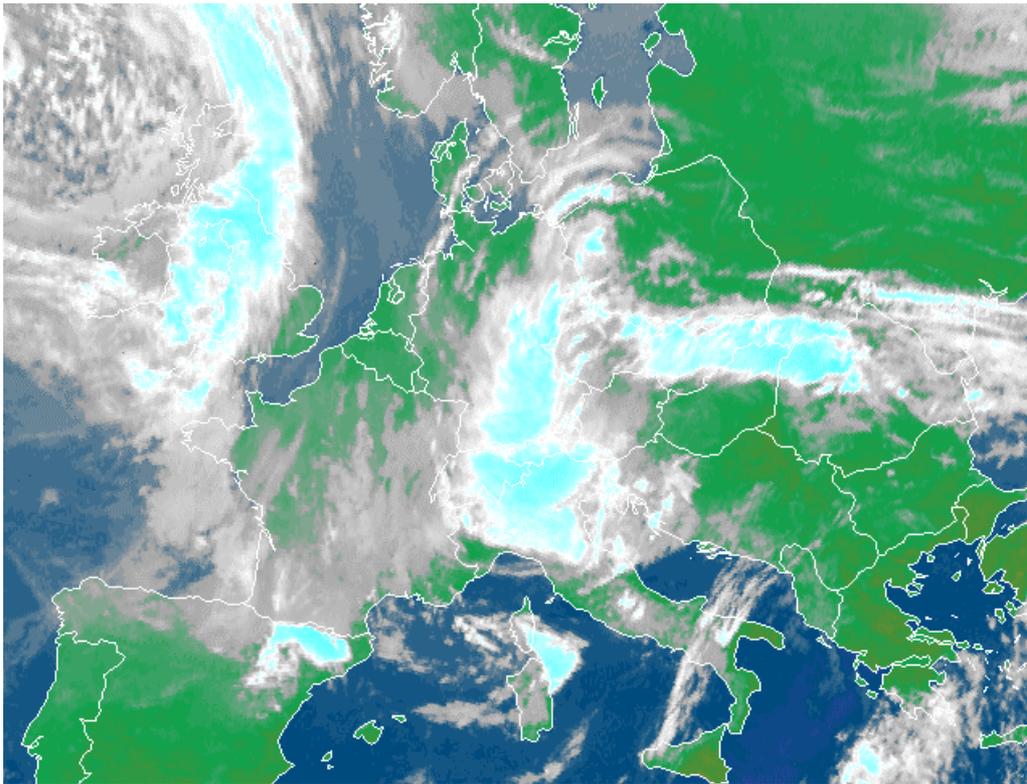


Abb. A.1.1.2 a Satellitenbild vom 21. Mai 1999, 8:00 UTC (10:00 Uhr, MESZ)
(Quelle: DWD)

