



Kurzfassung

# Kooperation KLIWA: Pilotstudie Niedrigwasser Naab und Sächsische Saale



Seit Beginn des 21. Jahrhunderts häufen sich Perioden von Trockenheit und Niedrigwasser. Die aktuelle klimatische Entwicklung lässt darauf schließen, dass sich dieser Trend fortsetzt. Dies birgt neue Herausforderungen für die bayerische Wasserwirtschaft: Welche Abflussveränderungen sind lokal möglich? Welche Auswirkungen hätte dies auf ausgewählte wasserwirtschaftliche Nutzungsbereiche? Welche Optionen bestehen zur Anpassung und welche Hürden bestehen in der Umsetzung? Diesen Fragen widmete sich die Kooperation KLIWA in einer Pilotstudie in den Einzugsgebieten von Naab und Sächsischer Saale gemeinsam mit der lokalen Wasserwirtschaftsverwaltung.

## 1 Hintergrund zur KLIWA-Pilotstudie „Niedrigwasser“

KLIWA („Klimaveränderung und Wasserwirtschaft“) ist eine Kooperation der Fachoberbehörden der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz und des Deutschen Wetterdienstes im Bereich der Wasserwirtschaft. Sie arbeitet mögliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt heraus, unter anderem zum Oberflächenabfluss, dem Grundwasser, der Gewässerökologie und dem Bodenabtrag. KLIWA zeigt die Folgen auf und erarbeitet darauf aufbauend gemeinsame Strategien und Handlungsempfehlungen.

Niedrigwasser ist dabei einer der aktuellen Schwerpunkte. Zu diesem betrachtete die Pilotstudie „Niedrigwasser Naab und Sächsische Saale“ unter anderem lokale Fragestellungen der Wasserwirtschaftsämter. Die Studie stellt damit eine Anwendung der Erkenntnisse aus dem Bericht „Niedrigwasser in Bayern – Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen“ (LFU 2016) dar.

Die lokalen Partner der Pilotstudie waren das WWA Hof für das Einzugsgebiet der Sächsischen Saale und das WWA Weiden für das Einzugsgebiet der Naab. Weiterhin beteiligt waren die Regierungen von Oberfranken und der Oberpfalz sowie das Institut für Fischerei der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Niedrigwasser und erhöhte Wassertemperatur betreffen die Gewässerökologie und eine Vielzahl von wasserwirtschaftlichen Nutzungen. In Abstimmung mit den WWA wählte KLIWA exemplarisch die folgenden Nutzungen in den Einzugsgebieten von Naab und Sächsischer Saale aus:

- Speicherbewirtschaftung
- Abwassereinleitung (nur Saalegebiet)
- Gewässerökologie
- Flussperlmuschelbestände (nur Saalegebiet)
- Teichwirtschaft (nur Naabgebiet)
- Wasserkraft

Der vollständige Bericht „Pilotstudie Niedrigwasser Naab und Sächsische Saale“ (LFU 2018) ist im StMUV-Bestellshop veröffentlicht.

## 2 Methodik

### 2.1 Bildung von Niedrigwasserszenarien

KLIWA betrachtet stets ein sogenanntes Ensemble von möglichen zukünftigen Entwicklungen („Klima-, bzw. „Abflussprojektionen“). Entsprechend dieser Projektionen sind bis Mitte des Jahrhunderts sowohl Abflusszunahmen als auch Abflussabnahmen möglich.

Zur Ableitung von Anpassungsoptionen war die Kernfrage der Pilotstudie jedoch: „Was wäre, wenn sich die Niedrigwassersituation in den Einzugsgebieten von Naab und Sächsischer Saale verschärfen würde – wie könnten die dort ansässigen Wassernutzungen reagieren?“ Für diesen **„Was-wäre-wenn“-Ansatz** wurden daher drei sogenannte „Niedrigwasserszenarien“ entworfen. Diese Szenarien bestehen aus klimatologischen Eingangsdaten sowie den Ergebnissen von damit angetriebenen Wasserhaushaltsmodellierungen. Sie simulieren unterschiedlich starken Stress auf die Wassernutzungen.

Im Norden Bayerns treten die niedrigsten Abflüsse im Sommer auf und damit in der Zeit, in der auch erhöhte Wassertemperaturen Auswirkungen auf die Gewässerökologie haben können. Daher enthält die Pilotstudie zusätzlich Szenarien der Wassertemperatur.

Die beiden ersten Szenarien leiten sich aus einem Ensemble von bis dato am LfU verfügbaren Projektionen ab. Sie repräsentieren langjährig mittlere Zustände des Wasserhaushalts und der Wassertemperatur. Je nach Szenario bezieht sich dieser 30-jährige Mittelwert auf unterschiedliche Zukunftszeiträume der jeweiligen Projektion – je weiter dieser in der Zukunft liegt, desto stärker ist die Änderung gegenüber heute.

- **optimistisches Szenario** (mäßige Verschärfung):
  - Die zugrundeliegende Abflussprojektion ist durch sommerliche Abnahmen, aber gleichzeitig auch winterliche Zunahmen der Abflüsse gekennzeichnet. Hinsichtlich der Wassertemperatur findet eine moderate Erwärmung statt. Für das Szenario wurde der Mittelwert der sogenannten „nahen Zukunft“ (2021-2050) gewählt, da hier nur geringe Änderungen zur Gegenwart auftreten.
- **pessimistisches Szenario** (stärkste Verschärfung):
  - Hier stellt die verwendete Abflussprojektion einen Extremfall mit ganzjährig trockeneren Verhältnissen bzw. einer starken Wassertemperaturerhöhung dar. Zur Erzeugung dieses „Worst-Case-Szenarios“ diente der Mittelwert der „fernen Zukunft“ (2071-2100) und damit die größtmögliche Änderung zur Gegenwart.

Das dritte gewählte Niedrigwasserszenario ist ein **KLIWA-Stresstest**. Er besteht aus einer Aneinanderreihung charakteristischer Einzeljahre der Vergangenheit. Hierbei interessiert vor allem, wie sich die Abfolge von Extremsituationen und Erholungsphasen auf die Gebietshydrologie bzw. wasserwirtschaftliche Nutzungen auswirkt. Das für die Pilotstudie erstellte KLIWA-Stresstest-Szenario (KLIWA 2019) besteht aus 20 Einzeljahren (Abb. 1) und liegt nur für den Abfluss vor.

