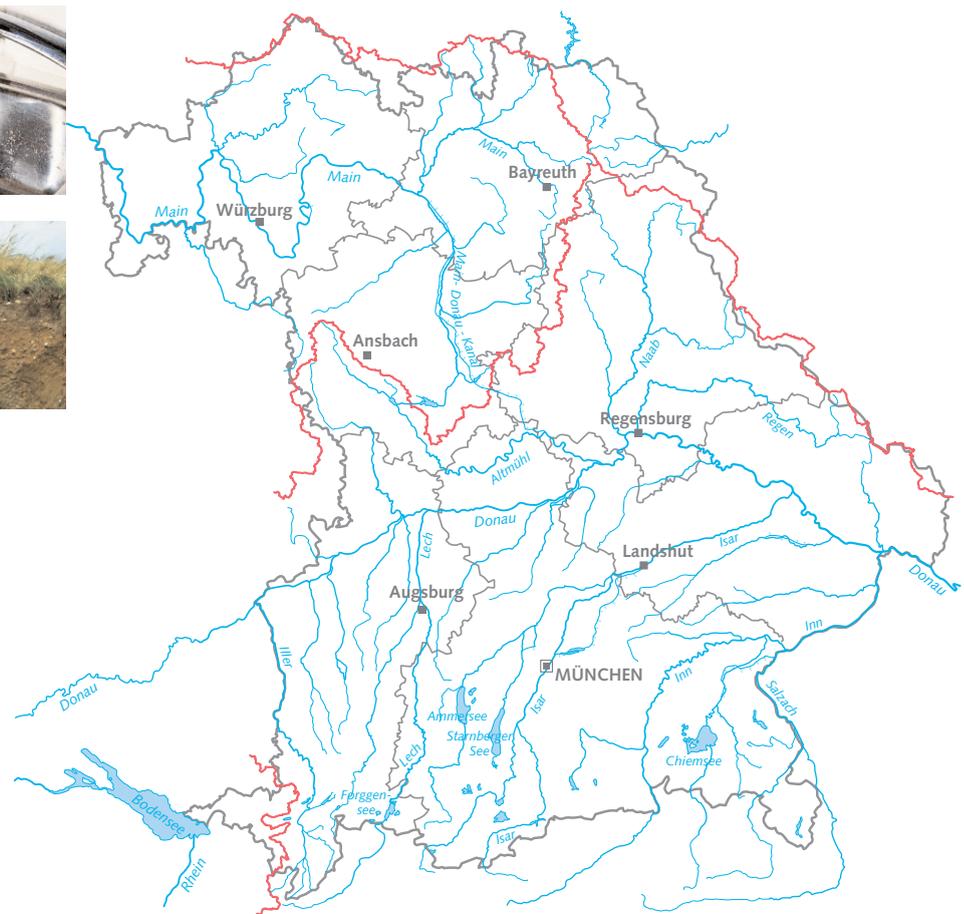




Wasser in Bayern

Gewässerkundlicher Jahresbericht
für Bayern
2005



Inhaltsverzeichnis

Erläuterungen und Vorbemerkungen zum
Gewässerkundlichen Jahresbericht

Zusammenfassung

Witterung



Niederschläge

Fließgewässer



Abflüsse



Hochwasser



Gewässerqualität

Seen



Wasserstände



Gewässerqualität

Grund- und Bodenwasser



Grundwasserstände



Beschaffenheit



Bodenfeuchte

Sonderthemen

Hochwasser August 2005

Stand der Hochwasservorhersage in Bayern

Klimaänderungsfaktoren bei Planungen für den Hochwasserschutz

Das Jahr 2005 im Intensivmessgebiet Fohlenhof, Nördliches Lechfeld

Standorte der Messstellen zum Jahresbericht

Fachbegriffe und Abkürzungen

Der Bericht veranschaulicht das hydrologische Geschehen des abgelaufenen Jahres

*Im Internet erhalten Sie weitere Informationen
zu folgenden Themen:*

*Internetangebot des LfU
<http://www.bayern.de/lfu/>*

*Gewässerkundliches Informationssystem
<http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/>
Herausgeber ist das Bayerische Landesamt für
Umwelt, Lazarettstraße 67, 80636 München*

*Bei evtl. Fragen wenden sie sich bitte an
karl-heinz.frei@lfu.bayern.de*



Zusammenfassung

Das Jahr 2005 war in Bayern im Jahresmittel zu warm. Auffällig hoch waren die Temperaturen im Januar, April, Juni, September und Oktober. Dagegen gab es bezüglich des Niederschlags ein deutliches Nord-/Südgefälle. Während sich der Süden Bayerns im Bereich des langjährigen Mittels bewegte, war der Norden Bayerns zu trocken.

Im Main- und bayerischen Elbegebiet waren die **Abflüsse** unterdurchschnittlich. Es gab aber keine Niedrigwasserperioden. Im Donaugebiet entsprach das Jahr 2005 insgesamt den langjährigen Mittelwerten trotz des herausragenden Hochwasserereignisses vom August. Das gilt für die Abflüsse der Fließgewässer wie für die Wasserstände der Seen.

Das erste Hochwasser des Jahres wurde Mitte Februar im Donau- und Maingebiet registriert. Das Märzhochwasser war durch die Schneeschmelze ausgelöst und hatte in Mittelfranken seinen Schwerpunkt. Im Juli und Mitte August wurde zunächst der Chiemgau und das Berchtesgadener Land von Hochwasser heimgesucht, bevor erneut feuchtwarme Luft und Dauerniederschläge, verstärkt durch Schauer, zwischen dem 21. und 23. August für ein außergewöhnliches Hochwasser im gesamten südbayerischen Raum sorgten. In Kochel - Einsiedl z. B. wurde innerhalb von 24 Stunden die außerordentliche Niederschlagsmenge von 216 mm gemessen. Das Extremereignis ist unter dem Sonderthema „Augusthochwasser 2005“ beschrieben.

Die **Grundwasserstände** waren zu Beginn des Jahres relativ gering. Die Schneeschmelze im März stoppte den über mehrere Monate dauernden fallenden Trend. Vermehrte Niederschläge im April sorgten bayernweit für einen Grundwasseranstieg, so dass ab Mai mittlere Grundwasserstände beobachtet werden konnten. Dann sanken jahreszeitlich bedingt die Grundwasserstände wieder. Das Augusthochwasser in Südbayern ließ die Grundwasserstände stark steigen, während in Nordbayern der Abwärtstrend nicht unterbrochen wurde. Der trockene Herbst führte

dann in ganz Bayern zu sinkenden Grundwasserständen.

Bei der **Grundwasserbeschaffenheit** liegt der Anteil der Landesmessstellen mit bedenklicher Nitratbelastung (Werte über 40 mg/l) landesweit immer noch bei 10 Prozent. Jedoch wurden Überschreitungen des Trinkwassergrenzwertes bzw. der EU- Qualitätsnorm von 50 mg/l nur noch an wenigen Messstellen registriert. Die nitratarmen Grundwasservorkommen (kleiner 10 mg/l) vergrößerten sich 2005 leicht auf 53 Prozent. Vor 10 Jahren waren es noch 47 Prozent.

Während die **Böden** bis Ende Mai mit Werten oberhalb der Feldkapazität eine frühjahrstypische Durchfeuchtung aufwiesen, erstreckte sich die sommerliche Austrocknungsphase ungewöhnlich lang bis in den November hinein. Bei den gelösten Stoffgehalten des Bodensickerwassers wurden keine außergewöhnlichen Einflüsse festgestellt. Acht unterschiedliche Standorte zeigten mit durchschnittlich 0,3 bis 41,7 mg/l die typische Bandbreite der Nitratkonzentrationen unter Wald, Dauergrünland und Acker.

Bei der **Qualität der Fließgewässer** fiel das Jahr 2005 durch ungewöhnliche Algenentwicklung an Donau und Main mit zum Teil sehr hohen Chlorophyllwerten auf. Im Juli sank der Sauerstoffgehalt am Main sogar unter 5 mg/l. Damit wurde die erste Warnstufe erreicht. Die Hochwasser im Juli und August im südbayerischen Raum brachten hohe Schwebstoffmengen einhergehend mit erhöhten Phosphor- und Schwermetallgehalten. An der Salzach verbesserte sich 2005 die Gewässergüte-Saprobie von Klasse II bis III auf II. Eine steigende Tendenz zeigen Schadensfälle, die auf Biogasanlagen zurückzuführen sind. Problematisch sind weiterhin die Pflanzenschutzmittelgehalte vor allem in kleinen Gewässern. Ergänzende Untersuchungen hierzu sind ab 2006 vorgesehen.

Bei der **Qualität der Seen** waren 2005 keine Auffälligkeiten am Zustand oder extreme Güteverhältnisse zu verzeichnen. Auch blieben ungewöhnliche Algenentwicklungen – im Gegensatz zu den Flüssen Donau und Main – weitgehend aus.



Die Einstufung der Wasserqualität änderte sich gegenüber 2004 nicht.

Die **Wassertemperaturen** der Seen lagen um 0,3 Grad Celsius über dem langjährigen Jahresmittel. In den

letzten gut 30 Jahren erhöhte sich die mittlere Wassertemperatur an Seen und Flüssen in Bayern um ca. 1,5 Grad Celsius.



Witterung

Das Jahr 2005 war insgesamt zu warm, in Nordbayern zu trocken und in Südbayern lag der Jahresniederschlag im Bereich des langjährigen Mittels (1961/90). Detailliert werden langzeitliche Veränderungen von meteorologischen sowie hydrologischen Messgrößen (Klimawandel) in dem Vorhaben "Klimaveränderung und Wasserwirtschaft" (KLIWA) untersucht: <http://www.kliwa.de/>

Nordbayern

Der Monat Januar 2005 blieb in Nordbayern (= Gebiet nördlich der Donau) deutlich zu warm. Auch die Monatsmitteltemperaturen von April bis Juli sowie September und Oktober lagen über dem langjährigen Temperaturmittel 1961/90. Die restlichen Monate blieben vergleichsweise zu kalt, der Februar sogar deutlich zu kalt (Abweichung größer 2 Grad).

Die Mehrzahl der Monate war im langjährigen Vergleich zu trocken (März, Mai, Juni sowie September bis Dezember). Bei einer Abweichung von über 50 % vom Mittelwert 1961/1990 war der Juni sogar deutlich zu trocken. Zu nass fielen vergleichsweise die Monate Januar, Februar, April, Juli und August aus. Dadurch erreichte der Jahresniederschlag 741 mm und im Vergleich mit dem 30-jährigen Mittel (rd. 800 mm) entspricht dies einem Defizit von 7 %. Das Maingebiet wies im Kalenderjahr 2005 eine Gebietsniederschlagshöhe von 690 mm auf und lag mit 11 % unter dem Mittelwert 1961/90.

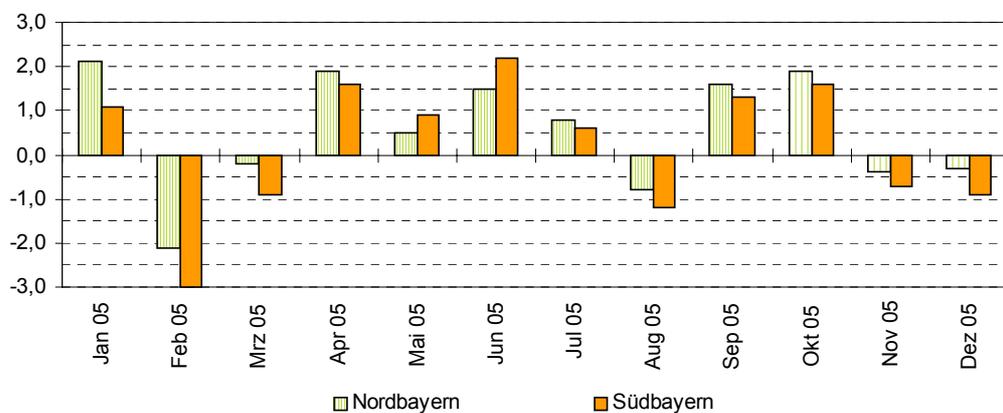
Südbayern

Auch in Südbayern waren die meisten Monate (Januar, April, Mai, Juni, Juli, September, Oktober) zu warm, insbesondere im Juni gab es eine deutliche Abweichung vom Mittelwert 1961/90. Die restlichen Monate fielen zu kalt aus, der Februar war dabei deutlich zu kalt.

Lufttemperaturverhältnisse in Bayern:

Abweichung der Monatsmittel 2005 vom Mittelwert der Periode 1961/90

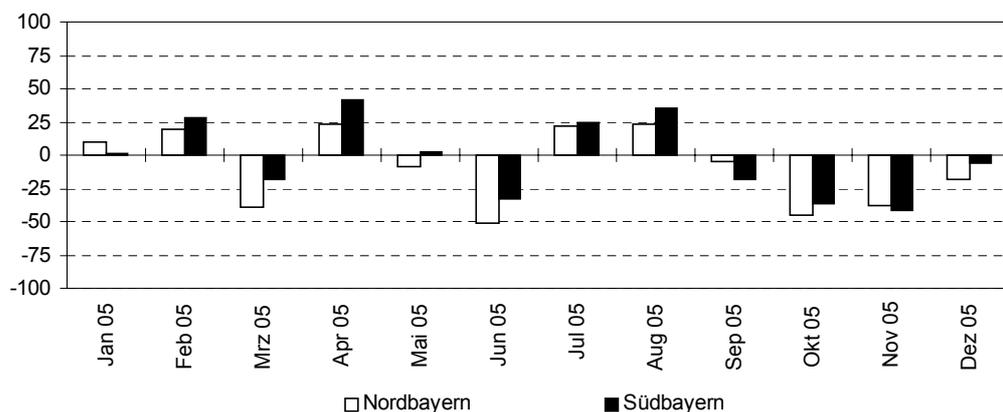
Abweichung vom Lufttemperaturmittel 1961/90 [°C]



Niederschlagsverhältnisse in Bayern:

Abweichung der Monatssummen 2005 vom Mittelwert der Periode 1961/90

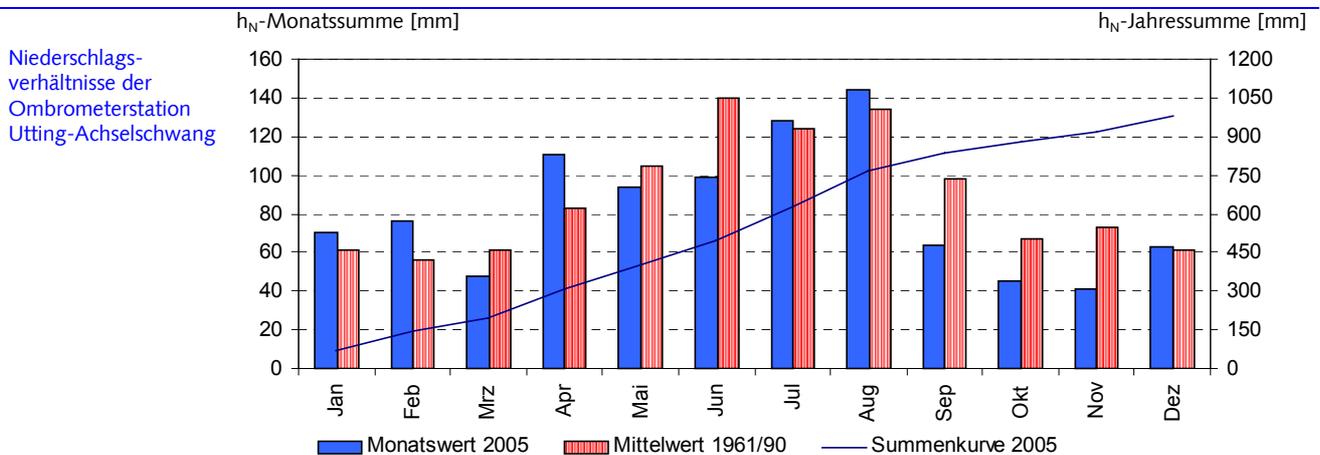
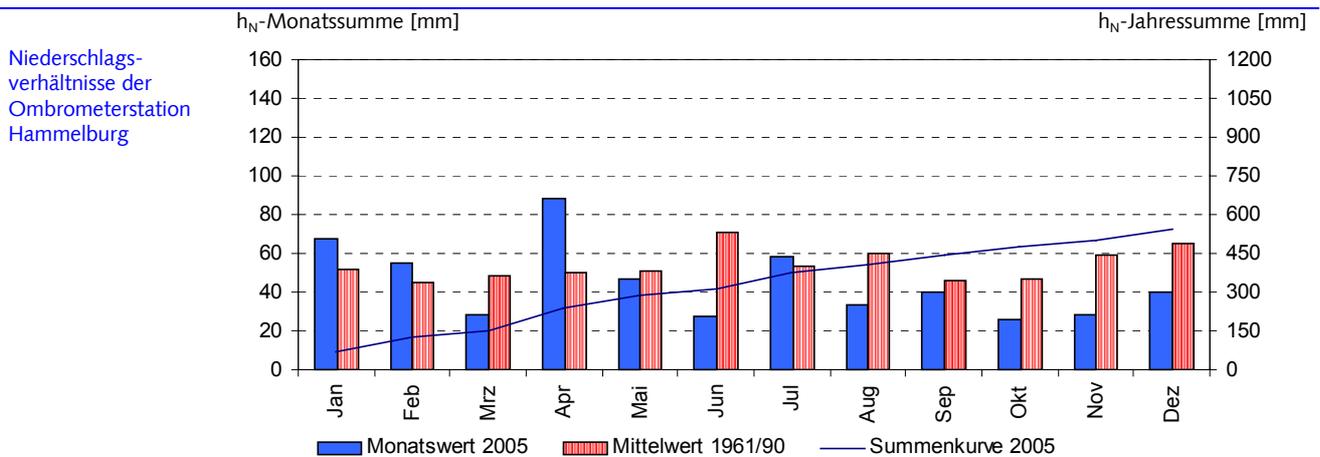
%-Abweichung vom Niederschlagsmittel 1961/90





In Südbayern (= Gebiet südlich der Donau) wurden bei den Monatsniederschlägen des Jahres 2005 keine deutlichen Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten registriert. Nach durchschnittlichem Monatsniederschlag im Januar fielen die Monate Februar, April, Mai, Juli sowie August zu nass und die restlichen Monate zu trocken aus. Der Jahresniederschlag

summierte sich auf 1110 mm und liegt damit im Bereich des 30-jährigen Mittels (rd. 1100 mm). Der Jahresniederschlag im Donaeinzugsgebiet summierte sich auf 975 mm und erreicht damit in etwa den langjährigen dem Mittelwert der Reihe 1961-1990 (rd. 990 mm).



Niederschläge

Zeitlich hochaufgelöste Daten werden in dem automatisierten Niederschlagsmessnetz (Ombrometernetz) der Bayerischen Wasserwirtschaft erfasst. Hintergrundinformationen zur Geräteausstattung und zum Betrieb des Messnetzes finden sich in dem Sonderthema "Niederschlagsmessnetz":

http://www.lfw.bybn.de/lfw/daten/mengen_qualitaet/jb/docs/jbgkd_04.pdf

Für die Betrachtung des Niederschlagsverlaufs im Jahr 2005 werden nur die außergewöhnlichen Niederschlagsereignisse näher beschrieben.

Der **Januar** war insbesondere in Nordbayern zu nass und maßgeblichen Anteil daran hatten die Starkniederschläge von Orkantief "Ingo" (z.B. Helmbrechts/Oberfranken: 39 mm am 20.), die im Maingebiet das erste Hochwasser des Jahres auslösten.

Weitere ergiebige und flächenhafte Regenfälle (z.B. Lindberg/Bayer. Wald: 62 mm am 12.) verursachte



Orkantief "Ulf" um den 10. **Februar**. Durch das Tauwetter wurde auch die Schneebedeckung abflusswirksam. Hochwasser im Main- und Donaugebiet war die Folge.

In der ersten Monatshälfte des **März** wurde bayernweit eine geschlossene Schneedecke registriert, aber ab dem 14. kam es bei Hochdruckeinfluss sowie subtropischer Luftmassenzufuhr zu starkem Tauwetter. Dabei löste die flächenhafte, temperaturbedingte Schneeschmelze im Regnitz- und Rednitzgebiet sowie an den nördlichen Donauzuflüssen Hochwasser aus.

Im langjährigen Vergleich war der **April** (z.T. deutlich) zu nass. Die Ursache waren die länger anhaltenden starken Regenfälle in der zweiten Monatshälfte, als in rascher Folge Tiefdruckgebiete mit ausgeprägten Frontensystemen Bayern überquerten (z.B. Bechhofen: 42 mm am 20., Inzell: 50 mm am 25.). Wiederum gab es Hochwasser in Mittelfranken, aber auch in Teilen von Schwaben, Oberbayern und Niederbayern.

Der **Mai** brachte Südbayern zeitweise kräftige, häufig gewittrige Niederschläge. Insbesondere das Adriatief "Horst" verursachte um den 18. Starkregen in Alpennähe (z.B. Ruhpolding: 66 mm am 18.) mit starkem Neuschneezuwachs in den Hochlagen. Insgesamt lagen die monatlichen Niederschlagssummen aber im Bereich des langjährigen Mittels.

Der **Juni** blieb in Bayern vergleichsweise (Mittel 1961/90) zu trocken und war geprägt von zeitweiligen, überwiegend gewittrigen Regenfällen, die örtlich Starkregen (z.B. Wielenbach: 72 mm am 14., Inzell: 85 mm am 25.), Hagel und lokale Überschwemmungen verursachten.

Im **Juli** kam es häufig zu ausgeprägten Kaltfrontdurchgängen mit Gewittern und Starkregenfällen. Ergiebiger Dauerregen setzte vor allem bei der langsamen Verlagerung des Balkantiefs "Bernhard" vom 10. bis 12. im Raum Berchtesgaden - Chiemgauer Alpen ein (z.B. Unterwössen: 249 mm in 48 h). Dies führte in Südostbayern zu Überschwemmungen, Hochwasser und zu Murenabgängen.

Nach dem zu nassen Juli folgte ein ebenfalls überdurchschnittlich nasser **August**. Wie im Juli verursachten Tiefdruckgebiete über dem Balkan ("Isidor" und "Lars") ergiebige Niederschläge in Oberbayern. Der Schwerpunkt lag wiederum im Bereich Chiemgau/Chiemgauer Alpen (z.B. Ruhpolding: 112 mm vom 14. bis 16.). Vom 20. bis 23. verlagerte sich das Tief "Norbert" von Südfrankreich über Norditalien zur Adria (Vb-artige Zugbahn). Bei nordöstlicher Anströmung der Alpen mit feuchtwarmer Luft kam es zu ergiebigen Dauerniederschlägen, die noch schauerartig verstärkt wurden (z.B. Kochel-Einsiedl: 216 mm in 24h). In Südbayern (Bereich: Iller – Donau – Inn) entstand ein außerordentliches Hochwasser (siehe auch Sonderthema „Augusthochwasser 2005“).

Die ausgedehnten Hochdruckgebiete im ersten und letzten Monatsdrittel des **Septembers** sorgten für sonniges Spätsommerwetter und einen insgesamt zu trockenen Monat (Vergleich 1961/90). Zeitweise und lokal begrenzt kam es aber auch zu starken gewittrigen Regenfällen (z.B. Berchtesgaden/Jenner: 60 mm am 2. und 31 mm am 17., Marktoberdorf: 51 mm am 9.).

Der **Oktober** war im langjährigen Vergleich bayernweit zu trocken und ein stärkeres Niederschlagsereignis wurde nur zu Monatsbeginn bei Durchzug des Tiefs "Rita" verzeichnet. Ansonsten sorgten ausgedehnte Hochdruckgebiete für sonniges Herbstwetter und länger anhaltende Trockenperioden.

Im **November** verursachte länger anhaltender Hochdruckeinfluss sonniges Spätherbstwetter, eine 10-tägige Trockenzeit und eine niederschlagsschwache Monatsbilanz. Nur vereinzelt wurden Starkniederschläge registriert (z.B.: Kochel-Einsiedl: 31 mm am 21.) und ab dem 16. setzten Schneefälle ein, die verbreitet bis zum Monatsende eine geschlossene Schneedecke entstehen ließen.

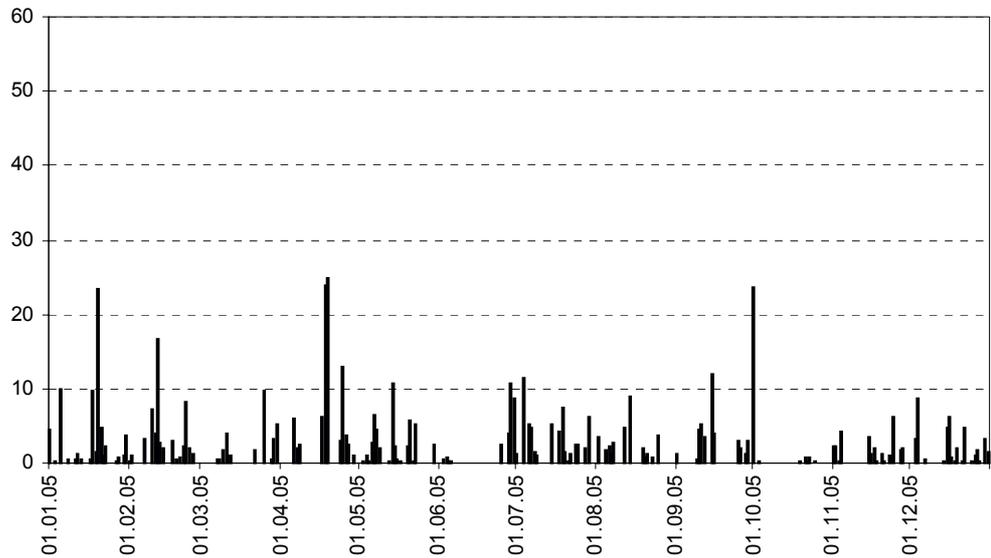
Als dritter Monat in Folge war auch der **Dezember** verbreitet zu trocken. Stärkere Niederschläge wurden nur am 4. in Nordbayern und am 16. in Süd- und Ostbayern verzeichnet (z.B. Lindberg/Bayer. Wald: 57



mm am 16.). Ab dem 17. hielt sich dann in den höheren Lagen der Mittelgebirge und im Alpenvorland

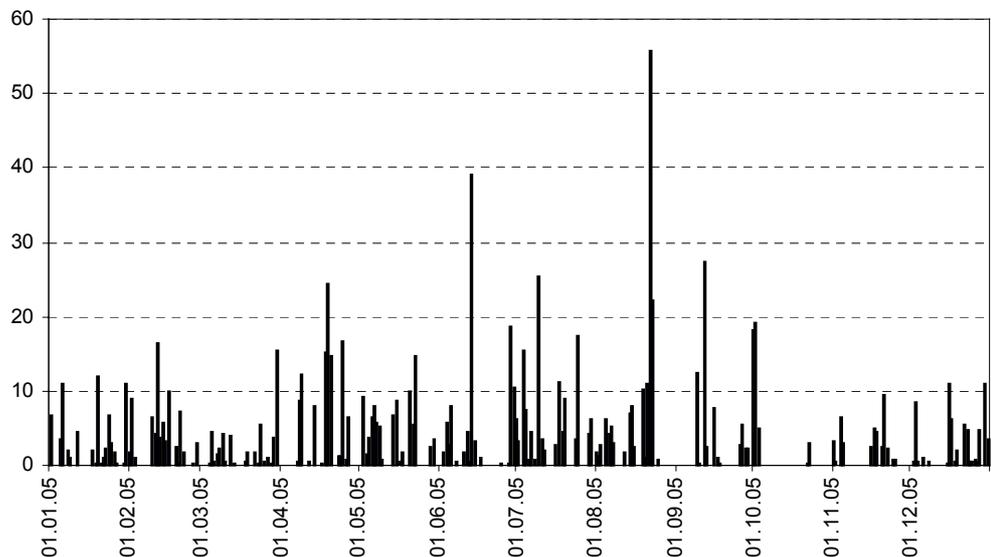
h_N -Tageswert [mm]

Niederschlag h_N der
Ombrometerstation
Hammelburg



h_N -Tageswert [mm]

Niederschlag h_N der
Ombrometerstation
Utting-Achselschwang



eine geschlossene Schneedecke.