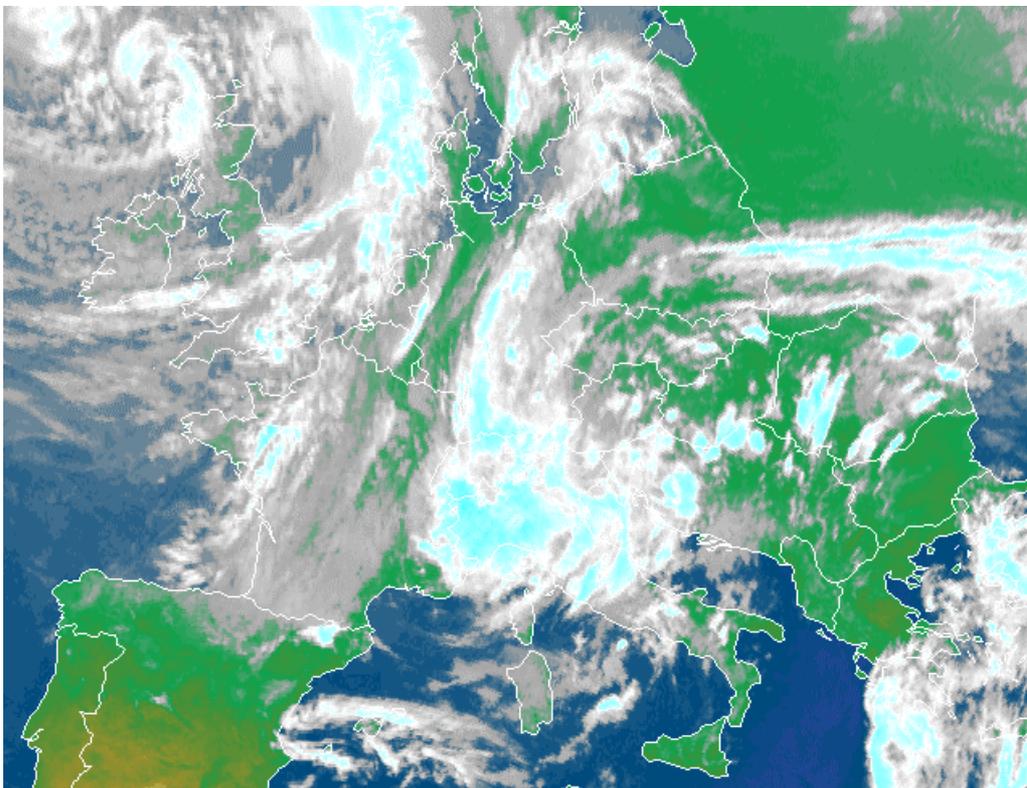


Abb. A.1.1.2 b Satellitenbild vom 21. Mai 1999, 16:00 UTC (18:00 Uhr, MESZ)
(Quelle: DWD)



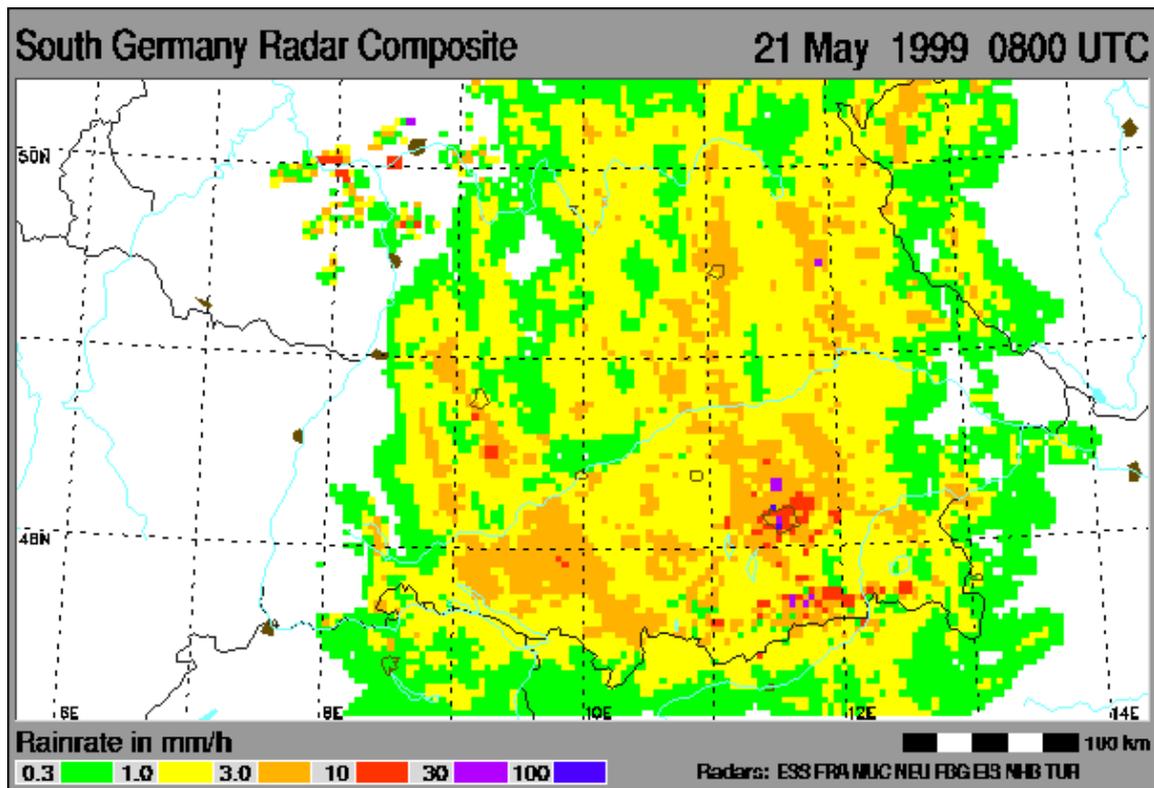


Abb. A1.1.3 a Niederschlagsintensitäten (aus Radardaten abgeleitet) vom 21.05.1999, 10.00 MESZ (Quelle: DLR)