Jahr	Basis (hydrol. Jahr)	Ausprägung Jahr	Jahr	Basis (hydrol. Jahr)	Ausprägung Jahr
1	1992	Normal	11	1988	Feuchter Winter
2	2003	Trocken	12	1992	Normal
3	2003	Trocken	13	1976	Trockener Sommer
4	2003	Trocken	14	1992	Normal
5	1992	Normal	15	1996/2003	Trockener Winter/trockener Sommer
6	1992	Normal	16	1996/2003	Trockener Winter/trockener Sommer
7	2003	Trocken	17	1996/2003	Trockener Winter/trockener Sommer
8	1998	Feuchter Sommer	18	1992	Normal
9	2003	Trocken	19	1992	Normal
10	1988	Feuchter Winter	20	1988	Feuchter Winter

Abb. 1: Kombination gemessener hydrologischer Jahre zu einem KLIWA-Stresstest („Szenario 2015 NW“)

## 2.2 Ermittlung von Auswirkungen

Die Auswirkungen auf die Nutzungen wurden – so weit möglich – mithilfe von Kennwerten beschrieben. Deren Ableitung wird im Ergebnisteil (Kapitel 3) vorgestellt. Allerdings bedürfen diese Kennwerte einer Interpretation: Wenn das optimistische oder das pessimistische Szenario so einträte, wie stark würden die wasserwirtschaftlichen Nutzungen dann jeweils beeinträchtigt („gering“, „mittel“, „hoch“, „sehr hoch“)? Diese Einschätzung erfolgte durch die Projektpartner der lokalen Wasserwirtschaftsverwaltung. Dabei wurde der heutige Stand der Nutzungen angenommen.

### 3 Ergebnisse: Auswirkungen der Niedrigwasserszenarien

#### 3.1 Abfluss

Wie sich die Abflüsse unter Annahme der Szenarien „optimistisch“ und „pessimistisch“ ändern, wurde im Gebiet der Sächsischen Saale für neun Pegel ausgewertet, im Gebiet der Naab für fünfzehn Pegel.

Abb. 2 vergleicht die Stärke dieser Änderungen für MQ und MNQ zwischen den Szenarien und Jahreszeiten sowohl im Gebietsmittelwert als auch über den Wertebereich der Einzelpegel:

- Saale- und Naabgebiet reagieren prinzipiell ähnlich auf die jeweiligen Niedrigwasserszenarien: Das optimistische Szenario (blau) führt im Mittel zu einer geringen Abflussänderung, meist ohne große Unterschiede zwischen den Einzelpegeln (Balken). Das pessimistische Szenario (rot) ruft eine starke Abnahme hervor, mit einer größeren räumlichen Bandbreite. Allerdings sind die Änderungen im Saalegebiet (Kreis) in den Halbjahren meist stärker ausgeprägt als im Naabgebiet (Quadrat).
- Die mittleren Abflüsse MQ ändern sich im optimistischen Fall (blau) im hydrologischen Jahr nicht. Im Sommerhalbjahr sind sehr leichte Abnahmen möglich, im Winterhalbjahr sehr leichte Zunahmen. Im pessimistischen Fall (rot) nehmen die mittleren Abflüsse im hydrologischen Jahr und Winterhalbjahr um etwa 40 % ab, im Sommerhalbjahr um etwa 50 %.
- Die Niedrigwasserabflüsse MNQ vermindern sich im optimistischen Fall (blau) im hydrologischen Jahr überwiegend um etwa 10 %. Im Sommerhalbjahr liegen die mittleren Änderungen zwischen -10 und -20 %. Im Winterhalbjahr treten im Saalegebiet Zunahmen um +15 % auf, im Naabgebiet keine Änderungen. Dagegen ergeben sich aus dem pessimistischen Szenario (rot) für alle Jahresabschnitte in beiden Gebieten deutliche Niedrigwasserverschärfungen zwischen -40 und -60 %.
- Vor allem im Niedrigwasserabfluss MNQ und dem KLIWA-Stresstest (hier nicht gezeigt) wird das unterschiedliche Grundwasserpuffervermögen der Einzugsgebiete deutlich: Das eher schlecht gepufferte Saalegebiet zeigt stärkere Abnahmen als das in Summe besser gepufferte Naabgebiet.

