



Leitlinien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement

- Materialien -

Stand 05. Februar 2007



**Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft
Wasser**

Inhaltsverzeichnis

1.	Niedrigwasser	3
1.1	Niedrigwasser und Einflussgrößen.....	4
1.2	Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasser.....	6
1.2.1	Direkte Einflüsse	7
1.2.2	Indirekte Einflüsse.....	7
1.3	Veränderungen aufgrund des klimatischen Wandels	10
1.3.1	Bisherige Veränderungen.....	11
1.3.2	Klimaszenarien für die Zukunft.....	14
1.4	Grundlagen zur Beurteilung und zur Bewirtschaftung von Niedrigwasser	15
	Bewirtschaftung.....	19
2.	Auswirkungen von Niedrigwasser.....	20
2.1	Ökologische Auswirkungen von Niedrigwasser	20
2.1.1	Änderungen chemisch-physikalischer Rahmenbedingungen.....	21
2.1.2	Ökologische Auswirkungen in den Gewässerregionen.....	23
2.2	Nutzungsbezogene Auswirkungen.....	26
2.2.1	Wasserversorgung	26
2.2.2	Energiewirtschaft.....	27
2.2.3	Verkehr, Schifffahrt	28
2.2.4	Land- und Forstwirtschaft.....	28
2.2.5	Fischerei	29
2.2.6	Abwasserbeseitigung	29
2.2.7	Tourismus, Freizeit, Erholung.....	29
3.	Strategien zur Verminderung der Auswirkungen	30
3.1	Niedrigwasservorsorge	31
3.1.1	Flächenvorsorge	31
3.1.2	Bauvorsorge.....	32
3.1.3	Verhaltensvorsorge	33
3.1.4	Risikovorsorge	38
3.2	Niedrigwassermanagement.....	38
3.2.1	Administrative Maßnahmen.....	39
3.2.2	Nutzungsbezogene Maßnahmen	40
4.	Leitsätze.....	42
5.	Handlungsempfehlungen.....	44
5.1	Grundlagenermittlung	44
5.2	Niedrigwasservorsorge und Niedrigwassermanagement.....	44
5.2.1	Handlungsempfehlungen an die Behörden.....	44
5.2.2	Handlungsempfehlungen an die Wassernutzer	46
6.	Literatur.....	47

1. Niedrigwasser

Niedrigwasser wird von der Öffentlichkeit bisher kaum wahrgenommen. Selbst ungewöhnliche Niedrigwasserereignisse führen nur selten zu Einschränkungen für einzelne Bürgerinnen und Bürger. Die volkswirtschaftlichen Schäden können jedoch groß sein, weil z. B. Schifffahrt, Landwirtschaft und Energieerzeugung erheblich betroffen sein können. Auch in der Fachwelt stand die Beschäftigung mit Niedrigwasser in einem nur selten von Wassermangel betroffenen mitteleuropäischen Land wie Deutschland bisher nicht im Vordergrund. Sie trat vielmehr hinter den wesentlich spektakuläreren Hochwasserereignissen zurück.

In Deutschland hat das Niedrigwasser- und Hitzejahr 2003 jedoch ein Umdenken herbeigeführt. Es hat lokal zu Problemen bei verschiedenen Wassernutzern sowie zu Wasserqualitätsproblemen und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften im Gewässer geführt. Darüber hinaus hat es gezeigt, dass die Vorsorge gegenüber Niedrigwasserereignissen bisher nicht als umfassend betrachtet werden kann. Unter dem Aspekt des fortschreitenden Klimawandels ist künftig mit größeren und häufigeren Niedrigwasser-, Trocken- und Hitzeperioden zu rechnen. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) kam daher zu der Überzeugung, dass analog zu den bereits vorliegenden Leitlinien und Handlungsanweisungen für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz (LAWA 1995 a, LAWA 2000) eine Leitlinie für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement notwendig ist, um konkrete Hilfen für die spezifischen Fragestellungen in Deutschland zu liefern.

Die vorliegenden Materialien ergänzen diese Leitlinien. Sie geben einen detaillierten Einblick in die hydrologischen Grundlagen, gehen ausführlich auf die Einflüsse menschlichen Handelns und die des Klimawandels ein und beschreiben sowohl die ökologischen als auch die nutzungsbezogenen Auswirkungen von Niedrigwasser. Mögliche Vorsorgemaßnahmen sowie Maßnahmen des Niedrigwassermanagements werden vorgestellt.

Ein Verzeichnis der aktuellen Literatur bildet den Abschluss der Materialien.



Abb. 1: Niedrigwasser an der Murg 2003

1.1 Niedrigwasser und Einflussgrößen

Niedrigwasser ist ein natürliches Ereignis. Ursache von Niedrigwasser ist meist eine länger andauernde Trockenperiode, in der die Wasservorräte in Grundwasser und Seen durch Verdunstung und Abfluss reduziert werden. Die Ursache „Trockenperiode“ kann zeitlich weit vor der Wirkung „Niedrigwasserperiode“ liegen, da der natürliche Niedrigwasserdurchfluss aus dem Grundwasser gespeist wird und hierbei erhebliche Verzögerungszeiten auftreten können.

Begriffe im Zusammenhang mit Niedrigwasser:

Niedrigwasser ist nach DIN 4049 (1996) „ein Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder unterschritten hat.“ Niedrigwasser entsteht durch die Überlagerung von meteorologischen und hydrologischen Ereignissen und Bedingungen. Natürliche Ursache von Niedrigwasser ist meist eine länger andauernde Trockenperiode.

Trockenperiode (dry period) ist ein Zeitraum, in dem die Wasservorräte zeitweilig durch Ausschöpfung – Verdunstung und Abfluss - reduziert werden und Wassermangel hinsichtlich des Wasserbedarfs der Gesellschaft und/oder der Natur auftritt.

Trockenheit: Meteorologische Definition eines Niederschlagsdefizits.

Aridität (aridity) bezeichnet ein ständiges Niederschlagsdefizit.

Dürre (drought): Ökosystemar-landwirtschaftliche Definitionen einer Trockenperiode. Der Begriff impliziert Auswirkungen insbesondere auf die Vegetation.

Jede dieser Definitionen beschreibt lediglich einen Teil des komplexen Naturereignisses. Die verschiedenen Definitionen sind abhängig vom Standpunkt des Betrachters.

Wasserbedarf ist diejenige Wassermenge, welche für die Natur sowie für alle menschlichen Nutzungen wie Wasserversorgung und Landwirtschaft benötigt wird.

Wasserdargebot ist die Menge an Süßwasser, die in einem bestimmten Gebiet für eine bestimmte Zeitspanne in Form von Oberflächen- und Grundwasser als Komponente des Wasserkreislaufes der Erde auftritt. Als **potenzielles Wasserdargebot** wird die Differenz zwischen den vieljährigen Mittelwerten von Niederschlag und Verdunstung bezeichnet.

Das **nutzbare Wasserdargebot** verbleibt nach Abzug der schnell abfließenden Abflusskomponenten unter Berücksichtigung der nutzungs- und bewirtschaftungsbedingt bedingten Wasserverluste und Zuwächse im Einzugsgebiet.

Wasserbilanz bezeichnet die Differenz zwischen Wasserbedarf und nutzbarem Wasserdargebot.

Wasserknappheit/Wassermangel (water scarcity). Wassermangel entsteht, wenn das vorhandene Wasserdargebot hinsichtlich Menge und Qualität nicht ausreicht, um den Bedarf aller Nutzer-Sektoren einschließlich der Umwelt zu bedienen. (Dabei können neben den Ansprüchen auch die Einflüsse der unterschiedlichen Wassernutzer auf die Wasserversorgung und die Wasserqualität eine Rolle spielen.)

Wassermangel ist ein relativer Begriff. Er kann auch einzelne Versorgungssektoren betreffen.

Allgemeingültige Definitionen existieren für die meisten genannten Begriffe bislang nicht.

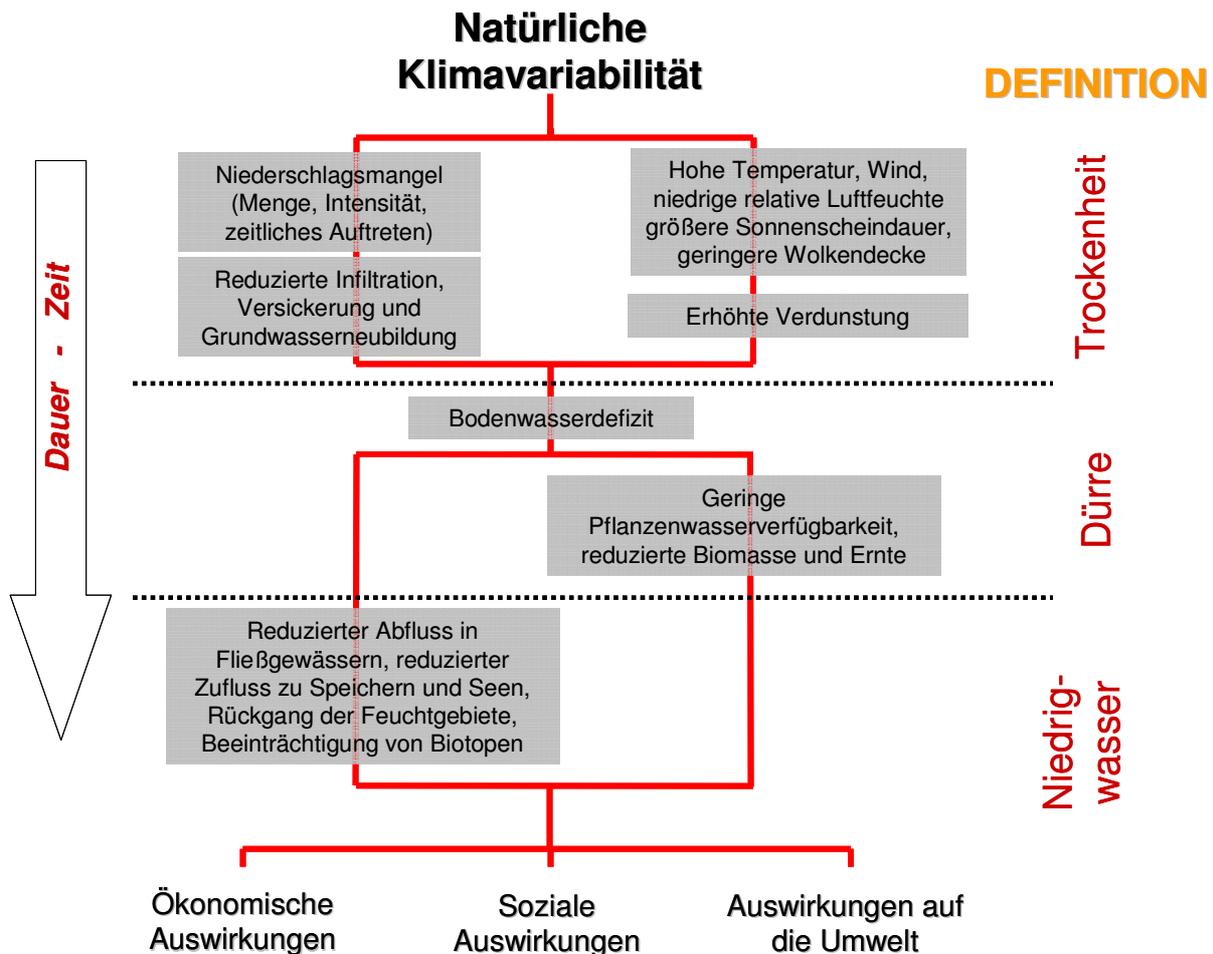


Abb. 2: Begriffsdefinitionen nach der europäischen Water Scarcity Group

Natürliche Niedrigwasser werden hervorgerufen durch:

- Niederschlagsmangel
- Kombination von Niederschlagsmangel und hoher Verdunstung
- Rückhalt des Niederschlags in der Schneedecke, in Gletschern und im gefrorenen Untergrund.

Perioden mit geringem Niederschlag führen zu geringem Abfluss und geringer Boden- und Grundwasserspeicherung. Dabei ist zu beachten, dass die meteorologische Ursache „Trockenperiode“ zeitlich weit vor der hydrologischen Wirkung „Niedrigwasserperiode“ liegen kann, da der natürliche Niedrigwasserdurchfluss aus dem Grundwasser gespeist wird und hierbei erhebliche Verzögerungszeiten auftreten können.

Zeitpunkt und Ausmaß des Niedrigwassers hängen vom Abflussregime und den speziellen Eigenschaften des hydrologischen Einzugsgebietes ab. Das Abflussregime wird durch die jährlichen Klimazyklen maßgebend beeinflusst. In Mitteleuropa sind im Wesentlichen zwei Regimetypen zu unterscheiden:

- Im überwiegend ozeanisch geprägten Klima (pluviales Abflussregime) treten Niedrigwasserereignisse vor allem im Sommer oder Herbst auf. Bei lang anhaltender Trockenheit ist der Abfluss als Leerlaufen des Grundwasserspeichers anzusehen, dessen Füllung vor allem von den Niederschlägen des vergangenen Winterhalbjahres abhängt.
- Unter alpinen Verhältnissen (nivales Abflussregime) bleibt der Winterniederschlag in den Hochlagen als Schnee liegen und schmilzt im Laufe des Sommers ab. Niedrig-

wasser tritt deshalb vor allem am Ende des Winters bis zum Beginn des Sommers auf.

Neben diesen beiden „reinen“ Abflusstypen gibt es Mischformen mit unterschiedlicher Ausprägung.

Der natürliche Niedrigwasserabfluss stellt das Ergebnis aller im Einzugsgebiet ablaufenden hydrologischen Prozesse wie Niederschlag, Verdunstung, Speicherung in der Schneedecke, Direktabfluss, Bodenfeuchtespeicherung, Grundwasserneubildung, Grundwasserspeicherung und Grundwasserabfluss dar. Seine Berechnung setzt folglich die Abbildung des gesamten Prozessgeschehens voraus. Eine Vernachlässigung von Teilen des Gesamtprozesses wie bei der Hochwasserberechnung ist nicht möglich. Von besonderer Bedeutung ist das Rückhaltevermögen des Einzugsgebietes im Grundwasser und in Seen.

Fazit

Der Niedrigwasserdurchfluss der Fließgewässer richtet sich nach der Länge und Häufigkeit der Trockenperioden und nach den Speichermöglichkeiten im Einzugsgebiet. Er ist ein wichtiger Hinweis auf die unterirdischen Wasservorräte.

1.2 Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasser

Veränderungen im Niedrigwasserabfluss, die durch den Menschen herbeigeführt wurden, lassen sich nur schwer gegenüber den natürlichen Schwankungen der hydrologischen Kenngrößen abgrenzen. Aufschluss hierüber kann aus den vieljährigen Abflussmessreihen über eine Zeitreihenanalyse gewonnen werden. Ob ein eindeutiges Ergebnis erzielt werden kann, hängt davon ab, wie weit die natürlichen Schwankungen des Abflussgeschehens gegenüber den Veränderungen dominieren.

Werden Veränderungen für die Zukunft erwartet, können deren Wirkungen mit Hilfe mathematischer Simulationsmodelle ermittelt werden.

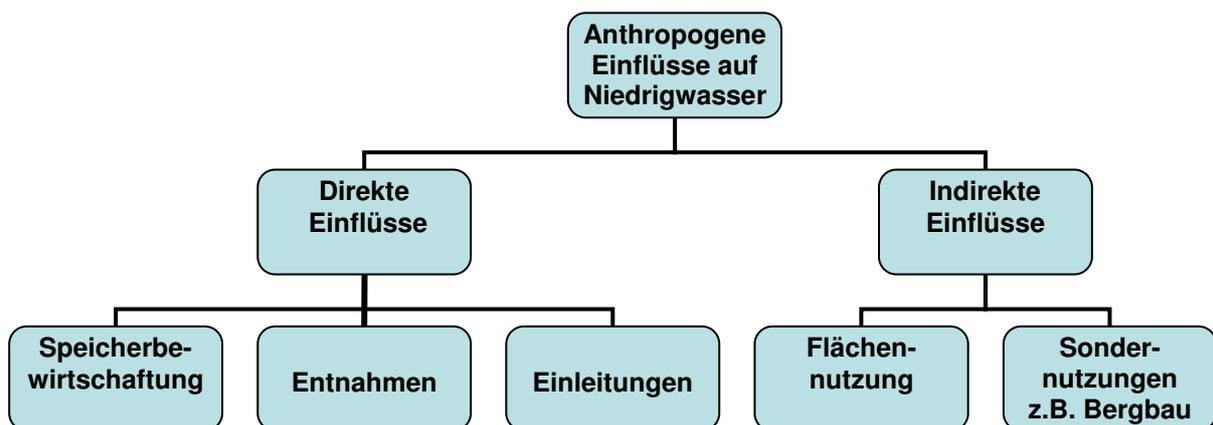


Abb. 3: Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasser

Anthropogene Einflüsse lassen sich in direkte und indirekte Einflüsse untergliedern.

1.2.1 Direkte Einflüsse

Direkte Einflüsse sind im Wesentlichen Entnahmen oder Einleitungen, die bei bekannter Größe den unbeeinflussten Abflüssen überlagert bzw. von den beeinflussten Abflüssen abgetrennt werden können sowie die Bewirtschaftung von Speichern und Seen.

Speicherbewirtschaftung

Talsperren, Rückhaltebecken, Teiche und bewirtschaftete Seen können das Abflussregime der Gewässerstrecke unterhalb erheblich beeinflussen:

- Ausgleich der Wasserführung durch Speicherung in abflussreichen Zeiten und Aufhöhung in Niedrigwasserzeiten
- Ableitung des gespeicherten Wassers z. B. zur Wasserkrafterzeugung oder Wasserversorgung, was zur Verminderung der Niedrigwasserabflüsse führen kann.

Wird die Niedrigwasserführung eines Gewässers mit kühlem Talsperrenwasser aufgehört, so können auch das Temperaturregime, der Stoffhaushalt und die Gewässerbiozönose erheblich beeinflusst werden.

Die Wasserfläche der Stau- und Speicheranlage weist im Vergleich zum frei fließenden Gewässer eine höhere Verdunstung auf.

Der Aufstau eines Gewässers durch Wehre führt in der Regel zu keinen nennenswerten Einflüssen auf die Niedrigwasserführung, wenn sie nicht mit einer Ableitung des Wassers verbunden ist.

Entnahmen

Aus Oberflächen- oder Grundwasser entnommenes Wasser wird nach Benutzung häufig fast an derselben Stelle wieder eingeleitet. In diesen Fällen wirkt die Entnahme sich nicht nennenswert auf die Niedrigwasserführung aus. Wird am gleichen Gewässer an unterschiedlichen Stellen entnommen und wieder eingeleitet, fehlt in der Zwischenstrecke das entnommene Wasser. Dies kann ein besonderes Problem bei Ausleitungsstrecken darstellen, wenn die aus ökologischen Gründen erforderliche Mindestwasserführung nicht gewährleistet ist.

Erfolgt eine Entnahme mit Überleitung in ein anderes Einzugsgebiet (z. B. überregionale Wasserversorgung), so führt dies zu einer Reduzierung der Abflussmengen für alle Abschnitte unterhalb im betrachteten Gewässer.

Bei der Entnahme von Produktions- und Kühlwasser kann das entnommene Wasser auch in großem Umfang für die Produktion verbraucht oder als Kühlwasser verdunstet werden. Darüber hinaus muss von erhöhten Temperaturen bei der Einleitung ausgegangen werden. Insbesondere für Niedrigwasserzeiten müssen daher Vorkehrungen getroffen werden.

Einleitungen

Einleitungen, deren Wassermenge in einem anderen Einzugsgebiet (z. B. Abwasserverbundsystem) entnommen wurde, oder Sumpfungswassereinleitungen erhöhen die natürliche Niedrigwasserführung.

Auch die Einleitung von Dränagewasser kann zu einer ständigen Erhöhung des Niedrigwasserabflusses führen.