Insgesamt war das Jahr 2005 in Nordbayern, wie schon 2004, zu trocken und in Südbayern wurde ungefähr der langjährige Niederschlagsdurchschnitt erreicht. Dies belegen auch die Niederschlagsaufzeichnungen der ausgewählten Stationen. So wurden in Hammelburg 84% (541 mm) und in Utting / Ach-

selschwang 93% (982 mm) vom langjährigen Mittelwert 1961/90 erreicht.

Eine detaillierte Witterungsbeschreibung findet sich jeweils bei den einzelnen Monatsberichten:

http://www.lfw.bybn.de/lfw/daten/mengen_qualitaet/mold.htm

Weitere Niederschlagsdaten finden Sie im Internet unter: <http://www.hnd.bayern.de/>



Fließgewässer

Abflüsse

In **Main-** und im **bayerischen Elbegebiet** waren die Abflüsse im Jahr 2005 insgesamt unterdurchschnittlich. Längere Niedrigwasserperioden wie in den beiden Jahren zuvor gab es aber nicht.

Januar und **Februar** waren „nass“, d. h. in ganz Nordbayern wurden größere Abflüsse festgestellt wie im langjährigen Durchschnitt. Vom 20. bis 24. Januar und Mitte Februar herrschte im Maingebiet Hochwasser. Ein Kälteeinbruch in der zweiten Februarhälfte verhinderte Schlimmeres.

Insgesamt waren die Abflüsse im **März** unterdurchschnittlich. Die Schneeschmelze führte aber zwischen dem 16. und 22. zu erhöhten Abflüssen. Die Flüsse stiegen nicht bedrohlich an, weil in dieser Zeit kaum Regen fiel.

Die Abflüsse im **April** und im **Mai** blieben ohne größere Schwankungen. Sie waren geringer als im langjährigen Mittel.

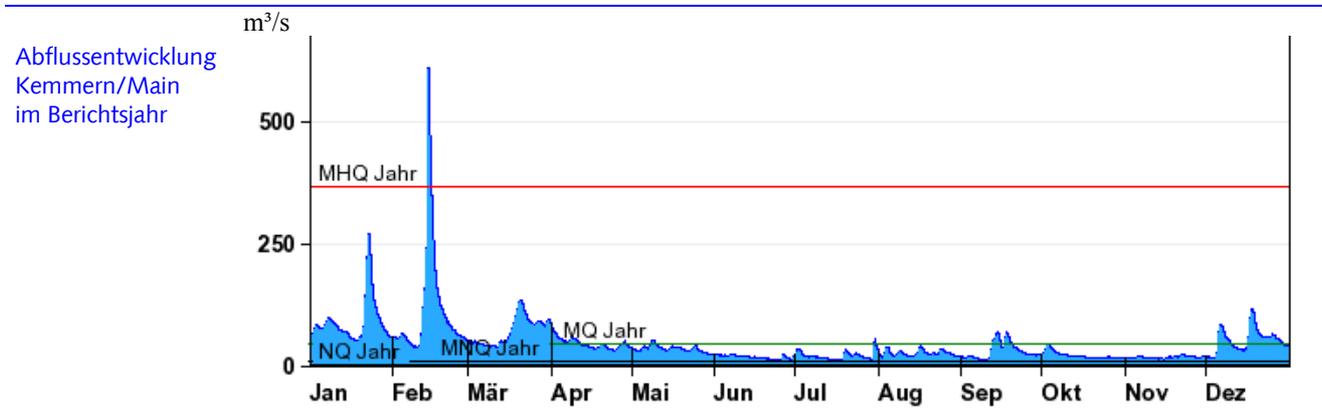
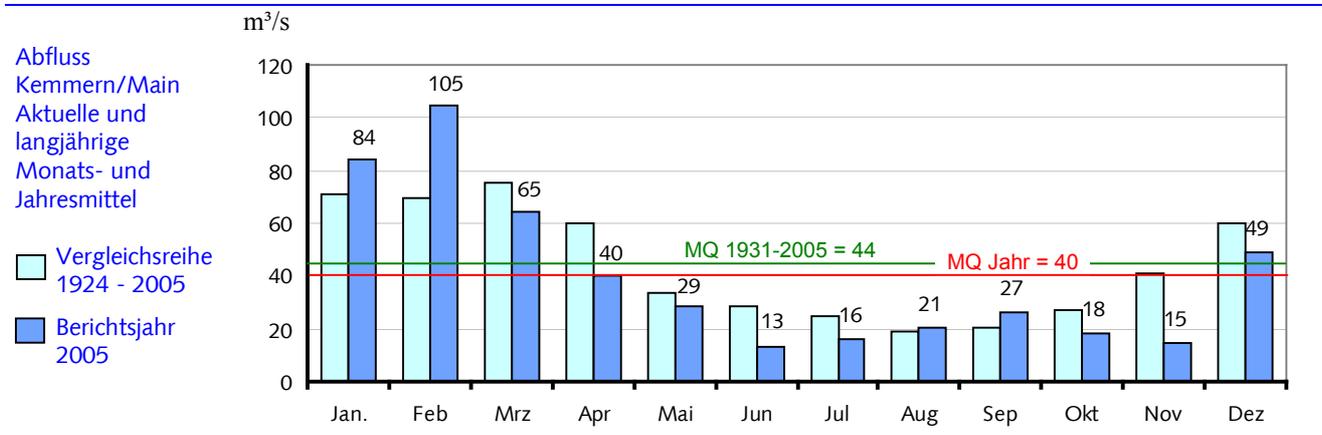
Noch ausgeprägter war das Defizit in den Monaten **Juni** und **Juli**. Trotzdem fielen die Wasserstände nicht besorgniserregend.

August und **September** verliefen ziemlich ausgeglichen.

Im abflussschwachen **Oktober** fielen die Wasserstände kontinuierlich.

Auch der **November** verlief stark unterdurchschnittlich. An vielen Messstellen wurden die mittleren Niedrigwasserstände für den Monat unterschritten.

Schließlich brachte der **Dezember** - insbesondere in Unterfranken - deutlich weniger Abflüsse wie zu erwarten war.





Im **Donaugebiet** entsprach das Jahr 2005 insgesamt den langjährigen Mittelwerten trotz des herausragenden Hochwasserereignisses vom August. Niedrigwasserperioden gab es nicht.

Der **Januar** war abflussschwach. Das Hochwasserereignis vom 20. bis 24. in den Einzugsgebieten von Wörnitz, Altmühl, Naab, Regen und Ilz änderte diese Bilanz nicht entscheidend.

Mitte des Monats **Februar** kam es an der niederbayerischen Vils und an der Rott zu einem beachtlichen Hochwasser. Dann sanken die Wasserstände, da der Winter mit frostigen Temperaturen nochmals einzog. Rand- und Grundeis mussten entfernt werden, um gefährlichen Aufstau vorzubeugen.

Mitte **März** wurde es warm. Mit der Schneeschmelze stiegen die Wasserstände. Seit Monaten konnte ein Wasserüberschuss registriert werden.

Auch der **April** brachte ein deutliches Plus gegenüber den langjährigen Mittelwerten. Hochwasser gab es aber nur an der Wörnitz.

Der **Mai** hatte ein leichtes Plus gegenüber dem gewässerkundlichen Soll.

Normalerweise ist der **Juni** der abflusstärkste Monat für die alpinbeeinflussten Gewässer Bayerns. 2005 aber war es anders. Die Abflüsse lagen im gesamten Donaugebiet deutlich unter den Mittelwerten des Monats.

Auch im **Juli** wurden die Mittelwerte mit Ausnahme des Isar- und Inngebietes nicht erreicht. Zwischen dem 10. und dem 13. kam es in Südostbayern zu einem großen Hochwasser. Besonders schwer wurde der Ort Unterwössen heimgesucht.

Der **August** begann normal. Am 16. und 17. entwickelte sich im Raum zwischen Inn und Salzach ein beachtliches Hochwasser. Wieder war Unterwössen besonders betroffen.

Das Hochwasser eine Woche später (21. bis 27.) wird als Extremereignis „Augusthochwasser 2005“ in die Annalen eingehen. Vom Bodenseegebiet bis zum Inn traten an den bayerischen alpinen und voralpinen Flüssen z. T. katastrophale Überschwemmungen auf. Die Dramatik sei am Isar-Pegel in Mittenwald angedeutet: Innerhalb von 24 Stunden sprang der Abfluss von 16 auf rd. 190 m³/s also um das 12-fache. Der Pegel, der seit 80 Jahren betrieben wird, erreichte einen zuvor noch nicht festgestellten Höchstabfluss (HQ). Der bisherige beim Hochwasser vom 10. August 1970 festgestellte HQ-Wert war 163 m³/s also 15 % niedriger. Von den rd. 150 betroffenen Pegeln wurden bei rd. 30 neue Höchstabflüsse festgestellt. Noch schlimmeres verhinderte der Sylvensteinspeicher für die Isar, der Forggensee für den Lech und der Grüntensee für die Wertach (siehe auch Sonderthema „Augusthochwasser 2005“).

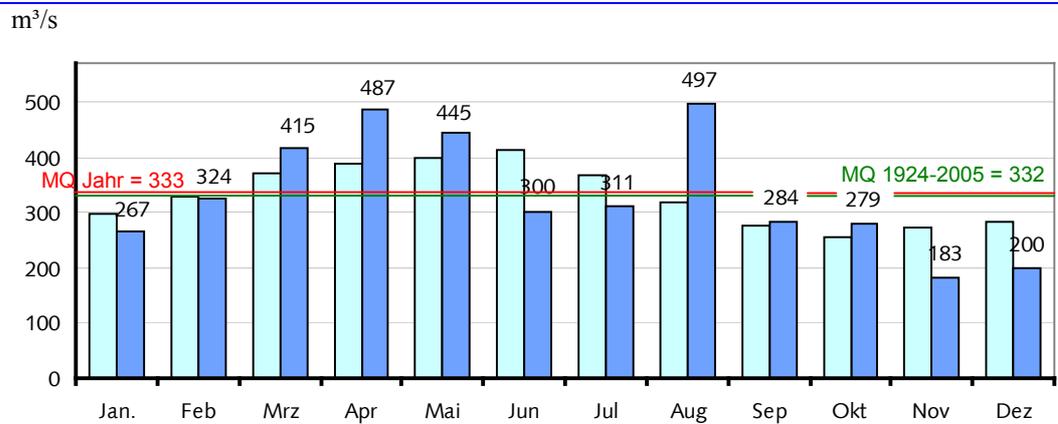
Die Monate **September** und **Oktober** waren sehr ausgeglichen ohne Hoch- und Niedrigwasser.

Im **November** und im **Dezember** blieben die Abflüsse weit unter Durchschnitt. Die kurzen Niederschlagsperioden zeigten keine anhaltende Wirkung.

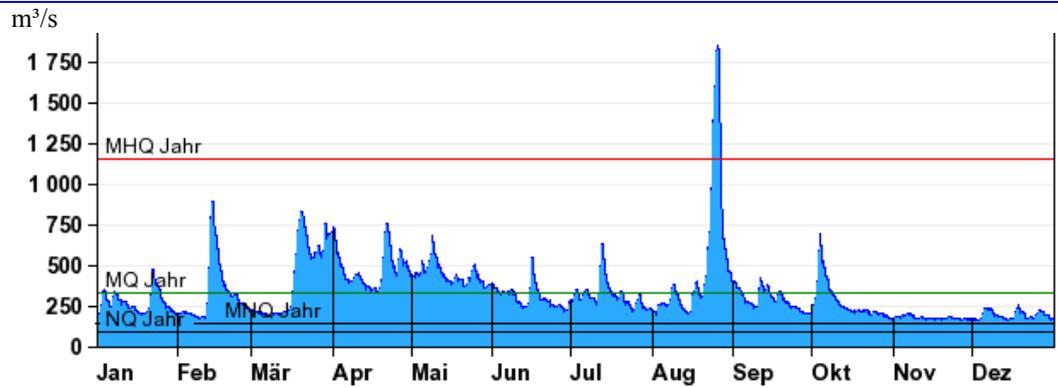


Abfluss
Kelheim/Donau
Aktuelle und
langjährige
Monats- und
Jahresmittel

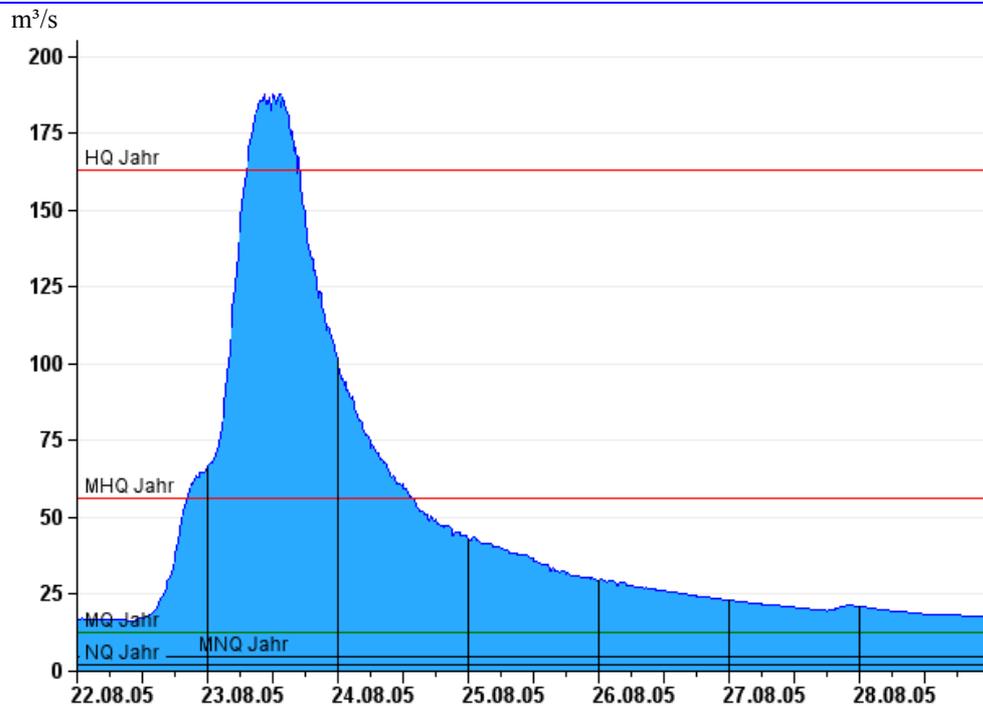
- Vergleichsreihe
1931 - 2005
- Berichtsjahr
2005



Abflussentwicklung
Kelheim/Donau
im Berichtsjahr



Abflussentwicklung
Mittenwald/Isar
vom 22. bis 28.
August





Fließgewässer

Hochwasser

Die ersten Überschwemmungen des Jahres 2005 wurden vom 20. bis 24. **Januar** registriert. Betroffen waren die Einzugsgebiete der Fränkischen Saale, des Oberen Mains, der Regnitz sowie im Donaugebiet die Wörnitz, die Altmühl, die Naab und der Regen mit Meldestufen 1 bis 3.

Ergiebige Niederschläge und Tauwetter führten vom 10. bis 13. **Februar** zu Hochwasser. Im Main-Einzugsgebiet lagen die Schwerpunkte an der Regnitz, am Oberen Main, der Itz und der Fränkischen Saale. Im Donau-Einzugsgebiet gab es vor allem an der Wörnitz, der Naab, am Regen, der Vils, der Rott und an der schiffbaren Donau Überschwemmungen. Verbreitet wurden die Meldestufen 2 und 3, vereinzelt sogar die Stufe 4 überschritten.

Das Hochwasser im **März** hat seine Ursache ausschließlich im Schmelzwasser. Die Flüsse, die der Frankenhöhe entspringen (Tauber, Wörnitz, Altmühl, Fränkische Rezat, Zenn und Aisch) führten Hochwasser. Betroffen waren aber auch die Fränkische Saale, die Naab, der Regen sowie das südliche Donauvorland und die Donau unterhalb von Regensburg. Die Meldestufen 1 und 2 wurden dabei erreicht.

Ausuferungen wurden Ende des Monats **April** gemeldet. Wieder kamen die Meldungen von der Wörnitz, der Altmühl sowie vom Flussgebiet der Regnitz.

Vom Hochwasser verschont waren die Monate Mai und Juni.

Im **Juli** führten in Südostbayern Stauniederschläge zu Hochwasser und Murenabgängen. Bei den alpinen und voralpinen Einzugsgebieten von Inn und Isar wurden rasch die Meldestufen überschritten. Wildbäche verursachte im Raum Unterwössen im Chiemgau eine katastrophale Überschwemmung.

Am 16. **August** suchte ein Hochwasser vor allem das Berchtesgadener Land und den Chiemgau heim. Die Meldestufen 2 und 3 wurden an der Tiroler Achen, der Mangfall, der Traun, der Alz, der Saalach und der Salzach überschritten.

Das Ereignis vom 21. bis 23. war extrem sowohl von der Intensität als auch von der räumlichen Ausdehnung. Es wird als „Augusthochwasser 2005“ in die Annalen eingehen. Der alpine und voralpine Raum von den Allgäuer Alpen bis zum Mangfallgebirge waren besonders schwer heimgesucht. Dieses Ereignis ist als Sonderthema „Augusthochwasser 2005“ zusammengefasst.

Der Rest des Jahres verlief glimpflich. Nur im **Dezember** gab es im Gebiet des Oberen Mains kleinere Ausuferungen.

Aktuelle Informationen zum Hochwasser finden Sie unter <http://www.hnd.bayern.de/>



Fließgewässer-Qualität

Messnetz und Messprogramme

Der Zustand und die langfristige Entwicklung der Gewässerqualität in Bayern wird im Landesmessnetz Fließgewässer erfasst. Die zugehörigen Messstellen liegen an 40 verschiedenen bedeutenden Gewässern und zwei Kanälen. Sie decken eine Vielfalt an naturräumlichen Gegebenheiten, Abflussverhältnissen und Belastungen ab. Untersucht wird das Wasser selbst, die im Wasser schwebenden Partikel, der so genannte Schwebstoff, sowie die im Wasser lebenden Organismen, Tiere wie Pflanzen.

Zustand und Entwicklung 2005

Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt

Die Sauerstoffgehalte der großen Flüsse Main und Donau waren in diesem Jahr durch starke Algenentwicklungen geprägt. Die mittleren Nährstoffkonzentrationen normalisierten sich dagegen nach den niedrigen Werten im Trockenjahr 2003 und den oft erhöhten Gehalten im Folgejahr 2004 wieder. An rund 90% der untersuchten Gewässer waren die Zielvorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für Ammonium eingehalten, an 60% für Phosphat und an 30% für Nitrat.

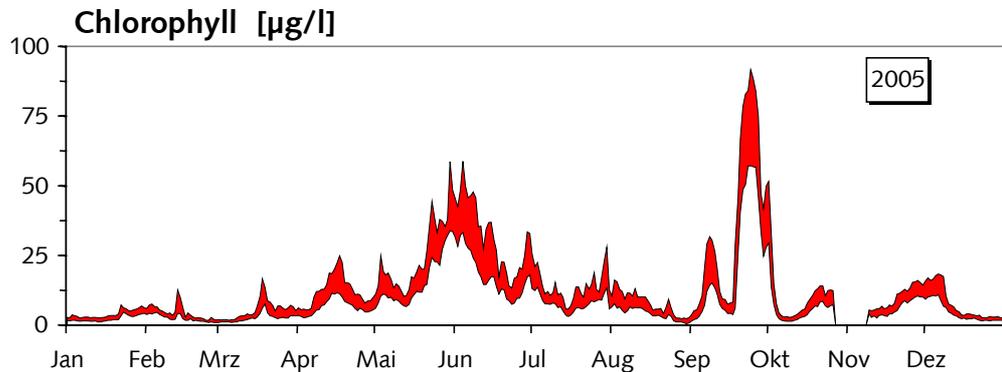
Im Vergleich zu den beiden Vorjahren waren die Witterungs- und Abflussverhältnisse wechselhaft und daher in der Folge auch die Gewässerqualität von häufigen Veränderungen geprägt: im Februar führten Hochwasser am Main zu erhöhten Phosphor- und Schwermetallwerten. Durch den neuerlichen Winterseinbruch Anfang März entspannte sich die Situation, die Gewässertemperaturen fielen aber in vielen Flüssen auf um die Null Grad und damit auf den Jahrestiefststand. Teilweise bildete sich Rand- und Grundeis. Die Ammonium-Konzentrationen stiegen häufig stark an. Der ungewöhnlich warme und trockene Juni führte sogar in alpin beeinflussten Gewässern zu höheren Wassertemperaturen, im Main wurde eine außergewöhnlich starke Algenblüte ausgelöst: Die Sauerstoffwerte erreichten fast 20mg/l,

Neben dem Monitoring im Landesmessnetz werden einige Sonderuntersuchungen durchgeführt. Exemplarisch erwähnt sei hier nur die Sonderuntersuchung „Pflanzenschutzmittel in kleinen Fließgewässern“, deren Konzept im Jahr 2005 optimiert wurde und die die Ergebnisse des Landesmessnetzes wesentlich ergänzt. Im Vorgriff auf die Überwachungsprogramme der europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurden 2005 außerdem drei Pilot-Flussgebiete und die Mehrzahl der Messstellen des Landesmessnetz nach neuen Anforderungen untersucht.

die Sauerstoffsättigung lag zeitweise im gesamten unterfränkischen Main über 200%. In der Schlussphase der Algenentwicklung traten Tagesschwankungen des Sauerstoffs von mehreren Milligramm pro Liter auf. Ende Juni brach die Algenpopulation zusammen, der Sauerstoffgehalt fiel innerhalb weniger Tage auf 6mg/l ab. In der Folge traten am Main immer wieder Algenblüten auf – Ende Juli fiel der Sauerstoffgehalt unter 5mg/l und erreichte so die Warnstufe für den Gütealarm. Während das nachfolgende schlechte Wetter eine Entspannung für Nordbayern bedeutete, führten in Südbayern drei Starkregenereignisse zwischen Mitte Juli und Ende August zu großen Hochwassern, das letzte zu dem Extremereignis „Augusthochwasser 2005“. In die südlichen Donauzuflüsse und die Donau selbst wurden große Mengen Schwebstoff eingespült, das Gewässersediment wurde aufgewirbelt und verlagert. Dies führte zu erhöhten Phosphor- und Schwermetallgehalten in dieser Zeit. Der trockene und sehr warme Herbst ließ in vielen Gewässern dann nochmals eine späte, aber ausgeprägte Algenblüte entstehen. An der Donaumesstation in Bad Abbach (Abb. 1) wurden in dieser Zeit sogar die Jahreshöchstwerte für den Algenfarbstoff Chlorophyll A gemessen (92 µg/l). Im weiteren Gewässerverlauf waren in Deggendorf und in Passau vor Mündung des Inns sogar Spitzenwerte von 200µg/l nachzuweisen.



Abb. 1:
 Tagesschwankungen
 des Chlorophylls
 in der Donau, 2005
 Messtation
 Bad Abbach
 (Tagesminima und
 Tagesmaxima)



Gewässergüte - Saprobie

Die Bewertung der Saprobie erfolgte 2005 wie in den Vorjahren im 7-stufigen Saprobiensystem, unabhängig vom Gewässertyp. Ein Wechsel auf das 5-stufige System im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie wird zur Zeit vorbereitet.

Insgesamt wurden nur wenige, regional eng begrenzte Änderungen der Gewässergüte - Saprobie mit überwiegend positiver Tendenz registriert. Diese sind in der Regel auf abwassertechnische Maßnahmen zurückzuführen.

Hervorzuheben ist die kontinuierliche Verbesserung der Salzach.

Mündung in den Inn, war sie jahrzehntelang sehr stark verschmutzt (Güteklasse III-IV), dann übermäßig verschmutzt (Güteklasse IV), später stark verschmutzt (Güteklasse III) und seit 1995 durchgehend als kritisch belastet (Güteklasse II-III) eingestuft. Verantwortlich für die organische Belastung war im Wesentlichen ein Großeinleiter, die Papierwerke Hallein, südlich von Salzburg. Seit 1979 wurden die Einträge aus Hallein durch ein abwassertechnisches Sanierungsprogramm kontinuierlich reduziert, von einer täglichen BSB₅-Fracht von über 84 Tonnen auf 2 Tonnen. Durch die Inbetriebnahme der chlorfreien Bleiche im Jahr 1992 wurde auch die Belastung mit toxischen Stoffen verringert – die AOX-Fracht sank auf 20 kg/Tag. Einen weiteren entscheidenden Beitrag zur Reduzierung des Phosphateintrags in die Salzach leistete die Einführung der Phosphatfällung in Siggerwiesen, der Kläranlage des Großraumes Salzburg im Jahr 2002. Durch die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen kann die Salzach heute in die Güteklasse II (mäßig belastet) eingestuft werden.



Bild: Salzachknie in Laufen: Hauptmessstelle für Biologie und Chemie, Quelle: Wasserwirtschaftsamt Traunstein

Die Salzach zählte seit Beginn der amtlichen Gewässerüberwachung in den 50er Jahren dauerhaft zu den am stärksten belasteten Flüssen in Bayern. Über ihre gesamte Fließstrecke als Grenzfluss, knapp 60 km von der Saalachmündung bei Freilassing bis zur



Bild: Kläranlage Siggerwiesen, Quelle: Wasserwirtschaftsamt Traunstein



Besonders umfangreiche Untersuchungen zur Gewässergüte-Saprobie wurden in Mittelfranken im Zusammenhang mit der Erstellung einer neuen Gewässergütekarte durchgeführt: 40% der Fließgewässer im Regierungsbezirk wurden aktuell kartiert. Dabei zeigte sich, dass der Anteil der Gewässer in Güteklasse II im Vergleich zur letzten Gütekarte um 17% gesteigert werden konnte. Besonders in den Oberläufen der Nebenflüsse von Wörnitz und Altmühl bewirkten Ausbaumaßnahmen bei zahlreichen Kläranlagen deutliche Verbesserungen.



Bild: Blauflügel-Prachtlibelle, bevorzugt Bäche mit höherer Fließgeschwindigkeit. Gegen Verschmutzung und Gewässerverbauung ist sie besonders empfindlich.

Kartierung Trophie

Die Bewertung erfolgte 2005 nochmals nach dem so genannten „trophischen Aspekt“. Zur Indikation wurde die für das jeweilige Gewässer charakteristische Pflanzengruppe herangezogen: dies können höhere Wasserpflanzen oder am Gewässergrund festsetzende Algen sein. Für große, langsam fließende Gewässer sind schwebende Algen, das Plankton, typisch. Die Planktonmenge kann indirekt über den Chlorophyllgehalt des Wassers abgeschätzt werden.

Im Jahr 2005 waren an Main und Donau sehr hohe Chlorophyllgehalte aufgetreten. Diese waren mit großer Wahrscheinlichkeit nicht durch gesteigerten Nährstoffeintrag oder strukturelle Veränderungen an den Gewässern verursacht, sondern durch die spezielle Witterungssituation bedingt. In den letzten Jahren zeigte der Main vielmehr eine Tendenz zu schwächeren Algenblüten. Die Werte des Jahres 2005 alleine führen daher nicht zu einer Neubewertung der großen Gewässer.

Schadstoffe

Generell kann die Schadstoffbelastung in Bayern als gering bezeichnet werden, für einige Substanzen liegen aber auch regional Belastungen vor. Wie in den Vorjahren traten auch 2005 kaum Belastungen durch **"VOC- leichtflüchtige Halogenverbindungen"** auf. Ebenso konnten keine auffälligen Verunreinigungen durch **organische Substanzen im Schwebstoff** der Gewässer festgestellt werden.

Die Situation bezüglich der **Schwermetalle** hat sich wenig verändert. Werden die Zielvorgaben der LAWA zur Beurteilung herangezogen, traten in der Wasserphase nur bei Blei und Quecksilber Überschreitungen auf. Am Main wurde auch der Zielwert für Kupfer in den letzten beiden Jahren überschritten. In der Schwebstoffphase werden Zink, Kupfer und Cadmium häufiger überschritten, weitere Schwermetalle vereinzelt an einigen Messstellen. Ein Teil der Belastung, vor allem im Bayerischen Wald, ist durch die natürlichen geologischen Verhältnisse bedingt. Verbessert hat sich insbesondere die Schwermetallbelastung der Regnitz (Abb. 2) und der Rösau. An mehreren Messstellen sinken die Kupfer- und Bleiwerte im Schwebstoff seit einigen Jahren. Erhöhte Schwebstoffwerte waren dagegen an der Donau in Bad Abbach festzustellen – als Folge des Augusthochwassers.