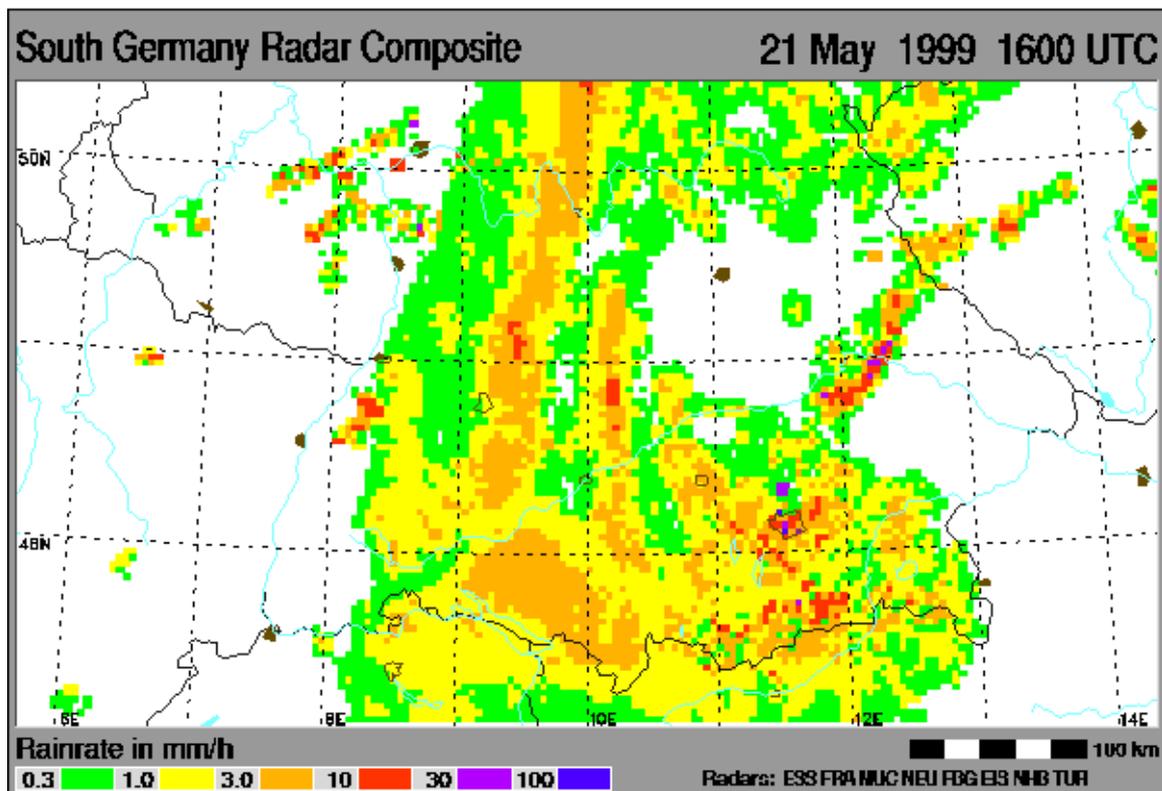


Abb. A1.1.3 b Niederschlagsintensitäten (aus Radardaten abgeleitet) vom 21.05.1999, 18.00 MESZ (Quelle: DLR)



A 2. Scheiteltabellen zum Ablauf des Hochwassers

Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet	Entfernung zur Mündung	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit		
				Zeitpunkt		W	Q	q	Zeitpunkt			Q	q
Iller		km ²	km	d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Sonthofen		388	135.1	22.5.99	11:30	450	450	1160				300-400	
Zufluss	Osterach	164.5	134						22.5.99	10:00	250	1520	
	Reckenberg	126.7	6	21.5.99	23:30	275	238	1879					500-1000
Zufluss	Gunzenrieder Ach	51.63	133.6						22.5.99	10:00	80	1549	
	Gunzesried	47.0	4	22.5.99	1:30	260	77.4	1646					30-50
Zufluss	Rottach	60.3	119.4						22.5.99	10:00	50	830	
	Greifenmühle	31.0	5.5	22.5.99	11:15	144	26.3	848.9					
Kempton		955	102.7	22.5.99	18:00	627	850	889.6				300-400	
Zufluss	Leubas	63.7	95.7						22.5.99	22:00	20	314	
	Stiehlings	60.8	3.7	22.5.99	10:00	126	24.5	403.9					20
Zufluss	Memminger Ach	133.1	34.8						23.5.99	6:00	5	37.56	
	Heimertingen	121.3	8.8	21.5.99	21:30	105	8.15	67.2					5
Wiblingen		2040	2.1	23.5.99	12:30	752	900	441				100	