1.2.2 Indirekte Einflüsse

Bei indirekten Einflüssen ist im Regelfall eine dreistufige Wirkungskette zu betrachten:

- Eingriff (z.B. Veränderung im Einzugsgebiet)

- Folge für den Wasserkreislauf (z. B. Änderung des Bodenwasserhaushalts)
- Folge für den Abfluss im Gewässer (die Abflussänderung kann alle Abflussbereiche betreffen).

Für alle drei Stufen ist eine Quantifizierung in der Regel schwierig. Selbst wenn der Eingriff noch konkret erfasst und zahlenmäßig belegt werden kann, bleiben die Folgen für den Wasserkreislauf und im Weiteren für Wasserstand und Abfluss im Gewässer eher wenig konkret.

Exkurs:**Gewässerausbau, Gewässerrenaturierung**

Wurde durch technischen Gewässerausbau in der Vergangenheit häufig eine Tieferlegung der Wasserstände herbeigeführt, werden diese durch die Renaturierung möglichst wieder auf ihr natürliches Niveau angehoben. Dies hat Einfluss auf die Grundwasserstände im gewässernahen Bereich und damit auch auf die Verdunstung, aber keinen nennenswerten Einfluss auf die Niedrigwasserführung. Die Begradigung von Gewässern und alle weiteren Maßnahmen, die zu einer Beschleunigung des Abflusses und zu einer Reduzierung der Speicherfunktion der Auen führen, reduzieren die Grundwasserneubildung und wirken sich damit auf die Niedrigwasserhältnisse ähnlich negativ aus wie auf die Hochwasserhältnisse.



Abb. 4: Retention in der Aue
(Foto M. Raschke)

Forstwirtschaft

Jede Baumart beeinflusst Verdunstung und Grundwasserneubildung unterschiedlich. Das gilt auch für die Vegetationsdecke des Waldbodens. Die Zusammensetzung der Baumarten und die Waldbodenbedeckung lässt über die Kausalkette Verdunstung – Tiefenversickerung – Grundwasserneubildung eine Beeinflussung der Niedrigwasserabflüsse im Gewässer erwarten, wenn diese auch quantitativ nicht erfassbar ist. Allgemein gilt, dass die Grundwasserneubildung unter Laubwäldern größer ist als unter Nadelwäldern. Dieser Zusammenhang ist sowohl bei der Umstellung von Forst-Monokulturen auf standorttypische Laub- oder Mischwälder als auch für die Folgevegetation bei vom Waldsterben betroffenen größeren Flächen zu beachten.

Landwirtschaft

Eine Intensivierung der Landwirtschaft mit dichteren und höheren Pflanzenbeständen sowie Kulturen mit hohem Wasserbedarf erhöhen die Pflanzenverdunstung (Interzeption) und können dadurch die Versickerung und Grundwasserneubildung verringern. Behindert wird die Versickerung auch durch die von schweren landwirtschaftlichen Maschinen verursachte Bodenverdichtung (Staunässe).

Bei der Stilllegung von Ackerflächen kann eine zunehmende Bodenbedeckung zwar zu einer erhöhten Pflanzenverdunstung führen. Wegen der Verbesserung des Bodengefüges kann aber der durchfallende Niederschlag besser infiltrieren und begünstigt die Grundwasserneubildung.

Eine Bilanzierung ist nur standortspezifisch bei gleichzeitiger Betrachtung der Boden- und Klimaverhältnisse möglich.

Großflächige Dränungen auf landwirtschaftliche Flächen führen zur Absenkung des Grundwasserspiegels und verringern das für die Verdunstung zur Verfügung stehende Bodenwasserangebot. Da das Sickerwasser über das Drainagesystem relativ schnell dem Gewässer zugeführt wird, verringert sich der Anteil der Grundwasserneubildung.

Soweit großflächige Staubewässerungen praktiziert werden, führen die höheren Grundwasserstände in den Sommermonaten zur erhöhten Verdunstung und damit zur Verringerung der Abflüsse in den Fließgewässern.

Für Bewässerungen wird der Wasserbedarf aus oberirdischen Gewässern oder aus dem Grundwasser gedeckt. Das Bewässerungswasser wird durch Verdunstung dem lokalen Wasserkreislauf weitgehend entzogen.

Die Entnahmen für Bewässerungsverbände sind im Allgemeinen geregelt und erfolgen kontrolliert. Zunehmend wird aber auch aus kleinen Gewässern oder gewässernahen Brunnen – besonders in extremen Trockenperioden – Bewässerungswasser ohne Genehmigung mit Hilfe von mobilen Pumpen entnommen. Dies kann besonders negative Auswirkungen auf den Niedrigwasserabfluss bis hin zum Trockenfallen von Gewässern haben.

Siedlungs- und Verkehrsflächen

Siedlungs- und Verkehrsflächen, allgemein auch als versiegelte Flächen bezeichnet, unterbinden die Versickerung und greifen damit lokal in den Wasserhaushalt ein. Durch die Reduzierung der Grundwasserneubildung und die rasche Ableitung des Niederschlagswassers in Niederschlagszeiten steht den Gewässern in Trockenperioden weniger Wasser zur Verfügung.

Bei der konventionellen Ableitung von Regenwasser aus Siedlungsflächen fließt bei Niederschlägen ein Teil des Regenwassers zur Kläranlage und wird damit dem Gewässer auf einer mehr oder weniger langen Zwischenstrecke entzogen.

Undichte Kanäle können die Grundwasserverhältnisse sowohl quantitativ als auch qualitativ durch Absickerung in das Grundwasser oder Zusickeung aus dem Grundwasser verändern.

Bergbau

In Teilbereichen Deutschlands hat der Kohleabbau bedeutenden Einfluss auf die Abflussverhältnisse. Durch Wasserhaltung werden zum einen großflächige Grundwasserabsenkungen verursacht, zum anderen werden die Sumpfungswässer in benachbarte Gewässer eingeleitet und erhöhen dort den Niedrigwasserabfluss.

Die Stilllegung von Tagebauen führt mit einem drastischen Rückgang der Sumpfungswässer sofort zur Verringerung der Abflüsse in diesen Gewässern. Der Grundwasserabsenkungstrichter im Wasserhaltungsbereich füllt sich nur sehr allmählich wieder auf. In diesen Bereichen muss daher über lange Zeiträume mit kritischen Niedrigwasserabflüssen gerechnet werden. Nach Abschluss der Rekultivierung stellen sich die vorbergbaulichen Abflussverhältnisse nicht wieder ein. Die Anlage großer Restseen lässt für die Zukunft eine erhöhte Gebietsverdunstung erwarten.

Auskiesungen führen in kleinräumigem Maßstab zu vergleichbaren Folgen.

Fazit

Veränderungen von Niedrigwasser können direkt infolge von Speicherbewirtschaftung, Entnahmen und Einleitungen auftreten oder indirekt durch Nutzungsänderungen im Einzugsgebiet verursacht werden. Veränderungen aufgrund der direkten Einflüsse sind meist quantifizierbar, während die mittelbar hervorgerufenen Veränderungen sich nur sehr schwer quantifizieren lassen.

1.3 Veränderungen aufgrund des klimatischen Wandels

Die Klimaveränderung hat Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, da höhere Temperaturen den hydrologischen Zyklus von Verdunstung und Niederschlag antreiben und eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen kann.

Nach dem derzeitigen Stand der Klimaforschung ist davon auszugehen, dass sich durch den anthropogen verursachten Treibhauseffekt bis zum Ende des 21. Jahrhunderts die mittlere globale Lufttemperatur je nach angenommenen Szenario für die CO₂-Emission um 1,4 bis 5,8 °C erhöhen wird (IPCC, 2001). Im 20. Jahrhundert ist die mittlere jährliche Lufttemperatur global um 0,7 °C angestiegen. In Deutschland lag der Temperaturanstieg bei 0,9 °C. Vor allem die Winter sind hier deutlich wärmer geworden (Anstieg um 1,5 °C).

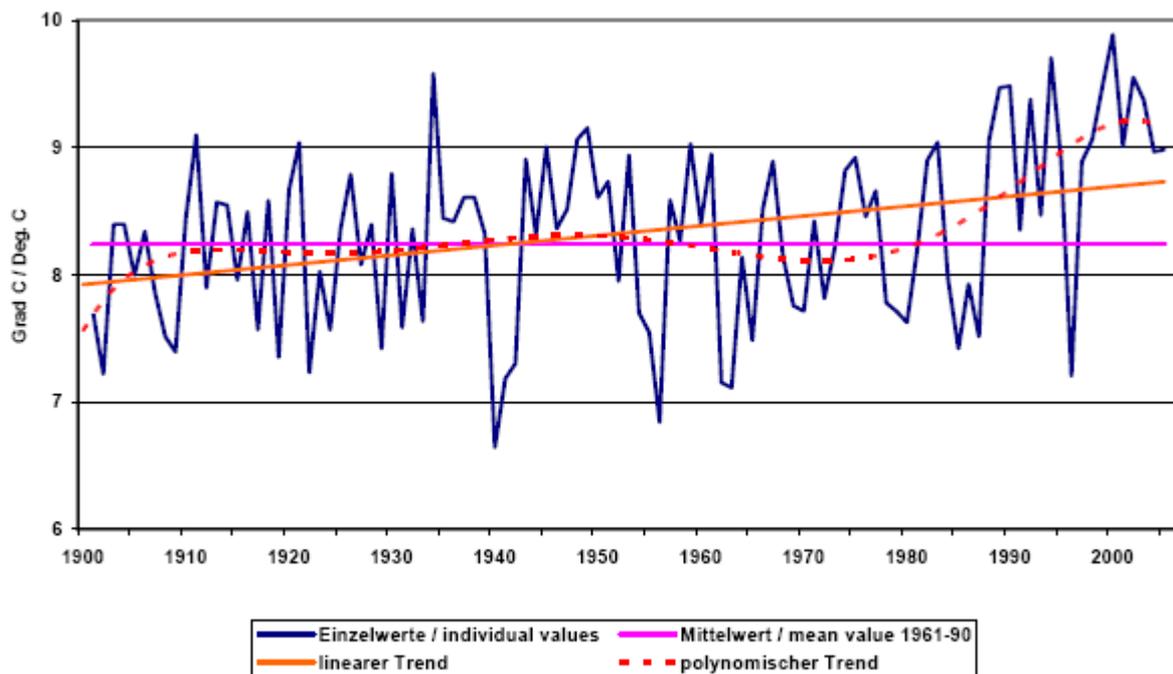


Abb. 5: Anstieg der mittleren Jahrestemperatur

Die aus globalen Klimamodellen abgeleiteten Aussagen zur künftigen Klimaveränderung beziehen sich im Wesentlichen auf großräumige Gebiete wie z. B. Nordeuropa. Regionale Klimaänderungen können eine höhere Variabilität als globale Mittelwerte aufweisen. Eine Betrachtung der Auswirkungen auf das Klima und den Wasserhaushalt im regionalen Maßstab ist erforderlich, um die Folgen für die Gewässer abschätzen zu können.

Der Abfluss im Gewässer wird letztlich über den Niederschlag als wichtigste Eingangsgröße für den Wasserkreislauf bestimmt. Wie andere Klimagrößen unterliegt die Niederschlagsverteilung langfristig natürlichen Schwankungen. In der Diskussion über den anthropogen verursachten Klimawandel wird allerdings davon ausgegangen, dass sich die Niederschlagsverteilung systematisch dahingehend verändern wird, dass die Winterhalbjahre höhere Niederschläge und die Sommerhalbjahre vermehrt Starkregen, aber insgesamt weniger Niederschlag aufweisen. Fehlender Niederschlag im Sommerhalbjahr könnte zur Reduzierung der Niedrigwasserführung bis hin zur Austrocknung der Gewässer führen. Diese könnte aber durch den grundwässerbürtigen Abfluss zumindest zum Teil aufgefangen werden. Denn die vermehrten Niederschläge im Winterhalbjahr führen zur verstärkten Grundwasserneubildung und damit zur Stützung der Niedrigwasserabflüsse im Sommerhalbjahr. Beispielhaft hat sich

dies im extrem trockenen Sommer 2003 gezeigt. Das in Teilen von Deutschland sehr nasse Winterhalbjahr führte nicht flächendeckend zu extremen Niedrigwasserständen im Vergleich zu früheren Trockenjahren.

1.3.1 Bisherige Veränderungen

Niederschlag und Temperatur

Die Untersuchung von langen Messreihen hydrometeorologischer und hydrologischer Größen gibt Aufschluss über die bisher beobachteten natürlichen Schwankungsbreiten und evtl. erkennbaren Veränderungen.

Vieles spricht dafür, dass die beobachteten Veränderungen als Auswirkung eines bereits begonnenen Klimawandels angesehen werden können.

Beispiel:

Die klimatischen Bedingungen in Süddeutschland mit Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt im vergangenen Jahrhundert – insbesondere während der letzten drei Jahrzehnte - haben sich erkennbar verändert. Die gefundenen Trends überschreiten regional spezifisch die bisher aus langen Untersuchungsreihen bekannte natürliche Schwankungsbreite bei einigen Untersuchungsgrößen.

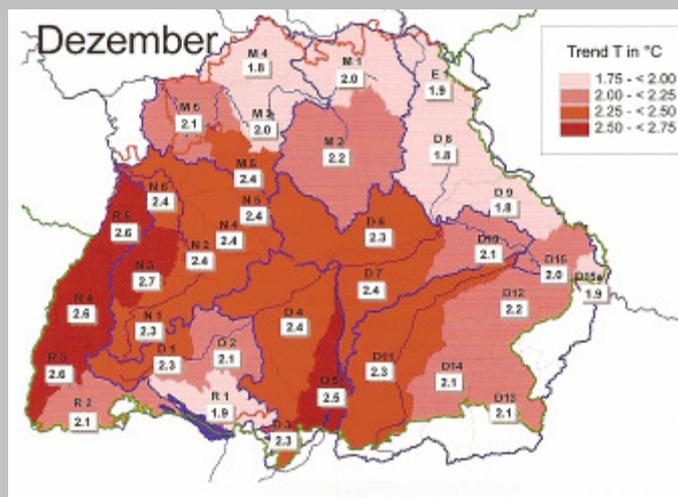


Abb. 6:
Die Abbildung zeigt die mittlere Temperaturzunahme im Monat Dezember gegenüber dem langjährigen Mittel von 1931-2000

In Süddeutschland wurde im Rahmen von KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft), einem gemeinsamen Projekt der Länder Baden-Württemberg und Bayern mit dem Deutschen Wetterdienst, flächendeckend deren Langzeitverhalten untersucht mit folgendem, regional differierendem Ergebnis: Zunahme der Lufttemperatur; mildere, schneeärmere Winter; Zunahme der Starkniederschläge; Sommer trockener, Winter feuchter; Zunahme der Westwetterlagen; Veränderung der Abflüsse im Jahresgang.

Vieles spricht dafür, dass die beobachteten Veränderungen als Auswirkung eines bereits begonnenen Klimawandels angesehen werden können.

Innerhalb Deutschlands stellt sich die Situation differenziert dar.

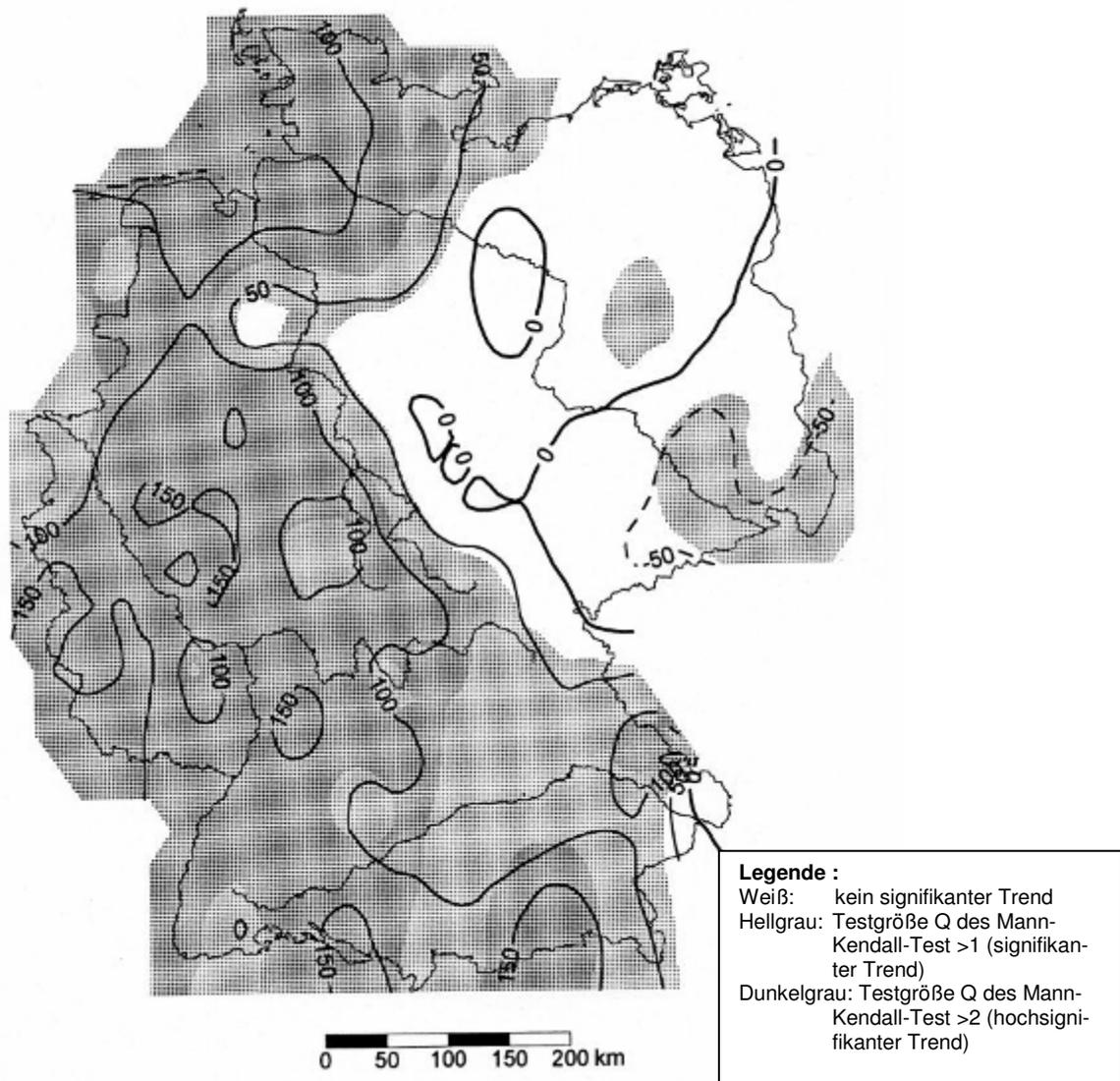


Abbildung 7: Linearer Trend des Niederschlags [mm] mit signifikanten Gebieten, Jahresreihe 1891-1990 (Rapp und Schönwiese, 1996)

Insgesamt zeigt sich beim Niederschlag eine jahreszeitliche Umverteilung. Die Sommer werden eher trockener, die Wintermonate dagegen in weiten Teilen Deutschlands deutlich feuchter (s. Abbildung 7). Diese Tendenz kann durch veränderte atmosphärische Zirkulationsverhältnisse in Europa erklärt werden.

Niedrigwasserabflüsse und Wassertemperatur

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass eine sichere quantitative Ermittlung und Zuordnung klimabedingter und anthropogener Änderungen auf die Niedrigwasserabflüsse mit Zeitreihenanalysen nicht möglich ist. Die Zuordnung eines rechnerisch gefundenen Trends der Zeitreihe zu einer bestimmten Ursache ist meist nicht möglich, weil sich die natürliche Variabilität mit den Einflüssen aus der Klimaveränderung und den sonstigen anthropogenen Einflüssen überlagert.