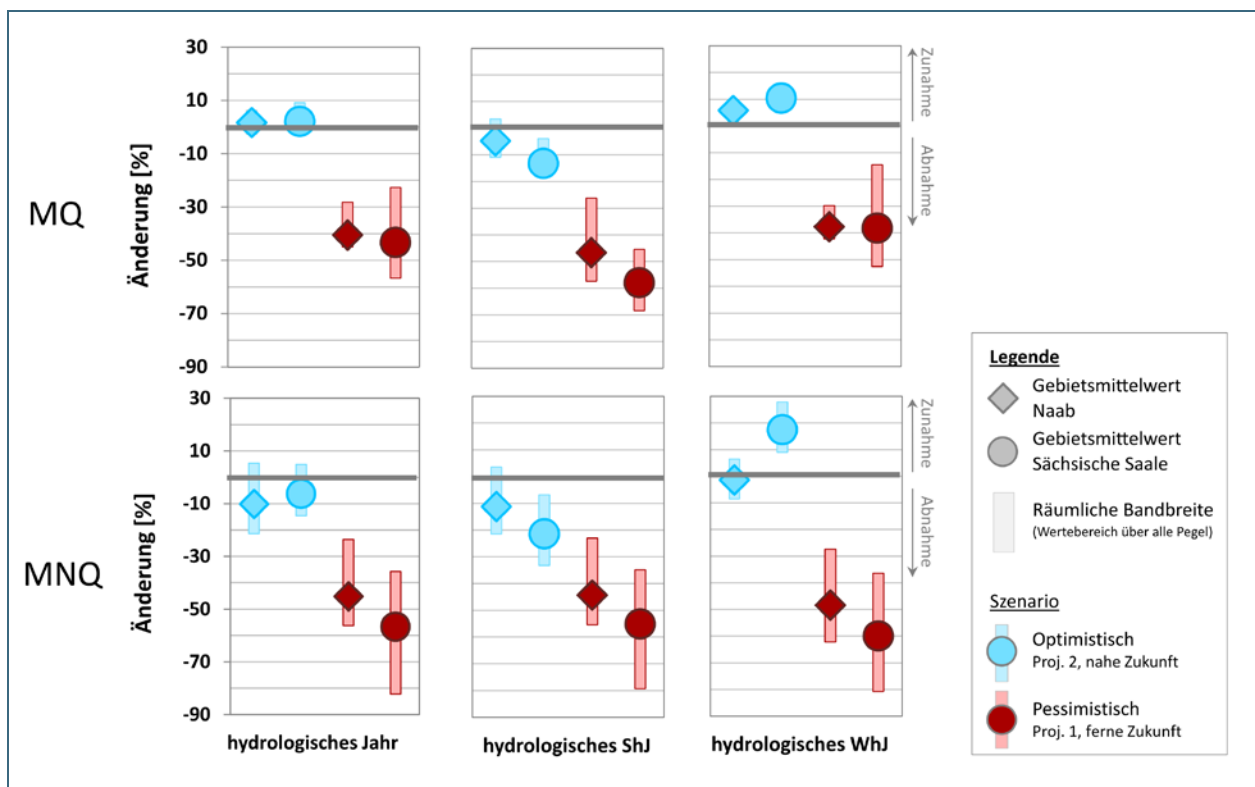


Abb. 2: Mittlere Veränderungen des mittleren Abflusses MQ und des Niedrigwasserabflusses MNQ im optimistischen (blau) und im pessimistischen (rot) Szenario. Dargestellt sind die Gebietsmittelwerte im Naab- (Quadrat) und Saalegebiet (Kreis) sowie die räumliche Bandbreite der Veränderungen über alle Pegel.

Der **KLIWA-Stresstest** (Abb. 1) visualisiert die Auswirkungen aufeinander folgender Trockenjahre auf den Abfluss. Erwartungsgemäß führen die als trocken vordefinierten Jahre zu verminderten Abflüssen.

- Eine Frage des Stresstestes ist, wie sich drei Jahre mit trockenem Sommer hintereinander auswirken (hier: das Jahr 2003 dreimal in Folge). Im dritten Jahr sind die Abweichungen der mittleren Abflüsse im hydrologischen Sommerhalbjahr am größten und erreichen im Naabgebiet bis etwa -35 % (-65 % Saalegebiet). Bei den Niedrigwasserabflüssen reagiert das Naabgebiet kaum, das Saalegebiet bis -50 %. Das eher feuchte Winterhalbjahr von 2003 beeinflusst die Abflusssituation positiv.
- Aus der dreifachen Kombination ganzjährig trockener Bedingungen (kombiniert aus dem Winter 1996 und dem Sommer 2003) ergeben sich zum dritten Sommerhalbjahr hin starke Abflussabnahmen bis -60 %, zum Teil sogar bis -80 %.
- Zum Prüfung von Erholungsphasen enthält der KLIWA-Stresstest auch Normal- und Feuchttjahre (Abb. 1). Zum Teil können diese Jahre Defizite aus vorangegangenen Trockenjahren ausgleichen (z. B. 2x feuchter Winter), zum Teil aber auch nicht. Das trifft vor allem auf den Nachgang der dreifachen Kombination des ganzjährig trockenen Jahrs zu.

Ein Beispiel gibt am Pegel Amberg (Einzugsgebiet Naab) die Abweichung vom langjährigen Mittel im hydrologischen Sommerhalbjahr (Abb. 3). Die anderen untersuchten Pegel verhalten sich grundsätzlich ähnlich.

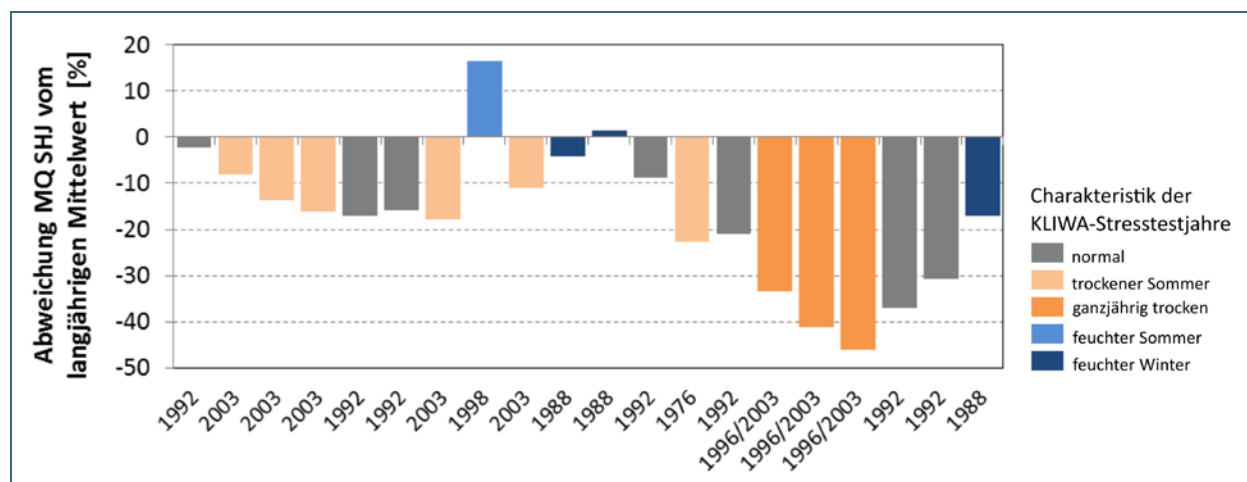


Abb. 3: Abweichungen des mittleren Abflusses MQ im hydrologischen Sommerhalbjahr als Folge des KLIWA-Stresstests, Beispielpegel Amberg (Vils). Dargestellt sind relative Abweichungen vom langjährigen Mittelwert 1971–2000.