Tab. A.2.1.1 Scheiteltabelle Iller

Pegel / Gewässer	A _{Eo} in km ²	Reihe	HQ 05/1999 in m ³ /s	Jährlichkeit des HQ 05/1999
Oberstdorf / Stillach	81,3	1952/99	87	400
Oberstdorf / Trettach	76,0	1950/99	85	250
Gruben / Oybach	24,1	1958/99	45	220
Hinterstein / Ost(e)rach	46,3	1958/99	200	400
Reckenberg / Ost(e)rach	127	1933/99	250	500
Winkel / Burgberger Starzlach	19,8	1961/99	100	500
Immenstadt / Konstanzer Ach	65,8	1951/99	65	250

Tab. A 2.1.1 a Scheiteltabelle Illerzuflüsse (Quelle: Hochwasserlängsschnitt Iller, LfW)



Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet A_{Eo}	Entfernung zur Mündung	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit T_n		
				Zeitpunkt	W	Q	q	Zeitpunkt	Q	q			
Isar		km ²	km	d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Sylvenstein		1165.5	223.9	24.5.99 14:00	456	353	302.87		21.5.99 18:00		37		20-50
Bad Tölz Kraftwerk		1558.8	198.9	22.5.99 15:00	323	483	309.85		21.5.99 22:30		466		20-50
Puppling		1730.0	178.1	22.5.99 3:00	429	507	293.06						20-50
Zufluss	Loisach	982.8	175.3						22.5.99 5:00		335	340.86	
	Beuerberg	952.0	16.0	24.5.99 5:00	571	319	335.08						
München*		2814.0	145.9	22.5.99 10:30	469	830	294.95						20-50
Freising		3037.7	113.7	23.5.99 5:00	389	649	213.65						20-50
Zufluss	Amper	3212.2	90.7						23.5.99 22:00		205	63.819	
	Inkofen (Amper)	3075.6	11.9	26.5.99 18:00	315	199	64.703						
Landshut Birket		7915.4	76.5	25.5.99 13:30	388	1049	132.53						20-50
Landau		8391.5	29.0	24.5.99 14:30	467	1150	137.04						50-100
Plattling		8435.0	9.1	24.5.99 18:30	378	1180	139.89						50-100