Trenduntersuchungen liegen für verschiedene Flussgebiete vor. Danach besteht für die betrachteten Flüsse Donau, Rhein, Elbe, Oder, Weser und Ems eine Tendenz zu einer Abmilderung der Niedrigwasserextreme; die niedrigen Abflüsse sind hier in den vergangenen 60 Jahren angestiegen (Belz et al., 2004).

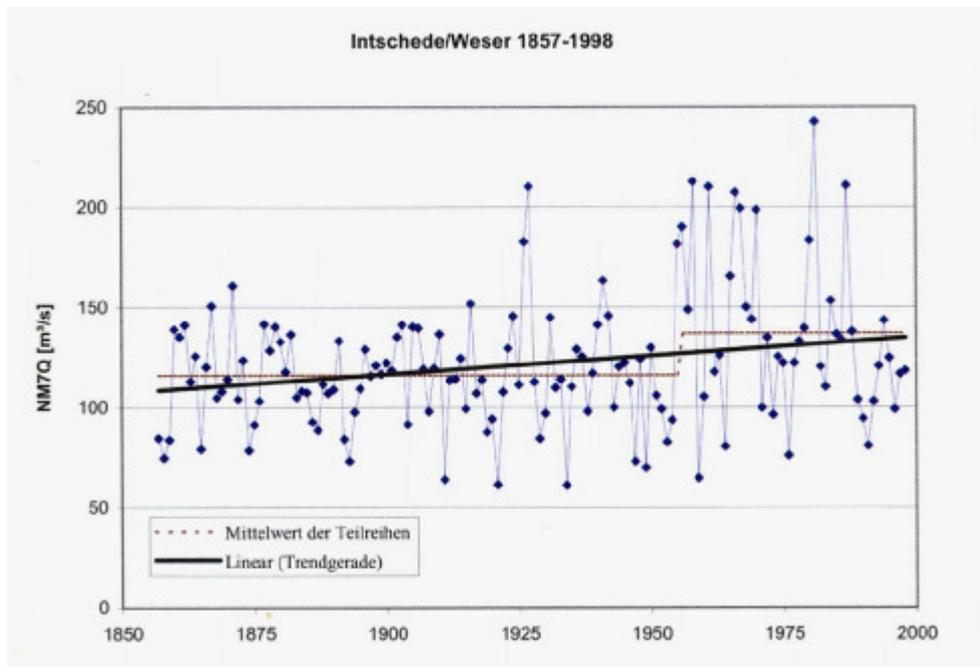


Abb. 8: Rechnerischer Trend für Niedrigwasserabfluss MN7Q (Pegel Intschede/Weser)

Die Zunahme der Winterniederschläge in den untersuchten Gebieten und ihr Einfluss auf die Grundwasserneubildung kann ein Grund für die Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse sein. In anderen Flussgebieten z. B. dem der Havel sind ausgeprägte negative Trends zu beobachten.

Neben der Veränderungen der Wassermenge sind auch Veränderungen der Wassertemperatur zu beobachten. So stiegen sowohl die mittlere Jahrestemperatur als auch die Höchsttemperaturen des Rheins bei Mainz um durchschnittlich $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ pro Jahr. 2003 wurden im Rhein an verschiedenen frei fließenden Strecken Temperaturen um $28 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht oder sogar überschritten.

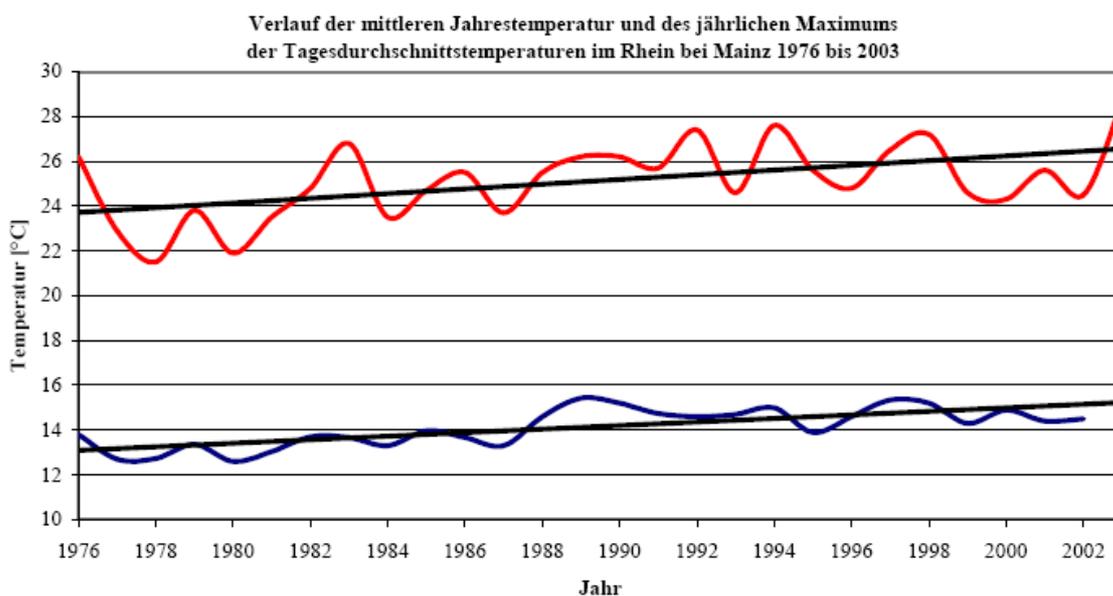


Abb. 9: Trend in der Wassertemperatur des Rheins bei Mainz

1.3.2 Klimaszenarien für die Zukunft

Regionale Klimaszenarien für verschiedene Länder liegen vor.

Das Max-Planck-Institut (MPI) für Meteorologie, Hamburg, erstellte im Rahmen der Studie „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“ im Auftrag des UBA erstmals hoch aufgelöste flächendeckende Klimaprojektionen für Deutschland. Die räumliche Auflösung beträgt 10 km (100 km²-Raster) und kann damit auch für regionale Aussagen herangezogen werden. Die Berechnungen mit dem Regional-Modell REMO basieren auf drei IPCC-Szenarien, die auf der Grundlage von Annahmen zu demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technischen Bedingungen unterschiedliche Entwicklungen der globalen CO₂ – Emissionen zugrunde legen. REMO wird für die Zeitperiode von 1950 bis betrieben. Die berechneten Daten für den Zeitraum 1950 bis heute dienen als Vergleich mit Beobachtungen.

In Abhängigkeit der zugrunde gelegten globalen Emissionsszenarien, der verwendeten Methode und der betrachteten Zeitspanne ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse.

Niederschlag und Temperatur

In Baden Württemberg und Bayern wird für den betrachteten Zeitraum (2021 – 2050) eine weitere Zunahme der Lufttemperatur und ein verändertes Niederschlagsverhalten mit einer deutlichen Zunahme der Niederschläge im Winter und einem eher geringfügigen Rückgang im Sommer erwartet. Die Sommertage (T_{max}>25°C) und die heißen Tage (T_{max}>30°C) werden deutlich zunehmen (KLIWA, 2004). Ähnliche Ergebnisse liegen auch für Hessen vor (HLUG, 2005).

Untersuchungen für Sachsen zeigen eine vergleichsweise moderate Zunahme des Niederschlags gegenüber anderen Regionen Deutschlands im Winter. Für den Sommer sind stärkere Niederschlagsrückgänge insbesondere in Nord- und Ostsachsen zu erwarten. Für Sachsen wird erwartet, dass die Sommer aufgrund geringerer Niederschläge und die stärkere Verdunstung infolge Temperaturerhöhung stärker durch lang anhaltende Trockenperioden und Dürre geprägt sein werden als heute.

Diese regionalen Tendenzen stützen eine Kernaussage des IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), wonach der globale Klimawandel mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Zunahme der kontinentalen Sommertrockenheit über den großen Landmassen mittlerer Breite begleitet wird. Bestimmte Regionen in Deutschland können bei diesem projizierten Wandel des Klimas in besonderem Maße vom Problem der Wasserverfügbarkeit betroffen sein, da der hier insgesamt zu erwartende Rückgang der klimatischen Wasserbilanz im Sommer zu zeit- und gebietsweise angespannten Situationen des Bodenwasserhaushaltes führen kann. Hierbei ist auch in Betracht zu ziehen, dass im Kontext mit der globalen Erwärmung ähnliche Hitze- und Dürreperioden wie im Jahr 2003 in Zukunft häufiger auftreten werden als unter heutigen Klimaverhältnissen (SMUL, 2005).

Niedrigwasserabflüsse

Erste Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit Wasserhaushaltsmodellen auf der Basis der Klimaszenarien in verschiedenen Bundesländern zeigen, dass sowohl die jährlichen als auch die monatlichen MNQ-Werte im Sommer im Vergleich zur Ist-Zeit regional differenziert abnehmen werden. Da sowohl die Anzahl der Sommertage und der heißen Tage als auch die Sonnenscheindauer (vor allem in den Monaten Juni, Juli, August) künftig zunehmen wird, ist zu vermuten, dass auf Grund der Klimaänderung künftig ähnlich hohe Temperaturen und extreme Niedrigwasserverhältnisse wie im Sommer 2003 häufiger auftreten werden.

Für Sachsen sind infolge einer zunehmend früheren Anspannung der klimatischen Wasserbilanz bereits ab April eine Abnahme des mittleren monatlichen Abflussdargebots und im

Sommerhalbjahr eine Verschärfung von Niedrigwasserperioden in Dauer und Länge zu erwarten (SMUL, 2005).

Für Hessen wird davon ausgegangen, dass die Niedrigwasserabflüsse in den Monaten Dezember bis März ansteigen werden, während in den übrigen Monaten und insbesondere in der typischen Niedrigwasserperiode im Hochsommer und Herbst durchgängig kleinere Niedrigwasserabflüsse auftreten werden.

Untersuchungen für Brandenburg zeigen, dass bei Eintreten der angenommenen klimatischen Veränderungen im Jahre 2055 mit einer Grundwasserneubildung zu rechnen ist, die für die Region Berlin/Brandenburg deutlich unter der heutigen liegen wird.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die regionalen Klimamodelle insbesondere bei der Ermittlung von Extremwerten noch verbesserungsbedürftig sind. Offen ist zudem die Frage, wie sich die Landnutzung, die einen indirekten Einfluss auf Niedrigwasser hat, ändern wird. Es überwiegt allerdings die Einschätzung, dass Hitzejahre wie 2003 in Zukunft eher die Normalität darstellen könnten.

Fazit

Änderungen von Klimagrößen haben Einfluss auf die hydrologischen Prozesse und den Wasserhaushalt. Die Auswirkungen sind regional unterschiedlich; allgemeingültige Aussagen lassen sich nur schwer treffen. Die regionale Beobachtung der Klimaänderung und die Bewertung ihrer Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sind fortzuführen bzw. zu intensivieren. Dies betrifft sowohl die Veränderung von mittleren als auch von extremen Werten.

1.4 Grundlagen zur Beurteilung und zur Bewirtschaftung von Niedrigwasser

Die Beurteilung von Niedrigwasser, seinen langfristigen Veränderungen und seinen Auswirkungen sowie Niedrigwasservorsorge und Niedrigwassermanagement erfordern als Grundlage eine gesicherte Datenbasis. Neben der Beobachtung und Auswertung hydrologischer Daten sind Daten zur Gewässerbiologie und -chemie sowie Landnutzungsdaten und Daten über die Gewässerbenutzungen von Bedeutung.

Beobachtung

Für die Beurteilung aktueller Niedrigwassersituationen sowie der langfristigen Veränderungen von Niedrigwasser werden Analysen der langjährigen Niedrigwasserstände und des Abflussverhaltens im Niedrigwasserbereich benötigt. Weiter sind Informationen zur Gewässerbiologie und -chemie, zur Landnutzung und zu den Gewässerbenutzungen erforderlich.

Abflussermittlungen im Niedrigwasserbereich müssen mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden, da die Abflusskurve durch Veränderungen des Abflussquerschnittes, beispielsweise durch Bewuchs, Anlandungen oder Erosion, stark beeinflusst wird. Abflussmessungen mit Hilfe von Messflügeln sind infolge der niedrigen Wasserstände oft nicht möglich, so dass es erforderlich sein kann, besondere Niedrigwassermessstellen oder -einrichtungen wie z. B. Messwehre zu errichten.

Niedrigwasserabflüsse können durch Einzelereignisse kurzfristig beeinflusst werden. Maßnahmen oder Veränderungen im Einzugsgebiet können längerfristige oder dauerhafte Veränderungen der Abflüsse zur Folge haben.

Tabelle 1: Veränderungen von Niedrigwasser durch kurz- und längerfristige Einflüsse

Einzelereignisse mit kurzfristigem Einfluss:	Längerfristig oder dauerhaft wirkende Maßnahmen:
<ul style="list-style-type: none"> – vorübergehender Rückhalt an Stauanlagen (Mühlen, Wasserkraftanlagen) – Schwellbetrieb bei Wasserkraftanlagen – Schleusenbetrieb – Abgabe aus Speichern – Kurzfristig verstärkte Entnahme (Bewässerung) oder Einleitung – Eisstau 	<ul style="list-style-type: none"> – neu erteilte oder erloschene Wasserrechte zu Entnahmen und Einleitungen – Änderung der Flächennutzung (Flächenversiegelung, Aufforstung, Dränung, usw.) – Regulierungs- und Renaturierungsmaßnahmen am betrachteten Gewässer oder dessen Nebengewässern – Bau von Kanalisationen und Kläranlagen – Klimaveränderungen

Niedrigwasserkenngößen:

Niedrigwasserereignisse werden charakterisiert durch die Kennwerte **Niedrigwasserdurchfluss** und der **Dauer** (x), während der ein kritischer Niedrigwasserdurchfluss unterschritten wird. Die Wahl der Kennwerte hängt von der jeweiligen wasserwirtschaftlichen Fragestellung ab. Bei Niedrigwasserdurchflüssen von kurzer Dauer (z. B. $x = 1$ Tag) können die Messwerte durch kurzfristige Störungen verfälscht sein. Bei einer Dauer von $x > 30$ Tage können Niedrigwasserperioden erfasst werden, in die auch Durchflüsse im Mittelwasserbereich oder kleinere Hochwasserereignisse fallen. Als unterer Grenzwert der Niedrigwasserdurchflüsse wird häufig der Wert betrachtet, der im Mittel an 7 aufeinander folgenden Tagen unterschritten wird (NM7Q), da mit dieser Zeitspanne ein Wochenrhythmus berücksichtigt wird.

Weitere wichtige Niedrigwasserkenngößen sind die **Unterschreitungsdauer** und das **Unterschreitungsdefizit** unter einem Schwellenwert sowie der **mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ)**. Die Wahl des Schwellenwertes hängt von der Aufgabenstellung für die Niedrigwasseruntersuchung ab. Meist werden Mindestabflüsse verwendet, die für die Wasserbewirtschaftung oder aus ökologischen Gründen festgelegt wurden. Vergleichende Untersuchungen basieren häufig auf Parametern, die aus der Durchflussmessreihe abgeleitet wurden, wie MNQ, Q_{355} oder $NQ_{10, \text{August}}$. Darüber hinaus gibt es länderspezifische Regelungen.

Tabelle 2: Ausgewählte Niedrigwasserkennwerte

Kennwert	Zeichen	Einheit	Anwendungsbereich
Arithmetisches Mittel der kleinsten Tageswerte der einzelnen (hydrologischen oder Kalender-) Jahre einer Zeitreihe (Mittlerer Niedrigwasserabfluss)	MNQ	m ³ /s	Hydrologische Statistik, Planung, Bemessung
Niedrigster bekannter Tageswert (niedrigster Niedrigwasserabfluss)	NNQ	m ³ /s	Historische Betrachtung
Kleinster Tageswert eines (hydrologischen, Wasserhaushalts- oder Kalender-) Jahres	NM1Q NQ	m ³ /s	Niedrigwasserstatistik
Niedrigstes arithmetisches Mittel von 7 aufeinander folgenden Tagen eines Jahres mit einem Wiederkehrintervall T = n Jahre	NM7Q _n	m ³ /s	Niedrigwasserstatistik, Planung, Bemessung
Niedrigstes arithmetisches Mittel von 30 aufeinander folgenden Tagen eines Jahres	NM30Q	m ³ /s	Niedrigwasserstatistik, Planung, Bemessung
Maximale bzw. summarische Unterschreitungsdauer eines Schwellenwertes im Jahr	maxD SumD	d	Niedrigwasserstatistik, Planung in Ökologie, Schifffahrt, Energie
Maximales bzw. summarisches Unterschreitungsdefizit eines Schwellenwertes im Jahr	maxV SumV	10 ⁶ m ³	Niedrigwasserstatistik, Planung in der Wasserbewirtschaftung (Niedrigwasseraufhöhung)
Rückgangskonstante der Rückgangphasen eines Jahres	K	d	Niedrigwasserstatistik, Ermittlung des Basisabflusses
Abfluss, der im Mittel an 355 Tagen im Jahr unterschritten wird (aus der Dauerlinie abgeleitet)	Q ₃₅₅ <u>355Q</u>	m ³ /s	Planung, Bemessung z. B. für Wasserkraftanlagen
Mittlerer Monatsabfluss des August, der mit 10% Wahrscheinlichkeit unterschritten wird	NQ _{10, August}	m ³ /s	Planung in der Wasserbewirtschaftung

Regionalisierung

Mit statistischen Verfahren kann von örtlich bekannten Werten einer Kenngröße auf den unbekanntem Wert dieser Kenngröße an einem anderen Ort geschlossen werden. Voraussetzung hierfür ist die hydrologisch/geologische Ähnlichkeit der Einzugsgebiete. Vor der Regionalisierung müssen die Abflussdaten bereinigt werden. Bei der Regionalisierung kommen im Wesentlichen folgende Verfahren zum Einsatz:

- Die multiple Regression stellt eine Beziehung her zwischen der betrachteten metrischen Zielgröße und einer Anzahl sie bestimmender, möglichst unabhängiger Einflussgrößen. Die ermittelten Regressionskoeffizienten sind für die gesamte Region maßgebend und gestatten nach Kenntnis der örtlichen Werte der Einflussgrößen die Berechnung der gesuchten Zielgrößen.

- Mit der multiplen Diskriminanzanalyse lassen sich kategoriale Zielgrößen wie z. B. homogene Niedrigwasserregionen regionalisieren. Dabei können beliebige, über ihre Einflussgrößen beschriebene Flächeneinheiten mittels Diskriminanzfunktionen eindeutig zu einer der vorab definierten Kategorien zugeordnet werden.
- Das Index Flood Verfahren ist ein spezieller Ansatz zur Regionalisierung von Quantilen. Es beruht auf der Annahme, dass sich innerhalb einer Region die Verteilungsfunktion nicht ändert und der Quantilswert durch einen Skalierungsfaktor an die Örtlichkeit angepasst werden kann. Aus den Messdaten ist eine regionale Verteilungsfunktion für die Kenngröße zu ermitteln und aus Gebietsgröße, Niederschlagshöhe und hydrologischen Gebietseigenschaften ist der Skalierungsfaktor zu bestimmen.
- Mit Hilfe der räumlichen Interpolation (z.B. Kriging-Verfahren) kann eine an unterschiedlichen Orten bekannte Kenngröße auf beliebige andere Orte der gleichen Region übertragen werden.

Für kleinräumige Einzugsgebiete können auch einfache Übertragungsverfahren auf der Grundlage der Abflussspende, der Einzugsgebietsgröße und des mittleren Jahresniederschlags verwendet werden.

Eine Regionalisierung kann auch mit Hilfe eines deterministischen Wasserhaushaltsmodells erfolgen.