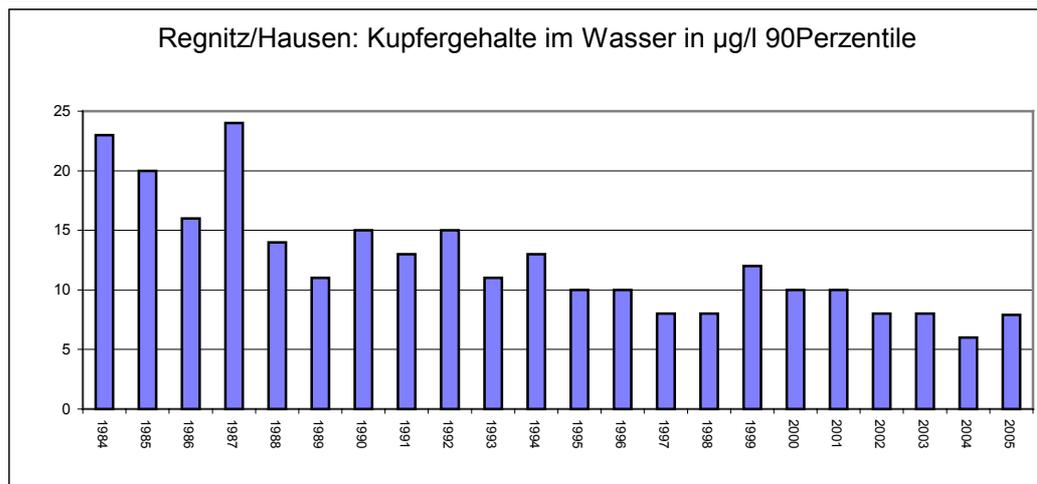
Besondere Aufmerksamkeit wurde im Jahr 2005 der Untersuchung von **Pflanzenschutzmitteln (PSM)** gewidmet. An den großen und mittleren Fließgewässern des Landesmessnetzes wurde etwa ein Dutzend Substanzen nachgewiesen, fünf davon teilweise mit Werten über dem Trinkwassergrenzwert von $0,1\mu\text{g/l}$. Im Sonderuntersuchungsprogramm für kleine Fließgewässer wurden durchgehend noch höhere Belastungen festgestellt - hohe Spitzenwerte traten zum Beispiel für den Stoff Isoproturon im Frühjahr auf ($0,7\mu\text{g/l}$). Bei einer intensiven Studie an der niederbayerischen Vils zeigte sich, dass die Belastung mit Pflanzenschutzmitteln in einem Flusseinzugsgebiet sehr variabel sein kann und in kleinen Zuflüssen mitunter mit sehr hohen Werten gerechnet werden muss. Diese Ergebnisse waren Anlass für das neue Untersuchungsprogramm PSM-Regio, das in 2006 beginnt und vor allem zu kleineren Gewässern weitere Informationen liefern soll.



Zur Erfüllung der Bayerischen Gewässerqualitätsverordnung wurden im Jahr 2005 Nachuntersuchungen auf **Zinnorganika, PCB und sauer extrahierbare Pflanzenschutzmittel** durchgeführt, die aufgrund von Überschreitungen von Qualitätszielen in 2004 veranlasst waren. Es wurden keine Überschreitungen der Qualitätsziele beobachtet.

Eine **Altlast** im oberbayerischen Chiemgauer Dreieck ist für die anhaltende Belastung von Alz und Inn mit Hexachlorbutadien verantwortlich. Die Sanierung ist nach wie vor im Gange, bis zur vollständigen Erholung der Gewässer werden noch einige Jahre vergehen.

Abb. 2:
Rückgang der Kupfergehalte in der Regnitz von 1984 bis 2005 (Dargestellt sind 90Perzentile, d.h. Werte, die von 90Prozent der Messwerte eines Jahres unterschritten werden)



Schadensfälle

Gewässerverunreinigungen treten zunehmend im Zusammenhang mit Biogasanlagen auf. Gülle und ablaufende Gärsäfte aus Biomasselagern sowie organisch belastete Niederschlagswässer beeinträchtigen Gewässer teilweise massiv und längerfristig. Die Nachsorge kann geraume Zeit in Anspruch nehmen. Weitere Schadensfälle wurden 2005 von verschiedenen Unfällen bei der Lagerung wassergefährdender Stoffe und dem rechtswidrigen

Umgang mit Pflanzenschutzmitteln verursacht. Im Grenzbereich zu Österreich führte eine Betriebsstörung der Kläranlage Ehrwald/Lermoos zu einem größeren Fischsterben in der Loisach. Die geschädigte Biozönose konnte sich jedoch wieder schnell erholen.

Fließgewässer-Bewertung nach EU-Wasserrahmenrichtlinie

Neue Bewertungsverfahren für den ökologischen und chemischen Zustand

In den nächsten Jahren werden die bisherigen Bewertungsverfahren für die Gewässerqualität an die neue EU-Wasserrahmenrichtlinie angepasst. Dies bedeutet:

Es werden mehr biologische Bewertungskomponenten als bisher für die Beurteilung herangezogen:

Makrozoobenthos, Makrophyten/Phytobenthos, Phytoplankton und Fische. Die Gewässer werden Typ bezogen bewertet, d.h. für jeden Gewässertyp gibt es ein eigenes Zielsystem. Alpine Bäche werden z.B. anders bewertet als silikatreiche Gewässer des Mittelgebirges. Außerdem wird der Gewässerzustand durch Vergleich mit einem Referenzzustand ermittelt. Im chemischen Bereich werden insbesondere neue



Qualitätsnormen diskutiert. Mit den Bewertungsverfahren ändern sich auch die Untersuchungsprogramme und die zu betrachtenden Gewässernetze. Ende 2006 soll dieser Anpassungsprozess abgeschlossen sein und mit den neuen Untersuchungen begonnen werden können.

Das ökologische Potenzial

Wenn die Struktur eines Fließgewässers stark verändert ist und eine naturnähere Gestaltung nachteilig für wichtige dauerhafte Nutzungen wäre, kann künftig der Status „erheblich verändert“

vergeben werden. Für diese Gewässer gilt statt des guten Zustandes ein reduziertes, an die Nutzung angepasstes Qualitätsziel, das ökologische Potenzial. Bei einer ersten Bestandsaufnahme im Jahr 2004 wurden vorläufig 23 % der Fließgewässer als künstlich oder erheblich verändert eingestuft

Aktuelles

Aktuelle Informationen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Bayern finden Sie unter: www.wasserrahmenrichtlinie.bayern.de.



Seen

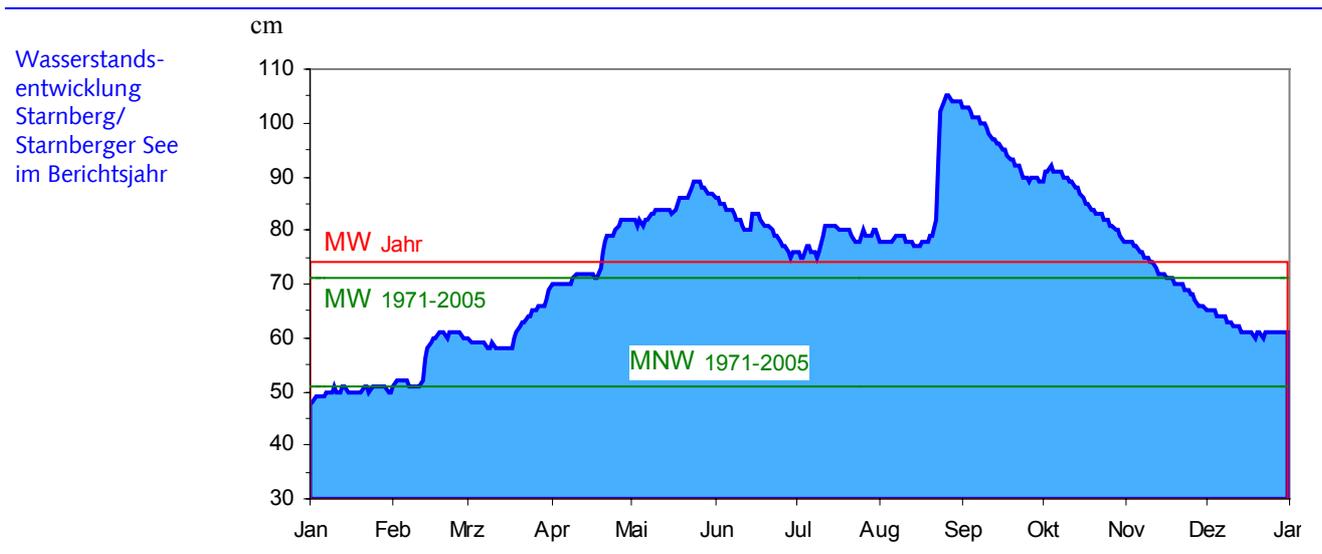
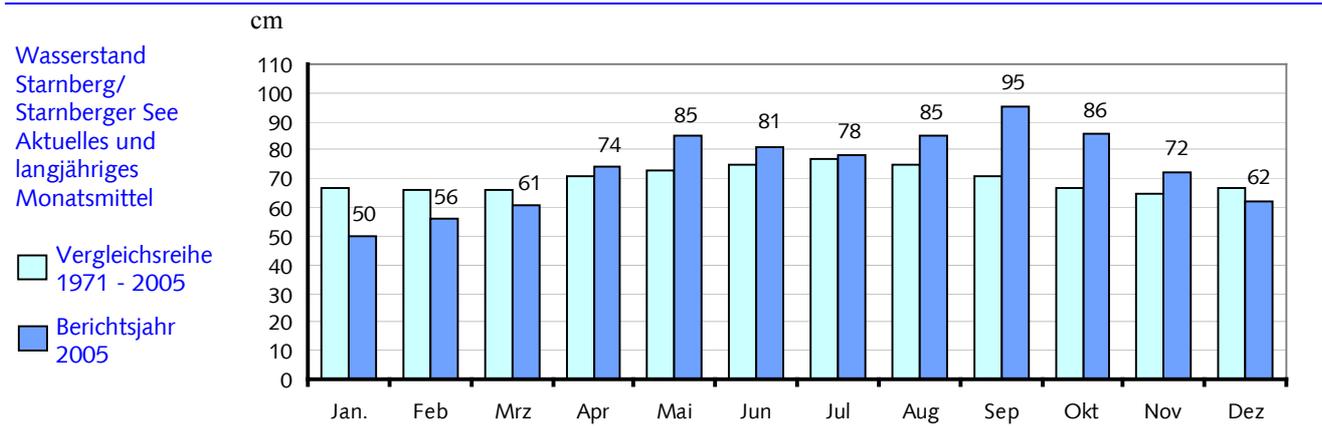
Wasserstände

An den Pegeln der südbayerischen Seen wurden im Jahr 2006 mittlere Jahreswerte der Wasserstände bilanziert, die trotz des außergewöhnlichen Hochwassers im August in Bereichen der langjährigen Mittelwerte lagen.

Im **Januar** wurden mittlere Niedrigwasserstände (MNW) der Seen registriert, an denen die Niederschläge am 20./21. (als Schnee) nur wenig änderten.

Erst Mitte **Februar** stiegen die Seenspiegel nach den kräftigen Regenfällen am 11./12. an, hier besonders der Waginger See mit ca. 40 cm. Frost und Schnee, der liegen blieb, sorgten für abnehmende Zuflüsse.

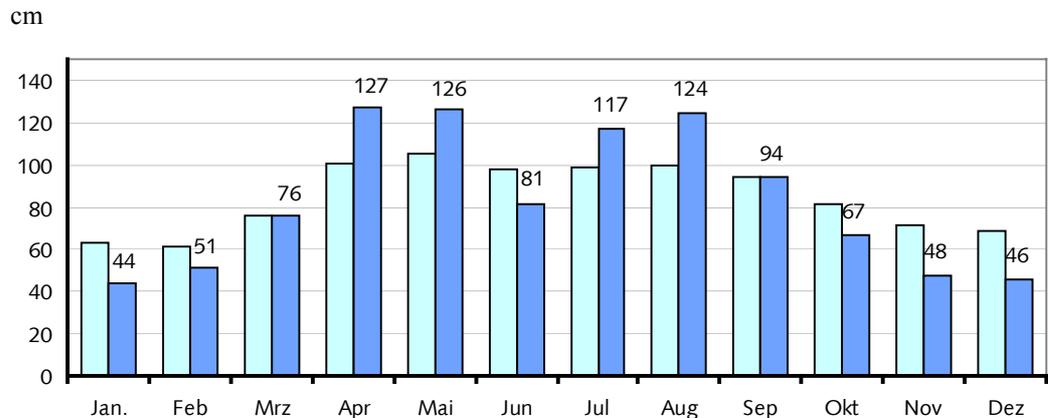
Ab Mitte **März** führte deutlicher Temperaturanstieg zur Schneeschmelze und ansteigenden Wasserständen der Seen. Der Chiemsee stieg um über 100 cm, der Tegernsee um 60 cm. Am Waginger See wurde mit 119 cm der höchste Wasserstand des Jahres gemessen. Die Monatsmittel der Seen näherten sich wieder den mittleren Wasserständen.



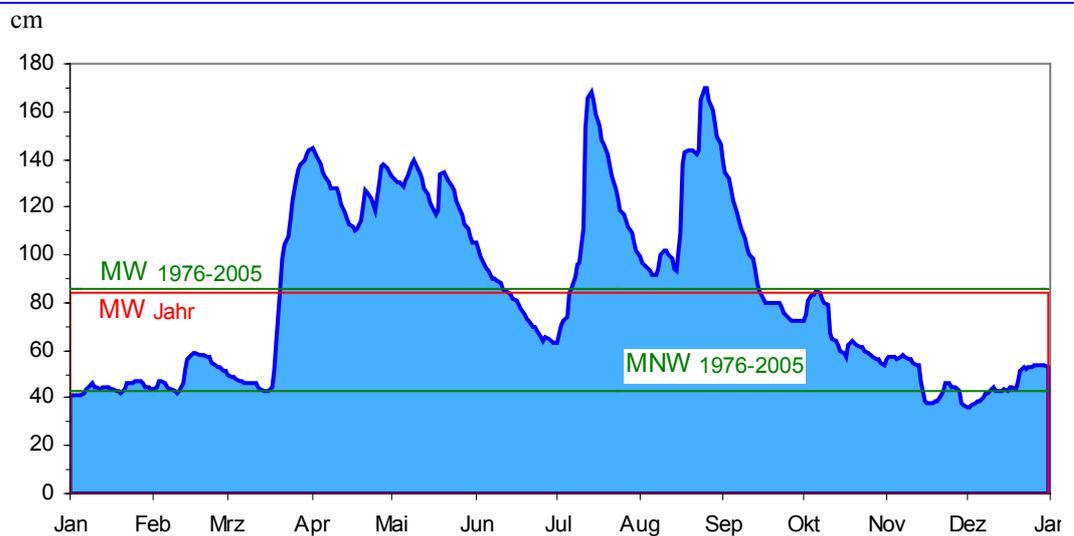


Wasserstand
Stock/Chiemsee
Aktuelles und
langjähriges
Monatsmittel

- Vergleichsreihe
1976 - 2005
- Berichtsjahr
2005



Wasserstands-
entwicklung
Stock/Chiemsee
im Berichtsjahr



Im **April** lag durch die ergiebigen Regen am 20. und 26. auch der Starnberger See wieder über den langjährigen monatlichen Mittelwerten.

Im **Mai** führten die häufigen Niederschläge zu wiederholten Anstiegen der Seen. Die Pegel sind außer am Starnbergersee zum Monatsende hin stärker abgesunken.

Das zu warme und trockene Wetter im **Juni** führte an allen südbayerischen Seen zu einem stetigen Absinken der Wasserstände, an dem örtliche Gewitterschauer und Regenfälle nur wenig änderten. Ammersee, Tegernsee und Chiemsee blieben mit ihren Werten unter den langjährigen Mittelwasserständen des Monats.

Im **Juli** wiesen die Seen zwischen Bodensee und Starnberger See relativ geringe Wasserspiegelschwankungen auf. Starke Niederschläge vom 10. bis 12. an den Alpen mit dem Schwerpunkt in Südostbayern sorgten über die hochwasserführenden Zuflüsse für schnelle und kräftige Anstiege der Wasserstände besonders von Tegernsee und Chiemsee. Zum Monatsende hin sanken die Seen wieder auf mittlere Werte.

Im **August** führte ein weiteres Hochwasserereignis am 16./17. in Südostbayern zu Wasserstandsanstiegen von Chiemsee und Tegernsee durch ihre alpinen Zuflüsse.



Eine Woche später führten die unwetterartige Niederschläge vom 22. und 23. August zu extremen Abflüssen und zu markanten Hochwasserspitzen der Seen zwischen Bodensee und Inn. Zwischen 24. und 26. wurden an den Seen die höchsten Wasserstände (außer Waginger See) des Berichtsjahres gemessen. Am Hopfensee, Weißensee und Ammersee lagen die Werte über den langjährigen mittleren Hochwasserständen (MHW). Am Starnberger See, der nur ein kleines Einzugsgebiet im Verhältnis zur Seefläche aufweist, wurde der mittlere Hochwasserstand nur geringfügig überschritten. Am Tegernsee stieg der Pegel um über 150 cm auf 208 cm an und erreichte den gleichen Höchstwasserstand wie beim Hochwasser 1999. Am Schliersee wurde mit 169 cm der bisher höchste Wasserstand gemessen. Am Chiemsee übertraf die Spitze am 25./26. das langjährige MHW nach dem vorangegangenen Hochwasseranstieg.

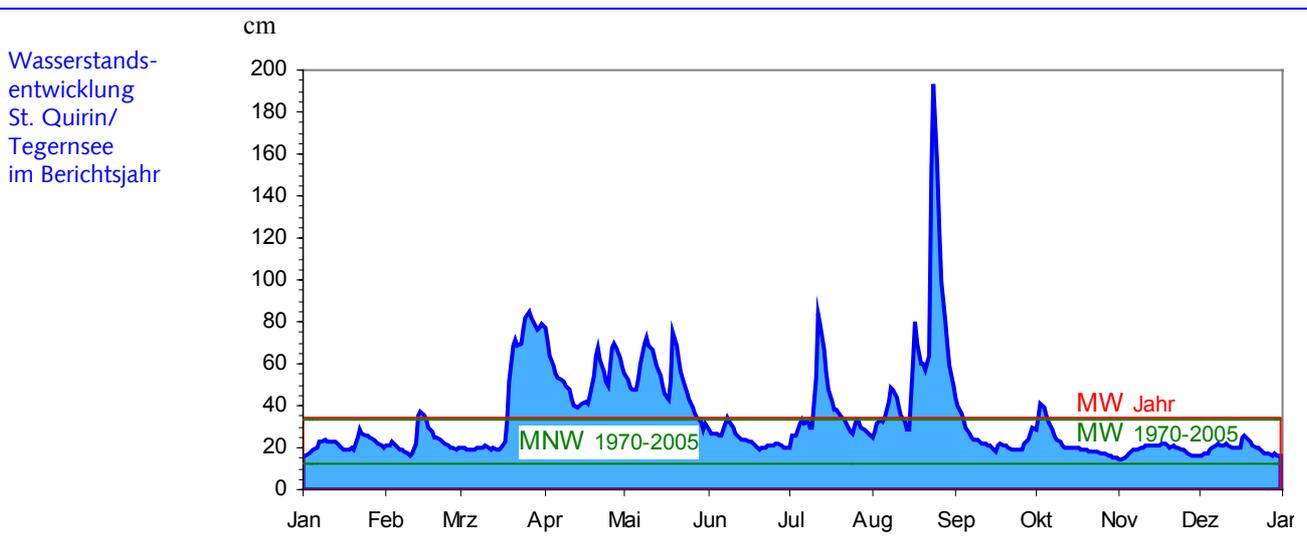
Im zu trockenem **September** sind die Pegel der Seen nach den markanten Hochwasserständen kontinuier-

lich abgesunken. Die Wasserstandsdifferenz betrug am Ammersee ca. 100 cm. Hier wie auch am Chiemsee wurden bereits am Monatsende die langjährigen mittleren Niedrigwasserstände (MNW) geringfügig unterschritten.

Anfang **Oktober** führten Niederschläge zu kurzfristigen Anstiegen der Seenspiegel. Im ansonsten trockenen Monat sanken die Wasserstände weiter. Nur der Starnberger See blieb deutlich über seinem langjährigen Mittelwasserstand (MW).

Im ereignisarmen **November** waren die Schwankungen zwischen den niedrigsten und höchsten Wasserständen relativ gering. Die mittleren Wasserstände von Tegernsee, Schliersee und Chiemsee fielen unter die langjährigen Werte des Monats.

Im **Dezember** erreichte der Bodensee historische Tiefsstände. Die Pegel von Ammersee, Tegernsee, Schliersee und Chiemsee lagen im Monatsmittel in Bereichen der langjährigen mittleren Niedrigwasserstände.





Seen - Qualität

Messnetz und Messprogramme

Der ökologische Zustand und die Entwicklung der Seen wird im Landesmessnetz Seen beobachtet. Dieses Messnetz wurde vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie erweitert und umfasst seit 2005 mit 54 Messstellen alle Seen Bayerns mit einer Oberfläche > 0,5 km². Das sind 32 natürliche Seen, 17 Talsperren und Speicher in Fließgewässerläufen sowie 5 Restseen des Braunkohleabbaus.

Untersucht werden der chemisch-physikalische und biologische Zustand im Hinblick auf die Trophie, also die biologische Produktionsintensität als Auswirkung der Nährstoffkonzentrationen. Neben allgemeinen Qualitätskriterien wie Temperatur, pH-Wert, Sauer-

stoffgehalt und Leitfähigkeit sind die wesentlichen Nährstoffkomponenten für das Pflanzenwachstum Phosphor, Stickstoff und Silikat zu messen. Untersucht werden weiterhin die trophieanzeigenden Kriterien: Menge, Art und Entwicklung der pflanzlichen Organismen wie z.B. planktische Mikroalgen und sichtbare Wasserpflanzen der Flachwasserzonen, Hilfskriterien sind die Chlorophyll-a-Konzentration und die Sichttiefe. Die Trophie wird an Seen derzeit in 4 Stufen (mit Zwischenstufen) von gering bis übermäßig produktiv klassifiziert.

Im Jahr 2005 wurde in Umsetzung der neuen EU-Wasserrahmenrichtlinie eine Bestandsaufnahme zur Gewässerqualität an allen Seen > 0,5 km² durchgeführt.

Seentemperaturen

Die Wassertemperaturentwicklung im Jahr 2005 wird am Beispiel des Ammersees beschrieben.

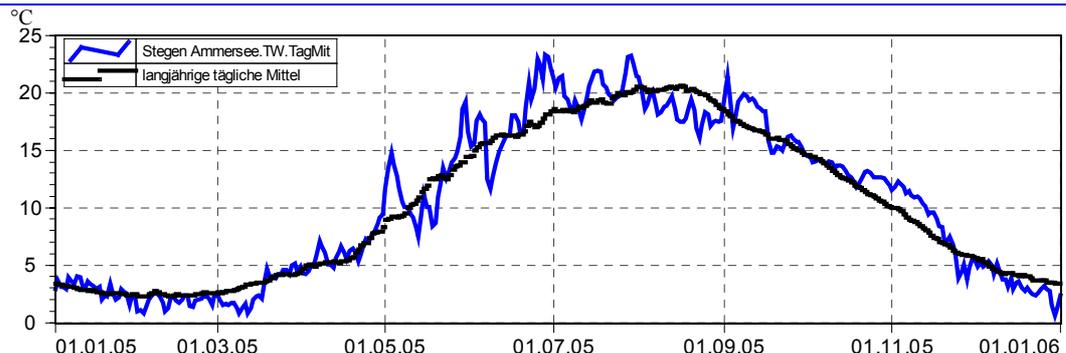
Ausgelöst durch eine kältere Witterungsperiode im ersten Quartal des Jahres lagen die Wassertemperaturen um durchschnittlich 0,5°C unter den langjährigen Tagesmitteln. Örtlich kam es zu Eisbildungen. Die Wassertemperaturen der nachfolgenden Monate April bis Juli lagen alle über den langjährigen Tagesmitteln. Herauszuheben ist hier der Juni, der angenehme Badetemperaturen hervorbrachte und 1,3°C über dem langjährigen Monatsmittel lag. Kältere Luftmassen und das Augusthochwasser mit höherer Gebirgswaserdurchstömung des Ammersees ließ die Wassertemperatur im August deutlich um 1,6°C unter das langjährige Monatsmittel von 20°C fallen. Der schöne

Herbst mit stabilen Hochdrucklagen ließ die Wassertemperatur, auch über längere Zeiträume um bis zu 2,5°C über den langjährigen Tagesmitteln steigen. Erst durch einen Kälteeinbruch Ende November fielen die Wassertemperaturen wieder unter den langjährigen Tagesmitteln. Örtlich kam es wieder zu Eisbildungen. Insgesamt lag das Jahresmittel der Wassertemperatur im Jahr 2005 um 0,3°C über dem langjährigen Jahresmittel (1975-2005).

Im Balkendiagramm der Reihe 1975-2005 erkennt man anhand der Trendlinie eine Wassertemperaturerhöhung der letzten 31 Jahre um ca. 1,5°C.

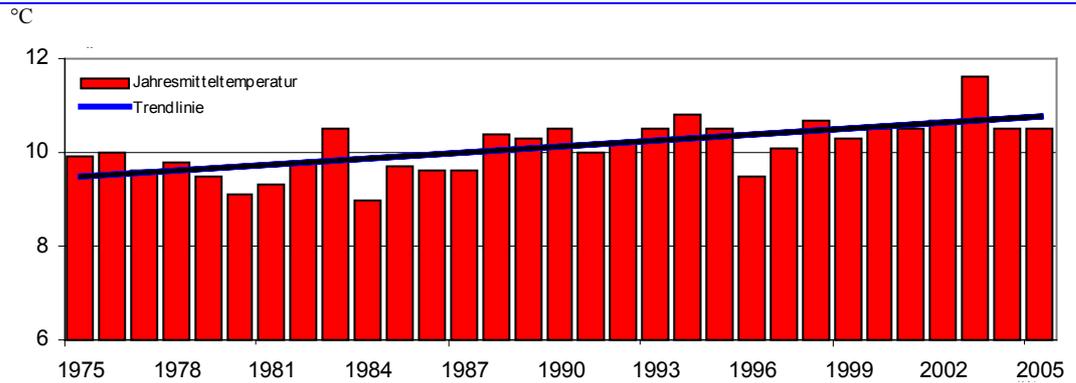
Dieser langjährige Trend der Wassertemperaturerhöhung ist ebenfalls bei den Fließgewässern zu beobachten.

Jahresganglinie (Tagesmittel) der Wassertemperatur im Vergleich zu den langjährigen Tagesmitteln 1981/2005 der Messstation Stegen Ammersee





Jahresmitteltemperat-
uren der Messstati-
on Stegen Ammersee von
1975 bis 2005



Gewässerökologie – Zustand und Entwicklung 2005

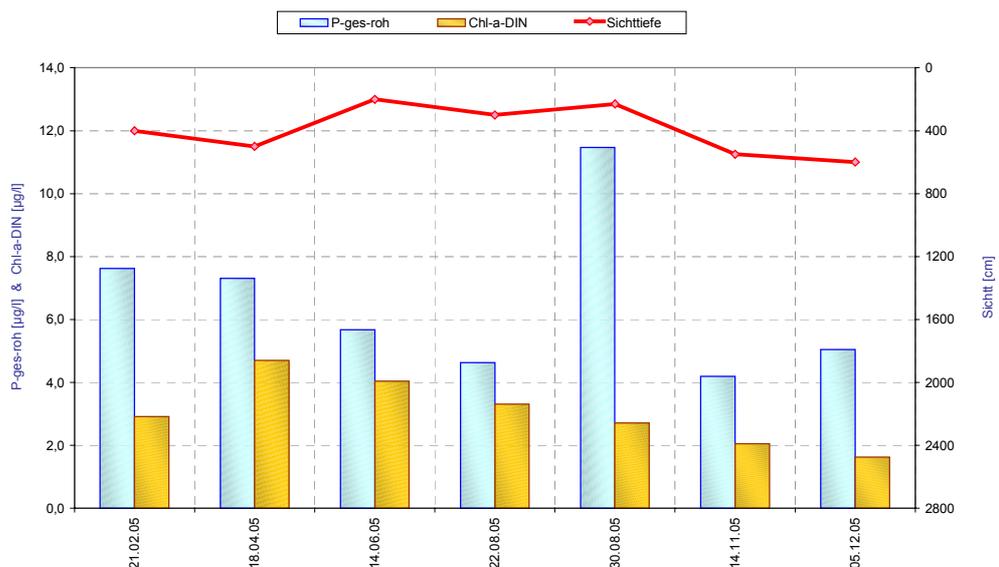
Die meisten größeren natürlichen Seen haben durch die abwassertechnischen Maßnahmen der vergangenen Jahrzehnte wieder einen guten, mesotrophen (mäßige pflanzliche Produktion) Zustand erreicht, wie die Gütekarten seit 1995 zeigen. Das Jahr 2005 ist hydrologisch für die meisten Seen als Durchschnittsjahr zu werten. Auffälligkeiten am Zustand der Seen oder extreme Güteverhältnisse waren daher in der Regel nicht zu verzeichnen. Die Trophieverhältnisse stellten sich nicht anders als in den Vorjahren dar. Extreme bzw. ungewöhnliche Algenentwicklungen blieben 2005 in den großen natürlichen Seen weitge-

hend aus. Im Jahr 2005 waren bei den untersuchten Seen keine Veränderungen der Einstufung der Wasserqualität gegenüber 2004 veranlasst.