* ohne Stadtbäche

Tab. A.2.1.2 Scheiteltabelle Isar

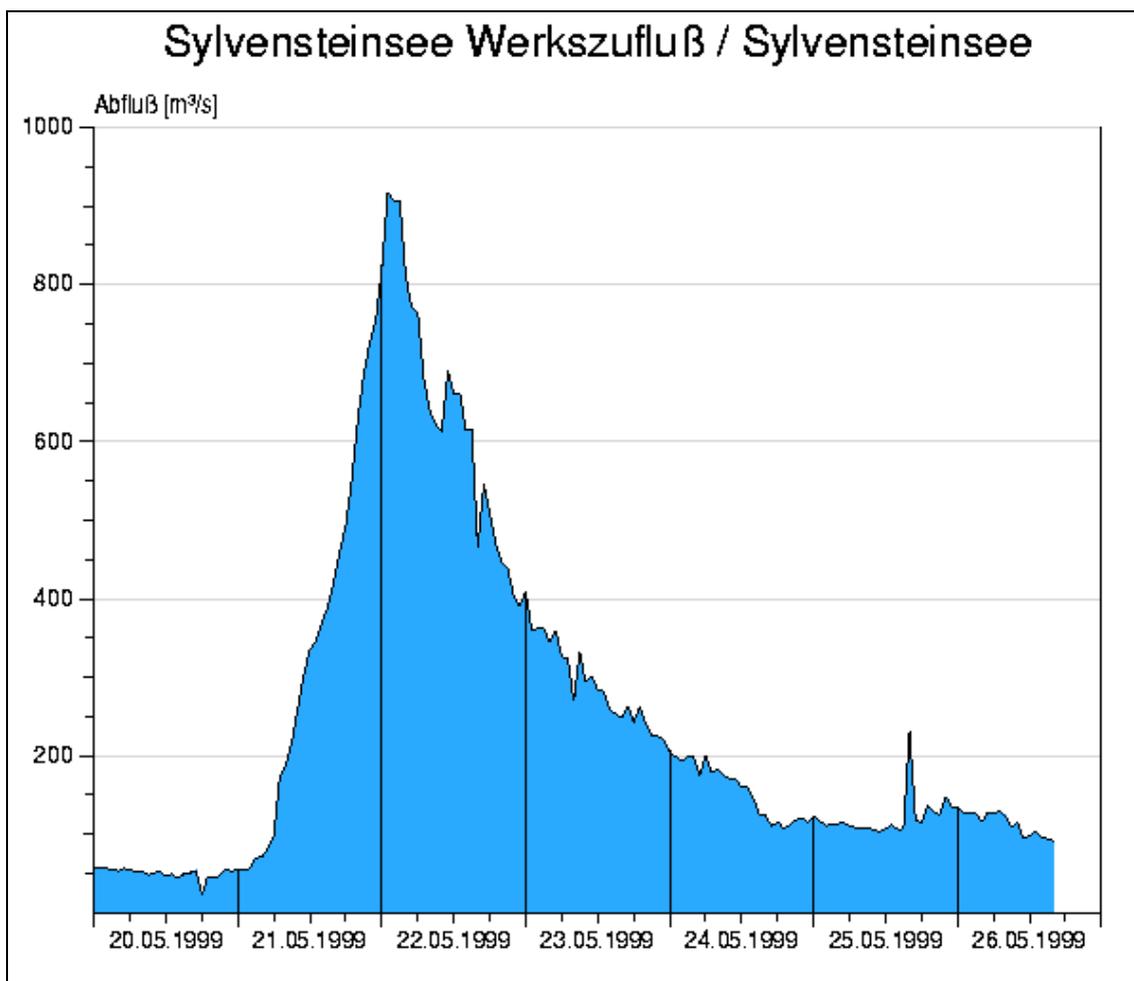


Abb. A.2.1.2 Zuflussganglinie zum Sylvensteinspeicher



Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet	Entfernung zur Mündung	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit		
				Zeitpunkt	W	Q	q	Zeitpunkt	Q	q		T _n	
		A _{Eo}		d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Garmisch o. d. Partnach		250.2	88.5	22.5.99 10:15	288	182	727.42		22.5.99 0:00	163	651.48	50-100	
Zufluss	Partnach	127.7	85.7						22.5.99 1:00	75	587.18		
	Partenkirchen	95.4	3.5	22.5.99 9:00	178	55	576.52					10	
Garmisch u. d. Partnach		393.5	85.2	22.5.99 10:00	411	250	635.32		22.5.99 1:00	235	597.2	50-100	
Weiträumige Ausuferungen bei Oberau verformen die Welle													
Eschenlohe		467.3	71	22.5.99 2:00	372	300	641.99						50-100
Schlehdorf		640.4	51.9	22.5.99 17:30	489	360	562.15						100
Retention: Kochelsee verformt die Welle													
Kochel		684.9	45.1	23.5.99 9:00	435	244	356.26						50-100
Beuerberg*		954	16	24.5.99 5:00	571	319	334.38						50-100

*Beuerberg ohne Loisachkanal (ca. 25 m³/s)

Tab. A.2.1.2 a Scheiteltabelle Loisach

Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet	Entfernung zur Mündung	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit		
				Zeitpunkt	W	Q	q	Zeitpunkt	Q	q		T _n	
		A _{Eo}		d	h	cm	m ³ /s	l/s km ²	d	h	m ³ /s	l/s km ²	Jahre
Oberammergau		113.6	180.8	22.5.99 5:00	376	168	1478.9						ca. 200
Peißenberg		299.8	142.3	22.5.99 7:30	411	365	1217.5						ca. 200
Weilheim		607.4	128.3	22.5.99 12:30	523	649	1068.5						ca. 400
Retention: Ammersee verformt die Welle													
Stegen		993.2	105.6	24.5.99 2:00	301	148	149.01						100-200
Fürstenfeldbruck		1230.3	86.2	24.5.99 17:30	254	161	130.86						ca. 100
Zufluss	Maisach		68.3						25.5.99 3:00	5.3	27		
	Bergkirchen	199.0	4.3	22.5.99 22:00	225	23.2	116.58						5
Ampermoching		2188.6	59.4	25.5.99 14:00	378	171	78.132						50 -100
Zufluss	Glonn		35.9						26.5.99 0:00	5.2	13		
	Hohenkammer	390.1	2.793	23.5.99 1:00	238	39	99.974						2
Inkofen		3075.6	11.9	26.5.99 20:00	315	199	64.794						10 - 20