Modellierung

Wasserhaushaltsmodelle sind mathematische Simulationsmodelle, die den Wasserkreislauf in Einzugsgebieten flächendetailliert, mit konzeptionellen Ansätzen auf physikalischer oder empirischer Grundlage beschreiben. Mit Hilfe solcher Modelle ist die kontinuierliche Bilanzierung des Wasserhaushaltes und seiner Teilkomponenten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag bis zu einem Monat über einen mehrjährigen Zeitraum möglich. Der Niedrigwasserabfluss steht am Ende der hydrologischen Prozesskette und seine Bildung wird daher von allen vorgelagerten Prozessen und deren Wechselwirkungen beeinflusst. Deshalb müssen Wasserhaushaltsmodelle, mit denen Niedrigwasserabflüsse berechnet werden sollen, im Gegensatz zu Modellen zur Hochwasserberechnung, Modellansätze für alle relevanten Teilprozesse des Wasserkreislaufes enthalten.

Wasserhaushaltsmodelle zur Modellierung von Niedrigwasserkenngößen kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn die zur Verfügung stehenden Durchflussdaten an gewässerkundlichen Pegeln qualitativ oder quantitativ nicht ausreichend sind, um die wasserwirtschaftlichen Fragen zu beantworten, beispielsweise wenn

- die vorliegenden Reihen nicht ausreichend lang sind
- das Pegelnetz nicht ausreichend dicht ist
- die vorhandenen Reihen stark anthropogen beeinflusst sind, jedoch unbeeinflusste Abflüsse benötigt werden
- die Einflüsse von Landnutzungs-, Wasserbewirtschaftungs- und Klimaänderungen zu beurteilen sind.

Niedrigwasserkenngößen können auch mit stochastischen Modellen generiert werden.

Mit deterministischen, prozessorientierten Gewässergütemodellen ist es möglich, Auswirkungen geringer Abflüsse und hoher Temperaturen auf den Stoffhaushalt abzubilden. Beispielsweise können in Szenariorechnungen Prognosen über die Entwicklung der Planktonbiomasse und des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit von der Abflussmenge getroffen werden.

Gewässergütemodelle beschreiben in mathematischer Weise die komplexen chemischen und biologischen Vorgänge in Gewässern. Ein wesentliches Merkmal ist die Verknüpfung von hydraulischen mit ökologischen Modellbausteinen. In diesen zentralen Bestandteilen der Modelle werden die wichtigsten Prozesse des Temperatur-, Sauerstoff- und Nährstoffhaushaltes, die Algen- und Zooplanktonentwicklung sowie Vorgänge am Gewässerbett berechnet.

Mit Hilfe von Gewässergütemodellen wie dem Gewässergütemodell der DWA (ehemals ATV-Gütemodell) oder QSim werden allgemein Fragestellungen aus der Wasserwirtschaft, etwa Auswirkungen von Abwasser- oder Wärmeeinleitungen und Fragen des Flussgebietsmanagements bearbeitet. Als Eingabegrößen werden wasserchemische Daten (in erster Linie aus der Gewässerüberwachung), Abflüsse und meteorologische Daten benötigt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 3: Beispiel für Prozesse und Eingabegrößen

Prozessart	Prozesse	Eingabegrößen
Morphologisch/ hydrologisch	Abflusssimulation Sedimentation	Flussgeometrie, Abfluss
Meteorologisch:	Wärmehaushalt Unterwasserlichtklima	Globalstrahlung, Lufttemperatur, Bedeckungsgrad und Wolkentyp, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit
Physikalisch/chemisch	Kalkkohlenstoff-Gleichgewicht Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt	Wassertemperatur, Sauerstoff, Chemischer Sauerstoffbedarf, Nitrat, Ammonium, o-Phosphat, Silikat, pH-Wert, Alkalinität, Schwebstoff
Biologisch	Bakterienwachstum Nitrifikation Algenwachstum Makrophytenwachstum Zooplanktonwachstum Wachstum benthischer Filtrierer	Biochemischer Sauerstoffbedarf (kohlenstoffbürtiger Anteil, C-BSB und Nitrifikations-sauerstoffbedarf, N-BSB), Flagellaten, Planktische Algenbiomasse (Chlorophyll a) und Anteil von Kiesel-, Grün- und Blaualgen, Zooplankton (Flagellatendichte, Rotatorien-dichte), Benthische Algen, Makrophyten, Benthische Filtrierer (Dreissena polymorpha-Besiedlungsdichte)

Die ökologischen Auswirkungen von Wasserstandsänderungen in der Aue können mit Flussauenmodellen wie z. B. dem GIS- basierten INFORM abgebildet und bewertet werden. Dabei wird von dem Wirkungspfad Fluss - Grundwasser – Boden – Vegetation - Fauna ausgegangen und es werden die wichtigsten Wirkungszusammenhänge berücksichtigt.

Bewirtschaftung

Die Wasserbewirtschaftung nimmt durch Maßnahmen wie Niedrigwasseraufhöhung, Wasserüberleitung oder Wasserspeicherung Einfluss auf den Niedrigwasserabfluss. Das Arbeitsmittel zur Untersuchung von Wasserbewirtschaftungsproblemen ist die wasserwirtschaftliche Bilanz.

Die wasserwirtschaftliche Bilanz stellt Wasserangebot und Wasserbedarf gegenüber. Je nach räumlicher und zeitlicher Detailliertheit gibt es Übersichtsbilanzen, Zeitreihenbilanzen und detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzen. Detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzen bilden Wasserangebot und Wassernutzungsprozesse in ihrer zeitlichen und örtlichen Variabilität im Untersuchungsgebiet, vorzugsweise für Flusseinzugsgebiete, nach. Sie berücksichtigen den Systemcharakter des Flussgebietes, den Zufallscharakter der natürlichen Prozesse sowie die Mannigfaltigkeit der möglichen Systemzustände und ermöglichen die Untersu-

chung des Systems bei unterschiedlichen Randbedingungen. Sie können nur rechnergestützt mittels Wasserbewirtschaftungsmodelle erstellt werden. Detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzen sind aufzustellen für

- komplexe Flussgebiete mit wasserwirtschaftlich bedeutenden Speichern, Überleitungen und Hauptwassernutzern
- Flussgebiete mit häufigen Bedarfsdeckungsschwierigkeiten
- Flussgebiete mit Wassernutzern, deren Wasserentnahmen stark ausgeprägte Unterschiede im jährlichen Gang aufweisen (Landwirtschaft, Kraftwerke, Fischerei, Biotope, Schifffahrt).

Bei der Bilanzierung ist eine Trennung von Niedrigwasser und Hochwasser aufgrund der Speicherprozesse nicht möglich. Es ist der vollständige natürliche Prozess zu betrachten.

Wasserbewirtschaftungsmodelle bilden die Grundlage für die Bewirtschaftungsplanung in komplexen Flussgebieten. Ziel ist die Schaffung eines nachhaltigen wasserwirtschaftlichen Systems. Dafür werden Szenarien auf stochastischer Grundlage zur Berücksichtigung der Unsicherheit der Prognose des zukünftigen Wasserdargebots und damit der Wasserverfügbarkeit mit den Wasserbewirtschaftungsmodellen generiert. Ergebnis sind wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen zur Wasserbedarfsdeckung, Einhaltung von Mindestabflüssen, zu Unterschreitungsdauern, zur Auslastung der Steuermöglichkeiten (Speicherabgaben, Überleitungen) sowie zu den Kosten der Steuerungsmaßnahmen für jedes Szenarium. Die Ergebnisse dienen dem Vergleich und der Bewertung der Szenarien und sind Grundlage für die Entscheidungsfindung.

Fazit:

Für die Beurteilung und Bewirtschaftung von Niedrigwasserereignissen müssen Daten vorliegen und methodische Grundlagen geschaffen werden. Als Daten sind nicht nur zuverlässige Werte für Durchflüsse, Wasserstände und Grundwasserstände erforderlich, sondern auch Daten zu Entnahmen, Einleitungen und Speicherwirkungen. Die methodischen Grundlagen basieren in erster Linie auf statistischen und Regionalisierungsverfahren sowie hydrologischen, ökologischen und Wasserbewirtschaftungsmodellen.

2. Auswirkungen von Niedrigwasser

2.1 Ökologische Auswirkungen von Niedrigwasser

Fließgewässer bieten unter natürlichen Gegebenheiten stark variierende Lebensraumbedingungen. Neben der strukturellen Ausprägung eines Gewässers gehören hierzu periodisch auftretende Hochwasserereignisse, Niedrigwasserperioden, mehr oder weniger starke Substratumlagerungen infolge unterschiedlicher Schleppkräfte und jahreszeitabhängige Schwankungen der Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Wassers. Die Tiere und Pflanzen der Fließgewässerlebensgemeinschaften sind demzufolge auf natürliche Niedrigwasserphasen eingestellt. Die Lebensgemeinschaften der Flussauen sind an ein dynamisches Abflussverhalten angepasst und können auch längere Trockenphasen überstehen.

Allerdings sind die mitteleuropäischen Fließgewässerlebensgemeinschaften fast ausnahmslos einer Vielzahl von anthropogenen Beeinflussungen unterworfen. Hierzu gehören z.B. Gewässerausbau, Wasserkraftnutzung, Gewässerunterhaltung, Einleitung von Haus-, Gewerbe- und Industrieabwässern, Eintrag von Nährstoffen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und die verschiedenen Arten der gewässerbezogenen Freizeitnutzung. Vor allem die Begradigung und der Ausbau der Gewässer unter technischen Gesichtspunkten sowie die

Einleitung von Schadstoffen haben dazu beigetragen, dass sich viele Fließgewässerlebensräume im Vergleich zu ihrer natürlichen Ausprägung stark verändert haben.

Bislang weitgehend unbeachtet ist, dass durch menschliches Handeln verursachte oder verstärkte Niedrigwasserperioden gravierende ökologische Folgen hervorrufen können. Darüber hinaus können auch Niedrigwasseraufhöhungen negative ökologische Auswirkungen aufgrund der Vergleichmäßigung der Abflüsse hervorrufen. Im Extremfall können die Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) an den ökologischen Zustand der Gewässer nicht eingehalten werden. Die genaue Kenntnis der ökologischen Auswirkungen anthropogen veränderter Niedrigwasser ist zur Minimierung der Folgen für ein Gewässer unerlässlich, was durch die komplizierten ökologischen Beziehungssysteme sowohl innerhalb eines Lebensraumes als auch zwischen verschiedenen Lebensräumen erschwert wird.

Ökologische Auswirkungen von Niedrigwasser betreffen den aquatischen (mit ganzjähriger Wasserführung) und amphibischen (periodische Wasserführung, Wasserwechselzone) Bereich eines Fließgewässers. Darüber hinaus zeigen durch Niedrigwasserperioden hervorgerufene Grundwasserabsenkungen Auswirkungen in der Aue. Hierbei sind die jeweiligen örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen, insbesondere sind dies die Talmorphologie der Aue, die Ausprägung von vorhandenen grundwasserbeeinflussten Biotopen sowie die allgemeinen Verhältnisse der Überschwemmungsdynamik in der Aue.

2.1.1 Änderungen chemisch-physikalischer Rahmenbedingungen

Niedrigwassersituationen führen durch eine Beeinflussung der chemisch-physikalischen Parameter in Fließgewässern zu bedeutenden Folgen für die aquatischen Lebensgemeinschaften. Die relevanten chemisch-physikalischen Kenngrößen können sich wie folgt ändern:

- verringerte Fließgeschwindigkeit
- Erhöhung der Wassertemperaturen
- sinkende Sauerstoffkonzentration
- Erhöhung der Konzentrationen an biologisch abbaubaren Wasserinhaltsstoffen
- Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit, als Indikator für steigende Salzgehalte
- steigende Konzentrationen der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor
- Erhöhung der Konzentration des fischgiftigen Ammoniak

Aus der Veränderung dieser Faktoren leiten sich die folgenden Problemschwerpunkte ab:

Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit und Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums

Anhand der Strömungsgeschwindigkeit und des bestehenden bzw. nicht mehr bestehenden Gewässerkontinuums werden verschiedene hydrologische Zustandsphasen unterschieden:

- Fließphase: unbeeinflusst
- Stagnationsphase: reduzierte Fließgeschwindigkeit, Gewässerkontinuum noch erhalten
- Poolphase: Ausbildung von Restwassertümpeln, Gewässerkontinuum unterbrochen
- Terrestrische Phase: vollständiges Trockenfallen des Gewässers

Im Allgemeinen verfügen Organismen über eine Reihe von Anpassungsstrategien um mit den veränderten Wasserständen und Durchflüssen umzugehen.

Die Verminderung des Wasserstandes sowie das Trockenfallen von Ufer- und Sohlabschnitten beeinträchtigen vor allem Fischpopulationen, da diese, auch wenn sie sich in tiefere Bereiche zurückziehen können, durch ein vermindertes Nahrungsangebot bedroht sind. Die ungewöhnlich hohen Individuendichten erzeugen einen weiteren Belastungsfaktor und erhöhen das Risiko der Übertragung von Krankheiten. Ist das Gewässerkontinuum unterbrochen, wird das Wanderverhalten verschiedener Fischarten gehemmt. Andere Tierarten, wie beispielsweise Insekten, sind nicht in dem Maße durch das Trockenfallen von Gewässerabschnitten bedroht, da sie sich zum Zeitpunkt von Niedrigwasserperioden meist bereits im flugfähigen, adulten Stadium befinden oder aber das Sohlückensystem (Interstitial) als Rückzugsraum nutzen können. Die Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit im Zusammenhang mit Niedrigwasserperioden führt allerdings zu einer verstärkten Ablagerung von Feinsedimenten und damit zu einer Verstopfung des Interstitials. Dies grenzt die Rückzugsmöglichkeiten zahlreicher Organismen ein, beeinträchtigt Fortpflanzungshabitate und zerstört Lebensräume. Insbesondere die Verringerung der sohlnahen Strömung während Niedrigwasserperioden begünstigt die Ablagerung von abgestorbener organischer Substanz (Detritus) und Feinsedimenten, in deren Konsequenz eine Veränderung von Habitatstrukturen eintreten kann.

Weiterhin führen verringerte Fließzeiten zu einer Erhöhung der Verweilzeit biologisch abbaubarer Wasserinhaltsstoffe im Gewässerabschnitt und damit durch die stattfindenden Umsetzungsprozesse zu einer weiteren Verringerung des Sauerstoffgehalts. Eine Schädigung der aquatischen Lebensgemeinschaften kann durch die Konzentrationserhöhung von Wasserinhaltsstoffen hervorgerufen werden.

Temperaturerhöhung – sinkende Sauerstoffkonzentrationen

Steigende Temperaturen verursachen Stresssituationen für aquatische Lebensgemeinschaften und haben negative Auswirkungen auf Fischpopulationen und andere Organismen. Im Allgemeinen wird eine Wassertemperatur bis 21,5°C für Salmonidengewässer und bis 28°C für Cyprinidengewässer als unkritisch angesehen EG –Fischgewässer – Richtlinie 78/659/EWG.

Hohe Wassertemperaturen führen insgesamt zu einer Schwächung der Organismen, in deren Folge die Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und Infektionen eingeschränkt wird.

So trat zum Beispiel im Sommer 2003 in einigen Bereichen des Rheins ein Aalsterben auf, das durch eine Bakterieninfektion, die Rotseuche, hervorgerufen wurde. Die Ausbreitung der Krankheit wurde durch die hohen Wassertemperaturen, die damit verbundenen ungünstigen Sauerstoffverhältnisse und durch die Reduzierung des durchflossenen Querschnittes begünstigt.



Abb.: 12: Aalsterben 2003

Durch die aufgrund der abnehmenden Löslichkeit sinkenden Sauerstoffkonzentrationen ist eine Schädigung der Fischpopulation (und anderer Organismen) nicht ausgeschlossen. Üblicherweise wird eine Sauerstoffkonzentration unter 4 mg/l als kritisch angesehen. Eine weitere Reduzierung des Sauerstoffgehalts im Gewässer erfolgt durch die sich parallel erhöhenden Umsatzraten von Abbauprozessen.

Veränderung der Konzentration an Nähr- und Schadstoffen

Eine Erhöhung der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen durch abnehmende Durchflüsse kann insbesondere in vorbelasteten Gewässern zu einer Überschreitung von Toleranzgrenzen führen, in deren Konsequenz es zu einer Schädigung aquatischer Lebensgemeinschaften kommt. Bei steigenden Temperaturen und sinkenden Sauerstoffkonzentrationen kann trotz erhöhter Umsatzraten weniger organische Substanz aerob abgebaut werden. Dies spiegelt sich in steigenden BSB₅ – Werten wider. Strikt aerob sind darüber hinaus die Umsetzungsprozesse der Nitrifikation. Steigende Ammonium- und sinkende Nitratkonzentrationen treten daher in Folge abnehmender Sauerstoffkonzentration auf. Wobei insbesondere die Entstehung von Ammoniak bei pH-Werten größer pH 9 aufgrund seiner Fischgiftigkeit kritisch ist. Eine Erhöhung der Nährstoffkonzentration durch unveränderte Einträge auch bei Niedrigwasser kann zu Algenblüten mit den Folgen starker Sauerstoff- und pH-Wert-Schwankungen führen.

Die sinkenden Sauerstoffkonzentrationen führen insbesondere in staugeregelten Gewässern zur Verstärkung der Austauschprozesse mit Sedimenten. Dadurch erhöhen sich die Konzentrationen an Stickstoff, Phosphor und evtl. auch Schwermetallen.

2.1.2 Ökologische Auswirkungen in den Gewässerregionen

Entsprechend der räumlichen Lage und der Ausprägung abiotischer Faktoren, wie Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse, Fließgeschwindigkeit und strukturelle Ausprägung der Gewässersohle, unterscheidet man die Quellzone, den Ober-, den Mittel- und den Unterlauf. Weitere Gliederungen beruhen auf der Einteilung in für Einzelabschnitte typische Fischarten. Die Lebensbedingungen der Fließgewässerabschnitte entsprechen den optimalen Lebensbedingungen dieser Fischarten. Man unterscheidet hier die Forellen- und Äschenregion (Salmonidenregion), die Barben- und Brassenregion sowie die Kaulbarsch-Flunderregion (Cyprinidenregion).

Die charakteristischen Merkmale dieser Regionen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Tabelle 4: Charakteristische Merkmale der Fischregionen im Längsverlauf eines Fließgewässers

Region	Merkmale
Forellenregion (Oberlauf)	abnehmendes Gefälle, hohe Fließgeschwindigkeit, geringe Wasserführung, T bis 10°C, sehr hoher Sauerstoffgehalt, Sohlenmaterial Stein, Kies, Geröll, sehr klar, im Gebirge abwechslungsreiche Strömung
Äschenregion (Übergang Oberlauf – Mittellauf)	unterschiedliche Strömung, tiefer und breiter Querschnitt sowie zunehmende Wasserführung, T bis 15°C, hoher Sauerstoffgehalt, Sohlenmaterial Kies, Sand,
Barbenregion (Mittellauf)	ruhige Strömung, nur vereinzelt turbulente Abschnitte, T im Sommer über 15°C, sauerstoffreich, Geröll- und Kiesablagerungen an der Gewässersohle

Region	Merkmale
Brassenregion (Unterlauf)	durch zahlreiche Nebenflüsse Zunahme der Breite und Tiefe, T im Sommer über 20°C, abnehmende Sauerstoffgehalte, hohe Trübung, üppig wachsende Pflanzen
Kaulbarsch-Flunderregion (Mündung/Delta)	hohe Trübung, sauerstoffarm, Salzwassereinfluss

Beispielsweise laicht der Lachs überwiegend in den Bereichen der Äschenregion. Hier wächst auch der Junglachs heran. Bis zur Geschlechtsreife wandert er ins Meer ab. Fische führen neben den Wanderbewegungen in Abhängigkeit ihres Lebenszyklus weitere Wanderbewegungen zur Nahrungssuche oder um Schutz zu finden aus. Wanderbewegungen sind darüber hinaus auch bei Kleintieren zu beobachten. Sie werden durch die im Oberlauf häufig hohen Fließgeschwindigkeiten stromabwärts verfrachtet und sorgen durch stromaufwärts gerichtete Bewegungen (z. B. Bachflohkrebs) oder Kompensationsflüge (z.B. Eintagsfliegen) für eine dauerhafte Besiedlung oberer Gewässerabschnitte.