An Seen die im Einflussbereich des Sommerhochwassers 2005 lagen, konnten deutliche kurzzeitige Veränderungen von Beschaffenheitsparametern registriert werden. Am Beispiel des Ammersees (s. Graphik) ist die Verdoppelung der Konzentration des Nährstoffs Phosphor kurz nach dem Augusthochwasser erkennbar. Diese hat sich jedoch nicht merklich auf die Algenentwicklung (Chl. a) oder Sichttiefe ausgewirkt.

Ammersee 2005

Mittlere Sichttiefe,
volumengewichtete
Mittelwerte
für Phosphor gesamt
und
Chlorophyll a



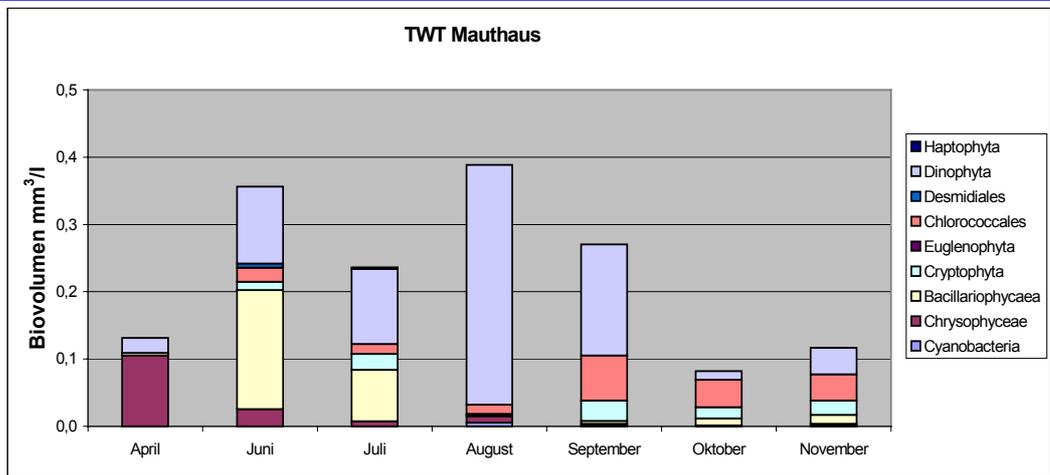


Die gewässerkundlichen Seenuntersuchungen werden neuerdings auch verstärkt an Speichern und Talsperren durchgeführt, um Qualitätsaussagen auch im Hinblick auf die EU-WRRL für diese Gewässer zu ermöglichen. An den Beispielen (s. Graphiken) Igelsbachsee und Trinkwassertalsperre Mauthaus ist die jährliche Entwicklung des Phytoplanktons (Schwebalgenmengen und Zusammensetzung der wichtigsten Algenklassen) dargestellt. Es werden die drastischen Unterschiede der Gewässerqualität deutlich, die hier fast ausschließlich von der hohen (Igelsbachsee) bzw. niedrigen (TWT Mauthaus) diffusen Nährstoffbelastung aus den jeweiligen Einzugsgebieten abhängig ist.

In der TWT Mauthaus schwankte das Planktonbiovolumen zwischen 0,1 und 0,4 mm³/l auf sehr niedrigem Niveau. Die Zusammensetzung war im Frühjahr durch Kiesel- und Goldalgen, im Sommer durch Feualgen und im Herbst durch einzellige Grünalgen dominiert, was den relativ nährstoffarmen Charakter des Sees dokumentiert. Im Igelsbachsee waren dagegen um den Faktor 20 höhere Algenmengen zu verzeichnen. Die Zusammensetzung war nahezu ganzjährig durch sog. Blaualgen (Cyanobakterien) dominiert. Dieses biologische Bild weist auf einen eindeutig belasteten See hin.

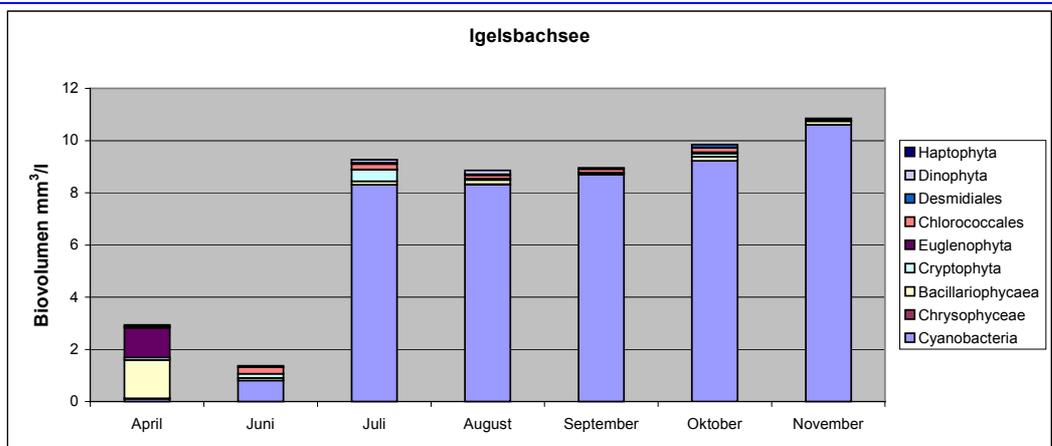
Trinkwassertalsperre Mauthaus 2005

Entwicklung des Biovolumens der vorkommenden Algenklassen



Igelsbachsee 2005

Entwicklung des Biovolumens der vorkommenden Algenklassen





Grund- und Bodenwasser

Grundwasserstände

Die Grundwasservorkommen Bayerns lassen sich elf großräumigen hydrogeologischen Einheiten zuordnen. Ihre unterschiedlichen hydrologischen Reaktionen werden im Wesentlichen von den Eigenschaften des Kluft- und Porenraums in der jeweiligen geologischen Formation bestimmt. Ferner unterscheiden sie sich in Bezug auf Ergiebigkeit und Größe der zusammenhängenden Grundwasserkörper. Die folgende landesweite Darstellung der Grundwasserverhältnisse im Jahr 2005 behandelt die südbayerischen Porengrundwasserleiter (Tertiär, Quartär) sowie die Kluft- und Karstgrundwasserleiter (Trias bis Kreide) nördlich der Donau. Unberücksichtigt bleiben das kristalline Grundgebirge (Bayerischer und Oberpfälzer Wald, Fichtelgebirge), der voralpine Moränengürtel und der alpine Raum, da in diesen drei hydrogeologischen Räumen nur kleinräumige, nicht zusammenhängende Grundwasservorkommen anzutreffen sind.

Die Grundwasserstände werden an rund 2000 staatlichen Messstellen beobachtet. Für die Beschreibung der Grundwasserverhältnisse im Kalenderjahr 2005 wurden rd. 150 repräsentative Messstellen ausgewählt, von denen wiederum sechs Messstellen exemplarisch dargestellt werden. Die Situation im Jahr 2005 wird unter anderem anhand des langfristigen Verhaltens der Grundwasserstände bewertet. Alle Angaben zu Mittel-, Höchst- oder Niedrigstwerten beziehen sich auf den gesamten Beobachtungszeitraum der jeweiligen Messstelle. Rund die Hälfte der ausgewerteten Messstellen wird zwischen 10 und 25 Jahren beobachtet, rund ein Drittel seit 10 und weniger Jahren und etwa 10 Messstellen über 45 Jahre bzw. 90 Jahre.

Anfang des Jahres 2005 herrschten bayernweit relativ geringe Grundwasserstände vor. Dies war eine Folge der vorangegangenen Trockenjahre 2003 und 2004. Der vor allem ab Mitte 2004 nochmals verstärkt

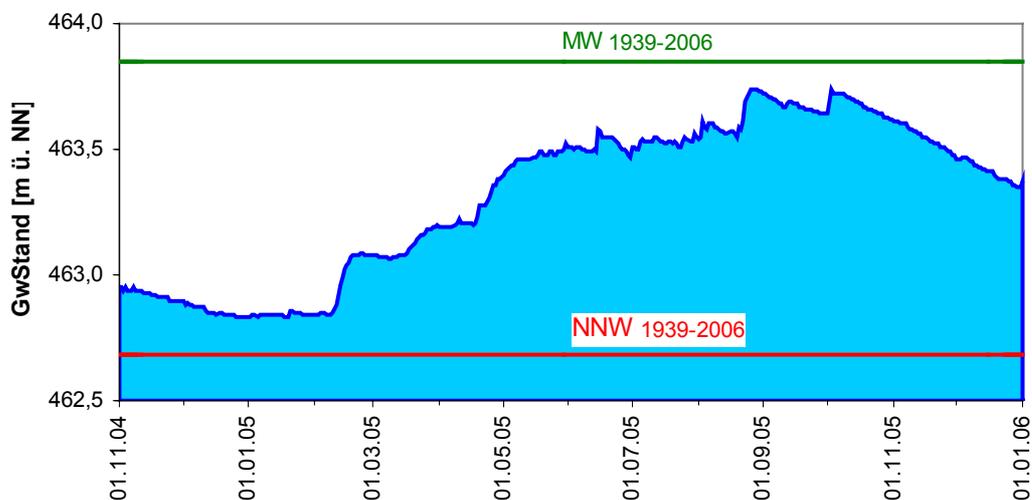
einsetzende Abwärtstrend wurde lediglich im November/Dezember 2004 kurzzeitig unterbrochen. Die heftigen Niederschlagsereignisse ab Mitte Januar bedingten vor allem in Nordbayern einen deutlichen Anstieg der Grundwasserstände. In Südbayern dagegen fiel der Niederschlag überwiegend als Schnee und die zum größten Teil noch gefrorenen Böden erlaubten keine Versickerung und damit keine Grundwasserneubildung. Erst mit Einsetzen der Schneeschmelze Anfang Februar und weiteren kräftigen Niederschlägen ab Mitte Februar stiegen auch hier die Grundwasserstände wieder an. Im Main- und Donaugebiet kam es zu kleineren Hochwasserereignissen (siehe Kap. Hochwasser), die den Abfluss des Grundwassers aus den Grundwasserleitern in die Vorfluter verhinderten und dadurch erhöhte Grundwasserstände verursachten.

Trotz eines Niederschlagsdefizits im März führte die Schneeschmelze dazu, dass an allen Grundwassermessstellen der über mehrere Monate andauernde fallende Trend der Grundwasserstände gebrochen werden konnte. Dies wurde zusätzlich durch vermehrte Niederschläge im April begünstigt. Ab Mai konnten bayernweit wieder Grundwasserstände im Bereich des mehrjährigen Mittels beobachtet werden und während der folgenden Monate Juni bis August leerten sich die Grundwasserleiter wieder etwas. In Oberbayern und Schwaben kam es Ende August zu einem extremen Hochwasserereignis, das auch die Grundwasserstände stark beeinflusste. An mehreren Grundwassermessstellen wurde dort der höchste bisher beobachtete Grundwasserstand gemessen. In Nordbayern setzte sich dagegen der Abwärtstrend weiter fort. Der trockene Herbst mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen von September bis Mitte Dezember bewirkte bayernweit erneut ein Absinken der Grundwasserstände. Ab Dezember war ein Teil der Niederschläge als Schnee gebunden.



Abb. 1:
Verlauf der
Grundwasserstände
im Niederterrassen-
schotter der
Münchener
Schotterebene
(Messstelle Eching
275D, beobachtet
seit 1939)

HHW: 465,59 m ü. NN
MW : 463,85 m ü. NN
NNW: 462,68 m ü. NN



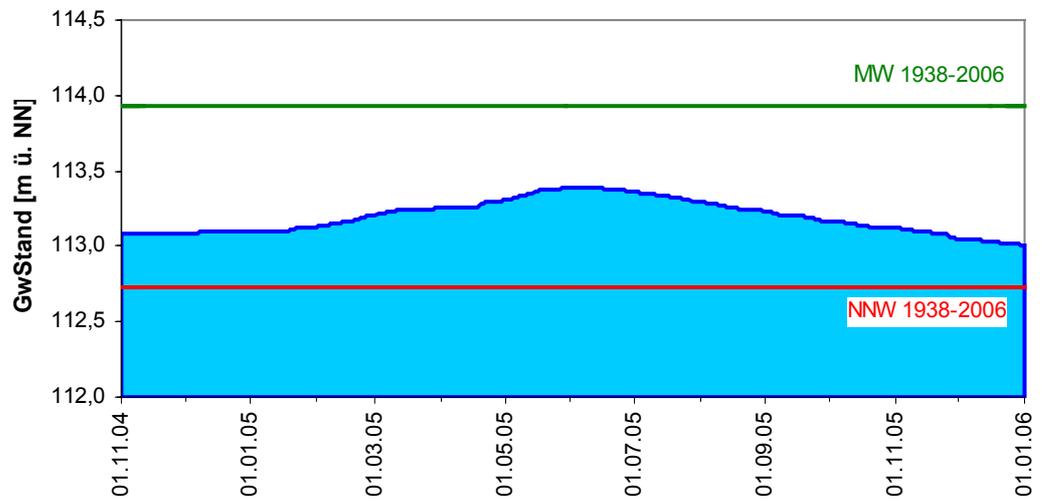
Im Bereich der **quartären Schotterflächen südlich der Donau** waren Anfang Januar sehr niedrige Grundwasserstände zu verzeichnen, die im Schnitt deutlich unter dem langjährigen Mittel lagen. Mit Beginn der Schneeschmelze und aufgrund der kräftigen Niederschläge im Februar kam es in den Schottern der Flusstäler zu einem sprunghaften Anstieg der Grundwasserstände. Vielfach wurde dabei der langjährige Mittelwert wieder erreicht. Lediglich in der Münchener Schotterebene reagierte der Grundwasserspiegel nur gedämpft. Zwar kam es zu einer Auffüllung des Aquifers, doch an der Mehrzahl der Messstellen konnte das langjährige Mittel während des gesamten Jahres nicht erreicht werden (s. Abb. 1). Das Jahr 2005 war, bezogen auf die Grundwassersituation, ein untypisches Jahr. Im Hochsommer – der Zeit der geringsten Grundwasserneubildung – kam es, bedingt durch das Hochwasser Ende August, zu relativ hohen Grundwasserständen. Einige Messstellen erreichten hierbei kurzfristig den mehrjährigen Mittelwert. Nach Durchgang der Hochwasserwelle setzte allerdings in ganz Südbayern ein Abwärtstrend ein, der sich bis Ende des Jahres fortsetzte.

In den mächtigeren **quartären Flusstalfüllungen nördlich der Donau** begann das Jahr ebenfalls mit niedrigen Grundwasserständen (s. Abb. 2). Die Niederschläge im Februar führten auch hier zu einem Grundwasseranstieg, wobei der langjährige Mittelwert

jedoch nur vereinzelt erreicht wurde. Während des trockenen März war überwiegend eine Stagnation des Grundwasserstandes, z. T. auch ein Abwärtstrend zu beobachten. Die starken Niederschläge im April führten anschließend zu einer mäßigen Wiederauffüllung der Grundwasserleiter. Das langjährige Mittel wurde allerdings nicht an allen Grundwassermessstellen erreicht. Bis Mitte Juni konnte der Grundwasserstand gehalten werden; danach fiel der Grundwasserspiegel stetig bis zum Jahresende ab. Die geringmächtigen, oberflächennahen Grundwasservorkommen in den Flusstälern stehen in der Regel in Wechselwirkung mit den Fließgewässern. Sie zeigen deshalb rasche Grundwasserstandsschwankungen, aber auch eine rasche Erholung bei Niederschlägen. Die starken Niederschläge Mitte Februar und das daraus resultierende Hochwasser an Main und Donau führte kurzfristig zu hohen Grundwasserständen. Ab Juni lagen die Grundwasserstände aber an allen Messstellen wieder unterhalb des langjährigen Mittels. Der Verlauf der Grundwasserganglinien bis Jahresende war uneinheitlich; z. T. wurde das Grundwasserniveau unterhalb des mehrjährigen Mittelwertes gehalten; z. T. sank der Grundwasserspiegel weiter ab. Vom Augusthochwasser war Nordbayern nicht betroffen.



Abb. 2:
Verlauf der
Grundwasserstände
im Quartär
(Messstelle
Frühlingslust,
beobachtet seit 1938)

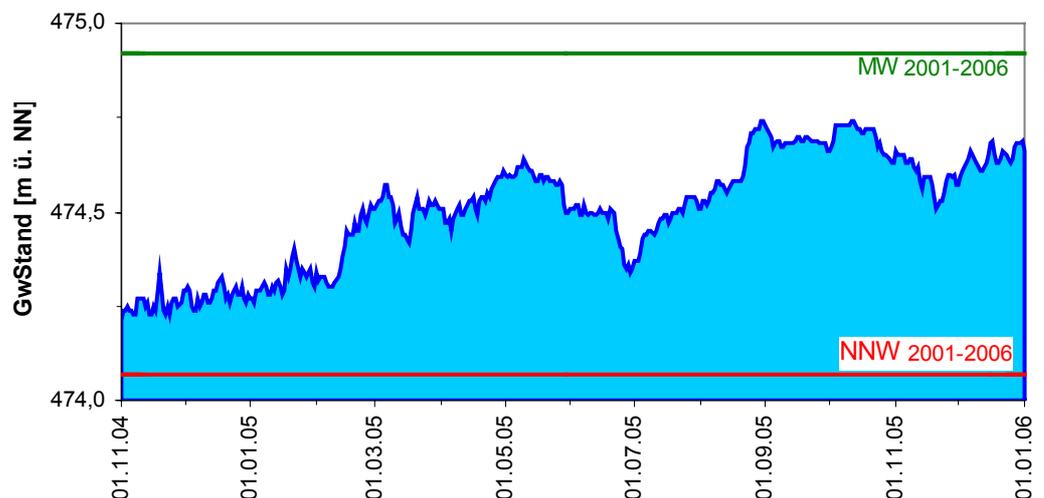


HHW: 116,34 m ü. NN
MW : 113,93 m ü. NN
NNW: 112,73 m ü. NN

Das Grundwasser liegt im **tertiären Molassebecken** (Raum südlich der Donau, grundwasserführend bis zur Linie Memmingen-Starnberg-Burghausen) in Tiefen von 60 bis 200 m. Niederschlagsphasen wirken sich im Allgemeinen zeitlich verzögert aus und bewirken keinen extremen Anstieg des Grundwasserspiegels. So zeigte sich nach den kräftigen Niederschlägen im

Februar und dem Hochwasser Ende August jeweils ein Grundwasseranstieg um nur wenige Dezimeter (s. Abb. 3), wohingegen trockene Monate zunächst lediglich eine Stagnation des Grundwasserstandes bewirkten. Das langjährige Mittel wurde im Molassebecken nur an wenigen Messstellen erreicht.

Abb. 3:
Verlauf der
Grundwasserstände
der Oberen
Süßwassermolasse
des Tertiärs
(Messstelle
Niederroth T 7f,
beobachtet seit 2001)



HHW: 475,19 m ü. NN
MW : 474,64 m ü. NN
NNW: 474,07 m ü. NN

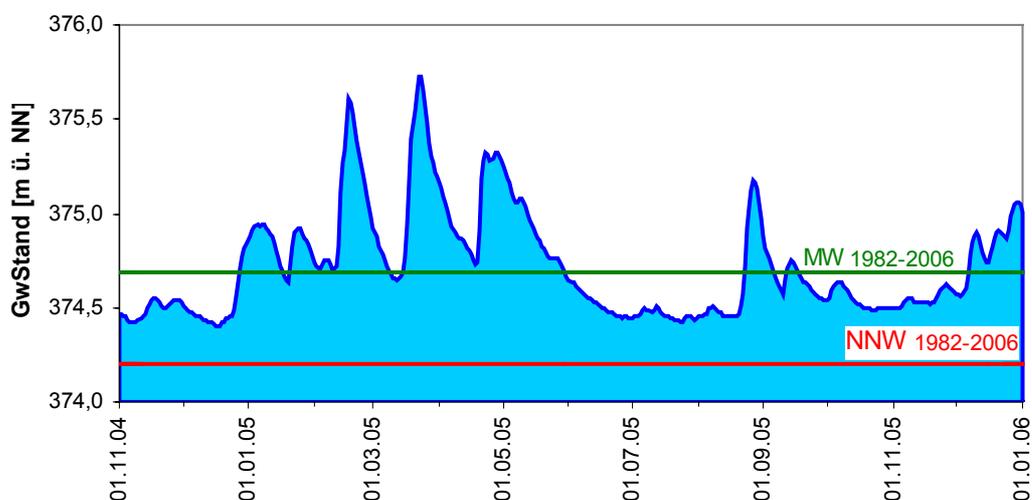
Im **Weißem Jura** (Raum Eichstätt-Regensburg-Bamberg-Bayreuth) bewegt sich das Grundwasser auf Klüften und Schichtfugen, die vielfach durch Verkarstung zu unterirdischen Fließgerinnen erweitert sind. Das Grundwasser reagiert rasch auf Niederschlags- und Hochwasserereignisse. Während der Grundwasserstand zu Jahresbeginn noch unterhalb des langjährigen Mittels lag, zeigte sich beispielsweise

an der Messstelle Gungolding während niederschlagsreicher Perioden und nach dem Augusthochwasser ein rascher Anstieg des Grundwasserstandes um bis zu 1,0 m (s. Abb. 4). Nach einem Rückgang im Herbst stieg der Grundwasserstand zum Ende des Jahres an den meisten Grundwassermessstellen wieder an.



Abb. 4:
Verlauf der
Grundwasserstände
im Malmkarst
(Messstelle
Gungolding 928,
beobachtet seit 1982)

HHW: 376,80 m ü. NN
MW : 374,69 m ü. NN
NNW: 374,20 m ü. NN

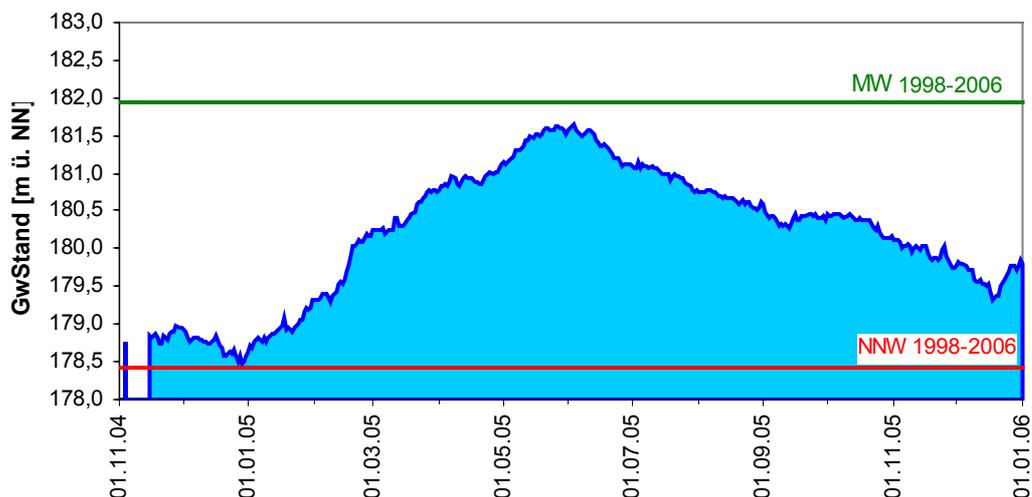


Die tiefen Grundwasservorkommen im **Sandsteinkeuper**, **Gipskeuper** (Benker Sandstein) und **Muschelkalk** in Mittel- und Unterfranken zeigen einen sehr ähnlichen, durch träge Reaktion geprägten Jahresgang mit einem Grundwasserhöchststand im Frühsommer und einem Tiefstand im Herbst (siehe Messstelle Rothof). Der höchste Grundwasserstand wurde im Keuper und Muschelkalk zwischen Mitte April und

Mitte Juni erreicht, wobei das langjährige Mittel an der Mehrzahl der Messstellen erreicht oder überschritten wurde. Danach sank der Grundwasserspiegel im Benker Sandstein und Muschelkalk stetig bis Ende des Jahres ab. Im Sandsteinkeuper zeichnete sich ab November an einigen Messstellen bereits eine leichte Stagnation, an einigen Messstellen im Muschelkalk (s. Abb. 5) ein Anstieg des Grundwasserniveaus ab.

Abb. 5:
Verlauf der
Grundwasserstände
im Muschelkalk
(Messstelle Rothof,
beobachtet seit 1998)

HHW: 185,37 m ü. NN
MW : 181,94 m ü. NN
NNW: 178,43 m ü. NN



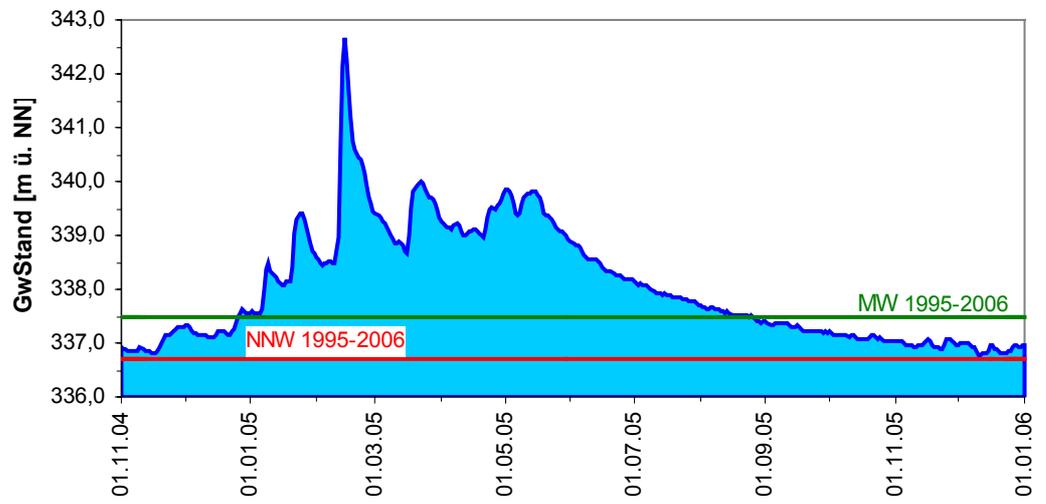
Die Grundwasserdynamik im **Buntsandstein** (Raum Aschaffenburg-Bad Brückenau-Mellrichstadt) ist charakterisiert durch eine langfristige und eine kurzfristige Komponente. Die Phase der Grundwasserneubildung reichte bis in den Mai. Der Grundwasserspiegel lag bei einer Vielzahl der Grundwassermessstellen bereits zu Jahresbeginn im Bereich des Jahresmittels. Aufgrund

starker Niederschläge stiegen die Grundwasserspiegel deutlich an und erreichten, von kurzfristigen Schwankungen im Meterbereich überlagert, ihre Höchststände zwischen Mai und Juni. Anschließend sank der Grundwasserspiegel kontinuierlich ab und näherte sich bis Jahresende dem niedrigsten jemals gemessenen Grundwasserstand an (s. Abb. 6).