Tab. A.2.1.2.b Scheiteltabelle Ammer/Amper



Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet A_{Eo}	Entfernung zur Mündung km	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit T_n		
				Zeitpunkt		W	Q	q	Zeitpunkt			Q	q
		km ²	km	d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Auslass Forgensee gesteuert													
Zufluss	Halblech	83.2	151.4						22.5.99 8:00		200	2403.6	
	Trauchgau	49.1	8.1	22.5.99 4:45			166	3381					100-200
Lechbruck		1713.9	146.6	22.5.99 17:00			457	855	498.9				20-50
Landsberg		2286.9	85.4	22.5.99 13:00			437	1100	481				50
Haunstetten		2348.8	50.4	22.5.99 20:30			386	1150	489.6				50
Zufluss	Wertach	1294.7							22.5.99 23:00		450	347.57	
	Türkheim	671.2	45.4	23.5.99 0:00			412	390	581				100-200
Augsburg u. d. Wertachm		3802.9	38.6	22.5.99 23:00			553	1500	394.4				50-100

(Anm.: Der natürlichen Wellenablauf ist durch die Rückhaltung im Forgensee und die nachfolgenden Stauhaltungen so überprägt, dass er ohne ein komplexeres Niederschlags-Abflussmodell nicht nachvollzogen werden kann.)

Tab. A.2.1.3 Scheiteltabelle Lech

Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugsgebiet A_{Eo}	Entfernung zur Mündung km	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlichkeit T_n		
				Zeitpunkt		W	Q	q	Zeitpunkt			Q	q
		km ²	km	d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Sebastianskapelle		60.6	128.0	22.5.99 0:00			274	145	2392				200-300
Grüntensee: Wellenverformung und gesteuerter Abfluss													
Haslach Werksabfluss		83.3	123.0	22.5.99 7:30			344	112	1345				300
Zufluss	Lobach	112.6	95.2						22.5.99 10:00		60	533	
	Leuterschach	108.8	1.7	22.5.99 9:30			259	59.2	544.2				20
Thalhofen		299.4	91.7	22.5.99 12:00			290	264	881.8				300
Biessenhofen		450.7	80.0	22.5.99 14:30			356	293	650.2				100-200
Zufluss	Geltnach	95.8	78.9						22.5.99 13:15		65	678.71	
	Hörmannshofen	95.3	1.0	22.5.99 13:15			208	64.4	676				50
Türkheim		671.2	45.4	23.5.99 0:00			412	390	581				100-200

Tab. A.2.1.3 a Scheiteltabelle Wertach



Pegel	Ausgewählte Zuflüsse	Einzugs- gebiet	Entfernung zur Mündung	Hochwasserscheitel				Beitrag zum Aufbau des Hochwasserscheitels			Jährlich- keit		
				Zeitpunkt	W	Q	q	Zeitpunkt	Q	q		T _n	
Donau		km ²	km	d	h	cm	m ³ /s	l/s*km ²	d	h	m ³ /s	l/s*km ²	Jahre
Neu Ulm, Bad Held		7587.9	2586.7	23.5.99 16:00	571	1020	134.4						30
Dillingen		11349.9	2538.3	24.5.99 4:00	592	1030	90.75						10-20
Donauwörth		15092.0	2508.1	24.5.99 11:00	552	1060	70.24						10
Zufluss	Lech	3926.4	2496.5						23.5.99 16:00	1200	305.6		50-100
	Augsburg u. d. W.	3802.9	38.6	22.5.99 23:00	553	1500	394.4						
Ingolstadt		20052.6	2458.3	24.5.99 3:00	748	2270	113.2						200
Kelheim		23019.2	2414.8	24.5.99 9:15	796	2140	92.97						50-100
Oberndorf		26512.5	2397.4	24.5.99 12:00	730	2180	82.23						50
Schwabelweis		35449.6	2376.5	24.5.99 15:30	612	2280	64.32						10-20
Pfelling		37757.2	2305.5	25.5.99 8:00	810	2350	62.24						10-20
Zufluss	Isar	8960.3	2281.7						25.5.99 14:00	1000	111.6		50-100
	Plattling	8839.0	9.1	24.5.99 18:30	378	1180	133.5						
Hofkirchen		47609.6	2256.9	26.5.99 9:00	687	3300	69.31		25.5.99 21:00	3280	68.9		20-50
Zufluss	Inn	26065.5	2225.3						26.5.99 5:15	2400	92.1		2-5
	Passau Ingling	26062.7	3.1	22.5.99 15:30	735	3500	134.3						
Achleiten		76653.0	2223.1	26.5.99 5:45	650	5400	70.45						5-10

Tab. A.2.1.4 Scheiteltabelle Donau