Abb.11: Bachflohkrebs (Foto B. Eiseler)

Zwischen den einzelnen Fließgewässerregionen bestehen enge Verknüpfungen. In der Wechselwasserzone von Fließgewässern kommt es durch den Einfluss des fließenden Wassers zu einer mehr oder weniger starken Seitenerosion bzw. zur Sedimentation in anderen Bereichen. Ebenso wie oben für den aquatischen Bereich dargestellt, unterscheidet sich auch unter natürlichen Bedingungen der amphibische Bereich eines Oberlaufes von dem eines Unterlaufes. Die Ausdehnung der Wechselwasserzone ist unter natürlichen Bedingungen entlang des Oberlaufes eines Flusses deutlich schmaler als entlang des Unterlaufes. Dies zeigt sich u. a. im Vergleich der Vegetationsverhältnisse von der Quelle bis zur Mündung.

Die Wiederbesiedlung eines Gewässers nach Trockenperioden erfolgt aus den Refugialräumen, wie Interstitial, Restpools und Seitenbächen sowie aus organischen Strukturen, z. B. Totholz und Laubablagerungen, weshalb der ökologischen Durchgängigkeit eine hohe Bedeutung zukommt.

Bezogen auf die beschriebene Unterteilung in Fließgewässerabschnitte stellen sich die Probleme durch Niedrigwasser wie folgt dar:

Forellenregion/Oberlauf

Eine permanent niedrige Fließgeschwindigkeit in der Forellenregion hat zur Folge, dass sich verstärkt Schwebstoffe absetzen. Die Fortpflanzungshabitate der Bachforelle und die Siedlungsbereiche des Bachneunauges werden durch sich absetzende Sedimentpartikel verschlammt. Im Frühjahr und im Sommer bewirken niedrige Wasserstände, dass die strömungsarmen Flachwasserbereiche trocken fallen. Jungfische, die üblicherweise in Flachwasserbereichen heranwachsen, gelangen in die fließende Welle und werden verdriftet.

Der schmale amphibische Bereich des Oberlaufes kann durch fehlende Überflutungen nachhaltig verändert werden. Der Feuchtegrad des Bodens sinkt. Vor allem die an den wechselnd feuchten Untergrund angepassten Pflanzen werden so in ihrer Entwicklung beeinträchtigt und durch andere konkurrenzstarke Arten verdrängt. Die Entstehung vegetationsloser bzw. –armer Uferstreifen infolge der Erosionskräfte wird durch künstliche Niedrigwasserführungen unterbunden. Bestimmte Teillebensräume können so nicht mehr entstehen, die Entwicklung von Larven ist beeinträchtigt.

Äschenregion/Mittellauf

Die meisten Fischarten der Äschenregion sind Kieslaicher. Die Eier werden in Laichgruben, die von den Männchen oder den Weibchen ausgeschlagen werden, abgelegt. Die meisten Jungfische verbleiben nach dem Schlupf im Larvenstadium in diesen Bereichen. Durch Trockenfallen von Flussabschnitten kann im Extremfall die gesamte Brut vernichtet werden. Lockere Sedimentanteile sind wichtige Voraussetzung für optimale Fortpflanzungs- und Lebensmöglichkeiten verschiedener Fische bzw. vieler wirbelloser Organismen. Durch eine Verlängerung der Niedrigwasserperioden kann das Lebensraumgefüge vieler typischer Arten im Mittellauf eines Flusses empfindlich gestört werden. Zum Beispiel durch Verdichtungen der Kiespackungen und Verschlammung des Intitials können sich nachteilige Auswirkungen auf die Laichhabitate (z. B. der Äsche, aber auch von Langdistanzwanderfischen) ergeben.



Abb. 13: Äschen (Foto B. Stemmer)

Infolge einer permanent geringen Wasserführung können Kiesbänke von verschiedenen Pflanzenarten besiedelt werden. Dies führt dazu, dass z. B. Flussuferläufer und Flussregenvpeifer auf solchen vegetationsreichen Inseln nicht mehr brüten. Ferner würden Insekten, die das Lückensystem der Bänke besiedeln, infolge der Vegetationsentwicklung verschwinden. Dies bedeutet auch, dass wichtige Nahrungshabitate für einige Vogelarten verloren gehen können. Röhrichtsäume, die die regelmäßige Überflutung ihrer Wurzeln brauchen, sind ebenso gefährdet.

Barben- und Brassenregion/Unterlauf

Bei extremen Niedrigwasserperioden kann es zum Absterben der gesamten Fischbrut in der Barben- und Brassenregion kommen, da häufig eine Bindung an ufernahe Pflanzen notwendig ist. Ebenso können die im aquatischen Uferbereich siedelnden Großmuscheln betroffen sein.

Für die Wasserwechselzone im Unterlauf können Niedrigwassersituationen dazu führen, dass Schlickflächen im Frühjahr länger trocken fallen als unter natürlichen Bedingungen. Amphibienlaich, der sich in den Vertiefungen dieser Bereiche entwickelt, trocknet aus und stirbt ab. Für einige Vogelarten kann der Rückgang der Amphibien den Verlust von Beutetieren bedeuten.

Eine Verbesserung der Gewässermorphologie wirkt daher minimierend auf die ökologischen Auswirkungen anthropogen verursachter Niedrigwasserperioden.

Kaulbarsch-Flunderregion (Mündung/Delta)

In der Kaulbarsch-Flunderregion ist ein Auftreten von Niedrigwasser nicht zu erwarten. Langanhaltende Niedrigwassersituationen im Einzugsgebiet eines Flusses können möglicherweise zu einer Verschiebung der Brackwasserzone führen. Hält diese Situation langfristig an sind Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung möglich.

Auen

Eine Absenkung von Grundwasserständen in benachbarten Auengebieten kann langfristig zu einer Veränderung der grundwasserabhängigen Vegetation und zu Artenverlusten führen. Die Verdrängung von Arten aufgrund veränderter Lebensbedingungen hat immer auch Auswirkungen auf das Nahrungsgefüge und kann daher weitere Verschiebungen in der Artenzusammensetzung bewirken, da beispielsweise die Nahrungsgrundlage für bestimmte Vogelarten nicht mehr vorhanden ist.

Fazit

Niedrigwasser haben ökologische Auswirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft von Fließgewässern. Parameter mit besonderer Bedeutung sind die Wassertemperatur, der Wasserstand sowie die Sauerstoffkonzentration. Über die natürliche Niedrigwasservariabilität hinausgehende Trockenperioden führen zu Artenverschiebungen im und am Gewässer.

2.2 Nutzungsbezogene Auswirkungen

Nutzungsbezogene Auswirkungen von Niedrigwasser resultieren sowohl aus dem verringerten Wasserdargebot als auch aus Veränderungen der Wasserqualität. Niedrige Wasserstände und geringe Durchflüsse beeinträchtigen zahlreiche Nutzungen wie z. B. Schifffahrt, Wasserentnahmen u. ä. unmittelbar. Die stark verringerte Abflussmenge führt aufgrund des geringeren Verdünnungsverhältnisses zu einer entsprechend erhöhten Konzentration von Wasserinhaltsstoffen aus natürlichen oder anthropogenen Quellen. Weiterhin kommt es zu einer verstärkten Aufheizung der Gewässer, sowohl infolge direkter Sonneneinstrahlung als auch durch das schlechtere Verdünnungsverhältnis beim Einleiten von erwärmtem Abwasser oder Kühlwasser.

Hierdurch werden viele Nutzungsbereiche in komplexer Weise beeinflusst, wobei zwischen den betroffenen Nutzungen Verflechtungen und Abhängigkeiten bestehen und häufig Nutzungskonflikte zu erwarten sind.

Im Folgenden werden die wichtigsten nutzungsbezogenen Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen beschrieben:

2.2.1 Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung, betriebliche Brauchwasserversorgung sowie private Wassernutzung können durch Niedrigwasserperioden erheblich beeinträchtigt werden.

Sinkende Wasserstände in den Flüssen und Talsperren erschweren oder verhindern im Extremfall die Wasserentnahme aus diesen Oberflächengewässern sowie die Gewinnung von Uferfiltrat. Längerfristige Trockenperioden führen auch zu fallenden Grundwasserständen. Als Folge hiervon sinkt das für die Wasserversorgung nutzbare Grundwasserdargebot und

auch die Quellschüttungen lassen nach. Betroffen sind insbesondere Bereiche mit geringem Flurabstand, große Schotterflächen oder Festgesteinsgrundwasserleiter.

Bei der Wasserentnahme aus Fließgewässern ist aus ökologischen und nutzungsbezogenen Gründen ein Mindestabfluss zu belassen. Wird diese Grenze infolge des geringeren Wasserdargebots in Niedrigwasserzeiten erreicht oder gar unterschritten müssen die Wasserentnahmen eingeschränkt oder ganz eingestellt werden.

Einschränkungen können jedoch nicht nur durch die reduzierte Wassermenge sondern auch durch eine schlechtere Wasserqualität und erhöhte Wassertemperaturen verursacht werden, wenn hierdurch die Eignung des Wassers für spezielle Verwendungszwecke in Frage gestellt wird. Insbesondere an intensiv genutzten Gewässerabschnitten sind Nutzungskonflikte zwischen den verschiedenen Nutzern zu erwarten.

Als Folge der Wasserknappheit drohen bei der öffentlichen Wasserversorgung Einschränkungen des Wasserverbrauchs, wie Verbote zur Gartenbewässerung, Befüllen von Schwimmbecken, Straßenreinigung usw. Für die betroffenen Betriebe können durch die Einschränkungen in der Kühl- und Betriebswasserversorgung Produktionsausfälle entstehen und erhebliche wirtschaftliche Schäden und Wettbewerbsnachteile erwachsen. Die Entnahmen von Wasser im Rahmen des so genannten Gemeingebrauchs, z. B. zum Bewässern von Gärten und Rasenflächen oder zum Befüllen von Gartenteichen, sowie die Wasserentnahme durch Kommunen zum Bewässern von öffentlichen Grünflächen, Sportflächen und dergleichen müssen aufgrund der geringen Abflussmenge eingeschränkt oder völlig eingestellt werden. Wird ersatzweise Wasser aus der öffentlichen Wasserversorgung genutzt, so erhöhen sich die Kosten und die infolge der Trockenperiode möglicherweise bestehenden Versorgungsengpässe bei der Trinkwasserversorgung werden zusätzlich verschärft.

2.2.2 Energiewirtschaft

Die Energiewirtschaft ist durch Niedrigwasser in besonderem Maße betroffen.

Die mit Hilfe der Wasserkraft gewonnene elektrische Energie wird überwiegend von Flusskraftwerken an den Staustufen kanalisierter Flüsse oder von Wasserkraftanlagen an Talsperren erzeugt. Ein weiterer Teil stammt aus Ausleitungswasserkraftanlagen, meist ehemalige Mühlenbetriebe, an Mittelgebirgsgewässern. Bei Wasserkraftanlagen führt die geringere nutzbare Wassermenge während der Niedrigwasserperiode zu Einbußen bei der Kraftwerksleistung und zu zeitlichen Einschränkungen des Turbinenbetriebes.

Der Großteil der elektrischen Energie wird in fossil befeuerten Wärmekraftwerken und Kernkraftwerken erzeugt, wobei das benötigte Kühlwasser aus größeren Flüssen entnommen und nach Gebrauch mit erhöhter Temperatur und um Verdunstungsverluste vermindert wieder in diese eingeleitet wird. Aus gewässerökologischen Gründen werden hierbei durch die Wasserbehörden Grenzwerte für die zulässige Temperatur und die Aufwärmspanne im Gewässer unterhalb der Einleitungsstelle sowie für die Einleittemperatur festgesetzt. Zusätzlich kann die zulässige Verdunstungswassermenge festgeschrieben werden.

Steht das Kühlwasser nicht in ausreichender Menge zur Verfügung oder können die Grenzwerte hinsichtlich der Temperatur nach der Wiedereinleitung des aufgeheizten Kühlwassers nicht eingehalten werden, muss die Kraftwerksleistung gedrosselt werden. Im Extremfall müssen einzelne Kraftwerke abgeschaltet werden.

Bei mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken kann auch die Brennstoffversorgung beeinträchtigt werden, wenn der Brennstoff überwiegend mit Binnenschiffen angeliefert wird und die Schifffahrt infolge des Niedrigwassers eingeschränkt werden muss. Gegebenenfalls

müssen die Kraftwerksbetreiber kurzfristig auf andere Transportmittel (Bahn, LKW) zurückgreifen, was in der Regel zu höheren Transportkosten führt.

Die reduzierte Stromproduktion und gegebenenfalls der Ausfall einzelner Kraftwerke beeinträchtigen letztlich die Versorgungssicherheit, zumal gerade während einer Hitzeperiode mit einem erhöhten Strombedarf für den Betrieb von Klimaanlage und Kühlaggregate zu rechnen ist. Soweit möglich müssen die Produktionsausfälle durch den Bezug von Strom aus nicht betroffenen Anlagen ausgeglichen werden. Im Extremfall drohen Stromrationierungen oder Netzausfälle mit weit reichenden wirtschaftlichen Folgen.

2.2.3 Verkehr, Schifffahrt

Die Schifffahrt wird in frei fließenden Flüssen durch die geringere Abladetiefe und die Einengung der Fahrrinne infolge des Niedrigwassers behindert. Die Schiffe können weniger Ladung transportieren, wodurch sich die Transportkosten erhöhen. Die Gefahr eines Unfalles durch Grundberührung oder Havarien in den verengten und dichter befahrenen Fahrinnen steigt. Bei extremen Niedrigwasserständen muss die Schifffahrt gegebenenfalls streckenweise eingestellt werden. In staugeregelten Gewässern und Kanälen kann im Niedrigwasserfall der Schleusenbetrieb wegen der fehlenden Wassermenge nicht sichergestellt werden. Der Wasserbedarf kann durch den Einsatz von Sparschleusen und die Optimierung des Schleusenbetriebs gering gehalten werden. Häufig werden diese Wasserstraßen über Pumpwerke mit Speisungswasser versorgt. Bei Niedrigwasser kann dann der Schleusenbetrieb aufrechterhalten werden. Jedoch erhöhen sich durch den größeren Wasserbedarf der Energiebedarf und damit die Pumpkosten.



Abb. 12: Niedrigwasser 2003 am Mittelrhein (Foto L RhP)

Wichtige Transporte müssen bei Einschränkung oder Einstellung der Schifffahrt auf andere Verkehrsträger (Schiene, Straße) verlagert werden. Dies hat für die Binnenschifffahrt wirtschaftliche Nachteile und für die Verbraucher erhöhte Preise zur Folge. Bei länger andauernden Niedrigwasserperioden drohen Versorgungsengpässe, z. B. bei Kohle, Öl, Treibstoffen usw., was wiederum Produktionsausfälle in abhängigen Industriebetrieben oder Kraftwerken zur Folge haben kann.

Neben der Frachtschifffahrt ist ebenso der Betrieb von Fahrgastschiffen und Fähren betroffen, die unter Umständen aufgrund des niedrigen Wasserstandes auch ihre Anlegestellen nicht mehr erreichen können.

2.2.4 Land- und Forstwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft sind von den Folgen einer Trockenperiode unmittelbar betroffen.

In vielen Regionen ist die künstliche Beregnung oder Staubewässerung landwirtschaftlicher Flächen erforderlich. Das benötigte Wasser wird aus Oberflächengewässern oder aus dem Grundwasser entnommen, wobei das verringerte Wasserdargebot bzw. sinkende Grundwasserstände zu einer Reduzierung der Entnahmemenge und im weiteren zur Einstellung der künstlichen Bewässerung führen können.

Für die Landwirte sind Ernte- und Verdienstaufälle zu erwarten. Für die Verbraucher sind höhere Lebensmittelpreise die Folge.

Für die Forstwirtschaft sind als Folge sinkender Grundwasserstände eine reduzierte Holzproduktion sowie eine verstärkte Anfälligkeit der Bäume für Krankheiten und Schädlingsbefall und eine Zunahme der Waldschäden zu befürchten. Die so vorgeschädigten Bäume sind wiederum anfälliger für Sturmschäden. Während der Trockenperiode steigt auch die Waldbrandgefahr, wobei zudem die Löschwasserversorgung durch ausgetrocknete Gewässer beeinträchtigt sein kann. Neben den wirtschaftlichen Schäden führt die Schädigung des Waldes auch zu nachteiligen Folgen für den Wasserhaushalt.

2.2.5 Fischerei

Die im Kapitel „Ökologische Auswirkungen“ beschriebenen Folgen von Niedrigwasserereignissen auf den Fischbestand, wie z. B. Fischsterben und gehäuftes Auftreten von Krankheiten, beeinträchtigen die Erträge sowohl der berufsmäßig betriebenen Fischereiwirtschaft als auch der Sport- und Freizeitangler. Hinzu kommen die finanziellen Aufwendungen für den Neubesatz der betroffenen Gewässerabschnitte.

Auch die Betreiber von Fischteichen und Fischzuchtanlagen müssen mit nachteiligen Auswirkungen rechnen. Werden die Teiche aus Oberflächengewässern gespeist, kann die Versorgung mit ausreichend frischem Wasser beeinträchtigt sein.

2.2.6 Abwasserbeseitigung

Die kommunale Abwasserbeseitigung ist in der Regel von Niedrigwasser nicht direkt betroffen. Im Niedrigwasserfall können sich Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen jedoch auf Grund der verringerten Verdünnung und der damit verbundenen erhöhten Stoffkonzentration sowie weiterer Aspekte wie der Temperaturerhöhung im Gewässer sowohl auf die Gewässerökologie als auch auf andere Nutzungen negativ auswirken. Außerdem bewirken Spülstöße aus Misch- und Regenwasserentlastungen bei Starkregenereignissen nach längeren Trockenperioden eine signifikante Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse.

Entsprechende Probleme ergeben sich bei der Einleitung von Produktionsabwässern oder Kühlwasser. Werden aufgrund des geringeren Verdünnungsverhältnisses die vorgegebenen Grenzwerte hinsichtlich der Schadstoffkonzentration oder der Temperatur im Gewässer überschritten, muss die Wassereinleitung gedrosselt oder völlig eingestellt werden, wenn entsprechende Auflagen existieren.

2.2.7 Tourismus, Freizeit, Erholung

In den Bereichen Tourismus, Freizeit und Erholung sind sowohl negative als auch positive Effekte zu erwarten. Neben den Flüssen sind hier besonders auch Seen und Talsperren betroffen, soweit sie für diese Nutzungen freigegeben sind.

Die gerade während einer Hitzeperiode beliebten Freizeitaktivitäten wie Baden, Wassersport und Bootssport werden durch die geringere Wasserfläche und –tiefe behindert. Außerdem drohen Badeverbote infolge verschlechterter Wasserqualität und erhöhter Keimzahl.

Für den Betrieb von Privatbooten und Fahrgastschiffen gelten die im Abschnitt Schifffahrt genannten Einschränkungen.



Abb. 13: Trockengefallenes Boot an der unteren Havel 2003 (Foto WSA Brandenburg)

In den betroffenen Regionen sind entsprechende Einnahmeverluste in der Tourismusbranche zu erwarten.

Andererseits üben trocken gefallene Flüsse und Talsperren auch eine anziehende Wirkung auf die Menschen aus, so dass die vorgenannten Einbußen durch den einsetzenden Niedrigwassertourismus zumindest teilweise wieder ausgeglichen werden können.

Fazit

Die ökonomischen Schäden der mit Niedrigwasserereignissen verbundenen Nutzungseinschränkungen sind zum Teil nur schwer quantifizierbar. Je nach Dauer, räumlicher Ausdehnung und den regionalen Gegebenheiten können erhebliche und weit reichende volkswirtschaftliche Schäden eintreten, die in ihrer Größenordnung vergleichbar mit den Folgen großer Hochwasserereignisse sind.