Abb. 6:
Verlauf der
Grundwasserstände
im Buntsandstein
(Messstelle
Heinrichsthal Bo A,
beobachtet sei 1995)

HHW: 345,90 m ü. NN
MW : 337,47 m ü. NN
NNW: 336,69 m ü. NN





Grund- und Bodenwasser

Grundwasserbeschaffenheit

Das Grundwasser liefert 93 % des Trinkwassers in Bayern. Aus versickernden Niederschlägen wird Grundwasser ständig neu gebildet und im porösen Untergrund bevorratet. Gelöste Stoffe, zugeführt mit dem Sickerwasser und im Untergrund freigesetzt, bestimmen seinen chemischen Charakter, u.a. seine Härte. Die Zufuhr von Nähr- und Schadstoffen über das Sickerwasser führt zu Belastungen und Verunreinigungen. Abfließendes Grundwasser tritt dann mitsamt seiner Stofffracht an Quellen zu Tage und speist den Basisabfluss der Bäche und Flüsse wie auch grundwasserabhängige Landökosysteme. Die Grundwasserbeschaffenheit in der Fläche, ihre zeitliche Entwicklung und ihre Beziehung zum Wasser- und Stoffkreislauf wird langfristig in zwei Messnetzen beobachtet:

- Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit (272 Messstellen, bis zu 120 überwachte Stoffe)
- Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser (7 Intensivmessgebiete mit 92 Messstellen, ca. 30 überwachte Stoffe), siehe Kapitel Bodenwasser

Großflächig bleibt die Auswaschung von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln (PSM) aus landwirtschaftlichen Flächen ein wichtiges Überwachungsthema.

Nitrat-Stickstoff als wesentlicher Pflanzennährstoff stammt aus natürlichen Mineralisierungsprozessen im Boden sowie aus organischen und mineralischen Düngern. Bis zu 15 Milligramm pro Liter Nitrat können natürlicher Herkunft sein. Nitrat ist im Trinkwasser unerwünscht, deshalb gibt die Trinkwasserverordnung einen Grenzwert von 50 mg/l vor. In der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist ein entsprechender Wert als Qualitätsstandard für das Grundwasser festgelegt. Nitrat trägt auch zur Nährstoffbelastung in Bächen, Flüssen und Meeren bei und wirkt bereichsweise versauernd.

In den vergangenen zehn Jahren haben sich die durchschnittlichen landesweiten Nitratgehalte im Grundwasser wenig verändert (Abb. 1). So liegt der Anteil Messstellen mit Nitratgehalten > 40 mg/l bei 10 %. Ein Rückgang zeichnet sich seit 2004 bei den wenigen stark belasteten Messstellen (> 50mg/l) ab. Auch die leichte Zunahme nitratarmen Grundwassers (< 10 mg/l) deutet auf Verbesserungstendenzen.

Abb. 1:
Entwicklung der
Nitratkonzentration im
Grundwasser 1995-
2005.

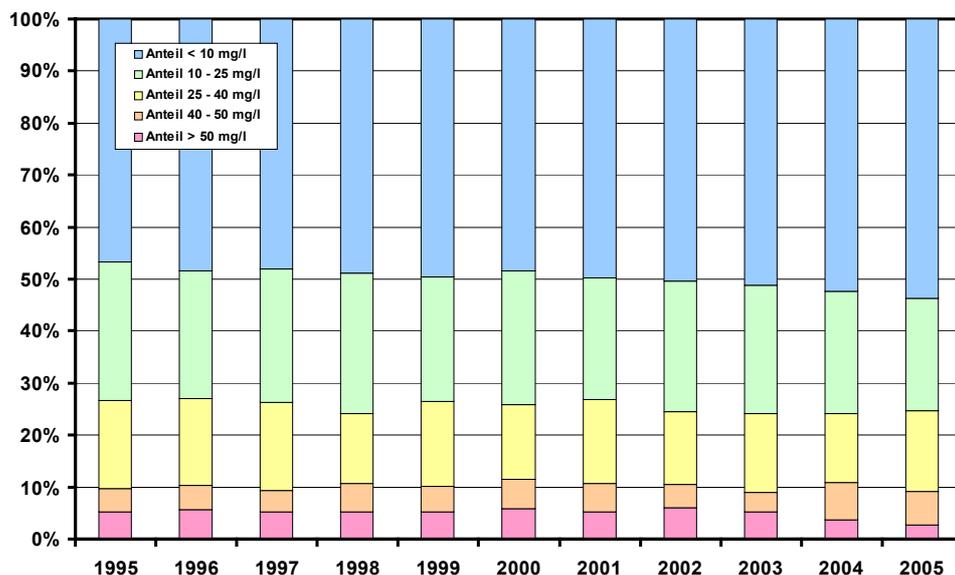
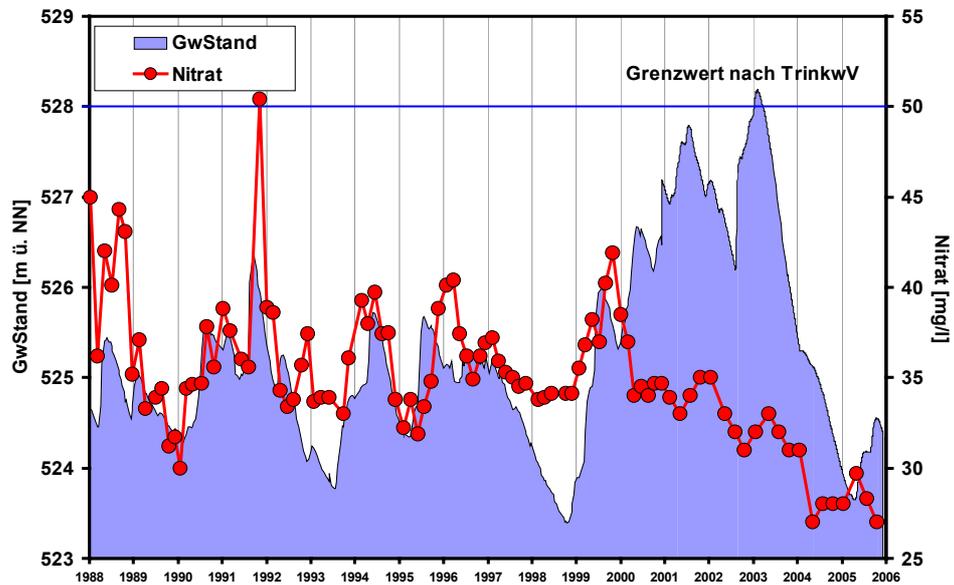




Abb. 2:
Langjährige
Entwicklung von
Nitratkonzentration
und Grundwasser-
stand einer Messstelle
der östlichen
Münchener
Schotterebene

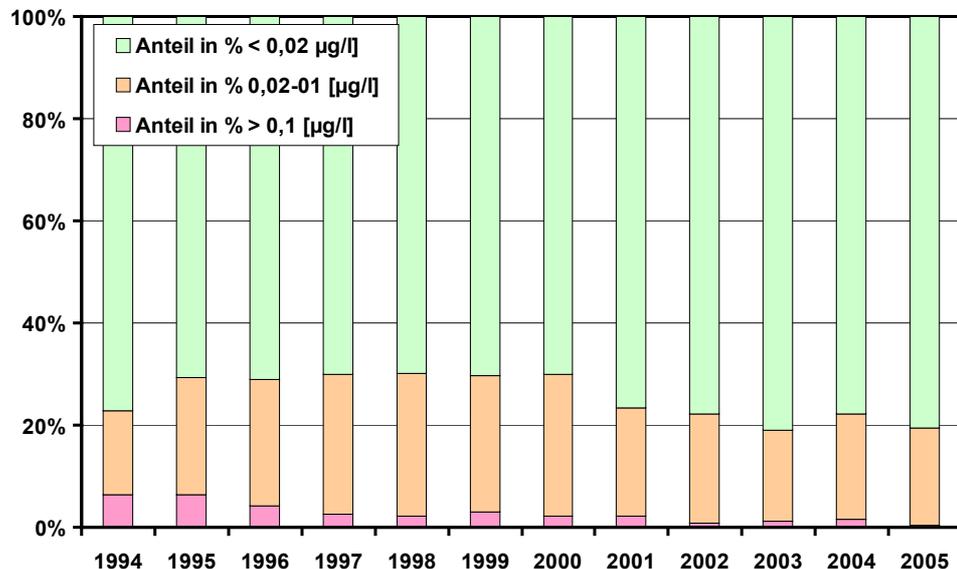


Im landwirtschaftlich beeinflussten Grundwasser der südbayerischen Schotterplatten liegen die Nitratgehalte verbreitet bei 20 bis 40 mg/l, so auch in der Münchener Schotterebene. Kräftige Grundwasserneubildung ist i.d.R. mit schubweiser Nitratauswaschung aus den Böden, entsprechend einer Konzentrationserhöhung, verbunden (Abb. 2). Trotz dieses Effekts wirkten die überdurchschnittlichen Sickerwasserraten der Jahre 1999-2002 (mit Nachlauf im Trockenjahr 2003) in der Summe verdünnend auf die Nitratkonzentration. Vorläufig stabilisiert sich der

Nitratgehalt auf niedrigerem Niveau. Es ist nicht auszuschließen, dass zusätzlich eine Verringerung von Nährstoffüberschüssen zur Wirkung kommt.

Für das Pflanzenschutzmittel **Atrazin** besteht seit 1991 ein Anwendungsverbot. Pflanzenschutzmittel sind im Grund- und Trinkwasser unerwünscht, weshalb die Trinkwasserverordnung und die europäische Wasserrahmenrichtlinie einen Grenzwert bzw. Qualitätsstandard von 0,1 µg/l vorgeben.

Abb. 3:
Entwicklung der
Atrazinkonzentration
im Grundwasser
1994-2005.

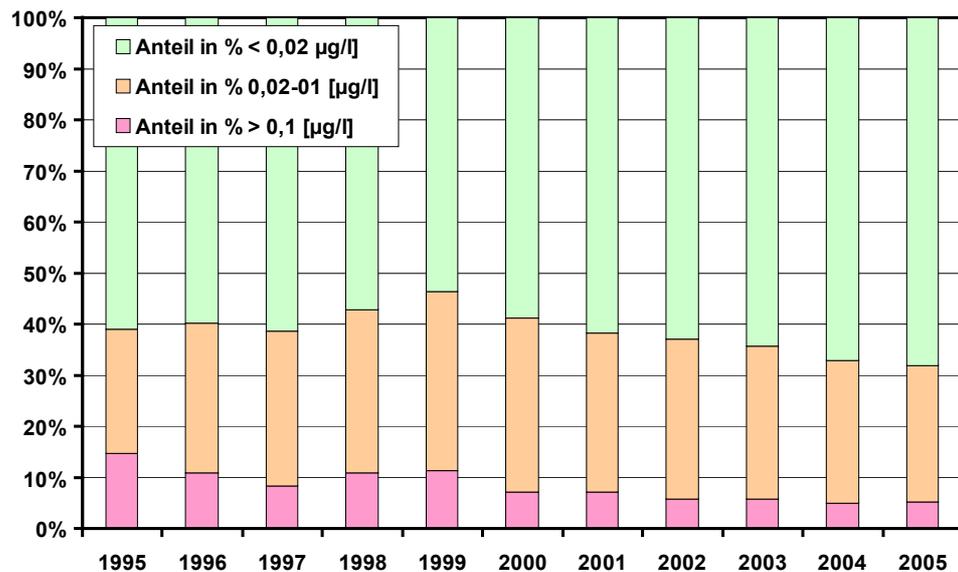




Während bei Atrazin nur noch 0,5 % bzw. 1 Messstelle eine Grenzwertüberschreitung zeigten (Abb. 3), liegen beim Desethylatrazin weiterhin ca. 5 % der Messstellen über dem Grenzwert (Abb. 4). Für beide Substanzen ist mit einem allmählichen weiteren Rückgang der Konzentrationen zu rechnen.

Atrazin und sein Abbauprodukt **Desethylatrazin** werden immer noch im Grundwasser nachgewiesen, da der Abbau von Rückständen in vielen Böden und Grundwasserleitern sehr langsam erfolgt.

Abb. 4:
Entwicklung der
Desethylatrazin-
konzentration im
Grundwasser 1995-
2005



Seit 2002 wird im Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit **2,6-Dichlorbenzamid** untersucht. Diese Verbindung ist das Abbauprodukt des Herbizides **Dichlobenil**, das zur Unkrautbekämpfung im Grünland (Ampfer) aber auch im Obst- und Weinbau, im Forst sowie auf gepflasterten Flächen zum Einsatz kam. Die Zulassung für Dichlobenil wurde am 23.08.2004 widerrufen. Es besteht eine

Rückgabepflicht für Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff. Das analytisch leichter nachzuweisende Abbauprodukt wurde 2005 an nur noch 5 % der Messstellen (2004: 8%) bei einer Grenzwertüberschreitung nachgewiesen. Belastungsschwerpunkte lagen im Voralpenraum (Grünland) und in Unterfranken.



Grund- und Bodenwasser

Bodenwasser

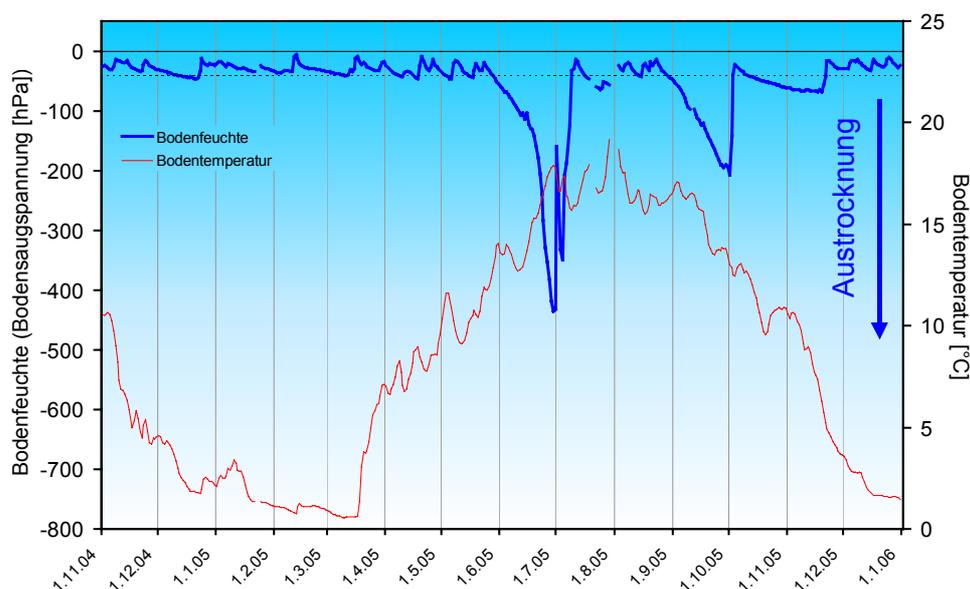
Das Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser (MSGw) dient der integrierenden Beobachtung von Stoffflüssen und Stoffbelastungen im Wasserkreislauf (<http://www.bayern.de/LFW/technik/gkd/lmn/intensivmess/welcome.htm>). Dazu wird in sieben wirtschaftlich bedeutenden Messgebieten der Weg des Wassers mit seinen Inhaltsstoffen vom **Niederschlag** über das **Sickerwasser** bis zum **Grundwasser** und zum **Gebietsabfluss** untersucht. Hier dargestellt ist der Gang der Bodenfeuchte in je einem Messgebiet in Süd- und Nordbayern sowie die Nitratbelastung des Bodensickerwassers für alle Gebiete. Die Hydrologie des Messgebietes Fohlenhof/Nördliches Lechfeld sowie die Situation im August 2005 (Hochwasser) wird in einem Sonderthema genauer dargestellt.

Die Bodenfeuchte wird indirekt als Bodensaugspannung in Hektopascal (hPa) gemessen. In den Grafiken zeigen sehr niedrige Werte eine **starke Austrocknung**, Werte nahe Null eine **starke Durchfeuchtung** mit Bildung von **Sickerwasser** an. Bei

Werten um oder über Null bildet sich Stauwasser, an Hängen auch lateraler Abfluss. Als Messgeräte sind pro Messtiefe je 4 Saugspannungsmesser (Tensiometer) eingebaut. Hier dargestellt werden die Durchschnittswerte für eine Bodentiefe von 50 cm. Die Grafiken zur Bodenfeuchte charakterisieren je einen repräsentativen Standort im Lockergestein des eher feuchten Südbayern (Münchener Schotterebene) und im Festgestein des eher trockenen Nordbayern (Buntsandstein-Spessart). Zur Gewinnung von Bodenwasser sind je Tiefe 8 Saugkerzen installiert, die monatlich beprobt werden.

Der Messstandort Anzing in der östlichen Münchener Schotterebene liegt in extensiv genutztem Grünland. Er ist gekennzeichnet durch einen 50 bis 60 cm mächtigen steinhaltigen, sandigen Lehm über sandigem Kies (Schotter) in ebener Lage. Die Wasserdurchlässigkeit ist hoch, das Wasserspeichervermögen gering. Bei ergiebigen Niederschlägen kann trotzdem Wassersättigung mit Bodensaugspannungen nahe Null auftreten. Während des niederschlagsarmen Dezembers 2004 sickerte noch vorhandenes Überschusswasser ab, der Boden trocknete auf Feldkapazität (Punktlinie in Abb. 1) aus.

Abb. 1:
Jahresverlauf der Bodenfeuchte und -temperatur (in 50 cm Tiefe), Messstelle Anzing, Münchener Schotterebene (Grünland)



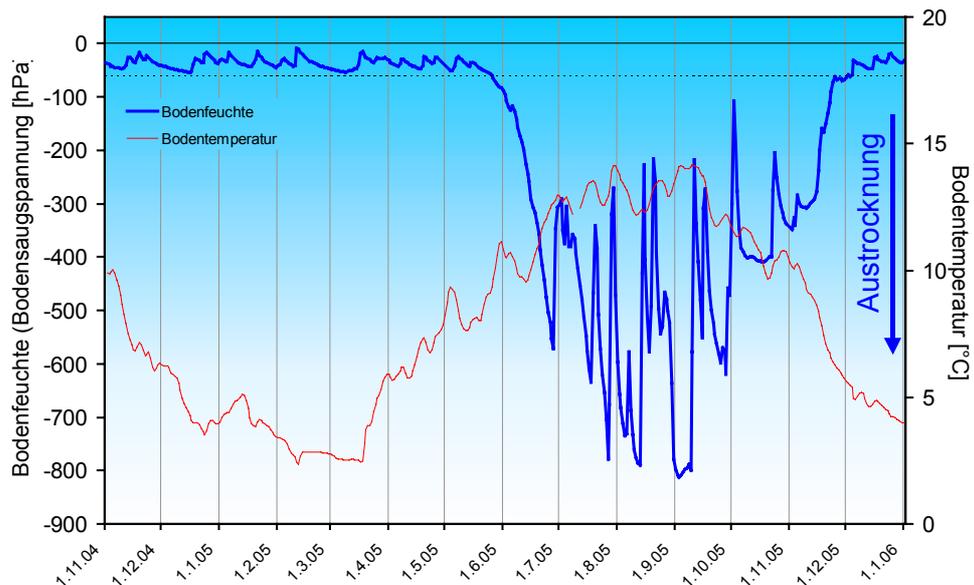


Um Weihnachten führte warme Witterung in Verbindung mit Niederschlägen zu einem kräftigen Anstieg des Bodenwassergehaltes, der bis Ende Mai zumeist oberhalb der Feldkapazität lag und mehrfach Sickerwasserschübe auslöste. Bis Mitte März wurde der Niederschlag phasenweise in einer sich ausbildenden Schneedecke zurückgehalten. Zwischenzeitlich führten ergiebige Niederschläge in Verbindung mit Schneeschmelze zu intensiver Sickerwasserbildung. Am 11. und 12. Februar war der kiesige Boden in 50 cm Tiefe sogar weitgehend gesättigt. Während der Kälteperiode Ende Februar/Anfang März erreichte der Bodenfrost über 20 cm Tiefe und hemmte zunächst die weitere Sickerung. Der März war zwar niederschlagsarm, jedoch führte milderes Wetter ab Monatsmitte zum Abschmelzen der Schneedecke und erneut starker Sickerwasserbildung. Im folgenden Frühjahr zeigten die Saugspannungswerte ständige Bodennässe mit häufigen leichten Sickerwasserschüben an. Eher untypisch entwickelte sich der Sommer 2005. Einerseits trocknete der Boden in 50 cm Tiefe erst Anfang Juni stärker aus. Andererseits füllten sehr ergiebige Niederschläge im Juli und besonders im August (s. Kap. Hochwasser) den Bodenspeicher soweit auf, dass erhebliche Sicker-

wassermengen freigesetzt wurden. Durch diese sommerliche Grundwasserneubildung wurden die seit längerem defizitären Grundwasservorräte nicht unerheblich gestützt. Am Messstandort kann die Grasmahd am 26.7. durch zeitweilige Reduzierung des Pflanzenwasserverbrauchs, die Durchfeuchtung des Bodens zusätzlich begünstigt haben. Von September bis Ende November wurde, mit kurzer Unterbrechung im Oktober, kein Sickerwasser mehr gebildet. Erst der Jahresabschluss war, bei fehlender Verdunstung und häufigen Niederschlägen, wieder durch hohe Bodenfeuchte und ständige Sickerwasserschübe gekennzeichnet.

Der Verlauf der Bodentemperatur spiegelt die klimatischen Rahmenbedingungen der Grünlandflächen in der östlichen Münchener Schotterebene in Verbindung mit der Durchlässigkeit des Bodens wieder. In 50 cm Tiefe zeigte sich eine erhebliche Schwankungsbreite zwischen 1 und 20 °C und ausgeprägte Gradienten. Der Energietransport erfolgt nicht nur über die Wärmeleitfähigkeit des Bodenkörpers sondern auch gekoppelt an Versickerungsereignisse.

Abb. 2:
Jahresverlauf der Bodenfeuchte und -temperatur (in 50 cm Tiefe), Messstelle Bischbrunn, Hochspessart (Waldstandort, Buche)



Der Messstandort Bischbrunn im Hochspessart liegt in einem Buchenaltbestand in Hangfußlage. Er ist gekennzeichnet durch einen 50 bis 60 cm mächtigen

lehmigen Sand über verwittertem Mittleren Buntsandstein. Seine Wasserdurchlässigkeit ist hoch, das Wasserspeichervermögen gering. Die Feldkapazität in

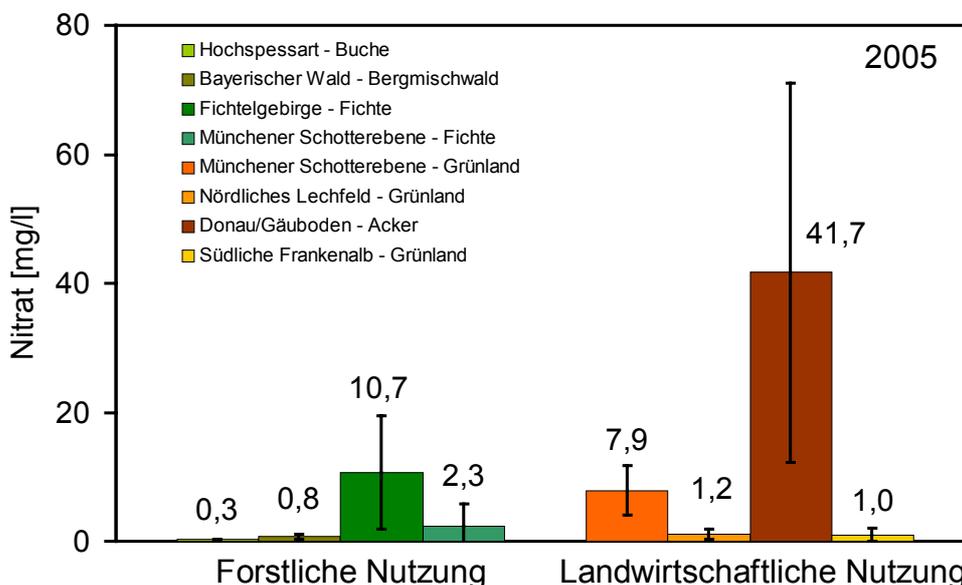


der Messebene 50 cm wird durch eine Saugspannung von ca. -60 hPa angezeigt. Das Hydrologische Jahr 2005, insbesondere das Sommerhalbjahr, war im Hochspessart durch ein deutliches Niederschlagsdefizit gekennzeichnet. Allerdings begannen die winterfeuchten Böden erst Ende Mai kräftig auszutrocknen (Abb. 2). Unter den Sickerwasserschüben war das Ereignis vom 11. Februar besonders ausgeprägt. Ergiebige Niederschläge in Verbindung mit Schneeschmelze verursachten einen starken Anstieg der Grundwasserstände. Unter der bis Mitte März erneut gebildeten Schneedecke konnten die Böden bis nahezu Feldkapazität austrocknen. Mit der nachfolgenden Schneeschmelze am 17. und 18. März begann die letzte Phase leichter Sickerwasserschübe. Ab April, mit Zunahme des Pflanzenwasserverbrauchs, hatten sie keine Wirkung mehr auf den Grundwasserstand. Ab Juni bewirkte das ausgeprägte Niederschlagsdefizit in Verbindung mit saisontypischem Entzug von Verdunstungswasser eine starke Boden-

austrocknung. In 50 cm Tiefe wurden Saugspannungen bis unter -800 hPa erreicht. Die sommerlichen Niederschläge führten schubweise Wasser nach, ohne dass der Bodenspeicher ganz gefüllt oder gar Sickerwasser gebildet wurde. Diese Phase zog sich ungewöhnlich lang bis weit in den November hinein, obwohl die Buchenbestände in dieser Jahreszeit kaum mehr Wasser verdunsten. Erst am 25. November überschritten die Bodensaugspannungen wieder den Wert der Feldkapazität. Merkbare Grundwasserneubildung wurde bis Jahresende nicht registriert.

Die Bodentemperatur wird von der kleinklimatischen Situation im geschützt am Unterhang liegenden Buchenbestand bestimmt. Temperaturextreme werden im Wald gedämpft. Daher schwankte die Bodentemperatur in 50 cm Tiefe nur zwischen 2,5 und 14,5 °C.

Abb. 3:
Nitratkonzentration
(Jahresmittel und
Standardabweichung
2005) im
Bodensickerwasser
unterhalb der
Wurzelzone in den
sieben Messgebieten



Die Nitratbelastung der Bodensickerwässer wird im Wesentlichen vom Stickstoffeintrag aus der Landnutzung und aus der Luft einerseits sowie dem Rückhalt in Boden und Vegetation andererseits gesteuert. In Wäldern sind die Stickstoffumsätze wesentlich geringer als auf landwirtschaftlichen Flächen mit jährlicher Düngung und Ernte. Allerdings bilden sich langfristig auch in Waldböden enorme Stickstoffvorräte, die in instabilen Phasen teilweise mobilisiert werden können.

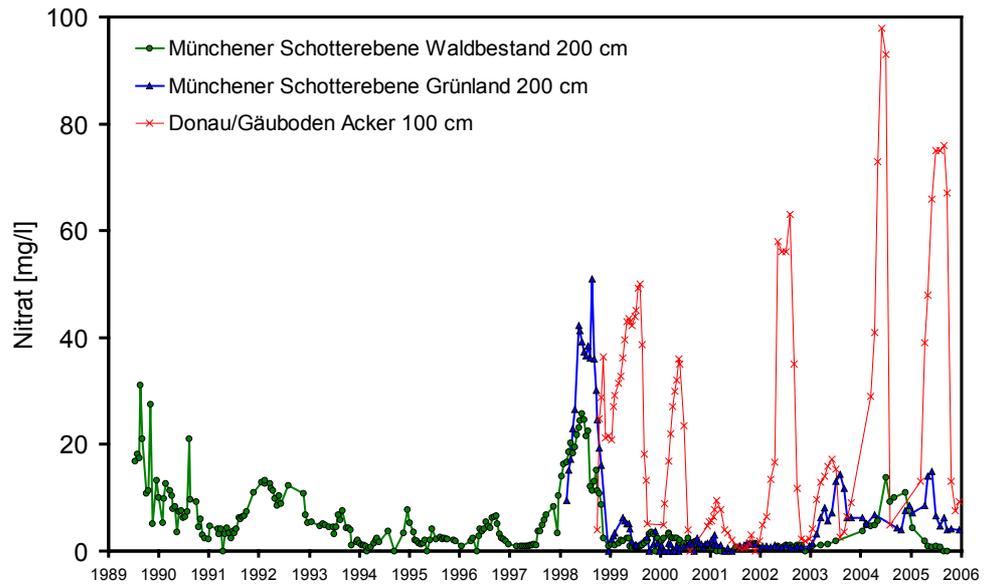
Für acht Standorte liegen Dauerbeobachtungen der Nitratkonzentration im Sickerwasser vor. Unterhalb der Wurzelzone wurden im Jahresmittel 2005 zwischen 0,3 und 42 mg/l registriert (Abb. 3). Unter Acker wurden erwartungsgemäß die höchsten Werte gefunden. Wald und Grünlandstandorte zeigen demgegenüber geringe Nitratverluste. Bei forstlicher Nutzung sind von Laubholz dominierte Bestände besonders günstig bzgl. der Stickstoffverluste. Die mittlere Nitratkonzentration unter Fichtenbeständen



ist dagegen erhöht. Im Jahresverlauf wurden 15 mg/l Nitrat allerdings nicht überschritten. Der ursprüngliche Fichtenstandort im Bayerischen Wald entwickelt sich nach Borkenkäferbefall 1997 zu einem von Laubholz dominierten Bestand mit erhöhtem Stickstoffbedarf und entsprechend geringer Nitratauswaschung.