Aus den Abflussänderungen in den jeweiligen Niedrigwasserszenarien erwachsen verschiedene Auswirkungen auf die betrachteten wasserwirtschaftlichen Nutzungen. Dabei fielen die Änderungen im pessimistischen Fall erwartungsgemäß stärker aus als im optimistischen Fall.

### 3.2 Speicherbewirtschaftung am Beispiel des Saalegebiets

Der Förmitzspeicher im Saalegebiet dient in seiner Hauptfunktion der Niedrigwasseraufhöhung mit dem Bezugspegel Hof (Aufhöhungsziel 1 m<sup>3</sup>/s). Die drei oben genannten Niedrigwasserszenarien gingen in ein Speichermodell auf Grundlage des realen Betriebsplanes des Förmitzspeichers ein.

- Um die Speicherwirkung zu quantifizieren, wurden Abflusssimulationen mit und ohne Speicher durchgeführt. Im Referenzzeitraum 1971 bis 2000 bewirkt der Speicher im Mittel etwa 20 % höhere Niedrigwasserabflüsse (MNQ). In den Szenarien werden Aufhöhungen von bis zu 40 % erreicht.

- Der Förmitzspeicher erfüllt seine Funktion erfolgreich, solange die Wiederbefüllung des Speichers über das Winterhalbjahr gewährleistet ist. Dies lässt sich am KLIWA-Stresstest gut nachzuvollziehen (Abb. 4). So hatte das Jahr 2003 zwar einen trockenen Sommer, aber gleichzeitig einen feuchten Winter. Es wirkte sich daher auch dessen dreifache Abfolge wenig auf den Wasserstand im Jahresmittel aus. Bei mehrfacher Folge von ganzjährig trockenen Bedingungen fiel der Wasserstand im Speicher in dieser Simulation jedoch so weit, dass die Niedrigwasseraufhöhung im Sommer ausgeschaltet werden müsste. Dies trat ebenso in dem extrem trockenen pessimistischen Szenario auf. Anmerkung: Das verwendete Speichermodell gibt methodisch bedingt etwas zu viel Wasser ab. In Realität fallen daher die Wasserstände wahrscheinlich nicht so drastisch wie im Modell. Sie bleiben aber ein deutlicher Hinweis auf zu erwartende Schwierigkeiten in der Speicherbewirtschaftung.
- Die Erkenntnisse vom Förmitzspeicher lassen sich durch die unterschiedliche Bewirtschaftung nur sehr bedingt auf andere Speicherseen übertragen. Eine Folgeuntersuchung für das Naab-Gebiet mit den gleichen Niedrigwasserszenarien bestätigte aber die Wirkung des Eixendorfer Speichers auf die unterliegenden Pegel: Trotz zunehmendem Stress auf die Speicherbewirtschaftung selbst stützt und erhöht der Speicher die Niedrigwasserabflüsse im Sommerhalbjahr.

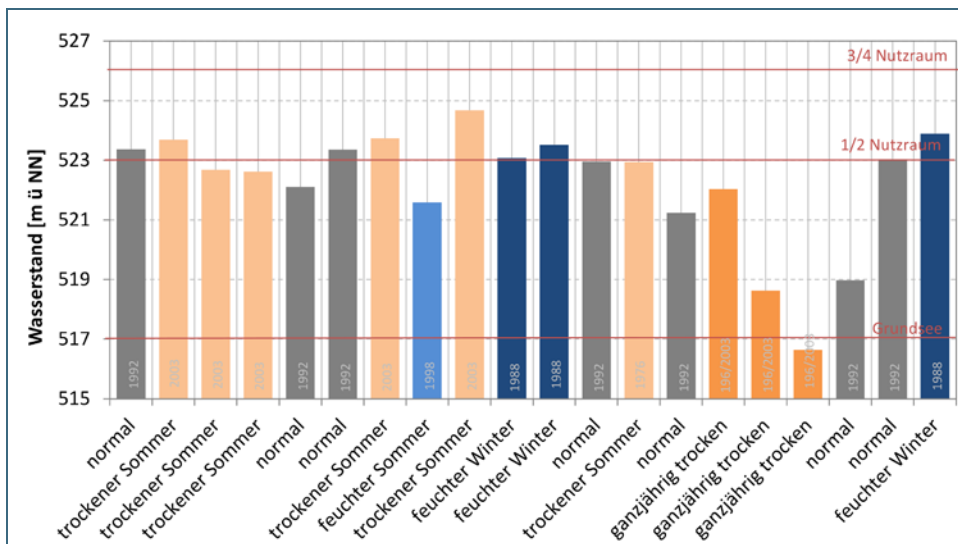


Abb. 4: Verlauf des mittleren Jahreswasserstands (hydrologisches Jahr) des Förmitzspeichers während des KLIWA-Stresstests

Ergäbe sich nur eine moderate Niedrigwasserverschärfung (optimistischen Szenario), wäre das nach Einschätzung der Projektpartner bereits eine mittlere bis hohe Beeinträchtigung der Speicherbewirtschaftung (Abb. 5). Die sehr starken Wasserstandsabnahmen im pessimistischen Szenario und im Stresstest wurden als hohe bis sehr hohe Beeinträchtigung interpretiert.

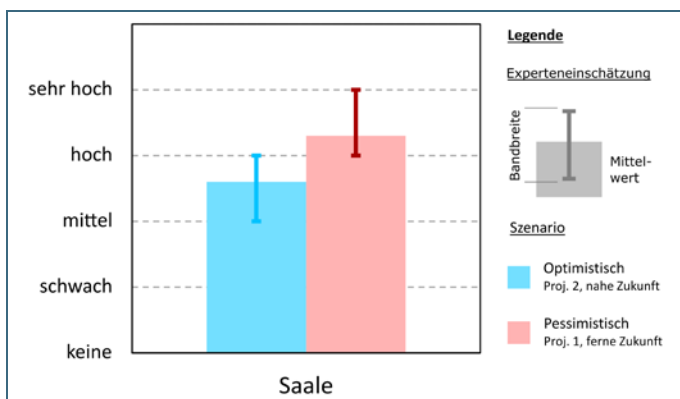


Abb. 5: Bewertung der Auswirkung auf die Speicherbewirtschaftung im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

### 3.3 Abwassereinleitung (nur Saalegebiet)

Um den Abfluss der Kläranlage Hof ausreichend zu verdünnen, soll in der Saale am Pegel Hof ein Mindestwasserabfluss von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  gewährleistet sein. Inwieweit dies auch unter verschärften Niedrigwasserbedingungen der Fall ist, zeigt die Unterschreitungshäufigkeit dieses Mindestabflusses (SumD). Ein weiterer Kennwert ist die Summe des Abflussdefizits (SumV, Angabe als Rate in  $\text{m}^3/\text{s}$ ). Vereinfacht ist der SumV ein Maß, wie viel Wasservolumen über einen bestimmten Zeitraum „zu wenig“ vorhanden war.