3. Strategien zur Verminderung der Auswirkungen

Die nachhaltige Reduzierung der Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen erfordert eine ganzheitliche Strategie, die administrative, planungs- sowie steuerungsrelevante Aspekte berücksichtigt. Der räumliche Maßstab von Niedrigwasserereignissen erfordert die Betrachtung auf der Ebene von Flussgebieten. Niedrigwassermanagement ist auf die Bewirtschaftung von Menge und Beschaffenheit sowie die Steuerung der Ressource Wasser im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden in Zeiten mit geringem Wasserdargebot ausgerichtet.

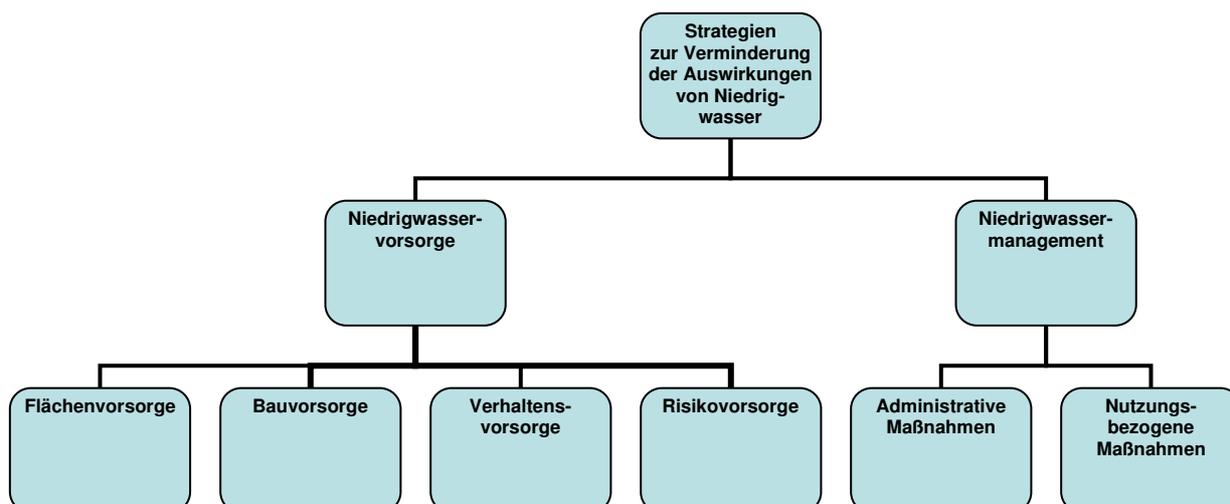


Abb. 13: Strategien zur Verminderung der Auswirkungen von Niedrigwasser

Strategien zur Verminderung der Auswirkungen von Niedrigwasserereignissen werden unterschieden in

- Niedrigwasservorsorge und
- Niedrigwassermanagement

Vorsorge umfasst alle Maßnahmen, die geeignet sind, die Entstehung und die Wirkung von Niedrigwasserereignissen im Vorfeld zu minimieren.

Niedrigwassermanagement ist dagegen darauf ausgerichtet, die Schäden während des Niedrigwassers, z. B. durch Steuerungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen, zu minimieren.

Aufgrund der engen Verknüpfung der hydrologischen Prozesse sind die Strategien zur Vorsorge für Hoch- und Niedrigwasser in vielen Fällen identisch.

3.1 Niedrigwasservorsorge

Vorsorge umfasst alle Maßnahmen, die geeignet sind, die Entstehung und die Wirkung von Niedrigwasserereignissen im Vorfeld zu minimieren. Dazu gehören insbesondere administrative und planerische Aspekte. Durch vorausschauende Planung kann die Empfindlichkeit gegenüber Niedrigwasser verringert werden.

Die zentralen Aufgaben der Niedrigwasservorsorge können in die Kategorien Flächenvorsorge, Bauvorsorge, Verhaltensvorsorge und Risikovorsorge untergliedert werden.

3.1.1 Flächenvorsorge

Die Flächenvorsorge kann sich der Instrumente Regionalplanung und Bauleitplanung bedienen. Anders als beim Hochwasserschutz sind die Instrumente der Niedrigwasservorsorge in entsprechenden Rechtsverordnungen bislang kaum verankert.

Regionalplanung

Bei der Novellierung des Raumordnungsgesetzes des Bundes 1997 wurden die verschiedenen Planungsebenen verpflichtet durch die Ausweisung von „Vorranggebieten“ und „Vorbe-

haltsgebieten“ die Aspekte der Hochwassergefahr und des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen. Eine analoge Vorgehensweise erscheint auch für das Niedrigwasser sinnvoll.

Für die vorgenannten „Vorranggebiete“ decken sich die Ziele des Hochwasserschutzes und der Niedrigwasservorsorge weitgehend, wie z. B. Erhaltung und Aktivierung natürlicher Überschwemmungsflächen, naturnahe Gewässerentwicklung und Auenrenaturierung. Die Ausweisung zusätzlicher Gebiete als Vorbehaltsgebiete für die Niedrigwasservorsorge sollten auf Grundlage von Niedrigwasseruntersuchungen festgelegt werden. Sie dienen der Vermeidung zusätzlicher Schadensrisiken durch Ausweisung von Defizitgebieten. In solchen Gebieten sollten Nutzungen mit hohem Wasserbedarf bzw. hoher Wärmelast ausgeschlossen werden. Weiterhin sind Vorranggebiete für die Grundwasserneubildung zu sichern.

Natürlicher Wasserrückhalt

Im Niedrigwasserfall werden die Oberflächengewässer überwiegend aus dem Grundwasser gespeist. Alle Maßnahmen, den natürlichen Wasserrückhalt zu erhöhen bzw. wieder herzustellen, haben deshalb positive Wirkungen auf den Grundwasserspeicher. Aus Sicht der Niedrigwasservorsorge sind alle Maßnahmen zu fördern, die zu einer Abflussverzögerung führen. Hierzu gehören insbesondere die naturnahe Entwicklung der Gewässer und Auen sowie die Renaturierung von naturfern ausgebauten Gewässerabschnitten. Höhere Grundwasserstände in den Auen können zu einer Erhöhung des nutzbaren Grundwasserdargebots in den angrenzenden Einzugsgebieten führen.

Die intensive Nutzung unserer Landschaft ist in der Regel mit einer beschleunigten Ableitung des Niederschlagswassers verbunden. Am intensivsten geschieht dies im urbanen Raum, wo durch den hohen Versiegelungsgrad und die Regenwasserkanalisation die Grundwasserneubildung stark reduziert wird. Aber auch in der Land- und Forstwirtschaft ist eine beschleunigte Wasserableitung zu verzeichnen. Dabei wirken mehrere Faktoren. Durch die intensive Nutzung wurden die Böden verdichtet und sind heute vielfach in ihrem Versickerungsvermögen beeinträchtigt. Vernässungsstellen wurden zur Sicherung der Nutzbarkeit entwässert. Im Ergebnis wird das Niederschlagswasser heute beschleunigt abgeleitet und trägt nicht zur Grundwasserneubildung bei. Wasserrückhalt auf der Fläche bedeutet deshalb, soviel Wasser wie möglich so lange wie möglich auf der Fläche zu halten und die Versickerung vor Ort zu begünstigen.

Dieser Forderung sollte durch eine den regionalen Gegebenheiten angepasste umweltschonende landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise Rechnung getragen werden. In der Forstwirtschaft ist die naturnahe Waldentwicklung mit standorttypischen Mischbeständen zu fördern.

3.1.2 Bauvorsorge

Bei der Bauvorsorge sind Kommunen, Architekten, Ingenieure und Bauherren gefordert. Durch angepasste Bauweisen kann der Oberflächenabfluss verringert werden. Im urbanen Raum sollte die dezentrale Versickerung weiter gefördert werden.

Der Anteil der versiegelten Flächen innerhalb der bebauten Bereiche ist hierfür möglichst gering zu halten. Stark versiegelte Bereiche sollten nach Möglichkeit entsiegelt und nicht mehr genutzte befestigte Flächen in Grünflächen umgewandelt werden. Wenn auf eine Befestigung nicht gänzlich verzichtet werden kann, sollte die Verwendung wasserdurchlässiger Beläge in Erwägung gezogen werden. Hierzu gehören Kies-Splitt-Decken, Schotterrasen, Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster, Rasenwaben, Holzroste, Holzpflaster und Porenpflaster.

Die bisherigen Entwässerungssysteme, die in der Regel eine rasche Ableitung des Niederschlagswassers zum Ziel haben, sollten soweit realisierbar durch Systeme zur Regenwas-

serbewirtschaftung ersetzt werden. Die Niederschläge sollten soweit möglich in Zisternen gespeichert, in Brauchwassersystemen und zur Bewässerung von Gärten und Grünflächen genutzt oder ortsnah versickert werden. Die Versickerung kann über einfach anzulegende Versickerungsmulden, durch Versickerungsschächte oder Rohr- Rigolenversickerungsanlagen erfolgen. Auch die Speisung von Teichen oder Feuchtgebieten kommt als Alternative zu einer raschen Wasserableitung in Frage.

Die entsprechenden Vorgaben sind in der Bauleitplanung der Kommunen zu verankern. Anreize zur Nutzung bzw. ortsnahen Versickerung des Niederschlagswassers können zudem durch eine gesplittete Abwassergebühr mit einer gesonderten Gebühr für das eingeleitete Niederschlagswasser geschaffen werden.

3.1.3 Verhaltensvorsorge

Verhaltensvorsorge umfasst die Sensibilisierung von Politik, Verwaltungen, Nutzern und der Öffentlichkeit für das Problem Niedrigwasser sowie das Ergreifen vorbereitender Maßnahmen.

Administrative Maßnahmen

Rechtsgrundlagen

Im **Wasserhaushaltsgesetz** des Bundes sind rahmenrechtliche Regelungen getroffen, die in den **Landeswassergesetzen der Bundesländer** und auch im **Bundeswasserstraßengesetz** durch eigenständige und ergänzende Regelungen konkretisiert sind.

Im Zusammenhang mit dem Thema Niedrigwasser sind insbesondere die aus der WRRL übernommenen Forderungen und die Erteilung von Benutzungsrechten von Bedeutung.

Nach der Umsetzung der WRRL in das nationale Recht schreiben diese Gesetze als Ziel die Erreichung bzw. den Erhalt eines guten Zustandes der Gewässer vor. Die Gewässer sollen geschützt, verbessert und saniert werden. Eine Verschlechterung des Zustandes ist zu verhindern. Als Instrumente sind hierfür Überwachungsprogramme für den ökologischen und chemischen Zustand, Maßnahmenprogramme (§ 36 WHG) und Bewirtschaftungspläne (§ 36b WHG) vorgesehen. Als Bewirtschaftungsziel sieht das WHG vor, dass oberirdische Gewässer, soweit sie nicht als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften sind, dass eine nachteilige Veränderung ihres ökologischen und chemischen Zustands vermieden und ein guter ökologischer und chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird (§ 25a WHG).

Benutzungen der Gewässer (§§ 3 ff WHG), wozu unter anderem das Aufstauen, Entnehmen oder Ableiten von Wasser, das Einleiten von Stoffen oder die nicht unerhebliche schädliche Veränderung der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit gehören, bedürfen einer behördlichen Erlaubnis oder Bewilligung. Die Behörden können dabei Nutzungsbedingungen und Auflagen erlassen, um nachteilige Auswirkungen auf das Gewässer oder andere Nutzungen zu verhüten oder auszugleichen. Auch nachträgliche Auflagen und Einschränkungen sind möglich. Die Ausübung von Erlaubnissen, Bewilligungen, alten Rechten und alten Befugnissen kann beschränkt werden, wenn das Wasser nach Menge und Beschaffenheit nicht für alle Benutzungen ausreicht oder sich diese beeinträchtigen und wenn das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die öffentliche Wasserversorgung es erfordert (§ 18 WHG), wobei ggf. Ausgleichszahlungen zu leisten sind.

Bewirtschaftungspläne nach Wasserrahmenrichtlinie müssen die Niedrigwasserproblematik berücksichtigen.

Darüber hinaus kann es erforderlich sein, einzelne Sektoren wie Wassermenge oder Wärmelast von Gewässern zu bewirtschaften. Zum Beispiel kommt die Aufstellung eines Wärmelastplanes in Betracht, wenn in Niedrigwasserzeiten vor allem die Aufwärmung des Gewässers durch Kühlwassereinleitungen zu Problemen führt.

In den Bewirtschaftungsplänen sind die Kriterien (Schwellenwerte) festzulegen, die den Eintritt eines Niedrigwasserereignisses für den betroffenen Gewässerabschnitt kennzeichnen. Als mögliche Parameter kommen z. B. die Gewässertemperatur, die Sauerstoffsättigung, die Abflussmenge und die zu erwartende Dauer des Niedrigwassers in Frage. In Zusammenarbeit mit den Wassernutzern müssen mögliche Nutzungskonflikte im Vorfeld erkannt und Prioritäten festgelegt werden. Daraus können Festlegungen entwickelt werden, welche Nutzungen bei Erreichen bzw. Unterschreiten der Schwellenwerte einzuschränken sind, wobei neben den gewässerökologischen Kriterien auch die Handlungsspielräume der Wassernutzer in die Überlegung einbezogen werden müssen.

Die Einbeziehung aller betroffenen Nutzer und der Öffentlichkeit ist im Hinblick auf die Akzeptanz der Ergebnisse und deren späteren Umsetzung von großer Wichtigkeit.

Bei **Erteilung / Anpassung wasserrechtlicher Bescheide** ist bereits im Vorfeld zu prüfen, an welchen Gewässern und an welchen Stellen die vorgesehene Benutzung unter Niedrigwasseraspekten erlaubnisfähig ist. Sinnvolle Alternativen sind zu prüfen. Die sich aus den Bewirtschaftungsplänen ergebenden Einschränkungen für bestimmte Nutzungen im Niedrigwasserfall sind in die wasserrechtlichen Bescheide aufzunehmen; bestehende Bescheide sind entsprechend anzupassen. Dies betrifft sowohl die Festlegungen für die einzuhaltenden Güteparameter, einschließlich der Temperatur, als auch quantitative Vorgaben, wie z. B. zur Einschränkung der Entnahmemengen. Bestehende Bescheide müssen überprüft und falls erforderlich entsprechend den Vorgaben der Bewirtschaftungspläne angepasst werden. Dies gilt insbesondere auch für die so genannten „alten Rechte“, die vielfach den heutigen Ansprüchen an eine ökologisch orientierte Wasserbewirtschaftung nicht entsprechen.

Die verstärkte **Überwachung** der Gewässerbenutzungen sowie der erlassenen Nutzungsbeschränkungen muss im Vorfeld organisiert werden. Dies kann gegebenenfalls in Verbindung mit dem Niedrigwassermonitoring geschehen.

Für **Niedrigwassermonitoring** sind die bestehenden Mess- und Pegelanlagen auf ihre Eignung zur Messung von Niedrigwasserabflüssen zu überprüfen. Soweit erforderlich sollte das Messnetz ausgebaut und hinsichtlich der spezifischen Anforderungen der Niedrigwasserbeobachtung optimiert werden. Dies gilt in gleicher Weise für die während des Niedrigwasserereignisses verstärkt zu überwachenden Gewässergüteparameter wie Temperatur, Sauerstoff- und Schadstoffgehalt.

Eine **Niedrigwasservorhersage** sollte für alle relevanten Gewässer eingeführt werden. Für die Eingliederung dieser Aufgabe bieten sich die vorhandenen Hochwasservorhersagezentralen an. Die erforderliche technische Ausstattung, insbesondere in Form von EDV-Anlagen und geeigneter Software, muss gewährleistet sein, ebenso ausreichend qualifiziertes Personal.

Für Niedrigwasserereignisse ist ein dem Hochwasserwarndienst vergleichbares Informationssystem aufzubauen. Dazu ist das erforderliche Personal zu benennen und zu schulen. Die Übertragungs- und Kommunikationswege zur Weitergabe der Informationen sind festzulegen, entsprechende Verteilerlisten sind zu erstellen und regelmäßig zu aktualisieren. Als Empfänger kommen in Frage: andere beteiligte Behörden, Kommunen, vom Niedrigwasser besonders betroffene Wassernutzer und die Medien. Für die Verteilung aktueller Informationen bietet sich hierbei die Nutzung von Internet und E-Mail an.

Die zur Niedrigwasservorsorge zu treffenden Maßnahmen erfordern eine intensive, ressortübergreifende **Zusammenarbeit und Abstimmung** von verschiedenen Behörden und unterschiedlicher Organisationseinheiten innerhalb der Behörden. Die frühzeitige Einbindung und der Informationsaustausch zwischen den beteiligten Stellen sind daher von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen. Die Befugnisse und Zuständigkeiten müssen frühzeitig geklärt und die Kommunikationswege festgelegt werden.

Die **Sensibilisierung der Öffentlichkeit** kann durch die Herausgabe von Broschüren, Pressemitteilungen, Beiträge in Rundfunk und Fernsehen, Ausstellungen oder Fachvorträge sowie durch die relativ einfache und kostengünstige Nutzung des Internets erfolgen. Die Öffentlichkeit, die betroffenen Wassernutzer und die Entscheidungsträger der Politik müssen über die mit einem Niedrigwasserereignis verbundenen Risiken und das nicht unerhebliche Schadenspotenzial aufgeklärt werden. Außerdem sollten Informationen über das richtige Verhalten während einer Niedrigwasserperiode und über mögliche Versorgungsmaßnahmen vermittelt werden. Neben den zuständigen Behörden können auch Hochschulinstitute, Fachverbände, Kommunen und Umweltschutzorganisationen wichtige Beiträge leisten.

Nutzungsbezogene Maßnahmen

Gewässerausbau und -unterhaltung müssen sich an natürlichen Gewässerstrukturen orientieren, da diese es dem Ökosystem Fließgewässer ermöglichen, mit Niedrigwasserzeiten besser umzugehen. Gewässer sind daher naturnah zu gestalten bzw. zu entwickeln. Einer zu starken Aufwärmung kleinerer Gewässer kann durch eine ausreichende Beschattung mit Hilfe von Baumanpflanzungen im Uferbereich vorgebeugt werden.

Es ist zu prüfen, ob technische Maßnahmen zur **Steuerung und Bewirtschaftung von Flussgebieten** zum Ausgleich kritischer Niedrigwassersituationen erforderlich sind. Die Realisierbarkeit sowie die Auswirkungen der Maßnahmen sind eingehend zu überprüfen. Als mögliche technische Maßnahmen kommen in Betracht:

- Speicher zur Niedrigwasseraufhöhung
- Überleitungen aus benachbarten Einzugsgebieten
- Pumpenkettensysteme an Wehren und Schleusen

Soweit noch nicht vorhanden sollten Bewirtschaftungsmodelle entwickelt werden. Die Steuerung vorhandener Einrichtungen wie Speicher, Überleitungen etc. ist für die verschiedenen relevanten Szenarien zu optimieren.



Abb.: Edertalsperre 2003, Aufnahme WSA Hann. Münden

Bei Niedrigwasser können in der warmen Jahreszeit kritische Sauerstoffverhältnisse auftreten, die eine Belüftung zur Stützung des Sauerstoffgehaltes erforderlich machen. Dies kann über Turbinen-, Wehr- oder Abwasserbelüftung, über die Zuschaltung von Kühltürmen oder lokale Notbelüftungsmaßnahmen erfolgen. Die Modalitäten der Belüftung sind in einem gewässerbezogenen Reglement mit Warn- und Alarmwerten, den jeweiligen Maßnahmen, den Zuständigkeiten und Informationswegen im Vorfeld festzulegen und mit den Beteiligten abzustimmen.

Wasserversorgungssysteme müssen hinsichtlich ihrer Versorgungssicherheit während einer länger andauernden Trockenperiode überprüft werden. Falls erforderlich sollten die Wasserversorgungsunternehmen zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung rechtzeitig alternative Wasserversorgungsmöglichkeiten erschließen. Der Ausbau von Verbundsystemen ist zu fördern, um bei Bedarf Wasser aus weiter entfernten, weniger stark beeinträchtigten Regionen zu beziehen. Wo dies möglich ist, können durch die Errichtung zusätzlicher Tiefbrunnen tiefere Grundwasserleiter erschlossen und damit die Abhängigkeit von oberflächennahen Grundwasservorkommen oder Quellen gemindert werden. Maßnahmen zur Grundwasseranreicherung sollten in die Überlegungen einbezogen werden.