Seit dem Trockenjahr 2003 (und nach mehrjähriger Ruhephase) findet in der Münchener Schotterebene sowohl am Grünlandstandort als auch am benachbarten Waldstandort eine deutliche Nitratmobilisierung statt (Abb. 4).

Abb. 4:
Zeitliche Entwicklung
der Nitratkonzentration
im Bodensickerwasser bei
unterschiedlicher
Landnutzung



Am Gäuboden-Ackerstandort (viehloser Betrieb) wurden 2005 Kartoffeln angebaut. Hier überstieg die Nitratkonzentration von Anfang April bis Ende Juli durchgehend den Wert von 50 mg/l (Maximum Ende Juni: 76 mg/l). In tiefer gelegenen Messebenen (bis

800 cm Tiefe) führen Denitrifikationsvorgänge in der Lößlehmdcke zum Rückgang der Nitratbelastung des Sickerwassers unter 10 mg/l bei gleichzeitigem Anstieg der Sulfatkonzentrationen.

Sonderthema

Hochwasser August 2005

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 Oberen Argen, der Iller, des Lechs, der Mindel, der Zusam, der Schmutter, der Isar, der Loisach, der Mangfall und des Inns.

Am 21. August lag Südbayern im Bereich der Nordflanke des Tiefs „Norbert“ in einer östlichen Strömung. Feuchtwarme Luftmassen aus dem Mittelmeerraum trafen in Südbayern auf kühlere Luft, wurden, verstärkt durch den Alpenstau, angehoben und regneten aus. So setzten zunächst im Oberallgäu starke Regenfälle ein.

Ab dem 22. August verlagerte sich das Tief nur sehr langsam von der Adria nach Nordosten. Eine Vb-ähnliche Wetterlage entstand und verursachte ergiebigen Dauerregen. Durch die zunehmend nördliche Anströmung verstärkte sich der Stau effekt an den Alpen und das Niederschlagsgebiet dehnte sich vom Bodensee bis zum Inn aus.

In einem Dreieck Allgäuer Alpen – Donauwörth – Mangfallgebirge fielen verbreitet mehr als 60 mm Regen in 72 Stunden; alpennah waren es vielerorts mehr als 150 mm in 72 Stunden. Die höchsten Niederschlagssummen wurden im Oberallgäu (z.B. Oberstdorf/Rohrmoos: 147 mm/24 h bzw. 179 mm/72 h), im Werdenfeller Land und im Oberland (z.B. Kochel-Einsiedl: 216 mm/24 h bzw. 250 mm/72h) gemessen.

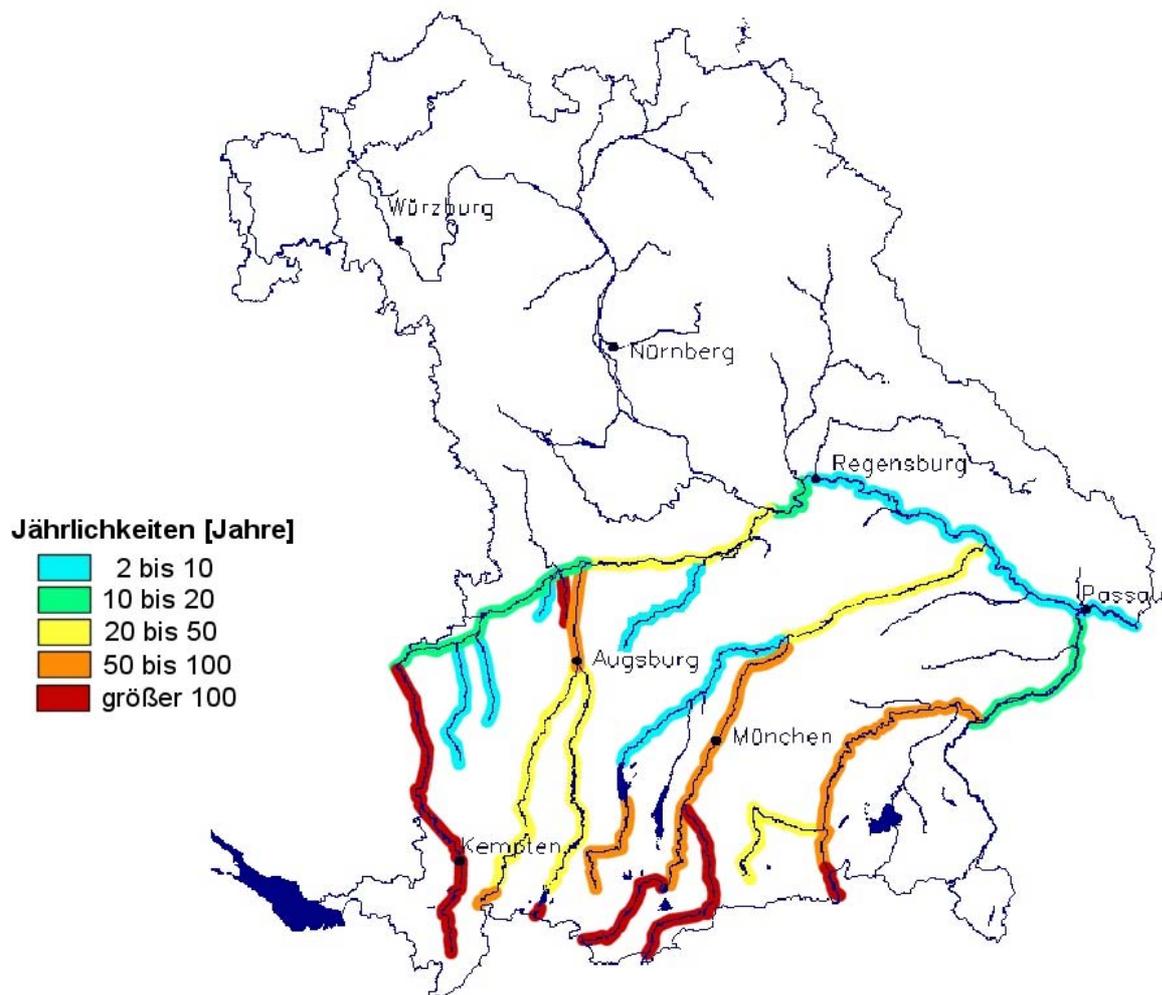
Ein Vergleich mit der Niederschlagsverteilung Pfingsten 1999 zeigt, dass beide Ereignisse sehr ähnlich waren, die Niederschlagssummen zu Pfingsten 1999

jedoch verbreitet deutlich höher ausfielen. Das Besondere am jetzigen Niederschlagsereignis sind die höheren Intensitäten und die im Zeitbereich von 24 Stunden verbreitet aufgetretenen ergiebigen Niederschlagsmengen.

Entsprechend den Niederschlagsschwerpunkten konzentrierte sich das Hochwassergeschehen auf die Einzugsgebiete der alpinen und voralpinen bayerischen Flüsse. Insbesondere an Iller, Loisach und Isar, aber auch an den Donaupegeln war die Meldestufe 4 (bebaute Gebiete in größerem Umfang überflutet oder der Einsatz der Wasser- oder Dammwehr in großem Umfang erforderlich) überschritten.

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 Abbildung gibt einen Eindruck über die Jährlichkeit der vorläufigen Abflussspitzen.

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 war als Pfingsten 1999. 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 Forggensee 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.

Die Vorabsenkung ist besonders für den Forggensee wichtig, da dieser Speicher primär für die Energiewirtschaft gebaut wurde und der Hochwasserschutzraum damit relativ klein ist. Der Speicher wird von der Energiewirtschaft betrieben. Bei drohendem Hochwasser und während des Hochwassers kann die bayrischen Wasserwirtschaftsverwaltung die Steuerung vorgeben, was auch bei diesem Ereignis der Fall war. Durch eine massive Vorentlastung konnte so der Seewasser-

piegel um über einen Meter abgesenkt werden. Während des Ereignisses und bei der anschließenden Entlastung des Speichers wurde vornehmlich für den maßgebenden Schadensschwerpunkt Augsburg gesteuert. Dank der seit dem Pfingstereignis durchgeführten Baumaßnahmen zur Steuerung der Abgabe und der inzwischen eingerichteten Hochwasservorhersagezentrale am Wasserwirtschaftsamt Kempten war es möglich, die Schäden im Unterlauf stark zu reduzieren.

Der Sylvensteinspeicher ist im Gegensatz zum Forggensee primär für den Hochwasserschutz und die Niedrigwasseraufhöhung errichtet worden und hat damit einen relativ großen Hochwasserschutzraum der zum Beginn des Ereignisses schon zur Verfügung stand. Auch bei diesem Speicher konnte auf Grund der frühzeitigen und während des Ereignisses ständig durchgeführten Vorhersagen in der Hochwasservorhersagezentrale Isar am Wasserwirtschaftsamt Weilheim und darauf aufbauenden Steuerungen des Sylvensteinspeichers wie schon 1999 die Schäden stark

reduziert werden, obwohl die Zuflüsse zum Speicher größer als 1999 waren.

Sowohl der Sylvensteinsee als auch der Forggensee dienen hauptsächlich dem Schutz der unterhalb gelegenen Schadensschwerpunkte wie Bad Tölz und München bzw. Landsberg und Augsburg und erst in zweiter Linie dem Schutz weiter unterhalb gelegener Gebiete. Bei der Steuerung wird jedoch darauf geachtet, dass unter Berücksichtigung der primären Schutzziele auch eine Entzerrung der Hochwasserwellen beim Zusammenfluss mit der Donau erfolgt, und damit auch Schutzwirkungen für die Donau gegeben sind.

Dieses extreme Hochwasserereignis war die Bewährungsprobe für die in Bayern neu eingerichteten Hochwasservorhersagezentralen. Trotz der engen Personaldecke und der teilweise noch nicht ausgereiften Vorhersagemodelle haben sich diese Einrichtungen durchwegs bewährt. Auch das Pegelwesen war außerordentlich gefordert. Dabei bewährten sich die Innovationen im Bereich der redundanten Wasserstandserfassung und -übertragung. Dagegen wurden Schwächen bei der Abflussermittlung deutlich. Hier muss der Schwerpunkt der Innovationen der nächsten Jahre liegen.

Weitere Informationen zum Hochwasser in Bayern finden Sie unter <http://www.hnd.bayern.de>

Sonderthema

Stand der Hochwasservorhersage in Bayern

Alfons Vogelbacher

Ausgelöst durch das Pfingsthochwasser 1999 wurde in Bayern ein auf fünf Jahre angelegtes Innovationsprogramm „Quantitative Hydrologie“ im Gewässerkundlichen Dienst Bayerns aufgelegt [15]. Neben der Entwicklung von Vorhersagemodellen umfasste es den Aufbau eines neuen automatischen Online-Niederschlagsmessnetzes und die Optimierung des bestehenden Pegelnetzes. Es war Teil des **Aktionsprogramms 2020** zum nachhaltigen Hochwasserschutz in Bayern, in dem Investitionen zum vorbeugenden, technischen und weitergehenden Hochwasserschutz erfolgen [3]. Im Rahmen dieses Entwicklungsvorhabens wurden für ganz Bayern Hochwasservorhersagemodelle entwickelt und zur Einsatzreife gebracht. Außerdem wurde die Informationsbereitstellung in der Hochwasserwarnung mit modernen Kommunikationsmitteln verbessert und die Zuverlässigkeit der Datenübermittlung und -bereitstellung im Hochwassernachrichtendienst erhöht.

Die Veröffentlichung aller hochwasserrelevanten Daten erfolgt im Internet unter der Adresse www.hnd.bayern.de. Zugriffsstatistiken während hochwassergefährdeter Perioden belegen die hohe Akzeptanz des Informationsweges Internet. Für die einzelnen Pegelmessstellen werden die Ganglinien von Wasserstand und Abfluss mit wählbarem Zeitbezug, die wichtigsten Stammdaten der Messstelle, die Hochwassermarken mit Auswirkungen, gefährdeten Objekten und Maßnahmen in Abhängigkeit der Pegelstände, die statistischen Kennzahlen und Jährlichkeiten, Gebietsdaten und Laufzeiten, die Abflusstafel, eine Lagekarte mit Bild sowie falls für den Pegel vorhanden, die Jahrbuchseite dargestellt. In Kürze werden die Ausgabe der Hochwasserwarnungen und deren Bereitstellung in das Internetangebot des HND eingebunden. Im Jahre 2005 wurde ein **Messwertanagesystem** eingeführt, das es ermöglicht, aktuelle Pegelstände über einen telefonischen Ansagedienst abzufragen. Dabei werden die digital abgerufenen Wasserstandswerte in Sprache umgewandelt und über einen Telefondienstleister mit entsprechender Bandbreite der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Daten und Messnetze

Bayern hat mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) eine Rahmenvereinbarung zum Aufbau eines gemeinsamen **automatischen Niederschlagsmessnetzes** abgeschlossen. Mittlerweile sind ca. 250 Stationen in Betrieb, davon 106 des Freistaates Bayern. Über die am Landesamt installierte Messnetzzentrale können neben den Messwerten auch technische und meteorologische Alarme empfangen werden. Mit zusätzlichen Niederschlagsstationen aus Fremdnetzen erhält der Hochwassernachrichtendienst mittlerweile von ca. 450 Stationen Niederschlagsdaten online.

Die räumliche Erfassung der Niederschläge kann durch die Wetterradarmessungen verbessert werden. Die Aneicherung der Radarsignale an die Messwerte der Bodenstationen ermöglicht eine räumlich hochaufgelöste Erfassung der Regenfälle. Das Projekt **RADOLAN (RADar OnLine ANeicherung)** wurde von der LAWA gefördert. Die ersten operationellen Produkte wurden 2005 herausgegeben [8] [9] [16].

Schneehöhe, Wasseräquivalent der Schneedecke, Lufttemperatur und Wind sind neben dem Niederschlag die wichtigsten meteorologische Parameter zur Schneeschmelzmodellierung innerhalb der Niederschlag-Abfluss-Modelle. Das Wasseräquivalent der Schneedecke wird bisher an ca. 30 Stationen in Bayern in ca. dreitägigem Abstand gemessen. Das Messnetz soll in den nächsten Jahren beträchtlich erweitert werden. Um das Niederschlagsdargebot aus Schneeschmelze und Regen flächenhaft zu erfassen und vorherzusagen, wird auf die Berechnungen mit dem Schneeschmelzmodell SNOW 3 des Deutschen Wetterdienstes zugegriffen [4].

Weitere Produkte der Wetterdienste folgen aus den Ergebnissen der numerischen Wettervorhersage. Hierbei handelt es sich um die Computersimulation atmosphärischer Prozesse mit dem Ziel, ausgehend von dem aktuellen Zustand eine Prognose der zukünftigen Entwicklung abzuleiten. Für die Abflussvorhersage werden vorrangig die Niederschlagsvorhersagen aus dem LME-Modell und dem GME-Modell des DWD verwendet [7]. Das GME (Global-Modell Europa) überdeckt ganz Europa mit einem Gitter der Kantlänge 40 km. Es wird täglich zu den Vorhersagezeiten 00 UTC, 12 UTC und 18 UTC mit Vorhersagezeiten von 7 Tagen gerechnet. Die Vorhersage stehen circa 4 Stunden nach dem Vorhersagezeitpunkt zur Verfügung. Das LME (Lokal-Modell Europa) überdeckt ganz Europa mit einem quadratischen Gitter der Kantlänge 7 km. Die mittlere Größe der Flächenelemente ist im LM also nur 49 km², während sie im GME 1300 km² beträgt. Deshalb kann das LME viele lokale Details der Landschaft, die einen prägenden

Einfluss auf das Wetter haben, explizit erfassen. Das Modell wird täglich zu den Vorhersagezeitpunkten 00 UTC, 12 UTC und 18 UTC mit Vorhersagezeiten von 78 Stunden bzw. 48 Stunden um 18 UTC gerechnet. Die Vorhersagen stehen ca. 6 Stunden nach dem Vorhersagezeitpunkt dem Hochwassernachrichtendienst zur Verfügung. Weitere Vorhersageprodukte, wie das amerikanische GFS (Global Forecast System) - Modell oder Vorhersageprodukte des ECWMF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) in Reading (England) werden zeitweise zum Vergleich mit herangezogen.

Die Weiterentwicklungen der Niederschlagsvorhersage zielen u.a. auf eine räumliche Auflösung der Vorhersage in einem 3 km x 3 km Raster und der Entwicklung und Einführung des Niederschlags-Nowcasting-Systems. Damit können - zeitnah auf

dem beobachteten Wettergeschehen (einschl. Wetterradarmessungen) aufsetzend – verbesserte kurzfristige (ca. 2-4 Stunden) und häufigere Niederschlagsvorhersagen durchgeführt werden. Diese Arbeiten werden im Projekt **RADVOR-OP** von der LAWA gefördert. Erste operationelle Produkte wurden in 2005 herausgegeben [8].

Die **Schneeschnmelzvorhersage** erfolgt auf Basis des Modells SNOW-D und dessen Weiterentwicklung SNOW3 durch den DWD [4]. Hierfür sind im Rahmen des Aufbaus des Ombrometermessnetzes zusätzliche Messungen der Schneehöhe und des Wassergehalts der Schneedecke vorgesehen. Das Modell liefert das Niederschlagsdargebot und den Wassergehalt der Schneedecke mit einer räumlichen Auflösung von 1x1 km (Abb. 2).

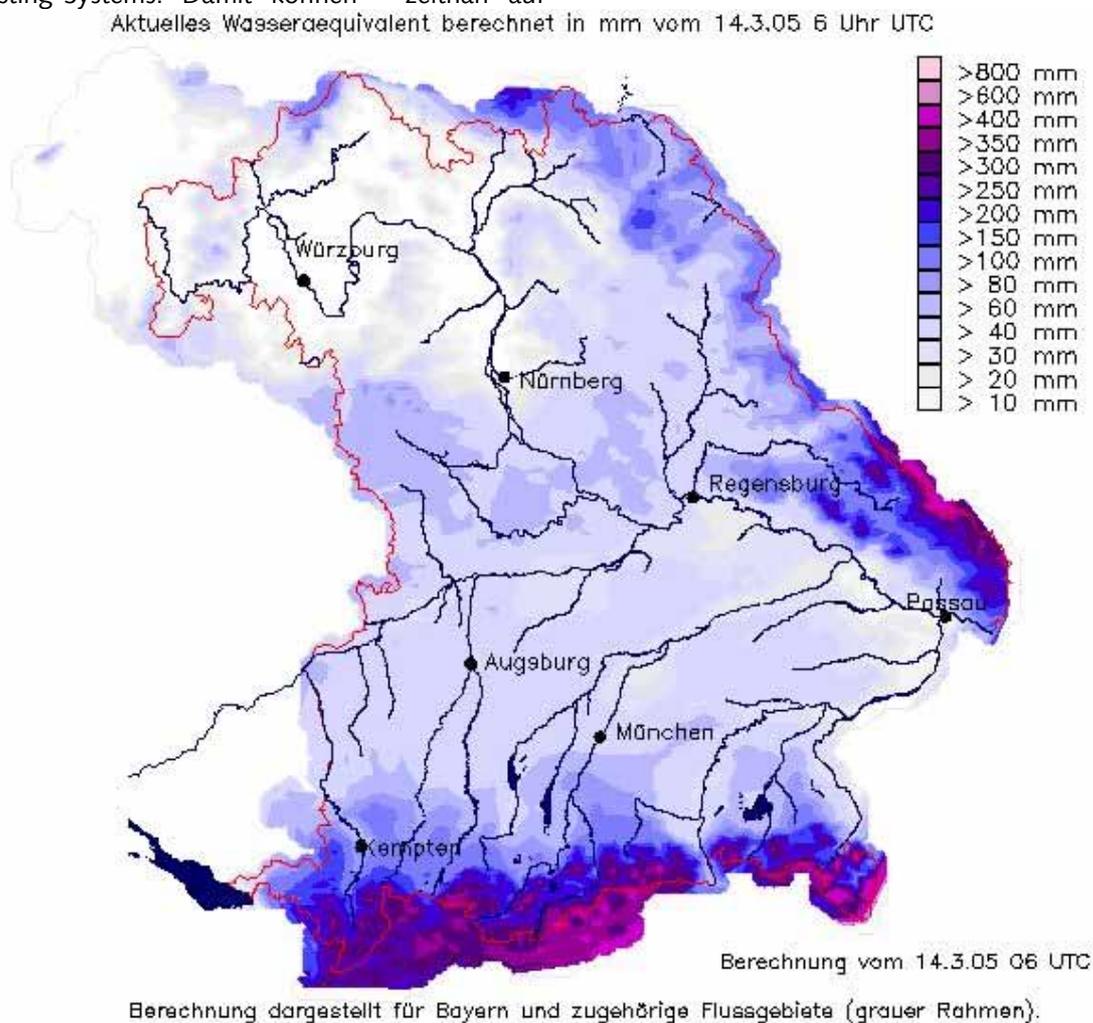


Abb. 1: Darstellung des Wassergehalts der Schneedecke nach Berechnungen mit SNOW 3 des DWD

Das **Pegelmessnetz** besteht aus ca. 600 Messstellen, wovon mittlerweile 560 Messstellen mit Datenfernübertragung ausgestattet sind. 320 Pegel werden im Hochwassernachrichtendienst als Meldepegel geführt. Die extremen Hochwasser im Mai 1999, im August

2002 und im Januar 2003 haben gezeigt, dass die Ausstattung und die Übertragungswege der Pegel nicht sicher genug war. Immer wieder traten Ausfälle der Messeinrichtungen und der Übertragungswege auf. Um die Datenversorgung zu sichern, wurden

deswegen in Bayern mittlerweile ca. 200 Pegel mit redundanter Messwerterfassung und Übertragung ausgerüstet. Für die Übertragung wird alternativ das Festnetz oder Mobilfunk GPRS bzw. GSM eingesetzt. Bei den anderen Pegeln im Hochwassernachrichtendienst wird zumindest die Messwerterfassung redundant ausgeführt.

Desweiteren hat sich gezeigt, dass bei zahlreichen Messstellen der Messbereich nicht ausreicht, um die extremen Wasserstände zu erfassen. Diese Pegel müssen in den nächsten Jahren entsprechend durch bauliche Maßnahmen angepasst werden.

Da nicht der Wasserstand, sondern der Abfluss die zentrale Größe für die Vorhersagemodelle ist, kommt der Abflussermittlung eine besondere Bedeutung zu. Bei nahezu allen Pegeln wird der Abfluss lediglich von Zeit zu Zeit bei möglichst auch extremen Wasserständen gemessen und daraus eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung, die Abflusskurve, erstellt. Diese ist vor allem im Extrembereich oft zu wenig durch Messungen gesichert und meist ungenau. Auch auf diesem

Gebiet werden in einem Pilotprojekt Alternativen und Verbesserungsmöglichkeiten gesucht (z.B. Ultraschallmessung, ADCP-Messung, Tracermessung, Radarmessung). Bis Ende 2007 sollen hydraulische Berechnungen an allen Messstellen durchgeführt werden, um die Abflusskurven vor allem im Extrapolationsbereich zu verbessern. Dennoch kann der Wasserstand nicht immer ohne weiteres vom vorhergesagte Abfluss abgeleitet werden, da er von Eis, Treibgut, Eintiefung bzw. Auflandung und anderen Umständen (Brückeneinsturz, Dammbbruch) beeinflusst sein kann.

die Innovationen im Bereich der redundanten Wasserstandserfassung und -übertragung. Dagegen wurden Schwächen bei der Abflussermittlung deutlich. Hier muss der Schwerpunkt der Innovationen der nächsten Jahre liegen.

Weitere Informationen zum Hochwasser in Bayern finden Sie unter <http://www.hnd.bayern.de>

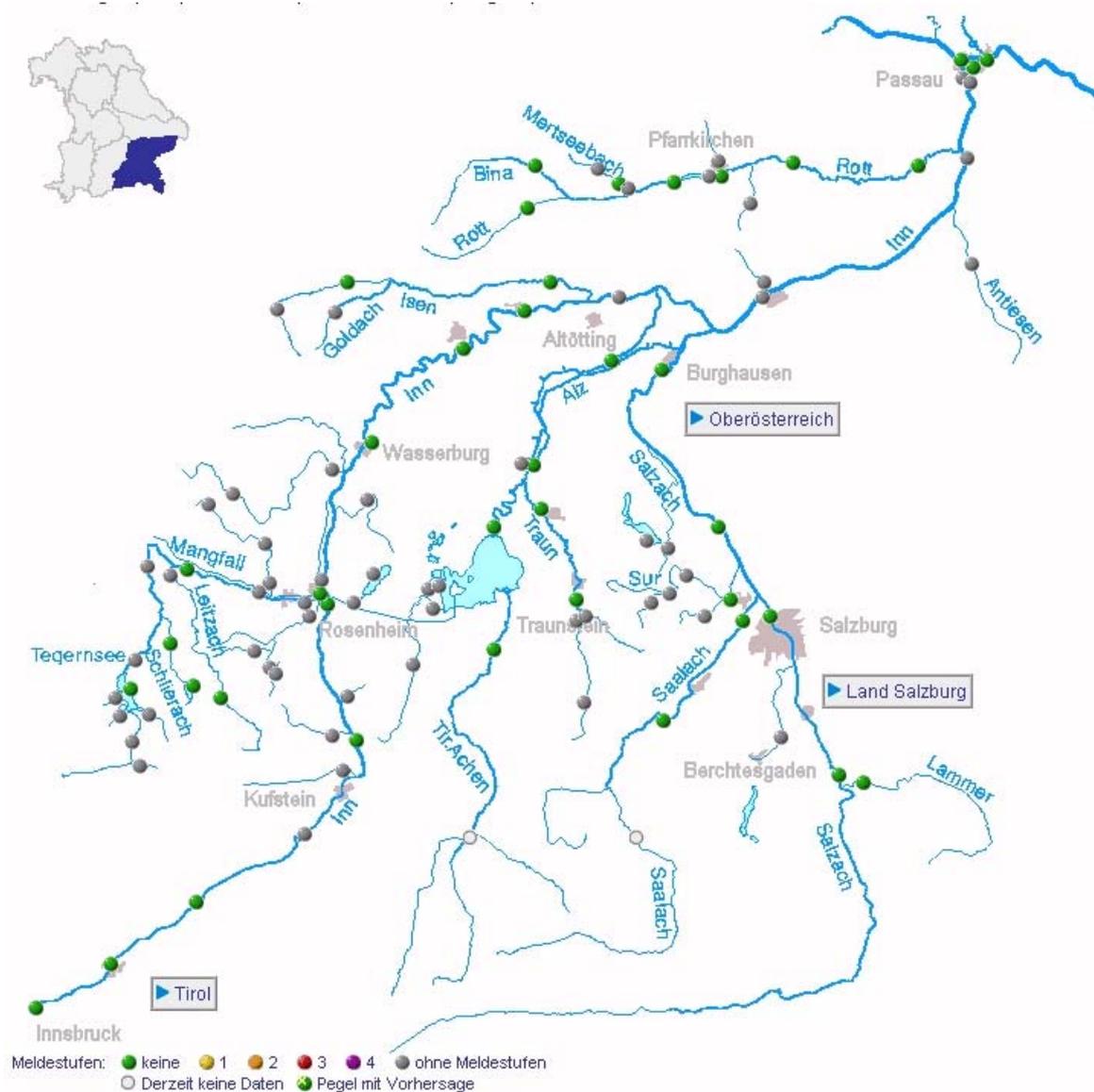


Abb. 2: Teil des Pegelmessnetzes im Südosten Bayerns und seine Präsentation im Internetangebot des Hochwassernachrichtendienstes

Datenfluss im Hochwassernachrichtendienst

Die Messdaten werden nach Abruf oder Empfang durch die Datenabrufrichter sofort vollautomatisch an einen zentralen Server weitergeleitet und dort in eine zentrale Datenbank importiert. Gleichzeitig werden auch andere Datenprotokolle eingelesen wie z.B. per E-Mail gesandte oder auf externen FTP-Servern bereitgestellte Daten der Nachbarländer und Wetterdienste. Bei Ausfällen der zentralen Master-Datenbank kann deren Funktionen von insgesamt vier weiteren Datenbanken übernommen werden, die an den einzelnen Vorhersagezentralen in München, Kempten, Weilheim und Bamberg untergebracht sind.

Deren Datenbestand wird kontinuierlich über eine Replikation der Master-Datenbank mitgeführt.

Vorhersagemodelle

Bis zum Jahre 2000 wurden im Hochwassernachrichtendienst nur empirische und empirisch-synoptische Verfahren eingesetzt. Die gebräuchlichsten Methoden waren Pegelbezugslinien für Wasserstände bzw. für Abflüsse [14]. Heute sind in Bayern nahezu flächendeckend Vorhersagemodelle aufgebaut worden [6].

Die Basis der Wellenablaufmodellierung an Main und Donau bildet das hydrodynamische Modell WAVOS [18]. Für den bayerischen Inn wird ebenfalls ein hyd-

rodynamisches Modell entwickelt. Das Modell reicht von Kufstein bis Passau. Es umfasst damit die bayrisch-österreichischen Grenzstrecken und die rein bayrischen Abschnitte des Inn. Das Modell wird 2005 installiert und in das Hochwasservorhersagesystem integriert. Im Bereich des Inneinzugsgebietes wird eng mit Österreich kooperiert [1]. Für die Salzach erfolgen Vorhersagen in HYDRIS (**H**ydrologisches **I**nformati-**O**nssystem zur Hochwasservorhersage) bei der Salzburger Landesregierung [12][17].

An die hydrodynamischen Modelle angeschlossen sind Zuflussvorhersagen für die Nebenflüsse auf der Basis von Niederschlag-Abfluss-Modellen (N-A-Modelle). Als N-A-Modell wird vorwiegend das Flussgebietsmodell LARSIM eingesetzt [5] [11]. An der Isar wird das Modell bereits seit 1990 erfolgreich für die Speicherbewirtschaftung des Sylvensteinsees und die operationelle Vorhersage bis zum Pegel München genutzt [13].

N-A-Modelle sind deterministische Modelle. Sie berechnen Abflüsse als Reaktion auf Niederschläge. Im einfachsten Fall wird ein abflusswirksamer Gebietsniederschlag als prozentualer Anteil am Gesamtniederschlag in Abhängigkeit der Vorfeuchte des Gebietes angenommen und über eine feste lineare Beziehung zwischen Einheitsimpuls Niederschlag und Abflussreaktion (Einheitsganglinie) durch Superposition überlagert. Beim Flussgebietsmodell LARSIM gehen als Eingangsdaten stündliche Niederschlagsdaten, Abflussdaten, Niederschlagsvorhersagen, Schneeschmelzrechnungen und –vorhersagen in die Modellberechnung ein.

Die Gebietsdaten können auf Rasterbasis oder Teilgebietsbasis vorliegen. Jedes Teilgebiet oder Raster wird durch Lage- und Höheninformation, Vorfluterlänge und ein schematisches Querprofil mit Rauigkeiten beschrieben. Das Rastermodell Donau bis zur Lechmündung beruht z.B. auf einem 1x1 km Raster mit

10.000 Modellelementen und ca. 30 Pegeln. Das Gewässernetz wird aus dem Digitalen Höhenmodell automatisch erstellt und nach Kartengrundlagen ergänzt und korrigiert.

Die gebietsspezifische **Eichung** der Modellparameter der N-A-Modelle erfolgt anhand meist ca. 5 historischer Ereignisse. Oft können die extremsten Ereignisse nicht genutzt werden, da die entsprechende Datendichte der Eingangsdaten nicht vorhanden ist. In allen Fällen mussten z.B. Niederschlagsdaten durch Tageswerte, deren stündlicher Verlauf an benachbarte Niederschlagsschreiberaufzeichnungen angepasst wurde, ergänzt werden.

Der **Unsicherheitsbereich** bzw. Ungenauigkeitsbereich der Vorhersagen wird mit wachsender Vorhersagezeitraum größer. Die größte Genauigkeit erreichen Abflussvorhersagen, die aufgrund gemessener Abflüsse oder Wasserstände an Oberliegern innerhalb der Laufzeiten der Hochwasserwelle liegen. Deutlich größer wird die Ungenauigkeit, wenn die Vorhersage sich bei wachsendem Vorhersagezeitraum auf die gemessenen Niederschläge stützt und noch größer wird die Unsicherheit bei Einbeziehung der Niederschlagsvorhersagen. Die Übergänge hierbei müssen nicht kontinuierlich erfolgen sondern, können sich auch sprunghaft verändern.

Da Laufzeiten mit der Größe des Flussgebietes ebenfalls größer werden, können dort auch die genaueren Vorhersagen erzielt werden, während in den kleinen Einzugsgebieten brauchbare Vorhersagezeiten nur durch Einbeziehung der Niederschlagsvorhersagen zu erzielen sind und damit aber auch unsicher werden.

Eine der wichtigsten Aufgaben in nächster Zukunft wird sein, diese Unsicherheitsbereiche für die einzelnen Vorhersagepegel bei jeder Vorhersage zu bestimmen und mit auszugeben.

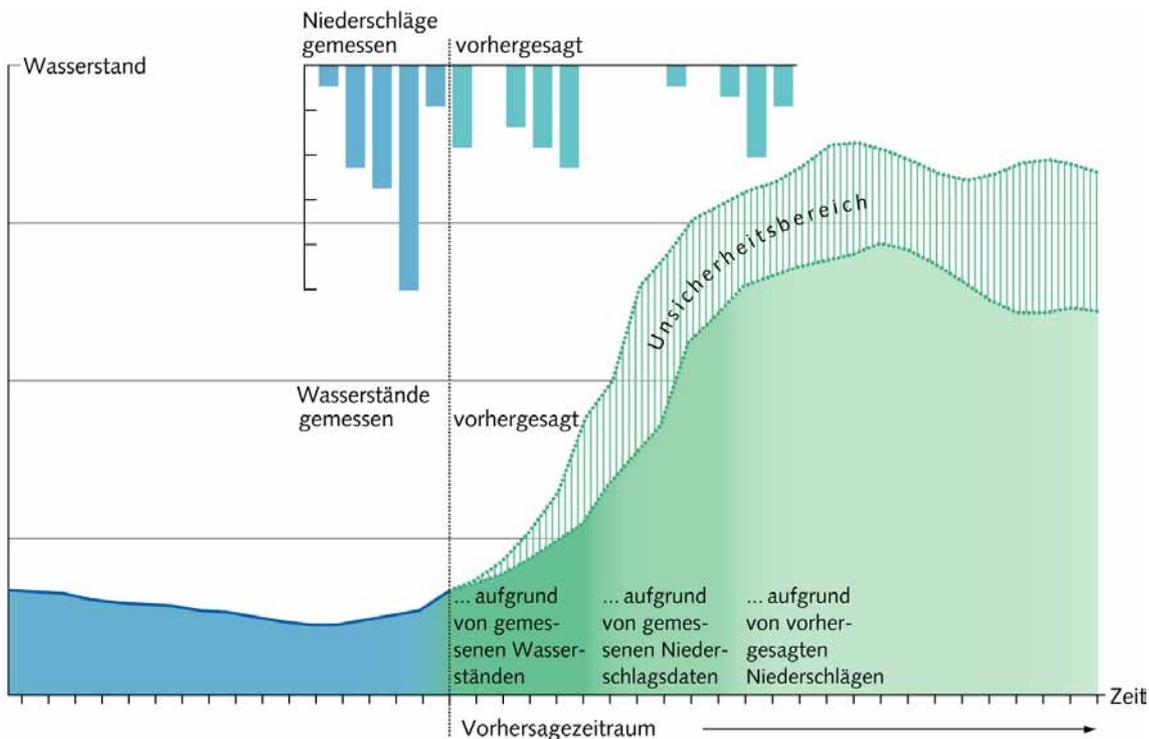


Abb. 3: Schema zum Genauigkeitsbereich von Wasserstands- und Abflussprognosen

Operationeller Betrieb

Die Vorhersageerstellung erfolgt flussgebietsbezogen durch 5 regional zuständige **Hochwasservorhersagezentralen** (HVZ), die an Wasserwirtschaftsämtern (WWA) bzw. dem Landesamt für Umwelt (LfU) angesiedelt sind. Ausser der Vorhersagezentrale Inn, wo der Modellaufbau noch nicht abgeschlossen sind, sind alle Zentralen in Probebetrieb.

Flussgebiet	Zentrale	Sitz
Main	HVZ Main	WWA Bamberg (künftig LfU, Dienststelle Hof)
Iller und Lech	HVZ Iller-Lech	WWA Kempten
Isar	HVZ Isar	WWA Weilheim
Donau	HVZ Donau	LfU, Dienststelle München

Die erste Bewährungsprobe bei einem großen Hochwasser bestanden die Vorhersagezentralen Iller-Lech, Isar und Donau im August 2005 [2]. Aufgrund der Niederschlagsvorhersagen wurde schon am 21. August, drei Tage vor dem Eintreffen der extremen Wasserstände, ein größeres Hochwasser prognostiziert. Am Pegel Kempten z.B. erreichten diese Vorhersagen

Pegelstände in Meldestufe 3. Aufgrund der Vorhersagen der HVZ Iller/Lech konnte frühzeitig mit Vorabsenkungen von Speichern begonnen werden.

Die weiteren Abflussprognosen vor Beginn des Niederschlagsereignisses lagen deutlich unter den eingetroffenen Abflussspitzen im Iller-, Lech- und Isareinzugsgebiet. Sie beruhten auf den Niederschlagsvorhersagen, wobei aus den unterschiedlichen Prognosen letztlich nach Rücksprache mit den Wetterdiensten eine ausgewählt und damit die Abflussprognosen im Modell berechnet wurden.

An der Donau kam es bei den Prognosen vor allem für die Pegel Donauwörth, Ingolstadt, Kelheim und Regensburg zu größeren Unter- wie Überschätzungen der Scheitelhöhen des Hochwassers und des zugehörigen Zeitpunkts. Die Unsicherheiten in den Prognosen entstanden u.a. infolge der Hochwasser-Ausleitungen in die Vorländer im Flussabschnitt Ulm bis Donauwörth und Lechmündung bis Neuburg. Es lagen zu wenig Informationen über die beabsichtigten bzw. vorgenommenen Ausleitungsmengen und Zeitpunkte vor und das Modell war zusätzlich nicht in der Lage die Auswirkungen von Ausleitungen auf die Hochwasserwelle richtig nachzubilden.

An der Donaustrecke unterhalb Regensburg bis oberhalb Passau lagen die Vorhersagen in einem zu erwartenden Ungenauigkeitsbereich von wenigen Dezimetern im Wasserstand. In Passau selbst kann der Zufluss des Inn bisher nur mit einfachen Methoden und maximal über die nächsten 12 Stunden vorhergesagt werden. Diese Vorhersagen wurden manuell eingearbeitet und entsprachen der bisher auch bei früheren Hochwassern beobachteten und zu erwartenden Vorhersagegüte.

Weiteres Vorgehen

Da hinsichtlich der Niederschlagsvorhersage weiterhin mit größeren Ungenauigkeiten zu rechnen ist, sind in der Folge Verbesserungen dahingehend zu erzielen, dass die zu erwartende Ungenauigkeit quantifiziert und in den entsprechenden Abflussvorhersagen deutlich gemacht wird. Um den Umgang mit den Vorhersagen und deren Unsicherheit zu erleichtern, sind Angaben über den Vertrauensbereich der Vorhersagen erforderlich. Zur Zeit besteht hier noch ein Defizit, welches beispielsweise durch die Verwendung von Vorhersageensembles beseitigt werden könnte.

Mit der Planung weiterer gesteuerter Flutpolder und zur Optimierung bestehender Retentionsmöglichkeiten vor allem an der Donaustrecke zwischen Ulm und Kelheim [10] sind weitere Untersuchungen zur Wirksamkeit der Maßnahmen auch im Hinblick auf die Genauigkeitsgrenzen der Vorhersagen durchzuführen.

Die mächtigen Schotterkörper im südbayerischen Raum können zu speziellen Problemen bei der Hochwasservorhersage führen. Versickerungen im Schotterkörper der Vorländer oder Wechselwirkungen zwischen Hauptbett und Vorländern erfordern robuste Ansätze für komplexe hydraulische Fragestellungen, die noch entwickelt werden müssen.

Die künftige Weiterentwicklung der Vorhersagesysteme wird entsprechend folgende Aufgaben beinhalten:

- Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Niederschlagsvorhersage bei der Prognose von Abflüssen, Verwendung von Ensemblevorhersagen.
- Darstellung der Ungenauigkeiten in der Wasserstands- und Abflussprognose.
- Nacheichung der Modelle und qualitative Verbesserung und Weiterentwicklung der Modellgleichungen.
- Hydraulische Untersuchung der Staustufenkette an der Donau, insbesondere im Hinblick auf gesteuerten Rückhalt und Entwicklung von Steuerungsmodellen.
- Untersuchung und Modellierung von Wasserverlusten im Vorland und der Wechselwirkungen mit den Grundwasserbegleitströmen.

Quellenangaben Literatur und Internet

- [1] Aandrade-Leal, R. N. u.a. (2002): Hydrologische Vorhersagemodelle im operationellen Betrieb der Wasserkraftwirtschaft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Nr. 54/ 9-10, 2002.
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2005); Hochwasser im August 2005.
<http://www.hnd.bayern.de/ereignisse/ereignisse.htm>
- [3] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Hochwasserschutz – Aktionsprogramm 2020.
<http://www.stmugv.bayern.de/de/wasser/speicher/strategie.htm> und

http://www.stmugv.bayern.de/de/wasser/speicher/h_schutz.pdf

- [4] Blümel, K. / Schneider, G., 2004: Bereitstellung von operativ nutzbaren Vorhersagedaten zur Schmelz- und Niederschlagswasserabgabe aus der Schneedecke, Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Berlin-Buch, 158 p.
<http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Hydrometeorologie/Leistungen/Schneeschnelzvorhersage/Schneeschnelzvorhersage.htm>
- [5] Bremicker, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwen-

- dungsbeispiele -. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11, 119 S., 2000.
- [6] Daamen, K. / Holle, F. / Vogelbacher, A. (2004): Hochwasservorhersage in Bayern. In: Wasserstands- und Abflussvorhersagen in grenzüberschreitenden Flussgebieten. Bundesanstalt für Gewässerkunde, 6/2004 Veranstaltungen, Koblenz.
http://www.bafg.de/servlet/is/5796/Veranst6_2004_Int.pdf
- [7] Deutscher Wetterdienst (2003): Numerische Wettervorhersage. <http://www.dwd.de/de/FundE/Analyse/Modellierung/Modellierung.htm>
- [8] Deutscher Wetterdienst (2003): Projekt Radolan. http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/RADOLAN/index1.htm
- [9] Dietzer, B. / Weigl, E. (2004): Analysis of Precipitation on 12.08.2002 by means of Adjusted Quantitative Radar Precipitation Data. http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/RADOLAN/radar-adjustment.pdf
- [10] Göttle, A. / Pharion, H. (2004): Flutpolder als Instrumente des modernen Hochwasserschutzes. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement 2, 2004, S. 48-52.
- [11] Homagk, P. / Ludwig, K. (1998): Operationeller Einsatz von Flussgebietsmodellen bei der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 88 (1998) H.4.
- [12] Land Salzburg; Hydrologisches Informationssystem zur Hochwasservorhersage HYDRIS: <http://www.salzburg.gv.at/themen/nuw/wasserwirtschaft/64-hydris.htm>
- [13] Overhoff, G. / Winner, E.: Das Jahrhunderthochwasser im Griff. Wasser und Boden 52(2000)6, S. 49-54.
- [14] Schiller, H. [1984]: Hochwasservorhersage. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 1/84, München.
- [15] Vogelbacher, A. / Daamen, K. / Holle, F.-K. / Cohen, I. (2002): Modellgestützte Hochwasservorhersage in Bayern. 21st Conference of the Danube Countries On the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 2-6 September 2002, Bucharest, Romania
- [16] Weigl, E. (2000): Online-angeeichte Radarniederschlagsprodukte als zukünftige Komponente für die Hochwasservorhersage. XX. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen und hydrologisch-wasserwirtschaftliche Grundlagen, Bratislava. http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Hydrometeorologie/a_href_pages/RADOLAN/Aneichung_Radar_daten.pdf
- [17] Wiesenegger, H. (2002): Hochwassermanagement in Salzburg. Wiener Mitteilungen Band 164, S. 87-100, <http://www.hydro.tuwien.ac.at/publications/wrm164.html>
- [18] Wilke, K. / Rademacher, S. (2002): Operationelle Wasserstands- und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Nr. 54/ 9-10, 2002.

Sonderthema

Klimaänderungsfaktoren bei Planungen für den Hochwasserschutz

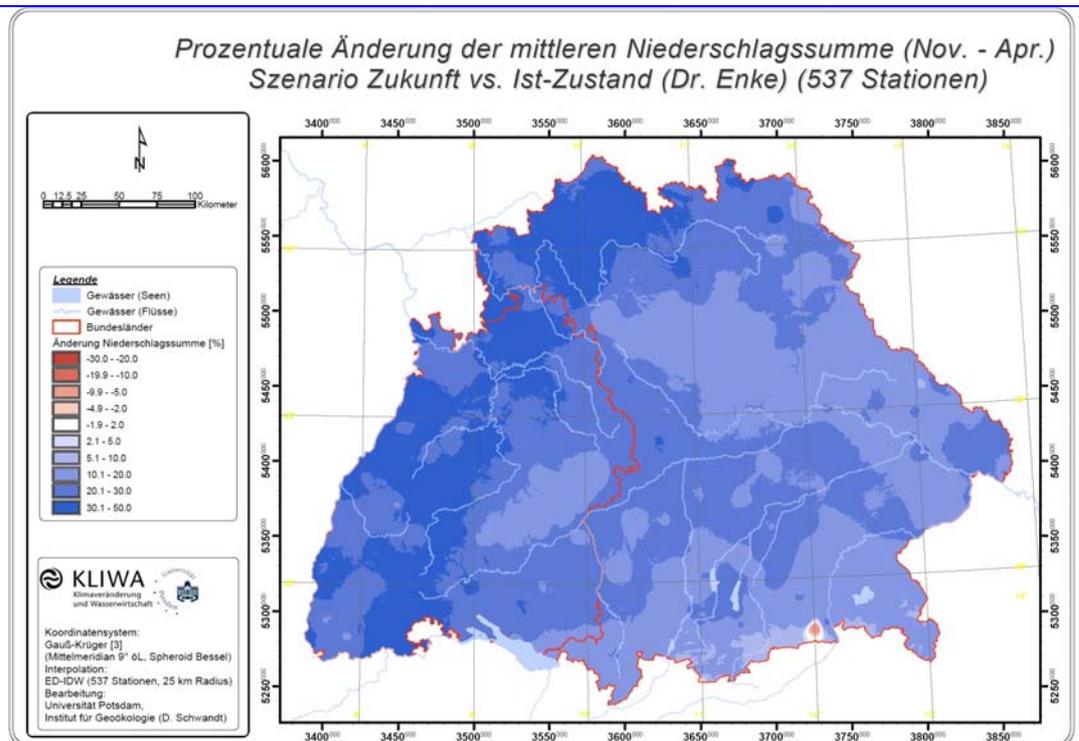
Unter den Klimaforschern ist es weltweit mittlerweile unstrittig, dass die beobachtete globale Temperaturerhöhung nicht nur den natürlichen Klimaeinflüssen und Klimaschwankungen zu zuschreiben, sondern mit als Folge des anthropogenen ‚Treibhauseffekts‘ einzustufen ist. Um die Entwicklung des weltweiten und des regionalen Klimas einzuschätzen, rechnen die Klimaforscher Klimaszenarien mit immer leistungsfähigeren Klimamodellen. Alle diese Klimamodelle sagen eine globale Erwärmung voraus und können mit entsprechenden Emissionsszenarien den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre recht gut nachbilden. Die prognostizierte globale Temperaturzunahme der kommenden 50 bis 100 Jahre schwankt je nach Klimamodell und

Emissionsszenario zwischen 2°C und 6°C [1]. Es ist zu erwarten, dass in Folge der zur Verfügung stehenden höheren Wärmeenergie auch der globale Wasserkreislauf intensiviert wird.

Die Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt sind jedoch je nach Klimaregion unterschiedlich und durch die Auflösung der globalen Klimamodelle nur unscharf beschrieben. Die Wasserwirtschaftsverwaltungen von Baden-Württemberg und Bayern haben deshalb zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA [2] mit dem Ziel durchgeführt, die regionalen Klimaänderungen und die Konsequenzen für die Wasserwirtschaft in Süddeutschland abschätzen zu können.

Hierzu wurden drei verschiedene regionale Klimamodelle verwendet, um ein Szenario des globalen Klimamodells ECHAM4 auf den regionalen Maßstab herunterzukalieren, nachdem durch eine Voruntersuchung klar war, dass es kein optimales Verfahren zum regionalen Downscaling gibt.

Abb. 1:
Änderung der Niederschlagssumme [%] im Winterhalbjahr im MR-Szenario gegenüber heute.



Aus den verwendeten regionalen Klimamodellen wurde ein statistisches Verfahren ausgewählt, welches für das Downscaling statistische Beziehungen zwischen großräumigen Druckfeldern ("Wetterlagen") und lokalen Wetterstationsdaten nutzt. Für die hydrologischen Fragestellungen erscheint dieser

Modellierungsansatz derzeit am geeignetsten [3]. In diesem Szenario erhöhen sich die künftigen Niederschläge deutlich gegenüber dem derzeitigen Klima, wobei die Zunahme weitgehend im Winterhalbjahr stattfindet (Abb. 1). Letzteres deckt sich auch mit den KLIWA-Trendanalysen zum

historischen Niederschlagsverhalten, die im Winter die stärksten Veränderungen zeigen [4, 5].

Die Daten der regionalen Klimaszenarien wurden dann als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle (WHM) verwendet, um Aussagen über die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt (z.B. Abflüsse in den Gewässern) treffen zu können [6, 7]. In Bayern ist bisher für die Flussgebiete nördlich der Donau das WHM ASGi-WaSim angepasst worden. Die Wasserhaushaltsmodellierungen konzentrierten sich zunächst auf die mögliche Veränderung des Abflussgeschehens in der Zukunft, wobei zuerst die Auswirkungen bei den Hochwasserabflüssen im Blickfeld waren. Die ermittelten Abflüsse aus der Wasserhaushaltsmodellierung wurden dafür mit Methoden der Extremwertstatistik analysiert.

In Bayern liegen derzeit Simulationsergebnisse für 50 Pegel im Maingebiet vor. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse für die Pegel Wolfsmünster (Fränkische Saale) sowie Kemmern im Oberen Main-Gebiet vorgestellt (Abb. 2) [8]. Die Ergebnisse lassen eine deutliche Zunahme der mittleren Hochwasser (MHQ), teilweise aber auch der extremen Abflüsse, erwarten. Auch wenn die Ergebnisse aus der Modellkette (Globalmodell – regionales Klimamodell – Wasserhaushaltsmodelle) und den Modellannahmen noch mit Unsicherheiten behaftet sind, zeigen sie alle in dieselbe Richtung, so dass von einer Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung für den betrachteten Zeitraum bis zum Zieljahr 2050 in Bayern auszugehen ist.

Anpassung der Hochwasserschutzplanungen

Vor diesem Hintergrund galt es aus Vorsorgegründen, für den Bereich des Hochwasserschutzes eine Anpassungsstrategie zu entwickeln, die zwar die mögliche Entwicklung der nächsten Jahrzehnte berücksichtigt, aber auch den bestehenden Unsicherheiten Rechnung trägt. Festlegungen sollten daher als Kernpunkt enthalten, dass sie einerseits langfristig unschädlich und gleichzeitig bei Bedarf (z.B. bei neuen Erkenntnissen der Klimaforschung) anpassbar sind („flexible and no regret“-Strategie) [9].

Die Auswertungen gaben Anlass, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und auf Grund des Klimawandels einen „Lastfall Klimaänderung“ zu berücksichtigen. Anhand von Fallbeispielen aus der Praxis wurde dazu nachgewiesen, dass eine Berücksichtigung der

erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung bei technischen Hochwasserschutzmaßnahmen in den meisten Fällen zu relativ moderaten Kostensteigerungen geführt hätte, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung berücksichtigt und beim Bau zumindest entsprechende Vorkehrungen für eine spätere Anpassung getroffen worden wären. Nachträgliche Anpassungen sind hingegen meist mit sehr hohen Kosten verbunden [10].

Erhöhung der bisherigen Bemessungsabflüsse

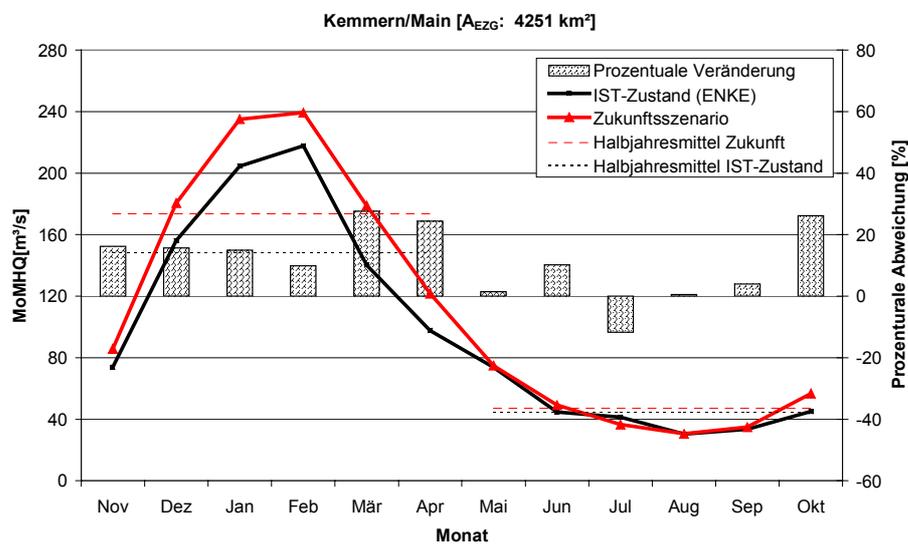
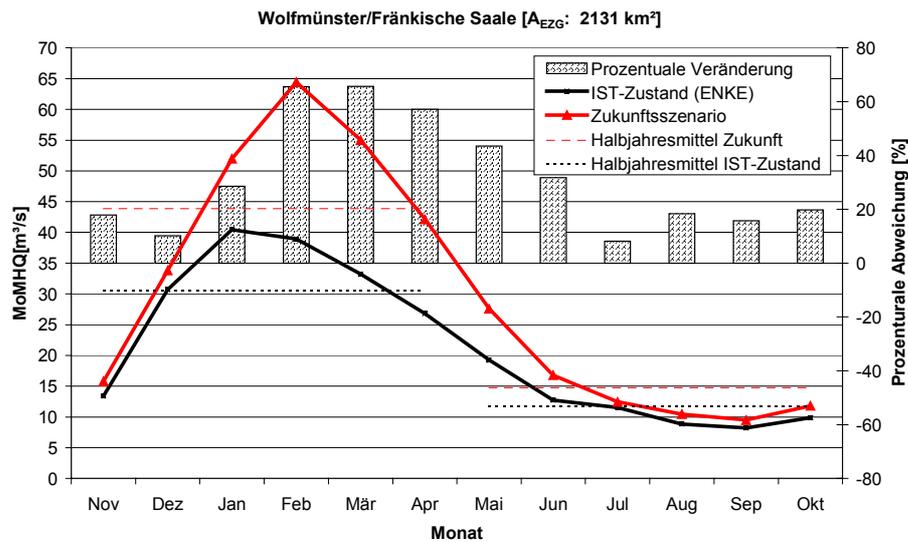
Bei der Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen wird künftig der Lastfall Klimaänderung berücksichtigt. Zur Entwicklung des Bemessungsabflusses werden den Grundlagen aus der hydrologischen Extremwertstatistik (bspw. HQ_{100}) deshalb Zuschläge ("Klimaänderungsfaktor") im Planungsverfahren zugegeben.