Ergebnisse:

- Vor allem im hydrologischen Sommerhalbjahr sinken die Niedrigwasserabflüsse MNQ in den Niedrigwasserszenarien (Abb. 2). Mit verschärften Niedrigwasserbedingungen wird auch der Abfluss von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  häufiger unterschritten. Dies tritt vor allem unter Annahme des pessimistischen Szenarios öfter auf. Im optimistischen Szenario ergibt sich kaum eine Häufig der Unterschreitungen.
- Die Niedrigwasseraufhöhung durch den Förmitzspeicher kann den Effekt zwar abmildern, aber nicht vollständig aufheben (Abb. 6).

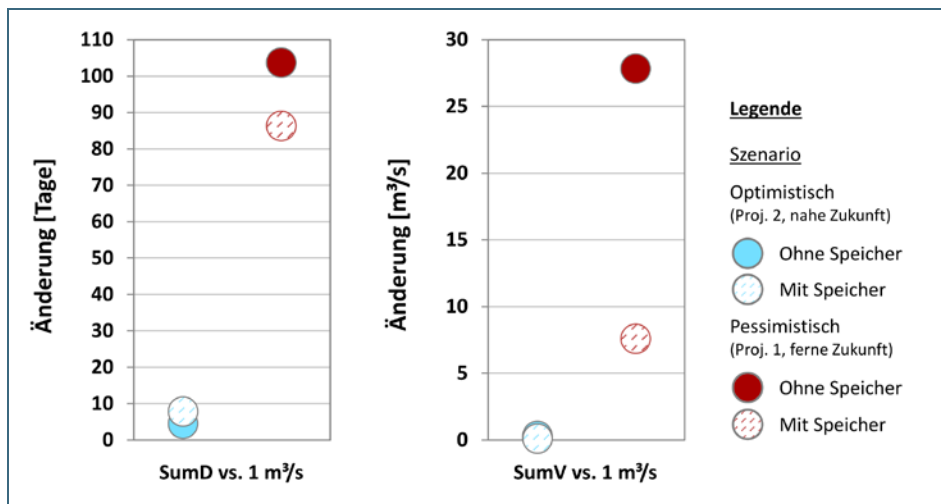


Abb. 6: Absolute Änderung der Anzahl an Tagen im Wasserhaushaltsjahr, an denen der Grenzwert von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  am Pegel Hof unterschritten wird (SumD) sowie das daraus resultierende Defizit SumV – Darstellung je für das optimistische und pessimistische Teilszenario mit und ohne Speicher.

Da im optimistischen Szenario kaum eine Einschränkung eintritt, bewertete das WWA Hof die Auswirkung maximal als schwach (Abb. 7). Für das pessimistische Szenario schwankt die Bewertung zwischen keiner und einer hohen Auswirkung, da es schwer einzuschätzen war, wie stark sich eine geringere Verdünnung auf die Wasserqualität tatsächlich auswirkt.

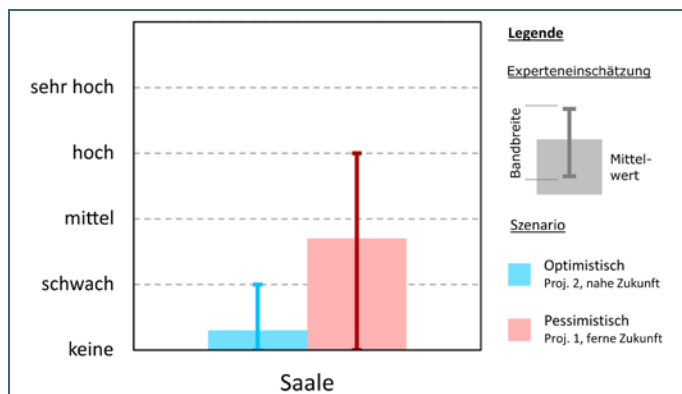


Abb. 7: Bewertung der Auswirkung auf die Abwassereinleitung im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

### 3.4 Gewässerökologie

Lebensgemeinschaften werden durch zahlreiche abiotische und biotische Faktoren geprägt. Die Auswirkungen von Niedrigwasserszenarien und erhöhter Wassertemperatur lassen sich daher in dieser Studie nur über Hilfsgrößen abschätzen. Die Grundannahme ist, dass häufigere Überschreitungen eines definierten Schwellenwerts potenziell zu erhöhtem Stress für die Lebensgemeinschaften führen. Als Schwellenwerte dienen die sommerlichen Wassertemperatur-Orientierungswerte nach Oberflächengewässerverordnung je Gewässerabschnitt für die jeweilige Fischlebensgemeinschaft. Vereinfachend werden sie hier auf Tagesmittel der Wassertemperatur bezogen. Ebenso interessiert die Unterschreitungshäufigkeit des mittleren Niedrigwasserabflusses MNQ als Orientierungswert für einen Mindestwasserabfluss im Gewässer. Die Bandbreiten dieser drei Kenngrößen im Gebietsmittel ( $T_{\max}$ ,  $\text{SumD}_{21,5}$ ,  $\text{SumD}_{\text{MNQ}}$ ; Abb. 8) liefern Hinweise auf einen höheren Stress für die Gewässerökologie. Für genauere Aussagen wären vertiefende Untersuchungen notwendig, beispielsweise unter Zuhilfenahme des KLIWA-Index<sub>MZB</sub>. (KLIWA 2016).

- Das Tagesmaximum der Wassertemperatur steigt im optimistischen Szenario im jeweiligen Gebietsmittel in etwa um +0,5 °C. Im pessimistischen Szenario beträgt die Erwärmung in etwa +2,3 °C.
- Gleichzeitig nimmt die Überschreitungshäufigkeit der Wassertemperatur-Orientierungswerte zu. Das Szenario der starken Temperaturzunahme zeigt mit etwa +18 Tagen im Gebietsmittel erwartungsgemäß höhere Überschreitungshäufigkeiten als das Szenario der moderaten Temperaturzunahme (etwa +2 Tage).
- In beiden Gebieten gibt es sowohl Gewässerabschnitte mit besonders starken Zunahmen als auch Gewässerabschnitte, in denen die Orientierungswerte nie überschritten werden (nur Naabgebiet). In beiden Fällen ist aber keine generelle Zuordnung zu Ober- oder Unterlauf möglich.
- Die Unterschreitungshäufigkeit des MNQ nimmt im optimistischen Fall mit Werten zwischen +4 Tagen (Saale) und +13 Tagen (Naab) leicht zu. Im pessimistischen Fall ist die Zunahme deutlich (+125 Tage Saale, +164 Tage Naab) und verschärft somit klar die Problematik des Mindestwasserabflusses.

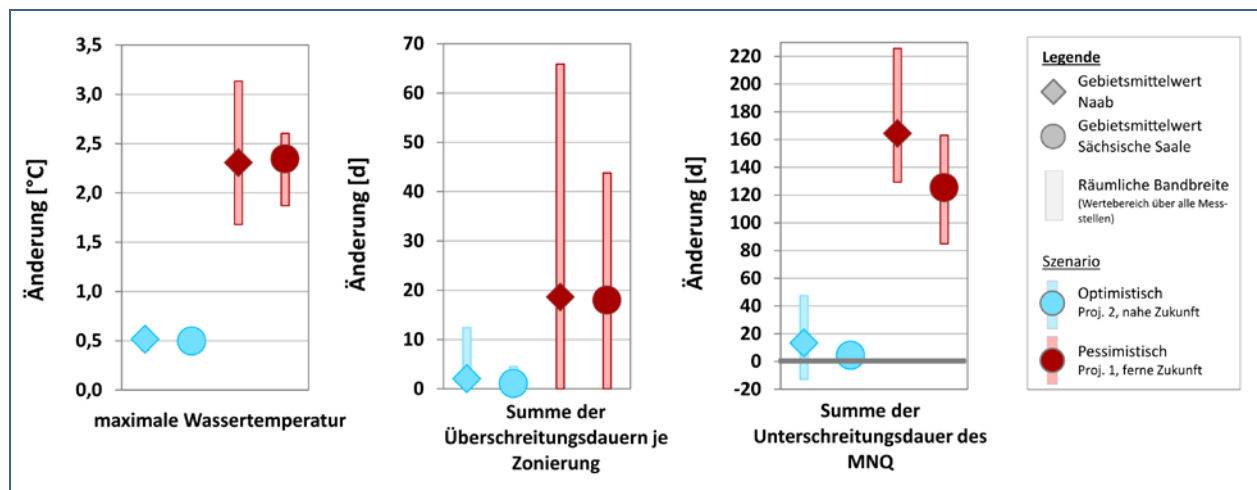


Abb. 8: Änderung der maximalen Wassertemperatur (links), der mittleren Summe der Überschreitungsdauer von 21,5 °C ( $\text{SumD}_{21,5}$ , Mitte) sowie der mittleren Summe der Unterschreitungsdauer des MNQ (rechts) im hydrologischen Jahr gegenüber dem Ist-Zustand jeweils im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Teilszenario

Es gibt bisher nur wenige systematische Untersuchungen, welche konkreten Folgen eine Temperaturerhöhung auf einzelne Gewässerökosysteme nach sich zieht. Daher ist eine objektive Bewertung schwierig. Die mäßigen Wassertemperaturzunahmen des optimistischen Szenarios beurteilen die Befragten aber in beiden Gebieten als nicht bis schwach beeinträchtigend (Abb. 9). Dagegen schätzen sie die starken Temperaturzunahmen des pessimistischen Szenarios in Richtung mittlerer bis sehr hoher Folgen.



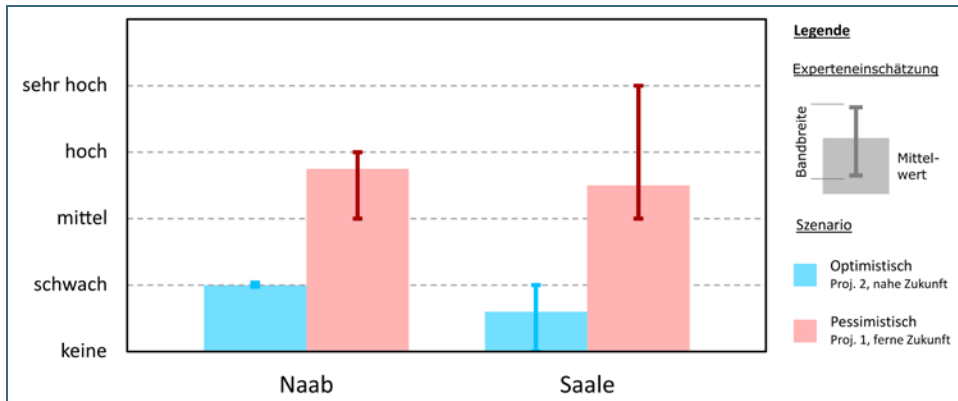


Abb. 9: Bewertung der Auswirkung auf die Gewässerökologie im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

### 3.5 Flussperlmuschelbestände (nur Saalegebiet)

Als allgemeine Randinformation für die Lebensbedingungen der Flussperlmuschel können bestimmte Wassertemperaturen dienen. Deren Überschreitungshäufigkeiten werden als Spezialfall der Gewässerökologie für das Saalegebiet untersucht.