Für den Fall, dass die Wasserversorgung einzelner Regionen nicht sichergestellt werden kann, sind in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden Notfallpläne zu erstellen. Hierbei sind die möglichen Einschränkungen des Wasserverbrauchs festzulegen, z. B. Verbote der Wassernutzung zur Gartenbewässerung, zum Befüllen von Teichen oder Schwimmbädern, zur Autowäsche oder zur Straßenreinigung. Weiterhin ist die Notversorgung der Bevölkerung, z. B. durch Tankfahrzeuge, und die Versorgung wichtiger oder sensibler Einrichtungen (Krankenhäuser, Altenheime, Schulen usw.) zu organisieren.

Für Industrie und Gewerbebetriebe bedeutet Niedrigwasservorsorge insbesondere, Vorsorgemaßnahmen für Wassermangelsituationen zu treffen. Für den Notfall müssen Konzepte für alternative Wasserversorgungs- und Kühlmöglichkeiten sowie Pläne für Produktionseinschränkungen oder –umstellungen entwickelt werden. Dabei sind die in den Bewirtschaftungsplänen und wasserrechtlichen Bescheiden getroffenen Festlegungen zu beachten. Niedrigwassersituationen sollten bereits bei der Standortentscheidung berücksichtigt werden.

Die **Energiewirtschaft** sollte über Notfallpläne für den Energiebezug aus anderen vom Niedrigwasser nicht betroffenen Kraftwerken verfügen. Die Stromverbundsysteme müssen hierfür technisch und organisatorisch vorbereitet sein. Um Brennstoffmangel infolge eingeschränkter Transportkapazitäten der Schifffahrt vorzubeugen, sind rechtzeitig alternative Transportmöglichkeiten zu erkunden und Brennstoffe in ausreichender Menge zu bevorraten. Der verstärkte Einsatz von Energieerzeugungsverfahren, die nicht auf die Kühlwasserentnahme angewiesen sind, trägt ebenfalls zur Minderung des Problems bei.

Für die **Binnenschifffahrt** muss eine ständige aktuelle Information über die Niedrigwassersituation verbunden mit einer Prognose hinsichtlich der weiteren Entwicklung sichergestellt sein. Für die Bewirtschaftung von Kanälen und staugeregelten Flüssen sind nach Möglichkeit Wasser sparende Technologien einzusetzen um insbesondere die Wasserverluste bei Schleusungsvorgängen zu minimieren. Ferner sind Errichtung und Betrieb technischer Einrichtungen wie Pumpenkettens an Schleusen, Überleitungen aus Gewässern mit ausreichend hohem Dargebot oder die Errichtung von Speichern in Betracht zu ziehen.

In der **Landwirtschaft** können für die Sicherstellung der Bewässerung Verbundsysteme geschaffen werden, über die Wasser aus ausreichend leistungsstarken Fließgewässern, Seen, Grundwasserleitern oder Talsperren entnommen werden kann. Auch der Wasserbedarf der angebauten Pflanzen ist in die Überlegungen mit einzubeziehen. Nach Möglichkeit sollten bevorzugt Pflanzen angebaut werden, die über das natürliche Wasserdargebot hinaus keine zusätzliche Bewässerung benötigen. Wassersparende Bewässerungsmethoden z.B. Tropfenbewässerung sollten wasserintensiven wie der Beregnung vorgezogen werden.

In der **Forstwirtschaft** ist die naturnahe Waldentwicklung zu fördern. Die Schaffung standorttypischer Mischbestände kann durch die bessere Durchwurzelung zur Verbesserung der Wasserspeicherung im Boden beitragen.

Die **Fischerei** kann für Niedrigwasserzeiten Vorsorge für die Speisung der Anlagen mit frischem Wasser treffen und gegebenenfalls Filteranlagen und Anlagen zur Sauerstoffanrei-

cherung bereithalten. Bei gefährdeten Teichen, Seen und Talsperren können ebenfalls Maßnahmen zur künstlichen Belüftung in Erwägung gezogen werden.

Für die **Abwasserbeseitigung** ist bereits bei der Planung von Entwässerungsnetzen die Wasserführung und –qualität der Vorfluter im Niedrigwasserfall zu prüfen und die Lage von Einleitungs-/Entlastungsstellen entsprechend zu optimieren. Für vorhandene Netze kann durch den Ausbau der Abwasserbehandlungsanlagen und eine optimierte Betriebsweise die Auswirkungen der Abwassereinleitung auf das Gewässer gemindert werden. Um die Auswirkungen von Spülstößen bei Starkregenereignissen nach einer längeren Trockenperiode zu minimieren sollten ausreichend große Rückhalteanlagen errichtet und die bereits erwähnten Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung verwirklicht werden. Die Kanäle und Stauräume sind regelmäßig zu reinigen, um größeren Schmutzansammlungen vorzubeugen.

Gewerbliche und industrielle Einleiter haben zu prüfen, ob die in den wasserrechtlichen Bescheiden und Bewirtschaftungsplänen festgesetzten Grenzwerte hinsichtlich Temperatur und Schadstoffgehalt für alle Niedrigwasserszenarien eingehalten werden. Sofern dies nicht gewährleistet werden kann, sollten Pläne für Produktionseinschränkungen oder –umstellungen entwickelt werden.

Die **Tourismusbranche** sollte sich rechtzeitig auf alternative Angebote vorbereiten und dabei soweit möglich auch die Vermarktung von Niedrigwasserereignissen mit einbeziehen.

3.1.4 Risikovorsorge

Extreme Niedrigwasserereignisse können nicht verhindert werden. Da die Möglichkeit zur Niedrigwasserstützung und –bewirtschaftung begrenzt sind, ist es wichtig, das Bewusstsein bei den Zuständigen und Betroffenen für das Niedrigwasserrisiko zu schaffen und zu erhalten.

Zur Risikovorsorge können Versicherungen abgeschlossen und eigene Rücklagen gebildet werden.

Im Schadensfall wird oft finanzielle Unterstützung durch den Staat gefordert. Eine Risikovorsorge in Form einer Versicherung könnte die Eigenvorsorge unterstützen und die öffentliche Hand entlasten. Die Versicherungswirtschaft wird daher aufgefordert, entsprechende Angebote zu entwickeln.

3.2 Niedrigwassermanagement

Das Niedrigwassermanagement ist auf die mengen- und beschaffenheitsmäßige Bewirtschaftung und Steuerung der Ressource Wasser im Hinblick auf die Vermeidung von Schäden in Zeiten mit geringem Wasserdargebot ausgerichtet. Es handelt sich um eine vielschichtige Aufgabe, die administrative, juristische, planungs- und steuerungstechnische Aspekte aufweist.

Handlungsebenen bedürfen entsprechend der Großräumigkeit von Niedrigwasserereignissen einer Koordination zwischen zentralen, regionalen und lokalen Handlungsträgern. Das Niedrigwassermanagement auf Flussgebietsebene macht auch eine länderübergreifende Koordination notwendig.

Um alle Maßnahmen optimal aufeinander abzustimmen kommt der Kommunikation der Behörden untereinander sowie mit den betroffenen Nutzern eine entscheidende Bedeutung zu.

3.2.1 Administrative Maßnahmen

Die **Vorhersage** der Entwicklung eines Niedrigwasserereignisses ist nur begrenzt möglich. Für ein fundiertes Niedrigwassermanagement sind jedoch zeitlich, räumlich und quantitativ differenzierte Vorhersagen notwendig. Der Vorhersagezeitraum sollte mindestens mehrere Tage umfassen. Zusätzlich können Abschätzungen für mögliche längerfristige Entwicklungen von Wasserstand und Abfluss bei Annahme von ungünstigen Witterungsverhältnissen (kein Regen, hohe Lufttemperatur) hilfreich sein.

Auf der Grundlage aktueller Abflussdaten und einer möglichst zuverlässigen Wetterprognose ist die weitere Entwicklung des Abflussgeschehens für die Folgetage zu prognostizieren. Zum Einsatz kommen hierbei Simulationsverfahren. Zur Überprüfung der Vorhersage und zur Anpassung der Modelle ist die tatsächliche Entwicklung durch Abflussmessungen an den betroffenen Gewässern zu verfolgen.

Praxisbeispiele

In Baden-Württemberg werden von der Hochwasservorhersagezentrale der LUBW täglich landesweit für rd. 90 Pegel Abflussvorhersagen veröffentlicht. Die Vorhersagen umfassen einen Zeitraum von 7 Tagen und sind für Niedrig- und Mittelwassersituationen gültig. Die Vorhersagen geben Informationen zum mittelfristig erwarteten Rückgang der Wasserstände bei weiterer Trockenheit bzw. zu möglichen Wasserstandsanstiegen, die mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM berechnet werden.

Eingangsdaten sind Messdaten für Niederschlag, Lufttemperatur, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Luftdruck sowie Wasserstände bzw. Abflüsse an den Pegeln bis zum Vorhersagezeitpunkt. Auf Basis dieser Daten berechnet das Wasserhaushaltsmodell im 1x1 km Raster u. a. die aktuelle Bodenfeuchte, die Verdunstung durch Pflanzen und Landoberflächen, die Wasserabgabe aus den Einzugsgebieten sowie den Wassertransport in den Flüssen.

Neben Verwendung der Wettervorhersagen wird für alle Pegel zusätzlich eine No-Rain-Vorhersage berechnet, d. h. unter der Annahme, dass im Vorhersagezeitraum kein Niederschlag fällt.

Für den Main werden seit 2003 werktäglich Wasserstandsvorhersagen von der Hochwasservorhersagezentrale Main in Bamberg veröffentlicht.

Bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde wurde das Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS entwickelt und an verschiedene Flusssystemen angepasst. Es befindet sich in unterschiedlichen Vorhersagezentralen im Einsatz.

Die Verlässlichkeit der Niedrigwasservorhersagen nimmt entsprechend den verwendeten Wettervorhersagen mit zunehmendem Vorhersagezeitraum ab. Die Abflussvorhersage für kleinere Einzugsgebiete (< 500 km²) sind mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet, da kleinräumige Niederschlagsstrukturen von den Wettermodellen nur überschlägig erfasst werden.

Neben der Abflussmenge sind auch die Güteparameter, hier insbesondere Temperatur und Sauerstoffgehalt, zu überwachen. Auch hier sind Vorhersagesysteme möglich.

Die Bestrebungen zum Aufbau eines europäischen Dürrenbeobachtungssystems sollten vor dem Hintergrund einer möglichen Verbesserung der Vorhersagesysteme unterstützt werden.

Im Rahmen der **Überwachung** haben die Wasserbehörden während der Niedrigwasserperiode verstärkt darauf zu achten, dass die in den wasserrechtlichen Bescheiden und Bewirtschaftungsplänen festgelegten Nutzungsbeschränkungen befolgt werden. Dazu ist eine verstärkte Überwachung der verschiedenen Nutzungen und die Beobachtung der gewässerspezifischen Parameter (Abflussmenge, Güte, Temperatur,...) erforderlich, um kritische Gewäs-

serzustände rechtzeitig zu erkennen und ggf. Abhilfemaßnahmen in die Wege leiten zu können.

Ordnungsbehördliche Maßnahmen können notwendig werden, wenn kritische Gewässerzustände bevorstehen oder bereits erreicht sind.

So können weitere über die Festlegungen in den wasserrechtlichen Bescheiden hinausgehende Nutzungsbeschränkungen erlassen werden.

Weiterhin sind die Einschränkungen des Gemeingebrauchs oder Aufrufe an die Bevölkerung zum sparsamen Umgang mit Trinkwasser denkbar.

Werden bei der Überwachung Verstöße gegen die festgelegten Nutzungsbeschränkungen festgestellt, müssen die Wasserbehörden umgehend für deren Einhaltung sorgen. Dies kann zunächst durch Aufklärung und Information der betroffenen Nutzer erfolgen. Bei andauernden Verstößen muss auf ordnungsbehördliche Maßnahmen (Erteilen einer Anordnung, Festsetzen eines Bußgeldes, ggf. Strafverfahren) zurückgegriffen werden.

In Einzelfällen kann auch die Erteilung von befristeten Ausnahmegenehmigungen in Frage kommen, z. B. wenn bestimmte Nutzungen aus technischen oder ökonomischen Gründen nicht eingestellt werden können bzw. von erheblicher Bedeutung sind (z.B. Sicherstellung der Stromversorgung). Die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen sollte jedoch äußerst restriktiv erfolgen. Es sollten zunächst alle vertretbaren Vermeidungsmaßnahmen unternommen werden. Bei der Minimierung des Wärmeeintrags gehört hierzu z. B. die Ausnutzung aller Rückkühlmöglichkeiten, ggf. die Drosselung oder zeitliche Verlagerung der Produktion. Die Überschreitung der Einleitbedingungen darf keine erheblichen schädlichen Auswirkungen auf das Gewässer und die Biozönose haben.

Ein begleitendes Monitoring ist sicher zu stellen.

Die **Information der Öffentlichkeit und der Nutzer** ist ein wesentlicher Bestandteil des Niedrigwassermanagements. Auf der Grundlage der Niedrigwasservorhersage sind rechtzeitig Niedrigwasserwarnungen herauszugeben und die Öffentlichkeit sowie die betroffenen Nutzer und die weiteren in das Niedrigwassermanagement eingebundenen Behörden über die zu erwartende Entwicklung zu informieren. Insbesondere die Zeit zwischen dem Beginn einer Niedrigwasserperiode und dem Eintritt kritischer Niedrigwasserstände muss durch eine zeitnahe Information zur Schadensvorbeugung und –minderung genutzt werden.

Während des Niedrigwasserereignisses sind die Öffentlichkeit und die Wassernutzer über die aktuelle Situation zu informieren und über angemessene Verhaltensweisen aufzuklären. Die Wassernutzer müssen über das Erreichen der festgesetzten Schwellenwerte und die daraus resultierenden Nutzungseinschränkungen informiert werden.

Neben Presse, Rundfunk und Fernsehen bietet sich hierfür vor allem die Nutzung von Internet und E-Mail zur schnellen Informationsverbreitung an.

3.2.2 Nutzungsbezogene Maßnahmen

Die **Steuerung und Bewirtschaftung von Flussgebieten** ermöglicht im Niedrigwasserfall eine direkte Einflussnahme auf die Niedrigwasserabflüsse und damit eine Vermeidung extremer Situationen. Da Niedrigwasserereignisse großräumige Ausdehnung besitzen ist ein Niedrigwassermanagement meist nur auf der Basis von Flussgebieten sinnvoll.

Im Niedrigwasserfall sind die wasserwirtschaftlichen Anlagen so zu steuern, dass die nachteiligen Folgen des Niedrigwassers in Bezug auf die Gewässerökologie und die Nutzungen am Gewässer minimiert werden.

Die Niedrigwasseraufhöhung kann durch eine geregelte Wasserabgabe aus künstlichen Speichern (Talsperren) oder durch die Überleitung von Wasser aus anderen Flussgebieten erfolgen.

Auch durch die Optimierung der Bewirtschaftung von Kanälen und staugeregelten Flüssen kann die Niedrigwassersituation entschärft werden. Beim Betrieb von Schleusenanlagen ist darauf zu achten, dass die Wasserverluste z. B. durch eine Reduzierung der Anzahl der Schleusungen minimiert werden.

Durch eine optimale Bewirtschaftung der Systeme sind die vorhandenen Kapazitäten unter Berücksichtigung der vorhandenen Nutzungen sowie gewässerökologischer Aspekte möglichst effektiv zu nutzen. Insbesondere für komplexe Gewässersysteme ist hierzu der Einsatz von Bewirtschaftungsmodellen erforderlich.

Wenn sich eine Gefährdung der **Wasserversorgung** abzeichnet, müssen rechtzeitig Appelle an die Verbraucher zum sparsamen Umgang mit Trink- und Brauchwasser erfolgen.

Die Möglichkeit zum Bezug von Wasser aus anderen Regionen über Verbundleitungen oder die Nutzung zusätzlicher Tiefbrunnen sind zu nutzen.

Lässt sich die Mangelsituation nicht verhindern müssen die zuständigen Behörden Nutzungsbeschränkungen erlassen. So kann z. B. die Nutzung von Trinkwasser für Bewässerungszwecke, zum Befüllen von Teichen und Schwimmbecken oder zur Straßenreinigung verboten werden.

In Einzelfällen kann auch eine Notversorgung der Bevölkerung mit Tankfahrzeugen erforderlich werden. Die Versorgung von Krankenhäusern, Altenheimen, Schulen und ähnlichen Einrichtungen ist bevorzugt sicherzustellen. Für die Bevölkerung können an zentralen Stellen öffentliche Zapfstellen eingerichtet werden.

Kommunen und Privatpersonen können für Bewässerungszwecke auf gespeichertes Regenwasser in Zisternen, Teichen und Regentonnen oder die Nutzung von Brauchwasser zurückgreifen.

Industrie und Gewerbebetriebe müssen auf alternative Wasserversorgungs- und Kühlmöglichkeiten zurückgreifen. Falls dies nicht möglich ist, muss die Produktion eingeschränkt oder umgestellt werden.

In der **Energiewirtschaft** kann es während eines Niedrigwasserereignisses erforderlich werden, die Leistung einzelner Kraftwerke zu drosseln oder die Anlagen vollständig abzuschalten. In diesem Fall muss die Stromversorgung über das Verbundsystem durch Energiebezug von anderen Kraftwerken sichergestellt werden. In den von Niedrigwasser betroffenen Regionen sollten bevorzugt Anlagen ohne Kühlwasserbedarf genutzt werden. Kraftwerke, die auf Brennstofflieferungen per Schiff angewiesen sind müssen die gelagerten Brennstoffvorräte nutzen und auf alternative Transportsysteme wie Bahn oder LKW zurückgreifen.

Die **Binnenschifffahrt** ist während der Niedrigwasserperiode gezwungen, Ladung und Fahrtrouten der jeweiligen Situation anzupassen. Nach Möglichkeit können verstärkt staugeregelte Flüsse und Kanäle genutzt werden. Bei geringen Fahrwassertiefen in frei fließenden Strecken kann durch Verringerung der Ladung der Transport weitergeführt werden. In begrenztem Umfang kann die Möglichkeit der Niedrigwasseranreicherung durch eine Wasserabgabe aus Talsperren oder durch die Überleitung aus anderen Flussgebieten genutzt werden (siehe 3.1.3).

Für die **Landwirtschaft** besteht nur da die Möglichkeit, die Folgen eines Niedrigwasserereignisses auf ein erträgliches Maß zu reduzieren, wo Bewässerungswasser aus ausreichend leistungsstarken Fließgewässern, Seen, Grundwasserleitern oder Talsperren entnommen werden kann.

Die **Fischerei** kann zur Vermeidung von Fischsterben infolge von Sauerstoffmangel Maßnahmen zur Sauerstoffanreicherung durch das Versprühen von Wasser oder durch spezielle Belüftungsaggregate ergreifen.

Für die **Abwasserbeseitigung** existieren hinsichtlich des Niedrigwassermanagements nur sehr begrenzte Möglichkeiten. Durch eine rechtzeitige Reinigung der Kanäle können die Auswirkungen von Spülstößen bei Starkregenereignissen nach einer längeren Trockenperiode verringert werden.

Gewerbliche und industrielle Einleiter müssen gegebenenfalls die Produktion einschränken oder umstellen, wenn die in den wasserrechtlichen Bescheiden und Bewirtschaftungsplänen festgesetzten Grenzwerte hinsichtlich Temperatur und Schadstoffgehalt nicht eingehalten werden können.

Die **Tourismusbranche** kann sich während des Niedrigwasserereignisses auf alternative Angebote umstellen und dabei soweit möglich auch die Vermarktung von Niedrigwasserereignissen mit einbeziehen.