Um die Größe des Klimaänderungsfaktors abschätzen zu können, wurden die Ergebnisse der im Rahmen von KLIWA erstellten regionalen Klimaszenarien als Eingangsgrößen für Wasserhaushaltsmodelle genutzt und die ermittelten Abflüsse aus der Wasserhaushaltsmodellierung extremwertstatistisch ausgewertet. Die Ergebnisse des Zukunftsszenarios wurden mit denen des Ist-Zustandes verglichen. Daraus wurden für verschiedene Jährlichkeiten aus den bisherigen Ergebnissen des KLIWA-Projekts Klimaänderungsfaktoren abgeleitet. Für die Bemessungsabflüsse beim Lastfall Klimaänderung ($BHQ_{Tn,K}$) können die aus der hydrologischen Extremwertstatistik vorliegenden Abflüsse HQ_{Tn} direkt mit dem Klimaänderungsfaktor $f_{T,K}$ erhöht werden:

$$BHQ_{Tn,K} = f_{T,K} \cdot HQ_{Tn}$$

In Bayern ist zunächst ein pauschaler Zuschlagsfaktor von $f_{T,K} = 1,15$ für Hochwasserabflüsse der Jährlichkeiten bis zum HQ_{100} eingeführt worden [11], der jedoch in begründeten Fällen auch regional modifiziert werden kann. Der pauschale Klimaänderungsfaktor ist bei geringeren Jährlichkeiten als HQ_{100} in gleicher Größe (15% Zuschlag) anzuwenden. Für HQ_{200} ist der Klimaänderungsfaktor zu halbieren (7,5 %). Bei höheren Jährlichkeiten (HQ_{500} und darüber) – wie z.B. bei der Bemessung von Talsperren und Rückhaltebecken – kann hingegen auf einen Zuschlag verzichtet werden. Damit wird derzeit bereits dem Vorsorgegedanken Rechnung getragen.

Vergleich der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse (MoMHQ) für den Ist-Zustand und für das Zukunftsszenario und der relativen Abweichungen für die Pegel Wolfsmünster/Fränkische Saale sowie Kemptern/Oberer Main [8].



Die Ermittlung der Bemessungsfüllen (Ganglinien) ist wie bisher, aber unter Berücksichtigung des erhöhten Abflussscheitels durchzuführen. Wird der um den Klimafaktor erhöhte HQ₁₀₀-Wert als Bemessungsabfluss gewählt, kann bei linearen N-A-Modellen (bspw. Abflussbeiwertverfahren, die nicht von der Niederschlagsintensität abhängen kombiniert mit Einheitsganglinienverfahren) der Niederschlag um 15 % erhöht werden. Werden nichtlineare Modelle (bspw. Flussgebietsmodelle für größere Flussgebiete) verwendet oder werden bei der Festlegung des Bemessungshochwassers weitere Faktoren berücksichtigt, ist der Niederschlag für alle Niederschlagsdauerstufen um den gleichen Prozentsatz so anzupassen, dass bei der kritischen Niederschlagsdauer der Bemessungsscheitelabfluss modelliert wird. Eine Fortschreibung der Klimaänderungsfaktoren als von der Jährlichkeit

abhängige, regional festgelegte Größe ist bei entsprechendem Kenntnisgewinn zu gegebener Zeit vorgesehen.

Der Lastfall Klimaänderung wird bei Planungen von neuen Hochwasserschutzmaßnahmen in der Regel mitberücksichtigt. In begründeten Einzelfällen kann aber auch der Verzicht auf die Anwendung des Klimaänderungsfaktors angebracht sein. Beispielsweise sollte der Bemessungsabfluss an Grenzgewässern nicht einseitig verändert werden. Diese Vorgehensweise ist für staatliche Hochwasserschutzplanungen mit Ministerialschreiben eingeführt [11]. Eine vergleichbare Vorgehensweise wurde den Trägern nichtstaatlicher Vorhaben empfohlen. In Baden-Württemberg wurde eine ähnliche Vorgehensweise mit regional weiter differenzierten Zuschlagsfaktoren eingeführt [12].

Die Anwendung des Lastfalls Klimaänderung ist für Hochwasserschutzkonzepte, mit deren Umsetzung bereits begonnen wurde bzw. deren Umsetzung bereits abgeschlossen ist, derzeit nicht vorgesehen.

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele sollen verdeutlichen, wie unter dem Aspekt erhöhter Bemessungswerte, also der Berücksichtigung des Lastfalls Klimaänderung, bei der Umsetzung von Planungen vorgegangen werden kann:

- Planung eines Hochwasserdammes: Der Damm wird nach derzeitigen Vorgaben gebaut, es werden jedoch zusätzliche Maßnahmen vorgenommen, die nach bisherigen Planungsgesichtspunkten nicht erforderlich wären. Zum Beispiel wird zusätzlich ein Geländestreifen auf der Luftseite beansprucht und freigehalten, der eine zukünftig ggf. notwendige Dammerhöhung ohne zusätzliche Probleme ermöglicht.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Änderung und Anpassung nicht oder nur sehr aufwändig möglich ist (z.B. Brücken), sollten sofort auf zukünftig ggf. erhöhte Bemessungsgrößen beim Wasserstand ausgelegt werden.
- Neue Bauobjekte, bei denen eine zukünftige Anpassung weniger problematisch ist (z.B. Ufermauern), sollten hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale (z.B. der Statik) über den derzeitigen Bedarf hinaus so ausgelegt werden, dass eine ggf. später notwendig werdende Anpassung (z. B. Erhöhung durch feste oder mobile Elemente) kostengünstig möglich ist.

Ausgehend von den Erkenntnissen der globalen Klimaforschung über den Klimawandel haben die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Baden-Württemberg und Bayern in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst und unter Mitwirkung der Bundesanstalt für Gewässerkunde das breit angelegte Untersuchungsprogramm KLIWA begonnen. Die bisherigen Erkenntnisse haben nicht zuletzt auch unter Vorsorgegesichtspunkten bereits zu konkreten Konsequenzen geführt. Bei der Bemessung von Hochwasserschutzplanungen werden die erwarteten Folgen des Klimawandels bereits jetzt berücksichtigt. Die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels in weiteren wasserwirtschaftlichen Bereichen, zunächst hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse und der Grundwasserneubildung, wird derzeit angegangen. Den KLIWA-Partnern ist dabei bewusst, dass die bislang gewonnenen Erkenntnisse noch erhebliche Unsicherheiten beinhalten. Mit den Fortschritten der weltweiten Klimaforschung und der Verbesserung der Modellierungsinstrumente werden sich die bisherigen Erkenntnisse zwangsläufig auch fortentwickeln müssen. Mit der Aufstellung von Wasserhaushaltsmodellen für die einzelnen Flussgebiete können weitere Untersuchungen verhältnismäßig einfach weitergeführt werden. Die Wasserwirtschaft passt sich so im Sinne der Vorsorge an verändernde Verhältnisse an. Letztlich wird aber der Klimawandel eine nicht nur wasserwirtschaftliche sondern auch große gesellschaftliche Herausforderung.

Quellenangaben Literatur und Internet

- [1] IPCC (2001): Climate change 2001, Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- [2] Arbeitskreis KLIWA (2006): Kooperationsvorhaben KLIWA. <http://www.kliwa.de>
- [3] Arbeitskreis KLIWA (2005): KLIWA-Kurzbericht Regionale Klimaszenarien. KLIWA. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/media/kurzregioklisze.pdf>
- [4] Arbeitskreis KLIWA (2003): Projekt A 1.1.3: Langzeitverhalten von Starkniederschlägen in Bayern und Baden-Württemberg. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content4.html>
- [5] Arbeitskreis KLIWA (2005): Projekt A 1.1.2: Langzeitverhalten von Gebietsniederschlägen in Baden-Württemberg und Bayern. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content12.html>
- [6] Gerlinger, K. (2005): Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag6.html>
- [7] Barth, E., T. Molnar, H. Øverland (2005): Simulation des Wasserhaushalts für das Obere Maingebiet. <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag7.html>
- [8] Arbeitskreis KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Heft 8 (in Vorbereitung), 97 S.

- [9] Katzenberger, B. (2005): Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA – Handlungsempfehlungen.
<http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag12.html>
- [10] Wald, J. (2005): Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Planungen – Praxisbeispiele.
<http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/content11vortrag13.html>
- [11] StMUGV (2004): Berücksichtigung von möglichen Klimaänderungen – Interner Erlass Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, unveröffentlicht.
- [12] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Leitfaden „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“, Karlsruhe.

Sonderthema

Das Jahr 2005 im Intensivmessgebiet Fohlenhof, Nördliches Lechfeld

In Bayern betreibt der Gewässerkundliche Dienst mehrere hydrologische Intensivmessgebiete (s. Kap. „Grund- und Bodenwasser“). Eines davon liegt im Nördlichen Lechfeld ca. 1,5 km westlich der Lechstaustufe 22. Die beobachtete Messfläche, ein ehemaliger Acker, liegt auf extensiviertem Grünland. Charakteristisch für das Gebiet sind die ergiebigen und intensiv genutzten, aber auch gegenüber Schadstoffeintrag wenig geschützten Grundwasservorkommen des Talschotters. Das Messgebiet liegt im Wassergewinnungsgebiet der Städte Augsburg und Königsbrunn, die durch Extensivierung und Beratung der Landbesitzer die Nitratbelastung des Grundwassers erfolgreich reduzieren konnten.

Das Hydrologische Jahr 2005 (1.11.2004-31.10.2005) war für das Lechfeld ein durchschnittliches Wasserhaushaltsjahr. Die Niederschläge lagen mit 814 mm

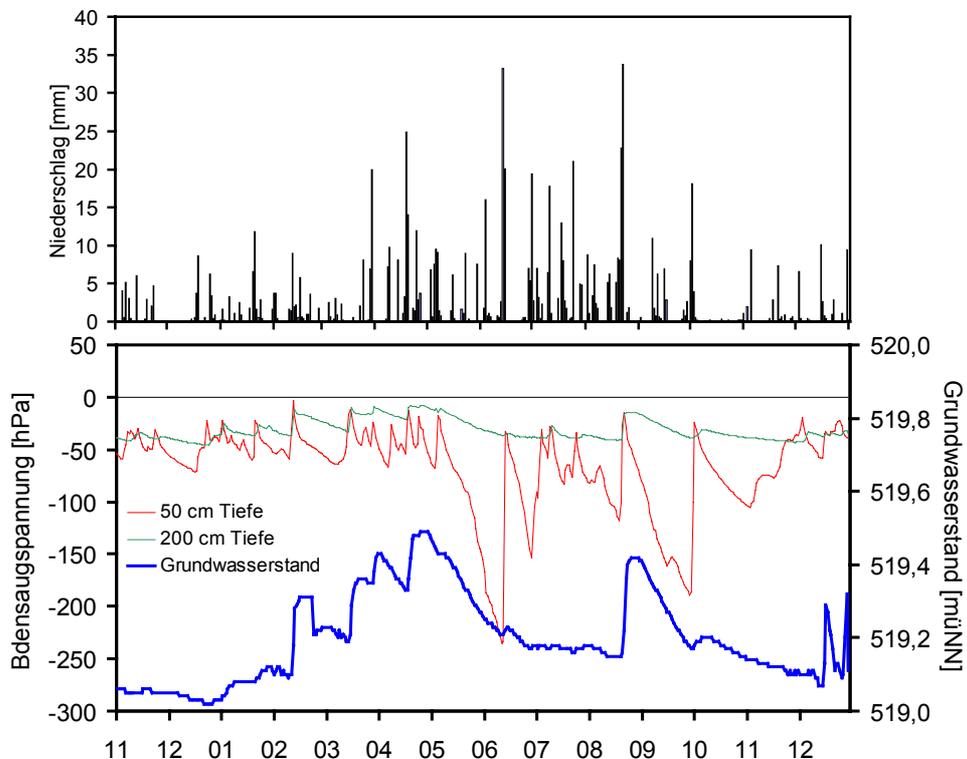
knapp über dem mehrjährigen Mittel (s. Tab.). Von der potentiellen Verdunstungshöhe (nach Haude) von 666 mm verdunsteten aktuell 555 mm bzw. knapp 70 % der Niederschlagshöhe.

Wasserhaushalt im Messgebiet Lechfeld [mm]

	2005	Mittelwert 97 – 2005
Niederschlag	814	803
Gras-Referenz-Verdunstung	584	554
pot. Verdunstung (Haude)	666	681
aktuelle Verdunstung (Renger & Wessolek)	555	516
Sickerwasserrate (TUB-BGR)	271	297
Sickerwasserrate (Chlorid)	224	181

Die im Modell berechnete Sickerwasserrate von 271 mm lag 17 % über dem mittels Chloridbilanz im Sickerraum tatsächlich beobachteten Wert. Wegen des speicherschwachen Bodens war die Wasserhaushaltsbilanz weitgehend ausgeglichen (Restglied -12 mm). Entsprechend gering war die Änderung der Grundwasservorräte im Berichtsjahr (s. Abb. 1).

Abb. 1: Beobachtung des Wasserhaushaltes im Hydrologischen Jahr 2005, Messgebiet Nördliches Lechfeld



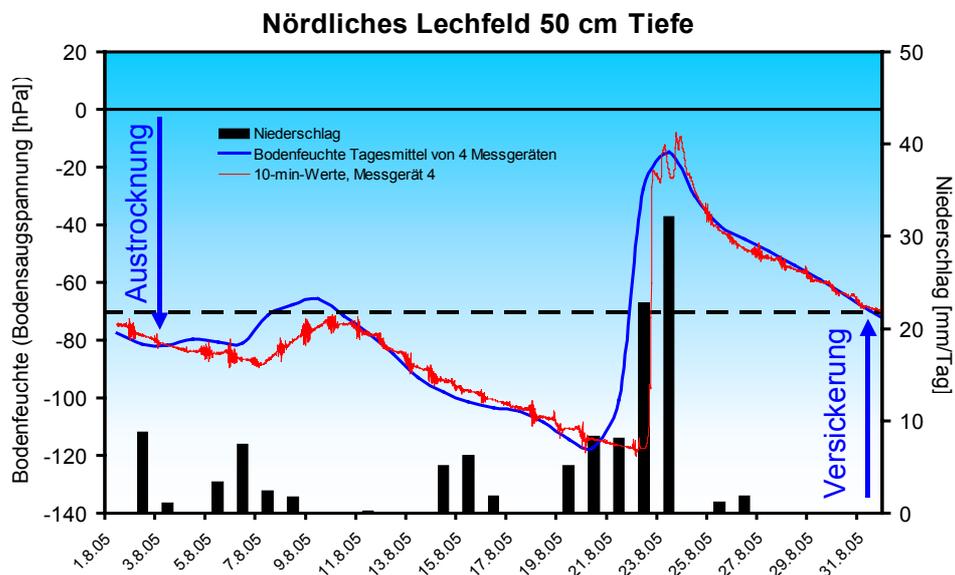
Bei hoher Durchlässigkeit der Kiesböden und niedrigen Grundwasserflurabständen (2 bis 2,5 m) werden Niederschlagssignale sehr prägnant über die ungesättigte Zone in das Grundwasser übertragen.

Gleichzeitig ist ein Oberflächenabfluss an dem ebenen Standort nicht möglich. In niederschlagsarmen Zeiträumen und bei Ausbildung einer Schneedecke (z.B. im Winter 04/05) trocknet der feinkornarme Kies-

boden zügig aus, erkennbar an hohen (negativen) Werten der gemessenen Bodensaugspannung in der oberen Messebene (50 cm). Unter dem Hauptwurzelaum (200 cm) zeigen die geringen Saugspannungen eine dauerhafte, von Sickerwasserschüben verstärkte Durchfeuchtung an. Ein besonders ergiebiger, durch Schneeschmelze ausgelöster Sickerwasserschub wurde am 11. Februar registriert. Nachfolgend ergab sich eine typische und kräftige Frühjahrsgrundwasserneubildung. Wegen der zum Teil ergiebigen Sommerniederschläge im Berichtsjahr blieb die saisonale Austrocknung des Bodens, wie sie

an diesem Standort häufig beobachtet wird, eher gering. Während das extreme Regenereignis von Mitte Juni (56 mm) zunächst nur die Bodenwasservorräte auffüllte, wurde Ende August durch den Hochwasser auslösenden Starkregen (77 mm an 5 Tagen) überwiegend Sickerwasser gebildet und spontan an das Grundwasser weitergegeben. Im Herbst führte das Niederschlagsdefizit trotz nachlassenden Wasserverbrauchs durch die Vegetation zum Austrocknen des Bodens und Rückgang des Grundwasserstandes.

Niederschlag und Bodenfeuchte im August 2005 mit der Hochwasserperiode ab dem 19.8.

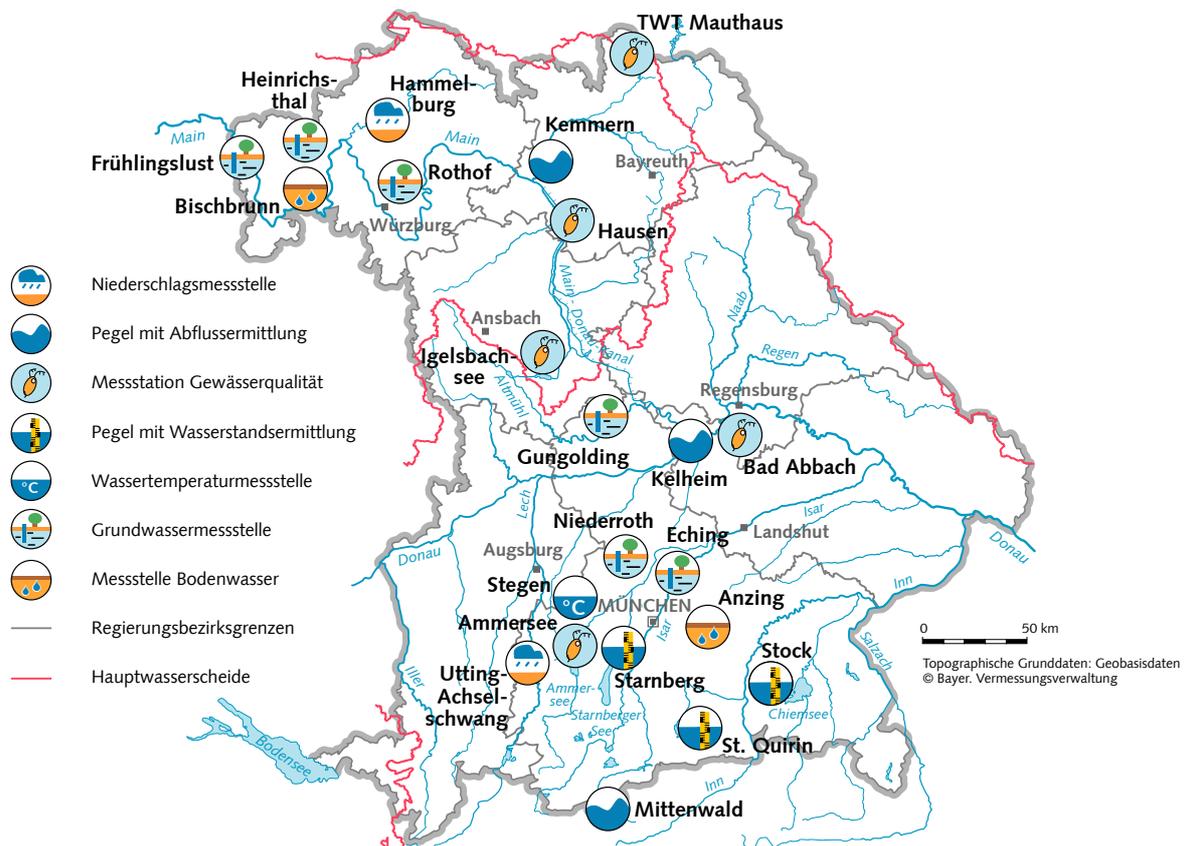


Das Auguthochwasser 2005 verdient aus hydrologischer Sicht eine besondere Betrachtung. Während des auslösenden Niederschlagsereignisses lag das Lechfeld mit dem Messstandort im nördlichen Randbereich der eigentlichen Hochwassergebiete. Dennoch gibt die hier beobachtete Situation brauchbare Hinweise zur Interpretation der Wassergehalte in den Böden. Bei einer zwischen dem 19. und 23. August gemessenen Gesamtsumme von 76,5 mm erreichte die Intensität des Niederschlags am 23. August ihr Maximum. Somit war die Bodenfeuchte bereits im Vorfeld sehr hoch. Innerhalb weniger Stunden stieg die Bodensaugspannung bis in den Bereich der Wassersättigung. An einem von vier Messgeräten wurde kurzfristig ein für den Talkies seltener Überstau nachgewiesen. In Hanglagen (und bei noch höheren Niederschlagsintensitäten) dürften selbst solche grobporigen Substrate zum Hochwasser bildenden Oberflächenabfluss beigetragen haben. Bei mehrtägig

hohen Bodenwassergehalten reagierte der Grundwasserstand schnell und massiv. Nach einem Beginn am 22.8. morgens erfolgte der erste sehr kräftige Anstieg am 23.8. gegen 10:00 als Folge der rasanten Zunahme der Sickerwasserflüsse. Das Maximum des Grundwasserstandes von 519,42 m ü.NN wurde fünf Tage später gegen Mitternacht erreicht. Damit betrug der Grundwasseranstieg zwischen 19. und 28.8. absolut 28 cm (s. Abb. 1). Bei einem effektiven Porenvolumen von ca. 20 % für die Flusstalschotter des Lechfeldes können mindestens 56 mm bzw. 73 % des Ereignisniederschlags der Grundwasserneubildung zugeordnet werden. In Nähe Hochwasser führender Flüsse kann der Rückstau solcher Grundwassermengen zu Problemen führen. Bei einer deutlich verminderten Verdunstung von ca. 6 mm sind im Ereigniszeitraum nur max. 14 mm Niederschlagswasser bzw. 19 % im Bodenspeicher verblieben.

Standorte ausgewählter Messstellen

- Nach Anklicken eines Messstellensymbols wird der Detailbericht gezeigt -



Messstellenverzeichnis

Messgröße	Messstation	Regierungsbezirk	Landkreis	Lage *)
Niederschlag	Hammelburg	Unterfranken	Bad Kissingen	220 m ü. NN
Niederschlag	Utting-Achsel-schwang	Oberbayern	Landsberg a. Lech	591 m ü. NN
Abfluss	Kelheim/Donau	Niederbayern	Kelheim	2.415 km
Abfluss	Kemmern/Main	Oberfranken	Bamberg	400 km
Abfluss	Mittenwald/Isar	Oberbayern	Garmisch-Partenkirchen	257 km
Gewässerqualität	Hausen/Regnitz	Oberfranken	Forchheim	30 km
Gewässerqualität	TWT Mauthaus	Oberfranken	Kronach	470 m ü. NN
Gewässerqualität	Igelsbachsee	Mittelfranken	Weißenburg-Gunzenhsn	420 m ü. NN
Gewässerqualität	Bad Abbach/Donau	Niederbayern	Kelheim	2.397 km
Gewässerqualität	Ammersee	Oberbayern	Landsberg a. Lech	532 m ü. NN
Wasserstand	Starnberg/Starnberger See	Oberbayern	Starnberg	584 m ü. NN
Wasserstand	Stock/Chiemsee	Oberbayern	Rosenheim	517 m ü. NN
Wasserstand	St. Quirin/Tegernsee	Oberbayern	Miesbach	725 m ü. NN
Wassertemperatur	Stegen/Ammersee	Oberbayern	Landsberg a. Lech	532 m ü. NN
Grundwasserstand	Heinrichsthal/BO A	Unterfranken	Main-Spessart	338 m ü. NN
Grundwasserstand	Frühlingslust	Unterfranken	Aschaffenburg	118 m ü. NN
Grundwasserstand	Rothof	Unterfranken	Würzburg	186 m ü. NN
Grundwasserstand	Gungolding	Oberbayern	Eichstätt	375 m ü. NN
Grundwasserstand	Niederroth T 7f	Oberbayern	Dachau	475 m ü. NN
Grundwasserstand	Eching 275D	Oberbayern	Freising	464 m ü. NN
Bodenwasser	Bischbrunn/Hochspessart	Unterfranken	Main-Spessart	430 m ü. NN
Bodenwasser	Anzing/Münchener Schotterebene	Oberbayern	Ebersberg	523 m ü. NN

*) entweder Stationshöhe in m ü. NN oder Entfernung von der Mündung in km

Verzeichnis der Fachbegriffe und Abkürzungen

Ammonium-Stickstoff	Die Ammoniumkonzentration wird durch mikrobielle Stoffumsetzungen (Nitrifikation) im Fluss bzw. in den Kläranlagen bestimmt. Die höchsten Ammoniumwerte werden deshalb im Winter registriert, wenn die Aktivität der Mikroorganismen am geringsten ist.	Nitrat-Stickstoff	Die Nitratkonzentration hängt ebenfalls stark von bakteriellen Aktivitäten (Nitrifikation bzw. Denitrifikation) im Fluss bzw. in den Kläranlagen ab. Regenereignisse führen in der Regel durch Verdünnung zu einem Absinken der Nitratkonzentration.
Bodensaugspannung	Die Bodensaugspannung in Hectopascal (hPa) ist ein Maß für die Bodenfeuchte. Sie beschreibt, wie stark das Bodenwasser gebunden ist. Je kleiner die Werte in der Grafik sind, desto stärker ist die Wasserbindung bzw. die Austrocknung. Positive Werte zeigen Überstau des Sensor-niveaus an.	NW bzw. NQ	Niedrigster Wasserstand bzw. Abfluss in einem vorgegebenen Zeitraum
Chlorophyll a	Der grüne Blattfarbstoff (Chlorophyll a) ist Voraussetzung für die Photosynthese aller Pflanzen. Die Chlorophyllkonzentration im Gewässer ist ein Maß für die Biomasse des Phytoplanktons (Algen). Die Entwicklung des Phytoplanktons wird durch niedrigen Abfluss und länger anhaltende Schönwetterperioden stark begünstigt.	pH-Wert	Neben dem Sauerstoffhaushalt werden auch die pH-Wertschwankungen durch das Algenwachstum geprägt. Die pH-Werte liegen meist leicht über 8,0.
Feldkapazität	Die im Boden zurückgehaltene Wassermenge, nachdem das durch Schwerkraft bewegbare Wasser abgeflossen ist.	Phosphor	Phosphor ist ein wichtiger Pflanzennährstoff. Die Konzentration des gelösten Phosphors schwankt im Jahresverlauf sehr stark. Algenwachstum führt durch Nährstoffaufnahme i. d. R. zu einer Erniedrigung, und Regenereignisse führen durch Abschwemmungen und Remobilisierung zu einer Erhöhung der gelösten Phosphate.
h_N	Niederschlagshöhe in mm (1 mm entspricht 1 l/m ²)	Q	Abfluss in m ³ /s
h_S	Höhe der Gesamtschneedecke [cm]	Sauerstoff O ₂	Die täglichen Sauerstoffschwankungen werden in erster Linie durch die Photosynthese des Phytoplanktons (Algen) bestimmt. Nach Algenblüten kann es durch den Abbau des organischen Materials zu starker Sauerstoffzehrung mit sehr niedrigen Sauerstoffgehalten kommen.
HW bzw. HQ	Höchster Wasserstand bzw. Abfluss in einem vorgegebenen Zeitraum	T_w	Wassertemperatur in °C
Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$	Die spezifische elektrische Leitfähigkeit hängt sehr stark vom Abflussgeschehen ab.	$T_w\text{-TagMit}$	Tagesmittelwert der Wassertemperatur
Meldestufe	Im Hochwassernachrichtendienst in Bayern wird das Ausmaß der Überflutung durch vier Meldestufen beschrieben	Toxische Wirkungen	Bei Störungen auf Kläranlagen oder bei Schiffsunfällen können die Wasserorganismen im Gewässer geschädigt werden. Zur Detektion von toxischen Effekten werden kontinuierliche Biotests mit Muscheln, Algen, Daphnien und Bakterien als biologische Frühwarnsysteme eingesetzt.
MHW bzw. MHQ	Mittelwert der Jahreshöchstwerte des Wasserstandes und des Abflusses in einem vorgegebenen Zeitraum	Trübung	Vom Abfluss geprägt ist die Gewässertrübung. Größere Regenereignisse bzw. Hochwasser lassen dabei die Trübung rasch ansteigen. Solche Ereignisse sind unregelmäßig über das ganze Jahr verteilt.
MNW bzw. MNQ	Mittelwert der Jahresniedrigstwerte des Wasserstandes und des Abflusses in einem vorgegebenen Zeitraum	W	Wasserstand in cm
MW bzw. MQ	Mittlerer Wasserstand bzw. Abfluss in einem vorgegebenen Zeitraum		