- Die Wassertemperatur von 25 °C, als Orientierungswert für die Flussperlmuschel selbst, wird in den Flussperlmuschelgewässern nur im pessimistischen Teilszenario in einem Gewässerabschnitt um im Mittel bis zu 10 Tagen überschritten. Eine Bewertung dieser Dauer nimmt diese Studie allerdings nicht vor.
- Der zweite Orientierungswert von 19 °C gilt einerseits als Fortpflanzungsgrenze für den Wirtsfisch Bachforelle. Andererseits entspricht er ungefähr der Sauerstoff-Sättigungskonzentration von 9 mg/l im Freiwasser, einem für Flussperlmuschelgewässer empfohlenen Mindestwert. Dieser Wert wird im Unterlauf der Flussperlmuschelgewässer bereits in der Referenzperiode (1971–2000) um bis zu 16 Tage überschritten. In den Szenarien steigt die Überschreitungsdauer zwischen etwa +4 Tagen im optimistischen Fall und +33 Tagen im pessimistischen Fall.

Die mäßigen Temperaturzunahmen im optimistischen Szenario würden die Lebensbedingungen für die Flussperlmuschel schwach bis hoch beeinträchtigen. Die starken Zunahmen im pessimistischen Szenario wären dagegen eine hohe bis sehr hohe Beeinträchtigung (Abb. 10).

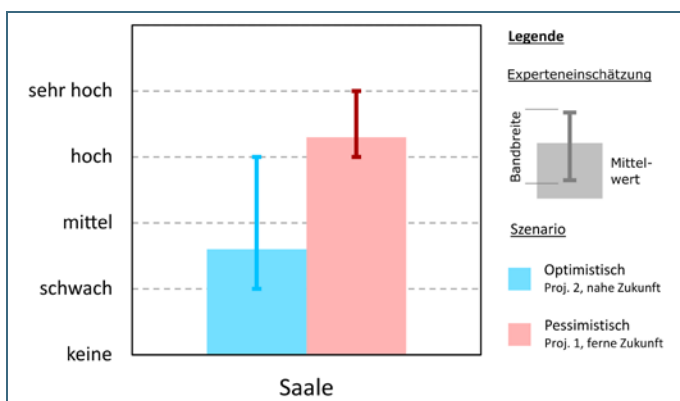


Abb. 10: Bewertung der Auswirkung auf die Flussperlmuschel im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

### 3.6 Teichwirtschaft (nur Naabgebiet)

Vermehrte Trockenheit und erhöhte Verdunstung können bestehende Nutzungskonflikte in der Teichbewirtschaftung verstärken. Das Konfliktpotenzial wird lediglich mithilfe einer vereinfachten Bilanzbetrachtung abgeschätzt. Eingangsgrößen sind die Änderungen des Niederschlags im Sommer- und Winterhalbjahr sowie der sommerlichen Verdunstung. Inwieweit sich die geänderte Wasserbilanz auf die Teichbewirtschaftung tatsächlich auswirkt, hängt von der individuellen Nutzungsintensität und Steuerung in den einzelnen Teichen und Teichketten ab. Dies betrachtet die Studie jedoch nicht.

- Im pessimistischen Szenario steigt der sommerliche Verdunstungsverlust stark an. Gleichzeitig sinkt der sommerliche Niederschlag und auch der winterliche Niederschlag nimmt leicht ab. In Summe steht damit weniger Wasser zur Teichbefüllung zur Verfügung. Es ist also anzunehmen, dass das Konfliktpotenzial steigt.
- Auch im optimistischen Szenario nimmt der sommerliche Verdunstungsverlust zu, allerdings steigen die sommerlichen und winterlichen Niederschlagsmengen an und können zu einem Ausgleich des Defizits beitragen. Das Konfliktpotenzial ist dafür schwerer abzuschätzen.

Entsprechend dieser Unsicherheit streut auch die Bewertung der beiden Szenarien breit (Abb. 11). Das pessimistische Szenario würde sich – wie angenommen – stark negativ auf die Teichwirtschaft auswirken.

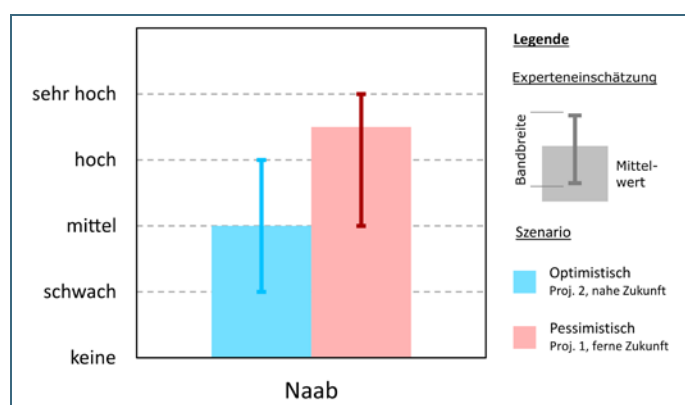


Abb. 11: Bewertung der Auswirkung auf die Teichwirtschaft im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

### 3.7 Wasserkraft

Für die Wasserkraft wird das Wasserkraftpotenzial über einen stark vereinfachten Ansatz für die einzelnen Wasserkraftanlagen berechnet und anschließend räumlich zusammengefasst. In diesen Ansatz geht die Änderung des mittleren Abflusses ein. Notwendige Berechnungsgrößen der Anlagen stammen aus der Datenbank Wasserkraftanlagen des LfU.

- Die Abnahmen der Mittelwasserabflüsse im pessimistischen Szenario (siehe auch Abb. 2) führen zu einer merklichen Reduktion der Energieproduktion. Im Gegensatz dazu ist durch eine Zunahme der Mittelwasserabflüsse im optimistischen Szenario auch eine höhere Energieproduktion möglich.
- Kraftwerke mit höherem Ausbaugrad werden von einer Abflussabnahme erwartungsgemäß stärker negativ beeinflusst als Kraftwerke mit geringem Ausbaugrad (Abb. 7). Die Leistungsstufe der Kraftwerke hatte keinen erkennbaren Einfluss.



Abb. 12: Stärke der Reduktion für Ausleitungskraftwerke im Naabgebiet in den verschiedenen Simulationen (Projektionen 1 und 2, Stresstest) in Abhängigkeit des Ausbaugrades: Anteil der Kraftwerke in vier Klassen mit "keiner" (< 1 %), "geringer" (<10 %), "starker" (<20 %), "extremer" (>20 %) Abnahme der Energieproduktion

Würden ganzjährig niedrigere Abflüsse auftreten (pessimistisches Szenario), wäre die Wasserkraft im Naabgebiet vermutlich hoch bis sehr hoch beeinträchtigt (Abb. 13). Dort sind insgesamt mehr Anlagen vorhanden und im Mittel mit einem höheren Ausbaugrad als im Saalegebiet. Die Bewertung fällt dort schwächer aus. Wäre ein Abflussrückgang nur im Sommer zu erwarten (optimistisches Szenario), wären auch die Folgen für die Wasserkraft geringer.

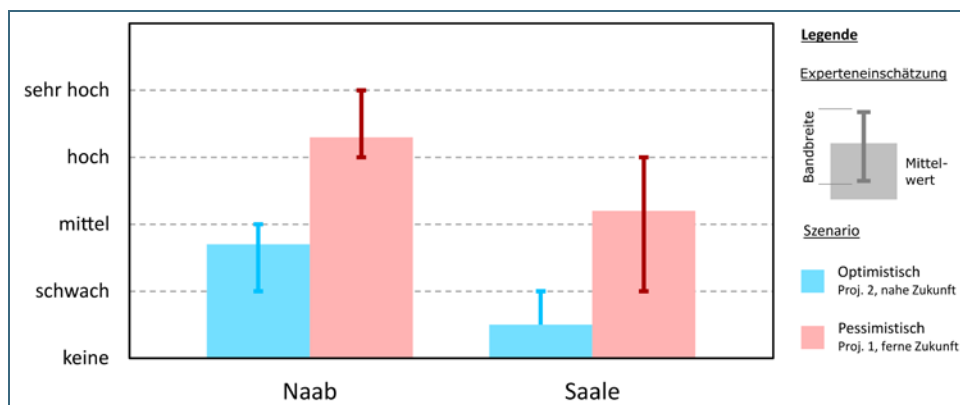


Abb. 13: Bewertung der Auswirkung auf die Wasserkraft im optimistischen (blau) und pessimistischen (rot) Szenario

#### 4 Ergebnisse: Handlungsoptionen

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und verschiedene andere Institutionen haben Maßnahmen veröffentlicht, um die Wasserwirtschaft an Niedrigwassersituationen anzupassen. Für die hiesige Pilotstudie war interessant, wie gut sich die einzelnen Maßnahmen für die beiden Pilotgebiete eignen. Dafür bewerteten die Projektpartner mittels Fragebogen den technischen, finanziellen und administrativen Umsetzungsaufwand, schätzten die Wirksamkeit ein und benannten weitere mögliche Hemmnisse. Anschließend wurden die Maßnahmen in einem Workshop diskutiert. Der vollständige Katalog an Handlungsoptionen findet sich im Endbericht der Pilotstudie (LFU 2018).

Im Ergebnis besitzt beispielsweise die allgemeine Maßnahme „Information und Bewusstseinsbildung zu Trockenheit und Niedrigwasser“ für sich allein stehend nur eine geringe Wirkung. Sie kann die Umsetzung anderer Maßnahmen aber wesentlich unterstützen. Für die Speicherbewirtschaftung ergab sich unter anderem die Maßnahme „Optimierte Bewirtschaftung“ als geeignete Handlungsoption, für die Gewässerökologie und Flussperlmuschel eine „Intensivierung der bereits durchgeführten Gewässerunterhaltung“. Die Maßnahmen zu Teichwirtschaft und Wasserkraft fallen meist unter die Zuständigkeit der jeweiligen Betreiber. Der Maßnahmenkatalog zu diesen beiden Nutzungen kann die Wasserwirtschaftsverwaltung jedoch bei der Beratung unterstützen und Zielkonflikte verringern.

Die Maßnahmentabelle stellt einen ersten Arbeitsstand dar, bietet aber bereits eine gute Diskussionsgrundlage. Sollen Maßnahmen umgesetzt werden, sind genauere Bewertungen notwendig. Dabei müssen in jedem Gebiet andere natürliche und wasserwirtschaftliche Randbedingungen berücksichtigt werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Die Pilotstudie Niedrigwasser ist ein erster Schritt, die Auswirkungen von Trockenheit, Niedrigwasser und erhöhter Wassertemperatur auf verschiedene wasserwirtschaftliche Bereiche abzuschätzen. Es zeigte sich, welche Methoden sich dafür gut eignen und wo weiterer Forschungsbedarf besteht. Die Zusammenarbeit zwischen Fachbehörde und den Experten vor Ort war für beide Seiten gewinnbringend.

Auch die Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz führten ähnliche Niedrigwasserstudien durch. Die Ergebnisse fasst KLIWA-Heft 23 (KLIWA 2018) zusammen. Die Tabelle der Handlungsoptionen wird aktuell in KLIWA erweitert und soll eine möglichst objektive Bewertungshilfe der darin enthaltenen Maßnahmen bieten.

## 6 Literaturverzeichnis

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2016): Ableitung von Temperaturpräferenzen des Makrozoobenthos für die Entwicklung eines Verfahrens zur Indikation biozönotischer Wirkungen des Klimawandels in Fließgewässern. KLIWA-Berichte, Heft 20.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2018): Niedrigwasser in Süddeutschland. Analysen, Szenarien und Handlungsempfehlungen. KLIWA-Berichte, Heft 23.

KLIWA, KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT (2019): Leitfaden zur Durchführung von KLIWA-Stresstests. (Stand: 08.07.2019). KLIWA-Kurzbericht, 19 S.

LFU, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2016): Niedrigwasser in Bayern - Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen.

LFU, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2018): Pilotstudie Niedrigwasser Naab und Sächsische Saale. Bericht aus der Kooperation KLIWA (Klimawandel und Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft). 275 S.

### Impressum:

#### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

#### Bearbeitung:

Ref. 81 / Foltyn

#### Bildnachweis:

Titelbild: WWA Hof, weitere Bilder: LfU

#### Stand:

Dezember 2019

#### Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.