4. Leitsätze

Ein abgestimmter, regional differenzierter und nachhaltiger Umgang mit Niedrigwasser sollte folgende Leitsätze berücksichtigen:

Einzugsgebiete integriert bewirtschaften

Niedrigwasservorsorge erfordert eine integrierte Bewirtschaftung der Einzugsgebiete unter Berücksichtigung aller Sektoren, die von Niedrigwasser betroffen sind oder es beeinflussen. Zur Erreichung des guten ökologischen Zustands der Gewässer sehen die Fachgesetze die Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen vor. Auch in diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der Niedrigwasserproblematik unerlässlich. Sie ist bei der Bewertung der Gewässer und bei der Aufstellung der Maßnahmenprogramme zu berücksichtigen.

Grenzen erkennen

Niedrigwasser resultieren überwiegend aus natürlichen Prozessen. Der Einfluss des Menschen kann verschärfend wirken. Maßnahmen des Niedrigwassermanagements haben nur in begrenztem Umfang Einfluss auf die Schadenshöhe. Unter dem Aspekt des prognostizierten Klimawandels können Veränderungen der mittleren und vor allem auch der Extremwerte zur Verschärfung von Niedrigwasser führen. Neben der begrenzten Einflussnahme sind deshalb auch langfristigen Prognosen der Entwicklung von Niedrigwasser sowie der Niedrigwasservorsorge Grenzen gesetzt.

Wasser zurückhalten, Grundwasserneubildung fördern

Aus Sicht der Niedrigwasservorsorge sind alle Maßnahmen zu fördern, die zu einer Abflussverzögerung des Oberflächenwassers und zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildung führen. Dies kann durch eine naturnahe Entwicklung der Gewässer und Auen sowie eine an regionale Gegebenheiten angepasste umweltschonende landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise erfolgen. Niederschlagsabflüsse von versiegelten Flächen sind möglichst zurückzuhalten und dezentral zu versickern. Bei Baumaßnahmen sind die Neuversiegelung zu minimieren und Möglichkeiten zur Entsiegelung zu nutzen. In der Forstwirtschaft ist eine naturnahe Waldentwicklung mit standorttypischen Mischbeständen anzustreben.

Schadenspotenzial vermindern

Im Gegensatz zur Niedrigwasserentstehung unterliegt das durch Niedrigwasserperioden hervorgerufene Schadenspotenzial nahezu vollständig der Kontrolle und dem Einfluss des Menschen. Dem ist bereits im Rahmen der Flächenvorsorge zur Vermeidung von Schadensrisiken Rechnung zu tragen.

Niedrigwassergefahren bewusst machen

Anders als beim Hochwasser erfolgt beim Niedrigwasser ein allmählicher Übergang zu einer extremen Situation. Auch das Schadenspotenzial von Niedrigwasser wird gemeinhin unterschätzt. Es ist deshalb eine vordringliche Aufgabe, das Bewusstsein für die Niedrigwasserproblematik in Bevölkerung, Politik, Verwaltung und bei den Nutzern zu schärfen.

Vor Niedrigwasser warnen

Anders als bei anderen Elementarrisiken ist die Niedrigwasserentwicklung über einen längeren Zeitraum absehbar. Dieser Zeitraum kann zur Information der Allgemeinheit sowie zur konkreten Warnung von Nutzern zur Schadensminimierung genutzt werden.

Niedrigwasser vorhersagen

Eine zeitliche und räumliche Niedrigwasservorhersage ist die Grundlage für ein fundiertes Niedrigwassermanagement. Die Qualität der Vorhersagen ist unter Beachtung konkreter Anforderungen weiterzuentwickeln.

Niedrigwasser managen

Für die Sicherung von Nutzungen und zur Minimierung negativer ökologischer Auswirkungen in Niedrigwasserperioden ist ein Niedrigwassermanagement erforderlich. Dies kann durch eine Vielzahl von Maßnahmen wie zum Beispiel die Bereitstellung von Wasser aus künstlichen Speichern, Wärmelastpläne oder Wassersparmaßnahmen erfolgen. Zur Optimierung des Niedrigwassermanagements können Bewirtschaftungs- bzw. Entscheidungsmodelle eingesetzt werden.

5. Handlungsempfehlungen

5.1 Grundlagenermittlung

- Grundlage für Niedrigwasservorsorge und –management sind zuverlässige Wasserstands- und Durchflussdaten und langjährige Durchflussreihen. Besondere Sorgfalt ist auf die Durchflussmessung und Auswertung der Messungen im Niedrigwasserbereich zu legen.
- Zusätzlich werden von anthropogenen Einflüssen bereinigte, quasi-natürliche Durchflüsse benötigt. Die wichtigsten anthropogenen Einflüsse auf den Durchflussprozess wie Entnahmen, Einleitungen und Speicherwirkungen sowie indirekt wirkende Faktoren wie Veränderungen der Nutzung und der Versiegelung sind dafür zu erfassen.
- Eine Niedrigwasserstatistik für die wichtigsten Niedrigwasserkenngößen ist zu erarbeiten und regelmäßig aktuell zu halten.
- Um auch für Orte ohne Durchflussbeobachtungen Planungsgrundlagen zu erhalten, sind diese mittels Regionalisierungsverfahren zu ermitteln. Dazu sollten auch flächendeckende Wasserhaushaltsmodelle aufgebaut und eingesetzt werden.
- Zur Untersuchung und Lösung von Wasserbewirtschaftungsproblemen sind wasserwirtschaftliche Bilanzen aufzustellen und/oder Wasserbewirtschaftungsmodelle aufzubauen, um Szenarioanalysen durchführen zu können. Aspekte der Wassergüte sind einzubeziehen. Die Bewirtschaftungsmodelle können mit Ökosystemmodellen und sozioökonomischen Modellen gekoppelt werden.

5.2 Niedrigwasservorsorge und Niedrigwassermanagement

5.2.1 Handlungsempfehlungen an die Behörden

- Im Zuge der Regionalplanung sollten Vorbehaltsgebiete für die Niedrigwasservorsorge gesichert werden, in denen Nutzungen mit hohem Wasserbedarf bzw. hoher Wärmelast ausgeschlossen werden oder die vorrangig der Grundwasserneubildung dienen.
- Der natürliche Wasserrückhalt ist zu fördern, z. B. durch die naturnahe Entwicklung von Gewässern und Auen, Renaturierungsmaßnahmen und eine angepasste und umweltschonende Land- und Forstwirtschaft.
- Die dezentrale Versickerung im urbanen Bereich ist zu fördern, z.B. durch Verzicht auf Flächenbefestigungen oder durch Entsiegelungsmaßnahmen sowie durch die Speicherung und ortsnahe Versickerung des Niederschlagswassers.
- Für den Niedrigwasserfall ist ein Monitoringsystem zu entwickeln. Während des Niedrigwasserereignisses sind die Durchflussmenge sowie relevante Güteparameter zu überwachen.
- Als Voraussetzung für ein effektives Niedrigwassermanagement ist eine möglichst flächendeckende Niedrigwasservorhersage einzuführen. Die Vorhersage sollte sich über mehrere Tage erstrecken.

- Bei Niedrigwasser sind die Öffentlichkeit und die Wassernutzer zu warnen, über die aktuelle Situation und die zu erwartende Entwicklung zu informieren und über angemessene Verhaltensweisen aufzuklären.
- Flussgebiete sind, soweit möglich, im Hinblick auf eine Minimierung der schädlichen Folgen des Niedrigwasserereignisses zu bewirtschaften.
- Es sind Bewirtschaftungspläne aufzustellen, die Aussagen zu den Maßnahmen enthalten müssen, die im Niedrigwasserfall zu treffen sind. Die bestehenden wasserrechtlichen Bescheide müssen entsprechend angepasst werden.
- Während des Niedrigwasserereignisses sind die in den wasserrechtlichen Bescheiden und Bewirtschaftungsplänen festgelegten Nutzungsbeschränkungen von den zuständigen Behörden zu überwachen.
- Bei Bedarf sind weitere Einschränkungen der Wassernutzung anzuordnen.
- Bei Bedarf ist der Gemeingebrauch einzuschränken.
- In Einzelfällen sind Ausnahmegenehmigungen zu erteilen.
- Zur Verbesserung der Gewässergütesituation können Maßnahmen zur künstlichen Belüftung von besonders betroffenen Gewässerabschnitten ergriffen werden.
- Die Politik muss, insbesondere im Hinblick auf die durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen, neben dem Hochwasserschutz auch die Niedrigwasservorsorge in ausreichendem Maße berücksichtigen.

5.2.2 Handlungsempfehlungen an die Wassernutzer

- Alle Wassernutzer müssen für den Niedrigwasserfall vorbereitende Maßnahmen ergreifen.
- Alle Wassernutzer müssen im Niedrigwasserfall auf einen besonders sparsamen Umgang mit der Ressource Wasser achten. Alternative Versorgungsmöglichkeiten müssen genutzt werden. Die hierfür entwickelten Vorsorgepläne sind anzuwenden.
- Wasserversorgungsunternehmen müssen Vorsorgemaßnahmen ergreifen, um die Wasserversorgung während eines Niedrigwasserereignisses sicherzustellen.
- Industrie und Gewerbebetriebe sollten Notfallpläne vorhalten, die alternative Versorgungsmöglichkeiten sowie Regelungen zu Produktionseinschränkungen oder -umstellungen enthalten.
- Soweit erforderlich müssen einzelne Produktionszweige eingeschränkt oder eingestellt werden.
- Die Energiewirtschaft muss sich auf Einschränkungen beim Betrieb einzelner Kraftwerke einstellen und Vorsorge für die Anlieferung von Brennstoffen treffen.
- Die Eigenvorsorge sollte durch die Bildung von Rücklagen oder durch den Abschluss von Versicherungen gestärkt werden.

6. Literatur

AK KLIWA, 2004: Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Fachvorträge beim 2. KLIWA-Symposium am 3./4. Mai 2004 in Würzburg. KLIWA - Berichte Heft 4. www.kliwa.de

ATV – DVWK, 2003: Anthropogene Einflüsse auf Niedrigwasserabflüsse. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV - DVWK), Arbeitsbericht, Hennef.

Bartels, H., Katzenberger, B., Weber, H., 2004: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft in Süddeutschland. In: Wasserwirtschaft 94 (4).

Belz J., Engel, H., Krahe, P., 2004: Das Niedrigwasserjahr 2003 in Deutschlands Stromgebieten. In: Hydrologie und Wasserwirtschaft. 48 (4). S.162-169

Belz, J., Rademacher, S. & W. Rätz (2006): Zur Niedrigwasser-Situation in den Bundeswasserstraßen im Juli 2006. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 50. Jg., H. 5, S. 232-234

Belz, J. U., H. Engel & P. Krahe (2004): Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 48, H. 4, S. 162-169

Brahmer, G., 2005: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Abflussverhältnisse an hessischen Gewässern. In: Jahresbericht 2004 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. S. 31-41

Bremicker, M., 2000: Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.

Bremicker, M., Homagk, P., Ludwig, K., 2004: Operationelle Niedrigwasservorhersage für das Neckareinzugsgebiet. In: Wasserwirtschaft 94 (7/8), S. 40-46

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004): Auswirkungen des Hitzesommers auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bern

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2005): Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung, Kolloquium am 14./15. September 2005 in Herne. BfG-Veranstaltungen 5/2005 (im Druck)

Christoffels, E., ATV-DVWK-Gewässergütemodell - ein Werkzeug für die Flussgebietsplanung, <http://www.erftverband.de/projekte/guetemodell/gewaesserguetemodell.pdf>

Demuth, S. (2004): Niedrigwasser und Dürre – eine europäische Perspektive. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 48, H. 4, S. 160-161

Demuth, S. & K. Stahl (eds) (2001): Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe. Final Report to the European Union ENV-CT97-0553. – Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany

DVWK, 1983: Niedrigwasseranalyse, Teil I: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), DVWK - Regeln zur Wasserwirtschaft Heft 120, Bonn

DVWK, 1992: Niedrigwasseranalyse, Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), DVWK - Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 121, Bonn.

DVWK, 1999: Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung mittels Halbkugelmethode und Habitat-Prognose-Modell. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Schriften Heft 123, Bonn.

DWA 2007: Regionalisierung von Niedrigwasserkennwerten. In Vorbereitung

Ebner von Eschenbach, A.-D. (2003): Analyse und Bewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen anhand von Niedrigwasserkenngrößen. Veröff. Institut Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft Uni. Rostock. Rostock

Finke, W. & S. Krause (2005): Langzeitverhalten von Niedrigwasserkenngrößen von Pegeln des Havelgebietes und der Elbe. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 49, H. 5, S. 248-254

Finke, W., Rachimow, C. & B. Pfützner (2004): Untersuchungen zu Wasserdargebot und Wasserverfügbarkeit im Ballungsraum Berlin im Rahmen des Verbundprojektes GLOWA Elbe. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 48. Jg., H. 1, S. 2-11

Giebel, H., 2002: Das integrierte Flussauenmodell INFORM zur Untersuchung und Beurteilung ökologischer Fragestellungen - Ein Entscheidungsunterstützungssystem für die Belange der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Information 2/2002, <http://inet.bafg.de/servlet/is/5388/inform.pdf>, homepage: <http://inet.bafg.de/servlet/is/6689/>

Gierck, M. E. Jungfer (1993): Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg. Landesumweltamt Brandenburg, Studien und Tagungsberichte, Band 3, Potsdam

Gerstenabgabe et. Al. (2004): Erstellung regionaler Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen; erstellt durch die Fa. BRUECKE-Potsdam GbR im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-Westfalen

Grünewald, U. (1999): Einzugsbezogenen Wasserbewirtschaftung als fach- und länderübergreifende Herausforderung. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 43, H. 6, S. 292-301

Grünewald, U. (2006): Hoch- und Niedrigwasser im Elbegebiet – immer häufiger, immer heftiger? In: SYNAP 2006. Dresdener Schriften zur Hydrologie, H. 4 (im Druck)

Haag, I., Luce, A., Badde, U., 2005: Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar. In: Wasserwirtschaft 95 (7/8), S. 45-51.

Hisdahl, H., K. Stahl, L.M. Tallaksen & S. Demuth (2001): Have streamflow droughts become more severe or frequent. – International Journal of Climatology. 21:317-333

Haupt, R. (2004): Niedrigwasserabfluss im Sommer 2003 an Fließgewässern Thüringens – eine statistische Erstbewertung. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 48, H. 4, S. 170-175

IPCC, 2001: Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group 1, Summary for Policymakers. http://www.ipcc.ch/pub/spm_22-01.pdf.

J. P. Kropp et al. (2006): Semiquantitative assessment of regional climate vulnerability; the North-Rhine Westphalia study", Climate Change 76, S. 265-290

Kirchesch, V., Schöl, A. & Bergfeld, T., 2004: QSim - das Gewässergütemodell der BfG. Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushaltes und der Planktodynamik in Fließgewässern, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Information 1/2004, <http://inet.bafg.de/servlet/is/5709/qsim.pdf>, homepage: <http://inet.bafg.de/servlet/is/7455/>

Koehler, G., Schwab, M., von Hauff, M., Kluth, K., Finke, W. & J. U. Belz (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland – Ursachen – Wirkungen – Folgen. BfG-Mitteilungen H. 27, Koblenz (im Druck)

Koehler, G., Schwab, M., K., Finke, W. & J. U. Belz (2007): Überblick zur Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland - Ursachen – Wirkungen – Folgen. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51. Jg., H. 3 (in Vorbereitung)

Kleeberg, H.-B. & G. Koehler (Herausgeber) (2004): Niedrigwassermanagement, Beiträge zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz. Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft 07.04

Kleeberg, H.-B. & U. Mayer (1999): Hydrologische Extreme – Gefährdungspotentiale in Fließgewässern durch Trockenperioden.

Kleeberg, H.-B. u. U. Mayer (1999): Hydrologische Extreme - Gefährdungspotentiale in Fließgewässern durch Trockenperioden. Inst. F. Wasserwesen Uni d. Bundeswehr München 1999, im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Laaha, G. (2006): Process Based Regionalisation of Low Flows. Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer Bd. 198. Wien

Lange, J., Hänslar, A. & C. Hugenschmidt (2006): Hydrologische Prozessforschung bei Niedrigwasser in bewaldeten Einzugsgebieten – Einblick in die Funktionsweise bei extremen Dürreereignissen. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung H. 15.06 „Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse“, Bd. 1, S. 133-142

LAWA, 1993: Die Ermittlung ökologisch begründeter Mindestabflüsse – Grundlagen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Arbeitskreis Mindestwasserführung in Fließgewässern.

LAWA, 1994: Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung hinsichtlich der aquatischen Lebensbereiche. Vorschlag für ein Forschungsvorhaben, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA – Arbeitskreis Mindestwasserführung in Fließgewässern, Koblenz.

LAWA, 1995 a: Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA–ad-hoc-Ausschuss Hochwasser, Stuttgart

LAWA, 1995 b: Die Ermittlung ökologisch begründeter Mindestabflüsse – Grundlagen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Arbeitskreis Mindestwasserführung in Fließgewässern, Koblenz.

LAWA, 1998: Schwellenwerte im Niedrigwasserbereich – Statusbericht. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ad hoc Arbeitskreis Grundsatzfragen zur Definition von Schwellenwerten im Niedrigwasserbereich.

LAWA, 2000 a: Leitgedanken und Handlungsempfehlungen für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Arbeitskreis Wasserbau, Bewirtschaftung oberirdischer Gewässer, Essen.

LAWA, 2000 b: Empfehlung zur Ermittlung von Mindestabflüssen (Q_{\min}) in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen und Festsetzung im wasserwirtschaftlichen Vollzug (Entwurf). Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Unterausschuss Wasserbau, Bewirtschaftung oberirdischer Gewässer.

LAWA, 2004: Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA–ad-hoc-Ausschuss Hochwasser, Düsseldorf

Meyer, E. I. (2004): Fließgewässer und Niedrigwasser – eine ökologische Perspektive. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 48, H. 4, S. 176-183

Miegel, K. 2004: Berechnung von Niedrigwasserabflüssen – Anforderungen und Besonderheiten beim Einsatz von Einzugsgebietsmodellen. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 07.04, S.49-73

Morgenschweis, G. (1994): Hydrometrische Möglichkeiten der Erfassung und Kontrolle von Niedrigwasserabflüssen. In: Grünewald, U. (Herausgeber) Wasserwirtschaft und Ökologie; Buchreihe Umweltwissenschaften, BTU Cottbus, Band 2, S. 84-90

Rademacher, S., Burek, P. & G. Schikowski (2006): Grundlagen, Aufbau und Betrieb des Wasserstandsvorhersagesystems WAVOS Elbe. In: BfG-Veranstaltungen 2/2006, S. 33-46

Schulz, W., Badde, U. & M. Bremicker (2006): Operationelle Vorhersage von Niedrigwasserabflüssen in Baden-Württemberg. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung H. 15.06 „Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse“, Bd. 2, S. 25-36

Staatsministerium für Umwelt u. Landwirtschaft Sachsen, 2005: Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick

Stahl, K. (2001): Hydrological Drought – a Study across Europe. – Freiburger Schriften zur Hydrologie, B15. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg

Tallaksen, L. M. & H. A. J. van Lanen (2004): Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science No. 48. Elsevier Amsterdam

Technische Universität Graz (1997): Niederwasser. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Heft 24. Graz

UBA (2006): Hintergrundpapier und Workshop unter <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/> (Workshop Regionale Klimaszenarien für Deutschland, April 2006)

Wechsung, F., Becker, A. & P. Gräfe (Hrsg.) (2005): Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 6., Weißensee Verlag Berlin

Willems, W. & T. Hirschhäuser (2004): Regionalisierung von Niedrig- und Mittelwasserkenngrößen sowie ökologischen Indizes in Schleswig-Holstein. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Jg. 48, H. 4, S. 184-191

Zebisch, M. et. Al. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme; UBA Forschungsbericht bearbeitet durch Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung