

LFP-Projekt: LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor

Schlussbericht

Anlage 1: Indikator-Factsheets zu den finalisierten Indikatoren der LAWA-KG Klimaindikatoren

14.12.2022

Auftraggeber: **Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern** Eckhard Kohlhas
Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin

Auftragnehmer: **Bosch & Partner GmbH** Konstanze Schönthaler
Pettenkoferstraße 24 Can Ölmez
80336 München Mareike Wolf
Kantstraße 63a
10627 Berlin



Anlage 1: Dokumentation zu den finalisierten Indikatoren der LAWA KG-Klimaindikatoren

Diese Anlage enthält in Form von Einzeldateien alle Indikator-Factsheets zu Indikatoren, an denen die LAWA-KG Klimaindikatoren aktiv gearbeitet hat. Im Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“ sind die folgenden zwei Indikatoren ausgenommen, zu denen die Datenaktualisierung für den DAS-Monitoringbericht 2023 noch nicht abgeschlossen ist: Wassernutzungsindex (WW-R-1) und Investitionen in den Hochwasserschutz (WW-R-2). Im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ sind die folgenden vier Indikatoren ausgenommen, zu denen die LAWA-KG Klimaindikatoren nicht tätig war und zu denen die Datenaktualisierung für den DAS-Monitoringbericht 2023 noch nicht abgeschlossen ist: Wassertemperatur des Meeres (KM-I-1), Meeresspiegel (KM-I-2), Intensität von Sturmfluten (KM-I-3) und Investitionen in den Küstenschutz (KM-R-1).

Die Änderungen, die in den bereits zum Monitoringbericht 2019 eingebrachten Indikator-Factsheets vorgenommen wurden, sind rot markiert. Änderungen, die im Nachgang der Abstimmung des Indikatorensets für den Monitoringbericht 2023 mit der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie des Bundes eingearbeitet wurden, sind grün hervorgehoben.

Übersicht über die Indikator-Factsheets in Anlage 1:

Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“	
WW-I-1	Terrestrisch gespeichertes Wasser
WW-I-2	Grundwasserstand und Quellschüttungen
WW-I-3	Mittlerer Abfluss
WW-I-4	Hochwasser
WW-I-5	Spitzenabflüsse in Fließgewässern
WW-I-6	Niedrigwasser
WW-I-7	Wasserstand von Seen
WW-I-8	Wassertemperatur von Seen
WW-I-9	Frühjahrsalgenblüte in Seen
WW-I-10	Wassertemperatur von Fließgewässern
Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“	
KM-I-4	Veränderungen der Küstenmorphologie
KM-I-5	Fließrichtungswechsel
KM-I-6	Leistung von Schöpfwerken
KM-R-2	Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit
Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“	
GE-I-7	Cyanobakterienbelastung von Badegewässern

Indikator-Factsheet: Terrestrisch gespeichertes Wasser

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez, Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M2 – Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen (Asta Kunkel und Peter Krahe)	
Letzte Aktualisierung:	15.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez): Ersterstellung des Indikators
	21.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez): Einarbeitung von Hinweisen aus dem Gespräch mit dem GeoForschungsZentrum (GFZ) (Dr. Eva Börgens)
	12.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Kommentaren der BfG (Peter Krahe)
	25.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022; Berücksichtigung der Frage des BMDV nach den Möglichkeiten eines Datenlückenschlusses; Einarbeitung weiterer Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
Nächste Fortschreibung:	bis 2027	Die BfG strebt einen Lückenschluss in der Zeitreihe an. Bis zum Jahr 2017 sollte dies nach Einschätzung der BfG mit den verfügbaren Wasserhaushaltsmodellen gelingen. Nach 2017 machen sich jedoch die starken Rückgänge bei den Seen-Wasserständen (vgl. Indikator WW-I-7) bemerkbar. Es ist vorgesehen, zumindest die größeren Seen künftig in der Wasserhaushaltsmodellierung zu berücksichtigen. Dann ließen sich auch die jüngeren Datenlücken bereinigen. Zur Erfassung der Bodenfeuchte aus Satellitendaten läuft derzeit ein europaweites Vorhaben, dessen Ergebnisse ebenfalls perspektivisch in der Modellierung berücksichtigt werden können.

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-1	Titel: Terrestrisch gespeichertes Wasser
Einheit: mm Abweichung	Kurzbeschreibung des Indikators: Abweichungen der monatlichen terrestrisch gespeicherten Wassermenge vom langjährigen Mittel 2002 bis 2021; dargestellt für ganz Deutschland
	Berechnungsvorschrift: Der Indikator berechnet sich aus den vom GFZ bereitgestellten GRACE-Rasterdaten im netCDF Format. Die Daten müssen für die Fläche der Bundesrepublik zugeschnitten, anschließend akkumuliert und in eine Zeitreihe überführt werden. Die Datenauswertung wird durch das Referat M2 – Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) durchgeführt.
Interpretation des Indikatorwerts:	Müsste es nicht heißen: Je größer der Indikatorwert, desto größer ist die Abweichung der im jeweiligen Monat terrestrisch gespeicherten Wassermenge im

	Vergleich zum langjährigen Mittel? Je größer der Indikatorwert, desto größer ist die im jeweiligen Monat terrestrisch gespeicherte Wassermenge im Vergleich zum langjährigen Mittel. Ist der Wert Null, entspricht die im jeweiligen Monat terrestrisch gespeicherte Wassermenge dem langjährigen Mittel.
--	---

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Nicht zuordenbar
Thematischer Teilaspekt:	Nicht zuordenbar
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorsysteme:	keine
Begründung:	<p>Der Klimawandel hat, neben steigenden Lufttemperaturen sowie sich verändernden Niederschlagsmengen und -intensitäten, Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt. Dies schließt Folgen für die Evapotranspiration, das Sickerwasser, den Oberflächenabfluss, den unterirdischen Zufluss zu Oberflächengewässern und die Speisung des Grundwassers sowie den Bodenwassergehalt mit ein. Die Wasserbilanz summiert alle Komponenten des Wasserhaushalts. Dabei entspricht die Differenz zwischen Niederschlag, Verdunstung und dem Gebietsabfluss der Änderung des (terrestrischen) Wasserspeichers. Dieser umfasst Wasser in verschiedenen Kompartimenten: Grund- und Bodenwasser, Seen und Flüsse, Eis und Schnee sowie Wasserreservoirs (Talsperren etc.).</p> <p>Die Satellitenmissionen GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) und GRACE-FO (GRACE Follow-On) beobachten zeitliche Schwankungen des Schwerfelds der Erde, die sich nach Eliminierung des atmosphärischen Wassergehalts über der Landmasse Mitteleuropas den Variationen des gespeicherten Wassers, bezogen auf einen Referenzzeitraum seit Beginn der Mission im Jahr 2002, zuordnen lassen. Die GRACE-Mission ermöglicht damit erstmalig, Änderungen des terrestrisch gespeicherten Wassers quantitativ zu erfassen. Dadurch lassen sich auch die Folgen des Klimawandels auf das an Land gespeicherte Wasser abbilden. Monate und Jahre, in denen die Niederschläge den Wasserverlust durch Verdunstung und Abfluss übersteigen, gehen mit einer positiven Anomalie in die Zeitreihe ein. Monate und Jahre, in denen die Verdunstung überwiegt, zeigen eine negative Anomalie.</p> <p>Die räumliche Auflösung der Satellitendaten beträgt 300 km. In einer nachgeschalteten Daten-Prozessierung werden daraus höher aufgelöste Rasterdaten berechnet (ca. 110 km Länge und 70 km Breite). Die Daten sind damit für die Abbildung des gesamten Bundesgebiets ausreichend detailliert aufgelöst. Dargestellt werden allerdings nur Signale, die von Landflächen ausgehen. Sofern sich der Mittelpunkt eines Rasters nicht mehr auf dem Land befindet, wird dieses aus der Darstellung herausgenommen. An den Küstenflächen kommt es dadurch zu einer Reduktion der Informationsdichte. Gleichzeitig ist die Küstenfläche in Deutschland nicht allzu groß, sodass die Auswertung der Daten für Deutschland nicht zu stark beeinflusst wird.</p> <p>Das GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam stellt das fertig prozessierte Produkt frei zur Verfügung. Ohne eine weitere Verarbeitung in hydrologischen</p>

	<p>Modellen, lässt sich bereits einiges interpretieren. Insbesondere die Extremereignisse wie z. B. die Mitteleuropa-weiten Hochwasserereignisse im Mai / Juni 2013 oder die anhaltende Dürre, die im Jahr 2015 einsetzte und sich zwischen 2018 und 2020 in ganz Deutschland nochmals verstärkte, lassen sich in den Daten erkennen. Ebenfalls zeigen die Daten bereits, dass über den GRACE/GRACE-FO Beobachtungszeitraum (2002 bis 2021) die Wasserspeicherung in Deutschland im Mittel um rund 0,8 Gt pro Jahr (2.1 mm pro Jahr) abgenommen hat (Güntner 2022).</p> <p>Im Indikator werden ausgehend von den monatlichen absoluten Größen relative Abweichungen zu einem langjährigen Mittel (aktuell 2002 bis 2021) gebildet.</p>
Einschränkungen:	<p>Ursprünglich wurde die Laufzeit der GRACE-Mission auf fünf Jahre festgelegt. Aufgrund der hohen Relevanz für die Erdsystemforschung wurde der Betrieb der Satelliten fortgeführt, bis die Mission im Oktober 2017 letztendlich aufgrund von Batterieproblemen und ausgehendem Treibstoff beendet wurde. Die Relevanz der Ergebnisse führte dazu, dass GFZ und NASA die Nachfolgemission GRACE-FO realisiert haben, die im Mai 2018 gestartet wurde. Sowohl aufgrund der ab 2015 auftretenden Batterieprobleme an der GRACE-Mission, weshalb die Instrumente zeitweise abgeschaltet wurden, als auch durch die entstandene Datenlücke zwischen der GRACE und der GRACE-FO Mission, sind die Daten zwischen 2015 und 2018 weniger belastbar und müssen bei der Interpretation mit Vorsicht behandelt werden. Gegebenenfalls lassen sich Fehlmonate mit Modellierungen der BfG auffüllen. Für die Fortschreibung des Indikators bedarf es der Fortsetzung der Satellitenmission. Aktuell wird an einer Folgemission für GRACE-FO gearbeitet, die direkt an das Laufzeitende anschließen soll, damit es nicht wieder zu einer Datenlücke kommt. Allerdings ist diese Mission ebenfalls nur auf weitere 10 bis 15 Jahre angelegt. Die weitere Fortsetzung hängt von der finanziellen Förderung des Projekts ab.</p> <p>Die Abweichungen des terrestrisch gespeicherten Wassers beziehen sich auf ein langjähriges Mittel, das mit jeder Veröffentlichung neu berechnet wird. Die bis zur nächsten Veröffentlichung erhobenen Daten werden der Zeitreihe angehängt und beziehen sich auf das bis dahin geltende langjährige Mittel. Sobald der Datensatz mit einer neuen Veröffentlichung neu berechnet wird, ändert sich das langjährige Mittel, da mehr Daten für die Mittelwertbildung einbezogen werden. Die bis dahin angehängten Daten gehen in den neuen Mittelwert mit ein. Die bis dahin beobachteten Abweichungen des terrestrisch gespeicherten Wassers aktualisieren sich entsprechend.</p>
Erläuterungen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:	<p><u>Hintergründe zur GRACE-Mission:</u></p> <p>Die Satellitengravimetrie ist die einzige heute verfügbare Fernerkundungstechnik, die quantitative Schätzungen von Veränderungen der Wasserspeicherung auf regionaler bis globaler Ebene liefert. Anders als Radar- und Optische Verfahren kann die Satellitengravimetrie mehr als nur die oberflächennahen Speicherkompartimente bemessen. Sie erfasst sowohl die Änderungen des Wasserspeichers an der Erdoberfläche als auch im tiefen Untergrund.</p> <p>Die im Jahr 2002 gestartete GRACE-Satellitenmission (2002 bis 2017) sowie ihre Folgemission GRACE-FO (2018 bis 2023) ermöglichen über Schwerfeldmessungen die Quantifizierung der Speicheränderung des Gesamtwasserspeichers. Damit wurde erstmalig die Möglichkeit geschaffen, die in hydrologischen Modellen berechnete terrestrisch gespeicherte Wassermenge mit direkten Messungen zu vergleichen. Die GRACE-Daten werden und wurden bereits vielfältig in der Hydrologie angewendet, z. B. zur Quantifizierung der Beiträge der kontinentalen Eisschilde zum Anstieg des Meeresspiegels, der Grundwasseränderungen, der Wasserspeicherkapazität und des Überschwemmungspotenzials oder der Auswirkungen von Dürren. Weiterhin finden sie Anwendung in hydrologischen Modellen, zu Validierungs-, Kalibrierungs- oder Assimilationszwecken. Aktuell wird an einer zweiten Folgemission gearbeitet. Diese soll</p>

	<p>vor Einstellung der GRACE-FO Mission starten, sodass eine weitere Datenlücke vermieden wird.</p> <p><u>Datengrundlage:</u></p> <p>Das Messprinzip basiert auf einer Abstandsmessung zweier in Tandemformation fliegender GRACE-Zwillingsatelliten, die sich gegenseitig in einer polaren Umlaufbahn in sehr geringer Höhe (ca. 450 bis 500 km) verfolgen. Dabei beobachtet GRACE mit GPS die eigene Bahn und den Abstand zwischen den Satelliten. Änderungen des Abstands zwischen den Satelliten können in eine Änderung des Schwerkraftpotenzials und weiter in eine Massenänderung umgewandelt werden, die in der Regel als Gesamtänderung der Wasserspeicherung pro Fläche ausgedrückt wird. Die Abstandsmessungen haben eine Genauigkeit von wenigen Mikrometer. Nach etwa 30 Tagen weisen die GRACE/GRACE-FO eine annähernd homogene globale Abdeckung auf, sodass ein globales Schwerefeld bestimmt werden kann. Das fertige Produkt wird in einer dreistufigen Prozessierung vom GFZ aufbereitet und steht als netCDF (Raster-) Datei zum freien Download auf einem FTP-Server zur Verfügung.</p> <p><u>Validierungsarbeiten mit Modellergebnissen und Grundwassermessstellen:</u></p> <p>Zur Validierung der Abweichungen des terrestrisch gespeicherten Wassers vom Langzeitmittel werden die Ergebnisse mit den bundesweiten Wasserhaushaltsmodellen der Bundesanstalt für Gewässerkunde verglichen, die im Rahmen des Niedrigwasserberichts zur Niedrigwassersequenz 2015 bis 2018 (BfG 2021) erstellt wurden.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kap. 3.2.3:</p> <p>Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zeigen sich in langfristigen Trends (z. B. in den Grundwasserständen, der Änderung alpiner Abflussregime [...]) wie auch im häufigeren Auftreten von Extremereignissen (z. B. Hochwasser, Sturmfluten und Dürren).</p> <p>Die Wahrscheinlichkeit für Hochwasser durch häufigere und intensivere Starkniederschläge wird steigen.</p> <p>Durch wärmere Winter wird der Anteil von Schnee am Gesamtniederschlag abnehmen; es reduziert sich die zeitliche Speicherung als Schnee, sodass Niederschlag zu unmittelbarem Abfluss führt. Die winterliche Hochwassergefahr steigt.</p> <p>Häufigeres Auftreten von Niedrigwasserperioden durch meist sommerliche Trockenzeiten mit Auswirkungen auf die Kühlwasserentnahmen und die ökologische Situation.</p> <p>Sommer-niedrige Wasserstände in Oberflächengewässern [...] (können) einen erhöhten Aufwand für die Trinkwasseraufbereitung bedeuten.</p> <p>Häufigeres Auftreten von Trockenperioden in den Sommermonaten führen zu verstärkter Austrocknung der Feuchtgebiete und Moore.</p>
Ziele:	<p>DAS, Kap. 3.2.14: Sinken Grundwasserneubildungsraten aufgrund klimatischer Auswirkungen, erfordern regionale Wasserknappheiten eine verstärkte raumordnerische Sicherung von Wasserressourcen und ein planerisches Hinwirken auf angepasste Nutzungen.</p> <p>Wasserhaushaltsgesetz:</p> <p>§ 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer</p>

	<p>(1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht nach § 28 als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass 1. eine Verschlechterung ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands vermieden wird und 2. ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.</p> <p>§ 47 Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser</p> <p>Das Grundwasser ist so zu bewirtschaften, dass 1. eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands vermieden wird [...], 3. ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden; zu einem guten mengenmäßigen Zustand gehört insbesondere ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung.</p>
Berichtspflichten:	Erreichen der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie und des Wasserhaushaltsgesetzes

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Information System and Data Center (ISDC): Gravity Information Service (GravIS); GeoForschungsZentrum (GFZ)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	ganz Deutschland	
Zeitliche Auflösung:	<p>Monatlich (Terminwerte), ab April 2002</p> <p>Hinweis: Das langjährige Mittel bezieht sich im aktuellen Release (RL06) auf den Zeitraum April 2002 bis April 2020. Die nach April 2020 erhobenen Daten werden an die Zeitreihe angehängt. Mit der Veröffentlichung eines neuen Releases wird die gesamte Zeitreihe, bezogen auf ein neu berechnetes langjähriges Mittel, aktualisiert.</p>	
Beschränkungen:	Von Juni 2017 bis Mai 2018 sind aufgrund des Endes der ersten GRACE Mission keine Satellitendaten vorhanden.	
Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-1_Daten_Terrestrisch_gespeichertes_Wasser.xlsx	

V Zusatz-Informationen

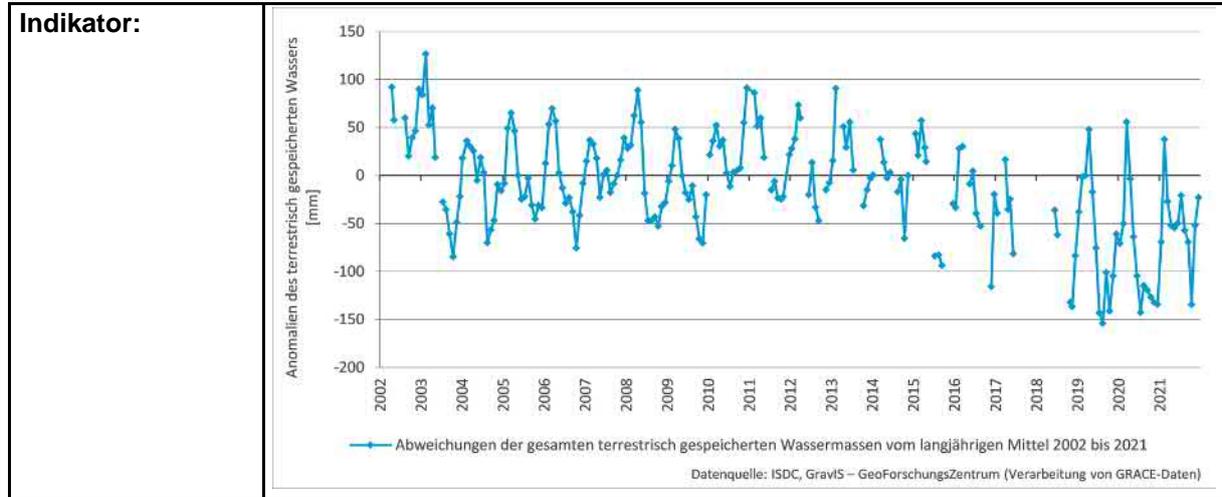
Glossar:	-
Weiterführende Informationen:	<p>BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.) 2021: Die Niedrigwassersequenz der Jahre 2015 bis 2018 in Deutschland – Analyse, Einordnung und Auswirkungen. Mitteilungen Nr. 35, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 412 S. www.bafg.de/DE/05_Wissen/04_Pub/02_Mitteilungen/BfG-Mitteilungen35.html</p> <p>Boergens E., Dobslaw H., Dill R. 2019: GFZ GravIS RL06 Continental Water Storage Anomalies. V. 0004. GFZ Data Services. http://doi.org/10.5880/GFZ.GRAVIS_06_L3_TWS</p> <p>Boergens E., Dobslaw H., Dill R., Thomas M., Dahle C., Murböck M., Flechtner F. 2020: Modelling spatial covariances for terrestrial water storage variations verified with synthetic GRACE-FO data International Journal on Geomathematics 11, 24. https://doi.org/10.1007/s13137-020-00160-0</p>

	<p>Boergens E., Güntner A., Dobslaw H., Dahle C. 2020: Quantifying the Central European Droughts in 2018 and 2019 with GRACE follow-on Geophysical Research Letters, 47 (14), p. 1672. https://doi.org/10.1029/2020GL087285</p> <p>Güntner A. 2022: Aktuelle Erkenntnisse aus der GRACE-Satellitenmission für Deutschland. Vortrag DVGW Forum am 15.06.2022.</p> <p>Eicker A., Jensen L., Wöhnke V. et al. 2020: Daily GRACE satellite data evaluate short-term hydro-meteorological fluxes from global atmospheric reanalyses. Sci Rep 10, 4504. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61166-0</p> <p>GFZ 2022: GRACE Products. www.gfz-potsdam.de/en/section/global-geomonitoring-and-gravity-field/projects/grace/grace-products</p> <p>Springer A., Kusche J., Hartung K., Ohlwein C., Longuevergne L. 2014: New Estimates of Variations in Water Flux and Storage over Europe Based on Regional (Re)Analyses and Multisensor Observations, Journal of Hydrometeorology, 15(6), 2397-2417. https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0050.1</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	1	Eine datenhaltende Organisation, Daten können frei heruntergeladen werden
	Datenverarbeitung:	3	Zur Darstellung des Indikators müssen die im NetCFD Format gespeicherten Rasterdaten extrahiert, auf die Fläche Deutschlands zugeschnitten und Zeitreihen erstellt werden.
	<u>Erläuterung:</u> Die Datenauswertung wird in Zusammenarbeit mit dem Referat M2 – Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen des BfG durchgeführt. Das BfG liefert die Rohdaten, die weiterverarbeitet und in das Daten-Factsheet eingepflegt werden. Der Zeitaufwand für die Berechnung und Plausibilisierung des Indikators wird auf ca. drei Arbeitstage (BfG) geschätzt. Die Übernahme der Daten in das Indikator-Factsheet nimmt 2 Stunden in Anspruch.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	BfG, Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

Anlage 1 – Technischer Hintergrund zur GRACE Mission

Alle GRACE-Produkte werden von einem gemeinsamen Science Data System verarbeitet und archiviert. Dieses besteht aus dem Jet Propulsion Laboratory der NASA, dem University of Texas Center for Space Research sowie dem Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ). Die Verarbeitung erfolgt von dem Rohdatenlevel Level-0 bis Level-2. Die berechneten Level-2-Daten werden anschließend mit verschiedenen Algorithmen zu einem Level-3-Endprodukt weiterverarbeitet, das Informationen zur Änderung des Wasserspeichers enthält (unter anderem verfügbar beim ISDC des GFZ). Die Hintergrundmodelle, die in den unterschiedlichen Analysezentren (z. B. GFZ, COST-G) verwendet werden, sind weitestgehend einheitlich. Mit der regelmäßigen Überarbeitung der Datenprozessierung nähern sich die Datenprodukte der unterschiedlichen Analysezentren immer weiter an. Für die Anwendung der Daten im Bundesgebiet eignet sich das Produkt des GFZ aus Potsdam am besten.

Die aktuellen Daten sind aus dem Release 06. Monatlich wird das aktuelle Release um den Datensatz des vorherigen Monats erweitert. Die Daten stehen, bis das neue Release herauskommt, online zum Herunterladen zur Verfügung. Mit der Veröffentlichung eines neuen Releases werden alle – bis dahin verfügbaren – Daten neu aufbereitet.

Level-0: Die Level-0-Daten sind das Ergebnis des Empfangs, der Sammlung und der Freigabe der Daten durch das Raw Data Center (RDC) des Mission Operation System (MOS) in Neustrelitz/Deutschland.

Level-1: Die Level-1 Datenprodukte sind das Ergebnis einer nicht-destruktiven Verarbeitung (A) bzw. einer möglicherweise destruktiven oder irreversiblen Verarbeitung (B) der Level-0-Daten. Die Sensorkalibrierungsfaktoren werden angewendet, um die binär kodierte Messungen in technische Einheiten umzuwandeln. Die Daten werden korrekt mit Zeitmarken versehen und die Abtastrate der Daten ist gegenüber den höheren Raten der vorherigen Ebenen (Level-0) reduziert.

Level-2: Level-2-Daten umfassen das kurzfristige (monatliche und wöchentliche) und statische Schwerefeld, das aus kalibrierten und validierten GRACE Level-1B-Datenprodukten abgeleitet wird. Diese Ebene umfasst auch zusätzliche Datensätze (z. B. mittlere atmosphärische und ozeanische Massenschwankungen), die zur Interpretation der zeitlichen Variabilität der Schwerefeldlösungen erforderlich sind. Die Level-2-Prozessierungssoftware wurde von allen drei Prozessierungszentren unabhängig voneinander entwickelt. Die routinemäßige Verarbeitung erfolgt am UTCSR und GFZ, während das JPL Level-2-Produkte zu Verifikationszwecken erzeugt.

Level-3: Das Level-3 Produkt der Änderungen des terrestrisch gespeicherten Wassers enthält das im GFZ-Webportal GravIS visualisierte und im GFZ-Datenarchiv ISDC bereitgestellte Endprodukt der GRACE- und GRACE-FO Daten.

Indikator-Factsheet: Grundwasserstand und Quellschüttung

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0 Überarbeitet i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	<p>Neuentwicklung für Monitoringbericht 2019 in Zusammenarbeit mit der Untergruppe Grundwasser der LAWA Kleingruppe (KG) Klimaindikatoren: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL), Referat 22 Oberflächengewässer, Siedlungswasserwirtschaft (Sandra Berdermann) Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Dezernat W4 Hydrogeologie, Grundwasser (Georg Berthold) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV), Fachbereich 52 Grundwasser, Wasserversorgung, Trinkwasser, Lagerstättenabbau (Peter Neumann) Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MUEBK), Referat 23: Grundwasser, Wasserversorgung, Fachplanungs- und Datenmanagement, Gewässerkundlicher Landesdienst (Ute Brase) Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (SMUL), Referat 44 Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie (Karin Kuhn) Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) (Christiana Mühlner) Überarbeitet für Monitoringbericht 2023 in Zusammenarbeit mit der Untergruppe Grundwasser der LAWA Kleingruppe (KG) Klimaindikatoren</p>	
Letzte Aktualisierung:	16.01.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Neufassung des Indikators; der ehemalige Indikator „Mengenmäßiger Grundwasserzustand“ wird durch diesen neuen Indikator ersetzt und nicht weitergeführt.
	17.04.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung der Hinweise aus der Ressortabstimmung
	16.12.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Hinweise aus den LAWA-Gremien
	09.03.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez, Konstanze Schönthaler) Überarbeitung der Messstellenauswahl in Niedersachsen und Thüringen, Umsetzung der in der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren vereinbarten Regionalisierung des Indikators in eine Region Nord und eine Region Süd. Nummerierung und Titel des Indikators geändert (vormals WW-I-1 Grundwasserstand)
	25.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2027	Im Rahmen der IKSE haben sich die „Elbe-Länder“ mit Tschechien auf eine Methode zur Auswertung von Niedrigwassersituationen im Grundwasser geeinigt, die allerdings bisher nur beispielhaft einmal in Thüringen angewendet wurde. Es ist weiter zu

		<p>erörtern, ob diese Methodik möglicherweise Impulse zur weiteren Verbesserung des Indikators geben kann.</p> <p>Ferner ist denkbar, ergänzend zu den Monaten mit Unter- und Überschreitungen künftig auch zu den Extremen der Unter- bzw. Überschreitung zu berichten und Darstellungen hierzu in den Indikator zu integrieren.</p>
--	--	---

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-2	Titel: Grundwasserstand und Quellschüttung
<p>Einheit:</p> <p>Indikator I:</p> <p><u>Teil A:</u> Anzahl</p> <p><u>Teil B:</u> Anzahl</p> <p>Indikator II:</p> <p><u>Teil A:</u> Anzahl</p> <p><u>Teil B:</u> Anzahl</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators:</p> <p>Indikator I: Grundwasserstand und Quellschüttung in der Region Nord</p> <p><u>Teil A:</u> Monate mit einer Überschreitung des mittleren höchsten Grundwasserstands / der mittleren höchsten Quellschüttung der Referenzperiode 1971–2000, gemittelt über alle Messstellen der Region Nord</p> <p><u>Teil B:</u> Monate mit einer Unterschreitung des mittleren niedrigsten Grundwasserstands / der mittleren niedrigsten Quellschüttung der Referenzperiode 1971–2000, gemittelt über alle Messstellen der Region Nord</p> <p>Indikator II: Grundwasserstand und Quellschüttung in der Region Süd</p> <p><u>Teil A:</u> Monate mit einer Überschreitung des mittleren höchsten Grundwasserstands / der mittleren höchsten Quellschüttung der Referenzperiode 1971–2000, gemittelt über alle Messstellen der Region Süd</p> <p><u>Teil B:</u> Monate mit einer Unterschreitung des mittleren niedrigsten Grundwasserstands / der mittleren niedrigsten Quellschüttung der Referenzperiode 1971–2000, gemittelt über alle Messstellen der Region Süd</p> <p>Berechnungsvorschrift:</p> <p><u>Hinweis:</u> Die datenliefernden Bundesländer stellen einen für jede Messstelle plausiblen Datensatz zur Verfügung mit dem das im Folgenden beschriebene Vorgehen störungsfrei durchgeführt werden kann.</p> <p><u>Schritt 1:</u></p> <p>Ermittlung der Referenzwerte zu den höchsten bzw. niedrigsten Grundwasserständen / Quellschüttungen für die Referenzperiode 1971-2000 für jede einzelne Messstelle</p> <p>Für Teil A: Mittlerer höchster Grundwasserstand / mittlere höchste Quellschüttung₁₉₇₁₋₂₀₀₀ = Mittelwert der jährlichen Höchststände der hydrologischen Jahre 1971-2000</p> <p>Für Teil B: Mittlerer niedrigster Grundwasserstand / mittlere niedrigste Quellschüttung₁₉₇₁₋₂₀₀₀ = Mittelwert der jährlichen Niedrigstände der hydrologischen Jahre 1971-2000</p> <p><u>Schritt 2:</u></p> <p>Für Teil A: Für jede einzelne Messstelle Ermittlung der Anzahl der Monate eines jeden hydrologischen Jahres, in denen der Monatsmittelwert den langjährigen höchsten Grundwasserstand / die langjährig höchste Quellschüttung (aus Schritt 1) überschreitet.</p> <p>Mittlerer Grundwasserstand bzw. mittlere Quellschüttung_{Monat} – Mittlerer höchster Grundwasserstand bzw. mittlere höchste Quellschüttung₁₉₇₁₋₂₀₀₀ > 0</p>

	<p>Für Teil B: Für jede einzelne Messstelle Ermittlung der Anzahl der Monate eines jeden hydrologischen Jahres, in denen der Monatsmittelwert den langjährigen niedrigsten Grundwasserstand / die langjährig niedrigste Quellschüttung (aus Schritt 1) unterschreitet.</p> <p>Mittlerer Grundwasserstand bzw. mittlere Quellschüttung_{Monat} – Mittlerer niedrigster Grundwasserstand bzw. mittlere niedrigste Quellschüttung₁₉₇₁₋₂₀₀₀ < 0</p> <p>Hinweis: Es werden alle Messstellen berücksichtigt, zu denen für mind. 6 Monate des jeweiligen hydrologischen Jahres Monatsmittelwerte vorliegen.</p> <p><u>Schritt 3:</u></p> <p>Für Teil A: Mittelung aller Monatssummen mit Überschreitungen des langjährigen höchsten Grundwasserstands / der langjährigen höchsten Quellschüttung (aus Schritt 2) für die im jeweiligen Jahr berücksichtigten Messstellen, differenziert für die Region Nord (Indikator I) und die Region Süd (Indikator II)</p> <p>Für Teil B: Mittelung aller Monatssummen mit Unterschreitungen des langjährigen niedrigsten Grundwasserstands / der langjährigen niedrigsten Quellschüttung (aus Schritt 2) für die im jeweiligen Jahr berücksichtigten Messstellen, differenziert für die Region Nord (Indikator I) und die Region Süd (Indikator II)</p> <p>Region Nord: alle Messstellen in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt</p> <p>Region Süd: alle Messstellen in den Bundesländern Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen, Sachsen, Thüringen</p>
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p><u>Teil A:</u> Je höher der Indikatorwert ist, an desto mehr Monaten im Mittel der betrachteten Messstellen kommt es zu Überschreitungen des langjährigen mittleren höchsten Grundwasserstands bzw. der langjährigen mittleren höchsten Quellschüttung.</p> <p><u>Teil B:</u> Je höher der Indikatorwert ist, an desto mehr Monaten im Mittel der betrachteten Messstellen kommt es zu Unterschreitungen des langjährigen mittleren niedrigsten Grundwasserstands bzw. der langjährigen mittleren niedrigsten Quellschüttung.</p>

II Einordnung

<p>Handlungsfeld:</p>	<p>Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft</p>
<p>Themenfeld:</p>	<p>Grundwasserneubildung/Grundwasserstand</p>
<p>Thematischer Teilaspekt:</p>	<p>Veränderung von Grundwasserständen</p>
<p>DPSIR:</p>	<p>Impact</p>

III Herleitung und Begründung

<p>Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:</p>	<p>Klimafolgenmonitoring Baden-Württemberg: I-WH-1 Grundwasserstand und Quellschüttung</p> <p>Klimafolgenmonitoring Nordrhein-Westfalen: 2.4 Grundwasserstand, 2.5 Grundwasserneubildung</p> <p>Klimafolgenmonitoring Thüringen: I-WW-1 Grundwasserstand und Quellschüttungen</p> <p>Klimafolgenmonitoring Sachsen: I-W3 Entwicklung des Grundwasserstands</p> <p>Klimafolgenmonitoring Sachsen-Anhalt: Langjähriger mittlerer Grundwasserstand für die Messstelle Piesdorf</p>
--	---

Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Der Klimawandel beeinflusst die Grundwasserneubildung durch veränderte Temperaturen und Niederschläge: Wegen steigender Temperaturen erhöht sich unter anderem die Verdunstung und damit verringert sich die Versickerung und Grundwasserneubildung. Die veränderten Niederschlagsverhältnisse beeinflussen über den Abfluss an der Oberfläche die Grundwasserneubildung. Während Niederschlagszunahmen in den Wintermonaten tendenziell einen Anstieg der Grundwasserstände vermuten lassen, kommt es in den Sommermonaten zu einer Reduzierung der Grundwasservorräte. Grundsätzlich wirken Veränderungen des Verdunstungsanspruchs der Atmosphäre und des Niederschlagsregimes bei der Beeinflussung des Grundwasserstands stark zusammen. Durch welchen der Faktoren in einem bestimmten Jahr oder auch in einer Episode die Grundwasserstände dominierend beeinflusst werden, lässt sich ohne eine genauere Betrachtung des jeweiligen Gebietsniederschlags i. d. R. nicht sagen.</p> <p>Im Vergleich zu Oberflächengewässern reagieren Grundwässer langfristig auf die Verschiebung von Niederschlagsmengen, wodurch z. B. Jahre mit einer geringen Gesamtniederschlagsmenge kompensiert werden können. Allerdings können lokale Niederschlagszunahmen auch durch ansteigende Temperaturen und damit einhergehender erhöhter Verdunstung überkompensiert werden. Wichtig ist, dass der Klimawandel nicht nur die Grundwasserneubildung beeinflusst, sondern auch die Nutzung des Grundwassers: Der Anstieg der Lufttemperaturen bzw. der Häufigkeit und Dauer von Hitzeperioden kann zu verstärkten Wasserentnahmen für Trink- und Brauchwasserzwecke führen.</p> <p>Vor allem in Grundwasserkörpern, die der Trink- oder Brauchwasserentnahme unterliegen (z. B. für die landwirtschaftliche Bewässerung), ist der Grundwasserstand in erheblichem Maße von der Intensität dieser Nutzungen beeinflusst. Beispielsweise stiegen die Grundwasserentnahmen als Folge des Bevölkerungswachstums in den 1960er/70er-Jahren und des Wirtschaftswachstums (insbesondere im produzierenden Gewerbe) bis in die 1980er Jahre an.</p> <p>Um Effekte des Klimawandels abzubilden, bedarf es daher der Beobachtung möglichst weitgehend anthropogen unbeeinflusster Grundwassermessstellen oder Quellschüttungen. Quellschüttungen sind in Festgesteinsgebieten zumeist die einzige Möglichkeit, Aussagen über die Grundwasserquantität zu erzielen.</p> <p>Relevanz:</p> <p>In Deutschland werden zwei Drittel des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Die Neubildung qualitativ hochwertigen Grundwassers ist daher eine grundlegende Voraussetzung für eine nachhaltige Trinkwasserbereitstellung. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl grundwasserabhängiger Ökosysteme. Hierzu gehören Feuchtgebiete, die Teil eines Oberflächengewässers sind (wie z. B. Röhrichtgürtel an Seen oder Bruchwälder an Flüssen) sowie Biotoptypen auf Standorten mit einem Grundwasserflurabstand von drei, mitunter sogar bis zu fünf Metern. Diese Ökosysteme sind von Veränderungen des Grundwasserstands direkt betroffen. Von Relevanz ist ebenfalls, dass Oberflächengewässer auch aus dem Grundwasser gespeist werden, was auch oder insbesondere in Trockenzeiten bedeutsam ist.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz:</p> <p>Der DAS-Indikator zur Entwicklung des Grundwasserstands dient dem Ziel, klimabedingte Veränderungen der Grundwassermenge an anthropogen möglichst unbeeinflussten Messstellen zu erfassen. Für den Indikator werden Daten von den Ländern ausgewählter Messstellen analysiert. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach den folgenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none">• anthropogen möglichst unbeeinflusst, d. h. im Einzugsgebiet möglichst keine Grundwasserentnahmen, keine Beregnungen, kein Bergbau (Absenkungs-
--------------------	--

	<p>trichter), wenig Versiegelung und wenige Änderungen in der Flächenbewirtschaftung (vor allem für die Messstellen in den neuen Bundesländern ist zu berücksichtigen, dass nach der Wende die Entnahme teilweise großer Wassermengen aus chemisch eher weniger geeigneten Grundwasserleitern aufgegeben wurde),</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verfilterung im obersten wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasserleiter, nicht tiefer als 40 m unter Gelände, die Filterunterkante stets unterhalb des niedrigsten zu erwartenden Grundwasserstand, bzw. Ausbau bis zur Aquiferbasis (ein Trockenfallen der Messstelle ist unbedingt zu vermeiden), • ungespannte Grundwasserleiter; bindige, nicht weitflächig durchgehende Deckschichten müssen hingegen kein Ausschlusskriterium darstellen. <p>Außerdem wurden folgende Anforderungen an die Datenverfügbarkeit und -qualität gestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datenverfügbarkeit für eine Zeitreihe mindestens ab dem hydrologischen Jahr 1971, • regelmäßiger Messturnus (mindestens monatlich), Lücken oder geringerer Turnus möglichst nicht mehr als zwei Jahre innerhalb des 30 Jahreszeitraums, • keine erkennbaren Messfehler z. B. durch Gerätedefekt, Wechsel der Geräte oder Methodik, Messstellenverlegung, Ablesefehler, Beobachterwechsel etc. (es erfolgte durch die Datenbereitsteller eine „Sichtprüfung“ der Ganglinien), • Datenerhebung an der Messstelle auch in Zukunft gesichert (dies betrifft u. a. die unbeschränkte Zugänglichkeit des Grundstücks, auf dem sich die Messstelle befindet, oder den Ausschluss von in naher Zukunft absehbar reparaturbedürftigen Messstellen). <p>Für die Auswahl der Messstellen war außerdem entscheidend, dass sie räumlich möglichst gleichmäßig über die Bundesrepublik verteilt sind und die 36 Hydrogeologischen Räume in Deutschland (nach BGR), möglichst abdecken, damit gesichert ist, dass die unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnisse bestmöglich repräsentiert werden (s. Anlage 1).</p> <p>Auswertung der Daten:</p> <p>Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika der Grundwasserverhältnisse an den Messstellen lassen sich die absoluten Messwerte über mehrere Messstellen nicht sinnvoll für eine bundesweite Darstellung mitteln. Jede Messstelle hat ihre eigenen Gangliniengesetzmäßigkeiten und ein unterschiedliches Trendverhalten. Daher werden für die Ermittlung des DAS-Indikators zunächst für jede einzelne Messstelle die Abweichungen von langjährigen Mitteln analysiert. Über diese individuellen Abweichungen (Monatsmittelwerte liegen über dem langjährigen höchsten bzw. unter dem mittleren langjährigen niedrigsten Grundwasserstand) ist dann eine Mittelung möglich.</p> <p>Aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen und klimatischen Voraussetzungen innerhalb Deutschlands wurde in Zusammenarbeit mit der LAWA-KG Klimaindikatoren entschieden, den Indikator für die Region Nord und Süd differenziert zu generieren. Die Grenze zwischen Nord und Süd wird dabei entlang von Bundeslandgrenzen gezogen. Weitere regionale Besonderheiten / Spezifika wie beispielsweise der zunehmende kontinentale Einfluss im norddeutschen Tiefland können im bundesweiten Monitoring nicht vertieft werden. Dies kann nur im Rahmen der länderspezifischen Berichterstattung thematisiert werden.</p>
Einschränkungen:	Trotz der gezielten Messstellenauswahl können, wenn auch mit wenigen Ausnahmen, aufgrund von Messlücken nicht in allen Jahren alle ausgewählten Messstellen berücksichtigt werden (eine Messstelle wird für ein definiertes Jahr

	<p>dann nicht mitberücksichtigt, wenn die Anzahl der nicht vorliegenden Monatsmittelwerte in dem Wasserwirtschaftsjahr größer als 6 ist). Dadurch können sich kleinere Verschiebungen ergeben.</p> <p>Da nicht für alle Messstellen Daten bereits ab 1961 vorliegen, wurde die Referenzperiode auf den Zeitraum 1971-2000 gesetzt.</p> <p>Die Quellschüttungen unterscheiden sich (in Abhängigkeit ihrer Einzugsgebietsgröße) von den Grundwassermessstellen im Wesentlichen dadurch, dass sie schneller auf Änderungen des Niederschlagsregimes reagieren. Dennoch wurde gutachterlich entschieden, die Daten von Grundwassermessstellen und Quellschüttungen in der Auswertung zusammenzuführen.</p> <p>Innerjährliche Veränderungen werden mit dem Indikator nicht erfasst und dargestellt. Dies wäre jedoch mit den vorliegenden Daten grundsätzlich möglich.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • EU-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 23. Oktober 2000) (WRRL) • Grundwasserverordnung (Grundwasserverordnung vom 9. November 2010, BGBl. I S. 1513) (GrwV) • Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013 (MKRO 2013), beschlossen von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 06.02.2013
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kap. 3.2.3: Gleichwohl können künftig vor allem bei längeren und häufiger auftretenden regionalen Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden regional Nutzungskonflikte bei oberirdischen Gewässern und insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen (z. B. für Beregnung) möglich werden.</p>
Ziele:	<p>DAS, Kap. 3.2.14: Sinken Grundwasserneubildungsraten aufgrund klimatischer Auswirkungen, erfordern regionale Wasserknappheiten eine verstärkte raumordnerische Sicherung von Wasserressourcen und ein planerisches Hinwirken auf angepasste Nutzungen.</p> <p>EU-WRRL:</p> <p>Art. 4 (1), b), ii): Die Mitgliedstaaten schützen, verbessern und sanieren alle Grundwasserkörper und gewährleisten ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung mit dem Ziel, spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie [...] einen guten Zustand des Grundwassers zu erreichen.</p> <p>Anhang V Nr. 2.1 Mengenmäßiger Zustand des Grundwassers, 2.1.2 Guter Zustand: Der Grundwasserspiegel im Grundwasserkörper ist so beschaffen, dass die verfügbare Grundwasserressource nicht von der langfristigen mittleren jährlichen Entnahme überschritten wird.</p> <p>Grundwasserverordnung (GrwV) § 4 (2): Der mengenmäßige Grundwasserzustand ist gut, wenn 1. die Entwicklung der Grundwasserstände oder Quellschüttungen zeigt, dass die langfristige mittlere jährliche Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot nicht übersteigt und 2. durch menschliche Tätigkeiten bedingte Änderungen des Grundwasserstandes zukünftig nicht dazu führen, dass a) die Bewirtschaftungsziele nach den §§ 27 und 44 des Wasserhaushaltsgesetzes für die Oberflächengewässer, die mit dem Grundwasserkörper in hydraulischer Verbindung stehen, verfehlt werden, b) sich der Zustand dieser Oberflächengewässer im Sinne von § 3 Nummer 8 des Wasserhaushaltsgesetzes signifikant verschlechtert, c) Landökosysteme, die direkt vom Grundwasserkörper abhängig sind, signifikant geschädigt werden und d) das Grundwasser durch Zustrom von Salzwasser oder anderen Schadstoffen infolge räumlich und zeitlich begrenzter Änderungen der Grundwasserfließrichtung nachteilig verändert wird.</p>

	MKRO 2013, Kap. 3.5: Das Handlungskonzept identifiziert folgende Handlungsbedarfe: Festlegung von Vorranggebieten (ggf. Vorbehaltsgebieten) für den Grundwasserschutz (oder vergleichbare Vorranggebiete), Unterstützung des Erhalts bzw. der Verbesserung des Wasserhaushaltes der Böden (Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit, Verbesserung des Infiltrationsvermögens) in den empfindlichen Bereichen der Grundwassereinzugsgebiete, Vorausschauende Lenkung stark (grund-)wasserverbrauchender Nutzungen.
Berichtspflichten:	Im Rahmen ihrer Berichtspflichten gegenüber der EU (Artikel 8 und 15 WRRL), sind die Bundesländer verpflichtet, über die Ergebnisse der Überwachung des (mengenmäßigen) Zustands des Grundwassers auf Ebene der Grundwasserkörper zu berichten. Hierzu sind Erhebungen zum Grundwasserstand erforderlich.

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Grundwassermessstellen und Messungen von Quellschüttungen der Bundesländer: Messungen zum Grundwasserstand (Monatsmittelwerte sowie jährliche Höchst- und Niedrigststände) (s. Anlage 1)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	alle Bundesländer (außer dem Saarland, dessen hydrogeologische Räume durch Messstellen in Rheinland-Pfalz ausreichend repräsentiert sind, sowie den Stadtstaaten Hamburg, Berlin und Bremen), insgesamt 148 Messstellen	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 1961 Der Zeitraum 1961 - 1970 wird im Indikator separat ausgewiesen, da für diesen Zeitabschnitt nur für 117 der insgesamt 148 Messstellen Daten zur Verfügung stehen; an den anderen Messstellen starteten die Erhebungen später. Es entsteht dadurch ein Bruch in der Zeitreihe.	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-2_Daten_GWstand.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	<p>Grundwasser: alles unterirdische Wasser unterhalb der Bodenoberfläche, das den Porenraum einer Boden- bzw. Gesteinsmatrix zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich von der Schwerkraft bestimmt wird.</p> <p>Grundwasserkörper: ein eindeutig abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter</p> <p>Grundwasserleiter: Gesteinskörper, der aufgrund seines Gehaltes an Hohlräumen in der Lage ist, Grundwasser weiterzuleiten, sodass entweder ein nennenswerter Grundwasserstrom oder die Entnahme erheblicher Grundwassermengen möglich ist</p> <p>Grundwasserstand: das Niveau in der gesättigten Zone, auf dem der hydrostatische Druck gleich dem Atmosphärendruck ist</p> <p>Quellschüttung: Eine Quellschüttung stellt den unterirdischen Anteil des Abflusses im Wasserkreislauf dar. Durch die Messung der Quellschüttungen können die Grundwasserverhältnisse in nur geringdurchlässigen Grundwasserleitern sinnvoll beobachtet werden. Als Messmethoden zur Erfassung der Quellschüttung kommen beispielsweise die Volumen-Füllzeitmessung, die</p>
-----------------	--

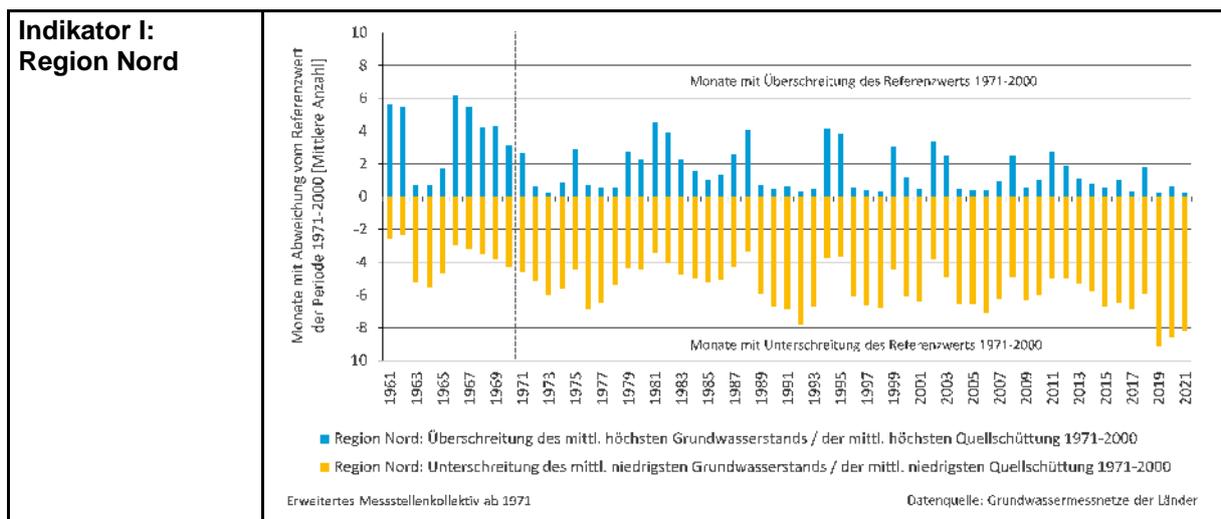
	<p>Wasserstandsmessung, die Messung über die Geschwindigkeitsverteilung oder die Durchflussbestimmung in Rohren zum Einsatz.</p> <p>Hydrogeologische Raumgliederung: Als Grundlage für die Bestandsaufnahme und Zustandsanalyse der Grundwasserkörper in Deutschland gemäß EU-WRRL wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) eine geologisch-hydrogeologische Beschreibung der Grundwasserleiter und eine hydrogeologische Raumgliederung (HYRAUM) erarbeitet. Letztere liefert eine Abgrenzung von Gebieten mit gleichen oder sehr ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften, wobei diese Gebiete mit abnehmendem Detaillierungsgrad Hydrogeologische Einheiten, Hydrogeologische Teilräume, Hydrogeologische Räume und Hydrogeologische Großräume umfassen.</p> <p>MHQ: Mittlerer Hochwasserabfluss der betrachteten Zeitspanne als arithmetische Mittel der höchsten Abflüsse (HQ) gleichartiger Zeitabschnitte für die Jahre des Betrachtungszeitraums innerhalb eines Einzugsgebiets (in l/s oder m³/s)</p> <p>MNQ: Mittlerer Niedrigwasserabfluss der betrachteten Zeitspanne als arithmetische Mittel der niedrigsten Abflüsse (NQ) gleichartiger Zeitabschnitte für die Jahre des Betrachtungszeitraums innerhalb eines Einzugsgebiets (in l/s oder m³/s)</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Informationen zur HYRAUM der BGR: www.bgr.bund.de/DE/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/Beratung/Hyraum/hyraum_projektbeschreibung.html?nn=1546102</p> <p>AnKliG-Bericht 2010: Anpassungsstrategien an Klimatrends und Extremwetter und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement. BMBF-Fördermaßnahme: Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen, Teilaspekt B: Anpassung an Klimatrends und Extremwetter, Darmstadt, 130 S. www.anklig.de/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=6&Itemid=16</p> <p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – LUBW, Bayerisches Landesamt für Umwelt – LfU, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz – LUWG, Deutscher Wetterdienst – DWD) (Hrsg.) 2011: Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. KLIWA-Berichte Heft 16, 148 S.</p> <p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – LUBW, Bayerisches Landesamt für Umwelt – LfU, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz – LUWG, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – HLNUG (Gaststatus), Deutscher Wetterdienst – DWD) (Hrsg.) 2017: Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). KLIWA-Berichte Heft 21, 102 S.</p> <p>Bannick C., Engelmann B., Fendler R., Frauenstein J., Ginzky H., Hornemann C., Ilvonen O., Kirschbaum B., Penn-Bressel G., Rechenberg J., Richter S., Roy L., Wolter R. 2008: Grundwasser in Deutschland. In: BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Reihe Umweltpolitik, Berlin, 71 S. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3642.pdf</p> <p>Cuthbert M. O., Gleeson T., Moosdorf N., Befus K. M., Schneider A., Hartmann J., Lehner B. 2019: Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions. Nature Climate Change volume 9: 137–141. https://www.nature.com/articles/s41558-018-0386-4</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche</p>

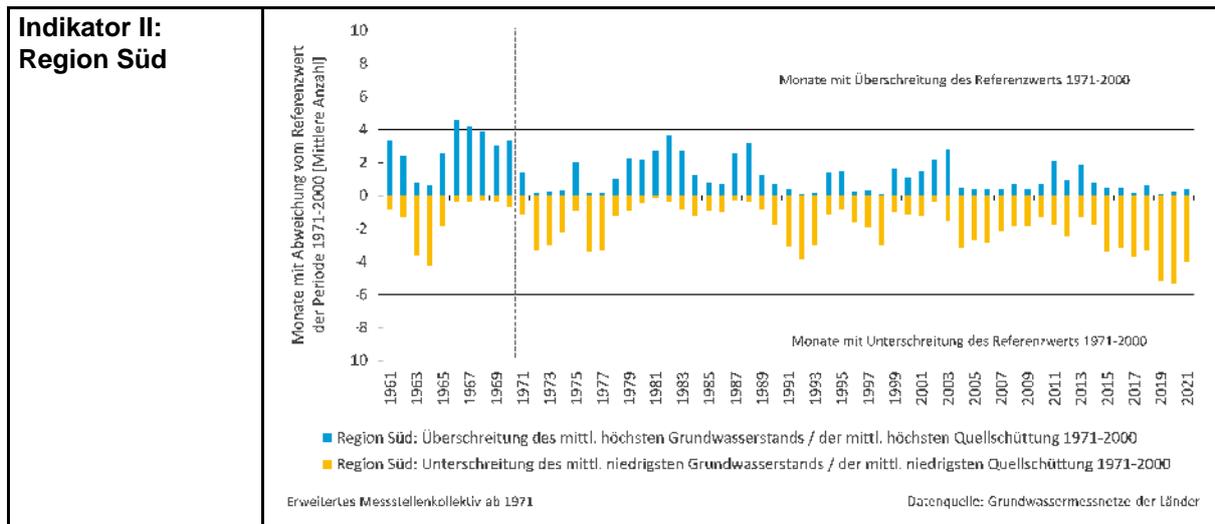
	<p>Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p> <p>Wunsch A., Liesch T., Broda S. 2022: Deep learning shows declining groundwater levels in Germany until 2100 due to climate change. Nature Communications 13, Article number: 1221. www.nature.com/articles/s41467-022-28770-2</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten und dem Saarland) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverar-beitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Daten-aufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<p><u>Erläuterung:</u> Die Daten müssen von den Ländern individuell angefragt werden. In einigen Ländern können die jährlichen Höchst- und Niedrigstwerte nicht einfach aus den Datenbanken ausgelesen werden. Für die weitere Verarbeitung sind Auswertungsroutinen im Daten-Factsheet angelegt. Der Zeitaufwand für die Berechnung des Indikators wird auf ca. 3-4 Arbeitstage geschätzt.</p>		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<p><u>Erläuterung:</u> Die Datenanfrage an die Länder sollte über die LAWA-Gremien erfolgen.</p>		

VII Darstellungsvorschlag





VIII Anlagen

Anlage 1 – Lage der ausgewählten Grundwassermessstellen und Quellschüttungen

Liste der Hydrogeologischen Räume der BGR und deren Abdeckung mit Messstellen (148):
 Die Messstellen, die nach 1971 die Datenreihe ergänzen sind grau hinterlegt.

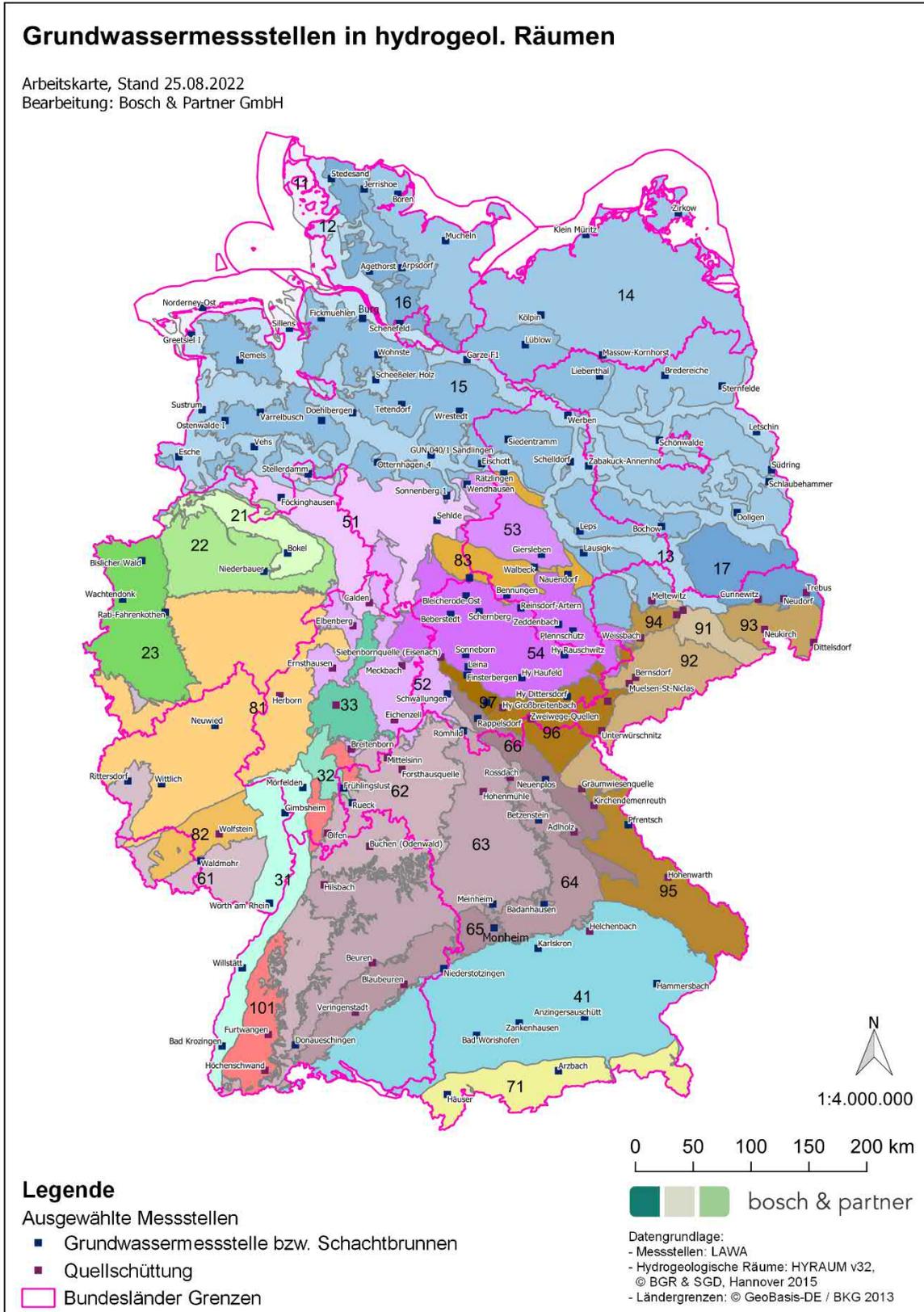
Hydrogeologischer (Groß-)Raum	Land	Messstellenbezeichnung
1 Nord- und mitteldeutsches Lockergesteinsgebiet		
11	Nordseeinseln und Watten	NI 9850661 Norderney-Ost
12	Nordseemarschen	NI 405030251 Burg UE 25 FI 9610117 Sillens 9842421 Greetsiel I
13	Niederungen im nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiet	BB 33442420 Schönwalde (Ersatzmessstelle) 33520968 Letschin, KSP Nr. 52 37520272 Schlaubehammer NI 40507420 Esche 600040461 Garze F1 500000088 GUN 040/1 Sandlingen 500003018 LGD 004 N Doehlbergen 40501180 Sustrum 500000531 UWO 055/1 Scheeßeler Holz 9700268 Vehs NW 100151085 AU 507 Stellerdamm ST 31370022 Werben 35320009 Rätzlingen 35370071 Schelldorf 35396708 Zabakuck-Annenhof
14	Norddeutsches Jungpleistozän	BB 28453495 Bredereiche (Ersatzmessstelle) 29490617 Sternfelde 36532681 Ffo, Gastst. Südring 39506107 Dollgen MV Klein Müritz Kölpin OP Massow-Kornhorst OP SH Zirkow OP

Hydrogeologischer (Groß-)Raum		Land	Messstellenbezeichnung
			10L59011001 Boren I / 10L59011002 Boren 10L57052001 Mucheln
15	Nord- und mitteldeutsches Mittelpleistozän	BB MV NI SH SN ST	28401031 Liebenthal 40441030 Bochow, ca. 500 m südl. Bochow Lüblow 100000792 Eischott 400061432 Fickmuehlen 143/2RS FI 500003036 GD 38 N 13 Tetendorf 200000532 Neubruchhausen I 40501871 Ostenwalde I 40004396 Otternhagen 4 9850631 Remels 100003876 Sonnenberg 1 9700257 Varrelbusch 400061770 Wohnste 177/3RS 600041871 Wrestedt F1 10L59131001 Jerrishoe II / 10L59131003 Jerrishoe 10L58007001 Arpsdorf / 10L58007008 Arpsdorf Bahnhofstraße 46430531 Meltewitz 33330001 Siedentramm 40380014 Leps 42380006 Lausigk
16	Altmoränengeest	SH	10L61003001 Agethorst I / 10L61003004 Agethorst 10L54126001 Stedesand (S) / 10L54126004 Stedesand 10L56044001 Schenefeld Schule
17	Lausitzer Känozoikum	SN	46510609 Cunnewitz 46530582 Neudorf 46553074 Trebus
2 Rheinisch-Westfälisches Tiefland			
21	Sandmünsterland	NW	20104030 IB/3A LGD Bokel
22	Münsterländer Kreidebecken	NW	91141102 Niederbauer ML1
23	Niederrheinische Tieflandsbucht	NW	80100740 Wachtendonk 012 40100261 Bislicher Wald 42 30100410 Rati-Fahrenkothen
3 Oberrheingraben mit Mainzer Becken und nordhessischem Tertiär			
31	Oberrheingraben mit Mainzer Becken	BW HE RP	126/114-5 SBR 959 Hauptstraße, Willstätt 130/070-4 GWM 1455 Schlatt 2, Bad Krozingen 12018 Mörfelden 1003 Wörth am Rhein, Langenberg 2032 Gimbsheim
32	Untermainsenke	BY	FRUEHLINGSLUST 86A
33	Nordhessisches Tertiär	HE	7449 Lehnheim
4 Alpenvorland			
41	Süddeutsches Molassebecken	BW BY	102/814-8 BWM B 1002 LW Gewinn Hohe Schwärze, Niederstotzingen ANZINGERSAUSCHUETT 305A Helchenbach 18/2 ZANKENHAUSEN 280A Hammersbach T3T Bad Wörishofen 493 KARLSKRON-PROBF. 132C
5 Mitteldeutsches Bruchschollenland			
51	Nordwestdeutsches Bergland	HE	5122 Calden

Hydrogeologischer (Groß-)Raum	Land	Messstellenbezeichnung
	NI	9700081 Föckinghausen 100000926 Sehlde
52	Mitteldeutscher Buntsandstein	HE 5524 ELBENBERG 6312 ERNSTHAUSEN 6429 MECKBACH 9573 BREITENBORN 8584 EICHENZELL TH 118830 Schwallungen
53	Subherzyne Senke	NI ST 100000836 Wendhausen 42350006 Giersleben
54	Thüringische Senke	ST 45326569 Bennungen 48370023 Plennschütz 47366287 Zeddenbach TH 117524 Reinsdorf-Artern 111754 Sonneborn 115721 Leina 117432 Beberstedt 133130 Hy Haufeld 1/196 (P 48) 117452 Schernberg 117295 Bleicherode-Ost (Unterflur) 133105 Hy Rauschwitz 1/1964
6 West- und süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland		
61	Südwestdeutsche Trias	RP 3012 Waldmohr 4011 Rittersdorf
62	Süddeutscher Buntsandstein und Muschelkalk	BW HE BY 600/554-9 QF Nächstquelle Götzingen, Buchen (Odenwald) 14017 OLFEN Brunnenquelle Mittelsinn 2/5 Forsthausquelle 2/7C RUECK 178
63	Süddeutscher Keuper und Albvorland	BW BY TH 101/320-1 GWM 1044 Allmendshofen, Donaueschingen 600/407-7 QF Hintere Quelle, Hilsbach 600/564-8 QF Jägerbrunnen, Beuren Hohenmühle 8/2 MEINHEIM 429 116268 Römhild (0011)
64	Schwäbische und Fränkische Alb	BW BY 600/665-7 QF Blautopf, Blaubeuren 601/517-7 QF Gallusquelle Hermentingen, Veringenstadt Ellernbachquelle Rossdach 3/6 BADANHAUSEN 8B BETZENSTEIN,T.BR.TB Dorfquelle Adlholz 9/21
65	Nördlinger Ries	BY MONHEIM 568
66	Thüringisch-Fränkisches Bruchschollenland	BY TH NEUENPLOS 119 108666 Rappelsdorf
7 Alpen		
71	Nordalpen	BY ARZBACH 246C HAEUSER 3A/TR
8 West- und mitteldeutsches Grundgebirge		
81	Rheinisches Schiefergebirge	HE RP 7325 Herborn 4026 Wittlich 6063 Neuwied, Block Heimbach
82	Saar-Nahe-Becken	RP 3507 Wolfstein

Hydrogeologischer (Groß-)Raum	Land	Messstellenbezeichnung
83	Mitteldeutsches Grundgebirge	ST 43340010 Walbeck 43370015 Nauendorf TH 202240 Hy Ellrich 7/1969 (GWBR 2)
9 Südostdeutsches Grundgebirge		
91	Elbtalgraben	SN 47450143 Nickritz
92	Fichtelgebirge-Erzgebirge	BY Gräumwiesenquelle 9-5 SN 52410759 Muelsen-St-Niclas 52411193 Bernsdorf
93	Lausitzer Granodioritkomplex	SN 49510347 Neukirch 50550642 Dittelsdorf
94	Nordwestsächsische Senke	SN 47450159 Stauchitz 49420959 Weissbach
95	Oberpfälzer-Bayerischer Wald	BY Kirchendenreuth 9/12 PFRENTSCH HSNR15 17 HOHENWARTH 14/2
96	Südostdeutsches Schiefergebirge	BY Zweiwege-Quellen 4/2 SN 54393688 Schneidenbach, W 1925 56392797 Unterwürschnitz TH 133259 Hy Dittersdorf (Unterflur) 133279 Hy Großbreitenbach (Butalqu. / Hauptmannsborn)
97	Thüringer Wald	TH 118836 Frauenwald / Schmiedefeld 118707 Finsterbergen 118909 Siebenbornquelle (Eisenach)
10 Schwarzwald, Vorspessart und Odenwald		
101	Südwestdeutsches Grundgebirge	BW 600/222-6 QF Sportplatz, Höchenschwand 601/219-3 QF 23 Rothansenhof, Furtwangen

Lage der ausgewählten Grundwassermessstellen und Quellschüttungen in den hydrogeologischen Räumen nach BGR:



Anlage 2 – Raumeinheiten zur Aggregation von Messstellen

Die nachstehenden Ausführungen wurden im Zusammenhang mit der Ausarbeitung des DAS-Monitoringberichts 2019 erstellt. Es wurden diverse Regionalisierungsansätze erprobt. Die LAWA-KG Klimaindikatoren hat im Jahr 2021 entschieden, die Regionalisierung zwischen Nord und Süd vereinfacht entlang von Bundeslandgrenzen umzusetzen. Diese Umsetzung hat mit der Fortschreibung des Indikators für den DAS-Monitoringbericht 2023 stattgefunden. Die folgenden Grafiken wurden für die überarbeitete Messstellenauswahl nicht mehr aktualisiert. Die Darstellungen werden zu Dokumentationszwecken in diesem Indikator-Factsheet beibehalten.

Für eine mögliche Regionalisierung des Indikators wurden verschiedene Varianten auf der Grundlage zweier klimatologischer Kennwerte erprobt: dem 30-jährigen Mittel der Niederschlagshöhe (in mm) oder dem 30-jährigen Mittel der klimatischen Wasserbilanz (in mm). Beide Datensätze werden vom Climate Data Center (CDC) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bereitgestellt. Der DWD hat aus den Daten seiner Messstationen und qualitativ gleichgestellten Partnernetzstationen unter Berücksichtigung der langjährigen Klimatologie Rasterdaten (1 km x 1 km) abgeleitet, um die flächendeckenden Daten bereitstellen zu können. Dabei wurden zunächst die 30-jährigen Mittel für die einzelnen Kalendermonate bestimmt und die resultierenden Monatsraster anschließend für das ganze Jahr aufsummiert. Für die Raumgliederung wurde das 30-jährige Mittel für den Zeitraum 01.01.1971-31.12.2000 genutzt. Für beide klimatologischen Kennwerte wurden je zwei unterschiedliche Kategorisierungen erprobt. Auf den Folgeseiten sind die Ergebnisse für diese vier unterschiedlichen Kategorisierungen zusammengestellt. Es wird deutlich, dass es je nach den gewählten Klassengrenzen kleinere Verschiebungen in der Messstellenzuordnung gibt, die auch zu einem leicht veränderten Bild bei der Auswertung führen. Das grobe abgebildete Muster ist aber über die Varianten hinweg grundsätzlich ähnlich.

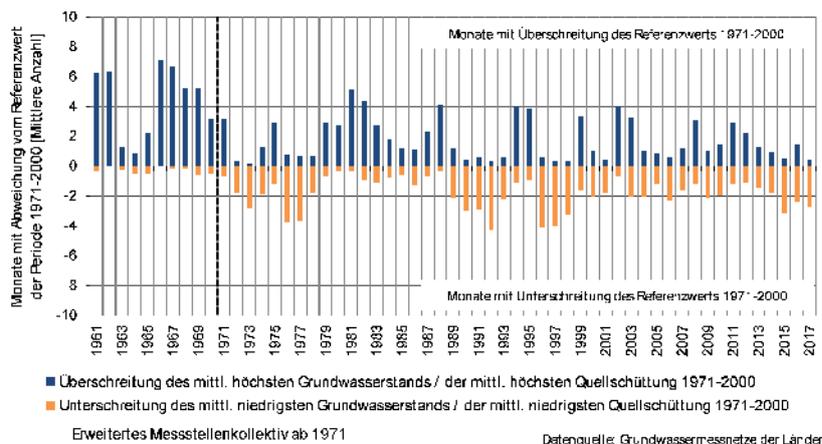
Außerdem wurde nachstehend eine separate Auswertung nach den hydrogeologischen Großräumen vorgenommen. Diese wird der Vollständigkeit hier dokumentiert. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass Auswertungen bezogen auf teilweise nur sehr wenige Messstellen (z. B. wie im Falle der Großräume 7 und 10) nicht sinnvoll sind. Eine Clusterung dieser Auswertungen wurde diskutiert, konnte aber aus Kapazitätsgründen nicht mehr durchgeführt werden.

Hinweis: In allen nachstehenden Excel-basierten Grafiken sind die Monate mit Unterschreitungen auf der Negativ-Achse aufgetragen. Dies ist aus programmtechnischen Gründen nicht anders möglich. Es handelt sich jedoch wie im Falle der Überschreitung um positive Werte.

Auswertung differenziert nach den hydrogeologischen Großräumen nach BGR

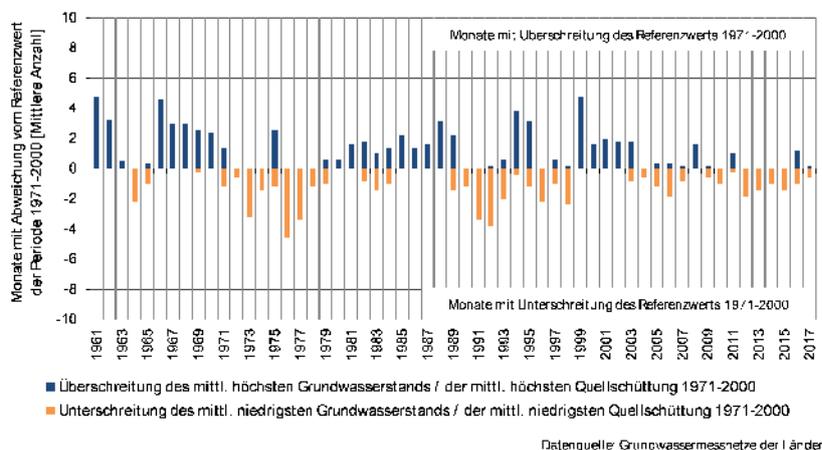
**Großraum 1:
 Nord- und mitteldeutsches
 Lockergesteinsgebiet**

51 Messstellen
 (davon 18 erst ab 1971)



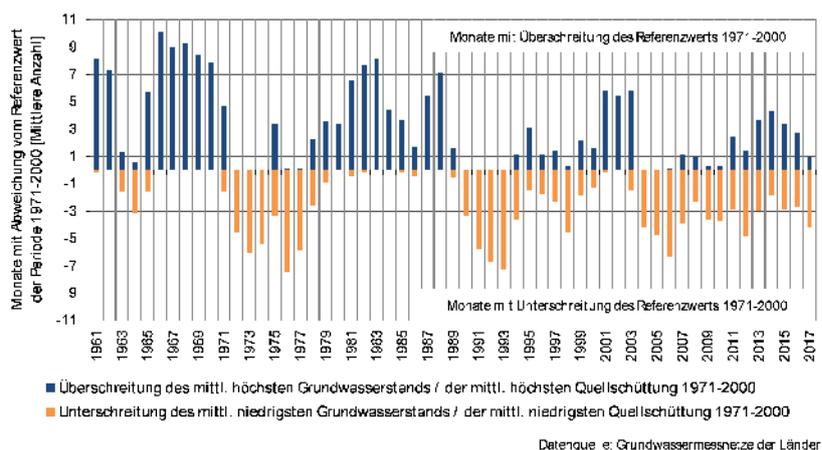
**Großraum 2:
 Rheinisch-Westfälisches
 Tiefland**

5 Messstellen



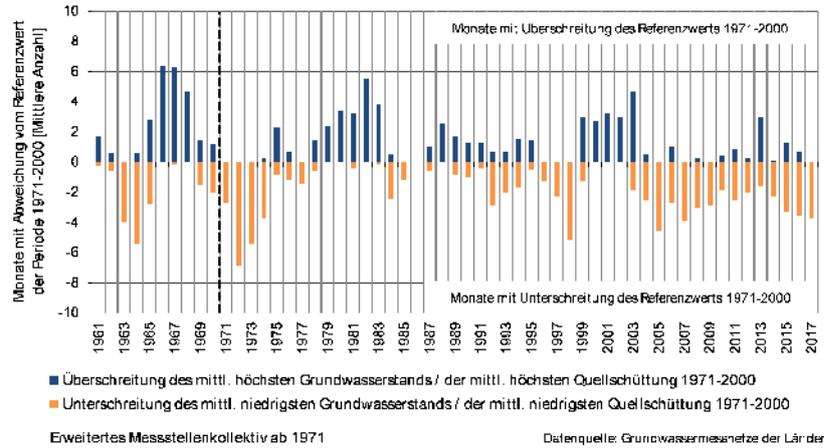
**Großraum 3:
 Oberrheingraben mit Mainzer
 Becken und nordhessischem
 Tertiär**

7 Messstellen



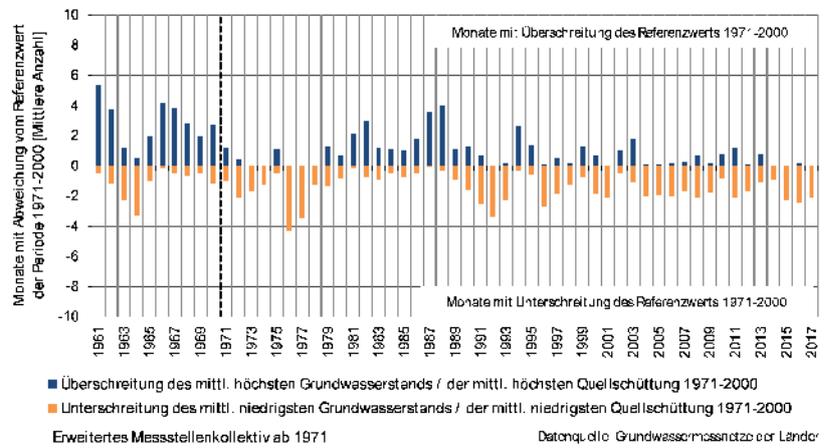
**Großraum 4:
 Alpenvorland**

7 Messstellen
 (davon 3 erst ab 1971)



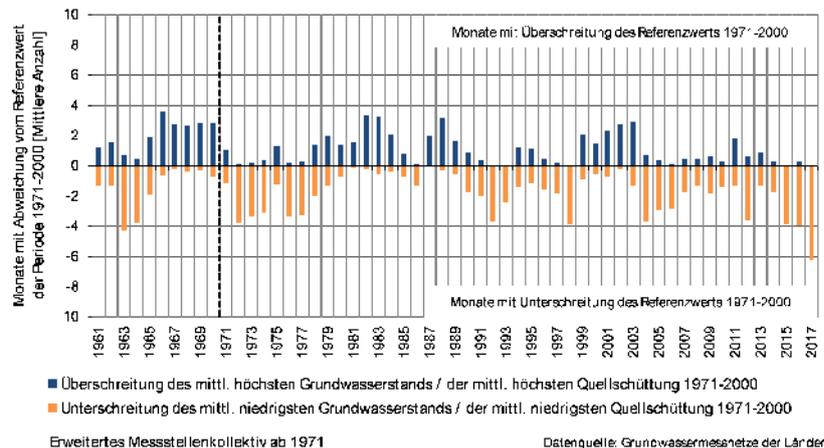
**Großraum 5:
 Mitteldeutsches Bruch-
 schollenland**

18 Messstellen
 (davon 6 erst ab 1971)



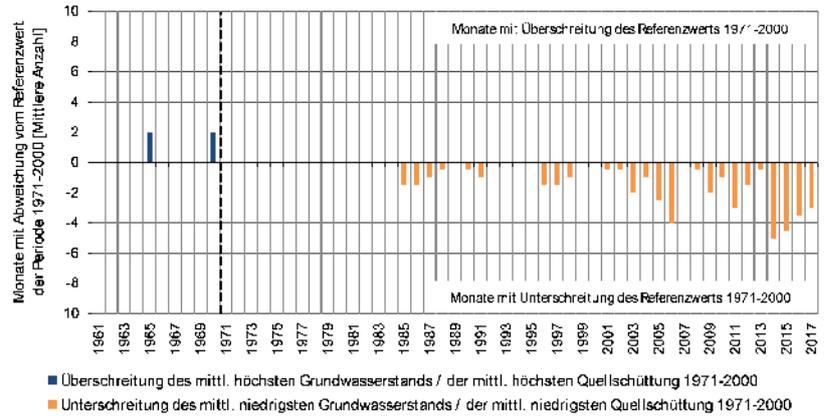
**Großraum 6:
 West- und süddeutsches
 Schichtstufen- und Bruch-
 schollenland**

21 Messstellen
 (davon 5 erst ab 1971)



**Großraum 7:
 Alpen**

2 Messstellen
 (davon 1 erst ab 1971)

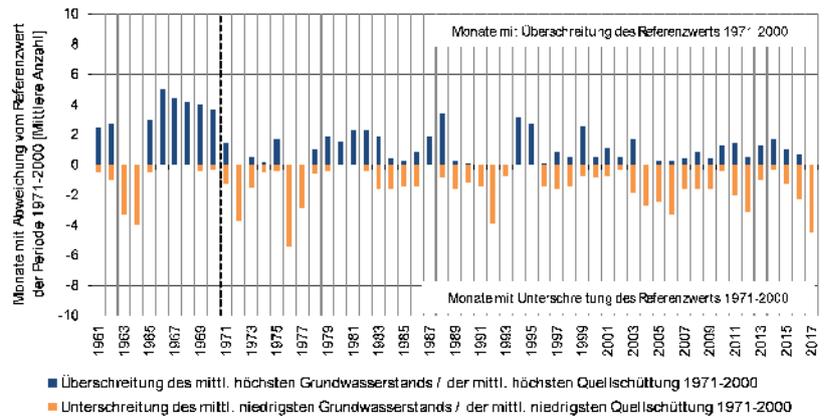


Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971 (nur 1 Messstelle vor 1961)

Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

**Großraum 8:
 West- und mitteldeutsches
 Grundgebirge**

7 Messstellen
 (davon 3 erst ab 1971)

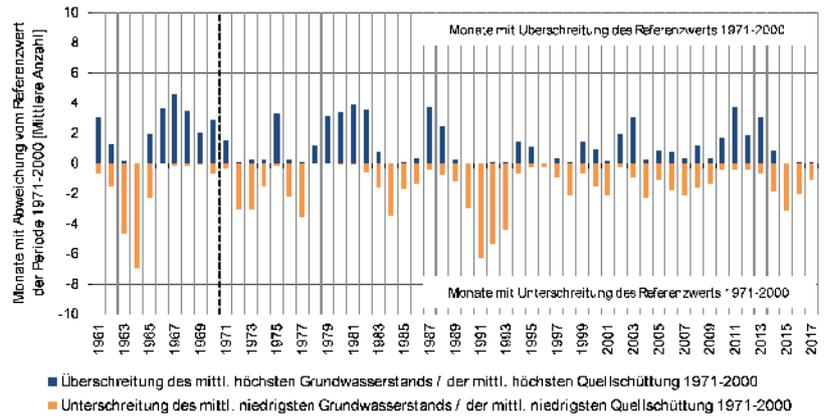


Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971

Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

**Großraum 9:
 Südostdeutsches
 Grundgebirge**

16 Messstellen
 (davon 3 erst ab 1971)

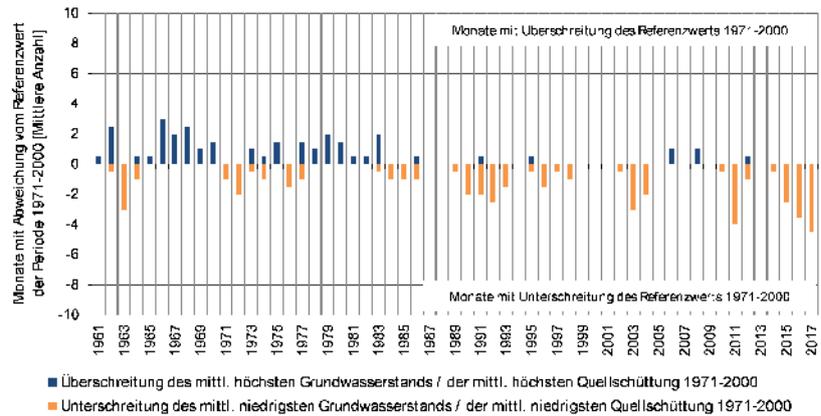


Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971

Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

**Großraum 10:
 Schwarzwald, Vorspessart
 und Odenwald**

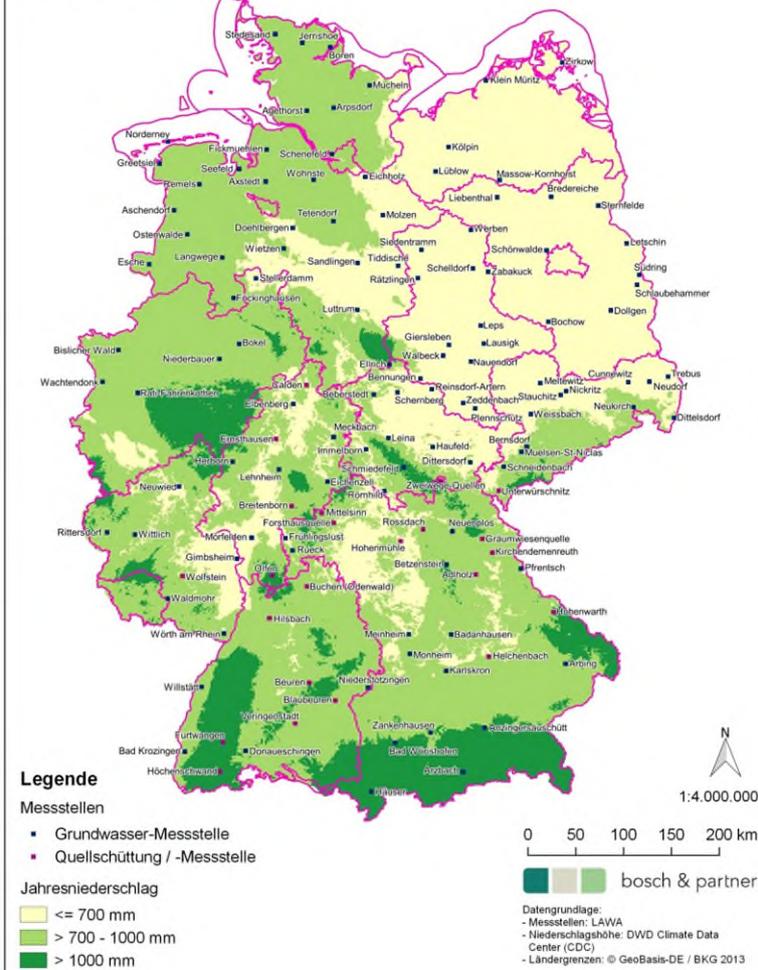
2 Messstellen



Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

Grundwassermessstellen in Niederschlagsräumen

Jahresniederschlag: Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000 (Quelle: DWD)
 Arbeitskarte, Stand 19.12.2018
 Bearbeitung: Bosch & Partner GmbH



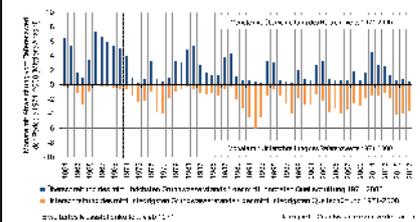
Quelle für Niederschlagsdaten: DWD Climate Data Center (CDC), Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000, Version v1.0.

Variante A1: Abgrenzung von Raumeinheiten nach Kategorien des Niederschlags

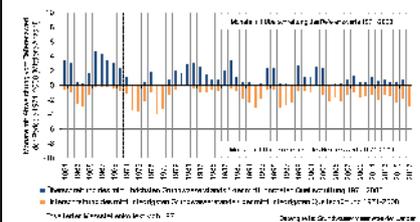
Vieljähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000

Kategorie	Anzahl
<= 700 mm	56 Messstellen
< 700-1.000 mm	71 Messstellen
> 1.000 mm	9 Messstellen

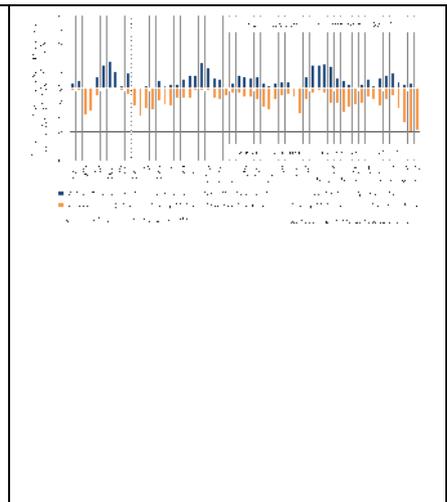
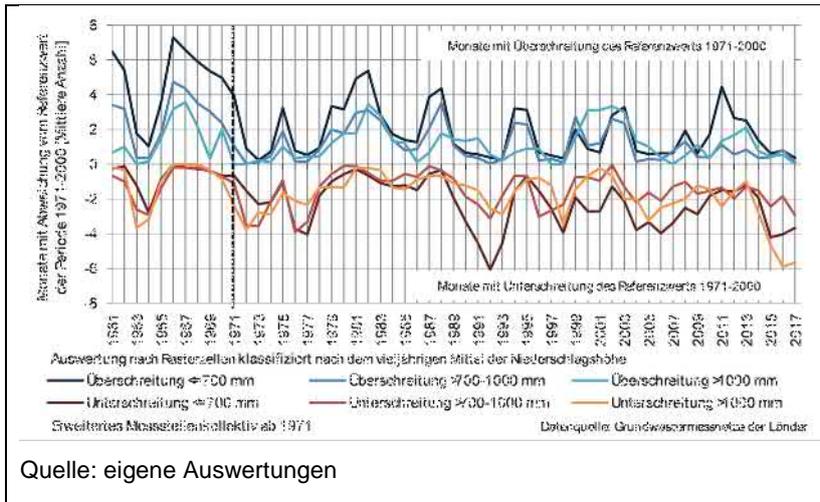
Kategorie <= 700 mm



Kategorie < 700-1.000 mm

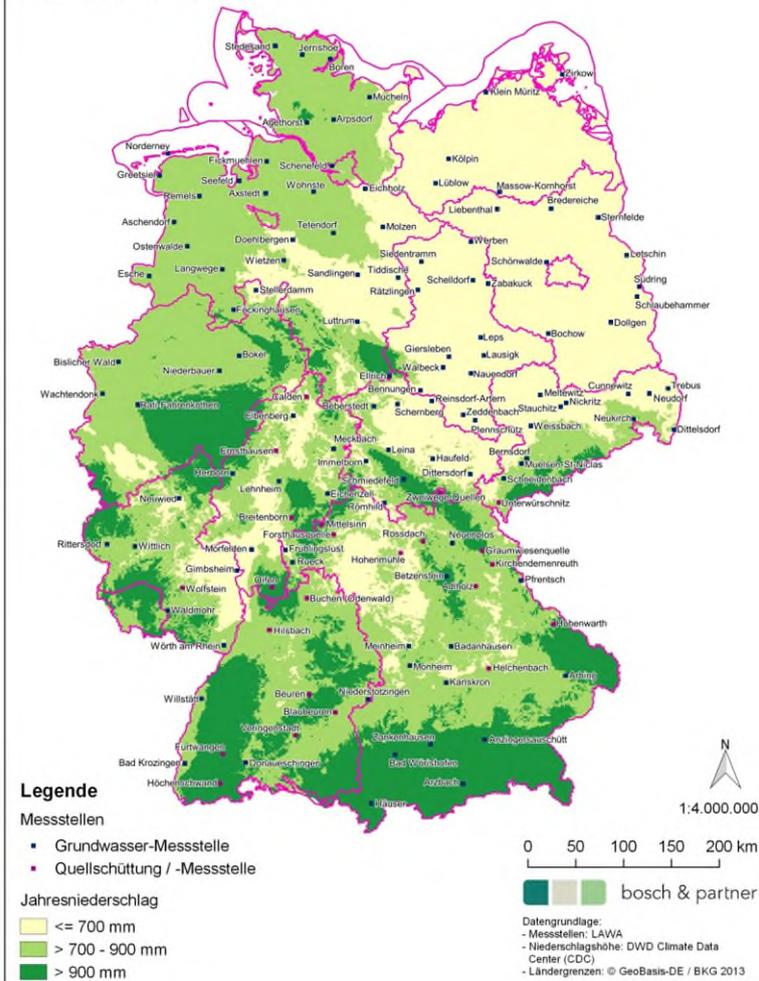


Kategorie > 1.000 mm



Grundwassermessstellen in Niederschlagsräumen

Jahresniederschlag: Vielfähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000 (Quelle: DWD)
 Arbeitskarte, Stand 19.12.2018
 Bearbeitung: Bosch & Partner GmbH

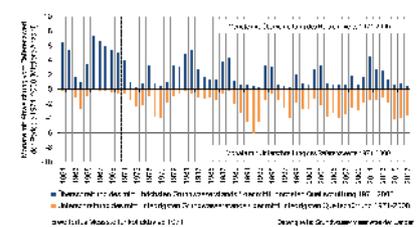


Variante A2: Abgrenzung von Raumeinheiten nach Kategorien des Niederschlags

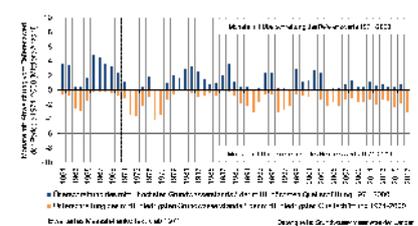
Vielfähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000

Kategorie	Anzahl
<= 700 mm	56 Messstellen
< 700-900 mm	68 Messstellen
> 900 mm	12 Messstellen

Kategorie <= 700 mm

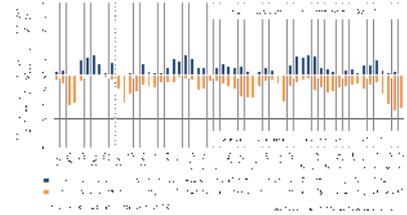
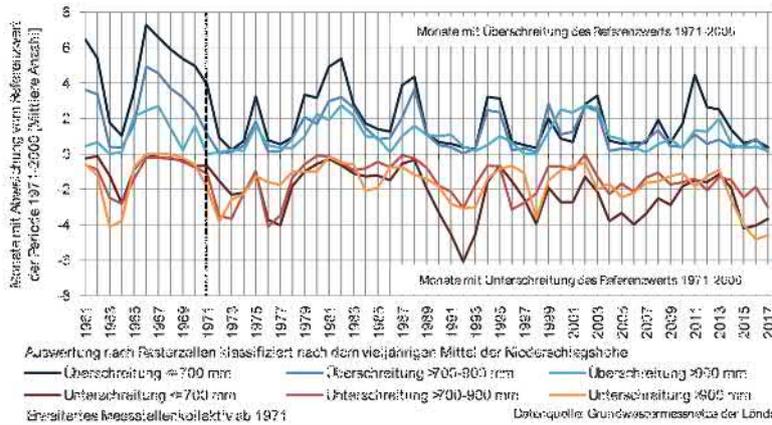


Kategorie < 700-900 mm

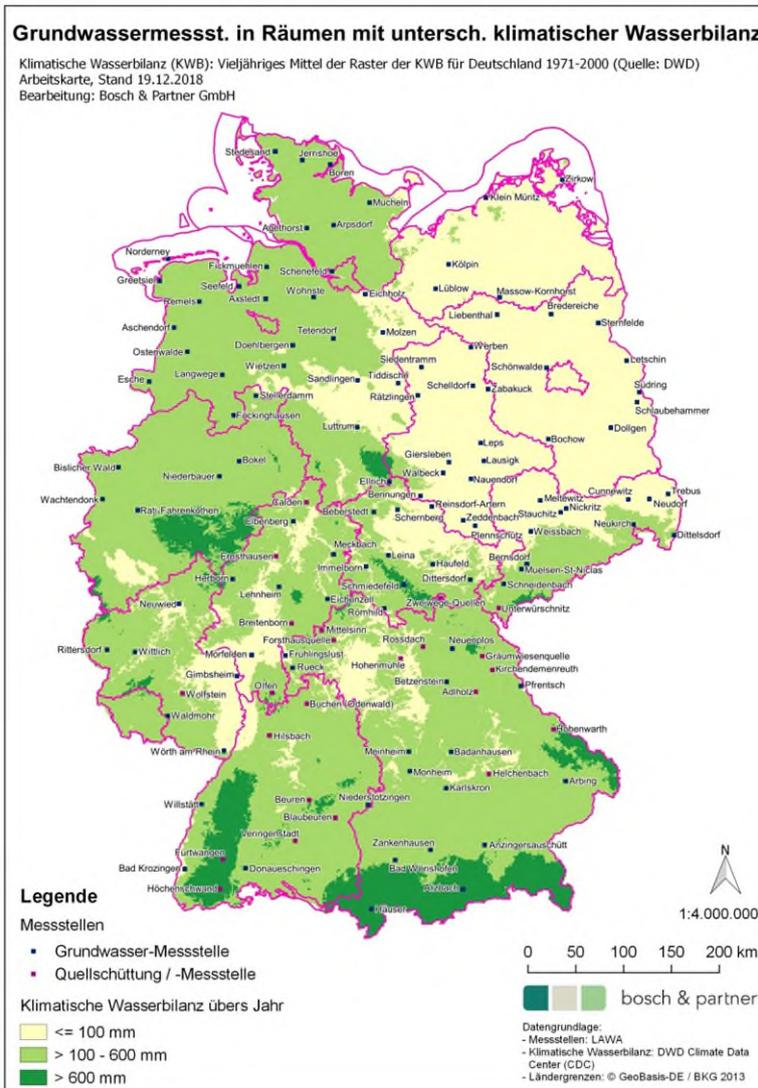


Quelle für Niederschlagsdaten: DWD Climate Data Center (CDC), Vielfähriges Mittel der Raster der Niederschlagshöhe für Deutschland 1971-2000, Version v1.0.

Kategorie > 900 mm



Quelle: eigene Auswertungen

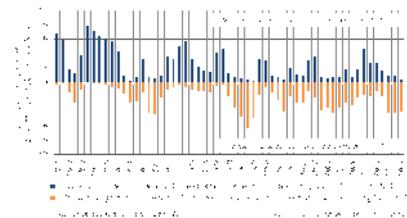


Variante B1: Abgrenzung von Raumeinheiten nach Kategorien der klimatischen Wasserbilanz

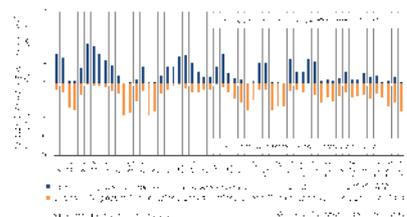
Vieljähriges Mittel der Raster der klimatischen Wasserbilanz für Deutschland 1971-2000

Kategorie	Anzahl
≤ 100 mm	54 Messstellen
$< 100-600$ mm	77 Messstellen
> 600 mm	5 Messstellen

Kategorie ≤ 100 mm

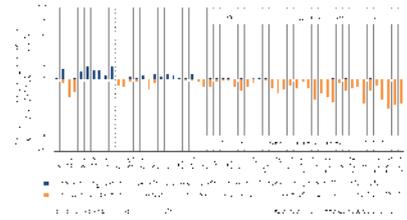
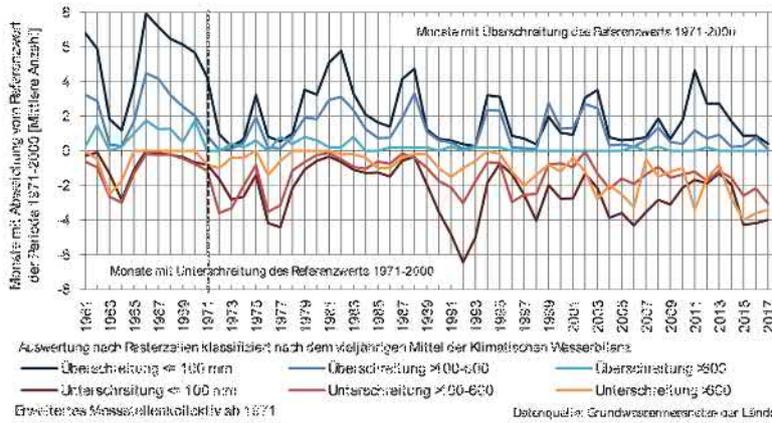


Kategorie $< 100-600$ mm

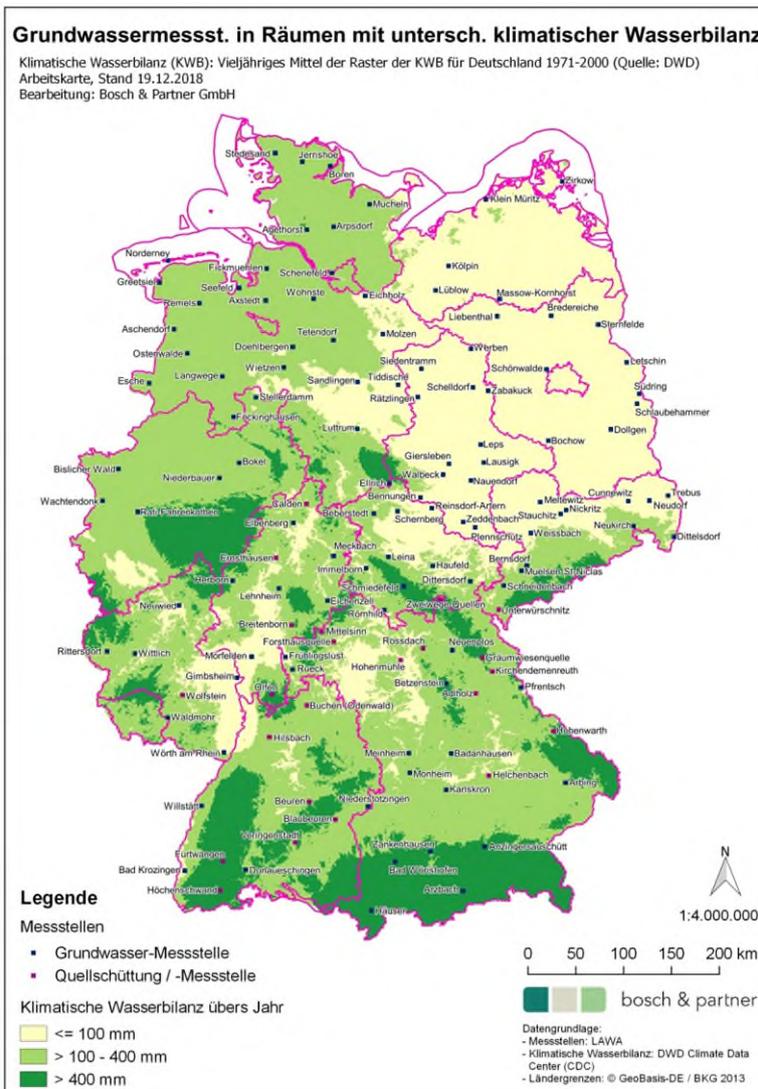


Quelle für Niederschlagsdaten: DWD Climate Data Center (CDC), Vieljähriges Mittel der Raster der klimatischen Wasserbilanz für Deutschland 1971-2000, Version v1.0.

Kategorie > 600 mm



Quelle: eigene Auswertungen

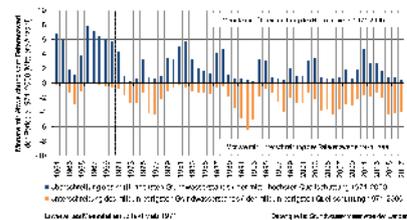


Variante B2: Abgrenzung von Raumeinheiten nach Kategorien der klimatischen Wasserbilanz

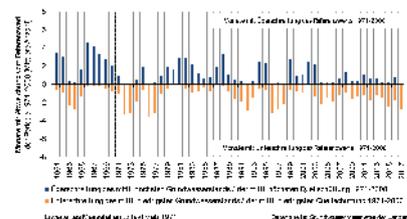
Vieljähriges Mittel der Raster der klimatischen Wasserbilanz für Deutschland 1971-2000

Kategorie	Anzahl
<= 100 mm	54 Messstellen
< 100-400 mm	71 Messstellen
> 400 mm	11 Messstellen

Kategorie <= 100 mm

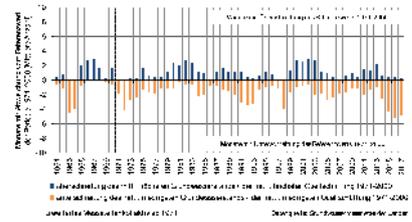
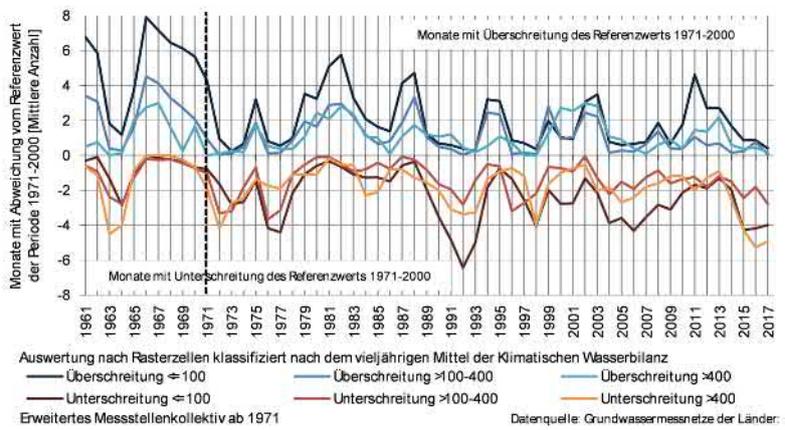


Kategorie < 100-400 mm



Quelle für Niederschlagsdaten: DWD Climate Data Center (CDC), Vieljähriges Mittel der Raster der klimatischen Wasserbilanz für Deutschland 1971-2000, Version v1.0.

Kategorie > 400 mm



Quelle: eigene Auswertungen

Indikator-Factsheet: Mittlerer Abfluss

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen (Peter Krahe)	
Letzte Aktualisierung:	05.03.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Neufassung des Indikators; der ehemalige Indikator „Mittlerer Abfluss“ wird durch diesen neuen Indikator ersetzt und nicht weitergeführt.
	17.04.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung der Hinweise aus der Ressortabstimmung
	16.12.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Hinweise aus den LAWA-gremien
	12.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Stefan von Andrian-Werbung) Anpassung der Nummerierung, kleine formale und redaktionelle Anpassungen, Aktualisierung von Links
	25.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
	30.11.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Überarbeitung der Pegelauswahl: Austausch des Pegels Adorf 1 (SN) durch Bautzen 1 (SN) und Arenshausen (TH) durch Hellwege (NI), Ergänzung des Pegels Schmittlotheim (HE); Entfernen der Pegel Weferlingen, Ellingshausen, Meiningen, Aue und Chemnitz aufgrund überlappender Einzugsgebiete. Für NRW wurde eine Ergänzung des Pegels Feudingen / Lahn angeregt, der als Teil des Klimafolgenmonitorings NRW erprobt ist; dieser ist allerdings mit einem Einzugsgebiet von 25,4 km ² sehr klein und im bereits berücksichtigten Pegel-Einzugsgebiet Marburg enthalten; Überarbeitung der Messstellenkarte Durchführung von Fehlertergänzungen
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Die Flussgebietseinheit Donau ist flächenmäßig mit den ausgewählten Pegeln und deren Einzugsgebiete unterrepräsentiert. Aus Kapazitätsgründen im Bundesland BY ist eine Erweiterung der bisherigen Messstellen für den Monitoringbericht 2023 nicht möglich. In Zukunft muss geprüft werden, ob weitere Pegel ergänzt werden können. Aufgrund von Kapazitätsgründen in den datenliefernden Institutionen liegen teilweise (u. a. für NI) ungeprüfte Rohdaten und unvollständige Datenreihen vor. Geprüfte Daten müssen nachträglich ergänzt werden. Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Fehlwerte und der betroffenen Stationen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der

		Stationen sollte hier eine einheitliche Methodik entwickelt werden um Fehlwerte zu kompensieren (siehe Anlage 3).
--	--	---

Beschreibung

Interne Nr. WW-I-3	Titel: Mittlerer Abfluss
<p>Einheit: <u>Teil A:</u> mm</p> <p><u>Teil B:</u> mm</p> <p><u>Zusatz:</u> ohne Einheit</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators:</p> <p><u>Teil A:</u> Flächengewichteter mittlerer Abfluss im hydrologischen Winterhalbjahr (1. November – 30. April) (MQ)</p> <p><u>Teil B:</u> Flächengewichteter mittlerer Abfluss im hydrologischen Sommerhalbjahr (1. Mai – 31. Oktober) (MQ)</p> <p><u>Zusatz:</u> Verhältnis von Winter- zu Sommerabfluss</p> <hr/> <p>Berechnungsvorschrift:</p> <p><u>Schritt 1:</u> Prüfung der Datenreihen auf Fehlwerte, Fehlwertergänzung nach dem in Anlage 3 beschriebenen Verfahren</p> <p><u>Schritt 2:</u> Ermittlung des mittleren Abflusses (MQ in m³/s) für jede einzelne Messstelle differenziert für das Teil A: hydrologische Winterhalbjahr (1. November – 30. April) MQ_{HyWinter} Teil B: hydrologische Sommerhalbjahr (1. Mai – 31. Oktober) MQ_{HySommer}</p> <p><u>Schritt 3:</u> Berechnung der halbjährlichen Abflusshöhen für jede Messstelle aus MQ Abflusshöhe Ah [mm] = Abfluss [m³/s] / AEo-Fläche [km²] * 86,4 [s] * (365/2 [Tage]) AEo = oberirdisches Einzugsgebiet Alle Ah werden auf die vollen Millimeter gerundet. Alle weiteren Rechenschritte erfolgen dann mit den gerundeten Werten. Die Umrechnung auf die Abflusshöhe erfolgt, damit den so ermittelten Abflusshöhen die Niederschlagshöhen gegenübergestellt werden können.</p> <p><u>Schritt 4:</u> Berechnung der mittleren halbjährlichen Abflusshöhe aller Pegel einer jeden Flussgebietseinheit bzw. der wie folgt zusammengefassten Flussgebietseinheiten (flächengewichteter Mittelwert):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flussgebietseinheit Donau • Flussgebietseinheit Rhein und Maas • Flussgebietseinheit Weser und Ems • Flussgebietseinheit Elbe und Oder • Flussgebietseinheit Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene <p>Zur Pegelzuordnung zu den Flussgebietseinheiten s. Anlage 1 Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1. Die Gewichtung erfolgt jeweils nach dem Anteil des AEo des einzelnen Pegels an der gesamten durch die berücksichtigten Pegel repräsentierten Fläche (also nicht nach der Gesamtfläche) der Flussgebietseinheit.</p>

	<p>Teil A: $Ah_{HyWinter}$ für Donau = $Ah_{HyWinter}$ Hundersingen * 0,444 + $Ah_{HyWinter}$ Sonthofen * 0,066 + $Ah_{HyWinter}$ Pfaffenhofen * 0,086 + $Ah_{HyWinter}$ Mettendorf * 0,051 + $Ah_{HyWinter}$ Böhmischbruck * 0,082 + $Ah_{HyWinter}$ Teisnach * 0,106 + $Ah_{HyWinter}$ Weilheim * 0,103 + $Ah_{HyWinter}$ Stein * 0,062</p> <p>Hinweis: Die Zusammenfassung der kleinen Flussgebietseinheiten (bzw. der kleinen nationalen Anteile größerer Flussgebietseinheiten) hat insbesondere darstellerische Gründe (s. Anlage 2). Aufgrund der flächengewichteten Verrechnung sind die Werte der kleinen Einheiten sehr gering.</p> <p>Analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B</p> <p><u>Schritt 5:</u> Für die Aufsummierung der einzelnen Flussgebietseinheiten in der grafischen Darstellung werden die aus Schritt 4 ermittelten Ah der einzelnen Flussgebietseinheiten mit einem flächenabhängigen Gewichtungsfaktor verrechnet. Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1. Die Gewichtung erfolgt jeweils nach dem Flächenanteil der einzelnen Flussgebietseinheit an der gesamten Fläche aller Flussgebietseinheiten zusammen. Berücksichtigt wird dabei immer nur die durch die berücksichtigten Pegel repräsentierte Fläche.</p> <p>Teil A, z. B.: $Ah_{HyWinter}$ für Donau flächengewichtet = $Ah_{HyWinter}$ für Donau (aus Schritt 3) * 0,085</p> <p>Analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B</p> <p>Alle Ah für die Flussgebietseinheiten werden auf die vollen Millimeter gerundet. Alle weiteren Rechenschritte erfolgen dann mit den gerundeten Werten.</p> <p>Hinweis: Durch die flächengewichtete Anrechnung der mittleren Abflusshöhen der einzelnen Flussgebietseinheiten ergibt sich über die Flussgebietseinheiten hinweg ein Wert, der in etwa der Abflusshöhe Deutschlands entspricht und der gemäß der Wasserhaushaltsgleichung mit der Höhe des Niederschlags über Deutschland in Beziehung gesetzt werden kann.</p> <p><u>Schritt 6:</u> Teil A: $Ah_{HyWinter}$ Gesamtfläche = $Ah_{HyWinter}$ Donau flächengewichtet + $Ah_{HyWinter}$ Rhein / Maas flächengewichtet + $Ah_{HyWinter}$ Weser / Ems flächengewichtet + $Ah_{HyWinter}$ Elbe / Oder flächengewichtet + $Ah_{HyWinter}$ Eider / Schlei/Trave / Warnow/Peene</p> <p>Teil B: $Ah_{HySommer}$ Gesamtfläche = $Ah_{HySommer}$ Donau flächengewichtet + $Ah_{HySommer}$ Rhein / Maas flächengewichtet + $Ah_{HySommer}$ Weser / Ems flächengewichtet + $Ah_{HySommer}$ Elbe / Oder flächengewichtet + $Ah_{HySommer}$ Eider / Schlei/Trave / Warnow/Peene</p> <p><u>Zusatz:</u> Verhältnis von Winter- und Sommerabfluss = $Ah_{HyWinter}$ (aus Schritt 6) / $Ah_{HySommer}$ (aus Schritt 6)</p>
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p><u>Teile A und B:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist der mittlere Abfluss bundesweit im jeweiligen hydrologischen Halbjahr</p> <p><u>Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist der Abfluss im Winterhalbjahr im Vergleich zum Sommerhalbjahr. Indikatorwerte größer als 1 bedeuten ein Überwiegen der winterlichen Abflüsse, Werte unter 1 ein Überwiegen der sommerlichen Abflüsse. Werte von 1 oder nahe 1 weisen auf über das Jahr gleichverteilte Abflusswerte, d. h. einen ausgeglichenen Jahresgang hin.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Abflussverhältnisse
Thematischer Teilaspekt:	Veränderung der mittleren Wasserabflüsse sowie der jahreszeitlichen Verteilung des Abflusses
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatoren-systeme:	EEA Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment: River flow OECD Atlas Europe: Internal water resources
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Der Klimawandel kann über Veränderungen des Niederschlags und der Temperatur sowie weiterer die Verdunstung steuernden meteorologischen Variablen zu räumlichen oder zeitlichen Veränderungen des Abflusses führen. Der mittlere Abfluss hängt natürlicherweise von der im Gebiet gefallenen Niederschlagsmenge, der Verdunstung oder langfristigen Speicherung (z. B. im Grundwasser) ab.</p> <p>Mit der Veränderung des jahreszeitlichen Temperatur- und Niederschlagsregimes kommt es auch zu Verschiebungen des innerjährlichen Wasserdargebots zwischen Winter und Sommer. Die Trends der Entwicklung des mittleren Abflusses im hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahr können unterschiedlich sein.</p> <p>Eine Zunahme des mittleren Abflusses zieht nicht notwendigerweise vermehrte Hochwasserereignisse nach sich; ebenso wenig wie eine Abnahme des Abflusses nicht notwendigerweise mit häufigeren Niedrigwasserereignissen korreliert.</p> <p>Relevanz:</p> <p>Der Mittelwasserabfluss ist ein Indikator für das Wasserdargebot. Er gibt Auskunft über die prinzipielle Wasserverfügbarkeit und somit über das Wasser, das zur Bewirtschaftung und für die verschiedenen Oberflächenwassernutzungen (z. B. Kühlwassernutzung im Rahmen der Energieerzeugung, Schifffahrt oder für die Trinkwassergewinnung) zur Verfügung steht. Veränderungen des mittleren Abflusses können auch Veränderungen der Grundwasserstände in ufernahen Bereichen nach sich ziehen und über diesen Weg u. a. die Trink- und Brauchwasserversorgung beeinflussen.</p> <p>Eine Erhöhung der Abflüsse im Winter und eine Verringerung der Abflüsse im Sommer können Hinweise darauf geben, dass Speicherkapazitäten für die Trink- und Brauchwasserversorgung aufzubauen sind. Eine deutliche Verringerung der Abflüsse im Sommerhalbjahr kann beispielsweise die Eutrophierung begünstigen und die Qualität der Gewässer beeinträchtigen, was wiederum Konsequenzen für die Gewässerbiozöten hat.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz:</p> <p>Für den Indikator zum Mittelwasserabfluss werden Daten von den Ländern ausgewählter Messstellen ausgewertet. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach den folgenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Einzugsgebietsgrößen der Pegel bewegen sich in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km². Damit werden Hochwasserereignisse im mittelgroßen Maßstab erfasst, also auch Hochwasser in kleineren Fließgewässern mit erfasst, die ebenfalls signifikante Schäden verursachen können. Bei Einzugs-

	<p>gebieten < 250 km² schlagen sich anthropogene Beeinflussungen (wie Aufstau, Hochwasserschutzmaßnahmen) in den Daten deutlicher nieder, was die Interpretation im Klimawandelkontext erschwert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Pegel repräsentieren bestmöglich die hydrologische Situation im Land. • Die Pegel sollten möglichst wenig anthropogen beeinflusst sein (z. B. durch Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen), um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst direkt abbilden zu können. • Die Pegel liefern Daten ab 1960 (sodass eine Auswertung mit Beginn des hydrologischen Jahres 1961 möglich ist). • Die künftige Fortsetzung der Datenerhebung an den Pegeln ist bestmöglich gesichert. <p>Auswertung der Daten: Der Indikator fokussiert mit der vorgenommenen Pegelauswahl auf die Einzugsgebiete mittlerer Größe. In der Indikatordarstellung wird zur besseren Übersicht auf eine Regionalisierung verzichtet. Die Auswertungsergebnisse liegen aber regionalisiert für die Flussgebietseinheiten vor (s. Anlage 2).</p>
Einschränkungen:	Trotz der gezielten Messstellenauswahl lässt sich mit den Daten und den darauf basierenden Auswertungen nur ein Ausschnitt aus dem tatsächlichen Abflussgeschehen abbilden, da nicht die komplette Fläche der Flussgebiete über Pegel repräsentiert ist.
Rechtsgrundlagen, Strategien:	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS: Kap. 3.2.3: Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt zeigen sich in langfristigen Trends (z. B. in den Grundwasserständen, der Änderung alpiner Abflussregime z. B. von Rhein und Donau, der Veränderung der Gewässergüte) [...].</p> <p>Kap. 3.2.11: Die Wasserstände in deutschen Flüssen variieren schon immer beträchtlich. Im Zuge des Klimawandels könnten diese Schwankungen zunehmen. Folgenabschätzungen von Klimaänderungen fokussieren sowohl auf längerfristige Veränderungen des Wasserdargebots (Mittelwerte) als auch auf eine Zunahme von Schwankungen (Variabilität und Extreme), die sich auf Wasserstände und Abflüsse und damit auf die Schiffbarkeit der Flüsse auswirken können.</p>
Ziele:	keine
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Abflusspegel der Länder: Messungen zum Abfluss (mittlere Tagesabflüsse) (s. Anlage 1)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	alle Flussgebietseinheiten Deutschlands, insgesamt 76 Pegel Für das Saarland konnten kein Pegel gefunden werden, die den vorgegebenen Kriterien entsprechen.	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1961	
Beschränkungen:	keine	

Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-3_Daten_MittlererAbfluss.xlsx
--------------------------------------	------------------------------------

V Zusatz-Informationen

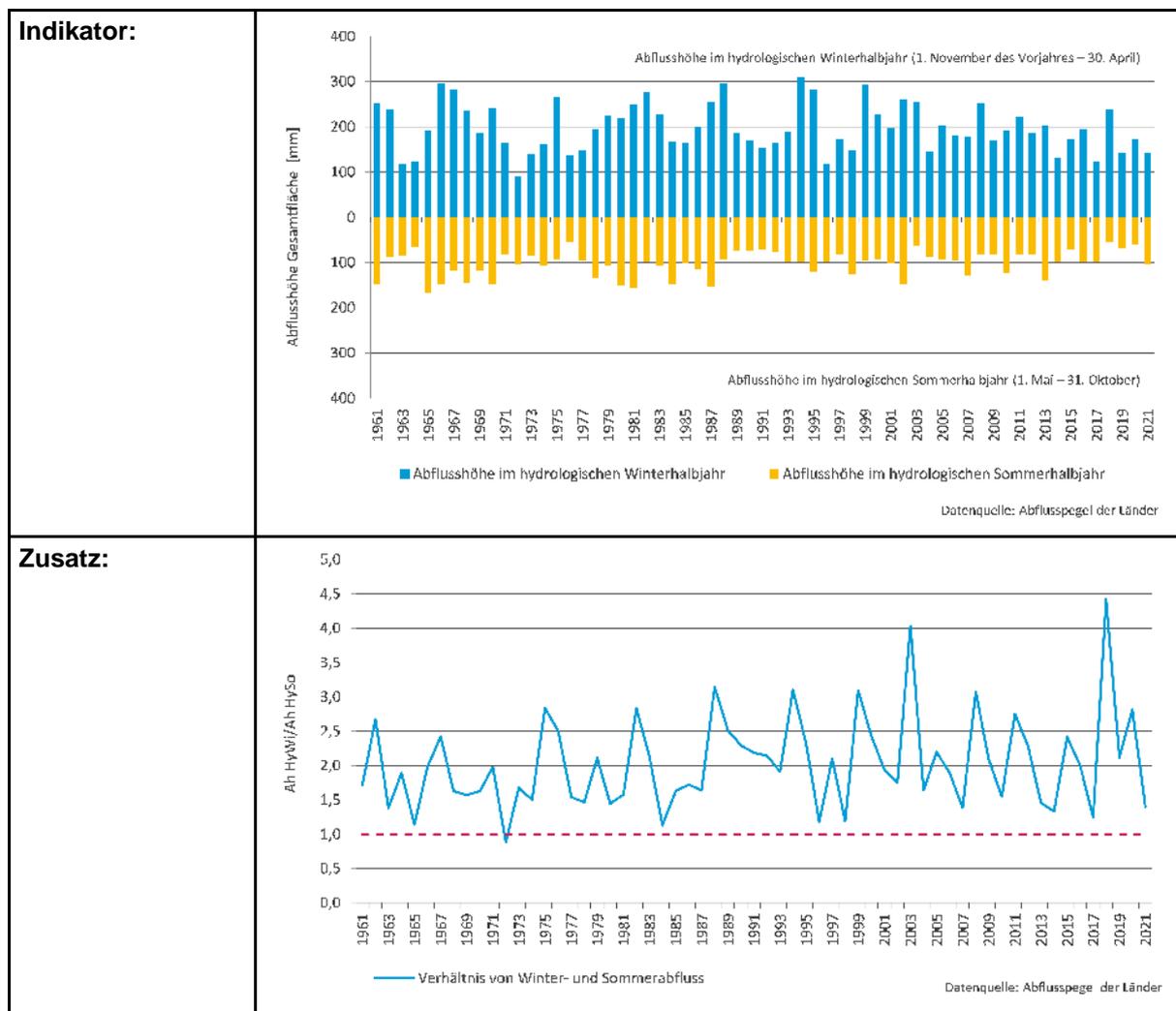
Glossar:	<p>MQ: Der MQ ist der mittlere Tagesabflusswert an einem Pegel bezogen auf eine anzugebende Zeitspanne, z. B. das hydrologische Jahr oder Halbjahr (in l/s oder m³/s).</p> <p>Ah: Ah ist die Abflusshöhe bezogen auf eine anzugebene Zeitspanne, z. B. das hydrologische Jahr oder Halbjahr (in mm).</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) 2003: Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 2.1.2: "Analyse zum Langzeitverhalten der jährlichen und mittleren Abflüsse". KLIWA Berichte, H. 3, 93 S.</p> <p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) 2006: Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Projekt B 1.1.1/1.1.4 „Entwicklung und Vergleich regionaler Klimaszenarien“ und KLIWA-Projekt B 2.4/2.5 „Simulation des Abflusskontinuums und des Hochwasserabflusses mit regionalen Klimaszenarien“. KLIWA Berichte, H. 9, 104 S.</p> <p>Belz J.U., Brahmer G., Buiteveld H., Engel H., Grabher R., Hodel H., Krahe P., Lammersen R., Larina M., Mendel H.-G., Meuser A., Müller G., Plonka B., Pfister L., van Vuuren W. 2007: Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. Analyse, Veränderungen und Trends. CHR-Reports I-22, Lelystad, 377 S. www.chr-khr.org/sites/default/files/chrpublications/abflussregime_2010_0.pdf</p> <p>Görgen K., Beersma J., Buiteveld H., Brahmer G, Carambia M., de Keizer O., Krahe P., Nilson E., Lammersen R., Perrin C., Volken D. 2010: Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad, 229 S. www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/20770.pdf</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p>

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverarbeitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Datenaufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die Abfrage der Daten bei den Ländern und deren strukturierte Ablage nimmt etwa 16 Stunden in Anspruch (erfolgt aber gemeinsam für alle drei Indikatoren zum Abfluss). Die Auswertung der Daten kann auf der Grundlage der angelegten Daten-Factsheets erfolgen und nimmt ca. 8 Stunden in Anspruch.		
Datenkosten:	keine		
	BfG		

Zuständigkeit:	<u>Erläuterung:</u> keine
-----------------------	---------------------------

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

Anlage 1 – Lage der ausgewählten Pegelmessstellen und deren Zuordnung zu den großen Flussgebietseinheiten

Liste der Pegel (76):

Hinweis: Die in der rechten Spalte gelisteten Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Pegel ergeben in der Summe den Wert 1,0. Sie ermitteln sich aus dem AEO-Anteil der einzelnen Pegel an der gesamten durch die ausgewählten Pegel repräsentierten Fläche der Flussgebietseinheit.

Die fett gedruckten Gewichtungsfaktoren entsprechen den Flächenanteilen der jeweiligen Flussgebietseinheiten an der gesamten Fläche.

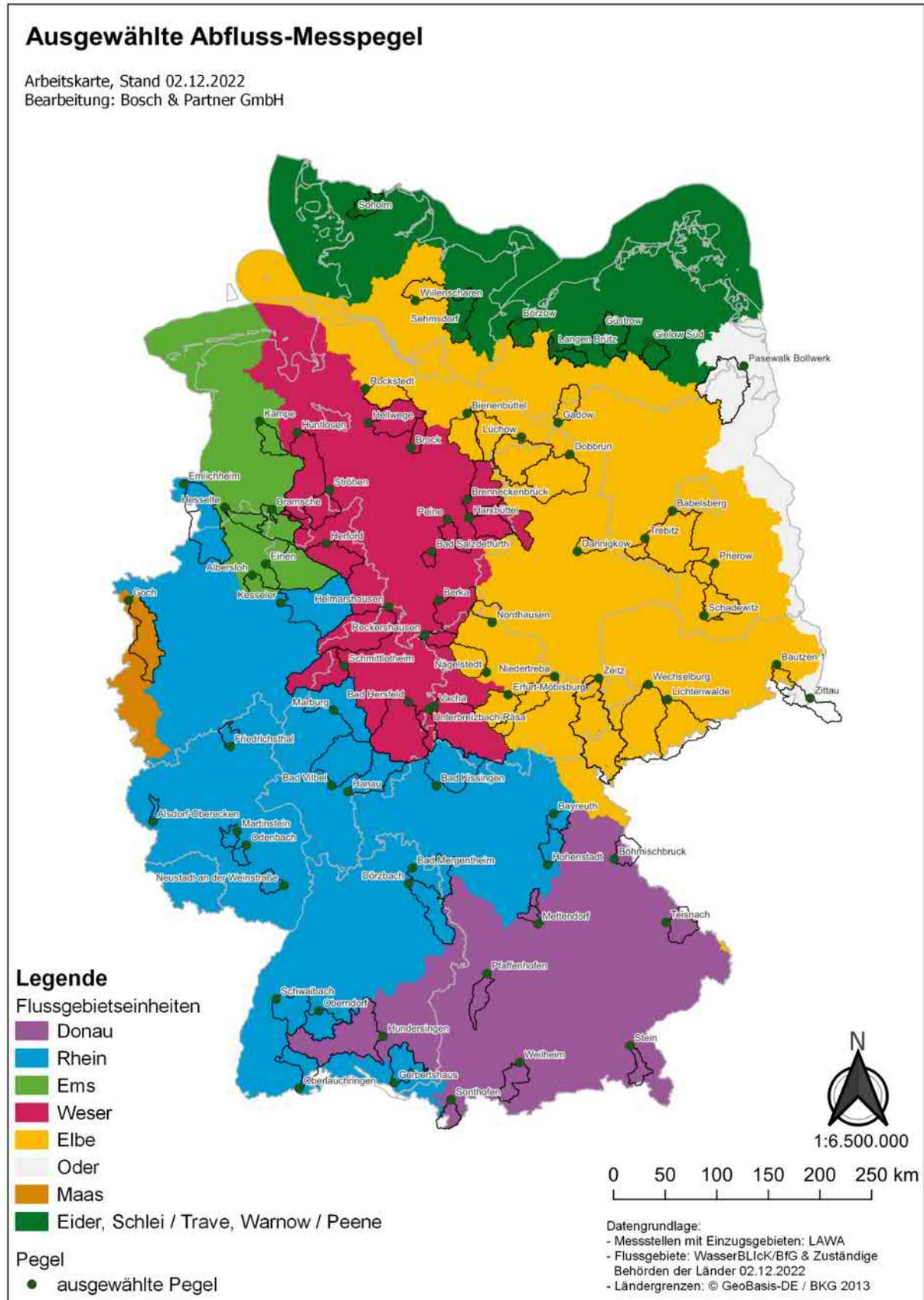
Die Pegelauswahl wurde für den Monitoringbericht 2023 noch einmal überarbeitet. Dabei wurden zum einen erbetene Überarbeitungen der Pegelauswahl durch die Bundesländer umgesetzt. Zum anderen wurden Pegel entfernt, deren Einzugsgebiete sich mit ebenfalls in der Pegelauswahl enthaltenen Pegeln überlagern, um Mehrfachbewertungen zu vermeiden.

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEO (km ² gerundet)	Gewichtungs-faktor
Donau über GIS ermit- telte Fläche: 56.190,18 km ²	BW	Donau	Hundersingen	2.621,32	0,444
	BY	Iller	Sonthofen	387,91	0,066
		Zusam	Pfaffenhofen	505,07	0,086
		Schwarzach	Mettendorf	303,73	0,051
		Pfreimd	Böhmischbruck	483,32	0,082
		Schwarzer Regen	Teisnach	626,63	0,106
		Ammer	Weilheim	607,39	0,103
		Traun	Stein	367,36	0,062
		durch Pegel repräsentierte Fläche:			5.902,73
Rhein über GIS ermit- telte Fläche: 105.201,32 km ²	BW	Tauber	Bad Mergentheim	1.017,00	0,050
		Wutach	Oberlauchringen	630,12	0,031
		Kinzig	Schwaibach	955,05	0,047
		Neckar	Oberndorf	690,48	0,034
		Jagst	Dörzbach	1.029,99	0,050
		Schussen	Gerbertshaus	782,21	0,038
		BY	Roter Main	Bayreuth	340,28
	Pegnitz		Hohenstadt	488,50	0,024
	Fränkische Saale		Bad Kissingen	1.576,22	0,077
	HE	Nidda	Bad Vilbel	1.619,30	0,079
		Kinzig	Hanau	919,88	0,045
		Lahn	Marburg	1.666,20	0,081
	NI	Vechte	Emlicheim	1.731,xx	0,085
	NRW	Lippe	Kesseler 3	2.002,97	0,098
	RP	Wied	Friedrichsthal	680,45	0,033
		Speyerbach	Neustadt a.d.W.	311,77	0,015
		Nahe	Martinstein 2	1.468,00	0,072
		Glan	Odenbach	1.088,00	0,053
		Nims	Alsdorf-Oberecken	263,81	0,013
durch Pegel repräsentierte Fläche:			19.261,22	-	
Maas über GIS ermit- telte Fläche: 3.966,11 km ²	NRW	Niers	Goch	1.203,21	0,059
	durch Pegel repräsentierte Fläche:			1.203,21	-
Rhein und Maas zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			20.464,43	0,297
Weser über GIS ermit- telte Fläche: 48.902,70 km ²	HE	Fulda	Bad Hersfeld	2.120,20	0,110
		Diemel	Helmarshausen	1.757,12	0,091
		Eder	Schmittlotheim	1.202,00	0,062
	NI	Lamme	Bad Salzdetfurth	127,xx	0,007
		Rhume	Berka R	895,xx	0,046
		Aller	Brenneckenbrück	1.638,xx	0,085
		Böhme	Brock	285,xx	0,015
		Schunter	Harxbüttel	592,xx	0,031
		Wümme	Hellwege	893,xx	0,046
		Hunte	Huntlosen II	1.714,xx	0,092

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegelinzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewichtungsfaktor	
		Fuhse	Peine	360,xx	0,019	
		Leine	Reckershausen	321,xx	0,017	
		Große Aue	Ströhen	584,xx	0,030	
	NRW	Werre	Herford	871,09	0,045	
	TH	Ulster Werra	Unterbreizbach-Räsa Vacha	399,00 2246,00	0,021 0,117	
durch Pegel repräsentierte Fläche:				16.004,41	-	
Ems über GIS ermittelte Fläche: 17.330,37 km ²	NI	Hase Speller Aa Soeste	Bramsche Hesselte Kampe	682,xx 370,xx 408,xx	0,035 0,019 0,021	
	NRW	Werse Ems	Albersloh Einen	321,58 1.485,77	0,017 0,077	
	durch Pegel repräsentierte Fläche:				3.267,35	-
	Weser und Ems zusammen				19.271,76	0,279
	Elbe über GIS ermittelte Fläche: 99.220,04 km ²	BB	Kleine Elster Plane Nuthe Löcknitz Dahme	Schadewitz Trebitz Babelsberg Gadow Prierow 2	637,xx 227,xx 1.787,xx 464,xx 399,xx	0,031 0,011 0,087 0,023 0,019
NI		Ilmenau Jeetzel Oste	Bienenbüttel Lüchow Rockstedt	1.434,xx 1.300,xx 611,xx	0,070 0,063 0,030	
SH		Stör	Willenscharen	467,xx	0,023	
SN		Spree Zwickauer Mulde Zschopau	Bautzen 1 Wechselburg 1 Lichtenwalde 1	278,xx 2.099,xx 1.572,xx	0,014 0,102 0,077	
ST		Weißer Elster Ehle Biese	Zeit Dannigkow Dobbrun	2.485,65 263,31 1.571,54	0,121 0,013 0,077	
TH		Zorge Ilm Unstrut Gera	Nordhausen Niedertrebra Nägelstedt Erfurt-Möbisburg	304,00 894,30 716,00 842,80	0,015 0,044 0,035 0,041	
durch Pegel repräsentierte Fläche:				18.352,60	-	
Oder über GIS ermittelte Fläche: 9.659,25 km ²		SN	Lausitzer Neiße	Zittau 1	695,xx	0,034
		MV	Uecker	Pasewalk Bollwerk	1.431,xx	0,070
		durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.126,00
Elbe und Oder zusammen				20.478,6	0,297	
Eider		SH	Soholmer Au	Soholm	352,xx	0,122
Schlei/Trave		MV	Stepenitz	Börzow	441,xx	0,153
	SH	Trave	Sehmsdorf	722,xx	0,251	
Warnow/Peene	MV	Warnow	Langen Brütz	352,xx	0,122	
		Ostpeene	Gielow Süd	361,50	0,126	
		Nebel	Güstrow	645,xx	0,224	
Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene zusammen				2.873,50	0,042	

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegelbezugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewichtungsfaktor
über GIS ermittelte Fläche zusammen: 39.485,12 km ²					
			gesamt durch Pegel repräsentierte Fläche:	68991,02	1,0

Lage der Pegel in den Flussgebietseinheiten:

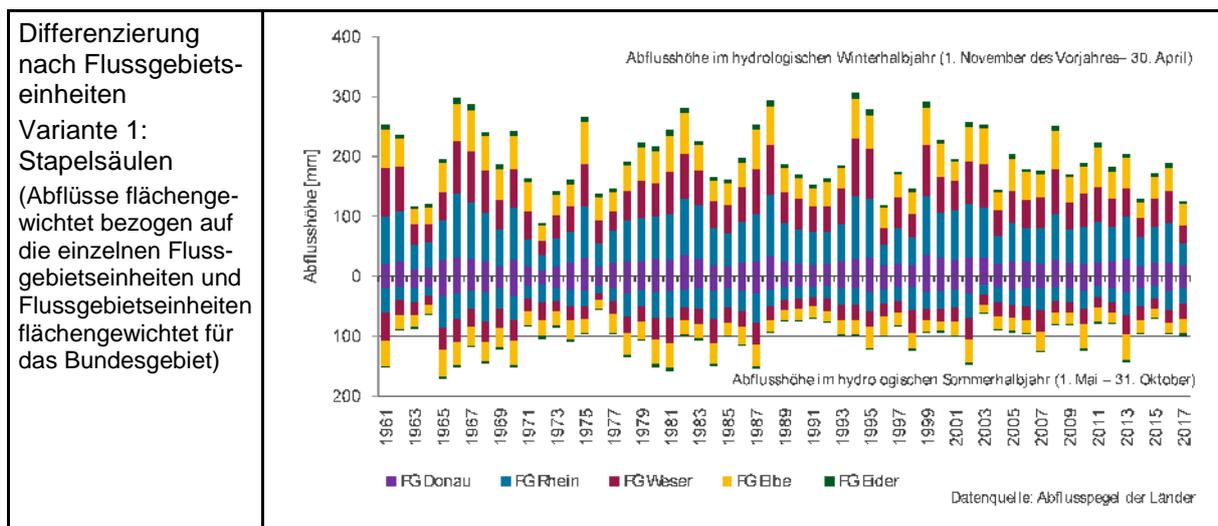


Anlage 2 – Differenzierte Darstellung für die einzelnen Flussgebiete

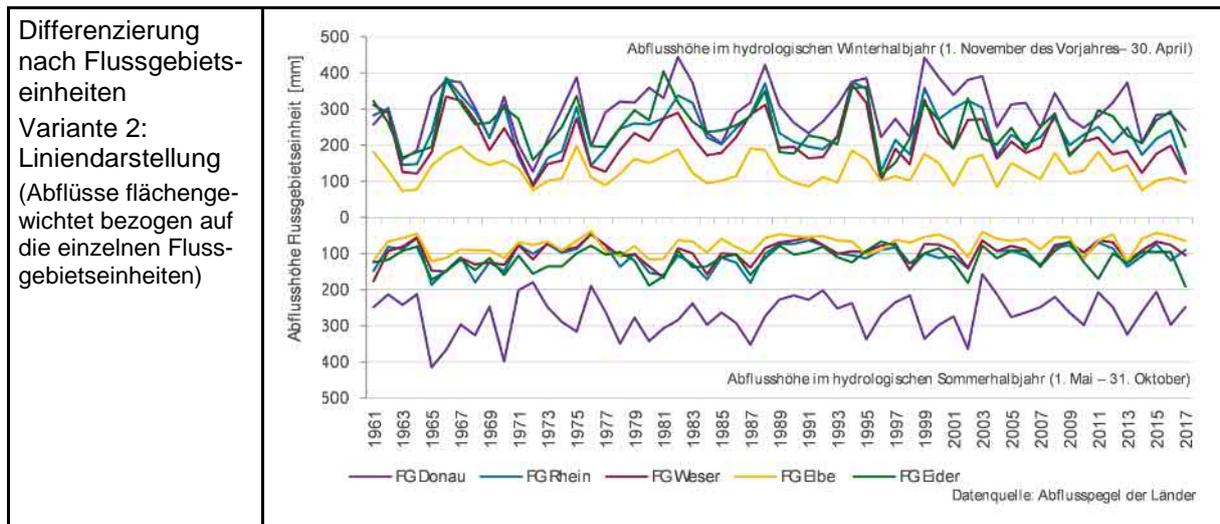
Die nachstehenden Ausführungen wurden im Zusammenhang mit der Ausarbeitung des DAS-Monitoringberichts 2019 erstellt. Sie wurden im Kontext des Monitoringberichts 2023 nicht nochmalig überarbeitet.

Zur erleichterten Ablesbarkeit der Indikator-Grafik für den Monitoringbericht wurde entschieden, auf eine nach Flussgebietseinheiten differenzierte Darstellung zu verzichten, zumal die Unterschiede zwischen den einzelnen Flussgebieten nur wenig ausgeprägt sind. Eine Trend-schätzung wird aber nach dem Modell der nachstehenden Grafiken auch differenziert für die Flussgebietseinheiten durchgeführt, um ggf. textlich auf unterschiedliche Entwicklungen in den Flussgebietseinheiten eingehen zu können.

Die Berechnung für die nachstehende Grafik – Variante 1 endet entsprechend nach dem in der oben stehenden Berechnungsvorschrift beschriebenen Schritt 4. Die aus Schritt 4 resultierenden Werte für die Flussgebietseinheiten werden aufgestapelt und nicht wie im Hauptindikator aufsummiert. Zur Ablesbarkeit der Grafik werden die Pegel der Maas der Flussgebiets-einheit Rhein und die der Oder der Flussgebietseinheit Elbe zugeordnet. Die Flussgebietseinheiten Weser und Ems werden zusammen betrachtet, ebenso wie die Einheiten Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene (vgl. Schritt 3 der oben stehenden Berechnungsvorschrift).



Zusätzlich werden in der nachstehenden Grafik – Variante 2 die Entwicklungen für die einzelnen Flussgebietseinheiten als Linien abgebildet. Für diese Darstellung wurde keine Flächen-gewichtung nach den Flussgebietseinheiten bezogen auf das Bundesgebiet durchgeführt, d. h. die Berechnung endet nach dem in der oben stehenden Berechnungsvorschrift beschriebenen Schritt 4.



Anlage 3 – Bearbeitung der Messlücken und Fehlerte

Messlücken und Fehlerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. Die Fehlertergänzung erfolgt durch die Multiplikation des Tageswerts an der benachbarten bzw. nächstgelegenen Nachbarstation X mit einem Gewichtungsfaktor. Der Gewichtungsfaktor berechnet sich aus der Division der mehrjährigen Mittelwerte (1981 bis 2010) der beiden Stationen. Die Fehlertergänzung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\text{Messwert}_{\text{StationY}} = \frac{\text{Mittelwert}_{\text{StationY}} (1981-2010)}{\text{Mittelwert}_{\text{StationX}} (1981-2010)} * \text{Tageswert}_{\text{StationX}}$$

Die folgende Tabelle zeigt die von Messlücken betroffenen Pegel sowie den jeweils nächstgelegenen und für die Fehlertergänzung geeigneten Pegel.

Flussgebietseinheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
Rhein	BW	Oberndorf Dörzbach	BW	Schwaibach Bad Mergentheim
	RP	Martinsteinst 2 Aldorf-Oberecken	RP	Odenbach Friedrichsthal
Weser	NI	Bad Salzdetturth Brenneckenbrück Harxbüttel Huntlosen II Peine Reckershausen Ströhen	NI	Harxbüttel
			ST	Weferlingen Weferlingen
			NW	Herford
			NI	Harxbüttel
	TH	Unterbreizbach-Räsa	TH	Vacha
Elbe	BB	Schadewitz Trebitz Gadow Prierow 2	BB	Babelsberg Babelsberg
			NI	Bienenbüttel
			BB	Babelsberg
			NI	Lüchow
	SN	Lichtenwalde	SN	Chemnitz
	ST	Dannigkowitz Dobbrun	BB	Babelsberg
	NI		NI	Bienenbüttel
Ems	NI	Kampe	NI	Bramsche

Flussgebietseinheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
	NW	Albersloh	NW	Einen
Oder	MV	Pasewalk	SN	Zittau
Schlei/Trave, Warnow/Peene	MV	Gielow Süd Güstrow	MV	Güstrow Gielow Süd
	SH	Sehmsdorf	MV	Börzow

Indikator-Factsheet: Hochwasser

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen (Peter Krahe) Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Dezernat W3 Hydrologie, Hochwasserschutz (Gerhard Brahmer)	
Letzte Aktualisierung:	16.07.2014	Ecologic Institut (Evelyn Lukat, Jenny Tröltzsch) Vorherige Indikator-Version im Rahmen von UBA FKZ 3711 41 106
	05.03.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Neufassung des Indikators; der ehemalige Indikator „Hochwasser“ wird durch diesen neuen Indikator ersetzt und nicht weitergeführt
	17.04.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung der Hinweise aus der Ressortabstimmung
	16.12.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Hinweise aus den LAWA-gremien
	12.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Stefan von Andrian-Werburg) Anpassung der Nummerierung, kleine formale und redaktionelle Anpassungen, Aktualisierung von Links
	25.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
	30.11.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Überarbeitung der Pegelauswahl: Austausch des Pegels Adorf 1 (SN) durch Bautzen 1 (SN) und Arenshausen (TH) durch Hellwege (NI), Ergänzung des Pegels Schmittlotheim (HE); Entfernen der Pegel Weferlingen, Ellingshausen, Meiningen, Aue und Chemnitz aufgrund überlappender Einzugsgebiete. Für NRW wurde eine Ergänzung des Pegels Feudinggen / Lahn angeregt, der als Teil des Klimafolgenmonitorings NRW erprobt ist; dieser ist allerdings mit einem Einzugsgebiet von 25,4 km ² sehr klein und im bereits berücksichtigten Pegel-Einzugsgebiet Marburg enthalten; Überarbeitung der Messstellenkarte Durchführung von Fehlwertergänzungen
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Die Flussgebietseinheit Donau ist flächenmäßig mit den ausgewählten Pegeln und deren Einzugsgebiete unterrepräsentiert. Aus Kapazitätsgründen im Bundesland BY ist eine Erweiterung der bisherigen Messstellen für den Monitoringbericht 2023 nicht möglich. In Zukunft muss geprüft werden, ob weitere Pegel ergänzt werden können. Aufgrund von Kapazitätsgründen in den datenliefernden Institutionen liegen teilweise (u. a. für NI) ungeprüfte Rohdaten und unvollständige Datenreihen vor. Geprüfte Daten müssen nachträglich ergänzt werden.

		Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Fehlwerte und der betroffenen Stationen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Stationen sollte hier eine einheitliche Methodik entwickelt werden um Fehlwerte zu kompensieren (siehe Anlage 3).
--	--	--

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-4	Titel: Hochwasser
<p>Einheit: <u>Teil A:</u> Anzahl</p> <p><u>Teil B:</u> Anzahl</p> <p><u>Zusatz:</u> ohne Einheit</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators:</p> <p><u>Teil A:</u> Flächengemittelte Anzahl von Tagen über mittleren Hochwasserabflüssen im hydrologischen Winterhalbjahr in mesoskaligen Einzugsgebieten, differenziert für die großen Flussgebietseinheiten</p> <p><u>Teil B:</u> Flächengemittelte Anzahl von Tagen über mittleren Hochwasserabflüssen im hydrologischen Sommerhalbjahr in mesoskaligen Einzugsgebieten, differenziert für die großen Flussgebietseinheiten</p> <p><u>Zusatz:</u> Verhältnis von Tagen über mittleren Hochwasserabflüssen im hydrologischen Winterhalbjahr zu Tagen über mittleren Hochwasserabflüssen im gesamten hydrologischen Jahr</p> <p>Berechnungsvorschrift:</p> <p><u>Schritt 1:</u> Prüfung der Datenreihen auf Fehlwerte, Fehlwertergänzung nach dem in Anlage 3 beschriebenen Verfahren</p> <p><u>Schritt 2:</u> Teil A: Berechnung der vieljährig gemittelten höchsten Tagesabflüsse je Pegel für das hydrologische Winterhalbjahr der Periode 1961-1990 $MHQ_{HyWinter} 1961-1990$ je Pegel = Mittel der jeweils höchsten im hydrologischen Winterhalbjahr der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel hydrologisches Winterhalbjahr ($MHQ_{HyWinter}$): 1. November des Vorjahres – 30. April</p> <p>Teil B: Berechnung der vieljährig gemittelten höchsten Tagesabflüsse je Pegel für das hydrologische Sommerhalbjahr der Periode 1961-1990 $MHQ_{HySommer} 1961-1990$ je Pegel = Mittel der jeweils höchsten im hydrologischen Sommerhalbjahr der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel hydrologisches Sommerhalbjahr ($MHQ_{HySommer}$): 1. Mai – 31. Oktober</p> <p><u>Schritt 3:</u> Teil A: Berechnung der Anzahl der Hochwassertage im hydrologischen Winterhalbjahr ($sumD_{HyWinter}$) je Pegel $sumD_{HyWinter}$ = Anzahl der Tage im hydrologischen Winterhalbjahr, an denen der Tagesabflusswert den $MHQ_{HyWinter}$ (1961-1990) des Pegels (aus Schritt 2) überschreitet</p> <p>Teil B: Berechnung der Anzahl der Hochwassertage im hydrologischen Sommerhalbjahr ($sumD_{HySommer}$) je Pegel $sumD_{HySommer}$ = Anzahl der Tage im hydrologischen Sommerhalbjahr, an denen der Tagesabflusswert den $MHQ_{HySommer}$ (1961-1990) des Pegels (aus Schritt 2) überschreitet</p>

	<p>überschreitet Hochwassertage sind Tage, für die gilt: Mittlerer Tagesabfluss - MHQ > 0</p> <p><u>Schritt 4:</u> Berechnung des flächengewichteten Mittels der Hochwassertage aller Pegel einer jeden Flussgebietseinheit bzw. der wie folgt zusammengefassten Flussgebietseinheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flussgebietseinheit Donau • Flussgebietseinheit Rhein inkl. Maas • Flussgebietseinheit Weser und Ems • Flussgebietseinheit Elbe inkl. Oder • Flussgebietseinheit Eider inkl. Schlei/Trave, Warnow/Peene <p>Zur Pegelzuordnung zu den Flussgebietseinheiten s. Anlage 1 Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1. Die Gewichtung erfolgt jeweils nach dem Anteil des oberirdischen Einzugsgebiets (AEo) des einzelnen Pegels an der gesamten durch die berücksichtigten Pegel repräsentierten Fläche (also nicht nach der Gesamtfläche) der Flussgebietseinheit.</p> <p>Teil A: $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Donau = $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Hundersingen * 0,444 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Sonthofen * 0,066 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Pfaffenhofen * 0,086 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Mettendorf * 0,051 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Böhmischbruck * 0,082 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Teisnach * 0,106 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Weilheim * 0,103 + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ am Pegel Stein * 0,062</p> <p>Hinweis: Die Zusammenfassung der kleinen Flussgebietseinheiten (bzw. der kleinen nationalen Anteile größerer Flussgebietseinheiten) hat insbesondere darstellerische Gründe. Aufgrund der flächengewichteten Verrechnung sind die Werte der kleinen Einheiten sehr gering.</p> <p>analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B</p> <p><u>Zusatz:</u> <u>Schritt 1:</u> Teil A: $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Donau flächengewichtet = $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Donau (aus obigem Schritt 3) * 0,087</p> <p>Analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1.</p> <p><u>Schritt 2:</u> $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ Gesamtfläche = $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Donau flächengewichtet + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Rhein / Maas flächengewichtet + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Weser / Ems flächengewichtet + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Elbe / Oder flächengewichtet + $\text{sumD}_{\text{HyWinter}}$ für Eider / Schlei/Trave / Warnow/Peene</p> <p>analog für das hydrologische Sommerhalbjahr</p> <p><u>3. Schritt:</u> Verhältnis HyWin zu HyJh = $\frac{\text{sumD}_{\text{HyWinter}} \text{ Gesamtfläche}}{(\text{sumD}_{\text{HyWinter}} \text{ Gesamtfläche} + \text{sumD}_{\text{HySommer}} \text{ Gesamtfläche})}$</p>
Interpretation des Indikatorwerts:	<p><u>Teile A und B:</u> Je höher der Indikatorwert, desto mehr Tage mit Hochwasser sind im jeweiligen hydrologischen Halbjahr in den Flussgebietseinheiten aufgetreten.</p> <p><u>Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist die Anzahl der Hochwassertage im Winterhalbjahr im Vergleich zu der im gesamten hydrologischen Jahr. Indikatorwerte größer als 0,5 bedeuten ein Überwiegen der winterlichen Hochwassertage, Werte unter 0,5 ein Überwiegen der sommerlichen Hochwassertage. Werte von 0,5 oder nahe 0,5 weisen auf über das Jahr gleichverteilte Anzahl der Hochwassertage hin.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Abflussverhältnisse
Thematischer Teilaspekt:	Häufung und Verstärkung von Hoch- und Niedrigwasser
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	<p>Indikatorensystem zu Klimaentwicklung und Klimawandelfolgen der Europäischen Umweltagentur (EEA): CLIM 017 River floods</p> <p>Klimafolgenmonitoring Baden-Württemberg: I-WH-2 Hochwasserabfluss</p> <p>Klimafolgenmonitoring Thüringen: I-WW-2 Hochwasser</p> <p>Klimafolgenmonitoring Sachsen: I-W1: Jahreszeitliche Auflösung der Abflüsse (hier: Hochwasserscheitelabflüsse am Pegel Dresden)</p>
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Hochwasserereignisse gehören zu den natürlichen Phänomenen und treten je nach Entstehungsursache jahreszeitlich und räumlich in unterschiedlicher Ausprägung auf. Im Sommer kommt es aufgrund sommerlicher Starkniederschlagsereignisse beispielsweise im Zuge von Gewittern oft zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen in Bächen und kleineren Flüssen, während lang andauernde und großräumige Niederschlagsereignisse oft in Verbindung mit einer Schneeschmelze im Winter und im Frühjahr zu Hochwasser in den mittleren und größeren Flüssen führen.</p> <p>Der Klimawandel kann zu einer Veränderung der Häufigkeit und Intensität (Schwere) von Hochwasserereignissen führen, wenn sich sommerliche Starkniederschlagsereignisse intensivieren, es durch die häufiger auftretenden stationären VB-Wetterlagen extrem lang andauernde Niederschlagsereignisse gibt oder die winterlichen Niederschläge zunehmen bzw. vermehrt als Regen und weniger als Schnee fallen. Bei den in den Wintermonaten häufig wassergesättigten Böden werden diese Niederschläge i. d. R. direkt abflusswirksam.</p> <p>Relevanz:</p> <p>Extreme Hochwässer können je nach Ort des Auftretens und der Nutzung ufernaher Bereiche zu gravierenden gesundheitlichen und wirtschaftlichen Schäden führen. In den vergangenen Jahrzehnten ist das Hochwasserrisiko gestiegen, da hochwassergefährdete Gebiete eine immer stärkere Nutzung erfahren haben. Zudem können sich die Verminderung von Retentionsräumen und die Flächenversiegelung verstärkend auf natürliche Hochwasserphänomene auswirken. Andererseits werden zunehmend technische Maßnahmen ergriffen (z. B. gesteuerte Polder, Hochwasser-Rückhaltebecken, Talsperren) mit denen der Hochwasserscheitel, also der höchste Pegel-/Wasserstand, der während eines Hochwassers erreicht wird, vermindert werden kann.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz:</p> <p>Für den Indikator zu den Hochwassertagen werden Daten von den Ländern ausgewählter Messstellen ausgewertet. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach den folgenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Einzugsgebietsgrößen der Pegel bewegen sich in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km². Damit werden Hochwasserereignisse im mittelgroßen Maßstab erfasst, also auch Hochwasser in kleineren Fließgewässern mit erfasst, die ebenfalls signifikante Schäden verursachen können. Bei Einzugsgebieten < 250 km² schlagen sich anthropogene Beeinflussungen (wie Auf-

	<p>stau, Hochwasserschutzmaßnahmen) in den Daten deutlicher nieder, was die Interpretation im Klimawandelkontext erschwert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Pegel repräsentieren bestmöglich die hydrologische Situation im Land. • Die Pegel sollten möglichst wenig anthropogen beeinflusst sein (z. B. durch Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen), um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst direkt abbilden zu können. • Die Pegel liefern Daten ab 1960 (sodass eine Auswertung mit Beginn des hydrologischen Jahres 1961 möglich ist). • Die künftige Fortsetzung der Datenerhebung an den Pegeln ist bestmöglich gesichert. <p>Auswertung der Daten: Der Indikator fokussiert mit der vorgenommenen Pegelauswahl auf die Einzugsgebiete mittlerer Größe. Er nimmt über die separate Auswertung nach den großen Flussgebietseinheiten eine gewisse Regionalisierung vor und ermöglicht so, auch unterschiedliche Entwicklungen in den Klimaregionen Deutschlands herauszuarbeiten.</p>
Einschränkung:	<p>Die Berechnung und Darstellung erlauben keine räumliche Differenzierung innerhalb der großen Flussgebietseinheiten. So kann sich das Hochwasserge-schehen auf einzelne Pegel konzentrieren, während andere innerhalb der Flussgebietseinheit nicht betroffen sind.</p> <p>Mit den der Berechnung zugrunde gelegten mesoskaligen Einzugsgebieten lassen sich möglicherweise lokal auftretende sommerlicher Starknieder-schlagsereignisse, die oft zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen in Bächen und kleineren Flüssen führen, nicht oder nur teilweise abbilden bzw. führen nicht zu einem ausgeprägten Signal.</p> <p>Die hinter den Teilstapeln zu den Flussgebieten liegenden Werte sind flächengewichtet bezogen auf das Bundesgebiet. Sie lassen sich nicht als Absolutwerte interpretieren (d. h. die Werte sind gegenüber den real aufgetretenen Hoch-wassertagen zu niedrig) (vgl. Anlage 2 mit Auswertung ohne Flächengewich-tung).</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (WHG) • EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007) (HWRM-RL) • Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013 (MKRO 2013), beschlossen von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 06.02.2013
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kapitel 3.2.11: Die Wasserstände in deutschen Flüssen variieren schon immer beträchtlich. Im Zuge des Klimawandels könnten diese Schwankungen zunehmen. Folgenabschätzungen von Klimaänderungen fokussieren sowohl auf längerfristige Veränderungen des Wasserdargebots (Mittelwerte) als auch auf eine Zunahme von Schwankungen (Variabilität und Extreme), die sich auf Wasserstände und Abflüsse und damit auf die Schiffbarkeit der Flüsse auswirken können.</p>
Ziele:	<p>DAS: Kap. 3.2.3: Unterstützung der Eigenvorsorge im Hochwasserschutz Kap. 3.2.14: In Flussgebieten Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken durch Verstärkung von passiven Sicherungsmaßnahmen (insbesondere Freihaltung von Bebauung) als auch durch aktive Abflussregulierung sowie erhebli-</p>

	<p>che Ausweitung der Retentionsflächen in regionaler und überregionaler Abstimmung.</p> <p>WHG, § 76 Abs. (2): Festsetzung von Überschwemmungsgebieten 1. innerhalb der Risikogebiete (oder der nach § 73 Absatz 5 Satz 2 Nummer 1 zugeordneten Gebiete) mindestens die Gebiete, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten ist, und 2. die zur Hochwasserentlastung und Rückhaltung beanspruchten Gebiete. Die unter 1. genannten Gebiete sind bis zum 22. Dezember 2013 festzusetzen.</p> <p>EU-HWRM-RL:</p> <p>Art 7.1: Auf der Grundlage der Karten nach Artikel 6 erstellen die Mitgliedstaaten auf Ebene der Flussgebietseinheiten oder Bewirtschaftungseinheiten (nach Artikel 3 Absatz 2 Buchstabe b) für die Hochwasserrisikogebiete (nach Artikel 5 Absatz 1 sowie nach Artikel 13 Absatz 1 Buchstabe b) koordinierte Hochwasserrisikomanagementpläne (für die im Einklang mit den Absätzen 2 und 3 des vorliegenden Artikels).</p> <p>Art 7.3: Die Hochwasserrisikomanagementpläne umfassen Maßnahmen zur Erreichung der gemäß Absatz 2 festgelegten Ziele und beinhalten ferner die in Teil A des Anhangs beschriebenen Bestandteile. Die Hochwasserrisikomanagementpläne erfassen alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements, wobei der Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge, einschließlich Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen, liegt, und die besonderen Merkmale des betreffenden Einzugsgebietes bzw. Teileinzugsgebietes berücksichtigt werden. Die Unterstützung nachhaltiger Flächennutzungsmethoden, die Verbesserung des Wasserrückhalts und kontrollierte Überflutungen bestimmter Gebiete im Falle eines Hochwasserereignisses können ebenfalls in die Hochwasserrisikomanagementpläne einbezogen werden.</p> <p>Art. 7.5: Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Hochwasserrisikomanagementpläne bis zum 22. Dezember 2015 erstellt und veröffentlicht werden.</p> <p>Art. 14: (1) Die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos oder die Bewertung und Beschlüsse nach Artikel 13 Absatz 1 werden bis zum 22. Dezember 2018 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert. (2) Die Hochwassergefahrenkarten und die Hochwasserrisikokarten werden bis zum 22. Dezember 2019 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert. (3) Der bzw. die Hochwasserrisikomanagementpläne, einschließlich der in Teil B des Anhangs beschriebenen Bestandteile, werden bis zum 22. Dezember 2021 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert.</p> <p>MKRO 2013, Kap. 3.1: Das Handlungskonzept identifiziert folgende Handlungsbedarfe: Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum, Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum, Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen, Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse, Sicherung potentieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen.</p>
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Abflusspegel der Länder: Messungen zum Abfluss (mittlere Tagesabflüsse) (s. Anlage 1)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	Flussgebietseinheiten
Geographische Abdeckung:	Flussgebietseinheiten Deutschlands, zur besseren Ablesbarkeit der Grafik werden die Pegel der Maas der Flussgebietseinheit Rhein und die der Oder der Flussgebietseinheit Elbe zugeordnet. Die Flussgebietseinheiten Weser und	

	<p>Ems werden zusammen betrachtet, ebenso wie die Einheiten Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene als „Flussgebietseinheiten im Einzugsgebiet Ostsee“.</p> <p>Alle Flussgebietseinheiten Deutschlands sind durch Pegel repräsentiert, insgesamt 75 Pegel (der Pegel Dobbrun in Sachsen-Anhalt kann für diesen Indikator nicht genutzt werden, da er im Hochwasserfall als zu stark beeinflusst gilt).</p> <p>Alle Bundesländer (außer dem Saarland sowie den Stadtstaaten Hamburg, Berlin und Bremen) sind repräsentiert, für das Saarland konnten kein Pegel gefunden werden, die den vorgegebenen Kriterien entsprechen.</p>
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1961
Beschränkungen:	keine
Verweis auf Daten-Factsheet:	WW-I-4_Daten_Hochwasser.xlsx

V Zusatz-Informationen

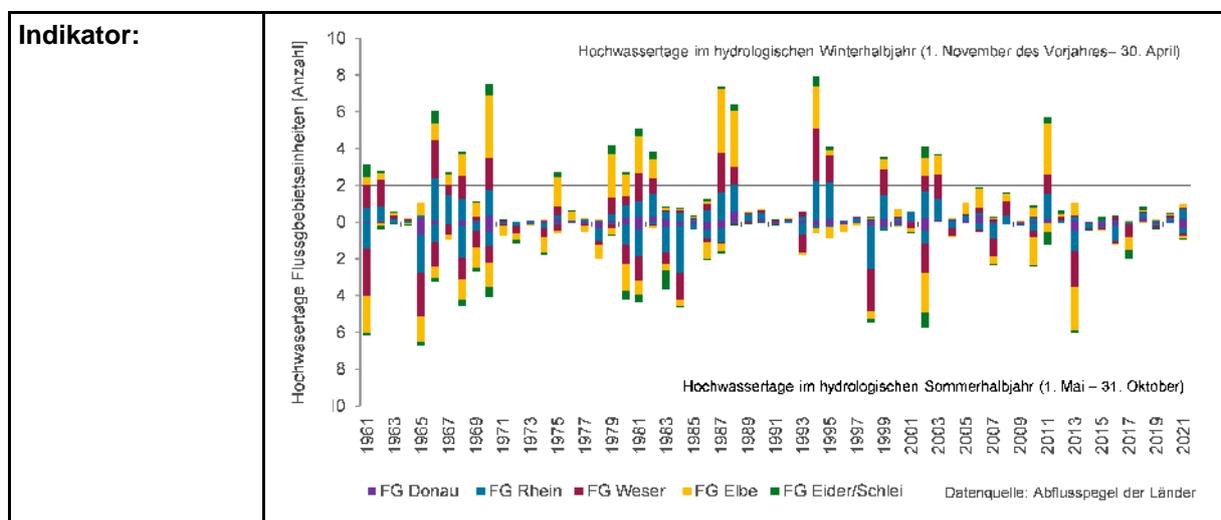
Glossar:	<p>Hochwasser: Gemäß DIN 4049 ist Hochwasser der „Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder überschritten hat“. In der Regel haben die Schwellenwerte Bedeutung im Hinblick auf das einem Hochwasser anhaftende Schadenspotenzial. Dieses wird bestimmt durch a) Scheitelhöhe, Dauer und Abflussvolumen, b) Topographie und Nutzung sowie c) die Jahreszeit, in der das Ereignis eintritt (Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN (1994): DIN 4049-3, Hydrologie Teil 3: Begriffe der quantitativen Hydrologie).</p> <p>Gemäß § 72 WHG ist Hochwasser eine zeitlich beschränkte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land, insbesondere durch oberirdische Gewässer oder durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser. Davon ausgenommen sind Überschwemmungen aus Abwasseranlagen.</p> <p>MHQ: Mittlerer Hochwasserabfluss der betrachteten Zeitspanne als arithmetische Mittel der höchsten Abflüsse (HQ) gleichartiger Zeitabschnitte für die Jahre des Betrachtungszeitraums innerhalb eines Einzugsgebiets (in l/s oder m³/s)</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) (Hrsg.) 2002: Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 2.1.3: „Analyse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse“. KLIWA-Berichte H. 2, Mannheim, 98 S.</p> <p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) (Hrsg.) 2006: KLIWA-Projekt A 1.1.3 Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern „Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse in Baden-Württemberg und Bayern“, KLIWA-Berichte H. 8, Offenbach, 93 S.</p> <p>Belz J.U., Brahmer G., Buiteveld H., Engel H., Grabher R., Hodel H., Krahe P., Lammersen R., Larina M., Mendel H.-G., Meuser A., Müller G., Plonka B., Pfister L., van Vuuren W. 2007: Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. Analyse, Veränderungen und Trends. CHR-Reports I-22, Lelystad, 377 S. www.chr-khr.org/sites/default/files/chrpublications/abflussregime_2010_0.pdf</p> <p>Dyck S. & Peschke G. 1995 „Grundlagen der Hydrologie“, Berlin, 536 S.</p> <p>Plate E. J. & Merz B. (Hrsg.) 2001: Naturkatastrophen: Ursachen, Auswirkungen</p>

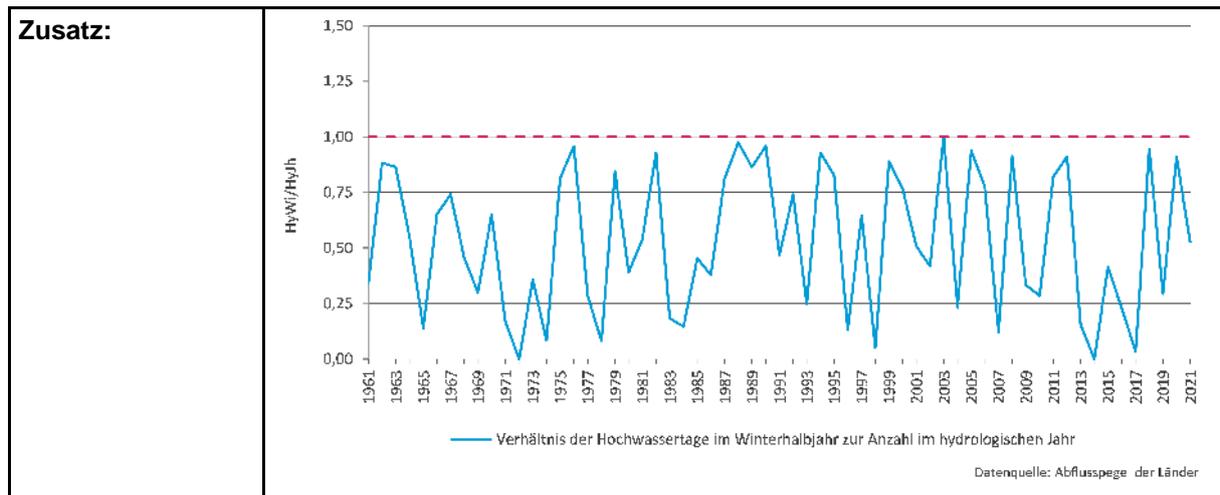
	<p>gen, Vorsorge. Schweizerbart, Stuttgart, 475 S.</p> <p>Görge K., Beersma J., Buiteveld H., Brahmner G, Carambia M., de Keizer O., Krahe P., Nilson E., Lammersen R., Perrin C., Volken D. 2010: Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad, 229 S. www.news.admin.ch/news/message/attachments/20770.pdf</p> <p>Hennegriff W. & Kolokotronis V. 2007: Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft H. 9: 31-35.</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverarbeitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Datenaufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die Abfrage der Daten bei den Ländern und deren strukturierte Ablage nimmt etwa 16 Stunden in Anspruch (erfolgt aber gemeinsam für alle drei Indikatoren zum Abfluss). Die Auswertung der Daten kann auf der Grundlage der angelegten Daten-Factsheets erfolgen und nimmt ca. 8 Stunden in Anspruch.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle mit Unterstützung der BfG		
	<u>Erläuterung:</u>	keine	

VII Darstellungsvorschlag





VIII Anlagen

Anlage 1 – Lage der ausgewählten Pegelmessstellen und deren Zuordnung zu den großen Flussgebietseinheiten

Liste der Pegel (75):

Hinweis: Die in der rechten Spalte gelisteten Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Pegel ergeben in der Summe den Wert 1,0. Sie ermitteln sich aus dem AEo-Anteil der einzelnen Pegel an der gesamten durch die ausgewählten Pegel repräsentierten Fläche der Flussgebietseinheit.

Die fett gedruckten Gewichtungsfaktoren entsprechen den Flächenanteilen der jeweiligen Flussgebietseinheiten an der gesamten Fläche.

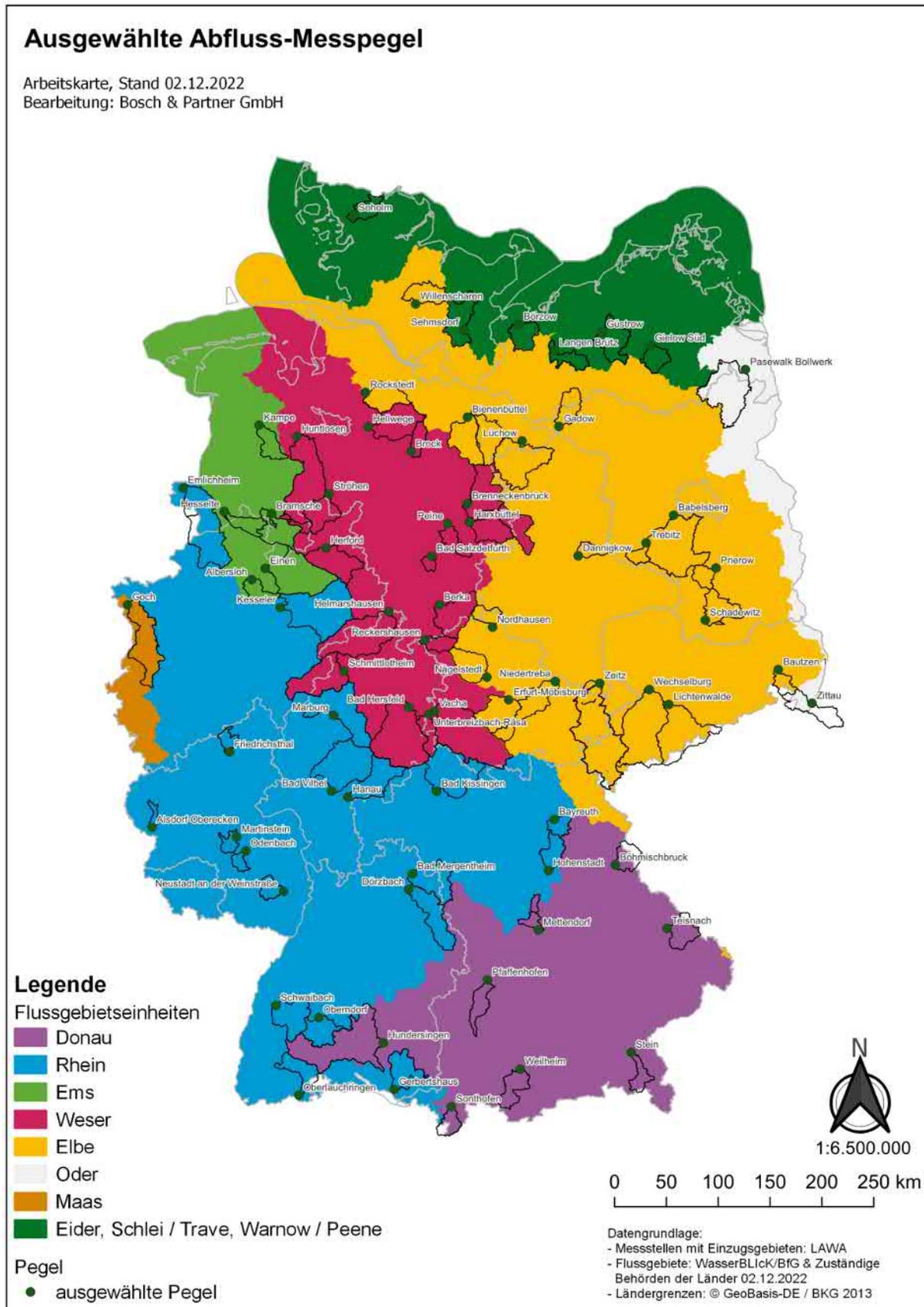
Die Pegelauswahl wurde für den Monitoringbericht 2023 noch einmal überarbeitet. Dabei wurden zum einen erbetene Überarbeitungen der Pegelauswahl durch die Bundesländer umgesetzt. Zum anderen wurden Pegel entfernt, deren Einzugsgebiete sich mit ebenfalls in der Pegelauswahl enthaltenen Pegeln überlagern, um Mehrfachbewertungen zu vermeiden.

Flussgebiets-einheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewich-tungsfaktor
Donau über GIS ermit-telte Fläche: 56.190,18 km ²	BW	Donau	Hundersingen	2.621,32	0,444
	BY	Iller	Sonthofen	387,91	0,066
		Zusam	Pfaffenhofen	505,07	0,086
		Schwarzach	Mettendorf	303,73	0,051
		Pfreimd	Böhmischbruck	483,32	0,082
		Schwarzer Regen	Teisnach	626,63	0,106
		Ammer	Weilheim	607,39	0,103
		Traun	Stein	367,36	0,062
		durch Pegel repräsentierte Fläche:			
Rhein über GIS ermit-telte Fläche: 105.201,32 km ²	BW	Tauber	Bad Mergentheim	1.017,00	0,050
		Wutach	Oberlauchringen	630,12	0,031
		Kinzig	Schwaibach	955,05	0,047
		Neckar	Oberndorf	690,48	0,034
		Jagst	Dörzbach	1.029,99	0,050
		Schussen	Gerbertshaus	782,21	0,038
		BY	Roter Main	Bayreuth	340,28

Flussgebiets-einheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewich-tungsfaktor	
		Pegnitz	Hohenstadt	488,50	0,024	
		Fränkische Saale	Bad Kissingen	1.576,22	0,077	
	HE	Nidda	Bad Vilbel	1.619,30	0,079	
		Kinzig	Hanau	919,88	0,045	
		Lahn	Marburg	1.666,20	0,081	
	NI	Vechte	Emlichheim	1.731,xx	0,085	
	NRW	Lippe	Kesseler 3	2.002,97	0,098	
	RP	Wied	Friedrichsthal	680,45	0,033	
		Speyerbach	Neustadt a.d.W.	311,77	0,015	
		Nahe	Martinstein 2	1.468,00	0,072	
Glan		Odenbach	1.088,00	0,053		
Nims		Alsdorf-Oberecken	263,81	0,013		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				19.261,22	-	
Maas über GIS ermit- telte Fläche: 3.966,11 km ²	NRW	Niers	Goch	1.203,21	0,059	
	durch Pegel repräsentierte Fläche:				1.203,21	-
Rhein und Maas zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:				20.464,43	0,304
Weser über GIS ermit- telte Fläche: 48.902,70 km ²	HE	Fulda	Bad Hersfeld	2.120,20	0,110	
		Diemel	Helmarshausen	1.757,12	0,091	
		Eder	Schmittlotheim	1.202,00	0,062	
	NI	Lamme	Bad Salzdetfurth	127,xx	0,007	
		Rhume	Berka R	895,xx	0,046	
		Aller	Brenneckenbrück	1.638,xx	0,085	
		Böhme	Brock	285,xx	0,015	
		Schunter	Harxbüttel	592,xx	0,031	
		Wümme	Hellwege	893,xx	0,046	
		Hunte	Huntlosen II	1.714,xx	0,092	
		Fuhse	Peine	360,xx	0,019	
		Leine	Reckershausen	321,xx	0,017	
	Große Aue	Ströhen	584,xx	0,030		
NRW	Werre	Herford	871,09	0,045		
TH	Ulster	Untereibach-Räsa	399,00	0,021		
	Werra	Vacha	2246,00	0,117		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				16.004,41	-	
Ems über GIS ermit- telte Fläche: 17.330,37 km ²	NI	Hase	Bramsche	682,xx	0,035	
		Speller Aa	Hesselte	370,xx	0,019	
		Soeste	Kampe	408,xx	0,021	
	NRW	Werse	Albersloh	321,58	0,017	
	Ems	Einen	1.485,77	0,077		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				3.267,35	-	
Weser und Ems zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:				19.271,76	0,286
Elbe über GIS ermit- telte Fläche: 99.220,04 km ²	BB	Kleine Elster	Schadewitz	637,xx	0,034	
		Plane	Trebitz	227,xx	0,012	
		Nuthe	Babelsberg	1.787,xx	0,095	
		Löcknitz	Gadow	464,xx	0,025	
		Dahme	Prierow 2	399,xx	0,021	
	NI	Ilmenau	Bienenbüttel	1.434,xx	0,076	
		Jeetzel	Lüchow	1.300,xx	0,069	
		Oste	Rockstedt	611,xx	0,032	
	SH	Stör	Willenscharen	467,xx	0,025	

Flussgebiets-einheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewich-tungsfaktor	
	SN	Spree	Bautzen 1	278,xx	0,015	
		Zwickauer Mulde	Wechselburg 1	2.099,xx	0,111	
		Zschopau	Lichtenwalde 1	1.572,xx	0,083	
	ST	Weiße Elster	Zeitz	2.485,65	0,131	
		Ehle	Dannigkow	263,31	0,014	
	TH	Zorge	Nordhausen	304,00	0,016	
		Ilm	Niedertrebra	894,30	0,047	
Unstrut		Nägelstedt	716,00	0,038		
Gera		Erfurt-Möbisburg	842,80	0,045		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				16.781,06	-	
Oder	SN	Lausitzer Neiße	Zittau 1	695,xx	0,034	
	MV	Uecker	Pasewalk Bollwerk	1.431,xx	0,070	
	durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.126,00	-
über GIS ermit-telte Fläche: 9.659,25 km ²						
Elbe und Oder zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:				18.907,06	0,280
Eider	SH	Soholmer Au	Soholm	352,xx	0,122	
Schlei/Trave	MV	Stepenitz	Börzow	441,xx	0,153	
	SH	Trave	Sehmsdorf	722,xx	0,251	
Warnow/Peene	MV	Warnow	Langen Brütz	352,xx	0,122	
		Ostpeene	Gielow Süd	361,50	0,126	
		Nebel	Güstrow	645,xx	0,224	
Eider, Schlei/ Trave und Warnow/Peene zusammen über GIS ermit- telte Fläche zusammen: 39.485,12 km ²	durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.873,50	0,042
gesamt durch Pegel repräsentierte Fläche:				67.419,48	1,0	

Lage der Pegel in den Flussgebietseinheiten:

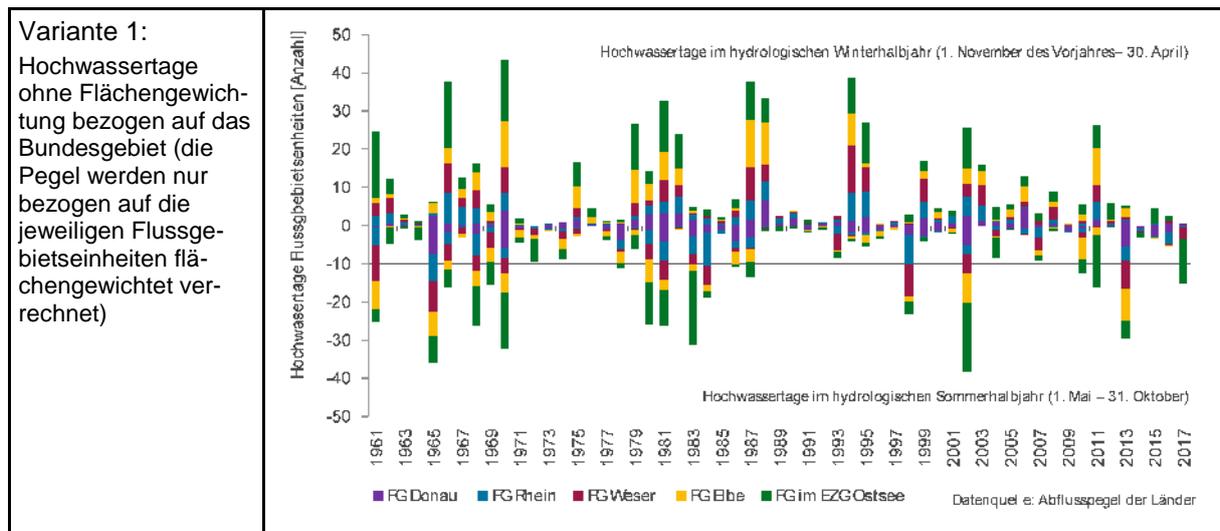


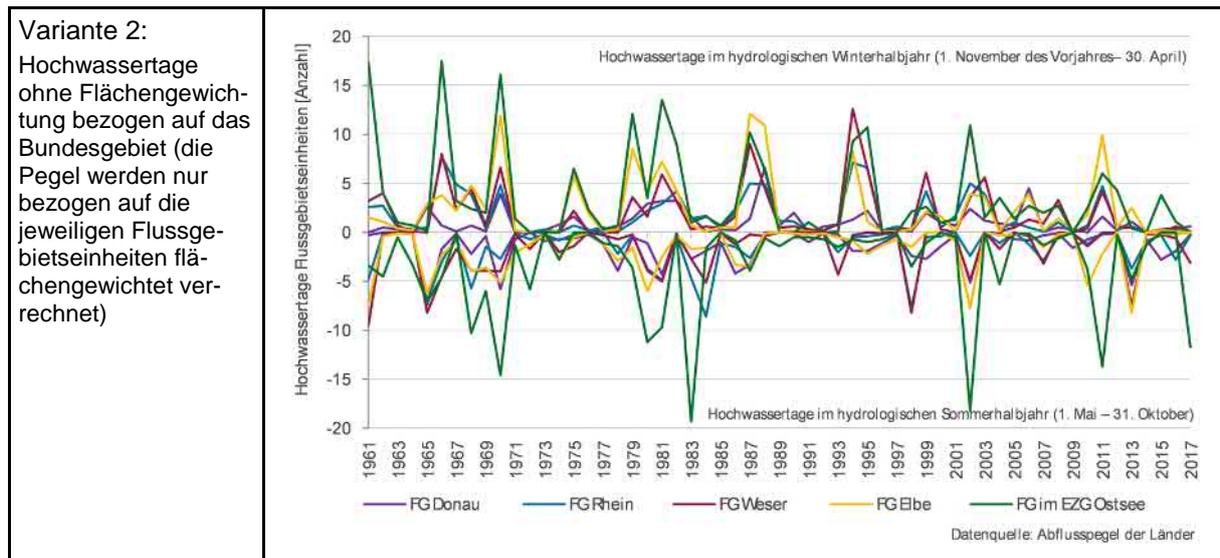
Anlage 2 – Ergänzende Auswertungen

Die nachstehenden Ausführungen wurden im Zusammenhang mit der Ausarbeitung des DAS-Monitoringberichts 2019 erstellt. Sie wurden im Kontext des Monitoringberichts 2023 nicht nochmalig überarbeitet.

Ergänzend zum Indikator, in dem die Werte für die einzelnen Flussgebietseinheiten bezogen auf das Bundesgebiet gewichtet abgebildet sind, werden nachstehend Grafiken präsentiert, die als Stapelsäulen (Variante 1) oder Linien (Variante 2) die ungewichteten Werte abbilden. Diese Darstellung hat den Vorteil, dass sich die in den einzelnen Flussgebietseinheiten aufgetretenen Hochwassertage in einer realistischen Dimension bewegen und so für das jeweilige Flussgebiet interpretiert werden können. In Form von Stapelsäulen über alle Flussgebietseinheiten aufsummiert (Variante 1) resultieren allerdings Anzahlen, die aufgrund der zeitlichen Parallelität der Ereignisse irrealen Größenordnungen erreichen.

Auffallend ist die hohe Zahl an Hochwassertagen an Pegeln, die in Flussgebieten im Einzugsgebiet der Ostsee liegen. Dies kann an dem überwiegend niedrigen Gefälle, der Abflussminderung durch Krautstau, der Retention durch Seen oder dem Rückstau der Küstenzuflüsse liegen. Diese Fragestellungen sollten im Hinblick auf zu erwartende häufigere Extremereignisse näher untersucht werden.





Anlage 3 – Bearbeitung der Messlücken und Fehlwerte

Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. Die Fehlertergänzung erfolgt durch die Multiplikation des Tageswerts an der benachbarten bzw. nächstgelegenen Nachbarstation X mit einem Gewichtungsfaktor. Der Gewichtungsfaktor berechnet sich aus der Division der mehrjährigen Mittelwerte (1981 bis 2010) der beiden Stationen. Die Fehlertergänzung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\text{Messwert}_{\text{StationY}} = \text{Mittelwert}_{\text{StationY}} (1981-2010) / \text{Mittelwert}_{\text{StationX}} (1981-2010) * \text{Tageswert}_{\text{StationX}}$$

Die folgende Tabelle zeigt die von Messlücken betroffenen Pegel sowie den jeweils nächstgelegenen und für die Fehlertergänzung geeigneten Pegel.

Flussgebiets-einheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
Rhein	BW	Oberndorf Dörzbach	BW	Schwaibach Bad Mergentheim
	RP	Martinstein 2 Alsdorf-Oberecken	RP	Odenbach Friedrichsthal
Weser	NI	Bad Salzdettfurth Brenneckenbrück Harxbüttel Huntlosen II Peine Reckershausen Ströhen	NI	Harxbüttel
			ST	Weferlingen Weferlingen
			NW	Herford
			NI	Harxbüttel
	TH	Arenshausen		
	TH	Unterbreizbach-Räsa	TH	Vacha
Elbe	BB	Schadewitz Trebitz Gadow Prierow 2	BB	Babelsberg Babelsberg
			NI	Bienenbüttel
	BB	Babelsberg		
	NI	Lüchow	NI	Bienenbüttel
SN	Lichtenwalde	SN	Chemnitz	
ST	Dannigkow Dobbrun	BB	Babelsberg	
			NI	Bienenbüttel

Flussgebiets- einheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
Ems	NI	Kampe	NI	Bramsche
	NW	Albersloh	NW	Einen
Oder	MV	Pasewalk	SN	Zittau
Schlei/Trave, Warnow/Peene	MV	Gielow Süd Güstrow	MV	Güstrow Gielow Süd
	SH	Sehmsdorf	MV	Börzow

Indikator-Factsheet: Spitzenabflüsse in Fließgewässern

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren, insbesondere mit Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen (Peter Krahe)	
Letzte Aktualisierung:	21.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler, Can Ölmez) Ersterstellung
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Umsetzung der Anmerkungen von BMDV im Rahmen der IMAA-Abstimmung zur Spezifizierung des Titels (vormals „Spitzenabflüsse“); Einarbeitung weiterer redaktioneller Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
	30.11.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Überarbeitung der Pegelauswahl: Austausch des Pegels Adorf 1 (SN) durch Bautzen 1 (SN) und Arenshausen (TH) durch Hellwege (NI), Ergänzung des Pegels Schmittlotheim (HE); Entfernen der Pegel Weferlingen, Ellingshausen, Meiningen, Aue und Chemnitz aufgrund überlappender Einzugsgebiete. Für NRW wurde eine Ergänzung des Pegels Feudingingen / Lahn angeregt, der als Teil des Klimafolgenmonitorings NRW erprobt ist; dieser ist allerdings mit einem Einzugsgebiet von 25,4 km ² sehr klein und im bereits berücksichtigten Pegel-Einzugsgebiet Marburg enthalten; Anpassung der Messstellenkarte Durchführung von Fehlwertergänzungen
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Die Flussgebietseinheit Donau ist flächenmäßig mit den ausgewählten Pegeln und deren Einzugsgebiete unterrepräsentiert. Aus Kapazitätsgründen im Bundesland BY ist eine Erweiterung der bisherigen Messstellen für den Monitoringbericht 2023 nicht möglich. In Zukunft muss geprüft werden, ob weitere Pegel ergänzt werden können. Aufgrund von Kapazitätsgründen in den datenliefernden Institutionen liegen teilweise (u. a. für NI) ungeprüfte Rohdaten und unvollständige Datenreihen vor. Geprüfte Daten müssen nachträglich ergänzt werden. Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Fehlwerte und der betroffenen Stationen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Stationen sollte hier eine einheitliche Methodik entwickelt werden um Fehlwerte zu kompensieren (siehe Anlage 3).

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-5	Titel: Spitzenabflüsse in Fließgewässern
<p>Einheit: <u>Teil A:</u> %</p> <p><u>Teil B:</u> %</p> <p><u>Teil C:</u> ohne Einheit</p> <p><u>Teil D:</u> ohne Einheit</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators:</p> <p><u>Teil A:</u> Anteil der Pegel, die aufgrund des Erreichens des Spitzenabflusswerts (Tagesmittelwert) im hydrologischen Winterhalbjahr (01.11. des Vorjahres bis 30.04.) der Kategorie 1, 2 oder 3 zugeordnet werden können</p> <p>Die Kategorien sind wie folgt definiert:</p> <p>1: Spitzenabfluss liegt um das 1,5 bis <2-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ 2: Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ 3: Spitzenabfluss liegt um das bis $\geq 2,5$-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$</p> <p>Ein Spitzenabfluss in der Kategorie 1 im Winterhalbjahr entspricht einem Hochwasserabfluss mit einer Wiederkehrzeit von fünf (HQ_5) bis 20 Jahren (HQ_{20}). Ein Hochwasserabfluss der Kategorie 2, entspricht einem Abfluss, der (nach den bisherigen Beobachtungen) einmal in 20 Jahren (HQ_{20}) bis einmal in 50 Jahren (HQ_{50}) auftritt. Wird ein Hochwasserabfluss in Kategorie 3 eingeordnet, ist nach den bisherigen Beobachtungen davon auszugehen, dass ein solcher Abfluss nur einmal in mehr als 50 Jahren auftritt.</p> <p><u>Teil B:</u> Anteil der Pegel, die aufgrund des Erreichens des Spitzenabflusswerts (Tagesmittelwert) im hydrologischen Sommerhalbjahr (01.05. bis 31.10.) der Kategorie 1, 2 oder 3 zugeordnet werden können</p> <p>Die Kategorien sind wie folgt definiert:</p> <p>1: Spitzenabfluss liegt um das 1,5 bis <2-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$ 2: Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$ 3: Spitzenabfluss liegt um das bis $\geq 2,5$-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$</p> <p>Ein Spitzenabfluss in der Kategorie 1 im Sommerhalbjahr entspricht in etwa einem Hochwasserabfluss mit einer Wiederkehrzeit von fünf (HQ_5) bis 20 Jahren (HQ_{20}). Ein Hochwasserabfluss der Kategorie 2, entspricht einem Abfluss, der (nach den bisherigen Beobachtungen) rund einmal in 20 Jahren (HQ_{20}) bis einmal in 50 Jahren (HQ_{50}) auftritt. Wird ein Hochwasserabfluss in Kategorie 3 eingeordnet, ist nach den bisherigen Beobachtungen davon auszugehen, dass ein solcher Abfluss nur einmal in mehr als 50 Jahren auftritt.</p> <p><u>Teil C:</u> Extremste Überschreitung als x-Faches des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ unter allen betrachteten Pegeln im hydrologischen Winterhalbjahr</p> <p><u>Teil D:</u> Extremste Überschreitung als x-Faches des $MHQ_{HySommer1961-1990}$ unter allen betrachteten Pegeln im hydrologischen Sommerhalbjahr</p> <p>Berechnungsvorschrift: Für Teile A bis D:</p> <p><u>Schritt 1:</u> Prüfung der Datenreihen auf Fehlwerte, Fehlertergänzung nach dem in Anlage 3 beschriebenen Verfahren</p> <p><u>Schritt 2:</u> Berechnung der vieljährig gemittelten höchsten Tagesabflüsse je Pegel für das hydrologische Winterhalbjahr der Periode 1961-1990</p>

$MHQ_{HyWinter1961-1990}$ je Pegel = Mittel der jeweils höchsten im hydrologischen Winterhalbjahr der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel

Berechnung der vieljährig gemittelten höchsten Tagesabflüsse je Pegel für das hydrologische Sommerhalbjahr der Periode 1961-1990

$MHQ_{HySommer1961-1990}$ je Pegel = Mittel der jeweils höchsten im hydrologischen Sommerhalbjahr der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel

Schritt 3:

Für Teile A und C: Selektion des höchsten im jeweiligen HyWinter an jedem Pegel erreichten Spitzenabflusswerts

Für Teile B und D: Selektion des höchsten im jeweiligen HySommer an jedem Pegel erreichten Spitzenabflusswerts

Schritt 4:

Für Teile A und C: Überschreitungsfaktor des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ (aus Schritt 2) durch den Spitzenabflusswert (aus Schritt 3) im HyWinter = Spitzenabflusswert im HyWinter / $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ je Pegel

Für Teile B und D: Überschreitungsfaktor des $MHQ_{HySommer1961-1990}$ (aus Schritt 2) durch den Spitzenabflusswert (aus Schritt 3) im HySommer = Spitzenabflusswert im HySommer / $MHQ_{HySommer1961-1990}$ je Pegel

Teile A und B:

Schritt 5:

Teil A: Kategorisierung der x-fachen Überschreitung und entsprechende Zuordnung der einzelnen Pegel für das HyWinter:

Die Kategorien sind wie folgt definiert:

1: Mittleres Winterhochwasser (tritt häufig bis selten auf): Spitzenabfluss liegt um das 1,5 bis <2-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$

2: Großes Winterhochwasser (tritt selten auf): Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$

3: Sehr großes Winterhochwasser (tritt sehr selten auf): Spitzenabfluss liegt um das bis $\geq 2,5$ -Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$

Teil B: Kategorisierung der x-fachen Überschreitung und entsprechende Zuordnung der einzelnen Pegel für das HySommer:

Die Kategorien sind wie folgt definiert:

1: Mittleres Sommerhochwasser (tritt häufig bis selten auf): Spitzenabfluss liegt um das 1,5 bis <2-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$

2: Großes Sommerhochwasser (tritt selten auf): Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$

3: Sehr großes Sommerhochwasser (tritt sehr selten auf): Spitzenabfluss liegt um das bis $\geq 2,5$ -Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$

Schritt 6:

Teil A: Anteil der Pegel in Kategorie 3 = Anzahl der Pegel, die für HyWinter in Kategorie 3 eingeordnet wurden * 100 / Pegelzahl gesamt
analoge Berechnung für alle anderen Kategorien

Teil B: Anteil der Pegel in Kategorie 3 = Anzahl der Pegel, die für HySommer in Kategorie 3 eingeordnet wurden * 100 / Pegelzahl gesamt
analoge Berechnung für alle anderen Kategorien

Teile C und D:

Schritt 7:

Selektion der höchsten Überschreitung des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ bzw. $MHQ_{HySommer1961-1990}$ (aus Schritt 4) für das HyWinter (Teil C) und das HySommer (Teil D)

	unter allen betrachteten Pegeln; diese maximale x-fache Überschreitung wird für jedes Jahr dargestellt.
Interpretation des Indikatorwerts:	<p><u>Teile A und B:</u> Die Indikator-Teile geben Aufschluss über das (räumliche) Ausmaß von aufgetretenen Spitzenabflüsse in den hydrologischen Halbjahren. Je Je höher der Indikatorwert in den Kategorien 2 und 3, desto mehr Pegel zeigen im jeweiligen hydrologischen Halbjahr (HyWinter und HySommer) Abflussspitzen, die deutlich über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ bzw. $MHQ_{HySommer1961-1990}$ liegen.</p> <p><u>Teile C und D:</u> Die Indikator-Teile geben Aufschluss über das außergewöhnlichste lokale Extremereignis in den hydrologischen Halbjahren. Je höher der Indikatorwert, desto deutlicher wurde im jeweiligen hydrologischen Halbjahr (HyWinter und HySommer) der $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ bzw. $MHQ_{HySommer1961-1990}$ an einer der Messstellen überschritten.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Abflussverhältnisse
Thematischer Teilaspekt:	Häufung und Verstärkung von Hoch- und Niedrigwasser
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	Klimafolgenmonitoring Thüringen: I-WW-3 Höchstpegelstände
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Hochwasserereignisse gehören zu den natürlichen Phänomenen und treten je nach Entstehungsursache jahreszeitlich und räumlich in unterschiedlicher Ausprägung auf. Im Sommer kommt es aufgrund sommerlicher Starkniederschlagsereignisse oft zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen in Bächen und kleineren Flüssen, während lang andauernde und großräumige Niederschlagsereignisse oft in Verbindung mit einer Schneeschmelze im Winter und im Frühjahr zu Hochwasser in den mittleren und größeren Flüssen führen.</p> <p>Der Klimawandel kann zu einer Veränderung der Häufigkeit und Intensität (Schwere) von Hochwasserereignissen führen, wenn sich sommerliche Starkniederschlagsereignisse intensivieren, oder die winterlichen Niederschläge zunehmen bzw. vermehrt als Regen und weniger als Schnee fallen. Bei den in den Wintermonaten häufig wassergesättigten Böden werden diese Niederschläge i. d. R. direkt abflusswirksam.</p> <p>Extreme Hochwässer können je nach Ort des Auftretens und der Nutzung ufernaher Bereiche zu schwerwiegenden Sach- und Personenschäden führen. Die jüngste Flutkatastrophe im Juli 2021 rückte die zerstörerische Kraft von Überschwemmungen wieder ins Zentrum der öffentlichen Wahrnehmung. Mitte Juli 2021 führten ausgeprägte Starkregenereignisse zu extremen Überschwemmungen in West- und Mitteleuropa. Insbesondere in Teilen von Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz wurden bis zu 100 l/m² Niederschlag in 72 Stunden, regional sogar über 150 l/m² Niederschlag in 24 Stunden gemessen (vgl. DWD 2021). Die Extremniederschläge ließen vor allem die kleinen Gewässer rasch anschwellen und über die Ufer treten. Besonders dramatisch war die Situation in Flusstälern, wie dem Ahrtal. Das Hochwasserereignis führte zu verheerenden Sach- und Personenschäden (vgl. DWD 2021).</p>

	<p>Relevanz: Extreme Hochwässer können je nach Ort des Auftretens und der Nutzung ufernaher Bereiche zu gravierenden gesundheitlichen und wirtschaftlichen Schäden führen. In den vergangenen Jahrzehnten ist das Hochwasserrisiko gestiegen, da hochwassergefährdete Gebiete eine immer stärkere Nutzung erfahren haben. Zudem können sich die Verminderung von Retentionsräumen und die Flächenversiegelung verstärkend auf natürliche Hochwasserphänomene auswirken. Andererseits werden zunehmend technische Maßnahmen ergriffen (z. B. gesteuerte Polder, Hochwasser-Rückhaltebecken, Talsperren) mit denen der Hochwasserscheitel, also der höchste Pegel-/ Wasserstand, der während eines Hochwassers erreicht wird, vermindert werden kann.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz: Für den Indikator zu den Hochwassertagen werden Daten von den Ländern ausgewählter Messstellen ausgewertet. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach den folgenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Einzugsgebietsgrößen der Pegel bewegen sich in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km². Damit werden Hochwasserereignisse im mittelgroßen Maßstab erfasst, also auch Hochwasser in kleineren Fließgewässern mit erfasst, die ebenfalls signifikante Schäden verursachen können. Bei Einzugsgebieten < 250 km² schlagen sich anthropogene Beeinflussungen (wie Aufstau, Hochwasserschutzmaßnahmen) in den Daten deutlicher nieder, was die Interpretation im Klimawandelkontext erschwert. • Die Pegel repräsentieren bestmöglich die hydrologische Situation im Land. • Die Pegel sollten möglichst wenig anthropogen beeinflusst sein (z. B. durch Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen), um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst direkt abbilden zu können. • Die Pegel liefern Daten ab 1960 (sodass eine Auswertung mit Beginn des hydrologischen Jahres 1961 möglich ist). • Die künftige Fortsetzung der Datenerhebung an den Pegeln ist bestmöglich gesichert. <p>Auswertung der Daten: Der Indikator fokussiert mit der vorgenommenen Pegelauswahl auf die Einzugsgebiete mittlerer Größe. Er gibt Aufschluss über die Intensität von Hochwasserereignissen und ergänzt damit den Indikator I-WW-4 zu den Hochwassertagen, die definiert sind als die Überschreitung des mehrjährigen $MHQ_{1961-1990}$, aber keine Aussage zum Ausmaß dieser Überschreitung trifft. Mit der Kategorisierung der Pegel in Überschreitungsklassen und der Ermittlung des Anteils der Pegel in den einzelnen Kategorien kann eine Aussage zum räumlichen Ausmaß extremer Hochwasserereignisse getroffen werden. Da auch diese Kategorisierung in der höchsten Kategorie 3 nach oben offen ist, wird der Indikator-Teil A durch einen Teil B ergänzt, der den in jedem Jahr höchsten erreichten Spitzenabflusswert als das x-Fache des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ bzw. $MHQ_{HySommer1961-1990}$ des entsprechenden Pegels abbildet. Dieser bundesweit höchste Spitzenabflusswert kann jedes Jahr an einem anderen Pegel auftreten.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Die Berechnung und Darstellung erlauben keine räumliche Differenzierung innerhalb der großen Flussgebietseinheiten. So kann sich das extreme Hochwassergeschehen auf einzelne Pegel konzentrieren, während andere innerhalb der Flussgebietseinheit nicht betroffen sind.</p> <p>Im Gegensatz zum Indikator zu den Hochwassertagen erfolgt bei diesem Indikator keine Gewichtung der Pegel nach der Größe ihrer Einzugsgebiete, sondern alle Pegel gehen mit einfacher Gewichtung in die Prozentberechnung ein. Möglicherweise wäre auch hier eine flächengewichtete Berücksichtigung fachlich korrekter, allerdings würde dies zu einer weiteren Erhöhung der ohnehin schon hohen Komplexität des Indikators führen.</p>

	<p>Mit den der Berechnung zugrunde gelegten mesoskaligen Einzugsgebieten lassen sich möglicherweise lokal auftretende sommerlicher Starkniederschlagsereignisse, die oft zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen in Bächen und kleineren Flüssen führen, nicht oder nur teilweise abbilden bzw. führen nicht zu einem ausgeprägten Signal.</p> <p>Der Spitzenabfluss zeigt eine jahreszeitliche Abhängigkeit in der Bedeutung des relativen HQ-MHQ Verhältnisses. Zur Beschränkung der Komplexität wurden die Klassengrenzen (Kategorie 1: 1,5 bis 2-Fach MHQ, Kategorie 2: 2 bis 2,5-Fach MHQ und Kategorie 3: >2,5-Fach MHQ) sowohl für das Sommer- als auch das Winterhalbjahr angenommen. Gleichzeitig unterscheidet sich, nach der Gumbel-Extremwertverteilung, die Wiederkehrzeit eines beobachteten Hochwasserabflusses in den Halbjahren, sofern diese in Kategorien mit den gleichen Klassengrenzen zugeordnet werden. Tritt beispielsweise im Winterhalbjahr eine Überschreitung des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ um das 2,5-Fache auf, so entspricht diese einem Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 50 Jahren. Wird der $MHQ_{HySommer1961-1990}$ um das 2,5-Fache überschritten, entspricht diese Überschreitung einem Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von (nur) 20 Jahren.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (WHG) • EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007) (HWRM-RL) • Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013 (MKRO 2013), beschlossen von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 06.02.2013
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kapitel 3.2.11: Die Wasserstände in deutschen Flüssen variieren schon immer beträchtlich. Im Zuge des Klimawandels könnten diese Schwankungen zunehmen. Folgenabschätzungen von Klimaänderungen fokussieren sowohl auf längerfristige Veränderungen des Wasserdargebots (Mittelwerte) als auch auf eine Zunahme von Schwankungen (Variabilität und Extreme), die sich auf Wasserstände und Abflüsse und damit auf die Schiffbarkeit der Flüsse auswirken können.</p>
Ziele:	<p>DAS:</p> <p>Kap. 3.2.3: Unterstützung der Eigenvorsorge im Hochwasserschutz</p> <p>Kap. 3.2.14: In Flussgebieten Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken durch Verstärkung von passiven Sicherungsmaßnahmen (insbesondere Freihaltung von Bebauung) als auch durch aktive Abflussregulierung sowie erhebliche Ausweitung der Retentionsflächen in regionaler und überregionaler Abstimmung.</p> <p>WHG, § 76 Abs. (2): Festsetzung von Überschwemmungsgebieten 1. innerhalb der Risikogebiete (oder der nach § 73 Absatz 5 Satz 2 Nummer 1 zugeordneten Gebiete) mindestens die Gebiete, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten ist, und 2. die zur Hochwasserentlastung und Rückhaltung beanspruchten Gebiete. Die unter 1. genannten Gebiete sind bis zum 22. Dezember 2013 festzusetzen.</p> <p>EU-HWRM-RL:</p> <p>Art 7.1: Auf der Grundlage der Karten nach Artikel 6 erstellen die Mitgliedstaaten auf Ebene der Flussgebietseinheiten oder Bewirtschaftungseinheiten (nach Artikel 3 Absatz 2 Buchstabe b) für die Hochwasserrisikogebiete (nach Artikel 5</p>

	<p>Absatz 1 sowie nach Artikel 13 Absatz 1 Buchstabe b) koordinierte Hochwasserrisikomanagementpläne (für die im Einklang mit den Absätzen 2 und 3 des vorliegenden Artikels).</p> <p>Art 7.3: Die Hochwasserrisikomanagementpläne umfassen Maßnahmen zur Erreichung der gemäß Absatz 2 festgelegten Ziele und beinhalten ferner die in Teil A des Anhangs beschriebenen Bestandteile. Die Hochwasserrisikomanagementpläne erfassen alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements, wobei der Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge, einschließlich Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen, liegt, und die besonderen Merkmale des betreffenden Einzugsgebietes bzw. Teileinzugsgebietes berücksichtigt werden. Die Unterstützung nachhaltiger Flächennutzungsmethoden, die Verbesserung des Wasserrückhalts und kontrollierte Überflutungen bestimmter Gebiete im Falle eines Hochwasserereignisses können ebenfalls in die Hochwasserrisikomanagementpläne einbezogen werden.</p> <p>Art. 7.5: Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Hochwasserrisikomanagementpläne bis zum 22. Dezember 2015 erstellt und veröffentlicht werden.</p> <p>Art. 14: (1) Die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos oder die Bewertung und Beschlüsse nach Artikel 13 Absatz 1 werden bis zum 22. Dezember 2018 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert. (2) Die Hochwassergefahrenkarten und die Hochwasserrisikokarten werden bis zum 22. Dezember 2019 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert. (3) Der bzw. die Hochwasserrisikomanagementpläne, einschließlich der in Teil B des Anhangs beschriebenen Bestandteile, werden bis zum 22. Dezember 2021 und danach alle sechs Jahre überprüft und erforderlichenfalls aktualisiert.</p> <p>MKRO 2013, Kap. 3.1: Das Handlungskonzept identifiziert folgende Handlungsbedarfe: Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum, Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum, Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen, Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse, Sicherung potentieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen.</p>
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Abflusspegel der Länder: Messungen zum Abfluss (mittlere Tagesabflüsse) (s. Anlage 1)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	alle Flussgebietseinheiten Deutschlands, insgesamt 75 Pegel Für das Saarland konnten kein Pegel gefunden werden, die den vorgegebenen Kriterien entsprechen.	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1961	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	WW-I-5_Daten_Spitzenabfluesse.xlsx	

V Zusatz-Informationen

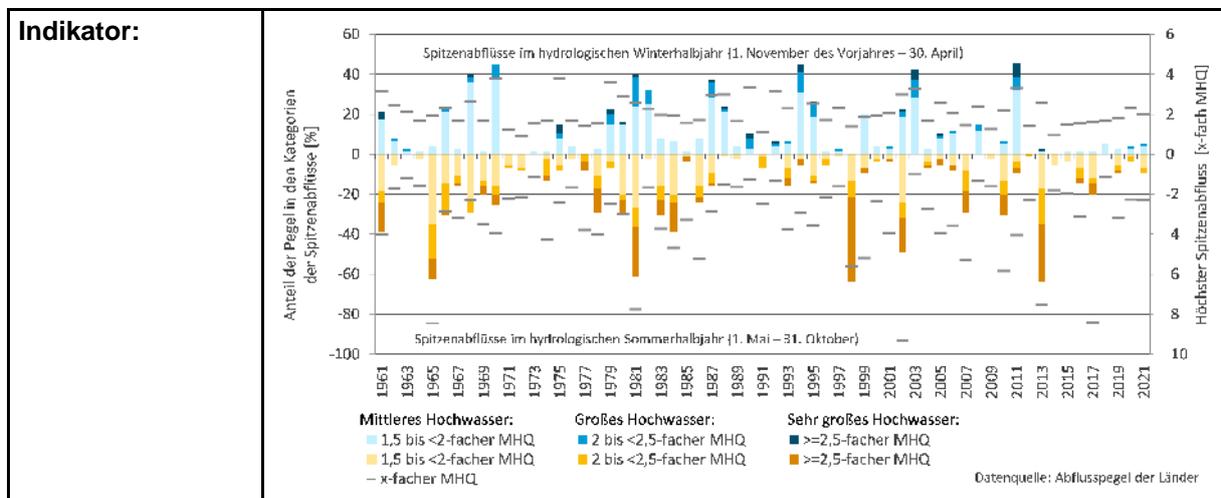
<p>Glossar:</p>	<p>Hochwasser: Gemäß DIN 4049 ist Hochwasser der „Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder überschritten hat“. In der Regel haben die Schwellenwerte Bedeutung im Hinblick auf das einem Hochwasser anhaftende Schadenspotenzial. Dieses wird bestimmt durch a) Scheitelhöhe, Dauer und Abflussvolumen, b) Topographie und Nutzung sowie c) die Jahreszeit, in der das Ereignis eintritt (Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN (1994): DIN 4049-3, Hydrologie Teil 3: Begriffe der quantitativen Hydrologie).</p> <p>Gemäß § 72 WHG ist Hochwasser eine zeitlich beschränkte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land, insbesondere durch oberirdische Gewässer oder durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser. Davon ausgenommen sind Überschwemmungen aus Abwasseranlagen.</p> <p>MHQ: Mittlerer Hochwasserabfluss der betrachteten Zeitspanne als arithmetische Mittel der höchsten Abflüsse (HQ) gleichartiger Zeitabschnitte für die Jahre des Betrachtungszeitraums innerhalb eines Einzugsgebiets (in l/s oder m³/s)</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) (Hrsg.) 2002: Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Projekt A 2.1.3: „Analyse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse“. KLIWA-Berichte H. 2, Mannheim, 98 S.</p> <p>Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Deutscher Wetterdienst) (Hrsg.) 2006: KLIWA-Projekt A 1.1.3 Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern „Trenduntersuchungen extremer Niederschlagsereignisse in Baden-Württemberg und Bayern“, KLIWA-Berichte H. 8, Offenbach, 93 S.</p> <p>Belz J.U., Brahmer G., Buiteveld H., Engel H., Grabher R., Hodel H., Krahe P., Lammersen R., Larina M., Mendel H.-G., Meuser A., Müller G., Plonka B., Pfister L., van Vuuren W. 2007: Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. Analyse, Veränderungen und Trends. CHR-Reports I-22, Lelystad, 377 S.</p> <p>Dyck S. & Peschke G. 1995: Grundlagen der Hydrologie, Berlin, 536 S.</p> <p>DWD – Deutscher Wetterdienst 2021: Hydro-klimatische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Geschäftsbereich Klima und Umwelt. www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6</p> <p>Plate E. J. & Merz B. (Hrsg.) 2001: Naturkatastrophen: Ursachen, Auswirkungen, Vorsorge. Schweizerbart, Stuttgart, 475 S.</p> <p>Görgen K., Beersma J., Buiteveld H., Brahmer G, Carambia M., de Keizer O., Krahe P., Nilson E., Lammersen R., Perrin C., Volken D. 2010: Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project, International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Lelystad, 229 S.</p> <p>Hennegriff W. & Kolokotronis V. 2007: Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft H. 9: 31-35.</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche</p>

	Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverarbeitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Datenaufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die Abfrage der Daten bei den Ländern und deren strukturierte Ablage nimmt etwa 16 Stunden in Anspruch (erfolgt aber gemeinsam für alle drei Indikatoren zum Abfluss). Die Auswertung der Daten kann auf der Grundlage der angelegten Daten-Factsheets erfolgen und nimmt ca. 8 Stunden in Anspruch.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle mit Unterstützung der BfG		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

Anlage 1 – Lage der ausgewählten Pegelmessstellen und deren Zuordnung zu den großen Flussgebietseinheiten

Liste der Pegel (75):

Hinweis: Die in der rechten Spalte gelisteten Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Pegel ergeben in der Summe den Wert 1,0. Sie ermitteln sich aus dem AEO-Anteil der einzelnen Pegel an der gesamten durch die ausgewählten Pegel repräsentierten Fläche der Flussgebietseinheit.

Die fett gedruckten Gewichtungsfaktoren entsprechen den Flächenanteilen der jeweiligen Flussgebietseinheiten an der gesamten Fläche.

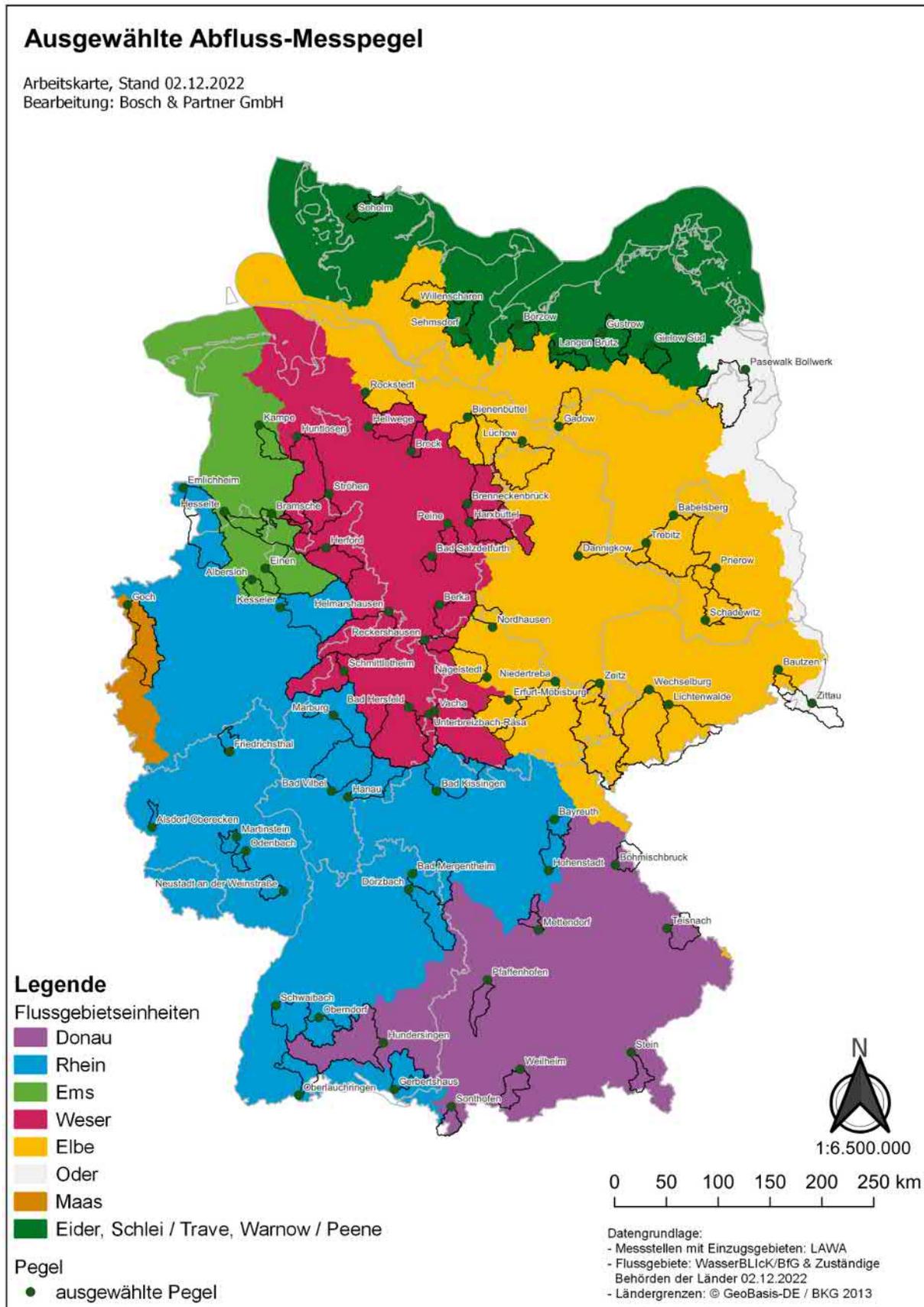
Die Pegelauswahl wurde für den Monitoringbericht 2023 noch einmal überarbeitet. Dabei wurden zum einen erbetene Überarbeitungen der Pegelauswahl durch die Bundesländer umgesetzt. Zum anderen wurden Pegel entfernt, deren Einzugsgebiete sich mit ebenfalls in der Pegelauswahl enthaltenen Pegeln überlagern, um Mehrfachbewertungen zu vermeiden.

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegelinzugsgebiets AEO (km ² gerundet)	Gewichtungsfaktor
Donau über GIS ermittelte Fläche: 56.190,18 km ²	BW	Donau	Hundersingen	2.621,32	0,444
	BY	Iller	Sonthofen	387,91	0,066
		Zusam	Pfaffenhofen	505,07	0,086
		Schwarzach	Mettendorf	303,73	0,051
		Pfreimd	Böhmischbruck	483,32	0,082
		Schwarzer Regen	Teisnach	626,63	0,106
		Ammer	Weilheim	607,39	0,103
		Traun	Stein	367,36	0,062
		durch Pegel repräsentierte Fläche:			5.902,73
Rhein über GIS ermittelte Fläche: 105.201,32 km ²	BW	Tauber	Bad Mergentheim	1.017,00	0,050
		Wutach	Oberlauchringen	630,12	0,031
		Kinzig	Schwaibach	955,05	0,047
		Neckar	Oberndorf	690,48	0,034
		Jagst	Dörzbach	1.029,99	0,050
		Schussen	Gerbertshaus	782,21	0,038
		BY	Roter Main	Bayreuth	340,28
	Pegnitz		Hohenstadt	488,50	0,024
	Fränkische Saale		Bad Kissingen	1.576,22	0,077
	HE	Nidda	Bad Vilbel	1.619,30	0,079
		Kinzig	Hanau	919,88	0,045
		Lahn	Marburg	1.666,20	0,081
	NI	Vechte	Emlicheim	1.731,xx	0,085
	NRW	Lippe	Kesseler 3	2.002,97	0,098
	RP	Wied	Friedrichsthal	680,45	0,033
		Speyerbach	Neustadt a.d.W.	311,77	0,015
		Nahe	Martinstein 2	1.468,00	0,072
		Glan	Odenbach	1.088,00	0,053
		Nims	Alsdorf-Oberecken	263,81	0,013
durch Pegel repräsentierte Fläche:			19.261,22	-	
Maas über GIS ermittelte Fläche: 3.966,11 km ²	NRW	Niers	Goch	1.203,21	0,059
	durch Pegel repräsentierte Fläche:			1.203,21	-
Rhein und Maas zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			20.464,43	0,304
Weser über GIS ermittelte Fläche: 48.902,70 km ²	HE	Fulda	Bad Hersfeld	2.120,20	0,110
		Diemel	Helmarshausen	1.757,12	0,091
		Eder	Schmittlotheim	1.202,00	0,062
	NI	Lamme	Bad Salzdetfurth	127,xx	0,007
		Rhume	Berka R	895,xx	0,046
		Aller	Brenneckenbrück	1.638,xx	0,085
		Böhme	Brock	285,xx	0,015
		Schunter	Harxbüttel	592,xx	0,031
		Wümme	Hellwege	893,xx	0,046
		Hunte	Huntlosen II	1.714,xx	0,092

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegelinzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewichtungsfaktor
		Fuhse	Peine	360,xx	0,019
		Leine	Reckershausen	321,xx	0,017
		Große Aue	Ströhen	584,xx	0,030
	NRW	Werre	Herford	871,09	0,045
	TH	Ulster Werra	Unterbreizbach-Räsa Vacha	399,00 2246,00	0,021 0,117
durch Pegel repräsentierte Fläche:				16.004,41	-
Ems über GIS ermittelte Fläche: 17.330,37 km ²	NI	Hase	Bramsche	682,xx	0,035
		Speller Aa	Hesselte	370,xx	0,019
		Soeste	Kampe	408,xx	0,021
	NRW	Werse Ems	Albersloh Einen	321,58 1.485,77	0,017 0,077
durch Pegel repräsentierte Fläche:				3.267,35	-
Weser und Ems zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			19.271,76	0,286
Elbe über GIS ermittelte Fläche: 99.220,04 km ²	BB	Kleine Elster	Schadewitz	637,xx	0,034
		Plane	Trebitz	227,xx	0,012
		Nuthe	Babelsberg	1.787,xx	0,095
		Löcknitz	Gadow	464,xx	0,025
		Dahme	Prierow 2	399,xx	0,021
	NI	Ilmenau	Bienenbüttel	1.434,xx	0,076
		Jeetzel	Lüchow	1.300,xx	0,069
		Oste	Rockstedt	611,xx	0,032
	SH	Stör	Willenscharen	467,xx	0,025
	SN	Spree Zwickauer Mulde Zschopau	Bautzen 1	278,xx	0,015
			Wechselburg 1	2.099,xx	0,111
			Lichtenwalde 1	1.572,xx	0,083
	ST	Weiße Elster Ehle	Zeit	2.485,65	0,131
Dannigkow			263,31	0,014	
TH	Zorge Ilm Unstrut Gera	Nordhausen	304,00	0,016	
		Niedertrebra	894,30	0,047	
		Nägelstedt	716,00	0,038	
		Erfurt-Möbisburg	842,80	0,045	
durch Pegel repräsentierte Fläche:				16.781,06	-
Oder über GIS ermittelte Fläche: 9.659,25 km ²	SN	Lausitzer Neiße	Zittau 1	695,xx	0,034
	MV	Uecker	Pasewalk Bollwerk	1.431,xx	0,070
	durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.126,00
Elbe und Oder zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			18.907,06	0,280
Eider	SH	Soholmer Au	Soholm	352,xx	0,122
Schlei/Trave	MV	Stepenitz	Börzow	441,xx	0,153
	SH	Trave	Sehmsdorf	722,xx	0,251
Warnow/Peene	MV	Warnow	Langen Brütz	352,xx	0,122
		Ostpeene	Gielow Süd	361,50	0,126
		Nebel	Güstrow	645,xx	0,224
Eider, Schlei/ Trave und Warnow/Peene zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			2.873,50	0,042

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegelbezugsgebiets AEO (km ² gerundet)	Gewichtungsfaktor
über GIS ermittelte Fläche zusammen: 39.485,12 km ²					
			gesamt durch Pegel repräsentierte Fläche:	67.419,48	1,0

Lage der Pegel in den Flussgebietseinheiten:



Anlage 2 – Bearbeitung der Messlücken und Fehlwerte

Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. Die Fehlertergänzung erfolgt durch die Multiplikation des Tageswerts an der benachbarten bzw. nächstgelegenen Nachbarstation X mit einem Gewichtungsfaktor. Der Gewichtungsfaktor berechnet sich aus der Division der mehrjährigen Mittelwerte (1981 bis 2010) der beiden Stationen. Die Fehlertergänzung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\text{Messwert}_{\text{StationY}} = \text{Mittelwert}_{\text{StationY (1981-2010)}} / \text{Mittelwert}_{\text{StationX (1981-2010)}} * \text{Tageswert}_{\text{StationX}}$$

Die folgende Tabelle zeigt die von Messlücken betroffenen Pegel sowie den jeweils nächstgelegenen und für die Fehlertergänzung geeigneten Pegel.

Flussgebietseinheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
Rhein	BW	Oberndorf Dörzbach	BW	Schwaibach Bad Mergentheim
	RP	Martinstein 2 Alsdorf-Oberecken	RP	Odenbach Friedrichsthal
Weser	NI	Bad Salzdettfurth Brenneckenbrück Harxbüttel Huntlosen II Peine Reckershausen Ströhen	NI	Harxbüttel
			ST	Weferlingen Weferlingen
			NW	Herford
			NI	Harxbüttel
	TH	Reckershausen	TH	Arenshausen
	NW	Ströhen	NW	Herford
	TH	Unterbreizbach-Räsa	TH	Vacha
Elbe	BB	Schadewitz Trebitz Gadow Prierow 2	BB	Babelsberg Babelsberg
			NI	Bienenbüttel
	NI	Lüchow	NI	Bienenbüttel
	SN	Lichtenwalde	SN	Chemnitz
	ST	Dannigkow Dobbrun	BB	Babelsberg
	NI		NI	Bienenbüttel
Ems	NI	Kampe	NI	Bramsche
	NW	Albersloh	NW	Einen
Oder	MV	Pasewalk	SN	Zittau
Schlei/Trave, Warnow/Peene	MV	Gielow Süd Güstrow	MV	Güstrow Gielow Süd
	SH	Sehmsdorf	MV	Börzow

Indikator-Factsheet: Niedrigwasser

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen (Peter Krahe) Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Dezernat W3 Hydrologie, Hochwasserschutz (Gerhard Brahmer)	
Letzte Aktualisierung:	16.07.2014	Ecologic Institut (Evelyn Lukat, Jenny Tröltzsch) Vorherige Indikator-Version im Rahmen von UBA FKZ 3711 41 106
	05.03.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Neufassung des Indikators; der ehemalige Indikator „Niedrigwasser“ wird durch diesen neuen Indikator ersetzt und nicht weitergeführt.
	17.04.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung der Hinweise aus der Ressortabstimmung
	16.12.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Hinweise aus den LAWA-gremien
	12.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Stefan von Andrian-Werburg) Anpassung der Nummerierung, kleine formale und redaktionelle Anpassungen, Aktualisierung von Links
	25.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung kleiner redaktioneller Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
	30.11.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Überarbeitung der Pegelauswahl: Austausch des Pegels Adorf 1 (SN) durch Bautzen 1 (SN) und Arenshausen (TH) durch Hellwege (NI), Ergänzung des Pegels Schmittlotheim (HE); Entfernen der Pegel Weferlingen, Ellingshausen, Meiningen, Aue und Chemnitz aufgrund überlappender Einzugsgebiete. Für NRW wurde eine Ergänzung des Pegels Feudinggen / Lahn angeregt, der als Teil des Klimafolgenmonitorings NRW erprobt ist; dieser ist allerdings mit einem Einzugsgebiet von 25,4 km ² sehr klein und im bereits berücksichtigten Pegel-Einzugsgebiet Marburg enthalten; Überarbeitung der Messstellenkarte Durchführung von Fehlwertergänzungen
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Die Flussgebietseinheit Donau ist flächenmäßig mit den ausgewählten Pegeln und deren Einzugsgebiete unterrepräsentiert. Aus Kapazitätsgründen im Bundesland BY ist eine Erweiterung der bisherigen Messstellen für den Monitoringbericht 2023 nicht möglich. In Zukunft muss geprüft werden, ob weitere Pegel ergänzt werden können. Aufgrund von Kapazitätsgründen in den datenliefernden Institutionen liegen teilweise (u. a. für NI) ungeprüfte Rohdaten und unvollständige Datenreihen vor. Geprüfte Daten müssen nachträglich ergänzt werden.

		Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. In Abhängigkeit von der Anzahl der Fehlwerte und der betroffenen Stationen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Stationen sollte hier eine einheitliche Methodik entwickelt werden um Fehlwerte zu kompensieren (siehe Anlage 3).
	für 2027	Analog zur Ergänzung des Indikators „Hochwasser“ (WW-I-4) um den Indikator „Spitzenabflüsse in Fließgewässern“ (WW-I-5) ist denkbar, auch den Indikator zu den Niedrigwassertagen um einen Indikator zur Intensität dieser Ereignisse zu ergänzen. In Niedersachsen gibt es derzeit Arbeiten zu einem solchen Indikator und Überlegungen zur Ermittlung und Abbildung von Volumendefiziten.

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-6	Titel: Niedrigwasser
<p>Einheit: <u>Teil A:</u> Anzahl <u>Teil B:</u> Anzahl <u>Zusatz:</u> ohne Einheit</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators: <u>Teil A:</u> Flächengemittelte Anzahl der Niedrigwassertage im Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahrs <u>Teil B:</u> Flächengemittelte Anzahl der Niedrigwassertage im Winterhalbjahr des Wasserhaushaltjahrs <u>Zusatz:</u> Verhältnis von Niedrigwassertagen im Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahrs zu den Niedrigwassertagen im gesamten Wasserhaushaltjahr</p> <p>Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Prüfung der Datenreihen auf Fehlwerte, Fehlwertergänzung nach dem in Anlage 3 beschriebenen Verfahren <u>Schritt 2:</u> Teil A: Berechnung der vieljährig gemittelten niedrigsten Tagesabflüsse je Pegel für das Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahres der Periode 1961-1990 $MNQ_{WhSommer}^{1961-1990}$ je Pegel = Mittel der jeweils niedrigsten im Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahres der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahres ($MNQ_{WhSommer}$): 1. April – 30. September Teil B: Berechnung der vieljährig gemittelten niedrigsten Tagesabflüsse je Pegel für das Winterhalbjahr des Wasserhaushaltjahres der Periode 1961-1990 $MNQ_{WhWinter}^{1961-1990}$ je Pegel = Mittel der jeweils niedrigsten im Winterhalbjahr des Wasserhaushaltjahres der Periode 1961-1990 aufgetretenen Tagesabflusswerte je Pegel Winterhalbjahr des Wasserhaushaltjahres ($MNQ_{WhWinter}$): 1. Oktober – 31. März des Folgejahres <u>Schritt 3:</u> Teil A: Berechnung der Anzahl der Niedrigwassertage im Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahres je Pegel $sumD_{WhSommer}$ = Anzahl der Tage im Sommerhalbjahr des Wasserhaushaltjahres</p>

res, an denen der Tagesabflusswert den $MNQ_{WhSommer}$ (1961-1990) des Pegels (aus Schritt 2) unterschreitet

Teil B: Berechnung der Anzahl der Niedrigwassertage im Winterhalbjahr des Wasserhaushaltsjahres je Pegel

$sumD_{WhWinter}$ = Anzahl der Tage im Winterhalbjahr des Wasserhaushaltsjahres, an denen der Tagesabflusswert den $MNQ_{WhWinter}$ (1961-1990) des Pegels (aus Schritt 2) unterschreitet

Niedrigwassertage sind Tage, für die gilt: Mittlerer Tagesabfluss - $MNQ < 0$

Schritt 4:

Berechnung des flächengewichteten Mittels der Niedrigwassertage aller Pegel einer jeden Flussgebietseinheit bzw. der wie folgt zusammengefassten Flussgebietseinheiten:

- Flussgebietseinheit Donau
- Flussgebietseinheit Rhein inkl. Maas
- Flussgebietseinheit Weser und Ems
- Flussgebietseinheit Elbe inkl. Oder
- Flussgebietseinheit Eider inkl. Schlei/Trave, Warnow/Peene

Zur Pegelzuordnung zu den Flussgebietseinheiten s. Anlage 1

Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1. Die Gewichtung erfolgt jeweils nach dem Anteil des oberirdischen Einzugsgebiets (AEo) des einzelnen Pegels an der gesamten durch die berücksichtigten Pegel repräsentierten Fläche (also nicht nach der Gesamtfläche) der Flussgebietseinheit.

Teil A: $sumD_{WhSommer}$ für Donau = $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Hundersingen * 0,444 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Sonthofen * 0,066 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Pfaffenhofen * 0,086 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Mettendorf * 0,051 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Böhmischbruck * 0,082 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Teisnach * 0,106 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Weilheim * 0,103 + $sumD_{WhSommer}$ am Pegel Stein * 0,062

Hinweis: Die Zusammenfassung der kleinen Flussgebietseinheiten (bzw. der kleinen nationalen Anteile größerer Flussgebietseinheiten) hat insbesondere darstellerische Gründe (s. Anlage 2). Aufgrund der flächengewichteten Verrechnung sind die Werte der kleinen Einheiten sehr gering.

Analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B

Schritt 5:

Für die Aufsummierung der einzelnen Flussgebietseinheiten in der grafischen Darstellung werden die aus Schritt 4 ermittelten $sumD$ der einzelnen Flussgebietseinheiten mit einem flächenabhängigen Gewichtungsfaktor verrechnet. Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1. Die Gewichtung erfolgt jeweils nach dem Flächenanteil der einzelnen Flussgebietseinheit an der gesamten Fläche aller Flussgebietseinheiten zusammen. Berücksichtigt wird dabei immer nur die durch die berücksichtigten Pegel repräsentierte Fläche.

Teil A: $sumD_{WhSommer}$ Donau flächengewichtet = $sumD_{WhSommer}$ Donau (aus obigem Schritt 3) * 0,085

Analog für alle anderen Flussgebietseinheiten und für Teil B

Zu den Faktoren für die Flächengewichtung s. Anlage 1.

Schritt 6:

Teil A:

$sumD_{WhSommer}$ Gesamtfläche = $sumD_{WhSommer}$ Donau flächengewichtet + $sumD_{WhSommer}$ Rhein / Maas flächengewichtet + $sumD_{WhSommer}$ Weser / Ems flächengewichtet + $sumD_{WhSommer}$ Elbe / Oder flächengewichtet + $sumD_{WhSommer}$ Eider / Schlei/Trave / Warnow/Peene

	<p>Teil B: $\text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Gesamtfläche} = \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Donau flächengewichtet} + \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Rhein / Maas flächengewichtet} + \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Weser / Ems flächengewichtet} + \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Elbe / Oder flächengewichtet} + \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Eider / Schlei/Trave / Warnow/ Peene}$</p> <p><u>Zusatz:</u> $\text{Verhältnis WhSom zu WhJh} = \frac{\text{sumD}_{\text{WhSommer}} \text{ Gesamtfläche}}{(\text{sumD}_{\text{WhSommer}} \text{ Gesamtfläche} + \text{sumD}_{\text{WhWinter}} \text{ Gesamtfläche})}$</p>
Interpretation des Indikatorwerts:	<p><u>Teile A und B:</u> Je höher der Indikatorwert, desto mehr Tage mit Niedrigwasser sind im Sommer- bzw. im Winterhalbjahr des Wasserhaushaltsjahres aufgetreten.</p> <p><u>Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist die Anzahl der Niedrigwassertage im Sommerhalbjahr im Vergleich zu der im gesamten Wasserhaushaltsjahr. Indikatorwerte größer als 0,5 bedeuten ein Überwiegen der sommerlichen Niedrigwassertage, Werte unter 0,5 ein Überwiegen der winterlichen Niedrigwassertage. Werte von 0,5 oder nahe 0,5 weisen auf über das Jahr gleichverteilte Anzahl der Niedrigwassertage hin.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Abflussverhältnisse
Thematischer Teilaspekt:	Häufung und Verstärkung von Hoch- und Niedrigwasser
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	<p>Monitoring zu Klimawandelfolgen in Baden-Württemberg: I-WH-4 Niedrigwasserabfluss Klimafolgenmonitoring Thüringen: I-WW-4 Niedrigwasser Klimafolgenmonitoring Sachsen: I-W1 Jahreszeitliche Auflösung der Abflüsse (hier: Hochwasserscheitelabflüsse am Pegel Dresden) Klimafolgen-Indikatoren für Sachsen-Anhalt: Mittlerer Niedrigwasser-Abfluss Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring in NRW: 4.5 Hoch- und Niedrigwasser</p>
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang: Niedrigwasserereignisse gehören zum natürlichen Abflussgeschehen. Üblicherweise kommt es in alpin geprägten Einzugsgebieten im Winter aufgrund der Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee zu Niedrigwasserereignissen. In den von Mittelgebirgen geprägten Flussgebieten und bei den Flüssen des Tief- und Flachlandes treten Niedrigwasser vor allem im Sommer und Frühherbst auf.</p> <p>Länger anhaltende meteorologische Trockenzeiten (mit Niederschlagsmangel und hoher potenzieller Verdunstung) verschärfen die jahreszeitlich bedingten Niedrigwasser. Der Klimawandel kann über höhere Temperaturen sowie über eine Veränderung der mittleren Niederschläge ebenso wie über jahreszeitliche Verschiebungen von Niederschlägen und durch das vermehrte Auftreten extremer, lang anhaltender meteorologischer Trockenperioden das zeitliche Auftreten, die Dauer und den Schweregrad von Niedrigwasserereignissen beeinflussen.</p>

	<p>Relevanz:</p> <p>Niedrigwasserereignisse beeinflussen die Gewässerqualität sowie die Gewässernutzung: Hinsichtlich der Gewässerqualität führen Niedrigwasserereignisse zu verringerten Fließgeschwindigkeiten und schnellerer Wassererwärmung mit erhöhtem Biomassewachstum sowie vermehrter Sauerstoffzehrung (insbesondere bei Flusseen). In der Folge kann es zu Fischsterben kommen. Auch für verschiedene Gewässernutzungen spielen ein ausreichender Abfluss bzw. eine ausreichende Wasserverfügbarkeit eine bedeutende Rolle: Das Einleiten von Abwasser stellt bei geringen Abflüssen und einer damit verbundenen geringeren Verdünnung eine zusätzliche Belastung für die Gewässerqualität dar. Die Flussschifffahrt ist unterhalb einer jeweils flussspezifischen Mindestwasserführung nur eingeschränkt möglich. Weiter kann bei geringem Abfluss die Wasserentnahme zu Kühlzwecken oder zur Bewässerung und ggf. für die Trinkwasserversorgung gefährdet sein. Die Einleitung von gebrauchtem Kühlwasser aus Kraftwerken bedeutet aufgrund der zusätzlichen Aufwärmung des Gewässers eine weitere Belastung. In Folge von Niedrigwasserereignissen kann die Kühlwassernutzung daher zur Einhaltung wasserrechtlicher Auflagen nur begrenzt möglich sein, sodass es zu Einschränkungen bei der Stromproduktion kommen kann.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz:</p> <p>Für den Indikator zu den Niedrigwassertagen werden Daten von den Ländern ausgewählter Messstellen ausgewertet. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach den folgenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Einzugsgebietsgrößen der Pegel bewegen sich in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km². Damit werden Hochwasserereignisse im mittelgroßen Maßstab erfasst, also auch Hochwasser in kleineren Fließgewässern mit erfasst, die ebenfalls signifikante Schäden verursachen können. Bei Einzugsgebieten < 250 km² schlagen sich anthropogene Beeinflussungen (wie Aufstau, Hochwasserschutzmaßnahmen) in den Daten deutlicher nieder, was die Interpretation im Klimawandelkontext erschwert.• Die Pegel repräsentieren bestmöglich die hydrologische Situation im Land.• Die Pegel sollten möglichst wenig anthropogen beeinflusst sein (z. B. durch Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen), um die Auswirkungen des Klimawandels möglichst direkt abbilden zu können.• Die Pegel liefern Daten ab 1960 (sodass eine Auswertung mit Beginn des hydrologischen Jahres 1961 möglich ist; damit ist zugleich auch das Wasserhaushaltsjahr ab 1961 abgedeckt).• künftige Fortsetzung der Datenerhebung an den Pegeln ist bestmöglich gesichert. <p>Auswertung der Daten:</p> <p>Der Indikator fokussiert mit der vorgenommenen Pegelauswahl auf die Einzugsgebiete mittlerer Größe. In der Indikator Darstellung kann zur besseren Übersicht auf eine Regionalisierung verzichtet werden, da Niedrigwasserereignisse i. d. R. immer sehr großflächig auftreten und damit mehrere Flussgebietseinheiten betreffen. Die Auswertungsergebnisse liegen aber regionalisiert für die Flussgebietseinheiten vor (s. Anlage 2).</p> <p>Der Indikator stellt die Entwicklung der Niedrigwasserstage getrennt für die Halbjahre des Wasserhaushaltsjahres dar. Das Wasserhaushaltsjahr beginnt im April und endet im März des Folgejahres. Im Gegensatz zu den anderen Indikatoren zu Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft wird dem Niedrigwasser-Indikator nicht das hydrologische Jahr zugrunde gelegt. Niedrigwasserperioden, die bis spät in den Herbst hineinreichen können, werden damit einem (1) Jahr zugeordnet und nicht in zwei Jahre aufgeteilt. Niedrigwasser, die sich bis in den November oder gar Dezember hinein erstrecken, werden also für dasjenige Wasserhaushaltsjahr bilanziert, in dem die Niedrigwasserperiode begon-</p>
--	---

	nen hat.
Einschränkungen:	Für den Indikator-Zusatz mittelt die Betrachtung über verschiedene Regimes. Vor allem für nival geprägte Regimes ergeben sich größere Abweichungen bezüglich der Verteilung der Niedrigwasser zwischen Sommer- und Winterhalbjahr.
Rechtsgrundlagen, Strategien:	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	DAS: Kap. 3.2.3: Häufigeres Auftreten von Niedrigwasserperioden durch meist sommerliche Trockenzeiten mit Auswirkungen auf die Kühlwasserentnahmen und die ökologische Situation. Frühere Schneeschmelzen führen zudem zu einem geringeren Ausgleich von Niedrigwasser in Rhein und Donau in den Sommermonaten. Kap. 3.2.11: Die Wasserstände in deutschen Flüssen variieren schon immer beträchtlich. Im Zuge des Klimawandels könnten diese Schwankungen zunehmen. Folgenabschätzungen von Klimaänderungen fokussieren sowohl auf längerfristige Veränderungen des Wasserdargebots (Mittelwerte) als auch auf eine Zunahme von Schwankungen (Variabilität und Extreme), die sich auf Wasserstände und Abflüsse und damit auf die Schiffbarkeit der Flüsse auswirken können.
Ziele:	keine
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Abflusspegel der Länder: Messungen zum Abfluss (mittlere Tagesabflüsse) (s. Anlage 1)	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung:	alle Flussgebietseinheiten Deutschlands, insgesamt 76 Pegel Alle Bundesländer (außer dem Saarland sowie den Stadtstaaten Hamburg, Berlin und Bremen) sind repräsentiert, für das Saarland konnten kein Pegel gefunden werden, die den vorgegebenen Kriterien entsprechen.	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1961	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	WW-I-6_Daten_Niedrigwasser.xlsx	

V Zusatz-Informationen

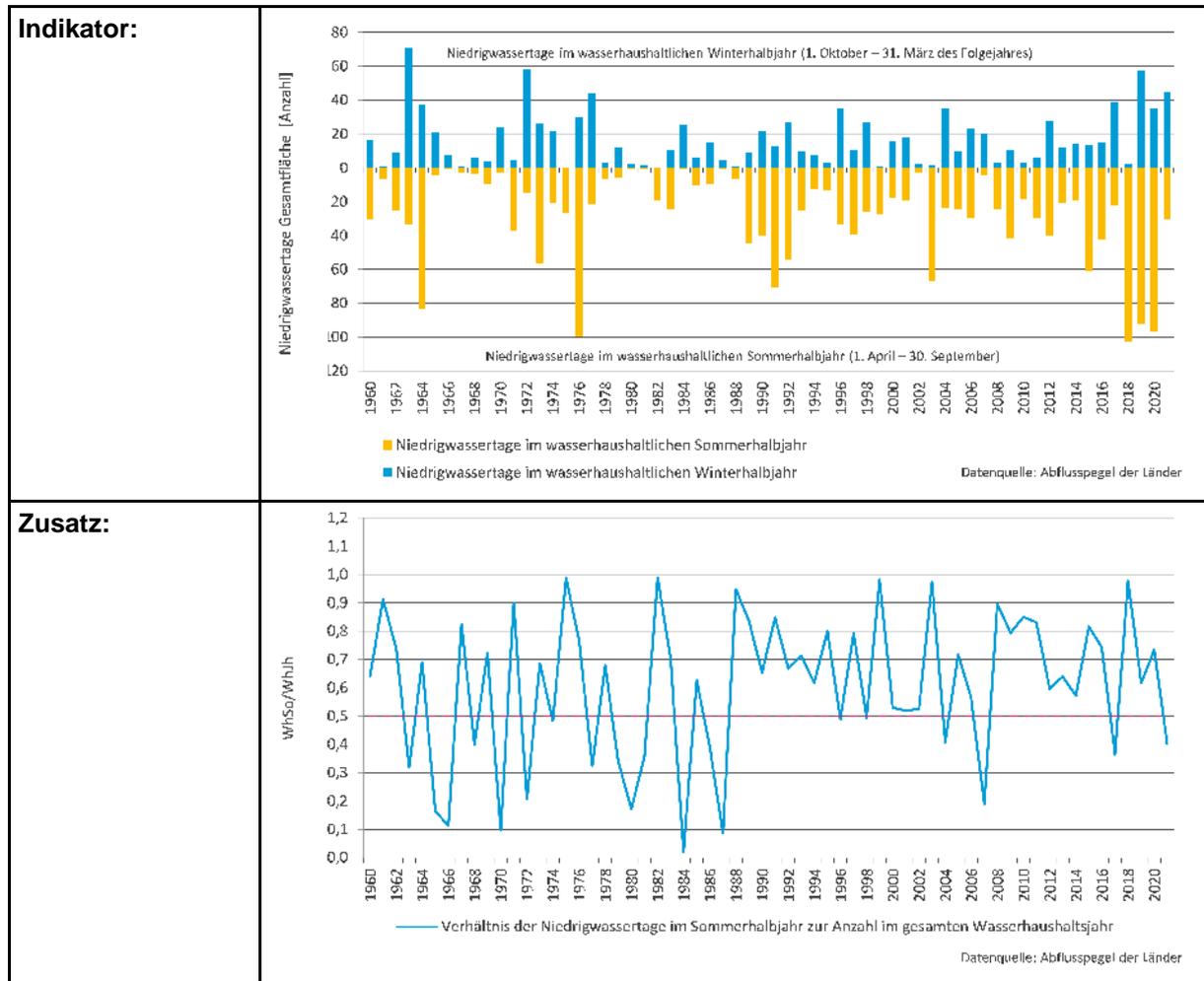
Glossar:	Niedrigwasser: Eine umfassende Definition des Begriffs Niedrigwasser gibt es gegenwärtig nicht, vielmehr handelt es sich um einen Sammelbegriff für unterschiedliche Kenngrößen, die zur Charakterisierung unterdurchschnittlicher Abflüsse herangezogen werden können (HAD, Tafel 3.10). Ganz allgemein kann Niedrigwasser durch eine über mehrere Tage andauernde Abflusssituation unterhalb des jahreszeitlichen Mittelwerts beschrieben werden. Die speziellen Niedrigwasserkennwerte erlauben dann die Charakterisierung der Niedrigwasser unter Verwendung von aus Abflüssen und Wasserständen abgeleiteten Schwellenwerten, die für einen betreffenden Fluss oder ein Flussgebiet von
-----------------	---

	<p>Relevanz für Wassernutzungen, stoffliche Belastungen etc. sind.</p> <p>MNQ: Mittlerer Niedrigwasserabfluss der betrachteten Zeitspanne als arithmetische Mittel der niedrigsten Abflüsse (NQ) gleichartiger Zeitabschnitte für die Jahre des Betrachtungszeitraums innerhalb eines Einzugsgebiets (in l/s oder m³/s)</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Hennegriff W., Ihringer J., Kolokotronis V. 2008: Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg. In: KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, Heft 6 Juni 2008, S. 309-314.</p> <p>Hennegriff W., Kolokotronis V. 2009: Klimawandel und Niedrigwasserentwicklung in Baden-Württemberg – Ursachen und Projektionen. In: WasserWirtschaft, Heft 1-2/2009, S. 32-39.</p> <p>Kolokotronis V. 2006: Entwicklung von Trockenperioden im zukünftigen Klima? – Antworten aus dem KLIWA-Projekt. In: Warnsignal Klimawandel – Wird Wasser knapper? Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Band 42. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 2006.</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p> <p>LAWA 2007: LAWA-Materialien für ein nachhaltiges Niedrigwassermanagement. www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlaufBericht2007_14.pdf</p> <p>Willems W. 2007: Entwicklung der Niedrigwasserverhältnisse in Süddeutschland. KLIWA Berichte, H. 10: 143-161.</p> <p>WMO (Editor) 2008: Manual on Low-flow Estimation and Prediction. WMO-No. 1029, Geneva, 137 S. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7699</p> <p>Zimmermann L., Weber J., Straub H., Kolokotronis V. 2004: Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von süddeutschen Flussgebieten. In: Wasser und Abfall, 6. Jahrgang November 2004, S. 15-19.</p>

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverarbeitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Datenaufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die Abfrage der Daten bei den Ländern und deren strukturierte Ablage nimmt etwa 16 Stunden in Anspruch (erfolgt aber gemeinsam für alle drei Indikatoren zum Abfluss). Die Auswertung der Daten kann auf der Grundlage der angelegten Daten-Factsheets erfolgen und nimmt ca. 8 Stunden in Anspruch.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle mit Unterstützung der BfG		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

Anlage 1 – Lage der ausgewählten Pegelmessstellen und deren Zuordnung zu den großen Flussgebietseinheiten

Liste der Pegel (76):

Hinweis: Die in der rechten Spalte gelisteten Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Pegel ergeben in der Summe den Wert 1,0. Sie ermitteln sich aus dem AEo-Anteil der einzelnen Pegel an der gesamten durch die ausgewählten Pegel repräsentierten Fläche der Flussgebietseinheit.

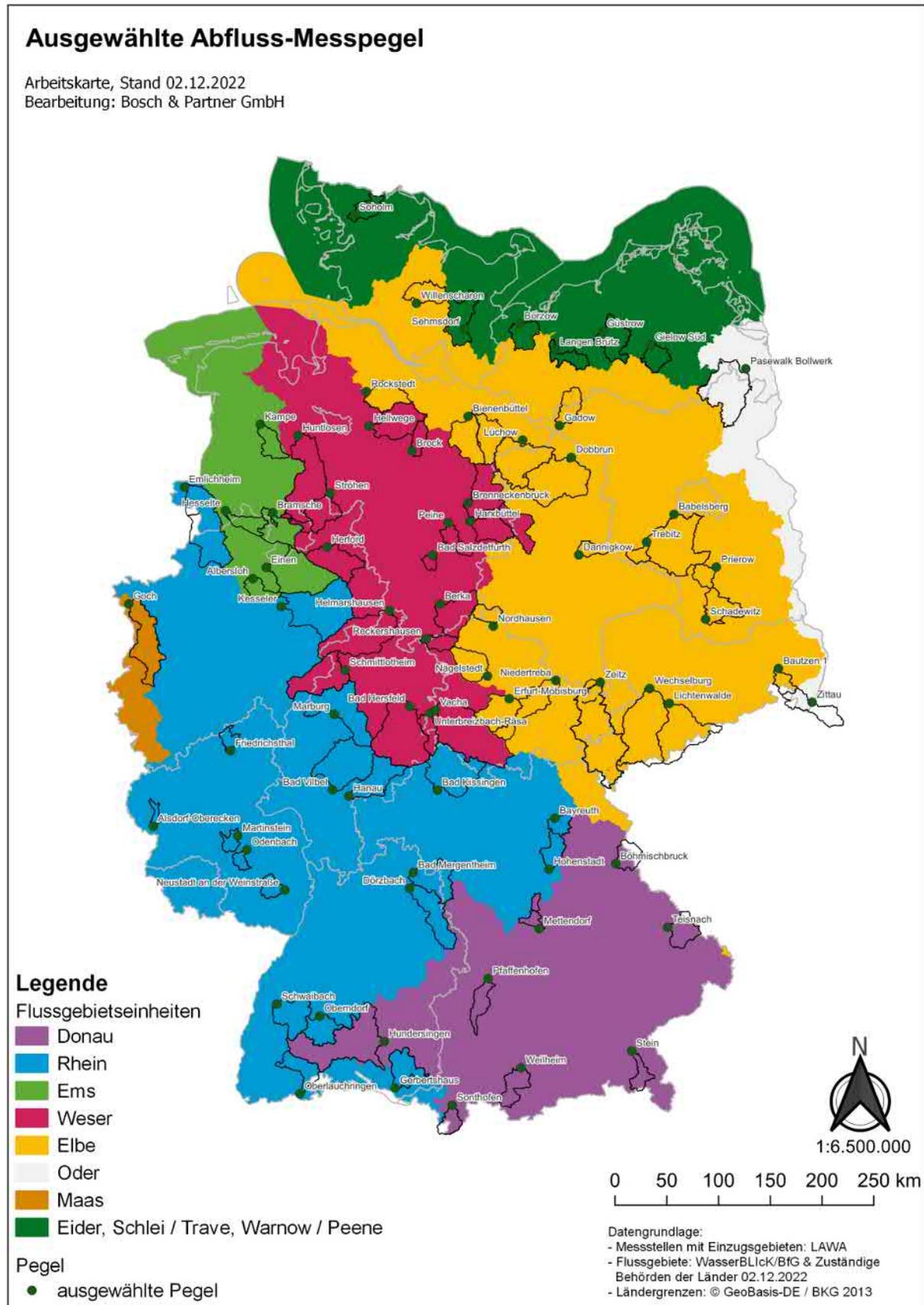
Die fett gedruckten Gewichtungsfaktoren entsprechen den Flächenanteilen der jeweiligen Flussgebietseinheiten an der gesamten Fläche.

Die Pegelauswahl wurde für den Monitoringbericht 2023 noch einmal überarbeitet. Dabei wurden zum einen erbetene Überarbeitungen der Pegelauswahl durch die Bundesländer umgesetzt. Zum anderen wurden Pegel entfernt, deren Einzugsgebiete sich mit ebenfalls in der Pegelauswahl enthaltenen Pegeln überlagern, um Mehrfachbewertungen zu vermeiden.

Flussgebiets-einheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewich-tungsfaktor
Donau über GIS ermit-telte Fläche: 56.190,18 km ²	BW	Donau	Hundersingen	2.621,32	0,444
	BY	Iller	Sonthofen	387,91	0,066
		Zusam	Pfaffenhofen	505,07	0,086
		Schwarzach	Mettendorf	303,73	0,051
		Pfreimd	Böhmischbruck	483,32	0,082
		Schwarzer Regen	Teisnach	626,63	0,106
		Ammer	Weilheim	607,39	0,103
		Traun	Stein	367,36	0,062
		durch Pegel repräsentierte Fläche:			5.902,73
Rhein über GIS ermit-telte Fläche: 105.201,32 km ²	BW	Tauber	Bad Mergentheim	1.017,00	0,050
		Wutach	Oberlauchringen	630,12	0,031
		Kinzig	Schwaibach	955,05	0,047
		Neckar	Oberndorf	690,48	0,034
		Jagst	Dörzbach	1.029,99	0,050
		Schussen	Gerbertshaus	782,21	0,038
		BY	Roter Main	Bayreuth	340,28
	Pegnitz		Hohenstadt	488,50	0,024
	Fränkische Saale		Bad Kissingen	1.576,22	0,077
	HE	Nidda	Bad Vilbel	1.619,30	0,079
		Kinzig	Hanau	919,88	0,045
		Lahn	Marburg	1.666,20	0,081
	NI	Vechte	Emlichheim	1.731,xx	0,085
	NRW	Lippe	Kesseler 3	2.002,97	0,098
	RP	Wied	Friedrichsthal	680,45	0,033
		Speyerbach	Neustadt a.d.W.	311,77	0,015
		Nahe	Martinstein 2	1.468,00	0,072
		Glan	Odenbach	1.088,00	0,053
		Nims	Alsdorf-Oberecken	263,81	0,013
durch Pegel repräsentierte Fläche:			19.261,22	-	
Maas über GIS ermit-telte Fläche: 3.966,11 km ²	NRW	Niers	Goch	1.203,21	0,059
	durch Pegel repräsentierte Fläche:			1.203,21	-
Rhein und Maas zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:			20.464,43	0,297
Weser über GIS ermit-telte Fläche: 48.902,70 km ²	HE	Fulda	Bad Hersfeld	2.120,20	0,110
		Diemel	Helmarshausen	1.757,12	0,091
		Eder	Schmittlotheim	1.202,00	0,062
	NI	Lamme	Bad Salzdetfurth	127,xx	0,007
		Rhume	Berka R	895,xx	0,046
		Aller	Brenneckenbrück	1.638,xx	0,085
		Böhme	Brock	285,xx	0,015
		Schunter	Harxbüttel	592,xx	0,031
		Wümme	Hellwege	893,xx	0,046
		Hunte	Huntlosen II	1.714,xx	0,092
		Fuhse	Peine	360,xx	0,019
		Leine	Reckershausen	321,xx	0,017
		Große Aue	Ströhen	584,xx	0,030
	NRW	Werre	Herford	871,09	0,045
	TH	Ulster	Untereibz bach-Räsa	399,00	0,021
		Werra	Vacha	2246,00	0,117
durch Pegel repräsentierte Fläche:			16.004,41	-	
Ems	NI	Hase	Bramsche	682,xx	0,035

Flussgebiets-einheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel-einzugsgebiets AEo (km ² gerundet)	Gewich-tungsfaktor	
über GIS ermit-telte Fläche: 17.330,37 km ²		Speller Aa	Hesselte	370,xx	0,019	
		Soeste	Kampe	408,xx	0,021	
	NRW	Werse	Albersloh	321,58	0,017	
	Ems	Einen	1.485,77	0,077		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				3.267,35	-	
Weser und Ems zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:				19.271,76	0,279
Elbe über GIS ermit-telte Fläche: 99.220,04 km ²	BB	Kleine Elster	Schadewitz	637,xx	0,031	
		Plane	Trebitz	227,xx	0,011	
		Nuthe	Babelsberg	1.787,xx	0,087	
		Löcknitz	Gadow	464,xx	0,023	
		Dahme	Prierow 2	399,xx	0,019	
	NI	Ilmenau	Bienenbüttel	1.434,xx	0,070	
		Jeetzel	Lüchow	1.300,xx	0,063	
		Oste	Rockstedt	611,xx	0,030	
	SH	Stör	Willenscharen	467,xx	0,023	
	SN	Spree	Bautzen 1	278,xx	0,014	
		Zwickauer Mulde	Wechselburg 1	2.099,xx	0,102	
		Zschopau	Lichtenwalde 1	1.572,xx	0,077	
	ST	Weißer Elster	Zeitz	2.485,65	0,121	
Ehle		Dannigkow	263,31	0,013		
Biese		Dobbrun	1.571,54	0,077		
TH	Zorge	Nordhausen	304,00	0,015		
	Ilm	Niedertrebra	894,30	0,044		
	Unstrut	Nägelstedt	716,00	0,035		
	Gera	Erfurt-Möbisburg	842,80	0,041		
durch Pegel repräsentierte Fläche:				18.352,60	-	
Oder über GIS ermit-telte Fläche: 9.659,25 km ²	SN	Lausitzer Neiße	Zittau 1	695,xx	0,034	
	MV	Uecker	Pasewalk Bollwerk	1.431,xx	0,070	
	durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.126,00	-
Elbe und Oder zusammen	durch Pegel repräsentierte Fläche:				20.478,6	0,297
Eider	SH	Scholmer Au	Soholm	352,xx	0,122	
Schlei/Trave	MV	Stepenitz	Börzow	441,xx	0,153	
	SH	Trave	Sehmsdorf	722,xx	0,251	
Warnow/Peene	MV	Warnow	Langen Brütz	352,xx	0,122	
		Ostpeene	Gielow Süd	361,50	0,126	
		Nebel	Güstrow	645,xx	0,224	
Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene zusammen über GIS ermit-telte Fläche zusammen: 39.485,12 km ²	durch Pegel repräsentierte Fläche:				2.873,50	0,042
gesamt durch Pegel repräsentierte Fläche:				68991,02	1,0	

Lage der Pegel in den Flussgebietseinheiten:

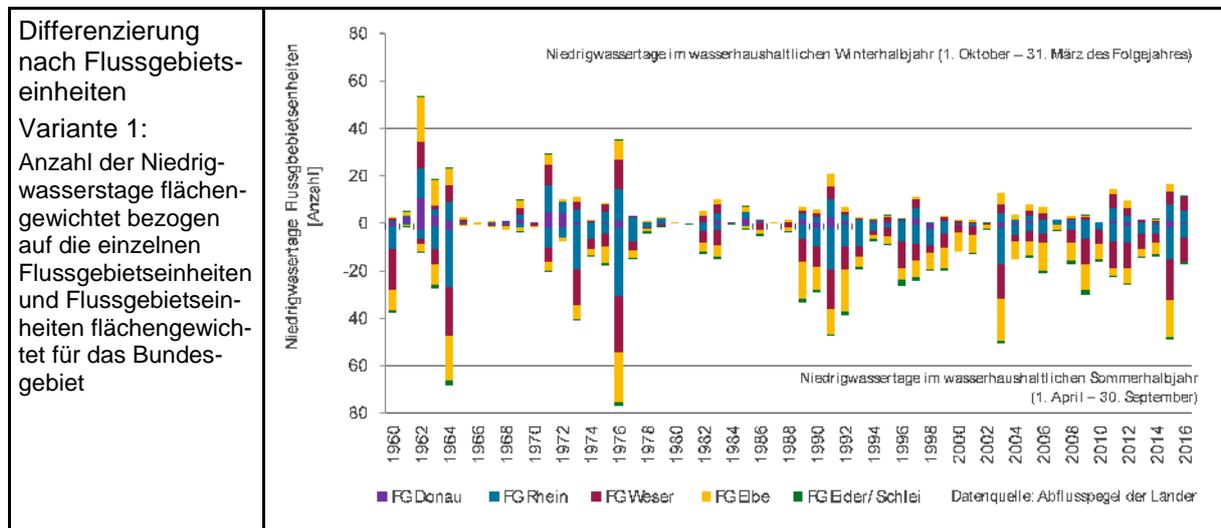


Anlage 2 – Differenzierte Darstellung für die einzelnen Flussgebiete

Die nachstehenden Ausführungen wurden im Zusammenhang mit der Ausarbeitung des DAS-Monitoringberichts 2019 erstellt. Sie wurden im Kontext des Monitoringberichts 2023 nicht nochmalig überarbeitet.

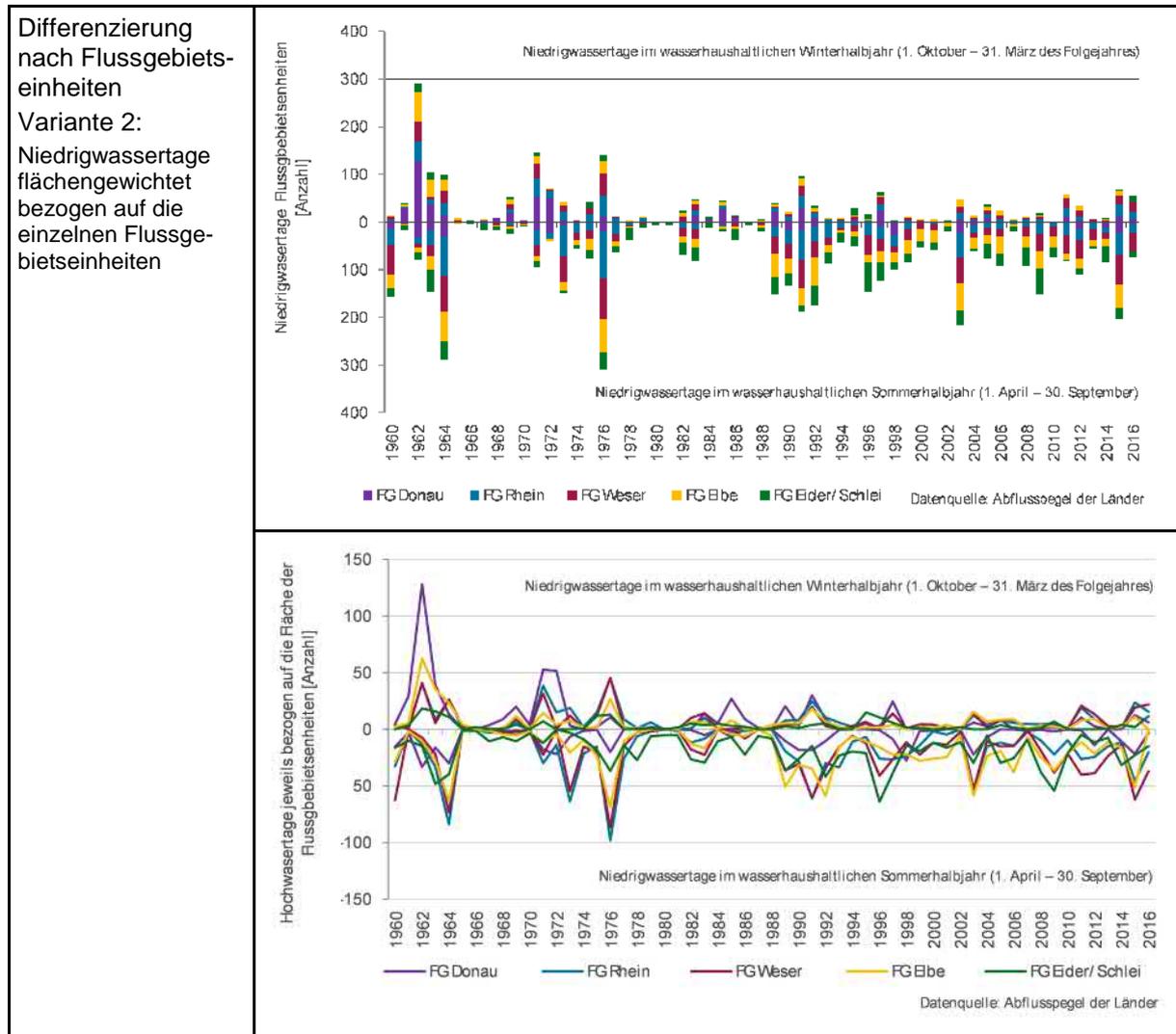
Zur erleichterten Ablesbarkeit der Indikator-Grafik für den Monitoringbericht wurde entschieden, auf eine nach Flussgebietseinheiten differenzierte Darstellung zu verzichten, zumal Niedrigwasserereignisse i. d. R. immer sehr großflächig auftreten und damit mehrere Flussgebietseinheiten betreffen. Eine Trendschätzung wird aber nach dem Modell der nachstehenden Grafiken auch differenziert für die Flussgebietseinheiten durchgeführt, um ggf. textlich auf unterschiedliche Entwicklungen in den Flussgebietseinheiten eingehen zu können.

Die Berechnung für die nachstehende Grafik – Variante 1 endet entsprechend nach dem in der oben stehenden Berechnungsvorschrift beschriebenen Schritt 4. Die aus Schritt 4 resultierenden Werte für die Flussgebietseinheiten werden aufgestapelt und nicht wie im Hauptindikator aufsummiert. Zur Ablesbarkeit der Grafik werden die Pegel der Maas der Flussgebietseinheit Rhein und die der Oder der Flussgebietseinheit Elbe zugeordnet. Die Flussgebietseinheiten Weser und Ems werden zusammen betrachtet, ebenso wie die Einheiten Eider, Schlei/Trave und Warnow/Peene (vgl. Schritt 3 der oben stehenden Berechnungsvorschrift). Diese Berechnung hat den Vorteil, dass in der Aufsummierung ein mit Blick auf 365 Tage im Jahr realistische Größenordnung zustande kommt. Es lässt sich ablesen, in welchem Umfang die einzelnen Flussgebietseinheiten in den einzelnen Jahren zu dieser Gesamtsumme beigetragen haben. Für die einzelnen Flussgebietseinheiten entstehen hingegen absolute Werte, die durch die Gewichtung in ihrer Dimension deutlich zu niedrig sind.



Zusätzlich werden in der nachstehenden Grafik – Variante 2 die Entwicklungen für die einzelnen Flussgebietseinheiten ohne eine Flächengewichtung der Flussgebietseinheiten bezogen auf das Bundesgebiet (als Stapelsäulen und Linien) abgebildet. Für diese Darstellung endet die Berechnung nach dem in der oben stehenden Berechnungsvorschrift beschriebenen Schritt 3. Diese Darstellung hat den Vorteil, dass sich die in den einzelnen Flussgebiets-

einheiten aufgetretenen Niedrigwassertage in einer realistischen Dimension bewegen und so für das jeweilige Flussgebiet interpretiert werden können. Aufsummiert über alle Flussgebietseinheiten resultieren hingegen Anzahlen, die aufgrund der zeitlichen Parallelität der Ereignisse irreal große Größenordnungen erreichen.



Anlage 3 – Bearbeitung der Messlücken und Fehlwerte

Messlücken und Fehlwerte an den Stationen lassen sich aufgrund der hohen räumlichen Korrelation mit benachbarten Stationen ergänzen. Die Fehlwertergänzung erfolgt durch die Multiplikation des Tageswerts an der benachbarten bzw. nächstgelegenen Nachbarstation X mit einem Gewichtungsfaktor. Der Gewichtungsfaktor berechnet sich aus der Division der mehrjährigen Mittelwerte (1981 bis 2010) der beiden Stationen. Die Fehlwertergänzung erfolgt nach der folgenden Formel:

$$\text{Messwert}_{\text{StationY}} = \text{Mittelwert}_{\text{StationY}} (1981-2010) / \text{Mittelwert}_{\text{StationX}} (1981-2010) * \text{Tageswert}_{\text{StationX}}$$

Die folgende Tabelle zeigt die von Messlücken betroffenen Pegel sowie den jeweils nächstgelegenen und für die Fehlwertergänzung geeigneten Pegel.

Flussgebiets-einheit	Land	Pegelname	Land	Nächstgelegener Pegel
Rhein	BW	Oberndorf Dörzbach	BW	Schwaibach Bad Mergentheim
	RP	Martinstein 2 Alsdorf-Oberecken	RP	Odenbach Friedrichsthal
Weser	NI	Bad Salzdettfurth Brenneckenbrück Harxbüttel Huntlosen II Peine Reckershausen Ströhen	NI	Harxbüttel
			ST	Weferlingen Weferlingen
			NW	Herford
NI			Harxbüttel	
	TH	Arenshausen		
	NW	Herford		
	TH	Unterbreizbach-Räsa	TH	Vacha
Elbe	BB	Schadewitz Trebitz Gadow Prierow 2	BB	Babelsberg Babelsberg
			NI	Bienenbüttel
			BB	Babelsberg
	NI	Lüchow	NI	Bienenbüttel
	SN	Lichtenwalde	SN	Chemnitz
ST	Dannigkow Dobbrun	BB	Babelsberg	
	NI		NI	Bienenbüttel
Ems	NI	Kampe	NI	Bramsche
	NW	Albersloh	NW	Einen
Oder	MV	Pasewalk	SN	Zittau
Schlei/Trave, Warnow/Peene	MV	Gielow Süd Güstrow	MV	Güstrow Gielow Süd
	SH	Sehmsdorf	MV	Börzow

Indikator-Factsheet: Wasserstand von Seen

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit dem Fachteam Seen der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (LM) Mecklenburg-Vorpommern, Referat 420 Gewässerkunde, Seenprogramm, Klimawandel (Eckard Kohlhas) Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin (SenUMVK) (Antje Köhler)	
Letzte Aktualisierung:	09.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Ersterstellung
	04.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Weitere (Daten-) Ergänzungen und Einarbeitung von Rückmeldungen aus der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
Nächste Fortschreibung:	laufend	Bei ausreichender Datenlage könnten perspektivisch der Westen und der Osten des Norddeutschen Tieflandes getrennt ausgewertet werden, da sich besonders im niederschlagsarmen Osten eine deutliche Abnahme der Wasserstände zeigt. Grundsätzlich lässt sich die Datengrundlage des Indikators durch die Hinzunahme zusätzlicher Seen erweitern. So wird beispielsweise in Brandenburg derzeit an einer systematischen Kategorisierung der Seen gearbeitet, unter anderem mit dem Ziel, mehr Klarheit zur Beeinflussung der Seen durch Wehre zu erhalten. Gleichzeitig setzt das IGB seine Arbeiten im Rahmen des LAWA EK Seen fort und wertet die Wasserstandsdaten der „Klimaseen“, in denen kontinuierlicher Datenerhebungen gestartet wurden, aus.

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-7	Titel: Wasserstand von Seen
Einheit:	Kurzbeschreibung des Indikators:
<u>Teil A:</u> cm Abweichung	<u>Teil A:</u> Mittlerer (indexierter) Wasserstand von Seen der Region Norddeutsches Tiefland im hydrologischen Jahr (1.11. des Vorjahres bis 31.10.)
<u>Teil B:</u> cm Abweichung	<u>Teil B:</u> Mittlerer (indexierter) Wasserstand von Seen der Region Alpen und Alpenvorland im hydrologischen Jahr (1.11. des Vorjahres bis 31.10.)
<u>Zusatz Teil A:</u> cm Abweichung	<u>Zusatz zu Teil A:</u> Mittlerer (indexierter) Wasserstand ausgewählter Seen der Region Norddeutsches Tiefland im hydrologischen Winterhalbjahr (1.11. des Vorjahres bis 30.4.) und im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.5. bis 31.10.)

<p><u>Zusatz Teil B:</u> cm Abweichung</p>	<p><u>Zusatz zu Teil B:</u> Mittlerer (indexierter) Wasserstand ausgewählter Seen der Region Alpen und Alpenvorland im hydrologischen Winterhalbjahr (1.11. des Vorjahres bis 30.4.) und im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.5. bis 31.10.)</p> <p>Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Auswahl von Seen Auswahl von Seen mit möglichst kontinuierlichen Datenreihen und ganzjährigen Messungen des Wasserstands; Talsperren werden nicht berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass deren Wasserstand in erheblichem Maße anthropogen beeinflusst ist. Für die Fallstudie wurden ausgewählte Seen aus den Ökoregionen Norddeutsches Tiefland sowie Alpen und Alpenvorland berücksichtigt (s. Abschnitt VIII).</p> <p><u>Arbeitsschritte für jeden einzelnen See:</u> <u>Schritt 2:</u> Zusammenstellung oder Berechnung der Monatswerte Die Daten werden in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung geliefert. Für die Messstellen müssen zunächst die Monatsmittelwerte aus den Tageswerten berechnet werden. <u>Schritt 3:</u> Mittelung für das hydrologische Jahr und die hydrologischen Halbjahre Teile A und B: Durchschnitt des Wasserstands im hydrologischen Jahr (1.11. des Vorjahres bis 31.10.) Zusätze zu Teil A und B: Durchschnitt des Wasserstands im hydrologischen Winterhalbjahr (1.11. des Vorjahres bis 30.4.) und im hydrologischen Sommerhalbjahr (1.5. bis 31.10.) <u>Schritt 4:</u> Indexierung der Werte Zur Vorbereitung der Aggregation über mehrere Seen müssen alle Absolutwerte indexiert werden. Zur Vorbereitung der Aggregation über mehrere Messstellen müssen alle Absolutwerte indexiert werden. Dabei wird das Jahr 2014 auf „0“ gesetzt, und für alle anderen Werte wird dann die Differenz zum ursprünglichen Wert des Jahres 2014 (in cm) ermittelt. Das Jahr 2014 wurde ausgewählt, weil dies das am weitesten zurückliegende Jahr ist, in dem von allen Messstellen Daten zur Verfügung stehen. Der Indexwert wird zur Vermeidung von Missverständnissen ohne Einheit angegeben (im Grunde ist die Einheit aber cm). Für Messstellen, deren Werte in m ü. NN angegeben werden, muss zunächst eine Umrechnung in cm erfolgen. z. B. Index 2019 = Wasserstand 2019 – Wasserstand 2014</p> <p><u>Arbeitsschritte zur Aggregation:</u> <u>Schritt 5:</u> Mittelung der Indexierung für die Ökoregionen Norddeutsches Tiefland sowie Alpen und Alpenvorland Die indexierten Werte werden über alle Messstellen, die der jeweiligen Ökoregion zugeordnet wurden (s. Schritte 1), gemittelt. Liegen für ein Jahr zu einer Messstelle keine Daten vor, bleibt diese Messstelle bei der Mittelung unberücksichtigt.</p>
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p><u>Teile A und B sowie Zusätze:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist der relative Wasserstand in den betrachteten Gewässern.</p>

II Einordnung

<p>Handlungsfeld:</p>	<p>Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft</p>
------------------------------	--

Themenfeld:	Wasserstand von Seen
Thematischer Teilaspekt:	Veränderung des Wasserstands von Seen
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	<p>Steigende Luft- und Wassertemperaturen und die damit verbundene höhere Evapotranspiration auf dem Land und an der Wasseroberfläche selbst können zu sinkenden Wasserständen in Seen führen. Hinzu kommen in einigen Regionen Deutschland verringerte Niederschlagsmengen. Sie führen zu geringeren Zuflüssen in die Seen, sei es direkt über Oberflächenabflüsse oder über Zuflüsse aus dem Grundwasser (Prange et al. 2020, Lischeid et al. 2021).</p> <p>Bereits vor mehr als zehn Jahren haben Kobel & Spicher (2010) festgestellt, dass die Seewasserspiegel seit etwa 20 bis 30 Jahren in ganz Norddeutschland sinken (Kobel & Spicher 2010). Teilweise liegen Pegel heute schon zeitweise im Trockenem, weil die Wasserstände unter die Pegelnullpunkte sinken. Bei der Einrichtung der Pegel konnte mit derart niedrigen Wasserständen nicht gerechnet werden. Besonders augenscheinlich ist die Situation bei grundwassergespeisten Seen, denn der Seenwasserstand ist eng mit dem Grundwasserstand gekoppelt. Die vor allem in den norddeutschen Bundesländern auftretende Wassermangelsituation, die zu deutlich sinkenden Grundwasserständen beiträgt (vgl. Indikator WW-I-2), hat sinkende Seenwasserstände zur Konsequenz. Aber auch im Süden Deutschland lassen sich sinkende Seenwasserstände beobachten.</p> <p>Rückläufige Niederschläge wirken sich insbesondere bei flachen Seen deutlich sichtbar aus. Wenn hier der Wasserspiegel sinkt, fallen gleich viele Meter Ufer trocken und Stege stehen weit über der Wasseroberfläche. Dadurch kann auch die Nutzung beispielsweise durch Badende oder Bootsfahrende stark beeinträchtigt werden.</p> <p>Sinkende Wasserstände bringen vor allem auch ökologische Probleme mit sich. Am Ufer (im Litoral) können Brutgebiete für Vögel oder Laichgebiete für Fische durch Rückgang des Gelegegürtels verlorengehen. Die im Litoral angestammten Arten der wirbellosen Fauna werden verdrängt. Bei schrumpfenden Seewasservolumina können sich Nähr- und Schadstoffe aufkonzentrieren. Zudem heizt sich der Wasserkörper schneller auf, mit allen damit verbundenen Folgen für die Schichtungsstabilität und Stoffumsätze, die Wasserqualität und die Gewässerökosysteme (vgl. Indikator WW-I-8). Die höhere Wassertemperatur wiederum verstärkt die Verdunstung und führt damit zu einem sich selbst verstärkenden Prozess des Wasserverlustes.</p> <p>Der Indikator bezieht sich auf die Regionen Norddeutsches Tiefland sowie Alpen und Alpenvorland. Für die Mittelgebirgsregion konnten bisher keine geeigneten Seendaten verfügbar gemacht werden. Es handelt sich bei der Mehrzahl der Seen um staugeregelte Seen, und zu den wenigen natürlichen Seen gibt es keine ausreichenden Daten. Für die thüringischen Talsperren gibt es Hinweise auf rückläufige Abflusspenden zumindest im Sommerhalbjahr.</p> <p>Der Indikator basiert auf indexierten Werten. Das bedeutet, für jeden See werden die relativen Abweichungen von einem auf den Wert 0 gesetzten Indexjahr (hier das Jahr 2014) ermittelt. Unterschiedliche Höhenlagen-, Naturraum- und Seen-typische Temperaturniveaus werden damit relativiert, sodass die Werte über verschiedene Seen hinweg gemittelt werden können. Das Jahr 2014 wird</p>

	als Indexjahr gewählt, um die Darstellung mit der des Indikators WW-I-8 vergleichbar zu machen. Der Indikator-Zusatz stellt die Entwicklung differenziert für das hydrologische Sommer- und Winterhalbjahr dar, da sich auch die Grundwasserstände in den Halbjahren unterschiedlich entwickeln.
Einschränkungen:	<p>Mit der Mittelung der Indexwerte der verschiedenen Seen für die Ökoregion wird über mitunter sehr unterschiedliche individuelle Seencharakteristika hinweg gemittelt. Vor allem, wenn für einzelne Jahre und einzelne Seen Daten fehlen und die Mittelwertbildung in einzelnen Jahren nur über ausgewählte Seen vorgenommen wird, kann dies zu (leichten) Brüchen in der Zeitreihe führen.</p> <p>Messfrequenz und Messzeitpunkt der Datenerhebungen an den einzelnen Seen sind unterschiedlich. Teilweise stehen Terminwerte (um 7.00 oder auch um 9.00 Uhr) oder auch Tagesmittelwerte zur Verfügung. Veränderungen kann es auch innerhalb von Zeitreihen geben. Über diese Brüche hinweg wird indiziert.</p> <p>Wasserentnahmen aus den Seen werden im Indikator nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass auch diese zumindest indirekt auch in Verbindung mit dem Klimawandel stehen können.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	keine
Ziele:	<p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: (1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass [...] ein guter ökologischer [...] erhalten oder erreicht werden.</p> <p>DAS, Kap. 3.2.3: Das koordinierte Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet [...] erfolgt mit dem konkreten Ziel, einen guten Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen.</p>
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin (Sen-UMVK), Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN): Pegelmessungen an Seen	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Ausgewählte Seen in den Ökoregionen Norddeutsches Tiefland sowie Alpen und Alpenvorland	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 1961	
Beschränkungen:	keine	

Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-7_Daten_Wasserstand_Seen.xlsx
--------------------------------------	------------------------------------

V Zusatz-Informationen

Glossar:	LAWA-Seetypen: Die Typologie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Mathes et al. 2002) für die deutschen Seen umfasst 14 Seetypen mit Flächen größer 50 Hektar. Die 14 Typen werden den drei Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, zentrale Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland zugeordnet. Die Typologie nutzt abiotische Kriterien: Ökoregion, Geologie, Seegröße, relative Größe des Einzugsgebietes und Schichtungsverhalten. Als erster Ansatzpunkt für die Lebensgemeinschaften wurde die Trophie berücksichtigt. (www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/seen#textpart-2)
Weiterführende Informationen:	<p>Kaiser K., Germer S., Küster M., Lorenz S., Stüve P., Bens O. 2012: Seespiegelschwankungen in Nordostdeutschland: Beobachtung und Rekonstruktion. System Erde (2): 62-67.</p> <p>Kobel J. & Spicher V. 2010: Entwicklung der Wasserstände ausgewählter Seen und Renaturierung des Wasserhaushaltes im Müritz-Nationalpark, Mecklenburg-Vorpommern. In: Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen. Scientific Technical Report 10/10. Deutsches GeoForschungszentrum, Potsdam: 104-109.</p> <p>Lischeid G., Dannowskia R., Kaiser K., Nützmann G., Steidl J., Stüve P. 2021: Inconsistent hydrological trends do not necessarily imply spatially heterogeneous drivers. Journal of Hydrology 596 (2021) 126096. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126096</p> <p>Ostendorp W., Brem H., Dienst M., Jöhnk K., Mainberger M., Peintinger M., Rey P., Rossknecht H., Schlichtherle H., Straile D., Strang I. 2007: Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Bodensee. Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Heft 125: 199-244.</p> <p>Prange, M.; Wilke, T.; Wesselingh, F. 2020: The other side of sea level change. Communications Earth & Environment 1, 69 (2020). https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6</p>

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	1	mehrere datenhaltende Institutionen; Daten müssen von den einzelnen datenhaltenden Institutionen individuell abgefragt werden
	Datenverarbeitung:	3	Die Daten können nicht direkt übernommen werden, eine Generierung der Monatsdaten und aufwändige Verrechnungen sind notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die zeitliche Auflösung sowie die Messfrequenzen der einzelnen Seen sind unterschiedlich und variieren auch innerhalb der jeweiligen Zeitreihe. Es müssen zuerst konsistente Datenreihen von Monatswerten erzeugt werden. Der Aufwand für das Zusammentragen und Aufbereiten der Daten beläuft sich für die Fallstudie auf ca. 2 Tage.		
Datenkosten:	Keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag

<p>Indikator:</p>	<p>Abweichung des Wasserstands im hydrologischen Jahr vom Jahr 2014 [cm, Index: 2014=0]</p> <p>2014: Wert auf "0" gesetzt</p> <p>— Norddeutsches Tiefland — Alpen und Alpenvorland</p> <p>Datenquelle: BB LfU, BE SenUMVK, BY LfU, MV MLU, NI NLWKN, SH LLUR, ST LHW (Pegelmessungen)</p>
<p>Zusatz zu Teil A: Norddeutsches Tiefland</p>	<p>Abweichung des Wasserstands vom Jahr 2014 - Norddeutsches Tiefland [cm, Index: 2014=0]</p> <p>— Wasserstand HyWinter — Wasserstand HySommer</p> <p>Datenquelle: BB LfU, BE SenUMVK, MV MLU, NI NLWKN, SH LLUR, ST LHW (Pegelmessungen)</p>
<p>Zusatz zu Teil B: Alpen- und Alpenvorland</p>	<p>Abweichung des Wasserstands vom Jahr 2014 - Alpen und Alpenvorland [cm, Index: 2014=0]</p> <p>— Wasserstand HyWinter — Wasserstand HySommer</p> <p>Datenquelle: BY LfU (Pegelmessungen)</p>

VIII Anlagen

Die nachstehende Tabelle ordnet die im Indikator berücksichtigten und geprüften Seen und Talsperren den Ökoregionen und LAWA-Seentypen zu.

Ökoregion	LAWA-Seentyp	See (und Bundesland)
Norddeutsches Tiefland	Typ 10: Geschichteter Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	BB: Wolziger See MV: Dolgener See MV: Keetzer See MV: Medeweger See MV: Binnenmüritz
	Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	MV: Borgwallsee MV: Gross-Upahler See MV: Malchiner See NI: Steinhuder Meer NI: Dümmer
	Typ 12: Flussee im Tiefland	MV: Nonnensee
	Typ 13: Geschichteter Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	BB: Wittwesee BB: Parsteiner See BE: Groß Glienicker See MV: Carwitzer See MV: Drewitzer See MV: Neustädter See MV: Woseriner See, Hofsee SH: Großer Plöner See ST: Arendsee
	Typ 14: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	-
	Ohne Einordnung, da <50 ha	MV: Groß Liepener See
Alpen und Alpenvorland	Typ 2: Geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	BY: Waginger See
	Typ 3: Geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	BY: Rottachsee BY: Wörthsee
	Typ 4: Geschichteter Alpensee	BY: Ammersee BY: Bodensee BY: Chiemsee BY: Königssee BY: Schliersee BY: Starnberger See BY: Tegernsee
Mittelgebirge (geprüft, aber nicht berücksichtigt)	Typ 5: Geschichteter, calciumreicher Mittelgebirgssee mit relativ großem Einzugsgebiet	-
	Typ 6: Polymiktischer, calciumreicher Mittelgebirgssee	BY: Altmühlsee BY: Kleiner Brombachsee
	Typ 7: Geschichteter, calciumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	-
	Typ 8: Geschichteter, calciumarmer Mittelgebirgssee mit relativ großem Einzugsgebiet	-
	Typ 9: Geschichtete, calciumarme Talsperre mit kleinem Einzugsgebiet	-

Indikator-Factsheet: Wassertemperatur von Seen

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0 Grundlegend überarbeitet: i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Neuentwicklung für Monitoringbericht 2019 in Zusammenarbeit mit dem Fachteam Seen der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren: Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verkehr und Klimaschutz Berlin (Sen-UMVK), II B24 (Antje Köhler) Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (LM) Mecklenburg-Vorpommern, Referat 420 Gewässerkunde, Seenprogramm, Klimawandel (Eckard Kohlhas) Sächsische Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL, Dr. Kerstin Röske) Landesamt für Umwelt (LfU) Rheinland-Pfalz (Dr. Wolfgang Frey)	
Letzte Aktualisierung:	05.05.2014	Ecologic Institut (Evelyn Lukat, Jenny Tröltzsch) Vorherige Indikator-Version im Rahmen von UBA FKZ 3711 41 106
	18.03.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Neufassung des Indikators; Indikator von 2015 bleibt mit seinem Titel erhalten, wird aber ab 2019 anders berechnet und basiert zum großen Teil auch auf anderen Daten.
	30.03.2020	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Ergänzung um Daten zu weiteren Seen in Anlage VIII.2 und um zusätzliche Auswertungsoptionen in Anlage VIII.3
	21.07.2020	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Kleine redaktionelle Anpassung nach dem Umlaufverfahren der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren
	09.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Auflösung der Fallstudie und starke methodische Überarbeitung des Indikators unter anderem zur Aggregierung der einzelnen Seendaten; Nummerierung und Titel des Indikators geändert (vorher WW-I-5 Wassertemperatur stehender Gewässer)
	05.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Ergänzung weiterer Datensätze und Einarbeitung von Anmerkungen aus der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Ergänzend zu der im Indikator bereits vollzogenen differenzierten Darstellung der Flusseen sollte auch eine getrennte Auswertung der geschichteten und ungeschichteten Seen des Norddeutschen Tieflands erprobt werden, da hier größere Unterschiede in der Entwicklung erwartet werden. Im Rahmen des im Auftrag des UBA durchgeführten DASIF-Projekts (Operationalisierung von Indikatoren der Deutschen Anpassungsstrategie Klimawandel mit Fernerkundungsdaten, FKZ

		<p>3719 48 101 0) werden Satellitendaten zur ferngestützten Erfassung der Oberflächentemperatur von Seen ausgewertet, die künftig die Datengrundlage des Indikators deutlich erweitern können.</p> <p>Der LAWA Expertenkreis (EK) Seen hat an ausgewählten Seen („Klimaseen“) ein Klimafolgenmonitoring initiiert. Dabei werden hochfrequente Messungen mit Thermistorketten und Datenloggern durchgeführt. Diese Seen könnten perspektivisch die Datengrundlage für das DAS-Monitoring verbessern. Es wird allerdings noch einige Jahre dauern, bis ausreichend lange und damit auswertbare Zeitreihen aus diesen Messungen zur Verfügung stehen.</p>
--	--	--

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-8	Titel: Wassertemperatur von Seen
Einheit: Grad Abweichung	Kurzbeschreibung des Indikators: Mittelwert der (indexierten) Oberflächentemperatur (zwischen 0 und 50 cm) während der Saison von 1.4. bis 31.10. differenziert für die Regionen Norddeutsches Tiefland, zentrale Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland
<u>Zusatz:</u> Grad Abweichung	<u>Zusatz:</u> Mittelwert der (indexierten) Oberflächentemperatur (zwischen 0 und 50 cm) während der Saison von 1.3. bis 31.10. differenziert für die Regionen Norddeutsches Tiefland, zentrale Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland
	<p>Berechnungsvorschrift:</p> <p><u>Schritt 1:</u> Auswahl von Seen und Talsperren</p> <p>Auswahl von Seen und Talsperren mit möglichst kontinuierlichen Datenreihen und ganzjährigen Messungen der oberflächennahen Temperatur (zwischen 0 und 50 cm); Talsperren können nur dann berücksichtigt werden, wenn keine Wasserentnahmen aus den oberen Wasserschichten stattfinden.</p> <p>Für den Indikator werden Seen und Talsperren aus den folgenden Ökoregionen berücksichtigt (vgl. Abschnitt VIII.1):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alpen und Alpenvorland: BY: Waginger See, Rottachsee, Wörthsee, Ammersee, Bodensee (Lindau), Chiemsee, Königssee, Schliersee, Starnberger See, Tegernsee; BW: Bodensee (Seemitte) • Zentrale Mittelgebirgsregion: TH: Bleilochtalsperre, Hohenwarte Talsperre, Talsperre Ohra, Talsperre Leibis-Lichte, Talsperre Schönbrunn, Talsperre Neustadt, Talsperre Scheibe-Alsbach SN: Saidenbachtalsperre BY: Altmühlsee, Kleiner Brombachsee • Norddeutsches Tiefland (ohne Flusseen): BE: Tegeler See, Groß Glienicker See BB: Stechlinsee, Müggelsee MV: Dolgener See, Binnenmüritz, Borgwallsee, Malchiner See, Gross-Upahler See, Schweriner See, Carwitzer See NI: Dümmer ST: Arendsee

	<ul style="list-style-type: none"> • Norddeutsches Tiefland – Flusseen: BE: Dämeritz, Dahme Schmöckwitz (Zeuthener See), Seddinsee, Oberhavel Konradshöhe, Havel Krughorn, Großer Wannsee MV: Nonnensee <p><u>Arbeitsschritte für jeden einzelnen See:</u></p> <p><u>Schritt 2:</u> Zusammenstellung oder Berechnung der Monatswerte Die Daten werden in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung geliefert. Für einige Messstellen müssen zunächst die Monatsmittelwerte aus den Tageswerten berechnet werden. Für manche Seen liegen nur monatliche Stichprobenmessungen zur Verfügung.</p> <p><u>Schritt 3:</u> Fehlerwertergänzung Trotz der Fokussierung auf Seen mit kontinuierlichen Datenreihen ist nicht auszuschließen, dass einzelne Werte fehlen können. Für die Mittelwertbildung muss jedoch für jeden Monat 1 Wert in die Berechnung eingehen, um eine Gleichgewichtung der unterschiedlichen jahreszeitlichen Verhältnisse zu erreichen und eine Vergleichbarkeit zwischen den Jahren zu ermöglichen. Bei Vorliegen mehrerer Messwerte pro Monat werden diese zu einem einzelnen Monatswert gemittelt. Bei Vorliegen nur eines einzelnen Messwerts gilt dieser als Monatswert. Fehlwerte für Monate können auf folgende Weise ergänzt werden (s. auch Abschnitt VIII.2):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anrechnung eines Messwerts aus dem Vormonat, wenn die Messung am Ende des Monats erfolgt ist und es weitere Messwerte für den Vormonat gibt; analog Anrechnung eines Messwerts aus dem Folgemonat, wenn die Messung am Anfang des Monats erfolgt ist und es weitere Messwerte für den Folgemonat gibt; • Interpolation der Werte des Vormonats und des Folgemonats, wenn dies aus fachlicher Sicht möglich erscheint (vor allem während der Sommermonate); fehlende Messungen im März oder April können aufgrund der noch schwankenden und zwischen den Jahren sehr unterschiedlichen Temperaturentwicklungen in diesen Monaten nicht interpoliert werden. Zwei und mehr Fehlmonate in Folge können ebenfalls nicht interpoliert werden. • Fehlende Winterwerte werden nicht ergänzt; sie werden für den Indikator nicht berücksichtigt <p>Können fehlende Monatswerte in der Saison nicht ersetzt werden, wird das jeweilige Jahr als Fehljahr behandelt. Alle Fehlerwertergänzungen werden im Daten-Factsheet gekennzeichnet.</p> <p><u>Schritt 4:</u> Mittelung für die Saison Durchschnitt der Oberflächentemperatur in der Saison 1.4. bis 31.10. für jeden See = Summe von 7 Monatswerten des jeweiligen Sees (aus Schritt 2) / 7 Zusatz: Durchschnitt der Oberflächentemperatur in der Saison 1.3. bis 31.10. für jeden See = Summe von 8 Monatswerten des jeweiligen Sees (aus Schritt 2) / 8</p> <p><u>Schritt 5:</u> Indexierung der Werte Zur Vorbereitung der Aggregation über mehrere Seen müssen alle Absolutwerte indexiert werden. Dabei wird das Jahr 2014 auf „0“ gesetzt, und für alle anderen Werte wird dann die Differenz zum ursprünglichen Wert des Jahres 2014 (in Kelvin) ermittelt. Das Jahr 2014 wurde ausgewählt, weil dies das am weitesten zurückliegenden Jahr ist, in dem von allen Messstellen Daten zur Verfügung stehen. Der Indexwert wird als Grad Abweichung (Kelvin) angegeben. z. B. Index 2019 = Temperaturwert 2019 – Temperaturwert 2014</p>
--	---

	<p><u>Arbeitsschritte zur Aggregation:</u></p> <p><u>Schritt 5:</u> Mittelung der Indexierung für die Ökoregionen Die indexierten Werte werden über alle Messstellen, die der jeweiligen Ökoregion zugeordnet wurden (s. Schritte 1), gemittelt. Liegen für ein Jahr zu einer Messstelle keine Daten vor, bleibt diese Messstelle bei der Mittelung unberücksichtigt.</p>
Interpretation des Indikatorwerts:	<p><u>Indikator und Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist die relative Wassertemperatur in den betrachteten Gewässern im Mittel der Saison.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Physikalisch-chemischer Gewässerzustand
Thematischer Teilaspekt:	Erwärmung von Gewässern, Veränderung der Eisbedeckung
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	<p>EEA: CLIM 019 Water temperature (Jährliche mittlere Wassertemperatur in ausgewählten Flüssen und Seen) Thüringer Klimafolgenmonitoring: I-WW-5 Wassertemperatur stehender Gewässer</p>
Begründung:	<p>Die Wassertemperatur des Epilimnions von stehenden Gewässern wird schnell und direkt durch die Lufttemperatur beeinflusst. Bereits vor zehn Jahren ließ sich – Literaturstudien zufolge – eine klimabedingte Erhöhung der Oberflächentemperatur von Seen (Epilimnion) fast weltweit feststellen (u. a. Arvola et al. 2010, Schneider & Hook 2010 zit. in KLIWA 2015: 19).</p> <p>Die Wassertemperatur ist ein zentraler Parameter, der den physikalisch-chemischen sowie biologischen Gewässerzustand charakterisiert. Sie nimmt Einfluss auf die Dauer der Eisbedeckung, die Durchmischungs- bzw. Schichtungsverhältnisse, die Wasserchemie sowie auf die Artenzusammensetzung und die Struktur der Nahrungsnetze (IGB 2018: 5). Klimawandelbedingt können höhere Temperaturen den Beginn und das Ausmaß der Frühjahrsalgenentwicklung und damit indirekt die Sauerstoffzehrung beeinflussen. In eutrophen Gewässern können im Sommer thermophile, potenziell toxinbildende Cyanobakterienarten auftreten (z. B. <i>Cylindospermopsis raciborski</i>).</p> <p>Um einen bundesweiten Überblick zur Entwicklung der Seentemperaturen zu erhalten, aber dennoch die Besonderheiten der unterschiedlichen Seentypen annähernd zu berücksichtigen, werden die Daten der für den Indikator berücksichtigten Seen für die drei großen Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, zentrale Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland differenziert bearbeitet und dargestellt. Da es im Bereich der zentralen Mittelgebirge nur wenige größere natürliche Seen gibt, werden – um diese Region ebenfalls abbilden zu können – auch Talsperren herangezogen. Diese können jedoch nur dann berücksichtigt werden, wenn keine (betriebsbedingten) Wasserentnahme aus den oberen Wasserschichten stattfindet.</p> <p>Die für die Indikatorarstellung verwendeten Daten stammen aus Messungen im obersten Epilimnion (bis zu 50 cm Tiefe). Diese Schicht ist i. d. R. gut durchmischt (vorausgesetzt, es ist nicht extrem sonnig und völlig windstill) und reagiert vergleichsweise unmittelbar auf Veränderungen der Lufttemperatur. Die</p>

	<p>Entwicklung der Wassertemperaturen im Hypolimnion ist hingegen in Abhängigkeit vom Schichtungsmuster der einzelnen Seen sehr unterschiedlich, und die Zusammenhänge mit dem Klimawandel sind deutlich komplexer. Bei den Flachseen können sich infolge des Klimawandels der Durchmischungstyp und das Schichtungsregime verändern, was sprunghafte Änderungen der Hypolimnion-Temperatur nach sich ziehen kann. (KLIWA 2015: 19-21)</p> <p>Als Folge des Klimawandels wird vor allem auch mit höheren Wassertemperaturen im Winter und im zeitigen Frühjahr gerechnet. Dies hat Auswirkungen auf die Frühjahrsalgenblüte und damit auf die Entwicklung des aquatischen Nahrungsnetzes im gesamten Jahresverlauf. In der Praxis werden bei Eisbedeckung allerdings i. d. R. keine Messungen durchgeführt, oder diese sind lückenhaft. Dadurch schränkt sich das nutzbare Datenkollektiv für die Berechnung von Ganzjahresmitteln (bezogen auf das hydrologische Jahr) stark ein. Der Indikator schließt daher die Wintertemperaturen aus und stellt das Mittel der Saison von April bis Oktober dar. Als Indikator-Zusatz wird die Saison von Anfang März bis Ende Oktober abgebildet, da sich in den vergangenen Jahren an mehreren Seen bereits deutlich gestiegene Märztemperaturen und z. T. deutlich verfrühte Frühjahrsalgenblüten beobachten ließen. Als Hauptindikator wird aber die Saison ab April abgebildet, da die Datenlage hier besser ist (es fehlen immer wieder März-Messungen).</p> <p>Der Indikator basiert auf indexierten Werten. Das bedeutet, für jeden See werden die relativen Abweichungen von einem auf den Wert 0 gesetzten Indexjahr (hier das Jahr 2014) ermittelt. Unterschiedliche Höhenlagen-, Naturraum- und Seen-typische Temperaturniveaus werden damit relativiert, sodass die Werte über verschiedene Seen hinweg gemittelt werden können. Das Jahr 2014 wird als Indexjahr gewählt, da es das am weitesten zurückliegende Jahr ist, in dem von allen Messstellen Daten zur Verfügung stehen.</p>
Einschränkungen:	<p>Mit der Mittelung der Indexwerte der verschiedenen Seen für die einzelnen Ökoregionen wird über mitunter sehr unterschiedliche individuelle Seencharakteristika hinweg gemittelt. Vor allem, wenn für einzelne Jahre und einzelne Seen Daten fehlen und die Mittelwertbildung in einzelnen Jahren nur über wenige Seen vorgenommen wird, kann dies zu (leichten) Brüchen in der Zeitreihe führen.</p> <p>Die Messfrequenz der Datenerhebungen an den einzelnen Seen ist unterschiedlich. Wenn nur einmal monatlich gemessen wird, erfolgt diese Messung nicht immer am gleichen Tag des Monats. Diese unterschiedlichen Zeitintervalle zwischen den Messungen wirken sich auf die Mittelwertbildung aus. Bei Stichprobenerhebungen hängen die Messergebnisse stark von den jeweiligen Bedingungen zum Zeitpunkt der Temperaturmessung ab. Dieses Problem lässt sich aber letztendlich nur über kontinuierlicher Datenlogger-gestützte Messungen ausräumen. Auch eine lineare Interpolation zwischen den Einzelwerten brächte hier nur eine weitere Annäherung. Der Einsatz meteorologisch angetriebener Modelle zur Interpolation erscheint für ein Monitoring nicht mit vertretbarem Aufwand praktisch umsetzbar. Grundsätzlich kann konstatiert werden, dass die derzeitige Messpraxis für ein Klimafolgenmonitoring nicht ausreichend ist. Das vom LAWA EK Seen initiierte kontinuierliche Seenmonitoring wird zu einer deutlichen Verbesserung des Monitorings beitragen.</p> <p>Die zur Komplettierung der Zeitreihen vorgenommene Fehlwertergänzung bringt weitere Unsicherheiten mit sich (s. Anlagen VIII.2).</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)

In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	DAS, Kap. 3.2.3: Eine zunehmende Erwärmung der Wasser- und Bodentemperaturen aquatischer Systeme im Sommer bewirkt beispielsweise, dass der Sauerstoffgehalt der Gewässer sinkt. Für Wassertiere und -pflanzen bedeutet das zusätzlichen Stress, denn sie leiden bereits unter einer hohen Wassertemperatur und eingeschränktem Wasservolumen. Geringe Sauerstoffgehalte und höhere Wassertemperaturen begünstigen während Niedrigwasserperioden Rücklösungen aus Sedimenten und können so einen Stoffeintrag ins Gewässer nach sich ziehen. Darüber hinaus belasten Einleitungen, beispielsweise aus Kläranlagen, aber auch diffuse Einträge wegen des verschlechterten Verdünnungsverhältnisses die Gewässer in verstärktem Maße.
Ziele:	WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: (1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass [...] ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden. (2) Oberirdische Gewässer, die [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, sind so zu bewirtschaften, dass [...] ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden. DAS, Kap. 3.2.3: In der WRRL sollten Maßnahmen bevorzugt werden, die die natürliche Anpassungsfähigkeit der Gewässer wie auch die Lebensraum- oder Habitatvielfalt unserer Gewässer erhalten oder stärken. Das koordinierte Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet [...] erfolgt mit dem konkreten Ziel einen guten Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen.
Berichtspflichten:	Die Gewässertemperatur wird nach WRRL als allgemeine physikalisch-chemischen Qualitätskomponente unterstützend für die Bewertung und Überwachung des Gewässerzustands herangezogen (s. a. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873), Anlage 3). Im Rahmen ihrer Berichtspflichten gegenüber der EU (Artikel 8 und 15 WRRL) sind die Länder verpflichtet, über die Ergebnisse der Überwachung des Zustands der Gewässer zu berichten. <u>Hinweis:</u> Die Anforderungen, die im Zusammenhang mit der WRRL-Berichterstattung an das Monitoring gestellt werden, werden für das Klimafolgenmonitoring als nicht ausreichend erachtet. Es wären hierfür höherfrequente (möglichst tägliche) und kontinuierlichere Messungen über das ganze Jahr hinweg erforderlich. Der LAWA EK Seen fordert in diesem Zusammenhang vor alle Datenlogger-gestützte Messungen.

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Landesanstalt für Umwelt Bayern (LfU), Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verkehr und Klimaschutz Berlin (SenUMVK), Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN), Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW): Seenmonitoring Thüringer Fernwasserversorgung (TFV), Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV): Talsperrenüberwachung Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB): Forschung und Monitoring von Seen	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant

Geographische Abdeckung:	Ausgewählte Seen in den drei Ökoregionen Norddeutsches Tiefland, zentrale Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 1961
Beschränkungen:	keine
Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-8_Daten_Wassertemperatur_Seen.xlsx

V Zusatz-Informationen

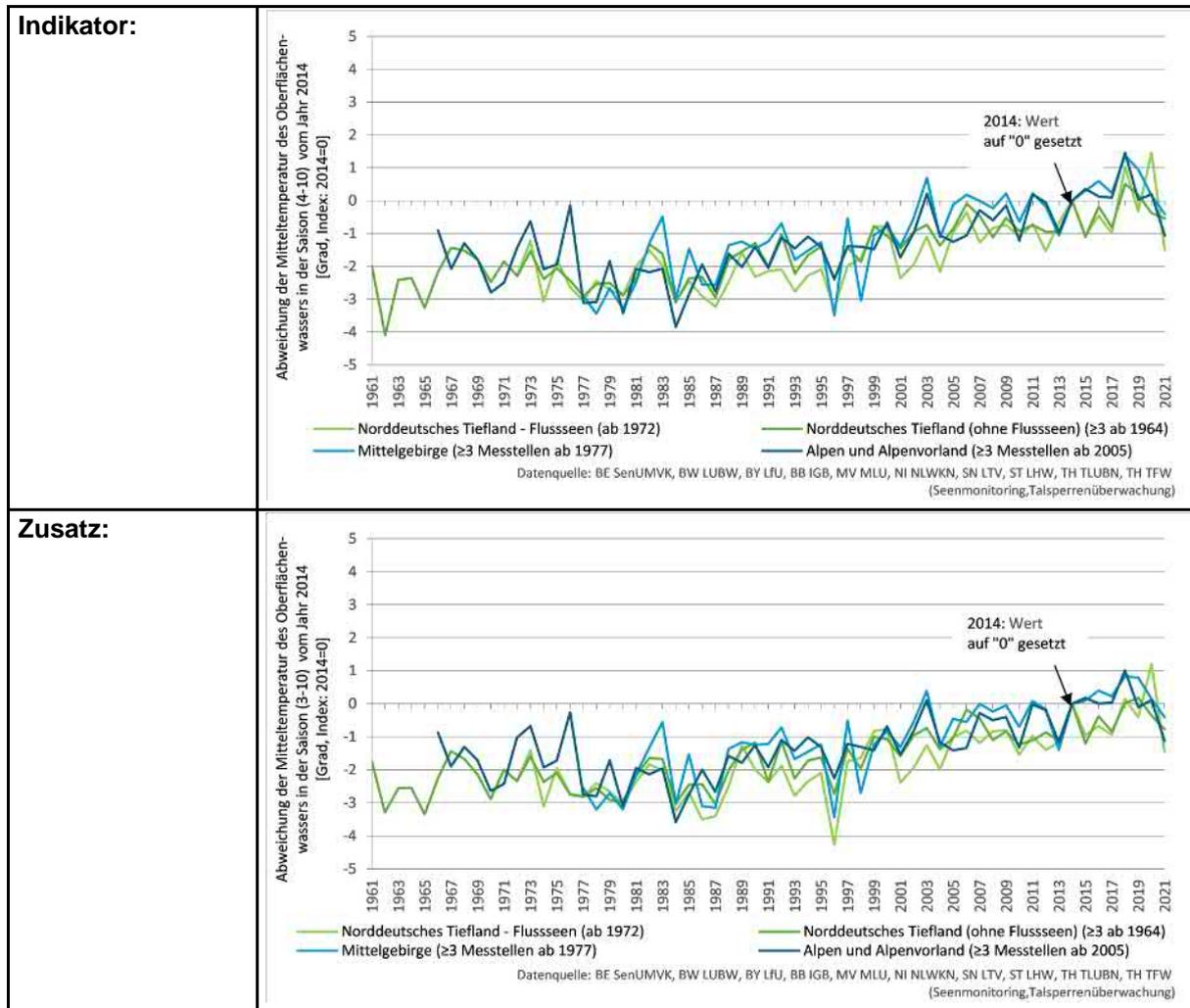
Glossar:	<p>Epilimnion: bezeichnet die obere erwärmte und stark bewegte Wasserschicht in einem geschichteten stehenden Gewässer.</p> <p>Hypolimnion: ist die untere, nur durch interne Wellen und deren Ausgleichsströmungen bewegte Wasserschicht in einem geschichteten stehenden Gewässer. Es ist durch die Sprungschicht, das Metalimnion, von der oberen Wasserschicht, dem Epilimnion, getrennt.</p> <p>LAWA-Seetypen: Die Typologie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Mathes et al. 2002) für die deutschen Seen umfasst 14 Seetypen mit Flächen größer 50 Hektar. Die 14 Typen werden den drei Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, zentrale Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland zugeordnet (diese Regionalisierung orientiert sich an den biozönotischen Ökoregionen von Illies 1978, der Deutschland im Wesentlichen in drei Ökoregionen „zentrales Tiefland“ (Region 14), „zentrale Mittelgebirge“ (Region 9) und „Alpen“ (Region 4) eingeteilt hat). Die Typologie nutzt abiotische Kriterien: Ökoregion, Geologie, Seegröße, relative Größe des Einzugsgebietes und Schichtungsverhalten. Als erster Ansatzpunkt für die Lebensgemeinschaften wurde die Trophie berücksichtigt. (www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/seen#textpart-2)</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Informationen aus KLIWA zur Betroffenheit von Seen durch den Klimawandel: www.kliwa.de/gewaesseroekologie-seen-betroffenheit.htm</p> <p>Adrian R., O'Reilly C. M., Zagarese H., Baines S.B., Hessen D.O., Keller W., Livingstone D.M., Sommaruga R., Straile D., Van Donk E., Weyhenmeyer G.A., Winderl M. 2009: Lakes as sentinels of climate change. <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 54 (6, part 2): 2283–2297. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2854826/</p> <p>Boehrer B. & Schultze M. 2009: IV-2.2 Schichtung von Seen. <i>Handbuch Angewandte Limnologie. Limnologische Grundlagen-Gewässerbelastungen-Restaurierung-Aquatische Ökotoxikologie-Gewässerschutz-Bewertung: 3-21.</i> www.wiley-vch.de/books/sample/3527321314_c01.pdf</p> <p>Hering D. 2011: Climate Change and Freshwater. Indicating the status of freshwater ecosystems under changing climate conditions. www.climate-and-freshwater.info</p> <p>IGB – Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei 2018: Seen im Klimawandel – Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung. IGB Dossier, Berlin, 11 S.</p> <p>Illies J. 1978: <i>Limnofauna Europaea</i>. Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. Stuttgart, 532 S.</p> <p>Jeppesen E., Meerhoff M., Holmgren K., Gonzalez-Bergonzoni I., Teixeira-de Mello F., Declerck S. A. J., De Meester L., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Bjerring R., Conde-Porcuna J. M., Mazzeo N., Iglesias C., Reizenstein M., Malmquist H. J., Liu Z, Balayla D, Lazzaro X. 2010: Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. <i>Hydrobiologia</i> 646: 73–90.</p>

	<p>KLIWA – Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Wasserwirtschaft 2015: Einfluss des Klimawandels auf Seen – Literaturlauswertungstudie. Konstanz, 125 S www.kliwa.de/_download/Literaturstudie-Seen-2015.pdf</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p> <p>Mathes J., Plambeck G., Schaumburg J. 2002: Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Nixdorf B. & Deneke R. (Hrsg.): Ansätze und Probleme bei der Umsetzung der EU- Wasserrahmenrichtlinie. Aktuelle Reihe BTU Cottbus, Sonderband: 15-24.</p> <p>Shimoda Y, Azim M. E., Perhar G., Ramin M., Kenney M.A., Sadraddini S., Gundimov A., Arhonditsis G. B. 2011: Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: What have we really learned from the north temperate deep lakes? Journal of Great Lakes Research 37 (1): 173-193.</p> <p>Vincent W.F. 2009: Encyclopedia of Inland Waters: 55-60.</p> <p>Weinberger S. & Vetter M. 2012: Using the hydrodynamic model DYRESM based on results of a regional climate model to estimate water temperature changes at Lake Ammersee. Ecological Modelling 244: 38-48.</p>
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	mehrere datenhaltende Institutionen; Daten müssen von den einzelnen datenhaltenden Institutionen individuell abgefragt werden
	Datenverarbeitung:	3	Die Daten können nicht direkt übernommen werden, eine Generierung der Monatsdaten und aufwändige Verrechnungen sind notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die zeitliche Auflösung sowie die Messfrequenzen der einzelnen Seen sind unterschiedlich und variieren auch innerhalb der jeweiligen Zeitreihe. Es müssen zuerst konsistente Datenreihen von Monatswerten erzeugt werden. Der Aufwand für das Zusammentragen und Aufbereiten der Daten beläuft sich auf ca. 4 Tage.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

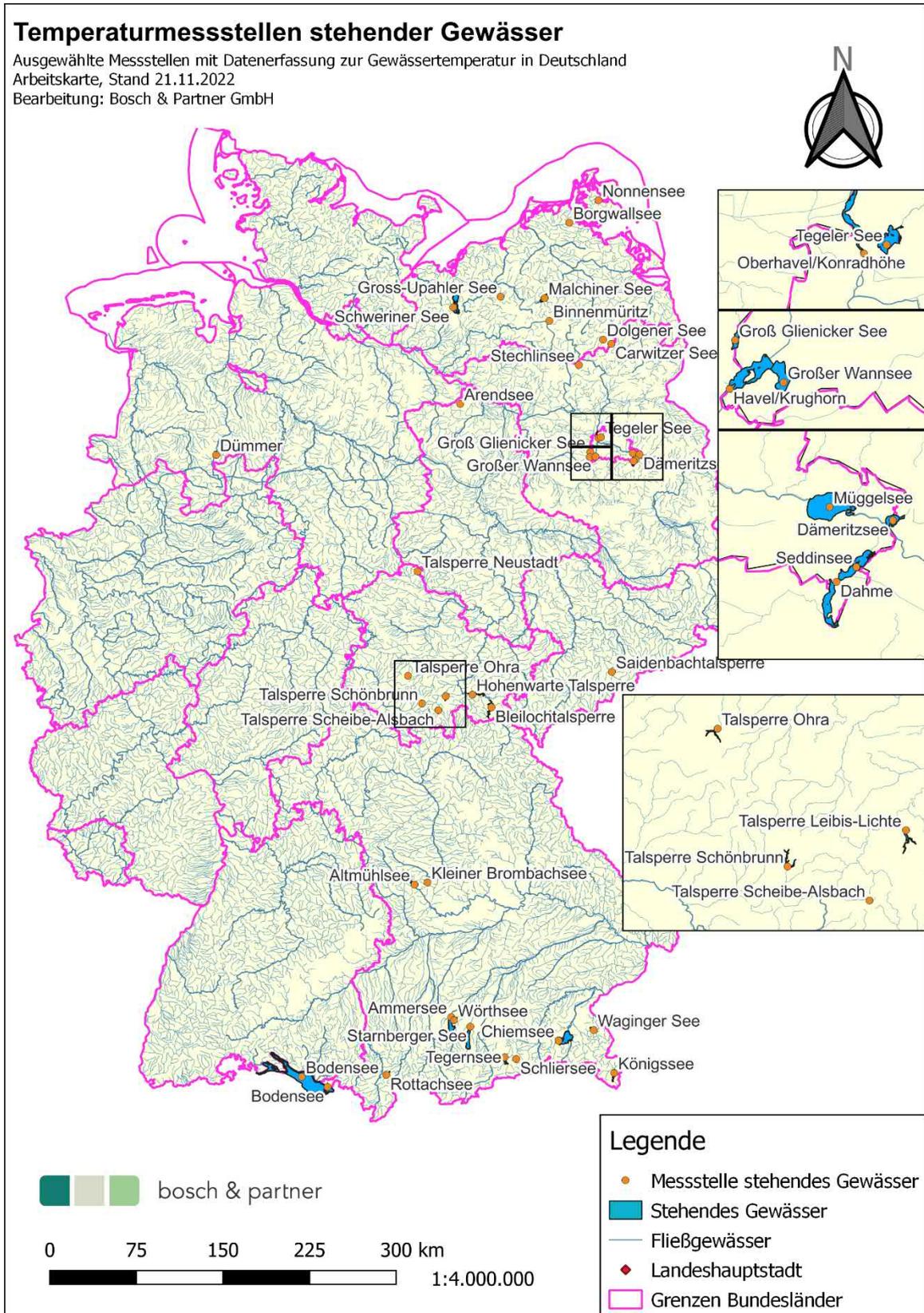
VIII.1 Berücksichtigte Seen für in situ-Auswertung

Die nachstehende Tabelle ordnet die im Indikator berücksichtigten Seen und Talsperren den Ökoregionen und LAWA-Seentypen zu. Die darunterliegende Abbildung zeigt die Verteilung der Messstellen im Bundesgebiet. Es wurden zu weiteren Seen (u. a. aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen) Datensätze geprüft, deren Datenreihen aber aufgrund zu vieler Datenlücken nicht berücksichtigt werden konnten.

Ökoregion	LAWA-Seentyp	See (und Bundesland)
Alpen und Alpenvorland	Typ 2: Geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	BY: Waginger See
	Typ 3: Geschichteter Alpenvorlandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	BY: Rottachsee BY: Wörthsee
	Typ 4: Geschichteter Alpensee	BY: Ammersee BW: Bodensee BY: Bodensee

Ökoregion	LAWA-Seentyp	See (und Bundesland)
		BY: Chiemsee BY: Königssee BY: Schliersee BY: Starnberger See BY: Tegernsee
Mittelgebirge	Typ 5: Geschichteter, calciumreicher Mittelgebirgssee mit relativ großem Einzugsgebiet	TH: Bleilochtalsperre TH: Hohenwarte Talsperre SN: Saldenbachtalsperre
	Typ 6: Polymiktischer, calciumreicher Mittelgebirgssee	BY: Altmühlsee BY: Kleiner Brombachsee
	Typ 7: Geschichteter, calciumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	
	Typ 8: Geschichteter, calciumarmer Mittelgebirgssee mit relativ großem Einzugsgebiet	TH: Talsperre Ohra TH: Talsperre Leibis-Lichte
	Typ 9: Geschichtete, calciumarme Talsperre mit kleinem Einzugsgebiet	TH: Talsperre Schönbrunn
	Zuordnung nicht möglich	TH: Talsperre Neustadt TH: Talsperre Scheibe-Alsbach
Nordeutsches Tiefland	Typ 10: Geschichteter Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	BE: Tegeler See MV: Dolgener See MV: Binnenmüritz
	Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	BB (IGB): Müggelsee MV: Borgwallsee MV: Malchiner See MV: Gross-Upahler See NI: Dümmer
	Typ 12: Flussee im Tiefland	BE: Dämeritzsee BE: Dahme Schmöckwitz (Zeuthener See) BE: Seddinsee BE: Oberhavel Konradshöhe BE: Havel Krughorn BE: Großer Wannsee MV: Nonnensee
	Typ 13: Geschichteter Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	BE: Groß Glienicker See BB (IGB): Stechlinsee MV: Schweriner See MV: Carwitzer See ST: Arendsee
	Typ 14: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	

Lage der ausgewählten in situ Temperaturmessstellen in Seen und Talsperren:



VIII.2 Berücksichtigte Seen für fernerkundungsgestützte Datenauswertungen

Zur Unterstützung der Weiterentwicklung der Seen-Indikatoren hat das Umweltbundesamt ein FuE-Vorhaben beauftragt (Operationalisierung von Indikatoren der Deutschen Anpassungsstrategie Klimawandel mit Fernerkundungsdaten – DASIF, FKZ 3719 48 101 0, Laufzeit 12/2019 bis 02/2023), im Rahmen dessen an Monitoringindikatoren gearbeitet wurde, die auf Satellitendaten beruhen.

Parallel zur Auswertung der in situ-Daten wurden im DASIF-Projekt Fernerkundungsdaten zu 7 Seen in der Region Alpen und Alpenvorland, 5 Seen und Talsperren in der Zentralen Mittelgebirgsregion und 10 Seen in der Region Norddeutsches Tiefland ausgewertet. Zehn Seen decken sich mit den Seen, zu denen auch in situ-Daten ausgewertet wurden. Die Ergebnisse wurden ebenfalls für die drei Ökoregionen aggregiert und sind grundsätzlich vergleichbar. Die Auswertung der Fernerkundungsdaten ermöglicht perspektivisch eine Erweiterung der Datengrundlage. Es wurde aber entschieden, für den Monitoringbericht 2023 in situ-Daten zu nutzen, zumal die Zeitreihe mit Fernerkundungsdaten erst 1984 starten kann.

Grundlagen der thermalen Fernerkundung:

Entscheidend für die Bestimmung der Temperatur an der Wasseroberfläche eines Sees ist die Strahlung, die aufgrund der Eigenwärme vom Wasserkörper emittiert wird. Thermale Satellitensensoren erfassen die emittierte Wärmestrahlung in ein oder mehreren Bändern im thermalen Infrarot (Wellenlängenbereich zwischen 10 und 12 μm). Aus der von Satelliten gemessenen, emittierten Strahlung kann über verschiedene Verfahren die Temperatur der Wasseroberfläche (LSWT) berechnet werden. Auf deren Basis können Zusammenfassungen von Seen diskutiert werden. Um kleinere Seen zu analysieren, eignet sich das Landsat-Archiv, das bis ca. 1984 zurückreicht. Die verfügbaren Landsat-Daten besitzen nur ein funktionierendes Band im thermalen Bereich zwischen 10 und 12 μm . Landsat 8 besitzt eigentlich zwei thermale Bänder, jedoch ist eines aufgrund von Streulichtproblemen nicht valide nutzbar. Um den atmosphärischen Einfluss auf das Signal am Satellitensensor zu korrigieren, müssen zusätzliche Daten zu Wasserdampfgehalt der Atmosphäre und Lufttemperatur einbezogen werden. Die abgeleitete LSWT entspricht der sogenannten „skin temperature“, also einem etwa 500 μm dünnen Bereich, der sich an der Schnittstelle zwischen Wasser und Luft befindet¹. Schichtungen und Wind an der Wasseroberfläche führen dazu, dass die „skin temperature“ kühler ist als die in-situ gemessene, kinetische „bulk temperature“. Nichtsdestotrotz zeigen diverse Studien, dass beide Temperaturen stark miteinander korrelieren (R^2 oft > 0.9), beispielsweise für das Landsat-Archiv². Die methodischen und absoluten Unterschiede müssen aber berücksichtigt

¹ Pareeth S., Salmaso N., Adrian R., Neteler M. 2016: Homogenised daily lake surface water temperature data generated from multiple satellite sensors: A long-term case study of a large sub-Alpine lake. Sci. Rep. 2016, 6.

² Zum Beispiel:

Simon R.N., Tormos T., Danis P.-A. 2014: Retrieving water surface temperature from archive LANDSAT thermal infrared data: Application of the mono-channel atmospheric correction algorithm over two freshwater reservoirs. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2014, 30.

MODIS: s. Fußnote 1

AVHRR: Lieberherr G., Wunderle S. 2018: Lake Surface Water Temperature Derived from 35 Years of AVHRR Sensor Data for European Lakes. Remote Sens. 2018, 10.

und gegebenenfalls homogenisiert werden, wenn in-situ gemessene und satellitenbasierte Wasseroberflächentemperaturen verglichen werden.

Datengrundlage:

Für alle Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 100 m für die Jahre 1984 bis 2019 und einer Wiederholrate von 8-16 Tagen vor. Am Brombachsee und Rottachsee beginnen die Datenreihen ab dem Zeitpunkt der Aufstauung. Die zeitliche Auflösung wird zusätzlich vom Wetter am Aufnahmezeitpunkt beeinflusst und kann die zeitliche Auflösung verringern. Gerade in der Zeit zwischen November und März reduzieren häufig Wolken die Anzahl der Satellitenaufnahmen. Das erschwert die Berechnung von ganzjährigen Mittelwerten.

Validierungsarbeiten mit in situ-Messungen:

Zur Validierung der Wasseroberflächentemperatur aus Satellitendaten wurden über den LAWA Expertenkreis Seen Ansprechpersonen aus Ländern und wissenschaftlichen Einrichtungen angefragt, um Messdaten aus den Monitoringprogrammen bereitzustellen. Für die Validierung wurden die Messungen ausgewählt, die am nächsten zur Oberfläche durchgeführt wurden (zumeist 0 m oder 0,5 m) und innerhalb von 1-2 Tagen vor oder nach der Satellitenaufnahme stattfanden.

Die nachstehende Tabelle ordnet die im Indikator berücksichtigten Seen und Talsperren den Ökoregionen und LAWA-Seentypen zu. Die fett hervorgehobenen Seen sind auch Gegenstand des in situ-basierten DAS-Monitoringindikators.

Alpen und Alpenvorland	BY: Abtsdorfer See BY: Ammersee BY/BW: Bodensee BY: Großer Alpsee BY: Rottachspeicher BY: Starnberger See BY: Walchensee	Norddeutsches Tiefland	ST: Arendsee BE: Dahme SH: Dobersdorfer See MV: Kummerower See BB: Müggelsee MV: Müritz SH: Großer Plöner See SN: Speicher Witznitz BB: Stechlinsee NI: Steinhuder Meer
Mittelgebirge	BY: Brombachsee RP: Laacher See SN: Talsperre Bautzen TH: Bleilochtalsperre SN: Saldenbachtalsperre		

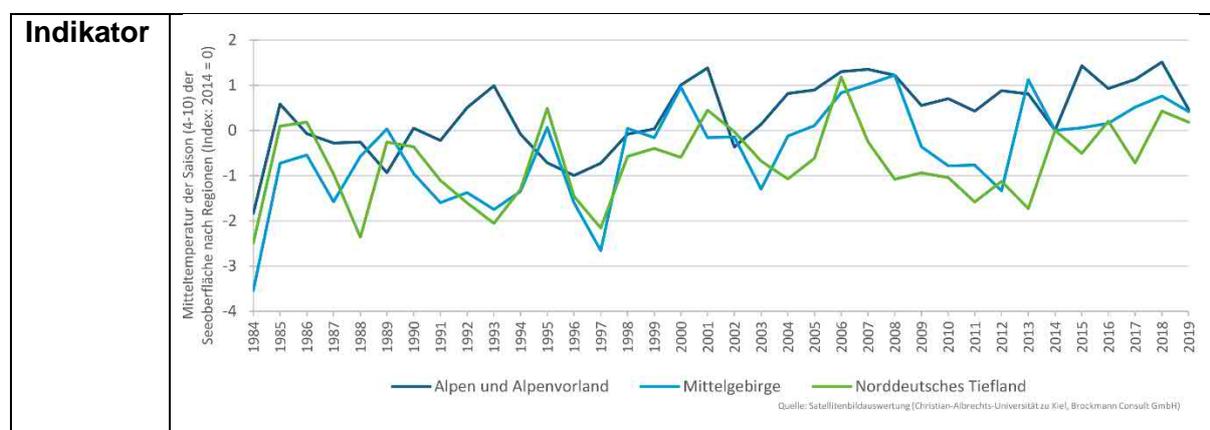
Auswertungen und Ergebnisse:

Für die Fallstudien wurden mehrere Seen unterschiedlicher LAWA-Typen für jeden Hauptnaterraum in Absprache mit Fachpersonen aus dem LAWA EK Seen ausgewählt. Die Seen sollten mindestens 300 x 300 m groß sein. Außerdem sollten in situ Messdaten für diese Seen vorhanden sein, um die Fernerkundungsalgorithmen zu validieren.

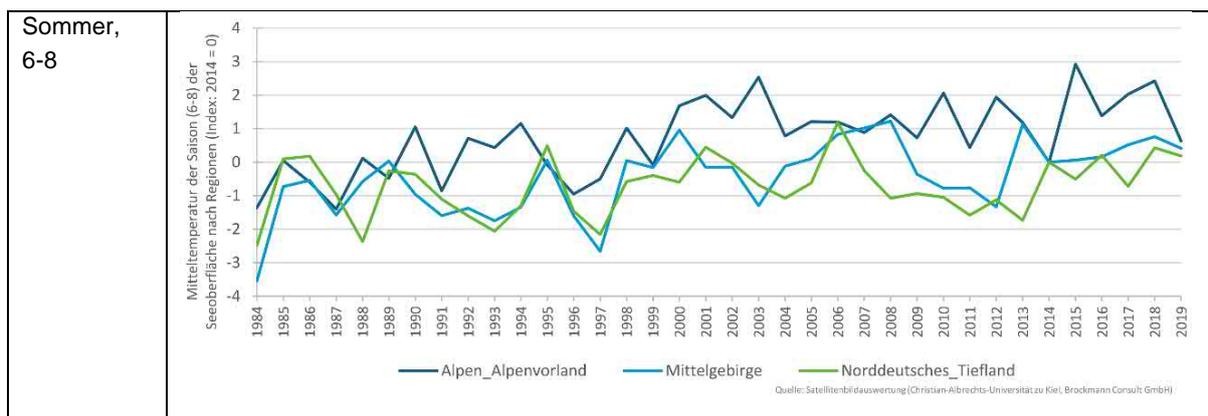
Für jeden See wurde aus allen verfügbaren, wolkenfreien (See max. zu 45 % mit Wolken bedeckt) Landsat-Daten (5, 7 und 8) die Wasseroberflächentemperatur berechnet (Mono-

Window-Algorithmus nach Sobrino³). Für jeden Aufnahmetag wurde die durchschnittliche Wassertemperatur (arithmetisches Mittel) in einem See berechnet, wobei die flachen Bereiche durch einen 100 m Puffer ausgeschlossen wurden. Da drei unterschiedliche Landsat-Sensoren benutzt wurden, wurde alle Ergebnisse auf Landsat 8 harmonisiert. Aus den Tageswerten wurden Monatsmittel berechnet. Fehlwerte durch fehlende Aufnahmen wurden über den nächstgelegenen Messtermin vorher und nachher interpoliert, wobei der zeitliche Abstand hierfür kleiner 4 Wochen sein muss. Frühjahrsmonate (März bis Mai) wurden nicht interpoliert. Aus diesen Monatswerten wurden pro See Saisonmittel erstellt und wie oben beschrieben auf das Jahr 2014 indexiert. Im Anschluss wurde die Ergebnisse anhand der Naturraumregionen aggregiert.

Ähnlich wie beim in situ basierten Indikator zeigen die Seen in den Alpen und im Alpenvorland die stärkste Veränderung. Die Entwicklungslinien der Seen im Mittelgebirge und Norddeutschen Tiefland verhalten sich ähnlich. Sprunghafte Veränderungen zwischen den Jahren können bei der Datengrundlage der Satellitendaten durch fehlende Monate zustande kommen. Gerade in den Frühjahrs- und Herbstmonaten verringern Wolken die zeitliche Auflösung und die Anzahl der Messtermine pro Jahr deutlich. Daher wurden im DASIF-Projekt Qualitätskriterien entwickelt, die zusätzlich andeuten, wie verlässlich die Messwerte aus einem bestimmten Jahr sind. Die Sommermonate weisen durch häufigere, wolkenfreie Aufnahmen einen weniger verrauschten Verlauf auf (s. untenstehende Grafik). Die Entwicklung in den Naturräumen ist aber ähnlich wie die des Saisonmittels.



³ Jimenez-Munoz J. C., Sobrino J. A., Skokovic D., Mattar C., Cristobal J. 2014: Land Surface Temperature Retrieval Methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. In: IEEE Geosci. Remote Sensing Lett. 11 (10): 1840–1843.



VIII.3 Umgang mit Datenlücken der in situ-Messungen

Zahlreiche Datenreihen weisen Datenlücken auf. Um diese Datenreihen dennoch für die Auswertung nutzbar zu machen, müssen Fehlerwertergänzungen vorgenommen werden. Voraussetzung für die in den verschiedenen Auswertungen vorgenommenen Mittelwertbildungen ist, dass für jeden Monat zumindest ein Wert zur Verfügung steht, da sonst – in Abhängigkeit vom Fehlmonat – das Ergebnis verzerrt wird. In einigen Fällen ermöglicht eine genaue Sichtung der einzelnen Terminwerte eine andere Monatszuordnung der Daten. So lässt sich im folgenden Beispiel der Ende November gemessene Wert dem Dezember zuordnen.

Jahr	Monat	Messdatum	Hydrologisches Jahr	Wassertemperatur [°C]
1998	10	05.10.1998	1998	10,3
1998	11	02.11.1998	1999	5,9
1998	12	30.11.1998	1999	1,9
1999	2	22.02.1999	1999	1,9

als früher Dezemberwert gerechnet

In anderen Fällen lassen sich Monatswerte durch Interpolation ergänzen. Dies ist in jedem Falle eine sehr grobe Annäherung. Vor allem für Monate, in denen von einem auch sprunghaften Temperaturwechsel ausgegangen werden muss (wie z. B. in den Monaten März oder April), sind die Möglichkeiten in Abhängigkeit der vorangegangenen oder nachfolgenden Messergebnisse zu prüfen. Keinesfalls können auf diese Weise zwei Fehlwerte in Folge oder gehäuft auftretende Fehlwerte innerhalb eines Jahres ergänzt werden. In diesem letztgenannten Fall muss ein komplettes Jahr als Fehljahr gewertet werden.

Jahr	Monat	Hydrologisches Jahr	Wassertemperatur – Monatsmittel [°C]
1994	9	1994	15,8
1994	10	1994	9,1
1994	11	1995	7,8
1994	12	1995	6,4

Wert interpoliert zwischen 24.10.1994 und 06.12.1994

Indikator-Factsheet: Frühjahrsalgenblüte in Seen

Verfasser:innen:	Ecologic Institut (Darla Nickel, Ulf Stein) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 Neufassung: Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) Universität Kiel (Katja Kuhwald, Natascha Oppelt) im Rahmen des UBA FKZ 3719481010	
Letzte Aktualisierung:	05.05.2014	Ecologic Institut (Evelyn Lukat, Jenny Tröltzsch) Vorherige Indikator-Version im Rahmen von UBA FKZ 3711 41 106
	10.05.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Redaktionelle Anpassungen und Ergänzungen von Informationen zur Datenbereitstellung und Indikator-Berechnung; Indikatordarstellung wurde geändert, Datenreihe in die Vergangenheit verlängert; weitere Einschränkungen wurden ergänzt
	09.05.2022	Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer), Universität Kiel (Katja Kuhwald, Natascha Oppelt) Neufassung des Indikators, Beschreibung der Umsetzung des Indikators auf Basis von Fernerkundungsdaten. Die dem Indikator zugrundeliegenden Daten und alle daran gebundenen Berechnungen wurden geändert.
	27.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Redaktionelle Anpassungen und Einarbeitung von Anmerkungen der SenUMVK (Antje Köhler), Titel und Nummerierung des Indikators geändert (vormals WW-I-6 Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern)
	27.07.2022	Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) letzte Datenaktualisierung
Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2027	Die aktuelle Auswahl der Seen wurde im Rahmen des DASIF Vorhabens (FKZ 3719481010) getroffen und beinhaltet Seen mit einer guten in-situ Messgrundlage. An den ausgewählten Seen wurde das Vorhaben getestet und durchgeführt. Für eine Fortschreibung kann die Anzahl der Seen erhöht und die Fallstudie damit ausgeweitet werden. Es wird zudem geprüft, inwiefern kontinuierliche Pigmentmessungen durch Sonden, die Phytoplanktongruppen differenzieren, künftig als in-situ-Daten in die Auswertung integriert werden können.

I Beschreibung

<p>Interne Nr. WW-I-9</p>	<p>Titel: Frühjahrsalgenblüte in Seen</p>
<p>Einheit: Kalenderwoche</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators: Zeitpunkt (Kalenderwoche des Jahres) des Eintretens der Algenblüte (Phytoplankton-Frühjahrsmaximum); differenziert für die drei Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland</p> <p>Berechnungsvorschrift: Der Indikator wird für 24 über Deutschland verteilte und die Ökoregionen repräsentierenden Seen ermittelt.</p> <p><u>Schritt 1:</u> Es wird das Perzentil-90 (P90) der Chlorophyll-a Konzentration für jede valide Aufnahme eines Sees bestimmt. Das P90 wird dabei aus allen validen Seepixel eines Aufnahmezeitpunktes hergeleitet. Es wird eine Zeitreihe P90 Werte des meteorologischen Frühlings generiert. Das erste Maximum in der Zeitreihe, das über dem Perzentil-70 aller gemessenen Konzentrationen der Frühjahrsmonate liegt, gilt als Zeitpunkt der Frühjahrsblüte. Bedingung für eine valide Aufnahme ist: Mindestens 30 % der Pixel innerhalb der Seefläche müssen valide sein. Ein Pixel wird als valide angesehen, wenn es nicht durch äußere Bedingungen beeinflusst ist (Wolken, Wolkenschatten, Fehler in der Atmosphärenkorrektur, Landeinfluss)</p> <p><u>Schritt 2:</u> Der entsprechende DOY (Day of Year) der entsprechenden Aufnahme bestimmt die Kalenderwoche der Frühjahrsblüte.</p> <p><u>Schritt 3:</u> Die für alle ausgewählten Seen ermittelte Kalenderwoche wird für alle Seen einer Ökoregion gemittelt. Es wird der Median berechnet. Für den Indikator wurden Seen und Talsperren aus den folgenden Ökoregionen berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alpen und Alpenvorland: BY: Ammersee, Starnberger See, Walchensee, Abtsdorfer See BW/BY: Bodensee • Zentrale Mittelgebirgsregion: BY: Großer Brombachsee RP: Laacher See SN: Talsperre Bautzen, Saidenbachtalsperre TH: Bleilochtalsperre • Norddeutsches Tiefland: BB: Stechlinsee BE: Großer Müggelsee HH: Alster MV: Müritz, Kummerower See NI: Steinhuder Meer SH: Großer Plöner See, Dobersdorfer See SN: Speicher Witznitz ST: Arendsee
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p>Je niedriger der Indikatorwert ist, desto früher im Jahr setzt die Frühjahrsalgenblüte ein.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Themenfeld:	Gewässerökologie (biologische Parameter)
Thematischer Teilaspekt:	Phänologie
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	<p>Die Frühjahrszirkulation transportiert nährstoffreiches Tiefenwasser an die Seeoberfläche und sauerstoffreiches Wasser in die Tiefe. Es beginnt eine Phase des Phytoplanktonwachstums (Frühjahrsalgenblüte), die dann abklingt, wenn die Nährstoffe aufgebraucht sind, die Schichtungsstabilität zunimmt bzw. starker Fraßdruck durch das Zooplankton ein Klarwasserstadium induziert. Auch erhöhte Filtrationsraten durch Muscheln können das Phytoplankton reduzieren. Zwischen Klimawandel, Eisbedeckung, Einsetzen thermischer Schichtung und Wassertemperatur (direkter Temperatureffekt eher klein) eines Sees und dem zeitlichen Eintreten der Frühjahrsalgenblüte besteht ein direkter Zusammenhang. Der Indikator zeigt die Auswirkungen des Klimawandels auf eine biologische Qualitätskomponente, der ein wichtiger Baustein in der Nahrungskette ist, und gibt Hinweise auf eutrophierungsfördernde Verhältnisse in Seen.</p> <p>Höhere Wintertemperaturen und veränderte Windgeschwindigkeiten können zu einem früheren Eintreten der Algenblüte führen, das Algenwachstum verstärken (Biomasse) und die Artenzusammensetzung in Richtung temperaturliebender Organismen (z. B. Cyanobakterien) verschieben. Das frühere Eintreten der Algenblüte und eine frühere Einschichtung des Sees können die Sauerstoffzehrung im Hypolimnion verlängern. Die dadurch durch mögliche Nährstoffrücklösung aus dem Sediment kann eutrophierend wirken.</p> <p>Die Unterteilung der klimatisch relevanten Seentypen kann grob anhand von drei Ökoregionen erfolgen: Alpen und Alpenvorland, Mittelgebirge, Norddeutsches Tiefland. Es ist zu erwarten, dass sich aufgrund der unterschiedlichen makroklimatischen Ausgangsbedingungen und der morphologischen Unterschiede der Seentypen in diesen Ökoregionen der Klimawandel unterschiedlich auf die Seen auswirken wird.</p> <p>Die Verwendung von Fernerkundungsdaten ermöglicht eine breite räumliche Abdeckung von Seen in Deutschland. Repräsentative Seen mit guter in situ-Datenbasis wurden für die Validierung des Verfahrens ausgewählt und in die drei Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland unterteilt. Das Verfahren ist auf weitere Seen ausweitbar.</p>
Einschränkungen:	<p>Aufgrund der Festlegung des Eintretens der Frühjahrsalgenblüte auf eine Kalenderwoche können Feinheiten bei der Verschiebung des Eintretens nicht herausgearbeitet werden. Eine tagesgenaue Angabe der Überflugzeit würde aber eine Pseudogenauigkeit implizieren, die nicht sachgerecht ist.</p> <p>Die zeitliche Auflösung zur Verfügung stehenden Daten ist der entscheidende Faktor für die Erkennung der Frühjahrsalgenblüte. Die Bestimmung des lokalen Maximums beruht auf validen Satellitenaufnahmen und wird durch Bewölkung, Nebel oder Eisbedeckung eingeschränkt. Die zeitlich exakte Erkennung einer Frühjahrsalgenblüte aus Satellitendaten ist daher abhängig von wolkenfreien Perioden. Das kann dazu führen, dass eine Frühjahrsalgenblüte durch wetterbedingte Einflüsse nicht erfasst wird. Das Maximum dauert meist nur wenige</p>

	Tage an und kann so zwischen zwei Aufnahmezeitpunkte fallen. Huminstoffgehalte und mineralische Trübungen können Algenpigmente überlagern.
Erläuterungen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:	<p><u>Grundlagen Gewässerfernerkundung:</u></p> <p>Entscheidend für die Gewässerfernerkundung sind alle optisch wirksamen Prozesse im Wasser, die durch Streu- und Absorptionseigenschaften des Wassers und der Wasserinhaltsstoffe hervorgerufen werden. Das resultierende spezifische Reflexionsverhalten des Wassers wird durch Satellitensensoren in verschiedenen Wellenlängen gemessen. Optisch aktive Inhaltsstoffe sind dabei Schwebstoffe (organisch und anorganisch), Chlorophyll-a in Algen und gelöste Gelbstoffe. Die Inhaltsstoffe haben jeweils spezifische optische Eigenschaften, d. h. ein charakteristisches Streu- und Absorptionsverhalten in den verschiedenen Wellenlängen. Um Frühjahrsalgenblüten zu erkennen, wird als proxy-Parameter die Chlorophyll-a Konzentration herangezogen. Voraussetzung für die Bestimmung der Chlorophyll-a Konzentration ist eine gute Atmosphärenkorrektur, sodass nur noch Informationen aus dem Wasser im Spektrum enthalten sind. Chlorophyll-a-Algorithmen nutzen häufig das Verhältnis vom blauen und grünen Wellenlängenbereich, um die Chlorophyll-a Absorption zu erfassen. Diese Verfahren sind aber nur in oligotrophen bis mesotrophen Seen anwendbar, und wenn Phytoplanktonpigmente der einzige optisch aktive Inhaltstoff sind. Sobald Schwebstoffe und vor allem Gelbstoff hinzukommen, werden die Bänder genutzt, die das sekundäre Absorptionsmaximum von Chlorophyll-a im roten Wellenlängenbereich abdecken. Hintergrund ist, dass sich das Absorptionsverhalten von Chlorophyll-a und Gelbstoff im blauen Wellenlängenbereich überlagert.</p> <p><u>Datengrundlage:</u></p> <p>Für alle Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 300 m für die Jahre 2002-2012 und 2016-2020 und einer Wiederholrate von 1-2 Tagen sowie Datenreihen mit einer Auflösung von 20 m für die Jahre 2015-2020 und einer Wiederholrate von 2-5 Tagen vor. Die zeitliche Auflösung wird zusätzlich vom Wetter am Aufnahmezeitpunkt beeinflusst und kann die zeitliche Auflösung verringern. Ziel ist es, alle verfügbaren Aufnahmesysteme in einer Zeitserie zu verwenden, sofern die Größe des betreffenden Sees dies zulässt.</p> <p><u>Validierungsarbeiten mit in situ Messungen:</u></p> <p>Zur Validierung der Chlorophyll-a Konzentration aus Satellitendaten wurden über den LAWA Expertenkreis Seen Ansprechpersonen aus Ländern und wissenschaftlichen Einrichtungen angefragt, um Messdaten aus den Monitoringprogrammen bereitzustellen. Für die Validierung wurden die Messungen ausgewählt, die am nächsten zu Oberfläche durchgeführt wurden (zumeist 0 m oder 0,5 m) und innerhalb von 1-2 Tagen vor oder nach der Satellitenaufnahme stattfanden.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (WHG)
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kap. 3.2.3:</p> <p>Eine zunehmende Erwärmung der Wasser- und Bodentemperaturen aquatischer Systeme im Sommer bewirkt beispielsweise, dass der Sauerstoffgehalt der Gewässer sinkt. Für Wassertiere und -pflanzen bedeutet das zusätzlichen Stress, denn sie leiden bereits unter einer hohen Wassertemperatur und eingeschränktem Wasservolumen. Geringe Sauerstoffgehalte und höhere Wassertemperaturen begünstigen während Niedrigwasserperioden Rücklösungen aus Sedimenten und können so einen Stoffeintrag ins Gewässer nach sich ziehen. Darüber hinaus belasten Einleitungen, beispielsweise aus Kläranlagen, aber</p>

	<p>auch diffuse Einträge wegen des verschlechterten Verdünnungsverhältnisses die Gewässer in verstärktem Maße.</p> <p>(...) das koordinierte Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet [...] erfolgt mit dem konkreten Ziel einen guten Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen.</p>
Ziele:	<p>DAS, Kap. 3.2.3: In der WRRL sollten Maßnahmen bevorzugt werden, die die natürliche Anpassungsfähigkeit der Gewässer wie auch die Lebensraum- oder Habitatvielfalt unserer Gewässer erhalten oder stärken.</p> <p>Das koordinierte Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet [...] erfolgt mit dem konkreten Ziel einen guten Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen.</p> <p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer:</p> <p>(1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass [...] ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.</p> <p>(2) Oberirdische Gewässer, die [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, sind so zu bewirtschaften, dass [...] ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.</p>
Berichtspflichten:	<p>Das Phytoplankton wird nach WRRL als biologische Qualitätskomponente für die Bewertung und Überwachung des Gewässerzustands herangezogen (s. a. Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873), Anlage 3).</p> <p>Im Rahmen ihrer Berichtspflichten gegenüber der EU (Artikel 8 und 15 WRRL), sind die Länder verpflichtet, über die Ergebnisse der Überwachung des Zustands des Gewässer zu berichten.</p>

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Fernerkundungsdaten: <ul style="list-style-type: none"> • MEdium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS); European Space Agency (ESA) • Ocean and Land Colour Instrument (OLCI); Copernicus Sentinel data processed by ESA • Multi-Spectral Instrument (MSI); Copernicus Sentinel data processed by ESA 	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Ausgewählte Seen in den drei Ökoregionen Norddeutsches Tiefland, zentrale Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 2002	
Beschränkungen:	In den Jahre 2012 bis Mai 2015 sind keine Satellitendaten vorhanden, aufgrund fehlender verwendbarer Satellitensensoren.	
Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-I-9_Daten_Fruehjahrensalgenbluete_2023.xlsx	

V Zusatz-Informationen

<p>Glossar:</p>	<p>Phytoplankton: bezeichnet die Gesamtheit der photoautotrophen, im Wasser leben planktischen Organismen, zum Beispiel Kieselalgen, Grünalgen, Goldalgen, Dinoflagellaten und Cyanobakterien.</p> <p>Zooplankton: bezeichnet die Gesamtheit der im Wasser lebenden planktischen Organismen, die keine Photosynthese betreiben, sondern sich von anderen Organismen ernähren.</p> <p>LAWA-Seetypes: Die Typologie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, Mathes et al. 2002) für die deutschen Seen umfasst 14 Seetypes mit Flächen größer 50 Hektar. Die 14 Typen werden den drei Ökoregionen Alpen und Alpenvorland, zentrale Mittelgebirge und Norddeutsches Tiefland zugeordnet. Die Typologie nutzt abiotische Kriterien: Ökoregion, Geologie und Wasserhärte, Seegröße, relative Größe des Einzugsgebietes und Schichtungsverhalten. Als erster Ansatzpunkt für die Lebensgemeinschaften wurde die Trophie berücksichtigt. (www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/seen#textpart-2)</p> <p>Wellenlängen: Die elektromagnetische Strahlung transportiert Energie in Wellenform. Die Strahlung kann durch ihre Wellenlänge und Frequenz beschrieben werden. Als Wellenlänge bezeichnet man den Abstand zwischen jeweils zwei Wellenbergen. Satellitensensoren vermessen die Energie des Lichts in ausgewählten Wellenlängenbereichen.</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Adrian R., O'Reilly C.M., Zagarese H., Baines S.B., Hessen D.O., Keller W., Livingstone D.M., Sommaruga R., Straile D., Van Donk E., Weyhenmeyer G.A., Winderl M. 2009: Lakes as sentinels of climate change. <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 54 (6, part 2): 2283–2297. www.aslo.org/lo/toc/vol_54/issue_6_part_2/2283.pdf</p> <p>Huber V., Adrian R., Gerten D. 2008: Phytoplankton response to climate warming modified by trophic state. <i>Limnology and Oceanography</i>, 53 (1): 1-13.</p> <p>IGB – Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei 2018: Seen im Klimawandel – Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung. IGB Dossier, Berlin, 11 S.</p> <p>Illies J. 1978: <i>Limnofauna Europaea</i>: Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. Stuttgart, 532 S.</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p> <p>LAWA 2006: Leitbildorientierte Bewertung von Seen anhand der Teilkomponente Phytoplankton im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Berlin, 190 S.</p> <p>Nixdorf B., Rücker J., Deneke R., Grüneberg B. 2009: Gewässer im Klimastress? Eutrophierungsgefahr in Seen am Beispiel der Scharmützelseeregion. In: <i>Forum der Forschung</i>, Nr. 22: 99-106.</p> <p>Shimoda Y, Azim M. E., Perhar, G., Ramin, M., Kenney M.A., Sadraddini S., Gundimov, A., Arhonditsis G. B. 2011: Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: What have we really learned from the north temperate deep lakes? <i>Journal of Great Lakes Research</i> 37 (1): 173-193. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.10.004</p> <p>Straile A., Adrian R. 2000: The North Atlantic Oscillation and plankton dynamics in two European lakes - two variations on a general theme. <i>Global Change Biology</i> 6: 663-670.</p>

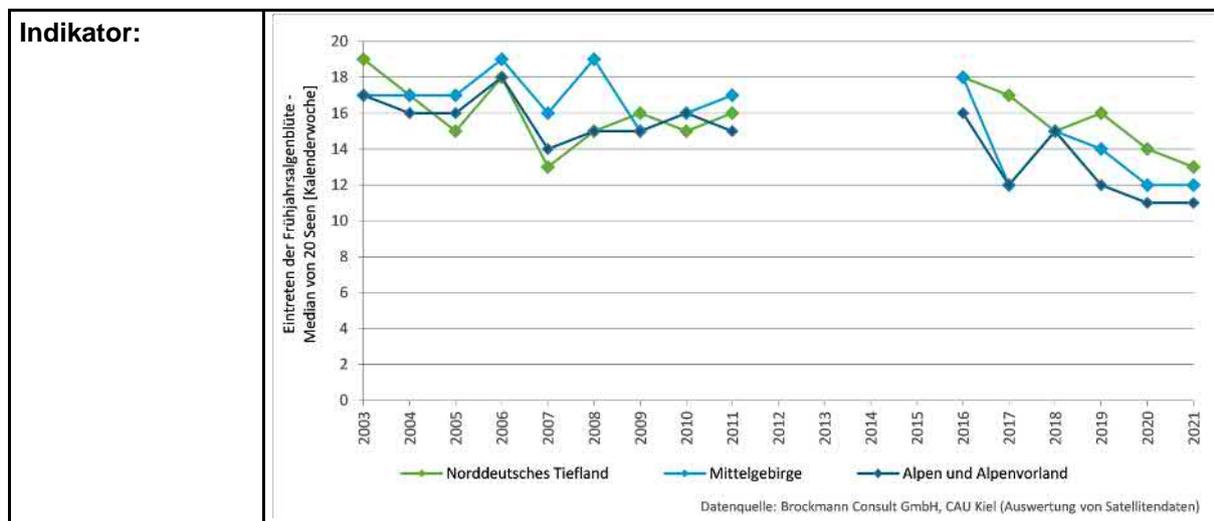
	<p>Vincent W.F. 2009: Effects of Climate Change on Lakes. Encyclopedia of Inland Waters: 55-60.</p> <p>Weyhenmeyer G. A., Adrian R., Gaedke U., Livingstone D. M., Maberly S. C. 2002: Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation. Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie 28: 1436-1439.</p> <p>Wilhelm S. & Adrian R. 2008. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake: Consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. Freshwater Biology 53: 226-237.</p> <p><u>Informationen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:</u></p> <p>Brockmann C., Doerffer R., Peters M., Kerstin S., Embacher S., Ruescas A. 2016: Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters. ESASP, 740, 54.</p> <p>Doerffer R. & Schiller H. 2007: The MERIS Case 2 water algorithm. International Journal of Remote Sensing, 28(3-4): 517-535.</p> <p>Dörnhöfer K. & Oppelt N. 2016: Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. In: Ecol. Indic. 64, S. 105–122. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.12.009.</p> <p>Gilerson A. A., Gitelson A. A., Zhou J., Gurlin D., Moses W., Ioannou I., Ahmed S. A. 2010: Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near infrared bands. Optics Express, 18(23):. 24109-24125.</p> <p>Gons H. J., Rijkeboer M., Ruddick K. G. 2005: Effect of a waveband shift on chlorophyll retrieval from MERIS imagery of inland and coastal waters. Journal of Plankton research, 27(1): 125-127.</p> <p>Odermatt D., Gitelson A., Brando V.E., Schaepman M. 2012: Review of constituent retrieval in optically deep and complex waters from satellite imagery. In: Remote Sensing of Environment 118 (2012): 116–126</p> <p>O’Reilly J.E. and (21 authors) 2000: Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series, vol.11. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses" version 4. In Hooker S. B. & Firestone E. R. (Eds.), part 3 Greenbelt, MD: NASA Goddard Space Flight Center: 9-23.</p> <p>Pitarch J., Ruiz-Verdú A., Sendra M. D., Santoleri R. 2017: Evaluation and reformulation of the maximum peak height algorithm (M PH) and application in a hypertrophic lagoon. Journal of Geophysical Research: Oceans, 122(2): 1206-1221.</p> <p>Vanhellemont Q. 2019: Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. Remote Sensing of Environment, 225; 175-192.</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	Mehrere Quellen, aus denen Daten abgerufen werden müssen
	Datenverarbeitung:	3	Satellitenbilddauswertung
	<u>Erläuterung:</u> Den Indikator basiert auf Satellitenbilddauswertungen, die spezifischen technischen Sachverstand erfordern. Die Auswertungen müssen separat beauftragt werden. Eine biologische Validierung ist notwendig.		

Datenkosten:	keine
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle
	<u>Erläuterung:</u> keine

VII Darstellungsvorschlag



Indikator-Factsheet: Wassertemperatur von Fließgewässern

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren	
Letzte Aktualisierung:	16.01.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Erstentwurf einer Fallstudie, die aber nicht in den Monitoringbericht aufgenommen wurde
	20.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Aufbau einer soliden Datenbasis und Aggregation nach Fischregionen; grundlegende methodische Neuentwicklung des Indikators
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	<p>Eine sukzessive Erweiterung der Messstellenauswahl und der Datengrundlagen ist denkbar und sollte geprüft werden. Dies gilt vor allem für die Bundesländer, die bisher noch keine Daten zugeliefert haben. Zudem können weitere detaillierte Prüfungen der anthropogenen Beeinflussung die Qualität des Indikators verbessern.</p> <p>Die Diskussion um eine Auswertung von Maximaltemperaturen und Überschreitungen kritischer Schwellenwerte der Fischverträglichkeit sollte für den Monitoringbericht 2027 wieder aufgenommen werden. In der Oberflächengewässerverordnung (OGewVO) sind in Anlage 7 „Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten“ Orientierungswerte für maximale Fließgewässertemperaturen zur Erreichung eines sehr guten und guten ökologischen Zustands zusammengestellt. Sie werden in Abhängigkeit der jeweiligen Fischgemeinschaften festgelegt. Die OGewVO wird zwar derzeit überarbeitet, die darin enthaltenen Schwellenwerte sind aber nach wie vor aktuell.</p>

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-10	Titel: Wassertemperatur von Fließgewässern
Einheit: Grad Abweichung	Kurzbeschreibung des Indikators: Indexierter Mittelwert der Wassertemperatur im Sommer 1.4. bis 31.10. differenziert für die Fischregionen Sa-ER/Sa-MR, Sa-HR, Cyp-R, EP, MP, HP
Zusatz: Grad Abweichung	Zusatz: Indexierter Mittelwert der Wassertemperatur im Winter 1.11. bis 31.03. differenziert für die Fischregionen Sa-ER/Sa-MR, Sa-HR, Cyp-R, EP, MP, HP
	Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Auswahl von Fließgewässermessstellen Auswahl von Messstellen an Fließgewässern mit möglichst langen und kontinuierlichen (mindestens monatlichen) Datenreihen und möglichst ganzjährigen

Messungen. Direkte anthropogene Beeinflussungen, die die Wassertemperatur verändern können (wie Wärmeeinleitungen aus Kraftwerken und Industrie, Einleitungen aus Kläranlagen oder von Gruben- und Sumpfungswasser oder auch Aufstau) sind möglichst auszuschließen. Ferner sollten Messstellen in Gebieten mit hoher Siedlungs- und Industriedichte möglichst ausgeschlossen werden.

Für den Indikator werden Messstellen aus den folgenden Fischregionen berücksichtigt (vgl. Abschnitt VIII.1):

- Sa-ER (salmonidengeprägte Gewässer des Epirhithrals) und Sa-MR (salmonidengeprägte Gewässer des Metarhithrals)
- Sa-HR = salmonidengeprägte Gewässer des Hyporhithrals
- Cyp-R= cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals
- EP = Gewässer des Epipotamals
- MP = Gewässer des Metapotamals
- HP = Gewässer des Hypopotamals

Arbeitsschritte für jede einzelne Messstelle:

Schritt 2: Zusammenstellung oder Berechnung der Monatswerte

Die Daten werden in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung geliefert. Insbesondere für die Pegelmessstellen müssen vor der weiteren Verarbeitung Mittelungen vorgenommen werden. Teilweise werden auch mehrere Tageswerte übermittelt. In einer externen Datei werden dann zunächst Tagesmittel berechnet. Aus den Tageswerten werden dann in einem weiteren Schritt die Monatsmittelwerte ermittelt. Monatsmittel werden nur berechnet, wenn mindestens 20 Werte vorhanden sind. Zum Umgang mit Datenlücken s. Schritt 3.

Für andere Messstellen werden bereits monatliche Mittelwerte übergeben. Diese werden direkt übernommen.

Schritt 3: Fehlertergänzung bei der Berechnung der Monatsmittel

Trotz der Fokussierung auf Messstellen mit kontinuierlichen Datenreihen ist nicht auszuschließen, dass Datenlücken auftreten. Für die Mittelwertbildung muss jedoch für jeden Monat 1 Wert in die Berechnung eingehen, um eine Gleichgewichtung der unterschiedlichen jahreszeitlichen Verhältnisse zu erreichen und eine Vergleichbarkeit zwischen den Jahren zu ermöglichen. Fehlerwerte für Monate können auf folgende Weise ergänzt werden (s. auch Abschnitt VIII.2):

- Gibt es weniger als 20 Werte für die Berechnung des Monatsmittels, wird zunächst geprüft, ob bei kurzen Datenlücken von nur 1-2 Tagen durch Interpolation die Schwelle von 20 Werten erreicht werden kann.
- Gibt es deutlich weniger als 20 Werte für die Berechnung des Monatsmittels, wird geprüft, ob es Werte in der Mitte des Monats gibt, die als Monatsmittel herangezogen werden können.

Schritt 4: Bildung des Sommer- und Wintermittels

Durchschnitt der Temperatur in der Sommersaison 1.4. bis 31.10. für jede Messstelle = Summe von 7 Monatswerten des jeweiligen Sees (aus den Schritten 2 und 3) / 7

Zusatz:

Durchschnitt der Temperatur in der Wintersaison 1.11. bis 31.03. für jede Messstelle = Summe von 5 Monatswerten des jeweiligen Sees (aus den Schritten 2 und 3) / 5

Zum Umgang mit Datenlücken s. Schritt 5.

Schritt 5: Fehlertergänzung bei der Berechnung der Saisonmittel

Es müssen bei der Saison-Mittelwertberechnung für den Sommer mindestens 7 Monatswerte, für den Winter mindestens 5 Monate zur Verfügung stehen, um

	<p>eine über die Monate ausgewogene Werteverteilung für die Mittelung sicherzustellen. Fehlt mehr als 1 Monatswert, weil nach Schritt 3 keine Fehlerergänzung möglich ist, muss die Saison für die jeweilige Messstelle für alle weiteren Schritte unberücksichtigt bleiben. Fehlt nur ein Monatswert, kann dieser aus dem letzten Wert des Vormonats (Monatsende) und dem ersten Wert des Folgemonats (Monatsbeginn) interpoliert werden. Wenn es zum betreffenden Monat Werte zum Beginn und Ende des Monats gibt, können auch diese für die Interpolation herangezogen werden.</p> <p><u>Schritt 6:</u> Indexierung der Werte</p> <p>Zur Vorbereitung der Aggregation über mehrere Messstellen müssen alle Absolutwerte indexiert werden. Dabei wird das Jahr 2017 auf „0“ gesetzt, und für alle anderen Werte wird dann die Differenz zum ursprünglichen Wert des Jahres 2017 (in Kelvin) ermittelt. Das Jahr 2017 wurde ausgewählt, weil dies das am weitesten zurückliegenden Jahr ist, in dem von allen Messstellen Daten zur Verfügung stehen. Der Indexwert wird als Grad Abweichung (Kelvin) angegeben.</p> <p>z. B. Index 2019 = Temperaturwert 2019 – Temperaturwert 2017</p> <p>Arbeitsschritte zur Aggregation:</p> <p><u>Schritt 7:</u> Mittelung der Indexierung für die Fischregionen</p> <p>Die indexierten Werte werden über alle Messstellen, die der jeweiligen Fischregion zugeordnet wurden (s. Schritte 1), gemittelt. Liegen für ein Jahr zu einer Messstelle keine Daten vor, bleibt diese Messstelle bei der Mittelung unberücksichtigt.</p>
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p>Je höher der Indikatorwert ist, desto höher ist die durchschnittliche relative Wassertemperatur in der Sommersaison in der jeweiligen Fischregion.</p> <p><u>Zusatz:</u> Je höher der Indikatorwert ist, desto höher ist die durchschnittliche relative Wassertemperatur in der Wintersaison in der jeweiligen Fischregion.</p>

II Einordnung

<p>Handlungsfeld:</p>	<p>Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft</p>
<p>Themenfeld:</p>	<p>Physikalisch-chemischer Gewässerzustand</p>
<p>Thematischer Teilaspekt:</p>	<p>Erwärmung von Gewässern, Veränderung der Eisbedeckung</p>
<p>DPSIR:</p>	<p>Impact</p>

III Herleitung und Begründung

<p>Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:</p>	<p>EEA Indikatoren zum Themenschwerpunkt Climate Change Adaptation: Water temperature – archiviert (www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-temperature-2/assessment)</p> <p>Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring NRW: Indikator 4.7 Gewässertemperatur fließender Gewässer</p> <p>Klimafolgenmonitoring Bayern (Machbarkeitsstudie): I-WW-6 Überschreitung fischverträglicher Wassertemperaturen</p> <p>Klimafolgenmonitoring Hamburg: I-WW-8 Maximale Fließgewässertemperaturen</p>
<p>Begründung:</p>	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p>

	<p>Der Klimawandel wird in den kommenden Jahrzehnten zu einer Erhöhung der Lufttemperatur führen, was sich auch auf die Wassertemperaturen insbesondere der Oberflächengewässer auswirken wird. Historische Trends zeigen schon heute eine Erwärmung von Fließgewässern und Seen. Neben der direkten anthropogenen Beeinflussung (z. B. durch Kühlwasser- und Abwassereinleitungen, die Beseitigung von Ufergehölzen und die Urbanisierung) verursacht wesentlich auch der Anstieg der Lufttemperaturen in den zurückliegenden Jahrzehnten einen Anstieg der Wassertemperaturen. Untersuchungen am Rhein haben beispielsweise gezeigt, dass sich die Wassertemperaturen – ohne Berücksichtigung der Wärmeeinleitungen – am Rhein zwischen Basel und Werkendam schrittweise erwärmen (IKSR 2014). Wassertemperaturerhöhungen stehen neben der Lufttemperatur auch im Zusammenhang mit der Wasserführung der Gewässer. Bei Niedrigwasser ist das Risiko einer übermäßigen Erwärmung aufgrund des verminderten Wasservolumens zusätzlich erhöht.</p> <p>Die für Sachsen durchgeführten systematischen Untersuchungen zu den Zusammenhängen von Veränderungen der Luft- und Wassertemperaturen ergaben eine starke Abhängigkeit. Diese konnte auch durch die nur geringe zeitliche Verschiebung der saisonalen Jahresverläufe beider Größen bestätigt werden: Bei den 23 für Sachsen ausgewerteten Pegeln war der mittlere saisonale Verlauf der Wassertemperatur im Vergleich zur Lufttemperatur um nur maximal 12 Tage verzögert. Bei der Hälfte der Pegel gab es praktisch keine zeitliche Verzögerung (Schneider et al. 2011: 41). Aus diesen Analyseergebnissen lässt sich daher schlussfolgern, dass eine alleinige Darstellung von sich verändernden Mitteltemperaturen der Fließgewässer gegenüber der Darstellung von Lufttemperaturveränderungen aller Voraussicht nach keine relevanten Zusatzkenntnisse liefern würde. Vergleichbares gilt mit Blick auf die Amplituden der saisonalen Schwankungen der Wassertemperatur. Diese sind in den größeren Flüssen des Tieflandes am größten und in den Bächen mit kleineren Einzugsgebieten am kleinsten. Zurückzuführen ist auch dies auf die Lufttemperatur, vor allem die unterschiedliche Ausprägung der Höchsttemperatur im Sommer (die Tiefsttemperatur im Winter liegt i.d.R. um die 0°C). Außerdem ist der Umfang der Speisung des Fließgewässers mit Grundwasser eine entscheidende Größe (ebd.: 41).</p> <p>Relevanz:</p> <p>Die Gewässertemperatur steuert und synchronisiert viele Lebensvorgänge im Gewässer und ist daher von besonderer Bedeutung für dessen ökologische Funktionen. Sie bestimmt unmittelbar die Lebensbedingungen von Gewässerorganismen, die zu einem erheblichen Teil wechselwarm sind. Außerdem steht die Gewässertemperatur in einem komplexen Wirkgefüge mit der Gewässerchemie, da sie viele weitere Prozesse vom Abbau organischer Substanzen und chemischer Schadstoffe, der Toxizität von Schadstoffen bis hin zur Löslichkeit von Gasen beeinflusst. Dies betrifft insbesondere den Sauerstoff: Mit steigender Temperatur sinkt die Sauerstofflöslichkeit im Wasser, die Atmungsbedingungen verschlechtern sich.</p> <p>Auswahl der Messstellen für das bundesweite Netz:</p> <p>Wassertemperaturdaten werden als Standardparameter in der Gewässerüberwachung an vielen Stellen erfasst. Anthropogene Wärmeeinleitungen (Kühlwasser, Prozesswasser, Abwässer) überlagern vielerorts jedoch die klimatisch bedingten Temperaturerhöhungen, sodass an die Auswahl der Messstandorte hohe Anforderungen zu stellen sind. Dies gilt auch für die Art der Datenerhebung. Stichprobenmessungen sind in der Regel nicht ausreichend, da sie tageszeitliche Schwankungen nicht berücksichtigen. Vor allem Höchst- oder Niedrigstwerte lassen sich auf diese Weise nicht erfassen. Die genannten Kriterien waren entscheidend für die Auswahl der berücksichtigten Messstellen.</p>
--	---

	<p>Wassertemperaturdaten aus Pegelaufzeichnungen sind nur bedingt geeignet, da die Temperatursensoren i. d. R. nicht kalibriert werden und die meist ufernahen Messpunkte nicht immer repräsentativ für das Gewässer sind (LAWA 2017: 36-37). Dennoch werden für einige Bundesländer in Ermangelung geeigneter Daten von Gütemessstellen auch Daten aus Pegelmessungen herangezogen. Durch die Indexierung der Werte ist das Problem der fehlenden Kalibrierung weniger relevant. Die Pegelmessstellen haben zudem den Vorteil, dass oftmals lange Reihen zur Verfügung stehen und die Messungen hochfrequent erfolgen.</p> <p>Auswertung der Daten:</p> <p>Der Indikator basiert auf Mittelwertbildungen differenziert für die Sommer- und die Wintersaison (Letztere wird nur als Indikator-Zusatz geführt) sowie für die unterschiedlichen Fischregionen, da davon auszugehen ist, dass sich Temperaturveränderungen in den Ober- und Unterläufen auf anderen Niveaus bewegen. Alle Messwerte werden zu Indexwerten umgeformt. Es geht im Indikator also nicht um die absoluten Niveaus der Temperaturen, sondern um die Veränderungen in der Zeit.</p>
Einschränkungen:	<p>Eine anthropogene Beeinflussung der Messstellen kann trotz Prüfung nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für einige Messstellen (vor allem die Pegelmessstellen) liegen auch (noch) keine Informationen zu möglichen Beeinflussungen vor. Da die Werte im Indikator indexiert dargestellt werden, ist der Einfluss möglicher zusätzlicher anthropogener Faktoren aber etwas abgemildert, sofern davon ausgegangen werden kann, dass die anthropogene Beeinflussung annähernd konstant wirkt.</p> <p>Mit der Indexierung und Aggregation der Werte sind nur Aussagen zur relativen Veränderung der Temperaturen möglich. Der Indikator erlaubt keine Aussagen zur Überschreitung kritischer Temperaturschwellen (z. B. Überschreitung fischverträglicher Wassertemperaturen).</p> <p>Die geographische Repräsentativität und die Repräsentativität der Flussgebiete ist für die berücksichtigten Messstellen nicht systematisch geprüft worden. Einzelne Bundesländer sind in der bisherigen Messstellenauswahl auch nicht berücksichtigt, da (noch) keine geeigneten Messstellen gemeldet werden konnten.</p> <p>Die vorgenommenen Fehlertergänzungen bringen Unschärfen in der Datengrundlage. Sie helfen aber, die Datenabdeckung zu erweitern.</p>
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (WHG)
In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS, Kap. 3.2.3: Eine zunehmende Erwärmung der Wasser- und Bodentemperaturen aquatischer Systeme im Sommer bewirkt beispielsweise, dass der Sauerstoffgehalt der Gewässer sinkt. Für Wassertiere und -pflanzen bedeutet das zusätzlichen Stress, denn sie leiden bereits unter einer hohen Wassertemperatur und eingeschränktem Wasservolumen. Geringe Sauerstoffgehalte und höhere Wassertemperaturen begünstigen während Niedrigwasserperioden Rücklösungen aus Sedimenten und können so einen Stoffeintrag ins Gewässer nach sich ziehen. Darüber hinaus belasten Einleitungen, beispielsweise aus Kläranlagen, aber auch diffuse Einträge wegen des verschlechterten Verdünnungsverhältnisses die Gewässer in verstärktem Maße.</p>
Ziele:	<p>DAS, Kap. 3.2.3: In der WRRL sollten Maßnahmen bevorzugt werden, die die natürliche Anpassungsfähigkeit der Gewässer wie auch die Lebensraum- oder Habitatvielfalt unserer Gewässer erhalten oder stärken.</p>

	<p>Das koordinierte Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet [...] erfolgt mit dem konkreten Ziel einen guten Zustand der Gewässer zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen.</p> <p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: (1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass [...] ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden. (2) Oberirdische Gewässer, die [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, sind so zu bewirtschaften, dass [...] ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.</p>
Berichtspflichten:	<p>Die Gewässertemperatur wird nach WRRL als allgemeine physikalisch-chemischen Qualitätskomponente unterstützend für die Bewertung und Überwachung des Gewässerszustands herangezogen (s. a. Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429), Anlage 3).</p> <p>Im Rahmen ihrer Berichtspflichten gegenüber der EU (Artikel 8 und 15 WRRL), sind die Länder verpflichtet, über die Ergebnisse der Überwachung des Zustands des Gewässer zu berichten.</p>

IV Technische Informationen

Datenquelle:	<p>Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU), Landesanstalt für Umwelt Bayern (LfU), Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz (SenUMVK), Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft Hamburg (BUKEA), Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG): Gewässergütemessstellen</p> <p>Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) – Landeshochwasserzentrale, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW): Temperaturmessungen im Pegelmessnetz</p>	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS 0 (differenziert in Fischregionen)
Geographische Abdeckung:	derzeit Messstellen aus allen Bundesländern außer Bremen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 1971	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheets:	<p>WW-I-11_Daten_alle_Wassertemperatur_Fluesse.xlsx</p> <p>Für die Vorbereitung der Daten der Bundesländer werden jeweils länderspezifische Datenblätter angelegt, da die Datenmengen für die Zusammenfassung in einem einzigen Daten-Factsheet zu groß sind. Die Berechnungsergebnisse werden dann in das zusammenfassende Daten-Factsheet übertragen.</p>	

V Zusatz-Informationen

<p>Glossar:</p>	<p>Fischregionen: Fischregionen sind nach ökologischen Gesichtspunkten – im Wesentlichen nach dem Vorkommen charakteristischer Fischarten (Leitfischarten) – bestimmte Zonen von Fließgewässern (von Bächen, Flüssen und durchflossenen Seen), die sich von der Quelle bis zum Meer anordnen.</p> <p>Die Forellenregion befindet sich in der Regel am Oberlauf eines Fließgewässers. Es herrscht eine sehr starke Strömung, dadurch wird das Wasser über Kies und größere Steine umgewälzt und mit Sauerstoff angereichert. Die Wassertemperatur steigt selten über 10 °C. Der Grund besteht aus Felsgestein, Geröll und Grobkies. Leitfischart ist die Bachforelle. Sie ist mit Groppe, Elritze und Bachneunauge vergesellschaftet. Die Forellenregion unterteilt sich in das Epirhithral (Sa-EP, obere Forellenregion) und das Metarhithral (Sa-MP) untere Forellenregion).</p> <p>In der Äschenregion (Sa-HP, Hyporhithral) gibt es immer noch eine starke Strömung. Der Sauerstoffgehalt ist hoch, aber der Pflanzenbewuchs ist intensiver als in der Forellenregion. Die Wassertemperatur steigt hier schon bis 15 °C. Der Untergrund besteht aus Geröll und grob- bis feinkörnigem Kies. Leitfischart ist die Äsche, die mit Nase, Gründling, Schneider, Döbel, Quappe, Meerforelle, Lachse und Huchen (Donauraum) vergesellschaftet ist.</p> <p>In der Barbenregion (EP, Epipotamal) beträgt die Wassertemperatur in der Regel um die 15 °C. Der Grund besteht aus grobkörnigem Sand und feinkörnigem Kies. Die Fließgewässer werden breiter und die Strömung ist schwächer. Der Sauerstoffgehalt schwankt und ist geringer als in der Äschenregion. Die Uferzone ist vegetationsreich (teilweise mit Schilfgürteln). Leitfischart ist die Barbe. Sie ist mit Aland, Rapfen, Lachs und Streber (Donaugebiet), Hasel, Zährte, Rotaugen, Rotfeder und Brachse sowie Wels und Stör vergesellschaftet. Teilweise können auch schon Flussbarsch, Hecht, Zander und Aal vorkommen.</p> <p>Die Brachsenregion (Metapotamal, MP) ist die artenreichste Fischregion und liegt am Unterlauf eines Flusses. Die Temperaturen können im Sommer bis 20 °C steigen, im Winter kann der Fluss zufrieren. Der Pflanzenbewuchs ist sehr üppig und der Untergrund besteht aus feinem Sand, teilweise lagert sich Schlamm ab. Der Sauerstoffgehalt ist niedrig. Leitfisch ist die Brachse (auch Blei genannt). Sie ist vergesellschaftet mit Güster, Zander, Flussbarsch, Rotfeder, Rotaugen, Schleie, Aal und Hecht. Auch Wildkarpfen, Karausche, Ukelei, Stör und Wels sind anzutreffen.</p> <p>Die Kaulbarsch-Flunder-Region (Hypopotamal, HP) zählt bereits zum Brackwasserbereich und ist die letzte Fischregion. Durch ihre Lage im Mündungsdelta zum Meer ist sie bereits im Einflussbereich von Ebbe und Flut. Die Temperaturen können im Sommer auch über 20 °C ansteigen. Der Untergrund besteht aus feinem Sand, Kies und Schlamm. Der Sauerstoffgehalt ist je nach Gezeiten unterschiedlich. Leitfischart ist der Kaulbarsch, vergesellschaftet mit Flunder, Meeräsche, Stör und Aal. Zudem kommen der Dreistachelige Stichling und alle Fische der Brachsenregion vor.</p> <p>https://de.wikipedia.org/wiki/Fischregion nach Huet 1949</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>BAFU – Bundesamt für Umwelt & MeteoSchweiz – Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie 2013: Klimaänderung in der Schweiz – Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Bern, 86 S.</p> <p>Huet M. 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 11: 332-351.</p> <p>IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins 2014: Abschätzungen der Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung zukünftiger Rheinwassertemperaturen auf Basis von Klimaszenarien – Kurzbericht. IKSR Bericht Nr. 213, 6 S.</p>

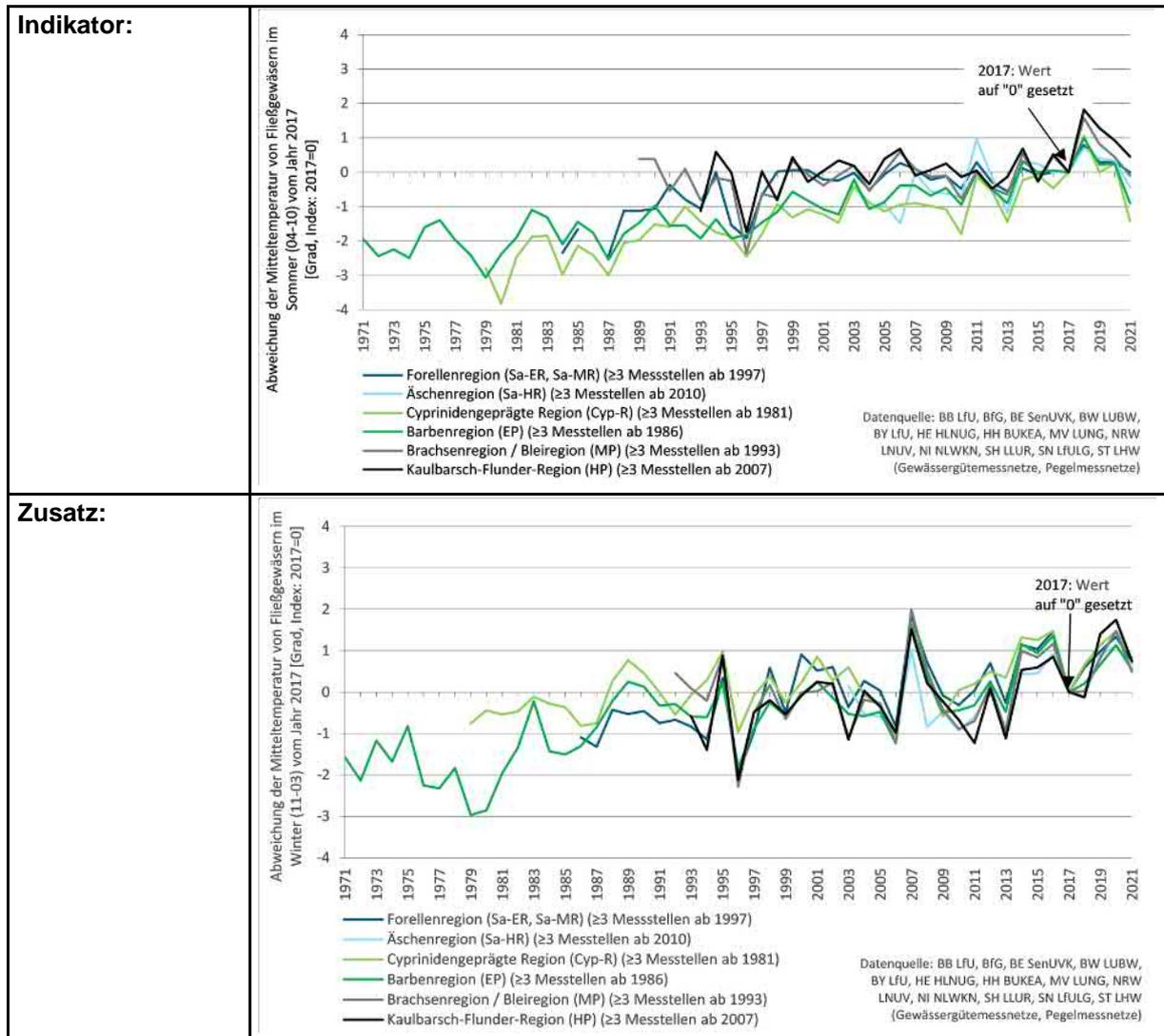
	<p>IKSR 2013a: Darstellung der Entwicklung der Rheinwassertemperaturen auf der Basis validierter Temperaturmessungen von 1978 bis 2011. IKSR Bericht Nr. 209, 28 S.</p> <p>IKSR 2013b: Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven. IKSR Bericht Nr. 204, 35 S.</p> <p>Institut für Binnenfischerei e.V. (Hrsg.) 2008: Temperatur- und Sauerstofftoleranz ausgewählter Wanderfischarten der Elbe. Potsdam, 43 S.</p> <p>LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2016): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016. LANUV-Fachbericht 74, Recklinghausen, 103 S.</p> <p>LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p> <p>LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt 2017: Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung – Machbarkeitsstudie. UmweltSpezial, Augsburg, 66 S.</p> <p>LfU (Hrsg.) 2016: Niedrigwasser in Bayern. Grundlagen, Veränderung und Auswirkungen. Augsburg, 244 S.</p> <p>Löser R., Schneider P., Gottschalk N., Ihling H., Kuhn K., Spänhoff B. 2011: Wassertemperaturen und Klimawandel. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hrsg.), Schriftenreihe, Heft 39/2011, 113 S.</p> <p>Reinartz R. 2007: Auswirkung der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns. Literaturstudie im Auftrag des Bayerisches Landesamtes für Umwelt Referat 57/Gewässerökologie. Büro für Fischereifragen und Gewässerökologie, unveröffentlichter Bericht.</p> <p>Schneider P., Löser R., Gottschalk N., Spänhoff B. 2011: Auswertung und Darstellung der Zusammenhänge zwischen Klima- und Wassertemperaturdaten. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hrsg.), Schriftenreihe, Heft 40/2011, 87 S.</p> <p>Spänhoff B. 2011: Auswirkung des projizierten Klimawandels auf die Wassertemperaturen sächsischer Fließgewässer – Ergebnisse zweier FuE-Vorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/8_Dr._Spaenhoff_2012-06-28.pdf</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	3	mehrere datenhaltende Institutionen; Daten müssen von den einzelnen datenhaltenden Institutionen individuell abgefragt werden
	Datenverarbeitung:	3	Datensätze müssen weiter verarbeitet werden.
	<u>Erläuterung:</u> Datensätze müssen individuell ausgewertet werden; die Formeln hierfür sind angelegt, aber vor allem die differenzierte Fehlwertprüfung und -ergänzung sind aufwändig. Die Daten der Bundesländer müssen in separaten Datenblättern abgelegt werden und dann in das Gesamtdokument übertragen werden.		

	Für die Aktualisierung des Indikators ist mit einem Aufwand von ca. 1 Arbeitswoche auszugehen, sofern das Messstellennetz identisch bleibt. Mit Veränderungen des Messnetzes steigt der Aufwand.
Datenkosten:	keine
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle
	<u>Erläuterung:</u> keine

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

VIII.1 Anlagen – Messstellen

Die nachstehende Tabelle ordnet die im Indikator berücksichtigten Messstellen den Fischregionen zu und ermöglicht einen Überblick über die Verteilung der Messstellen zu den Fischregionen. Zudem ist in der Tabelle verzeichnet, für welche Messstellen die anthropogene Beeinflussung geprüft worden ist. Die darunterliegende Abbildung zeigt die Verteilung der Messstellen im Bundesgebiet.

	geprüft und weitergehend ausgeschlossen oder unter den vorhandenen Messstellen die am wenigsten beeinflussten
	geprüft, aber teilweise relevante anthropogene Beeinflussungen
	nicht geprüft, bisher keine Aussage

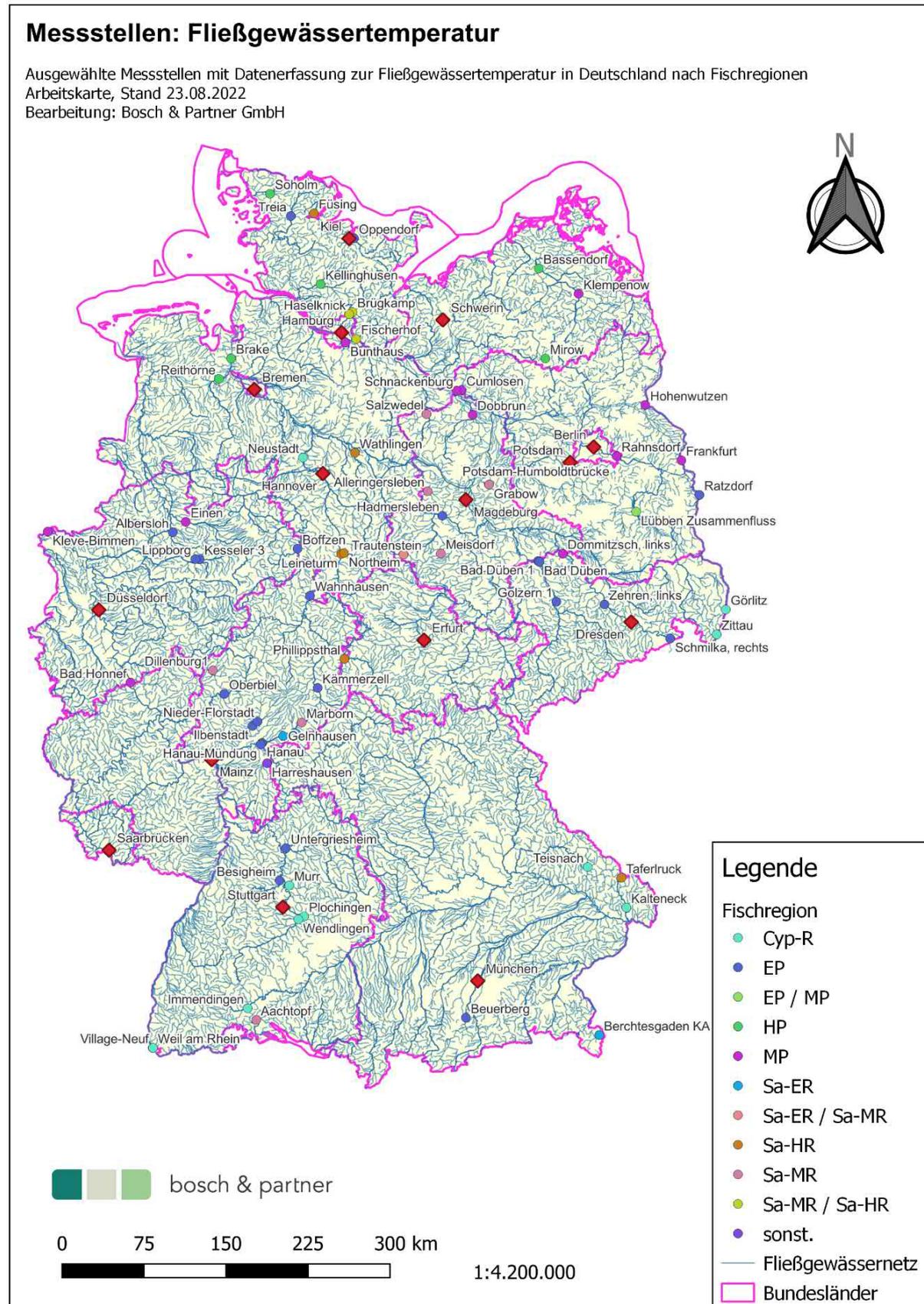
Bundesland	Messstellentyp		Fischregion						
	Gütemessstelle	Pegel	Sa-MR Sa-ER	Sa-HR	Cyp-R	EP	MP	HP	N.N.
Baden-Württemberg	8	-	1		5	2			
Ba-Wü BfG	2	-			2				
Bayern	5	-	1	1	2	1			
Berlin	1	-					1		
Brandenburg	5	1				2	4		
Bremen	-	-							
Hamburg	4	-		3			1		
Hessen	3	s.u.				3			
Hessen ¹⁾	s.o.	12	4	1		6			1
Mecklenburg-Vorpommern	-	3					1	2	
Niedersachsen	7			3		1	1	2	
Nordrhein-Westfalen ³⁾	2	3							
NRW Lippeverband ²⁾	1	-				1			
Rheinland-Pfalz	-	-							
Saarland	-	-							
Sachsen	5	3			2	5	1		
Sachsen-Anhalt	-	7	5			1	1		
Schleswig-Holstein	-	5		1		2		2	
Thüringen	-	-							
gesamt	43	34	11	9	11	24	10	6	1

¹⁾ Nur Pegel, die Daten ab 2010 und früher liefern, wurden berücksichtigt.

²⁾ Kontrollstationen der Emscher-Genossenschaft / Lippeverband; 1 zusätzliche Station liefert ab 2019, eine weitere ab 2022 Daten

³⁾ Für Pegel nur geringe Beeinflussung des Abflussgeschehens geprüft, keine Prüfung auf Wärmeeinleitungen

Lage der ausgewählten Fließgewässertemperaturmessstellen nach Fischregion:



VIII.2 Anlagen – Fehlwertergänzungen

- Fall 1: Fehlwertergänzungen zur Erreichung von mindestens 20 Messwerten pro Monat

Gibt es weniger als 20 Werte für die Berechnung des Monatsmittels, wird zunächst geprüft, ob bei kurzen Datenlücken von nur 1-2 Tagen durch Interpolation die Schwelle von 20 Werten erreicht werden kann.

5	31.05.1995	1995	20,53	
6	01.06.1995	1995	19,99	Wert interpoliert
6	02.06.1995	1995	19,45	
6	03.06.1995	1995	18,99	
6	04.06.1995	1995	19,38	
6	05.06.1995	1995	19,95	
6	06.06.1995	1995	20,07	
6	07.06.1995	1995		
6	08.06.1995	1995		
6	09.06.1995	1995		
6	10.06.1995	1995		
6	11.06.1995	1995		
6	12.06.1995	1995		
6	13.06.1995	1995		
6	14.06.1995	1995		
6	15.06.1995	1995		
6	16.06.1995	1995		
6	17.06.1995	1995	17,12	
6	18.06.1995	1995	17,25	
6	19.06.1995	1995	17,39	
6	20.06.1995	1995	18,33	
6	21.06.1995	1995	19,12	
6	22.06.1995	1995	18,84	
6	23.06.1995	1995	18,18	
6	24.06.1995	1995	17,99	
6	25.06.1995	1995	18,45	
6	26.06.1995	1995	19,01	
6	27.06.1995	1995	19,85	
6	28.06.1995	1995	20,31	
6	29.06.1995	1995	21,11	
6	30.06.1995	1995	21,71	

- Fall 2: Fehlwertergänzungen zur Ermittlung eines Monatsmittels bei deutlich weniger als 20 Messwerten pro Monat

Gibt es deutlich weniger als 20 Werte für die Berechnung des Monatsmittels, wird geprüft, ob es Werte in der Mitte des Monats gibt, die als Monatsmittel herangezogen werden können.

1	01.01.2003	2003		
1	02.01.2003	2003		
1	03.01.2003	2003		
1	04.01.2003	2003		
1	05.01.2003	2003		
1	06.01.2003	2003		
1	07.01.2003	2003		
1	08.01.2003	2003		
1	09.01.2003	2003		
1	10.01.2003	2003		
1	11.01.2003	2003		
1	12.01.2003	2003		
1	13.01.2003	2003		
1	14.01.2003	2003		
1	15.01.2003	2003	3,7	Wird als Monatsmittel genutzt
1	16.01.2003	2003	3,79	
1	17.01.2003	2003	3,63	
1	18.01.2003	2003	3,48	

1	19.01.2003	2003	3,74
1	20.01.2003	2003	4,57
1	21.01.2003	2003	5,21
1	22.01.2003	2003	5,03
1	23.01.2003	2003	4,98
1	24.01.2003	2003	5
1	25.01.2003	2003	4,24
1	26.01.2003	2003	3,54
1	27.01.2003	2003	4,33
1	28.01.2003	2003	5,11
1	29.01.2003	2003	4,82
1	30.01.2003	2003	4,16
1	31.01.2003	2003	3,34

- Fall 3: Fehlwertergänzungen zur Ermittlung eines Monatsmittels bei fehlenden oder nur einzelnen Messwerten pro Monat

Fehlt nur ein Monatswert (in Folge), kann dieser aus dem letzten Wert des Vormonats (Monatsende) und dem ersten Wert des Folgemonats (Monatsbeginn) interpoliert werden. Wenn es zum betreffenden Monat Werte zum Beginn und Ende des Monats gibt, können auch diese für die Interpolation herangezogen werden. Ferner kann ein einzelner Messwert in der Mitte des Monats als Monatsmittel angenommen werden.

8	31.08.2009	2009	16,28
9	01.09.2009	2009	16,64
9	02.09.2009	2009	17,45
9	03.09.2009	2009	17,06
9	04.09.2009	2009	16,32
9	05.09.2009	2009	15,42
9	06.09.2009	2009	14,95
9	07.09.2009	2009	14,93
9	08.09.2009	2009	14,77
9	09.09.2009	2009	
9	10.09.2009	2009	
9	11.09.2009	2009	
9	12.09.2009	2009	
9	13.09.2009	2009	
9	14.09.2009	2009	
9	15.09.2009	2009	
9	16.09.2009	2009	
9	17.09.2009	2009	
9	18.09.2009	2009	
9	19.09.2009	2009	
9	20.09.2009	2009	
9	21.09.2009	2009	
9	22.09.2009	2009	
9	23.09.2009	2009	
9	24.09.2009	2009	
9	25.09.2009	2009	
9	26.09.2009	2009	
9	27.09.2009	2009	
9	28.09.2009	2009	
9	29.09.2009	2009	
9	30.09.2009	2009	15,15
10	01.10.2009	2009	15,07

Monatsmittel wird aus dem ersten und letztem Monatswert interpoliert

Indikator-Factsheet: Küstenmorphologie

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Maximilian Gabriel) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Bearbeitet in Zusammenarbeit mit der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren: Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU MM), Abteilung Küste (Knut Sommermeier)	
Letzte Aktualisierung:	26.05.2022	Bosch & Partner GmbH (Maximilian Gabriel) Ersterstellung des Indikators
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung von Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung
Nächste Fortschreibung:	nach 2023	Es gilt, weitere Datengrundlagen zu erschließen, um zukünftig auch Aussagen zu anderen Küstentypen oder zur Nordseeküste zu ermöglichen. Aktuell liegen aus anderen Bundesländern oder zu weiteren Küstenabschnitten keine Daten in einer ähnlich hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung wie zur Fallstudie in Mecklenburg-Vorpommern vor. In Schleswig-Holstein wird aber an einer Pilotstudie gearbeitet, aus der sich möglicherweise eine Erweiterung der Fallstudie für den nächsten Monitoringbericht ableiten lässt.

I Beschreibung

Interne Nr. KM-I-4	Titel: Küstenmorphologie
	Fallstudie für einen repräsentativen Küstenabschnitt auf dem Fischland in Mecklenburg-Vorpommern
Einheit: cm	Kurzbeschreibung des Indikators: Durchschnittliche jährliche Küstenerosion entlang eines 3 km langen repräsentativen Steilküstenabschnitts an der Ostsee gemessen am Rückgang der Kliffoberkante
	Berechnungsvorschrift: <u>1. Schritt:</u> Überführung der Befliegungsdaten in eine GIS-Software, anschließend Extraktion der Küstenlinien (Kliffoberkante) derjenigen zwei Jahre, die den jeweiligen Jahresschritt begrenzen <u>Schritt 2:</u> Polygonisierung der Zwischenräume zwischen den beiden Küstenlinien <u>Schritt 3:</u> Manuelle Löschung von Polygonen, die durch Messfehler einen vermeintlichen Zuwachs an der Kliffoberkante bedeuten <u>4. Schritt:</u> Ermittlung des Gesamtabtrags durch Summieren der Fläche aller verbleibenden Polygone <u>5. Schritt:</u> Bildung des Quotienten aus ermitteltem Gesamtabtrag und Länge der (pro Jahresschritt jeweils kürzeren) Küstenlinie

Interpretation des Indikatorwerts:	Je höher der Indikatorwert ist, desto höher ist die durchschnittliche Küstenerosion entlang des ausgewählten Küstenabschnitts gegenüber dem jeweiligen Vorjahr.
---	---

II Einordnung

Handlungsfeld:	Küsten- und Meeresschutz
Themenfeld:	Küste, Wattenmeere, Ästuare
Thematischer Teilaspekt:	Veränderung der Topographie, Morphodynamik und des Sedimenthaushalts an der Küste und in Ästuaren
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein (in Vorbereitung): Mittlerer jährlicher Rückgang der Steiluferoberkante, Fallstudie Brodtener Ufer – Indikator bisher nur im Entwurf
Begründung:	<p>Die deutsche Ostseeküste ist geprägt von einem Wechsel aus morphologisch unterschiedlichen, zumeist aus Lockergestein aufgebauten Flach- und Steilküstenabschnitten. Die langfristige Entwicklung der Küstenlinie basiert auf einem komplexen System aus natürlichen Erosions-, Abrasions-, Verfrachtungs- und Akkumulationsprozessen. Diese werden maßgeblich von einem windinduzierten Energieeintrag durch Seegang und daraus resultierenden Strömungen gesteuert (Schwarzer et al. 2000). Insbesondere an den Steilküsten der Ostsee tragen auch Starkniederschläge und Frost-Tau-Wechsel zur Küstenerosion bei. Weltweit stehen die Küstenregionen unter zunehmendem Druck. Dieser geht einerseits von einer immer intensiveren Nutzung der Küsten durch den Menschen aus, beispielsweise für touristische Zwecke, andererseits trägt der Klimawandel zu einer wachsenden Gefährdung der Küstenregionen bei. Die klimatischen Veränderungen wirken sich dabei direkt auf den natürlichen Prozess der Küstenerosion aus. Insbesondere Extremwetterereignisse wie Starkregenfälle oder Stürme bzw. Sturmfluten, die im Zuge des Klimawandels häufiger und mit einer höheren Intensität auftreten, können zu morphologischen Veränderungen führen. Besonders betroffen sind dabei sandige Flachküstenabschnitte und Steilküsten aus Lockergestein. Der globale Anstieg des Meeresspiegels fördert den Materialabtrag auf lange Sicht zusätzlich (IPCC 2021, Weisse et al. 2021, Schumacher 2008).</p> <p>Die Erosion an Steilküsten folgt einem zyklischen Muster: Zunächst kommt es zum Abtrag der vorgelagerten Kliffhalde. Wird anschließend weiteres Material vom Kliffuß erodiert, entsteht eine Hohlkehle. Aufgrund des daraus resultierenden Überhangs und der Instabilität des Kliffs sind Abbrüche und Rutschungen mit Bildung einer neuen Kliffhalde die Folge. Im Rahmen dieses kontinuierlichen und zyklischen Prozesses verlagert sich die Kliffoberkante über die Zeit landeinwärts. Unter extremen Bedingungen, beispielsweise bei Sturmfluten, und den entsprechend schnelleren und intensiveren Abtragungsprozessen, kommt es unter diesen Bedingungen auch entsprechend schneller und häufiger zu Rückverlagerungen der Kliffoberkante.</p> <p>Entlang der Ostsee beklagen zahlreiche Gemeinden eine Verschiebung von Stränden und den verstärkten Rückgang der Küste durch den intensiveren Abtrag (Koerth & Sterr 2012). Die Veränderung und der Rückgang der Küste bedeuten für die Ostseeanrainer wirtschaftliche Risiken. Vielfach sind die betroffenen Gemeinden auf eine touristische Nutzung der Küsten ausgerichtet und in</p>

	<p>hohem Maße von einer intakten und sicheren Küste für eine dauerhafte Nutzung abhängig. Zudem kann der Rückgang zu massiven Standortproblemen führen und eine Gefahr für die küstennahe Infrastruktur darstellen. Auch als Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten gehen die abgetragenen Strukturen verloren. Eine Verlagerung touristischer Aktivität infolge der veränderten Küstenlinie in bisher touristisch ungenutzte Bereiche kann darüber hinaus Lebensräume für seltene Arten bedrohen (Schumacher 2008).</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Der Indikator bildet als Fallstudie nur einen kleinen Ausschnitt der deutschen Küstenlinie ab. Zwar handelt es sich bei dem ausgewählten Küstenabschnitt um einen repräsentativen Steilküstenbereich, der aufgrund seiner fehlenden Uferbefestigungen die natürlichen und klimatisch beeinflussten Erosionsprozesse gut abbildet. Dennoch lässt er nur bedingt Rückschlüsse auf den Küsterrückgang an anderen Küstentypen oder an der Nordsee zu.</p> <p>Die Befliegung des ausgewählten Küstenabschnitts erfolgt nicht standardisiert. Durch eine Aufnahme, die zwar stets in dieselbe Saison fällt, aber nicht taggleich erfolgt, sind die einzelnen Jahresschritte nicht exakt von gleicher Dauer. Zudem unterscheidet sich die Länge des aufgenommenen Küstenabschnitts von Jahr zu Jahr um einige Meter. Potenziell sehr stark oder weniger stark erodierende Küstenbereiche an den Enden des Küstenabschnitts werden so möglicherweise nicht in jedem Jahr berücksichtigt. Dies kann sich auf den durchschnittlichen jährlichen Abtrag auswirken und die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Jahren verringern.</p> <p>Die Erhebung der Daten ist durch technisch bedingte Ungenauigkeiten bei der Befliegung mit Fehlern behaftet. Dadurch kommt es zu Überschneidungen der aufgezeichneten Linien, die zum Teil einen Küstenzuwachs an der Kliffoberkante anzeigen. Diese Bereiche müssen aus der Analyse ausgeschlossen werden. Die technischen Ungenauigkeiten bei der Datenerhebung sowie bei der Analyse in der GIS-Software reduzieren die Gesamtgenauigkeit des Indikators.</p> <p>Die Entwicklung der Küstenerosion kann wesentlich durch anthropogene Gegenmaßnahmen wie Sandvorspülungen beeinflusst werden. Dies ist bei der Interpretation der Zeitreihe zu berücksichtigen.</p>
<p>Erläuterungen zur Fallstudie:</p>	<p>Grundlage für die Fallstudie sind Laserbefliegungsdaten zu einem rund drei Kilometer langen Küstenabschnitt auf dem Fischland in Mecklenburg-Vorpommern. Bei dem ausgewählten Abschnitt handelt es sich um eine Steilküste zwischen den Gemeinden Wustrow und Ahrenshoop. Der Küstenabschnitt ist nicht mit Schutzanlagen ausgerüstet und touristisch wenig genutzt. Dadurch ist er besonders repräsentativ für natürliche Erosions- und Rückverlagerungsprozesse, die infolge des Klimawandels in besonderer Weise angetrieben werden. Er hat zudem – aufgrund der dort stattfindenden Materialverlagerungen – große Bedeutung für den Küstenschutz der benachbarten Küstenabschnitte. Die Befliegungen finden im Herbst und – mit einigen Ausnahmen zu Beginn der Zeitreihe – jährlich statt.</p> <p><u>Perspektiven für eine bundesweite Darstellung des Indikators:</u></p> <p>Zukünftig könnte die Fallstudie durch Berücksichtigung weiterer Küstenabschnitte zu einem bundesweiten Indikator ausgebaut werden. Relevant ist dabei nicht nur die Betrachtung weiterer Steilküstenabschnitte, beispielsweise auch an der Nordsee, sondern auch anderer Küstentypen entlang der deutschen Nord- und Ostseeküste. Voraussetzung für die Ausweitung der Fallstudie sind verlässliche Daten mit jährlicher Aktualisierung. Derzeit lässt sich die Datenverfügbarkeit noch schwer einschätzen. Möglicherweise können aus Schleswig-Holstein Daten bereitgestellt werden. Von Interesse ist dabei beispielsweise der aktuell im Zuge des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holstein in der Entwicklung befindliche Indikator zum mittleren jährlichen Rückgang der Steiluferoberkante am Brodtener Ufer. Außerdem werden auch in Mecklenburg-Vorpommern an weiteren Küstenabschnitten Befliegungen durchgeführt.</p>

<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken 2007 (EU-HWRM-RL) • Nationale Strategie für ein Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) (BMU 2006) • Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013 (MKRO 2013), beschlossen von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 06.02.2013
<p>In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen</p>	<p>Kap. 3.2.3: Häufigkeit und Höhe von Sturmfluten könnten zunehmen.</p> <p>Kap. 3.2.14: Der Anstieg des Meeresspiegels und der damit verbundene Anstieg des Grundwasserspiegels sowie die Zunahme der Küstenerosionstendenzen erfordern zusätzliche Anstrengungen beim Schutz der Küstengebiete und begründen wesentliche neue Gesichtspunkte für die Entwicklung der Küstenlandschaften.</p> <p>Kap. 3.2.5: Negative Folgen werden besonders für [...] solche Arten erwartet, die auf Gewässer und Feuchtgebiete oder kleinräumige Sonderstandorte spezialisiert sind. Denn diese Lebensräume bieten z. T. keine Ausweichmöglichkeiten bei Klimaveränderungen. Sie könnten besonders gravierenden Veränderungen durch den Klimawandel unterliegen, z. B. [...] den Meeresspiegelanstieg. Das sensible Ökosystem Wattenmeer könnte stark gefährdet sein, wenn durch dauerhafte Überflutung und Erosion Lebensräume verloren gingen.</p>
<p>Ziele:</p>	<p>DAS 2008:</p> <p>Kap. 3.2.14: An der Küste und auf den Inseln sind die raumordnerischen Voraussetzungen zu schaffen, um den Schutz gegen zunehmende Sturmflut- und Hochwasserrisiken auch zukünftig nach Möglichkeit zu gewährleisten.</p> <p>EU-HWRM-RL 2007:</p> <p>Art 7.1.: Auf der Grundlage der Karten nach Artikel 6 erstellen die Mitgliedstaaten auf Ebene der Flussgebietseinheiten oder Bewirtschaftungseinheiten (nach Artikel 3 Absatz 2 Buchstabe b) für die Hochwasserrisikogebiete (nach Artikel 5 Absatz 1 sowie nach Artikel 13 Absatz 1 Buchstabe b) koordinierte Hochwasserrisikomanagementpläne (im Einklang mit den Absätzen 2 und 3 des vorliegenden Artikels).</p> <p>Art 7.3.: Die Hochwasserrisikomanagementpläne umfassen Maßnahmen zur Erreichung der gemäß Absatz 2 festgelegten Ziele und beinhalten ferner die in Teil A des Anhangs beschriebenen Bestandteile. Die Hochwasserrisikomanagementpläne erfassen alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements, wobei der Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge, einschließlich Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen, liegt, und die besonderen Merkmale des betreffenden Einzugsgebietes bzw. Teileinzugsgebietes berücksichtigt werden. Die Unterstützung nachhaltiger Flächennutzungsmethoden, die Verbesserung des Wasserrückhalts und kontrollierte Überflutungen bestimmter Gebiete im Falle eines Hochwasserereignisses können ebenfalls in die Hochwasserrisikomanagementpläne einbezogen werden.</p> <p>IKZM 2006:</p> <p>S. 6f.: Die Empfehlung sieht vor, dass die Mitgliedstaaten unter Berücksichtigung der Strategie für nachhaltige Entwicklung und des Beschlusses des Europäischen Parlaments und des Rates über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft bei dem Management ihrer Küstengebiete einen strategischen Ansatz verfolgen, [...] der eine Vorsorge in Hinblick auf die den Küstengebieten infolge der Klimaänderungen drohenden Gefahren gewährleistet.</p> <p>MKRO 2013:</p>

	Kap. 3.2: Das Handlungskonzept identifiziert folgende Handlungsbedarfe: Sicherung des Raumbedarfs für Kleientnahmestellen und marine Sandentnahmestellen für Küstenschutz Zwecke, Freihaltung von Bereichen vor und hinter Küstenschutzanlagen von konkurrierenden Nutzungen, Freihaltung von Pufferzonen an ungeschützten Erosionsküsten, Festlegung von überflutungsgefährdeten Bereichen hinter Küstenschutzanlagen, Anpassung von Infrastruktur an den Katastrophenschutz, Nutzungsregelungen in besonders tief liegenden Gebieten, Risikominimierung in nicht ausreichend sturmflutgeschützten Gebieten, Risikokommunikation, Entwicklung und Erprobung von Zukunftsstrategien.
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg: Laserbefliegung des ausgewählten Küstenabschnitts	
Räumliche Auflösung:	Liniendaten	nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Steilküstenabschnitt zwischen Wustrow und Ahrenshoop in Mecklenburg-Vorpommern	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, keine Daten für 2008 bis 2011 sowie 2014	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheets:	KM-I-4_Kuestenerosion.xlsx	

V Zusatz-Informationen

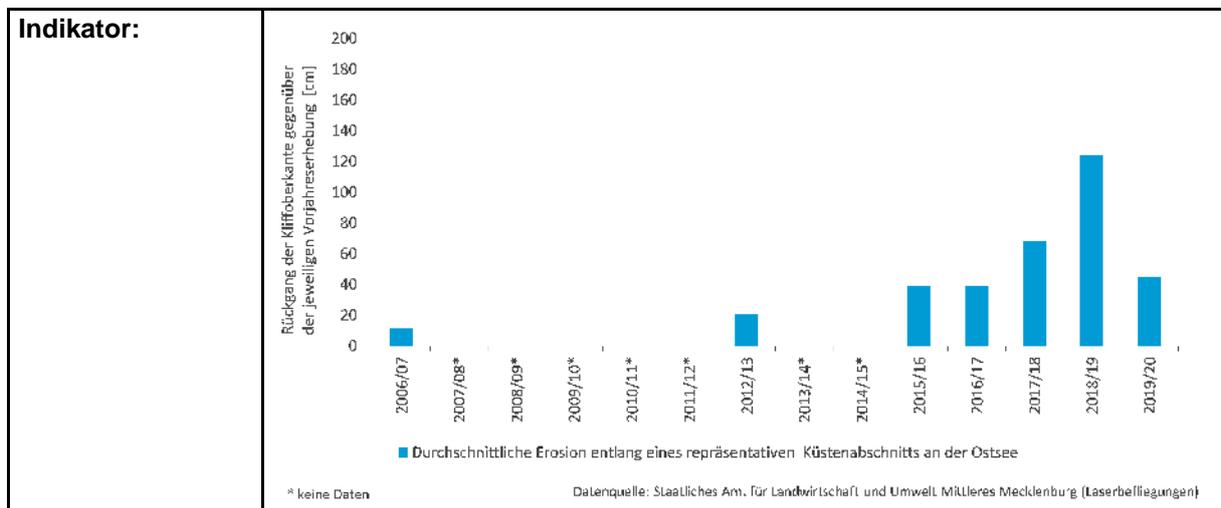
Glossar:	<p>Abrasion: Abtrag an Küsten und Ufern durch die schleifende Wirkung von lockerem Material, das durch die Einwirkung des Wassers in Bewegung versetzt wird</p> <p>Akkumulation: Ablagerung und Anhäufung von Material bzw. Sediment</p> <p>Kliffhalde: Menge von herabgestürztem und noch nicht durch Abrasion abgetragenem Gesteinsschutt am Klifffuß</p>
Weiterführende Informationen:	<p>IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.</p> <p>Koerth R. & Sterr H. 2012: Ostseegemeinden im Klimawandel – Interviews mit Gemeindevertretern im Klimabündnis Kieler Bucht. RADOST-Berichtsreihe, Bericht Nr. 12, 20 S.</p> <p>Schumacher S. 2008: Sandstrände der deutschen Ostseeküste – Gefährdung, Schutz und Ökologie der Wirbellosen. IKZM-Oder Berichte, Bericht Nr. 53, 150 S.</p> <p>Schwarzer K., Schrottke P., Stoffers P., Kohlhase S., Fröhle P., Fittschen T., Mohr K., Riemer J., Weinhold H. 2000: Einfluss von Steiluferabbrüchen an der Ostsee auf die Prozessdynamik angrenzender Flachwasserbereiche. – Abschlussbericht. Kiel (Inst. f. Geowissenschaften), 209 S.</p>

	Weisse R., Dailidienė I., Hünicke B., Kahma K., Madsen K., Omstedt A., Parnell K., Schöne T., Soomere T., Zhang W., Zorita E. 2021: Sea level dynamics and coastal erosion in the Baltic Sea region. In: Earth System Dynamics, Heft 12, 871–898, https://doi.org/10.5194/esd-12-871-2021 .
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	1	eine datenhaltende Institution; Daten müssen bei der datenhaltenden Institution angefragt werden.
	Datenverarbeitung:	3	Der Datensatz muss weiterverarbeitet werden. Der Aufwand für die Weiterverarbeitung der Daten ist durch die manuell durchzuführenden und zeitintensiven Bearbeitungsschritte in der GIS-Software hoch.
	<u>Erläuterung:</u> Die Befliegungsdaten müssen jährlich angefragt und anschließend mit einer GIS-Software ausgewertet werden; die einzelnen Verarbeitungsschritte in der GIS-Software sind zeitintensiv und können nicht automatisiert werden, da einzelne Polygone individuell ausgewählt und aus dem Datensatz entfernt werden müssen. Für die Fortschreibung ist deshalb ein Aufwand von ca. 1 Tag einzukalkulieren.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



Indikator-Factsheet: Fließrichtungswechsel

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez, Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN), Hydrologie, Mess- und Beobachtungsdienst (Doris Wolf) Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Abteilung 3 - Geologie, Wasser und Boden, Dezernat 310 - Hydrologie, Hochwasserrisikomanagement (Philip Müller) Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU MM), Abteilung Küste (Knut Sommermeier)	
Letzte Aktualisierung:	16.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Erstellung des Indikators
	24.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Aktualisierung der Messstellenauswahl
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung weiterer redaktioneller Anmerkungen aus der IMAA-Abstimmung; Titel des Indikators wurde geändert.
Nächste Fortschreibung:		

I Beschreibung

Interne Nr. KM-I-5	Titel: Fließrichtungswechsel
Einheit: Anzahl	<p>Kurzbeschreibung des Indikators: Tage mit Fließrichtungswechseln bei in die Ostsee mündenden Fließgewässern (anhand von vier ausgewählten Pegeln in den Einzugsgebieten Schlei / Trave und Warnow / Peene)</p> <p>Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Prüfung über eine bedingte Abfrage für jeden Pegel, ob der Tagesmittelabfluss 0 m³/s unterschreitet. Sofern das zutrifft, wird dem Tag der Wert 1 zugeordnet, sonst 0. Berücksichtigt werden vier Pegel in den Einzugsgebieten Schlei / Trave und Warnow / Peene: Füsing (Füsinger Au), Lübeck-Moisling, Anklam und Demmin. <u>Schritt 2:</u> Aufsummieren der zugeordneten Abfragewerte (0 oder 1) für die hydrologischen Jahre und Prüfung auf Vollständigkeit. Sofern ein Jahr weniger als 75 % der möglichen Messwerte enthält, gilt die Datenabdeckung als nicht ausreichend und wird in der Darstellung nicht berücksichtigt.</p>
Interpretation des Indikatorwerts:	Je höher der Indikatorwert an einem Pegel pro Jahr, desto häufiger wurde in diesem Jahr ein Rückstau in den Gewässern beobachtet.

II Einordnung

Handlungsfeld:	Küsten- und Meeresschutz
Themenfeld:	Küste, Wattenmeere, Ästuare
Thematischer Teilaspekt:	Veränderung der Topographie, Morphodynamik und des Sedimenthaushalts an der Küste und in Ästuaren
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Der Klimawandel wirkt sich nicht nur auf die Temperatur, sondern unter anderem auch auf küstenhydrologische Parameter wie den Meeresspiegel, das Auftreten von Sturmfluten sowie den Seegang an Küstenregionen aus. Im vergangenen Jahrhundert wurde ein Meeresspiegelanstieg um 15 cm an der deutschen Ostseeküste beobachtet. Hinzu kommt dort das isostatische Absinken der Landmassen (Weiße & Meinke 2017). Infolge eines höheren Meeresspiegels steigt das Ausgangsniveau von Sturmfluten, wodurch die Häufigkeit für das Auftreten sowie die Intensität der Ereignisse, nach der heutigen Definition, zunehmen (IPCC 2021, Meinke 2020, Meinke & Reckermann 2012). Eine Folge des erhöhten Meeresspiegels und häufigerer Sturmflutereignisse kann ein Rückstau von Wasser in küstennahe Fließgewässerabschnitten sein. Der damit einhergehende Brackwassereinfluss führt dann partiell zu Schlammablagerungen (Organomudden), die auch zu Sauerstoffzehrungen führen können. Setzt sich ein Rückstau weit in die Binnengewässer hinein fort, kann er dort das Hochwasserrisiko verschärfen. Hier übernehmen in erster Linie Deiche den Überflutungsschutz. Diese haben allerdings einen relativ hohen Unterhaltungsaufwand und i.d.R. für Hochwasserereignisse bemessen, deren Entstehung im Binnenland liegt.</p> <p>Neben dem maritimen Einfluss, z. B. durch Sturmfluten, bedarf das Auftreten eines Rückstaus in einem Gewässer bestimmter Gewässercharakteristika. Rückstaubeeinflusste Fließgewässer zeichnen sich durch einen (sehr) schwachen Wasserabfluss und ein niedriges Talbodengefälle (< 0,5 ‰, vereinzelt bis ≤ 2 ‰) aus. Diese Bedingungen treffen für die durch die letzte Eiszeit geprägten Jungmoränenlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern und im östlichen Schleswig-Holstein zu. Im Bereich der Flachküsten der Ostsee münden die Gewässer in ein schwach brackiges, unterschiedlich stark verlandetes Küstengewässer. Beispielsweise mündet an der Messstelle Anklam die Peene in das Stettiner Haff, einen durch eine Nehrung bzw. die Insel Usedom vom Hauptteil der Ostsee getrennten Brackwasserbereich. Die mineralische Gewässersohle der rückstaubeeinflussten Fließgewässer liegt meist deutlich unterhalb des Ostseemeeresspiegels. Die Gewässersohle ist durch Organomudden aufgefüllt, die durch natürliche Sedimentationsprozesse entstanden sind.</p> <p>Rückstaubeeinflusste Fließgewässer an der Ostsee stellen einen eigenen LAWA-Fließgewässertyp (Typ 23: Rückstau- bzw. brackwasserbeeinflusste Ostseezuflüsse) dar. Allerdings lässt sich ein Rückstau auch an anderen Fließgewässertypen (z. B. den kiesgeprägten Tieflandflüssen, Typ 17) – insbesondere bei Hochwasser – beobachten.</p>

	<p>Auswahl der Messstellen und Indikator:</p> <p>Der Indikator erfasst die Tage, an denen ein natürlicher Fließrichtungswechsel an Binnenpegeln beobachtet wurde. Ein Fließrichtungswechsel wird als negativer Abfluss im Tagesmittel identifiziert.</p> <p>Die Auswahl der Messstellen orientiert sich an der Lage der Pegel in den Hochwassergefahrenkarten der Bundesländer Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern und erfolgte nach den nachstehenden Kriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die ausgewählten Pegel liegen an Fließgewässerabschnitten mit einem geringen Gefälle, was einen Rückstau begünstigt. • Es werden nur Pegel berücksichtigt, an denen seit Beginn der Abflussmessungen mindestens ein Niedrigwasserabfluss (NQ) kleiner oder gleich Null beobachtet wurde. • Das Abflussverhalten an den Pegel ist nur gering bis nicht anthropogen beeinflusst. <p>Insgesamt wurden 15 potenzielle Pegel geprüft, von denen vier für den Indikator ausgewählt wurden. Diese liegen im Einzugsgebiet Schlei / Trave oder im Einzugsgebiet Warnow / Peene.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Pegel Füsing (Füsinger Au) befindet sich im Rückstaubereich der Schlei. Höhere Wasserstände mit geringen Abflüssen treten hier bei Ostseehochwasser auf. Der Pegel spiegelt das Abflussverhalten im Einzugsgebiet der Schlei wider. • Der an der Trave gelegene Pegel Lübeck-Moisling befindet sich in einem sowohl von Küstenhochwasser als auch von Flusshochwasser betroffenen Gebiet. Der etwa 20 km von der Küste entfernte Pegel reagiert ebenfalls auf erhöhte Ostseewasserstände und Sturmfluten. • Der Pegel Anklam befindet sich an der Peene, die in das Stettiner Haff mündet. Er liegt im Einzugsgebiet Warnow / Peene und wird seit 1960 betrieben. Damit ist Anklam der Pegel mit der längsten Zeitreihe. • Auch der Pegel Demmin liegt an der Peene. Er befindet sich 58 km weiter landeinwärts als der Pegel Anklam und zeigt, wie weit sich der Fließgewässerrückstau ins Landesinnere fortsetzt. <p>Die Beeinflussungen der ausgewählten Messpegel unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer Exposition zur Ostsee sowie der topographischen Gestalt der Gewässerbetten, des Talbodengefälles und des Wasserabflusses.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Die Auswahl der Messstellen beruht unter anderem auf der Beobachtung eines Rückstaus bzw. eines Wechselns der Fließrichtung in der Vergangenheit. An den entsprechend ausgewählten Pegeln treten allerdings teilweise längere Messlücken auf, sodass nicht alle Jahre eine ausreichende Datendichte aufweisen. Unvollständige Datenreihen sind unter anderem auf Stromausfälle an den Messstationen, Frosteinflüsse oder zu geringe Wasserstände zurückzuführen.</p> <p>Eine weitere Einschränkung ist, dass an einigen Pegeln Tagesmittelwerte des Abflusses erst seit wenigen Jahren vorliegen. Eine lange Zeitreihe über 30 Jahre hinaus lässt sich nur für den Pegel Anklam bilden.</p>
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)
<p>In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen</p>	<p>DAS 2008:</p> <p>Kap. 3.3: „Die Küstenregionen könnten in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zunehmend durch den Meeresspiegelanstieg und eine Änderung des Sturmklimas gefährdet werden. [...] Ein hohes Niveau der Küstenschutzmaßnahmen bestimmt die aktuelle sowie künftig möglicherweise zunehmende Verwundbarkeit dieser Region. Es bestehen allerdings große Unsicherheiten darüber, wie stark sich Meeresspiegelniveaus und Sturmklima verändern.“</p>

	DAS, Kap. 3.2.14: „An der Küste [...] sind die raumordnerischen Voraussetzungen zu schaffen, um den Schutz gegen zunehmende Sturmflut- und Hochwasserrisiken auch zukünftig nach Möglichkeit zu gewährleisten. Die Anpassung an den Klimawandel erfordert jedoch neben Deichbau- und Deichsanierungsmaßnahmen auch die Entwicklung neuer Formen von – insbesondere auch passiven – Sicherungsmaßnahmen für die Inseln und Küsten.“
Ziele:	DAS 2008: Kap. 3.2.5: Entwicklung von integrierte Entwicklungsstrategien für die Ökosysteme des Küstenraums einschließlich der Flusstrichter (Ästuarbereiche). Etablierung von Ausweichhabitaten für vom Meeresspiegelanstieg betroffene Lebensgemeinschaften. Entwicklung von Synergien zwischen Naturschutz und Küstenschutz nutzen. Kap. 3.2.11: Untersuchung und Dokumentation der durch den prognostizierten Meeresspiegelanstieg ergebenden Veränderungen der Strömungen, der Erosion und der Sedimentation in den Ästuaren und Seeschiffahrtsstraßen.
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein: Pegelmessdaten	
Räumliche Auflösung:	Punktmessungen	NUTS 1
Geographische Abdeckung:	Ostseeküste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns anhand von vier ausgewählten Pegeln	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 1961	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheets:	KM-I-5_Rueckstau_in_Fliessgewaesser.xlsx	

V Zusatz-Informationen

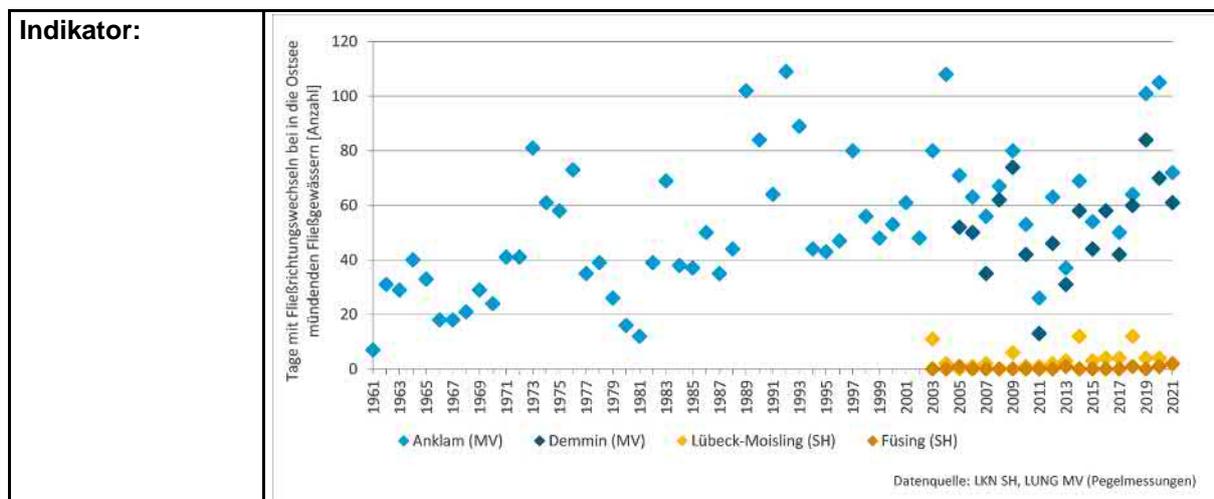
Glossar:	<p>Haff: Ein Haff ist ein Brackwasserbereich, der durch eine Nehrung oder vorgelegte Inseln vom tieferen Hauptteil eines Meeres getrennt ist.</p> <p>Nehrung: Eine Nehrung ist ein schmaler Sandstreifen, der ein Haff vom offenen Meer abtrennt.</p> <p>Organomudden: Organische Mudden, die sich aus Resten von Wasserpflanzen, Algen und anderen abgestorbenen Organismen zusammensetzen und sich über die Zeit am Grund von Stillgewässern oder in beruhigten Zonen von Fließgewässern abgelagert haben.</p>
Weiterführende Informationen:	<p>BACC II Author Team 2015: Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer Cham, Heidelberg. 501 S. doi: 10.1007/978-3-319-16006-1</p> <p>IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M.</p>

	<p>Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 3–32. doi: 10.1017/9781009157896.001</p> <p>LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen. Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung</p> <p>LUNG MV – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2020: Wasserhaushaltsbericht 2019. Bericht zur meteorologischen und hydrologischen Lage in Mecklenburg-Vorpommern im Wasserhaushaltsjahr 2019</p> <p>MLUV-MV – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern & MLUR-SH – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein 2011: Umsetzung der Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 23.10.2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken in der FGE Schlei/Trave</p> <p>Meinke I. & Reckermann M. 2012: Ostseeküste im Klimawandel – Ein Handbuch zum Forschungsstand. Hrsg. Norddeutsches Klimabüro und Internationales BALTEX-Sekretariat Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH</p> <p>Meinke I. 2020: Norddeutschland im Klimawandel - Was wissen wir über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Norddeutschland? Helmholtz Zentrum Geesthacht, 151 S.</p> <p>Pottgiesser T., Sommerhäuser M. 2008: Erste Überarbeitung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen – Typ 23: Rückstau- bzw. brackwasserbeeinflusste Ostseezuflüsse</p> <p>Weiß R. & Meinke I. 2017: Meeresspiegelanstieg, Gezeiten, Sturmfluten und Seegang. In: Brasseur G. P., Jacob D., Schuck-Zöller S. 2017: Klimawandel in Deutschland – Entwicklung, Folgen und Risiken in Deutschland, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg: 78-85. doi: 10.1007/978-3-662-50397-3_9</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Datenbeschaffung:	2	Daten werden von den Ländern Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein geliefert, es sind mehrere datenhaltende Organisationen involviert.
	Datenverarbeitung:	2	Zur Darstellung des Indikators sind eine Datenaufbereitung und -verarbeitung notwendig.
	<u>Erläuterung:</u> Die Daten müssen von den Ländern individuell angefragt werden. Für die weitere Verarbeitung sind Auswertungsroutinen im Daten-Factsheet angelegt.		
Datenkosten:	Keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> Die Datenanfrage an die Länder sollte über die LAWA-Gremien erfolgen.		

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anlagen

Die nachstehende Tabelle zeigt Pegel, die für die Auswertung des Indikators geprüft wurden. In Grau dargestellt sind die Pegel, die für den Indikator ausgeschlossen wurden.

Pegel	Gewässer	Einzugsgebiet	LAWA-Gewässertyp	Kommentar
Anklam	Peene	Warnow/Peene	23	Jahr 2016 fehlt
Bad Schwartau	Schwartau	Schlei/Trave	14	große Nähe zu Lübeck-Moisling
Demmin-Meyenkrebsbrücke	Peene	Warnow/Peene	23	Zeitreihe erst ab 2005
Eulenkruh	Tarnewitzer Bach	Warnow/Peene	14	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Füsing	Füsinger Au	Schlei/Trave	17	teilweise frostbeeinflusst
Grambin	Zarow	Oder	15	Datenreihe endet 2017
Lübeck-Moisling	Trave	Schlei/Trave	15	einzelne wenige Messausfälle
Ribnitz-Damgarten	Klosterbach	Warnow/Peene	23	starke Beeinflussung des Pegels durch saisonale Verkräutungen
Rieth	Teufelsgraben	Oder	22	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Rostock Mühlenendamm	Warnow	Warnow/Peene	23	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Rothentor	Wallensteingraben	Warnow/Peene	12	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Tessmannsdorf	Hellbach	Warnow/Peene	23	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Ueckermünde	Uecker	Oder	23	Datenreihe endet nach dem 13.09.2012
Wehrland	Brebowbach	Warnow/Peene	14	keine dokumentierten Fließrichtungswechsel
Weißenhaus	Oldenburger Graben	Schlei/Trave bzw. Ostsee	19	Pegel an Sielanlage, relevante anthropogene Beeinflussung

Indikatoren-Factsheet: Leistung von Schöpfwerken

Verfasser:	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez, Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	Eider-Treene-Verband (Kerstin Fuhrmann)	
Letzte Aktualisierung:	02.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez, Konstanze Schönthaler) Erstellung des Indikators
	05.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Einarbeitung redaktioneller Anmerkungen
	28.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez) Einarbeitung der Anmerkungen des Eider-Treene-Verbands
Nächste Fortschreibung:	ab sofort	Ausweitung der Fallstudie auf andere Wasser- und Bodenverbände unter Berücksichtigung der Einzugsgebietscharakteristika sowie Differenzierung der Schöpfwerke nach Pumpenart und Pumpenanzahl

I Beschreibung

Interne Nr. KM-I-6	Titel: Leistung von Schöpfwerken
	Fallstudie für 47 Schöpfwerke im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands in Schleswig-Holstein
Einheit: <u>Teil A:</u> kWh/ha <u>Teil B:</u> l/m ²	Kurzbeschreibung des Indikators: <u>Teil A:</u> Leistung von Schöpfwerken pro Fläche im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands differenziert für die Schöpfwerke an der Eider, an der Treene und am Nord-Ostsee-Kanal <u>Teil B:</u> Jahresniederschlag an den Stationen des DWD im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands
	Berechnungsvorschrift: <u>Teil A:</u> <u>Schritt 1:</u> Schöpfwerke werden nach ihrem Einzugsgebiet charakterisiert und in die drei Gruppen Eider, Treene und Nord-Ostsee-Kanal eingeteilt. <u>Schritt 2:</u> Berechnung des Stromverbrauchs pro Hektar für alle Schöpfwerke einer Gruppe nach der Formel: $\text{Gruppe}_n = \frac{\sum_i \text{Stromverbrauch Schöpfwerk}_i}{\sum_i \text{Fläche EZG Schöpfwerk}_i}$ <u>Teil B:</u> Mittelwert des Jahres im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands = Summe der Jahresniederschläge der 26 im Verbandsgebiet liegenden Niederschlagsmessstationen / 26
Interpretation des Indikatorwerts:	<u>Teil A:</u> Je höher der Indikatorwert, desto höher ist die erbrachte Leistung der Schöpfwerke in der Gruppe und desto größer ist das Entwässerungsvolumen im Einzugsgebiet.

	Teil B: Je höher der Indikatorwert, desto höher ist der Jahresniederschlag im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands.
--	--

II Einordnung

Handlungsfeld:	Küsten- und Meeresschutz
Themenfeld:	Hochwasserschutzsysteme und Infrastruktur an der Küste
Thematischer Teilaspekt:	Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in niedrig gelegenen Marsch- und Moorgebieten
DPSIR:	Response

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	<p>Grundlagen Schöpfwerksentwässerung:</p> <p>Küstenregionen zeichnen sich durch Flächen mit geringem Gefälle und niedrigen Höhenlagen bezogen auf den mittleren Meeresspiegel aus. Wenn eine Fläche unterhalb von 2,50 m über dem Meeresspiegel (m ü. NN) liegt, wird sie in Schleswig-Holstein als Niederung bezeichnet. Mit einer Niederungsfläche von 315.000 ha liegt etwa ein Fünftel der gesamten Landesfläche Schleswig-Holsteins unterhalb von 2,50 m ü. NN. Über 90 % dieser Niederungsfläche befinden sich ausschließlich an der Westküste und damit an der Nordsee in den Bereichen der Elbmarschen, Dithmarschen, von Eiderstedt und Nordfriesland sowie im Gebiet von Eider, Treene und Sorge. Die Niederungsgebiete werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt, wobei der größte Anteil als Dauergrünland bewirtschaftet wird. Vereinzelt gibt es auch Siedlungen in diesem Gebiet, der Flächenanteil an Industrie- und Gewerbeflächen in den Niederungen ist sehr gering (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2014).</p> <p>Die hydrologischen Verhältnisse sowie die Notwendigkeit einer Entwässerung in den Niederungen werden maßgeblich vom Niederschlag, Bodenwassergehalt, Meeresspiegel bzw. dem Wasserstand im Vorfluter und dem aufnehmenden Gewässer bestimmt. Neben einer Entwässerung über ein für Küsten typischerweise dichtes Gewässernetz bedarf die Wasserwirtschaft in Niederungsgebieten größtenteils einer künstlichen Entwässerung, um Nutzungen auf Flächen (insbesondere Siedlungs-, Verkehrs- oder landwirtschaftlichen Flächen, aber auch Natur- und Klimaschutzflächen) zu ermöglichen bzw. zu erhalten.</p> <p>Hierfür werden Sielbauwerke, Speicherbecken und Schöpfwerke bzw. Kombinationen aus Sielen und Schöpfwerken verwendet. Dies betrifft insbesondere die tidebeeinflussten Niederungsgebiete der Westküste Schleswig-Holsteins. Dort kann keine kontinuierliche Freigefälleentwässerung stattfinden, sodass hier technische Entwässerungssysteme zum Einsatz kommen müssen.</p> <p>Mehr als die Hälfte (ca. 53 %) der gesamten Niederungsflächen in Schleswig-Holstein wird bereits durch Schöpfwerke entwässert. Etwa ein Viertel (27 %) der Flächen werden durch Siele und rund 18 % durch eine Kombination von Sielen und Schöpfwerken entwässert. Nur ca. 3 % der Flächen entwässern frei über das Gefälle in das Meer bzw. die tideoffenen Gewässer (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2014). Die Bewirtschaftung und Entwässerung der Niederungen liegt im Aufgabenbereich der rund 500 Wasser- und Bodenverbände im Land. Die Wasser- und Bodenverbände sind eingefügt in Haupt-</p>

	<p>verbände organisiert, von denen wiederum 22 Verbände dem Marschenverband zugehören. Einer dieser Hauptverbände ist der Eider-Treene-Verband, der Bestandteil dieser Fallstudie ist.</p> <p>Schöpfwerke und Klimawandel:</p> <p>Niederungen und der Schöpfwerksbetrieb sind von den Folgen des Klimawandels direkt betroffen. Bis zum Ende des Jahrhunderts werden ein Anstieg des Meeresspiegels um 20 bis 60 cm, eine Zunahme der winterlichen Niederschläge um ca. 30 % sowie eine Abnahme der Sommerniederschläge in der gleichen Größenordnung für den norddeutschen Raum projiziert (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2014). Gleichzeitig wird die Zunahme sommerlicher Starkregenereignisse erwartet, die sich direkt auf den Niederschlagsabfluss auswirken. Veränderte Niederschlagsintensitäten haben einen unmittelbaren Effekt auf die Schöpfwerksaktivitäten und den Stromverbrauch. Intensivere Niederschläge erhöhen den Entwässerungsbedarf, was mit einem erhöhten Stromverbrauch einhergeht. Folgen für die Tidehoch- und Tideniedrigwasser sowie eine Zunahme und Dauer von Sturmfluten werden ebenfalls diskutiert. Diese Folgen des Klimawandels werden den Entwässerungsbetrieb vor wachsende Herausforderungen stellen. Weitere Entwicklungen wie eine zunehmende Versiegelung und Bodendegradierung in den Einzugsgebieten mit der Folge eines schnelleren und direkten Wasserabflusses schränken die Entwässerungsmöglichkeiten weiter ein, da Sielzeiten und Schöpfwerksleistung schneller erschöpft werden. Eine Erhöhung der Betriebskosten ist ebenfalls zu erwarten, wenn Schöpfwerke beispielsweise länger und öfter laufen müssen und damit der Verschleiß sowie die Wartungshäufigkeit zunehmen. Dies wird eine zusätzliche finanzielle Belastung der Verbandsmitglieder zur Folge haben.</p> <p>Entwässerung und Natur- sowie Klimaschutzziele:</p> <p>Mit den Überarbeitungen des europäischen Naturschutz- und Wasserrechts haben der Naturschutz und gewässerökologische Ziele in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig gilt es, die Wasserwirtschaft auch unter ökonomischen Gesichtspunkten zukunftsfähig zu machen. Die Wasser- und Bodenverbände in den Küstenregionen, die dafür Sorge tragen sollen, dass die Wasserstände in den Niederungen eine landwirtschaftliche- und naturschutzfachliche Nutzung ermöglichen, agieren im Spannungsfeld zwischen einer wirtschaftlichen Betriebsweise, den natur- und klimaschutzfachlichen Zielen und den Konsequenzen des Klimawandels. Der Bau von neuen Schöpfwerken soll möglichst vermieden und die Betriebskosten sollen reduziert werden, um die Verbandsmitglieder finanziell nicht zu stark zu belasten.</p> <p>Gleichzeitig leistet die Niederungsentwässerung vor allem im Frühjahr einen Beitrag zum Naturschutz: Sie verhindert, dass die Gelege von Wiesenbrütern durch Überflutung geschädigt oder zerstört werden. Zur gleichen Jahreszeit sind bei Grünlandnutzung auch die Grasnarben besonders empfindlich und nehmen bei zu langem Überstau Schaden.</p> <p>Zudem gibt es Verbindungen bzw. Wechselwirkungen zwischen dem Entwässerungsregime und Anforderungen des Klimaschutzes. Ziel muss es sein, die Wasserstände so hoch wie gerade zur Aufrechterhaltung der Nutzung möglich zu halten, um Moorsackungen, die maßgeblich auf die erhöhte Evapotranspiration, aber auch die Entwässerung des Bodens zurückgehen und die zur Freisetzung klimarelevanter Gase führen können, zu vermindern. Gleichzeitig werden in den Einzugsgebieten des Eider-Treene-Verbands auch aus Gründen des Klimaschutzes Moorrenaturierungen durchgeführt. Renaturierte und wassergesättigte Moore sind bei Starkniederschlägen oder auch langanhaltenden Niederschlagsereignissen allerdings nicht in der Lage, große Niederschlagsmengen aufzunehmen. Unter bestimmten Bedingungen kann es dann zu verstärktem Oberflächenwasserabfluss kommen, der den Entwässerungsbedarf</p>
--	--

	<p>auf den übrigen Flächen im Verbandsgebiet erhöhen kann. Dieser höhere Bedarf kann sowohl längere Einsatzzeiten der bestehenden Pumpen oder auch eine Ausweitung der zu entwässernden Flächen bedeuten. Mit der Folge, dass sich die Überstaudauer von Flächen erhöhen kann.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Der Stromverbrauch der Pumpen ist der entscheidende Faktor, der die Wirtschaftlichkeit des Schöpfwerksbetriebs bestimmt. Daher sind die Wasser- und Bodenverbände bestrebt, möglichst energieeffiziente Pumpen zu betreiben und unter anderem über eine atypische Netznutzung die Kosten zu senken (so wurde bereits in der Vergangenheit häufig nachts auf „Vorrat“ gepumpt, da die Stromkosten nachts niedriger waren). Technische Verbesserungen zur Erhöhung der Energieeffizienz sind im Indikator nicht berücksichtigt. Sie könnten den Mehrverbrauch durch einen erhöhten Entwässerungsbedarf in Teilen kompensieren. Die aktuelle Entwicklung der Strompreise wird diese Aktivitäten stark antreiben, sodass der Stromverbrauch in Zukunft möglicherweise keine direkten Aussagen zur Aktivität der Schöpfwerke mehr zulassen wird.</p> <p>Die geringere Leistung eines Schöpfwerks steht nicht immer im ursächlichen Zusammenhang mit einem geringeren Entwässerungsbedarf. Insbesondere wenn bei Starkniederschlägen der Wasserstand der Hauptvorfluter (z. B. Eider, Treene, Nord-Ostsee-Kanal) erhöht ist und nicht mehr gewährleistet ist, dass die Vorfluter das gepumpte Wasser abführen können, wird der Schöpfwerksbetrieb eingestellt, um die Kreislaufführung des Wassers zu vermeiden. Das Wasser fließt dann gezielt in die Retentionsräume und Polder. Im Eider-Treene-Gebiet werden solche Abschaltungen im Hochwasserfall bei knapp der Hälfte der Schöpfwerke praktiziert. Landwirtschaftliche Flächen können Überstaudauern von bis zu (max.) 14 Tagen ggf. noch tolerieren, danach ist mit erheblichen Schäden zu rechnen.</p> <p>Die maximalen Leistungen der Schöpfwerke sind auf das zugehörige Einzugsgebiet ausgelegt worden. Darüber hinaus sind auch bei eigentlich höherem Entwässerungsbedarf keine Leistungen abrufbar. Es könnten zukünftig jedoch womöglich Kapazitätserweiterungen notwendig werden, die dann baulich umgesetzt werden und höhere Leistungen abrufbar machen. Dies muss bei der Interpretation der Zeitreihe und der Weiterentwicklung des Indikators berücksichtigt werden.</p> <p>Der Entwässerungsbedarf und die damit verbundene Schöpfwerksleistung hängt neben den Niederschlagsverhältnissen auch stark von der Landnutzung ab. Neue landwirtschaftliche Kulturen und neue Bewirtschaftungsformen bringen neuen Anforderungen mit sich. Zum Beispiel benötigen Paludikulturen dauerhaft hohe Wasserstände. Allerdings lässt sich ein solcher Wasserstand derzeit nur auf Pilotflächen umsetzen. Moorsackungen, Reliefunterschiede, Wasserverfügbarkeit und jahreszeitlich-hydrologischen Schwankungen verhindern eine weitreichende Einstellung erhöhter Wasserstände. Des Weiteren können durch ganzjährig hohe Wasserstände weitere, gesetzesgemäße Hauptaufgaben der Wasser- und Bodenverbände wie die Gewässer- und Deichunterhaltung nicht mehr vollumfänglich ausgeführt werden. Dies führt konsequenterweise womöglich zu Einschränkungen der Sicherstellung der (kritischen) Infrastruktur.</p>
<p>Erläuterungen zur Fallstudie:</p>	<p>Anhand der Fallstudie zur Leistung von Schöpfwerken im Gebiet des Eider-Treene-Verbands lassen sich die Konsequenzen des Klimawandels für die Niederungsentwässerung thematisieren. Der Indikator bildet als Leistungsparameter den Stromverbrauch der Schöpfwerke im Eider-Treene-Verband ab. Er lässt damit Rückschlüsse auf den Entwässerungsbedarfs zu, der wiederum in enger Abhängigkeit vom Niederschlagsregime und der Verdunstung steht. Im Eider-Treene-Verband wird der Entwässerungsbedarf vor allem durch das Niederschlagsgeschehen, die Bodenwassersättigung und die Verdunstung, nicht durch den Meeresspiegelanstieg bestimmt.</p>

	<p>Der Eider-Treene-Verband ist der flächenmäßig größte Deich- und Hauptzielverband in Schleswig-Holstein und erstreckt sich mit einer Fläche von 113.000 ha über die Landkreise Dithmarschen, Nordfriesland, Schleswig-Flensburg und Rendsburg-Eckernförde. Etwa 50.000 ha des Einzugsgebietes sind Niederung, der übrige Teil (ca. 63.000 ha) wird dem höher gelegenen Flächentyp Geest zugeordnet (Eider-Treene-Verband 2022a).</p> <p>Der Eider-Treene-Verband betreibt 50 Schöpfwerke mit insgesamt 80 Pumpen und einer Gesamtförderleistung von ca. 130 m³/s (130.000 l/s) (Eider-Treene-Verband 2022b). Für den Indikator liegen jährliche Stromverbrauchsdaten für insgesamt 47 Schöpfwerke vor. Aufgrund der Heterogenität der Einzugsgebiete und spezifischen Charakteristika der einzelnen Schöpfwerke werden die Schöpfwerke in n = 3 Gruppen kategorisiert. Die Kategorisierung soll eine für die Einzugsgebiete (EZG) repräsentative Mittelwertbildung der jährlichen Stromverbräuche pro EZG-Fläche ermöglichen. Neben den jährlichen Stromverbräuchen der Schöpfwerke pro km² wird zusätzlich die jährliche Niederschlagsmenge, gemessen an den Stationen im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands, abgebildet.</p> <p>Das komplexe Entwässerungssystem der Niederungen umfasst neben Schöpfwerken, die Wasser in die Vorfluter (Treene, Eider oder Nord-Ostsee-Kanal) entwässern, auch Siele, die über die Tide-Eider in die Nordsee entwässern. Relevant für den Entwässerungsbedarf im Verbandsgebiet sind auch das Eidersperrwerk sowie die Schleuse Nordfeld und die Schleuse Friedrichstadt. Im Fall einer Sturmflut wird das Eidersperrwerk geschlossen, damit steigt der Wasserspiegel im Vorfluter an.</p> <p>Der Marschenverband geht für die Schöpfwerksgebiete im Eider-Treene-Verband von einer mittleren Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel aus. Nichtsdestotrotz lassen sich dort nachteilige Folgen erwarten, da von einer Steigerung der Betriebskosten für den Schöpfwerksbetrieb auszugehen ist. Ebenfalls ist nicht auszuschließen, dass die Funktionsfähigkeit der bestehenden Entwässerungsinfrastruktur aufgrund veränderter Randbedingungen eingeschränkt wird.</p> <p><u>Perspektiven für eine bundesweite Darstellung des Indikators:</u></p> <p>Zur Prüfung der Fallstudie wurden bereits Daten mehrerer Wasser- und Bodenverbände eingeholt. Eine Erweiterung des Indikators auf mehrere Verbandsgebiete ist demnach möglich. Allerdings sind die Daten der Verbandsgebiete spezifisch, d. h. in Abhängigkeit von der Größe und Lage ihrer Einzugsgebiete, der Vorflutersituation, der dominierenden Landnutzungen etc., zu betrachten und zu aggregieren. Neben den Entwässerungsverbänden in Schleswig-Holstein sind insbesondere die Entwässerungsgebiete der Küsten-Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen bei einer Erweiterung zu berücksichtigen.</p>
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)

In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen	<p>DAS 2008:</p> <p>Kap. 3.2.3: Durch den Klimawandel ergeben sich erhöhte Herausforderungen an das komplexe Zusammenspiel der Gewässernutzungen, woraus vielfältige Anpassungserfordernisse für die Wasserwirtschaft, den Hochwasserschutz und den Küstenschutz erwachsen.</p> <p>Kap. 3.3: Die Küstenregionen könnten in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zunehmend durch den Meeresspiegelanstieg und eine Änderung des Sturmklimas gefährdet werden.</p> <p>Es bestehen [...] große Unsicherheiten darüber, wie stark sich Meeresspiegel-niveaus und Sturmklima verändern [...]. Eine hervorgehobene Bedeutung spielt dabei die mögliche Gefährdung von Feucht- und Niederungsgebieten sowie von Regionen mit einem hohen Schadenspotenzial [...].</p>
Ziele:	keine
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	<p><u>Teil A:</u> Eider-Treene-Verband: Betriebliche Angaben zum Schöpfwerksbetrieb</p> <p><u>Teil B:</u> DWD: Niederschlagsmessstationen (Climate Data Center / CDC)</p>
Räumliche Auflösung:	<p><u>Teil A:</u> Gebiet des Eider-Treene-Verbands</p> <p><u>Teil B:</u> Stationen des DWD im Einzugsgebiet des Eider-Treene-Verbands</p>
Geographische Abdeckung:	Verbandsgebiet des Eider-Treene-Verbands
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 2005
Beschränkungen:	<p>Die zur Verfügung gestellten Daten dürfen nur für Zwecke des Projekts „LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor“ sowie für das DAS-Monitoring genutzt werden.</p> <p>Eine Veröffentlichung oder Weitergabe der Daten ohne vorherige Zustimmung durch den Eider-Treene-Verband darf nicht erfolgen.</p>
Verweis auf Daten-Factsheets:	KM-I-6_Daten_Schoepfwerke.xlsx

V Zusatz-Informationen

Glossar:	<p>Deich: Damm, Erdwall; künstliche wallartige Erdaufschüttung mit befestigten Böschungen zum Schutz von niedrig gelegenen Land gegen Überflutung. (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V., 2016)</p> <p>Geest: Höheres Land im Gegensatz zur Marsch; besteht aus Sand- und Heideboden. (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V., 2016)</p> <p>Niederung: Ein durch Ufer begrenztes und in sich nicht geschlossenes Gebiet nicht über 2,50 m über dem Meeresspiegel. Der Abfluss erfolgt über Gräben, Kanäle und Flüsse ins Meer. (Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2016)</p> <p>Schöpfwerk: Ein Schöpfwerk beschreibt ein Pumpwerk, das hauptsächlich im Küstenbereich und zur Entwässerung von Flächen ohne (ständige) Vorflut verwendet wird. Das bedeutet, das Schöpfwerk hebt Wasser über eine bestimmte Höhe, um (Außen-) Wasserstände oder Hochwasserzuflüsse, die eine Freigefälleentwässerung in den Vorfluter verhindern, überwinden zu können. Die Pumpen der Schöpfwerke entwässern Flächen in Abhängigkeit von bestimmten</p>
-----------------	--

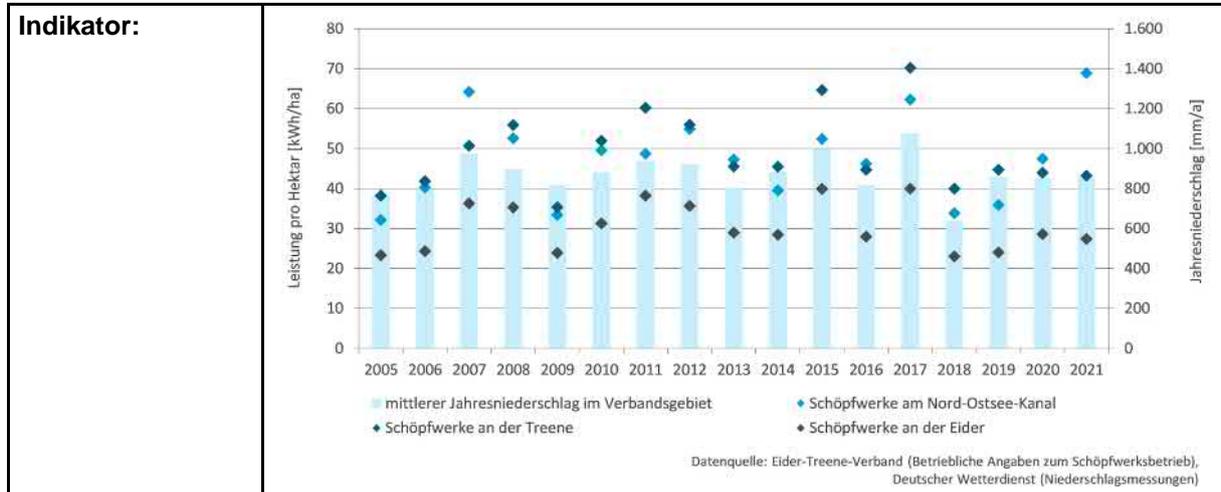
	<p>Wasserständen. Sie bestehen aus einem Einlaufbauwerk, einer Pumpe und einem Auslaufbauwerk. Oft sind Speicherbecken vor einem Schöpfwerk vorge-schaltet. (Spektrum 2000a)</p> <p>Siel: Ein Siel beschreibt ein bewegliches Verschlussbauwerk in einem Deich, das Wasser – abhängig vom Wasserstand im Vorfluter – entweder zurückhält oder (im freien Gefälle) ablaufen lässt. Bei Tideniedrigwasser wird Wasser aus dem Binnenland durch das Siel (meist im Freigefälle) in den Vorfluter geleitet (= Sielentwässerung oder Sielzug). Bei erhöhten Wasserständen im Vorfluter wird das Siel (über Stemmtore oder Rückstauklappen) geschlossen, um das Ein-dringen von Meer- bzw. Flusswasser in den Deich zu verhindern. Der Abfluss aus dem Binnenland wird durch das Siel zurückgehalten und zu einem späte-ren Zeitpunkt abgelassen. Eine Schleuse kann als klassischer Sielverschluss verstanden werden. (Spektrum 2000b)</p> <p>Vorfluter: In der Regel oberirdisches Gewässer oder Flüsse; in der Marsch häufig künstliche Gräben und Sielzüge zur Sicherstellung der Entwässerung, der Ableitung überschüssiger Niederschläge sowie von Abwasser. (Marschen-verband Schleswig-Holstein e.V. 2016)</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Eider-Treene-Verband 2022a: Der Eider-Treene-Verband. Hg. v. Eider-Treene-Verband. Pahlen. https://eider-treene-verband.de/index.php/dithmarschen-nordfriesland-rendsburg-eckernfoerde.html</p> <p>Eider-Treene-Verband 2022b: Anlagen des Eider-Treene-Verbands. Hg. v. Ei-der-Treene-Verband. Pahlen. https://eider-treene-verband.de/index.php/anla-gen_eider-treene-verband.html</p> <p>Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2014: Grundlagen für die Ableitung von Anpassungsstrategien in Niederungsgebieten an den Klimawandel. Ab-schlussbericht. Arbeitsgruppe Niederungen 2050 unterstützt durch den Mar-schenverband Schleswig-Holstein e.V. https://marschenverband.de/pdf/abschlussbericht.pdf</p> <p>Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. 2016: Niederungen 2050. Die Aus-wirkungen des Klimawandels auf die Regenwasserbewirtschaftung der Niede-rungsgebiete an Schleswig-Holsteins Nord- und Ostseeküste mit Elbmarschen. Arbeitsgruppe Niederungen 2050 eingesetzt durch den Marschenverband Schleswig-Holstein e.V. Hemmingstedt. https://marschenverband.de/pdf/niederungen2015-2016.pdf</p> <p>Spektrum 2000a: Lexikon der Geowissenschaften – Schöpfwerk. Hg. v. Spekt-rum Akademischer Verlag. Heidelberg. Online verfügbar unter www.spekt-rum.de/lexikon/geowissenschaften/schoepfwerk/14435</p> <p>Spektrum 2000b: Lexikon der Geowissenschaften – Siel. Hg. v. Spektrum Aka-demischer Verlag. Heidelberg. www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/siel/14940</p>

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

<p>Aufwands-schätzung:</p>	<p>Daten-beschaffung:</p>	<p>1</p>	<p>Nur eine datenhaltende Institution für die Fallstudie</p>
	<p>Datenverar-beitung:</p>	<p>1</p>	<p>Darstellung des Indikators nach vorheriger Klassifizierung</p>
<p><u>Erläuterung:</u> Die Daten sind nicht öffentlich zugänglich und müssen bei den Entwässerungs-verbänden angefragt werden. Bei einer Ausweitung des Indikators auf weitere Wasser- und Bodenverbände erhöht sich entsprechend der Aufwand der Da-tenbeschaffung und -verarbeitung.</p>			
<p>Datenkosten:</p>	<p>keine</p>		

Zuständigkeit:	Koordinationsstelle
	Erläuterung: keine

VII Darstellungsvorschlag



VIII Anhang

Lage und Umriss des Eider-Treene-Verbandsgebiets sowie die Lage der Wetterstation Pahlen zeigt die nachstehende Karte:



Einen Überblick über die Schöpfwerke des Eider-Treene-Verbands gibt die nachstehende Tabelle:

lfd.Nr	Schöpfwerk	Fläche EZG [km²]	Vorfluter
501	Haaler Au	1,53	Eider
502	Lexfähre	115	Eider
503	Dellstedt Süd	12,48	Eider
504	Dellstedt Nord	6,51	Eider
505	Tielenhemme	14,8	Eider
506	Tielenau	53	Eider
507	Wallener Au	24,1	Eider
508	Delve Langenhorn	8,27	Eider

lfd.Nr	Schöpfwerk	Fläche EZG [km²]	Vorfluter
510	Delverkoog	11,78	Eider
511	Hennstedt	18,75	Eider
513	Broklandsau	146	Eider
514	Schlichting	8,44	Eider
515	Reitgraben	7,44	Eider
516	Mühlenau	27,86	Eider
517	Bargstall	5,8	Eider
518	Hohner See	42,15	Eider
519	Sandschleuse	267	Eider
520	Tielen Außendeich	4,44	Eider
521	Tielen Marschkoog	6,43	Eider
522	Pahlhorn	8,9	Eider
523	Bargen	1,53	Eider
524	Steinschleuse	123	Eider
525	Fünfmühlen	11	Eider
526	Börmerkoog	5,8	Eider
527	Westerkoog	9,3	Eider
528	Südfeld-Oldenkoog	21,42	Eider
529	Prinzenmoor	4,37	Eider
530	Hölkenskoog NOK	4,45	Nord-Ostsee-Kanal
531	Querenbek NOK	15,26	Nord-Ostsee-Kanal
532	Gieselau	14,45	Eider
533	Herrnhallig West	5,66	Treene
534	Wisch	3,91	Treene
535	Herrnhallig Ost	6,47	Treene
536	Hude	10,91	Treene
537	Winnert II	17,18	Treene
538	Winnert I	9,24	Treene
539	Ostenfelder Süderkoog	4,69	Treene
541	Wittbeker Wiesen	2,27	Treene
542	Norderwiesen	3,82	Treene
543	Süderwiesen	8,14	Treene
544	Bünge	4,17	Treene
545	Wohldre Treenemarsch	6,3	Treene
546	Wohldre-Bergenhusen	6,3	Treene
547	Norderstapel	7,37	Treene
548	Seeth	8,48	Treene
549	Treenesiedlung	0,54	Treene
550	Ostersielzug	0,25	Treene

Indikator-Factsheet: Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit

Hinweis: Der Indikator wurde im Jahr 2019 in Schleswig-Holstein zur Überwachung der Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele entwickelt. Dabei bildet er als Indikator 47 „Generalplan Küstenschutz“ im Handlungsfeld 5 „Infrastruktur und Klimaschutz“ die Berücksichtigung der Klima-Anpassungsstrategie im Generalplan Küstenschutz (GPK) in Schleswig-Holstein ab. Im Sinne einer einheitlichen Berichterstattung des Indikators wurden für dieses Factsheet die Inhalte und Darstellungen aus dem Bericht Schleswig-Holsteins zu den UN-Nachhaltigkeitszielen sowie das Indikatorenblatt aus dem Indikatoren-Set für die Berichterstattung zu den UN-Nachhaltigkeitszielen in Schleswig-Holstein übernommen. Diese textlichen Erläuterungen sollen weitestgehend auch für Formulierung der Erläuterungstexte im Monitoringbericht 2023 genutzt werden.

Definition: Der Indikator gibt die Berücksichtigung der Klima-Anpassungsstrategie im Generalplan Küstenschutz (GPK) an. Die GPK-Fortschreibungen

- enthalten die jeweils aktuellen Maßnahmen zum Klimawandel und seinen Konsequenzen,
- zeigen eine nachhaltige Strategie im Umgang mit dem Klimawandel auf,
- zeigen den prozentualen Anteil der Landesschutzdeiche auf, der den aktuellen Erkenntnissen entsprechend den Folgen des Klimawandels gewachsen ist, und
- werden mit öffentlicher Beteiligung erstellt.



1. Der Indikator

Der Indikator zeigt den prozentualen Anteil der Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizit an der Gesamtlänge (derzeit 432 km) der Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein. Er spiegelt somit den aktuellen Zustand der Landesschutzdeiche in Bezug auf die hydrologischen Belastungen durch Sturmfluten wider. Grundlage ist eine im Rahmen der

regelmäßigen (10-jährlichen) Fortschreibungen des Generalplans Küstenschutz (GPK) durchgeführte Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein. Geprüft wird mit einem dem jeweiligen Stand der Technik entsprechenden Verfahren und mit möglichst langfristigen und aktuellen Zeitreihen der Jahreshöchstwasserstände, ob die

Landesschutzdeiche einer Sturmflut mit einer statistisch ermittelten jährlichen Wahrscheinlichkeit von 0,5 Prozent standhalten würden. Wenn nicht, wird der Deichabschnitt in der GPK-Fortschreibung in eine Liste der zu verstärkenden Landesschutzdeiche aufgenommen. Die letzte Fortschreibung einschließlich Sicherheitsüberprüfung ist aus dem Jahr 2012 (die vorletzte aus dem Jahr 2001).

Demnach waren 2012 insgesamt 101,5 km Landesschutzdeiche zu verstärken (8,5 km davon waren im Bau). Die Verstärkungen berücksichtigen den Klimawandel umfassend. Bereits seit 2001 werden die Deiche in Schleswig-Holstein (weltweit erstmalig) als Ausgleich für einen zu erwartenden Meeresspiegelanstieg um zusätzliche 0,5 m erhöht. Seit 2009 erhalten sie darüber hinaus eine breitere Deichkrone und eine flachere Außenböschung. Damit kann ein Meeresspiegelanstieg von insgesamt bis zu 1,0 m ausgeglichen werden. Durch die Abflachung wird

eine Baureserve für eine spätere Anpassung geschaffen, wodurch letztendlich in zwei Bauphasen insgesamt etwa 1,5 m Meeresspiegelanstieg (gegenüber heute) ausgeglichen werden kann. Damit sind sogar die aktuell ungünstigsten Meeresspiegelprojektionen in der Planung berücksichtigt.

Ziel des Indikators ist eine sachgemäße und aktuelle strategische Berücksichtigung des Klimawandels und seiner Konsequenzen in den regelmäßigen Fortschreibungen des Generalplans Küstenschutz. Die nächste Fortschreibung, in der dies entsprechend aufzunehmen ist, ist für 2022 geplant. Die Angabe eines konkreten Zielwertes ist für diesen Indikator nicht angebracht, da seine Entwicklung von mehreren externen Rahmenbedingungen, z. B. den vom Landtag, vom Bund und von der EU zur Verfügung gestellten Haushaltsmitteln oder auch der stochastischen Natur von extremen Sturmfluten, maßgeblich beeinflusst wird.

2. Stand & Trend

Aktuell (Ende 2018) zeigen 81,1 Prozent der Landesschutzdeiche kein Sicherheitsdefizit auf. Nach der letzten Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2011 waren dies noch 76,5 Prozent. Allerdings wurden im Jahre 2014 als Konsequenz der schweren Sturmflut Xaver 5,6 km Deichlinie zusätzlich als unsicher eingestuft. Durchschnittlich wurden seit 2011 jedes Jahr 3,6 km Landesschutzdeiche als sogenannter Klimadeich verstärkt. Auch wenn der Zeitraum bis zur vorletzten Sicherheitsüberprüfung im Jahre 2001 verlängert wird, ergibt sich im Mittel die gleiche Steigerungsrate.

Der starke Abfall im Jahre 2012 erklärt sich durch die im Jahre 2011 durchgeführte gewässerkundliche Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche, wobei ein gegenüber 2001 erhöhtes Sicherheitskriterium (jährliche Wahrscheinlichkeit 0,5 Prozent

anstelle von 1,0 Prozent; siehe oben) zugrunde gelegt wurde. Insbesondere dadurch nahm die Länge der zu verstärkenden Deiche wieder von 72,7 km auf insgesamt 101,5 km bzw. um 23,5 Prozent zu.

Aus dem Diagramm kann abgeleitet werden, dass in den Jahren 2006 und 2015 keine Deichverstärkung fertiggestellt wurde. Dies darf nicht zu der falschen Schlussfolgerung führen, dass in diesen Jahren keine Deichverstärkung durchgeführt wurde. Deichverstärkungen dauern üblicherweise mehrere Jahre, weshalb in manchen Jahren – trotz Bauarbeiten – keine Fertigstellungen erfolgen.

Auch dürfen die Schwankungen nicht unmittelbar mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen ursächlich verknüpft werden, da die spezifischen Kosten für Deichverstärkungen von vielen Faktoren abhängig sind.

3. Bewertung, Schlussfolgerungen & Ausblick

Unter Zugrundelegung des bisherigen Trends wären alle Landesschutzdeiche des Landes Schleswig-Holstein nach 120 Jahren einmal als Klimadeich verstärkt. Ob der tatsächliche Zeitraum noch länger oder kürzer ausfällt, hängt vor allem von den zur Verfügung gestellten personellen und finanziellen Ressourcen ab. Eine weitere Herausforderung stellt die nach wie vor zunehmende Komplexität der Planungs- und Genehmigungsverfahren dar.

Bis zum Jahr 2022 wird der Generalplan Küstenschutz turnusmäßig fortgeschrieben, einschließlich einer Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche. Nach derzeitiger Einschätzung wird sich dabei die Länge der zu verstärkenden Landesschutzdeiche nicht wesentlich ändern.

Literaturhinweise

<https://www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/K/kuestenschutz.html>

47. Generalplan Küstenschutz		HF 5
Definition	Der Indikator gibt die Berücksichtigung der Klima-Anpassungsstrategie im Generalplan Küstenschutz (GPK) an. Die GPK-Fortschreibungen <ul style="list-style-type: none"> • enthalten die jeweils aktuellen Annahmen zum Klimawandel und seinen Konsequenzen, • zeigen eine nachhaltige Strategie im Umgang mit dem Klimawandel auf, • zeigen den prozentualen Anteil der Landesschutzdeiche auf, der den aktuellen Erkenntnissen entsprechend den Folgen des Klimawandels gewachsenen ist, und werden mit öffentlicher Beteiligung erstellt. 	
IST	Ziel	
Fortschreibung 2012 des GPK, 78,5 % der Landesschutzdeiche weisen keine Sicherheitsdefizite auf (Fortschreibung 2022 in Arbeit)		Fortschreibung des GPK 2032 wird 2030 in Arbeit sein, Zielparameter für Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizite ist auf Grundlage der Fortschreibung GPK 2022 festzulegen
Datenquelle:	MELUND	
Pflege:	Jährlich	
Vergleichbar:	Nein	

Indikator-Factsheet: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 Neufassung: i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung:	für 2015 und 2019: Umweltbundesamt (UBA), Abteilung II.3 Trinkwasser- und Badebeckenwasserhygiene (Dr. Ingrid Chorus) Umweltbundesamt (UBA), Fachgebiet II 3.3 Trinkwasserressourcen und Wasseraufbereitung (Dr. Jutta Fastner) für 2023: Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) Universität Kiel (Dr. Katja Kuhwald, Prof. Dr. Natascha Oppelt) im Rahmen des UBA FKZ 3719481010	
Letzte Aktualisierung:	07.02.2014	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler)
	01.08.2017	Ingrid Chorus, UBA II 3
	23.01.2019	Umweltbundesamt (Gabriele Schönwiese) Kleinere redaktionelle Anpassung, Nummerierung des Indikators geändert (zuvor GE-I-6)
	30.05.2022	Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer), Christian Albrechts Universität (Katja Kuhwald): Neuentwicklung des Indikators auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten
	26.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Redaktionelle Anpassungen; Nummerierung des Indikators geändert (vormals GE-I-5)
	26.10.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Einarbeitung von Anregungen zur perspektivischen Weiterentwicklung im Rahmen der abschließenden Sitzung der LAWA Kleingruppe Klimaindikatoren am 24.10.2022
Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2027	Einer Erweiterung der Seenzahl für die Berichtsfortschreibung 2027 ist möglich. Die aktuelle Auswahl der Seen wurde im Rahmen des DASIF Vorhabens (FKZ 3719481010) getroffen und beinhaltet Seen mit einer guten in situ-Messgrundlage. An den ausgewählten Seen wurde das Vorhaben getestet und durchgeführt. Für eine Fortschreibung kann die Auswahl der Seen ausgeweitet werden. Bei der Auswahl der Seen sollte auch berücksichtigt werden, dass Cyanobakterienbelastungen beispielsweise auch für Trinkwassertalsperren von großer Relevanz sein können, da sie die Trinkwassernutzung beeinträchtigen können bzw. aufwändige Aufbereitung erforderlich machen. Zudem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass Cyanobakterienbelastungen auch für die Gewässerökosysteme selbst ein Problem darstellen.

I Beschreibung

Interne Nr. GE-I-7	Titel: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern
<p>Einheit: Anzahl</p>	<p>Kurzbeschreibung des Indikators: Anzahl der Seen, die sich den Kategorien der Blaualgenbelastung (keine Belastung, mittlere Belastung und hohe Belastung) zuordnen lassen Für die Kategorisierung der Belastung durch Blaualgen wird das Saisonmittel (Juli bis September) der Häufigkeit des Vorkommens von Cyanobakterien in einem See berechnet. Um Cyanobakterien zu detektieren, wird ein binärer Cyanomarker ermittelt, der eine Anzeige für das Vorkommen von Phycocyanin ist.</p> <p>Berechnungsvorschrift: <u>Schritt 1:</u> Saisonmittel der Häufigkeit des Vorkommens von Cyanobakterien = Summe aller zwischen Juli und September gemessenen Vorkommen von Cyanobakterien / Anzahl der gültigen Satellitenüberflüge für jeden See Bedingung für eine valide Aufnahme ist: Mindestens 30 % der Pixel innerhalb der Seefläche müssen valide sein. Ein Pixel wird als valide angesehen, wenn es nicht durch äußere Bedingungen beeinflusst ist (Wolken, Wolkenschatten, Überstrahlung vom Land). Bedingung für Vorkommen von Cyanobakterien: Mindestens 30 % der validen Pixel weisen einen positiven Cyanomarker auf. Die gemessene Chlorophyll-a Konzentration des Seemittelwertes aus den Fernerkundungsdaten muss höher als 10 µg/L sein (unterhalb dieser Schwelle ist die Cyanobakterien-Erfassung mit einer hohen Unsicherheit behaftet und wird daher hier nicht berücksichtigt).</p> <p><u>Schritt 2:</u> Einteilung der Seen in die Belastungsstufen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Belastung: Es gibt keine Indikation von Cyanobakterien im See. • Mittlere Belastung: An höchstens 20 % aller validen Überflüge gibt es eine Cyanbakterien Indikation im See. • Hohe Belastung: An über 20 % aller validen Überflüge gibt es eine Cyanbakterien Indikation im See. <p><u>Schritt 3:</u> Alle berücksichtigten Seen, die sich einer Belastungsstufe zuordnen lassen, werden aufaddiert. Für den Indikator wurden Seen und Talsperren aus den folgenden Regionen berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alpen und Alpenvorland: BY: Ammersee, Starnberger See, Walchensee BW/BY: Bodensee • Zentrale Mittelgebirgsregion: RP: Laacher See SN: Talsperre Bautzen • Norddeutsches Tiefland: BB: Stechlinsee BE: Großer Müggelsee MV: Müritz, Kummerower See NI: Steinhuder Meer SH: Großer Plöner See, Dobersdorfer See SN: Speicher Witznitz ST: Arendsee

Interpretation des Indikatorwerts:	Je höher der Indikatorwert ist, desto mehr Seen werden der jeweiligen Belastungsstufe zugeordnet. Je höher die Belastungsstufe ist, desto häufiger lassen sich in relevantem Umfang Cyanobakterien nachweisen.
---	--

II Einordnung

Handlungsfeld:	Menschliche Gesundheit
Themenfeld:	Gesundheitliche Auswirkungen von verminderter Badewasserqualität
Thematischer Teilaspekt:	Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch vermehrtes Auftreten potenziell toxischer Cyanobakterien
DPSIR:	Impact (Risiko)

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine bekannt
Begründung:	<p>Gesundheitliche Relevanz von Cyanobakterien:</p> <p>Die Zunahme der Belastung von Badegewässern mit Cyanobakterien ist ein im Zusammenhang mit dem Klimawandel viel diskutiertes Gesundheitsrisiko. Nicht nur in zahlreichen Binnengewässern, sondern auch in der Ostsee sind hohe Cyanobakterien-Zellichten zeitweilig ein Problem (UBA 2009: 6).</p> <p>Viele Cyanobakterien enthalten sogenannte Cyanotoxine. Als Folge eines Kontakts mit Cyanobakterien sowohl nach dem Verschlucken von Wasser als auch beim direkten Hautkontakt mit belastetem Wasser sind lokale Symptome wie Haut-/Schleimhautreizungen, Bindehautentzündungen, Ohrenschmerzen und allergische Reaktionen bekannt. Insbesondere besteht auch die Besorgnis schwerwiegenderer gesundheitlicher Beeinträchtigungen wie Gastroenteritiden, Atemwegserkrankungen und Leberveränderungen bei Aufnahme höherer Mengen stark toxinhaltiger Cyanobakterien; auch können akut lebensbedrohliche Intoxikationen insbesondere durch Neurotoxine aus Cyanobakterien (die als Ursache des raschen Verendens von Hunden und Wildtieren bekannt sind) nicht ausgeschlossen werden. Aus der Sicht des Gesundheitsschutzes kommt den systemischen Wirkungen der Cyanotoxine nach oraler oder inhalativer Aufnahme die größte Bedeutung zu. Hohe Konzentrationen können insbesondere eine Gefährdung sein für:</p> <ul style="list-style-type: none"> • im Uferbereich der Badestellen spielende Kleinkinder und Kinder im Grundschulalter, da sie beim Krabbeln oder Toben im Flachwasserbereich unbeabsichtigt auch größere Wassermengen aufnehmen können, • die Ausübenden von Wassersportarten wie Surfen und Wasserskifahren und hier insbesondere für Ungeübte, da diese die Cyanobakterien verstärkt oral oder aspirativ aufnehmen können. <p>Die UBA-Empfehlung (UBA 2015) rät daher grundsätzlich vom Baden in Gewässern ab, deren Wasser deutlich sichtbar durch Cyanobakterien getrübt ist oder gar Schlieren an der Wasseroberfläche aufweist (die Empfehlungen sind allerdings derzeit aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Überarbeitung). Ähnliche Richtlinien gibt es in zahlreichen anderen Staaten (Chorus 2012).</p> <p>Das Cyanobakterien-Vorkommen kann im Gewässer räumlich und zeitlich aufgrund biotischer und abiotischer Einflüsse ein äußerst heterogenes Verteil-</p>

	<p>lungsmuster annehmen, insbesondere für die Arten und Gattungen, die aufgrund ihres Gehalts an Gasvakuolen an der Wasseroberfläche zu sogenannten „Wasserblüten“ auftreiben oder „aufrahmen“. Diese „Blüten“ können windabhängig in bestimmten Gewässerbereichen akkumulieren, jedoch auch bei Wechsel der Windrichtung rasch wieder verdriftet werden. Somit beeinflussen auch physikalische Gewässereigenschaften wie die Morphologie und die Lage der Badebereiche das potenzielle Gesundheitsrisiko durch toxische Cyanobakterien (UBA 2015).</p> <p>Ursachen von Cyanobakterienbelastung:</p> <p>Grundsätzlich ist das Vorkommen von Cyanobakterien eine multifaktoriell gesteuerte Größe, bei der auch zahlreiche Rückkoppelungen eine Rolle spielen. Das Vorkommen von Cyanobakterien und die Dichte der Cyanobakterien-Zellsuspension werden in erster Linie von der Konzentration an Pflanzennährstoffen (i. d. R. Gesamtphosphor) bestimmt. Untersuchungen des UBA (Chorus et al. 2011) ergaben, dass bei Konzentrationen von Gesamt-P > 50-90 µg/l die Abundanz und die Biomasse der in Deutschland besonders häufig vorkommenden Gattungen <i>Microcystis</i>, <i>Planktothrix</i>, <i>Anabaena</i> und <i>Aphanizomenon</i> signifikant erhöht sind, unterhalb von Konzentrationen von 25 µg/l und Sichttiefen von mehr als zwei Metern dagegen Cyanobakterien nur selten in potenziell gesundheitsrelevanten Mengen vorkommen. Eutrophe Seen neigen jedoch nicht zwangsläufig zur Massenvermehrung von Cyanobakterien („Wasserblüten“). Im Gegensatz zu planktondominierten eutrophen Seen ist der Phosphor in makrophytenreichen eutrophen Seen überwiegend in den Wasserpflanzen gebunden und damit für die Cyanobakterien nicht verfügbar. Auch kann der Phosphor zeitweilig verstärkt zur Dominanz anderer (gesundheitlich weniger relevanten) Phytoplankton-Arten führen, bei ausgeprägter Durchmischung des Gewässers z. B. von Kieselalgen. Ob hohe Nährstoffkonzentrationen zu hoher Biomasse anderer Phytoplankton-Arten oder eher zu Massenentwicklungen von Cyanobakterien führen, hängt von hydrophysikalischen und biotischen Bedingungen ab. Aufgrund der großen Bedeutung des Phosphorgehalts für das Vorkommen von Cyanobakterien wird dieser Parameter als Teil B zur Erleichterung der Interpretation im Indikator mitgeführt.</p> <p>Die Witterungsbedingungen sind neben den Nährstoffkonzentrationen eine weitere entscheidende Größe für das Vorkommen von Cyanobakterien. Sie wirken indirekt, indem sich bei stärkerer Sonneneinstrahlung und höheren Temperaturen die thermische Schichtung des Gewässers deutlich früher im Frühjahr und insgesamt ggf. auch stabiler ausprägt (s. auch Indikator WW-I-6 des DAS-Handlungsfelds „Wasserhaushalt / Wasserwirtschaft“). Es zeichnet sich ab, dass die Schichtung im Zuge des Klimawandels früher im Frühjahr beginnt. Dies kann dazu führen, dass Cyanobakterien früher im Laufe des Sommers zu höheren Biomasse-Maxima kommen, da viele Arten unter diesen eher langsam wachsenden Phytoplanktern charakteristischerweise etliche Wochen zur Ausbildung von Massenentwicklung benötigen. Aufgrund der Witterungsabhängigkeit der Entwicklung wird ein Zusammenhang zwischen Klimaveränderung, Wassererwärmung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Cyanobakterien diskutiert.</p> <p>Empirischen Beobachtungen von Expert:innen bestätigen, dass sich eindeutige Seentypen-unabhängige Muster in der Entwicklung von Cyanobakterien derzeit nicht erkennen lassen. In Abhängigkeit von den morphometrischen und topographischen Bedingungen, dem Trophiegrad, dem Bewuchs, der Nutzung (u. a. Befischung und Badebetrieb) und weiteren Faktoren sind bei den Seen sowohl die Artenzusammensetzung als auch die Zelldichten im Jahresverlauf sehr unterschiedlich. Eine Ausnahme ist das in Rheinland-Pfalz beobachtbare auffällige Muster, dass die Cyanoalgenblüten teilweise um Monate früher einsetzen und mitunter bis in den späten Herbst andauern (Oehms 2012).</p>
--	---

	<p>Erfassung von Cyanobakterien:</p> <p>Cyanobakterien werden nur an wenigen Seen erfasst und häufig nicht in ausreichender Frequenz. Hinzu kommt, dass die Cyanobakterienblüten innerhalb der Seen, sie können verdriften, absinken oder auch wieder aufschwimmen. Es ist von vielen Faktoren abhängig, ob Cyanobakterienvorkommen mittels in situ-Messungen tatsächlich erfasst werden.</p> <p>Bei der Erfassung von Cyanobakterienblüten mittels Satellitenfernerkundung ist zu unterscheiden, ob es sich um im Wasser befindliche oder aufgeschwemmte Cyanobakterien handelt. Beide Formen des Vorkommens unterscheiden sich deutlich in ihrer Erfassbarkeit und Methodik. Dies betrifft sowohl die Auswahl möglicher Sensoren als auch der anzuwendenden Algorithmen. Aufgeschwemmten Cyanobakterien verhalten sich im Reflexionsspektrum ähnlich wie ein Vegetationsspektrum, d. h. deutlich ansteigende Reflexion vom sichtbaren Rot zum NIR und unterscheiden sich somit deutlich von einem Reflexionsspektrum einer Wasseroberfläche. Daher können aufgeschwemmte Cyanobakterien mit einem Band im nahen Infrarot und einem im sichtbaren Rot erfasst werden. Viele räumlich hoch aufgelösten und sehr hoch aufgelöste Sensoren besitzen diese Bandkombination und können ein detailliertes Bild der räumlichen Strukturen einer Blüte geben. Die fernerkundliche Erfassung von im Wasser befindlichen Cyanobakterien basiert hingegen auf dem spektralen Verhalten von Phycocyanin, das im Gegensatz zu Chlorophyll-a ein deutlicheres Absorptionsmaximum bei 620 nm aufweist. Gleichzeitig gibt es ein Absorptionsminimum bei 650 nm und bei 700 nm. Eine deutliche Ausprägung dieser Absorptionsmerkmale bedarf einer gewissen Mindestkonzentration von Cyanobakterien.</p> <p>Indikatorberechnung:</p> <p>Mittelwertbildungen von Absolutwerten über mehrere Seen hinweg sind hier – wie bei anderen Seen-Indikatoren nicht sinnvoll, da sich die Seen individuell stark unterscheiden. Daher wird zu Generierung der Indikatorwerte jeder See für jedes Jahr kategorisiert und jährlich die Zahl der Seen in den drei Kategorien aufaddiert.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Das Auftreten von Cyanobakterien ist stark multifaktoriell verursacht. Neben einem klimabedingten Temperaturanstieg spielt insbesondere der Nährstoffstatus eine entscheidende Rolle. Wobei dieser wiederum auch von einer Veränderung der Witterungsverhältnisse beeinflusst werden kann. Ein direkter Zusammenhang zwischen Klimawandel und dem Auftreten von Cyanobakterien(-blüten) ist nur dann zu erwarten, wenn andere Einflussgrößen (insbesondere die Nährstoffbelastung) unverändert bleiben.</p> <p>Zudem kann derzeit nicht eingeschätzt werden, ob und wie sich die Toxingehalte einer Population im Zuge des Klimawandels ändern, d. h. es möglicherweise zu einer Zunahme oder Abnahme der Toxinkonzentrationen bei gleichbleibender Cyanobakterienbiomasse kommt, da die Steuergrößen des Toxingehalts einer Population noch unbekannt sind.</p> <p>Eine Risikoabschätzung für Badende auf der Grundlage von Erhebungen zum Vorkommen von Cyanobakterien ist vor dem Hintergrund der eingeschränkten toxikologischen und epidemiologischen Datenlage nur mit großen Unsicherheiten möglich.</p> <p>Bei der Erfassung von Cyanobakterien durch die Fernerkundung ist kein Rückschluss auf den Toxingehalt möglich. Das vermehrte oder verminderte Vorkommen von Cyanobakterien in einem See ist kein Zeichen für zu- oder abnehmende Badequalität.</p> <p>Die Güte der Erfassbarkeit von im Wasser befindlichen Cyanobakterien ist stark abhängig von den Sensoreigenschaften. Um die Absorptionsmerkmale von Phycocyanin mit einem optischen Sensor erfassen zu können und von Chlorophyll-a zu unterscheiden, muss der entsprechende Sensor über schmale</p>

	<p>Aufnahmekanäle an den entsprechenden Wellenlängenbereichen verfügen. Insbesondere ein entsprechendes Band bei 620 nm ist nur bei wenigen Sensoren verfügbar, die speziell für Wasseranwendungen konzipiert sind. Die räumliche Auflösung liegt bei den betreffenden Sensoren bei 300 m und ist somit nur für größere Seen geeignet. Bei räumlich höher aufgelösten Sensoren sind meist breitere Aufnahmekanäle vorhanden und der Bereich um 620 nm nicht explizit mit einem eigenen Band abgedeckt. Dies erschwert die spektrale Erfassung mit diesen Geräten.</p> <p>Im Hinblick auf die zeitliche Auflösung gibt es Einschränkungen durch Bewölkung, Nebel oder bei Eisbedeckung. Eine gültige Aufnahme des Sees und die Berechnung von Cyanobakterien sind in diesen Fällen nicht möglich.</p>
<p>Erläuterungen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:</p>	<p><u>Grundlagen Gewässerfernerkundung:</u> Entscheidend für die Gewässerfernerkundung sind alle optisch wirksamen Prozesse im Wasser, die durch Streu- und Absorptionseigenschaften des Wassers und der Wasserinhaltsstoffe hervorgerufen werden. Das daraus resultierende spezifische Reflexionsverhalten des Wassers wird durch Satellitensensoren in verschiedenen Wellenlängen gemessen. Optisch aktive Inhaltsstoffe sind dabei Schwebstoffe (organisch und anorganisch), Chlorophyll-a in Algen und gelöste Gelbstoffe. Die Inhaltsstoffe haben jeweils spezifische optische Eigenschaften, d. h. ein charakteristisches Streu- und Absorptionsverhalten in den verschiedenen Wellenlängen.</p> <p><u>Datengrundlage:</u> Für alle Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 300 m für die Jahre 2002-2011 und 2016-2020 und mit einer Wiederholrate von 1-2 Tagen vor. Die zeitliche Auflösung wird zusätzlich vom Wetter am Aufnahmezeitpunkt beeinflusst und kann die zeitliche Auflösung verringern.</p> <p><u>Validierungsarbeiten mit in-situ Messungen:</u> Zur Validierung der Cyanobakterien-Indikation aus Satellitendaten wurden über den LAWA Expertenkreis Seen Ansprechpersonen aus Ländern und wissenschaftlichen Einrichtungen angefragt, um Messdaten aus den Monitoringprogrammen bereitzustellen. Für die Validierung wurden die Messungen ausgewählt, die am nächsten zur Wasseroberfläche durchgeführt wurden (zumeist 0 m oder 0,5 m) und innerhalb von 1-2 Tagen vor oder nach der Satellitenaufnahme stattfanden. Für die Definition einer Cyanobakterienblüte (in-situ) wurden folgende Kriterien ausgewählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Gesamtbiovolumen setzt sich aus mehr als 50 % Cyanobakterienbiovolumen zusammen. • Die Chlorophyll-a Konzentration der Messung ist höher als 10 µg/L.
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Richtlinie 2006/7/EG über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG (Badegewässer-Richtlinie) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) (WHG)
<p>In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen:</p>	<p>DAS, Kap. 3.2.1: Gefährdung der Gesundheit und Gesundheitsschäden durch vermehrte Blaualgenblüten (Cyanobakterien) an der Ostseeküste und in Binnenseen infolge der Anreicherung mit Nährstoffen bei zugleich milden Temperaturen</p>
<p>Ziele:</p>	<p>Badegewässer-Richtlinie, Artikel 8: (1) Deutet das Profil des Badegewässers auf ein Potenzial für eine Massenvermehrung von Cyanobakterien hin, so wird eine geeignete Überwachung durchgeführt, damit Gefahren für die Gesundheit rechtzeitig erkannt werden können</p>

	<p>(2) Kommt es zu einer Massenvermehrung von Cyanobakterien und wird eine Gefährdung der Gesundheit festgestellt oder vermutet, so werden unverzüglich angemessene Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Vermeidung einer Exposition gegenüber dieser Gefahr ergriffen, einschließlich der Information der Öffentlichkeit.</p> <p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: (1) Unveränderte oberirdische Gewässer sind so zu bewirtschaften, dass „ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.“ (2) Stark veränderte oberirdische Gewässer sind so zu bewirtschaften, dass „ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.“</p>
Berichtspflichten:	Berichterstattung zur Wasserrahmenrichtlinie

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Fernerkundungsdaten: <ul style="list-style-type: none"> • MEDium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS); European Space Agency (ESA) • Ocean and Land Colour Instrument (OLCI); Copernicus Sentinel data processed by ESA 	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Ausgewählte Seen in den drei Hauptnaturräumen Norddeutsches Tiefland, Mittelgebirge sowie Alpen und Alpenvorland	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 2002	
Beschränkungen:	In den Jahre 2012-2015 sind keine Satellitendaten vorhanden, aufgrund fehlender verwendbarer Satellitensensoren.	
Verweis auf Daten-Factsheet:	GE-I-6_Daten_Cyanobakterien.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	<p>Cyanotoxine: Cyanotoxine sind Wirkstoffe, die von Cyanobakterien gebildet werden und die sehr unterschiedliche und z. T. stark toxische Wirkungen entfalten können. Es handelt sich insbesondere um hepato- und neurotoxische Oligopeptide und Alkaloide. Zu vielen Substanzen aus Cyanobakterien steht eine Strukturaufklärung noch aus und für zahlreiche Inhaltsstoffe sind die Wirkungen erst in Ansätzen untersucht worden. Für die Badewässer in Deutschland sind aufgrund ihres häufigen Vorkommens die Microcystine von besonderer Bedeutung. Sie bilden konstitutionelle Zellbestandteile, sind also immer in den Zellen der toxinbildenden Genotypen enthalten und werden nicht nur unter bestimmten Wachstumsbedingungen gebildet.</p> <p>Wasserblüten: Von Wasserblüten, Blaualgenblüten oder auch im allgemeinen Sprachgebrauch vereinfacht Algenblüten spricht man dann, wenn bei massenhaftem Auftreten von Cyanobakterien diese an der Wasseroberfläche akkumulieren. Infolge der Wasserblüte färbt sich die Wasseroberfläche (je nach dominierender Art) grün, in besonderen Fällen auch blau oder rot, das Wasser wird trüb und „wolkig“.</p>
-----------------	--

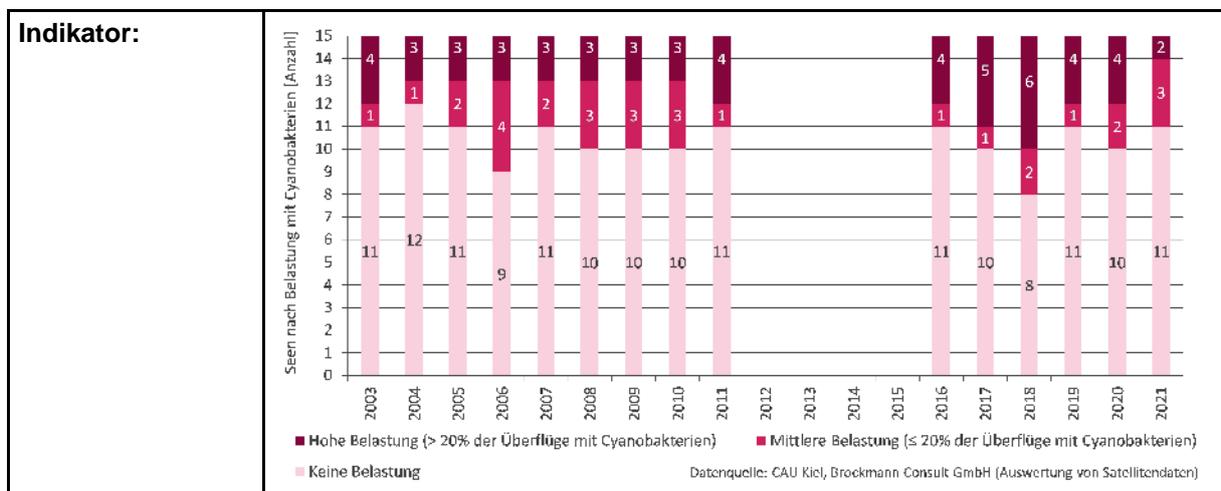
	<p>Cyanomarker: Der Cyanomarker wird durch das Vorkommen von Phycocyanin in Fernerkundungsdaten indiziert. Der Cyanomarker zeigt an, dass Phycocyanin in der oberen Wassersäule dominant ist.</p> <p>Aufnahmekanäle: Die spektrale Auflösung der Sensoren wird über die Aufnahmekanäle definiert. Ein Aufnahmekanal zeichnet die eingehende Strahlung einer bestimmten Zentralwellenlänge mit einer bestimmten Bandbreite auf.</p>
<p>Weiterführende Informationen:</p>	<p>Chorus I. (Hrsg.) 2012: Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. UBA-Texte 63/2012, Dessau-Roßlau, 147 S. www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4390.html</p> <p>Chorus I. & Schauser I 2011: Oligotrophication of Lake Tegel and Schlachtensee, Berlin: Analysis of system components, causalities and response thresholds "OLIGO". UBA-Texte 45/2011, Dessau-Roßlau, 157 S. www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien-e/4144.html</p> <p>Huber V., Wagner C., Gerten D., Adrian R. 2012: To bloom or not to bloom: contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers. <i>Oecologia</i> 169(1): 245-256.</p> <p>Illies J. 1978: Limnofauna Europaea: Eine Zusammenstellung aller die europäischen Binnengewässer bewohnenden mehrzelligen Tierarten mit Angaben über ihre Verbreitung und Ökologie. Stuttgart, 532 S.</p> <p>Kutser T. 2004: Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. <i>Limnology and Oceanography</i>, 49(6): 2179-2189.</p> <p>Kutser T. 2009: Passive optical remote sensing of cyanobacteria and other intense phytoplankton blooms in coastal and inland waters. <i>International Journal of Remote Sensing</i>, 30(17): 4401-4425.</p> <p>Lunetta R. S., Schaeffer B. A., Stumpf R. P., Keith D., Jacobs S. A., Murphy M. S. 2015: Evaluation of cyanobacteria cell count detection derived from MERIS imagery across the eastern USA. <i>Remote Sensing of Environment</i>, 157: 24-34.</p> <p>Matthews M. W., Bernard S., Robertson L. 2012: An algorithm for detecting trophic status (chlorophyll-a), cyanobacterial-dominance, surface scums and floating vegetation in inland and coastal waters. In: <i>Remote Sensing of Environment</i>, 124: 637–652.</p> <p>Mischke U. & Nixdorf B. (Hrsg.) 2008: Gewässerreport (Nr. 10): „Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. BTUC-AR 2/2008, 263 S.</p> <p>Oehms M. 2012: Überwachung der Badegewässer seit Inkrafttreten der novellierten EG-Badegewässerrichtlinie mit ihrer Überführung in nationales Recht durch die Landesverordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässers (Badegewässerverordnung) vom 22. Februar 2008. Vermerk des Landesamts für Wasserwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz vom 16.07.2012. Unveröffentlicht.</p> <p>Simis S.G.H., Peters S.W.M, Gons H.J 2005: Remote sensing of the cyanobacterial pigment phycocyanin in turbid inland water. In: <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 50(1), 2005: 237–245.</p> <p>UBA – Umweltbundesamt 2015: Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. <i>Bundesgesundheitsbl</i> 2015 58: 908–920. doi: 10.1007/s00103-015-2192-8</p> <p>UBA – Umweltbundesamt 2009: Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland - Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland. <i>Umwelt & Gesundheit</i> 03/2009, Berlin</p> <p>Wagner C. & Adrian R. 2009: Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change. <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 54(6, part 2): 2460-2468.</p>

	Weyhenmeyer G.A., Adrian R., Gaedke U., Livingstone D. M., Maberly S.C. 2002: Response of phytoplankton in European lakes to a change in the North Atlantic Oscillation. Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie 28: 1436-1439.
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Datenverar-beitung:	3	Satellitenbilddauswertung
	<u>Erläuterung:</u> Der Indikator basiert auf Satellitenbilddauswertungen, die spezifischen techni-schen Sachverstand erfordern. Die Auswertungen müssen separat beauftragt werden.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Umweltbundesamt, Abteilung II.3		
	<u>Erläuterung:</u>	keine	

VII Darstellungsvorschlag



Indikator-Factsheet: Investitionen in den Hochwasserschutz

Verfasser:innen:	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3716 48 104 0	
Mitwirkung:	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), Referat III 2 Finanzierung, fachbezogene Verwaltung, Hochwasserschutz, Hydrologie, Badegewässer (Matthias Löw)	
Letzte Aktualisierung:	05.03.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Erstellung des Indikators
	17.04.2019	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) Einarbeitung der Hinweise aus der Ressortabstimmung
	12.08.2022	Bosch & Partner GmbH (Stefan von Andrian-Werbung) Kleine formale und redaktionelle Anpassungen, Aktualisierung von Links
Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2023	<p>Der Indikator wurde in der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren kontrovers diskutiert. Dies betraf vor allem die Anrechenbarkeit der Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung (s. nachsehende Diskussion unter Schwächen). Um das Thema erstmalig im DAS-Monitoringbericht verankern zu können, wurde entschieden, eine Fallstudie zu entwickeln. Für das Land Hessen konnten kurzfristig beispielhaft Daten zur Verfügung gestellt werden.</p> <p>Die Weiterentwicklung der Fallstudie zu einem bundesweiten Indikator macht eine Abstimmung in der LAWA-Kleingruppe Klimaindikatoren erforderlich, welche technischen und nicht-technischen Maßnahmen des Hochwasserschutzes und der Gewässerentwicklung „anrechenbar“ sein sollen. Es sollte insbesondere diskutiert werden, welche Möglichkeiten es gibt, die Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit herauszurechnen, da diese keine bzw. höchstens sehr geringe Effekte für den Hochwasserschutz haben.</p> <p>Ferner sollte im Zuge der Weiterentwicklung der Fallstudie geprüft werden, in welcher Weise in die Mittelherkünfte (EU-, Bundes- und Landesmittel) unterschieden werden könnte und sollte. Die Berichterstattung des Bundes zu Maßnahmen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK), die auch über die Mittelabflüsse zum Sonderrahmenplan (SRP) „Präventiver Hochwasserschutz“ berichtet, bietet hierzu Ansatzpunkte, bildet aber nur einen Teil der Finanzierung durch EU, Bund und Länder ab.</p>

I Beschreibung

Interne Nr. WW-R-2	Titel: Investitionen in den Hochwasserschutz
	Fallstudie für Hessen
Einheit: Teil A: Mio. Euro	Kurzbeschreibung des Indikators: Teil A: Verausgabte Mittel für Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes und des nicht-technischen Hochwasserschutzes an Gewässern I. Ordnung sowie von konzeptionellen Vorarbeiten

<p><u>Teil B:</u> Mio. Euro</p>	<p><u>Teil B:</u> Zuwendungen an die Kommunen für Maßnahmen technischen und nicht-technischen Hochwasserschutzes an Gewässern II und III. Ordnung</p> <p>Berechnungsvorschrift: Daten werden vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zugeliefert.</p> <p><u>Teil A:</u> Die Ausgaben für den technischen Hochwasserschutz umfassen in der hessischen Fallstudie im Wesentlichen Ausgaben für Deichverstärkungsmaßnahmen und für den Ausbau von Poldern. Die Maßnahmen des nicht-technischen Hochwasserschutzes an Gewässern I. Ordnung sind in der hessischen Fallstudie vernachlässigbar. Bei den Gewässern erster Ordnung in Hessen handelt es sich um die Bundeswasserstraßen und die in der Anlage zum Hessischen Wassergesetz genannten Gewässer, nämlich sechs Altrheine (Ginsheimer, Schusterwörther, Stockstadt-Erfelder, Hammerauer, Nordheimer und Lampertheimer Altrhein) bzw. Teile davon. Da die Pflicht zur Gewässerunterhaltung nur bei den genannten Altrheinen dem Land obliegt, werden nicht technische Hochwasserschutzmaßnahmen Gewässern erster Ordnung in Hessen nur in so geringem Umfang durchgeführt, dass eine finanzielle Darstellung im gewählten Maßstab nicht sinnvoll erscheint. Konzeptionelle Vorarbeiten umfassen die Erstellung der nach der HWRM-RL bzw. dem WHG (§§ 73-75) und dem hessischen Wassergesetz zu erstellenden Gefahren- und Risikokarten, die Risikomanagementpläne (HWRM) und die Bestimmung der Risikogebiete. Da die Pläne sowohl technische als auch nicht-technische Maßnahmen umfassen, lassen sich die hierfür verausgabten Mittel nicht einer der beiden Kategorien zuordnen und werden daher separat geführt.</p> <p><u>Teil B:</u> Die Zuwendungen an die Kommunen für Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes betreffen vor allem den Neubau von Rückhalteeinrichtungen sowie von Anlagen zur Reaktivierung von Retentionsräumen und zum Hochwasserschutz. In Ausnahmefällen unterstützt das Land auch Unterhaltungsmaßnahmen der Kommunen. Diese müssen aus wasserrechtlichen Gründen zwar als Unterhaltungsmaßnahmen geführt werden, teilweise handelt es sich aber dabei auch um gestaltende Maßnahmen. Bei den nicht-technische Maßnahmen, zu denen Kommunen Zuwendungen des Landes erhalten, handelt es sich um eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen wie zur Schaffung zusätzlicher Überflutungsflächen oder zu Laufverlängerungen.</p>
<p>Interpretation des Indikatorwerts:</p>	<p><u>Teile A und B:</u> Je höher der Indikatorwert ist, desto mehr Mittel fließen in den Hochwasserschutz. Bei der Interpretation der Datenreihe ist zu berücksichtigen, dass rückläufige Mitteleinsätze nicht negativ zu interpretieren sind, da sie entsprechende Fortschritte bei der Umsetzung nachvollziehen. So zeigen beispielsweise die in der hessischen Fallstudie präsentierten Daten zum technischen Hochwasserschutz, dass die lange währenden Deichsanierungen an Rhein und Main inzwischen nahezu abgeschlossen werden konnten.</p>

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz
Themenfeld:	Anpassung der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur von Binnengewässern Anpassung des Gewässereinzugsgebietsmanagements: Landnutzung, Flächenmanagement von Binnengewässern
Thematischer Teilaspekt:	Verbesserung des technischen Hochwasserschutzes Erhaltung und Schaffung von Retentionsräumen, (Gebiets-)Wasserrückhalt Technische Wasserrückhaltung und Niederschlagswasserbehandlung Verbesserung der Funktionsfähigkeit von Talsperren(-systemen) <u>Hinweis:</u> Ein Indikator zur Rückgewinnung natürlicher Überschwemmungsflächen ist bereits für das DAS-Handlungsfeld Biologische Vielfalt Teil des DAS-Indikatorensets (BD-I-3). Er bildet auf der Impact-Ebene (indirekt) die positiven Effekte von Anpassungsmaßnahmen für die biologische Vielfalt ab. Thematisch ließe sich dieser Indikator als Response-Indikator auch dem Handlungsfeld Wasser zuordnen. Ein entsprechender Querverweis ist erforderlich.
DPSIR:	Response

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	Klimafolgenmonitoring Baden-Württemberg: R-WH-2 Investitionen in den Hochwasserschutz
Begründung:	<p>Ursache-Wirkungszusammenhang:</p> <p>Hochwasserereignisse gehören zu den natürlichen Phänomenen und treten je nach Entstehungsursache jahreszeitlich und räumlich in unterschiedlicher Ausprägung auf. Im Sommer kommt es aufgrund sommerlicher Starkniederschlagsereignisse oft zu räumlich begrenzten Hochwasserereignissen in Bächen und kleineren Flüssen, während lang andauernde und großräumige Niederschlagsereignisse oft in Verbindung mit einer Schneeschmelze im Winter und im Frühjahr zu Hochwasser in den mittleren und größeren Flüssen führen.</p> <p>Der Klimawandel kann zu einer Veränderung der Häufigkeit und Intensität (Schwere) von Hochwasserereignissen führen, wenn sich sommerliche Starkniederschlagsereignisse intensivieren, oder die winterlichen Niederschläge zunehmen bzw. vermehrt als Regen und weniger als Schnee fallen. Bei den in den Wintermonaten häufig wassergesättigten Böden werden diese Niederschläge i. d. R. direkt abflusswirksam.</p> <p>Relevanz:</p> <p>Die EU hat 2007 die Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EU-HWRM-RL) verabschiedet. Ziel ist hierbei ein grenzübergreifend abgestimmter Hochwasserschutz zur Reduzierung von Hochwasserrisiken. Die deutsche Umsetzung der Richtlinie erfolgte mit dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Es wurden mit Bezugnahme auf diese rechtliche Grundlage auf nationaler Ebene und durch die Bundesländer umfangreiche Maßnahmen zur Abschätzung von Hochwasserrisiken sowie zur Planung und Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen eingeleitet.</p> <p>Der Klimawandel ist nicht die alleinige treibende Kraft beim Hochwasserschutz, aber verleiht der Planung und Umsetzung eine besondere Dringlichkeit. Hochwasserschutz unterstützt den Anpassungsprozess. Dies gilt sowohl für Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes als auch für Maßnahmen zur Wiedergewinnung von Retentionsflächen und zur Wiederherstellung naturna-</p>

	<p>her Gewässerstrukturen.</p> <p>Berücksichtigte Maßnahmen:</p> <p>Der Indikator berücksichtigt die folgenden Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes: Hierzu gehören alle Maßnahmen, die der Zurückhaltung, Durchleitung und Umleitung des Wassers dienen. Dies können konkret folgende Maßnahmen sein: Errichtung von Regen- und Hochwasserrückhaltebecken, Stauanlagen, Erweiterung des Flussbettes, Bau oder Erhöhung von Dämmen, Deichen und Mauern, Bereitstellung mobiler Schutzwände, Errichtung von Schöpfwerken, Anlage von Flutmulden, gesteuerte Flutpolder und Hochwasserrückhalteräume im Nebenschluss;• Maßnahmen zum Rückbau oder teilweisen Rückbau (Schlitzungen) von Deichen: Diese Maßnahmen zielen auf eine Erweiterung der Retentionsräume, d. h. die Bereitstellung zusätzlicher Flächen, die im Hochwasserfall überflutet werden können;• Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung: Hierzu gehören Maßnahmen, die in und am Gewässer durchgeführt werden und der Wiederherstellung naturnäherer Strukturen (insbesondere durch Flächenbereitstellungen) dienen. Dies können konkret folgende Maßnahmen sein: Laufveränderungen, Wiederherstellung von Uferbewuchs, Wiederherstellung der Durchgängigkeit, Bereitstellung von Retentionsflächen;• planerisch-konzeptionelle Maßnahmen wie die Erstellung von Gefahrenkarten und Hochwasserrisiko-Managementplänen, die Abgrenzung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten oder Vorarbeiten zur Umsetzung operativer Maßnahmen des Hochwasserschutzes. <p>Die Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung dienen im Wesentlichen der Erreichung der (ökologischen) Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Es sollen damit aber auch Synergien zur Verminderung der Hochwasserrisiken entsprechend Art. 9 HWRM-RL angestrebt werden. Alle Renaturierungsmaßnahmen an Gewässern dienen in mehr oder weniger großem Umfang auch der Entschärfung der Hochwassersituation. Zumindest ist derzeit keine Renaturierungsmaßnahme genehmigungsfähig, die zu einer Verschärfung der Hochwassersituation führen würde. Teilweise vollzieht sich inzwischen sogar eine Schwerpunktverschiebung dahingehend, dass große Deichrückverlegungsmaßnahmen (wie an der Unstrut) dezidiert als Hochwasserschutzmaßnahmen geplant werden, sodass ökologische Aspekte (Renaturierung) an die zweite Stelle treten.</p> <p>Finanzierung der Maßnahmen:</p> <p>Angesichts der enormen volkswirtschaftlichen Kosten, die große Hochwasserereignisse verursachen, unterstützt der Bund die Länder beim Hochwasserschutz bereits seit 1973 im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK). Zur Erfüllung der Gemeinschaftsaufgabe erstattet der Bund den Ländern 60 % der ihnen entstandenen Ausgaben für den Neubau und die Verstärkung von Hochwasserschutzanlagen, für die Rückverlegung von Deichen und für Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung.</p> <p>Nach den verheerenden Hochwassern im Juni 2013 im Elbe- und Donaugebiet wurde zudem von der Umweltministerkonferenz (UMK) die Erarbeitung eines Nationalen Hochwasserschutzprogramms (NHWSP) unter Koordinierung des Bundes beschlossen. Eine Liste mit prioritären, überregional wirksamen Hochwasserschutzmaßnahmen bildet das Kernstück des NHWSP. Das Programm soll in erster Linie zur beschleunigten Umsetzung überregional wirkender Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes beitragen und umfasst vor diesem Hintergrund folgende Maßnahmen: Maßnahmen zur Deichrückverlegungen und Wiedergewinnung natürlicher Retentionsfläche, Maßnahmen zur</p>
--	--

	<p>gesteuerten Hochwasserrückhaltung (Hochwasserrückhaltebecken und Polder) sowie Maßnahmen zur Beseitigung von Schwachstellen. Der Bund unterstützt die Länder über einen Sonderrahmenplan (SRP) „Präventiver Hochwasserschutz“ finanziell bei der Umsetzung von Maßnahmen der beiden Maßnahmenkategorien gesteuerte Hochwasserrückhaltung und Deichrückverlegung. Der SRP ist der GAK zugeordnet und finanziert nach deren Regeln. Die Kategorie „Schwachstellenbeseitigung“ wird nicht über den SRP, sondern von den Ländern eigenverantwortlich über die allgemeine GAK finanziert.</p> <p>Über die Mittelabflüsse im Rahmen der GAK berichtet der Bund regelmäßig. Aus der GAK-Berichterstattung geht auch hervor, welche Anteile EU, Bund und Länder an der Finanzierung haben.</p> <p>Außerhalb der GAK setzen die Länder und Kommunen in ihrer Verantwortung Hochwasserschutzmaßnahmen um. Diese können aus unterschiedlichen Quellen finanziert sein. Zu diesen Quellen können neben Haushaltsmitteln und landesspezifischen Sonderprogrammen auch Förderungen im Rahmen des europäischen LIFE-Programms oder Mittel aus dem europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gehören.</p> <p>Zudem geben die Länder Zuwendungen an Kommunen, damit diese im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für die Gewässer II. und III. Ordnung Maßnahmen umsetzen können.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Die Kommunen, die i. d. R. die Zuständigkeiten für die Gewässer II. und III. Ordnung haben, erhalten teilweise Zuwendungen durch das Land. Es werden aber auch Maßnahmen ohne Zuwendungen des Landes umgesetzt. Zu diesen Maßnahmen lässt sich aber ohne großen Aufwand kein Überblick herstellen, sodass diese Maßnahmen unberücksichtigt bleiben müssen.</p> <p>Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung und zur Rückgewinnung von Überflutungsflächen haben zumeist eine starke naturschutzfachliche Motivation. Hochwasserschutz-spezifische Aufwendungen lassen sich dabei nicht oder nur schwer eingrenzen. Es müsste im Einzelfall geprüft werden, inwieweit die zur naturnahen Gewässerentwicklung und der Rückgewinnung von Überflutungsflächen ergriffenen Maßnahmen tatsächlich auch dem Hochwasserschutz dienen. Dies gilt in besondere Weise für Maßnahmen zur Förderung der Durchgängigkeit.</p> <p>Durch die bisherige Fokussierung auf die Gewässer (I., II., III. Ordnung) bleiben Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche wie die Ausweisung von Hochwasserentstehungsgebieten und die damit verbundenen Nutzungsregelungen oder auch das Starkregenmanagement unberücksichtigt.</p> <p>Die mit dem Indikator abgebildeten Mittelflüsse sind weder unmittelbarer Spiegel der Bemühungen um einen verbesserten Hochwasserschutz noch der Notwendigkeiten von Umsetzungsmaßnahmen. Vor allem die Knappheit verfügbarer Flächen für die Erweiterung der Retentionsräume setzen dem nicht-technischen Hochwasserschutz enge Grenzen (s. auch LAWA 2017). Bei der Interpretation der Ausgaben für konzeptionelle Vorarbeiten ist zu berücksichtigen, dass Aufstellung von Hochwassergefahrenkarte und HWRM-Plänen etc. von ganz verschiedenen Einflussfaktoren abhängig sind wie der Größe der Risikogebiete, dem Bedarf an Aktualisierungen oder auch der Verfügbarkeit neuer Daten.</p>
<p>Erläuterungen zur Fallstudie:</p>	<p>Das HMUKLV konnte kurzfristig für eine Fallstudie Daten zur Verfügung stellen. Daten liegen teilweise auch bereits für Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz vor, sie konnten aber nicht mehr harmonisiert werden, um zusammen mit den hessischen Daten darstellbar zu sein.</p> <p><u>Perspektiven für eine bundesweite Darstellung des Indikators:</u></p> <p>Die für das Land Hessen bereitgestellten Daten lassen sich grundsätzlich auch für andere Bundesländer zusammenstellen. Die Maßnahmentitel in der Buchführung der Länder lassen sich allerdings nicht immer miteinander vergleichen.</p>

	<p>Um die Vergleichbarkeit der Datenlieferungen sicherzustellen, ist es erforderlich, über die Bundesländer hinweg ein gemeinsames Verständnis zu den zu berücksichtigenden Maßnahmen herzustellen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die Maßnahmen der naturnahen Gewässerentwicklung. Auch ungesteuerte Deichrückverlegungsmaßnahmen und die Optimierungen von Steuerungsregimen bestehender Anlagen sind als möglicherweise zu berücksichtigende Hochwasserschutzmaßnahmen in diese Diskussionen einzubeziehen. Im Falle der Kategorie der „konzeptionellen Vorarbeiten“ ist zu prüfen, inwieweit sich mit einer stärkeren Eingrenzung auf die Erarbeitung von Konzepten, Vorplanungen, modellbasierte Studien etc. die Zahlen besser interpretieren lassen, da die Mittelaufwendungen für die Aufstellung von Hochwassergefahrenkarte und HWRM-Plänen von vielen anderen Faktoren abhängig sind (s.o. Schwächen).</p> <p>Um der Schwierigkeit der Interpretation der Datenreihe (sind steigende oder fallende Werte positiv oder negativ zu bewerten?) zu begegnen, sollte auch diskutiert werden, ob beispielsweise die Darstellung kumulierter Mittel oder die Angabe relativer Aufwendungen im Vergleich zu einem langjährigen Mittel eine Alternative darstellen könnten.</p> <p>Bei einer Ausweitung der Fallstudie und Zusammenstellung der Daten aus den einzelnen Bundesländern ist zu berücksichtigen, dass sich Überschneidungen ergeben können, wenn Länder die Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen in jeweils angrenzenden Bundesländern mit finanzieren, da diese auch zu ihrer eigenen Hochwasserentlastung beitragen. Die Abfrage der Daten sollte möglichst so strukturiert sein, dass für das jeweilige Bundesland nur die Daten veranschlagt werden, die innerhalb des Landes auch für Projekte verausgabt werden.</p> <p>Mit der wachsenden Rolle des Bundes bei der Unterstützung des großräumigen Hochwasserschutzes stehen zukünftig vermehrt Daten (BMU, BfG) zur Verfügung. Mit bundesweitem Fokus betreibt die BfG für BMU und Länder zudem den digitalen Planungsassistenten für das NHWSP, das sogenannte „eNHWSP“. Finanzdaten zu den geförderten NHWSP-Projekten werden hierin strukturiert verwaltet und könnten ausgewertet werden. Es ist zu prüfen, wie diese Daten nutzbar gemacht werden können.</p>
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist (WHG) • Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013 (MKRO 2013), beschlossen von der Ministerkonferenz für Raumordnung am 06.02.2013 • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS)
<p>Ziele:</p>	<p>WHG, § 76 Abs. (2): Festsetzung von Überschwemmungsgebieten 1. innerhalb der Risikogebiete (oder der nach § 73 Absatz 5 Satz 2 Nummer 1 zugeordneten Gebiete) mindestens die Gebiete, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten ist, und 2. die zur Hochwasserentlastung und Rückhaltung beanspruchten Gebiete. Die unter 1. genannten Gebiete sind bis zum 22. Dezember 2013 festzusetzen.</p> <p>MKRO 2013, Kap. 3.1: Das Handlungskonzept identifiziert folgende Handlungsbedarfe: Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum, Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum, Risikovorwarnung in potenziellen Überflutungsbereichen, Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse, Sicherung potentieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen.</p> <p>DAS: Kap. 3.2.3: Unterstützung der Eigenvorsorge im Hochwasserschutz Kap. 3.2.14: In Flussgebieten Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken</p>

	durch Verstärkung von passiven Sicherungsmaßnahmen (insbesondere Freihaltung von Bebauung) als auch durch aktive Abflussregulierung sowie erhebliche Ausweitung der Retentionsflächen in regionaler und überregionaler Abstimmung.
Berichtspflichten:	GAK-Berichterstattung des Bundes

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV): Haushaltsrechnung für die Jahre 2000 bis 2017	
Räumliche Auflösung:	Flächenhaft	NUTS 1
Geographische Abdeckung:	Hessen	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, ab 2000	
Beschränkungen:	Keine	
Verweis auf Daten-Factsheets:	WW-R-2_Daten_Investitionen_Hochwasserschutz.xlsx	

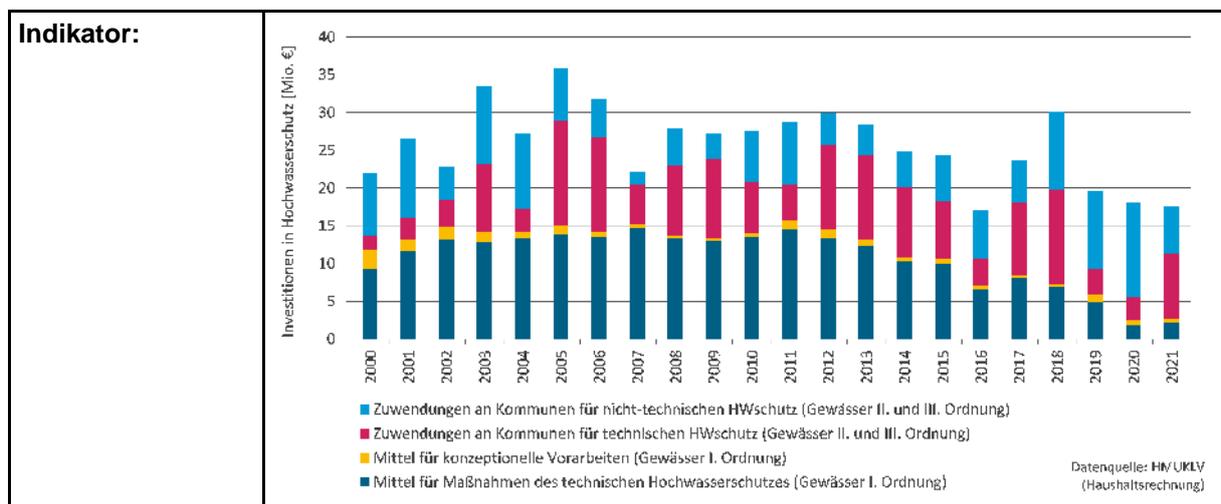
V Zusatz-Informationen

Glossar:	GAK: In Deutschland ist die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) ein wesentliches Element der Nationalen Strategie für die Entwicklung ländlicher Räume und bildet den inhaltlichen und finanziellen Kern vieler Länderprogramme. Die Förderung im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe zielt auf eine leistungsfähige, auf künftige Anforderungen ausgerichtete und wettbewerbsfähige Land- und Forstwirtschaft, vitale ländliche Räume sowie auf die Verbesserung des Küstenschutzes. Sie ist das wichtigste nationale Förderinstrument für die Agrarwirtschaft, den Küstenschutz sowie die ländlichen Räume inkl. der Forstwirtschaft. Seit 2015 erfolgt die Umsetzung des Sonderrahmenplans für „Präventiver Hochwasserschutz“ mit zusätzlichen Bundesmitteln.
Weiterführende Informationen:	Informationen des BMUV zum Nationalen Hochwasserschutzprogramm: www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewasser/hochwasservorsorge/hochwasserschutzprogramm LAWA – Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2017: Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S. LAWA 2014: Nationales Hochwasserschutzprogramm – Kriterien und Bewertungsmaßstäbe für die Identifikation und Priorisierung von wirksamen Maßnahmen sowie ein Vorschlag für die Liste der prioritären Maßnahmen zur Verbesserung des präventiven Hochwasserschutzes, beschlossen auf der Umweltministerkonferenz am 24. Oktober 2014 in Heidelberg, 9 S. www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/hochwasserschutzprogramm_bericht_bf.pdf

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Daten-verarbeitung:	1	Zusammenführung der Daten zur Darstellung des Indikators ohne vorhergehende Datenaufbereitung möglich
	<u>Erläuterung:</u> Die Daten für die Fallstudie werden in unmittelbar zu übernehmender Form vom HMKLV zur Verfügung gestellt. Im Falle der beabsichtigten Erweiterung des Indikators auf weitere Bundesländer wird der Aufwand aber höher sein, da dann die Datenlieferungen mehrerer Institutionen koordiniert werden müssen.		
Datenkosten:	Keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



LFP-Projekt: LAWA-Konzept

Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor

Schlussbericht

Anlage 2: Dokumentation zu erprobten Indikatoren

14.12.2022

Auftraggeber: **Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern** Eckhard Kohlhas
Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin

Auftragnehmer: **Bosch & Partner GmbH** Konstanze Schönthaler
Pettenkoferstraße 24 Can Ölmez
80336 München Mareike Wolf
Kantstraße 63a
10627 Berlin



Anlage 2: Dokumentation zu erprobten Indikatoren

1 Indikator-Erprobung: Einfluss von Sturmfluten im Binnenbereich (Nordsee)

Verfasser:	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez)	
Mitwirkung:	Bundesanstalt für Wasserbau (Dr. Rita Seiffert)	
Letzte Aktualisierung:	07.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez): Erstellung

Die Erprobung des Indikators „Einfluss von Sturmfluten im Binnenbereich (Nordsee)“, sieht vor, die (zeitlich verzögert ablaufende) Reaktion von Binnenpegeln auf Sturmfluten an der Nordsee abzubilden.

Messungen an den Küstenpegeln sagen nichts darüber aus, wie weit die Einflüsse von Sturmfluten ins Landesinnere hineinreichen. Hierfür wären vor allem die Daten der Binnenpegel (hinter der Tidegrenze, z. B. Geesthacht) von Interesse. Für die ausgewählten zwei Küstenpegeln (Cuxhaven und Bremerhaven), die eine Sturmflut anzeigen sollen, und fünf Binnenpegeln (Artlenburg, Hohnstorf, Neu Darchau, Dreye und Intschede, s. Tabelle 1), an denen die Folgen beobachtet werden, wurde eine dreistufige Datenauswertung durchgeführt. Die für den Indikator herangezogenen Messdaten umfassen den Zeitraum von 24.10.1998 bis 23.02.2020 an der Elbe und von 27.01.1994 bis 25.03.2020 an der Weser. Die Daten werden an den Pegeln in einem viertelstündlichen Intervall erhoben. Die Messstellen werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) verwaltet. Die Daten lassen sich bei der Datenstelle-M1 der BfG anfragen.

Tabelle 1: Pegelübersicht

Pegel	Gewässer	Bundesland	Gewässerkilometer
Cuxhaven	Elbe	NI	724,00
Artlenburg	Elbe	NI	573,80
Hohnstorf	Elbe	NI	568,97
Neu Darchau	Elbe	NI	536,44
Bremerhaven	Weser	HB	92,66
Dreye	Weser	NI	355,80
Intschede	Weser	NI	331,28

In einem ersten Schritt mussten Sturmflutereignisse an den Küstenpegeln Cuxhaven und Bremerhaven identifiziert werden. Eine Sturmflut in der deutschen Bucht ist definiert als Ereignis, bei dem der Pegelwasserstand mindestens 1,5 Meter über dem Mittleren Tidehochwasser (MThw) liegt (MThw für Bremerhaven 659 m und für Cuxhaven 654 m) und der Windstau ≥ 2 Meter ist (Gönnert 2003). Der Windstau berechnet sich aus der Differenz des am Pegel

gemessenen Wasserstands und den am Pegel vorausberechneten Gezeiten-Wasserständen. Die Informationen zum Pegelnullpunkt (PNP) werden mit den Pegeldata geliefert.

- Windstau = Wasserstand_{ü. PNP} – (Gezeitenberechnet + PNP)

Für die identifizierten Sturmflutereignisse wurde ein Filter auf die übrigen Binnenpegel angewendet. Dieser filtert die vorliegende Zeitreihe, ausgehend von einem Sturmflutereignis zum Zeitpunkt i und die 14 darauffolgenden Tage.

- Filter: Messwert_{Sturmflut i} bis Messwert_{Sturmflut $i + 14$ Tage}

Die gefilterte Messreihe wurde visuell auf verzögerte Reaktionen an den Binnenpegeln auf Sturmflutereignisse an der Küste geprüft. Die Quantifizierung der Höhe und zeitlichen Verzögerung der Reaktion erfolgte manuell für ausgewählte Sturmflutereignisse.

Die maximalen Wasserstände bei Sturmfluten werden insbesondere durch den Meeresspiegelanstieg erhöht. Aber auch sehr hohe Oberwasserzuflüsse oder erhöhte Windstärken führen zu einer Zunahme der Sturmflutscheitelwasserstände. An Binnenpegeln nahe der Tidegrenze können hohe Wasserstände grundsätzlich von Binnenhochwasser (verursacht durch hohe Abflüsse) oder durch Sturmflutwasserstände (verursacht durch eine von der Seeseite herkommende Sturmflut) auftreten. Binnenhochwasser und Sturmfluten werden durch unterschiedliche meteorologische Ereignisse (starker Niederschlag im Einzugsgebiet des Flusses bzw. Sturm über der Nordsee) hervorgerufen und können überlagernd auftreten. Höher auflaufende Sturmfluten stellen – neben einer Gefahr für die Küsten – auch eine mögliche Gefährdung für das Binnenland dar, wenn Hochwasserwellen in die Binnenbereiche fortgesetzt werden und wasserbauliche Anlagen, wie z. B. Wehre zum Schutz vor Hochwasser gelegt werden. Sofern Sturmfluten und hohe Oberwasserzuflüsse zusammentreffen, kann dies das Hochwasserge-schehen beeinflussen. Allerdings sind Sturmfluten und Binnenhochwasser keineswegs immer zeitlich korreliert.

Geographisch umfasst der Indikator die Bundesländer Bremen und Niedersachsen. Die gesamte Messreihe wurde entsprechend dem oben vorgestellten Schema ereignisbezogen gefiltert.

Der Indikator ließe sich als Maß für die Höhe und Dauer einer Sturmflut bzw. des Sturmflutscheitels stromauf interpretieren. Je später sich die Reaktion am Binnenpegel zeigt, desto langsamer ist die Wellenausbreitung im jeweiligen Fließgewässer. Einschränkungen liegen in der starken anthropogenen Überprägung der Gewässer Elbe und Weser. Damit sich eine Sturmflut in den Binnenbereich fortsetzen kann, müssen Staustufen bzw. Wehre, die den Hochwasserschutz gewährleisten, gelegt werden. Dies geschieht beispielsweise an der Staustufe Geesthacht bei einem Abfluss von 1.200 m³/s, sodass alle Öffnungen des Wehrs vollständig freigegeben werden. Grundsätzlich sind Deiche im Landesinneren i. d. R. für Binnenhochwasser dimensioniert. Bei eindringenden starken Sturmfluten ins Landesinnere können die Binnendeiche für die Absicherung in Kombination mit sehr hohen Abflüssen möglicherweise nicht mehr ausreichen. An der Weser ist die Funktionsweise des hinter der Stadt Bremen liegenden Ochtumsperrwerk ähnlich. Es dient dem Hochwasserschutz der hinter dem Sperrwerk liegenden Niederung und damit insbesondere dem Schutz von Teilen der Bremer

Stadt- bzw. Landesfläche. Neben Wehren, die dem Aufstauen von Wasser dienen, beeinflussen Fahrrinnenanpassungen zur Schiffbarmachung das Abflussgeschehen in einem Fließgewässer (siehe Abbildung im Anhang), wodurch ein mögliches Klimasignal überdeckt wird.

Die nachstehende Abbildung zeigt die aus den Auswertungen resultierenden Ergebnisse.

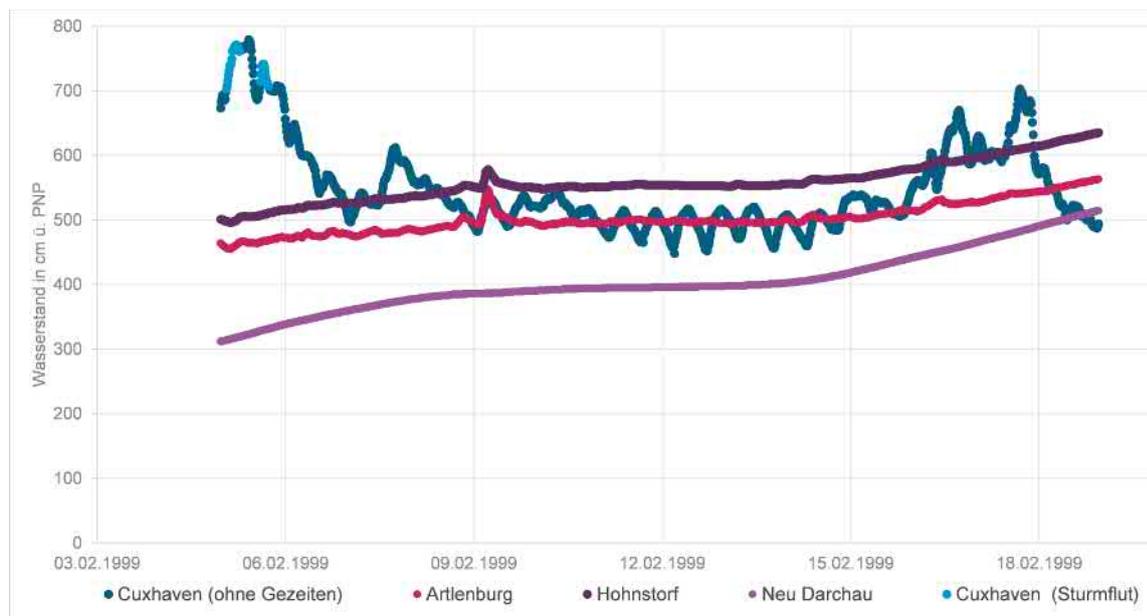


Abbildung 1: Darstellung eines einzelnen Sturmflutereignisses am 05.02.1999 an der Elbe

Quellen

Gönnert, G. 2003: Sturmfluten und Windstau in der Deutschen Bucht Charakter, Veränderungen und Maximalwerte im 20. Jahrhundert. Die Küste, 67, 185-365. <https://izw.baw.de/publikationen/die-kueste/0/k067108.pdf>

2 Indikator-Erprobung: Verschiebung der Brackwasserzone (Nordsee)

Verfasser:	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez)	
Mitwirkung:	Bundesanstalt für Wasserbau (Dr. Rita Seiffert)	
Letzte Aktualisierung:	07.07.2022	Bosch & Partner GmbH (Can Ölmez)
		Erstellung

Die Erprobung des Indikators „Verschiebung der Brackwasserzone“ sieht die Quantifizierung der Folgen des Meeresspiegelanstiegs und Änderungen im Oberwasserzufluss der Elbe vor. Ein steigender Meeresspiegel und ein geringer Oberwasserzufluss führen zu einer Verschiebung der Brackwasserzone stromauf. Es ist davon auszugehen, dass die Veränderung der Lage der Brackwasserzone durch den Meeresspiegelanstieg stetig und dauerhaft sein wird, während es durch variierende Oberwasserzuflüsse oder Sturmflutereignisse zu kurzfristigen Verschiebungen der Brackwasserzone kommt.

Die Lage der Brackwasserzone in der Elbe ist durch anthropogene Baumaßnahmen beeinflusst. Beispielsweise wurde im Rahmen des Aktionsprogramms Ems eine Sohlschwelle am Emssperrwerk eingerichtet. Sie reduziert den stromaufgerichtete Schwebstofftransport und wirkt der Verschiebung der Brackwasserzone entgegen.

Verschiebungen der Brackwasserzone lassen sich grundsätzlich anhand von Pegel- und Wasserstandsdaten oder mit Salzgehalt bzw. Leitfähigkeitsmessungen erfassen. Relevant sind sowohl Ästuar- (zwischen Küste und Binnenbereich, z. B. Hamburg oder Brunsbüttel) als auch Binnenpegel (hinter der Tidegrenze, z. B. Geesthacht). Insbesondere die Ästuarpegel zeigen die stromaufwärts Verschiebung der Brackwassergrenze mit der Tide und sind für die Salzwasserproblematik besonders interessant. Binnenpegel sind bisher nicht von der Tide beeinflusst. Hier lassen sich perspektivisch Einströmungen über die Tidengrenze hinaus ablesen.

Ein Indikator zur Veränderung von Salzgehalt und Leitfähigkeit ist vor allem mit Blick auf die landwirtschaftliche Wassernutzung interessant. Insbesondere wenn Flusswasser zur Befeuchtung, für die Viehtränke oder die Frostschutzberegnung verwendet wird. Hierfür liegen unterschiedliche Grenzwerte vor. Bewässerungs- oder Beregnungswasser ist bei zu hohem Salzgehalt (auch für die Frostschutzberegnung) nicht mehr geeignet.

Grenzwerte (Salzgehalt) für die Wasserentnahme (nach WSV 2022):

- Befeuchtung 0,5 g/L ($\approx 0,9 \text{ PSU}^1 \approx 1900 \text{ }\mu\text{S/cm}$)
- Viehtränke 0,8 g/L ($\approx 1,5 \text{ PSU} \approx 3000 \text{ }\mu\text{S/cm}$)
- Frostschutzberegnung 1,0 g/L ($\approx 1,8 \text{ PSU} \approx 3600 \text{ }\mu\text{S/cm}$)

¹ PSU - Practical Salinity Units

Es gibt Dauermessstellen, die von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betrieben werden und die Daten zu Salzgehalt bzw. Leitfähigkeit liefern. An diesen Messstellen werden Daten in hoher zeitlicher Auflösung (5-Min. Intervall) erhoben. Die Daten lassen sich beim zentralen Datenmanagement des WSV abfragen bzw. sich als Rohdaten unter www.kuestendaten.de herunterladen. Es ist zu berücksichtigen, dass die Messungen entlang eines Salzgradienten erfolgen (von der Küste mit 323 PSU bis Hamburg mit 0 PSU; 1 PSU = 1 ‰ Salzgehalt) und dass die Messungen im Tagesverlauf Tidebeeinflusst sind, so dass nicht einfach Mittelwertbildungen der Messwerte erfolgen können.

Die Dauermessstellen D1 bis D4 erheben seit Januar 1998 Daten im 5-Minuten Intervall. Die Datensätze liegen bis zum Juli 2021 vor. An der Messtelle Brunsbüttel Mole 4 wurden seit Februar 1997 Daten zum Salzgehalt erhoben. Seit Juli 2016 ist diese Messstelle allerdings nicht mehr aktiv (es liegen keine aktuelleren Daten vor). Eine Alternative Messtelle zu Brunsbüttel Mole 4 könnte die ca. 300 m entfernt liegende Messstelle LZ 1b Krummendeich sein. Dort liegen die Daten bis einschließlich Dezember 2020 vor.

Die Auswertung der Salzmessungen erfolgt in drei Teilschritten. Im Indikator dargestellt wird die Anzahl der Stunden pro Jahr an denen ein Grenzwert (0,5 g/L, 0,8 g/L oder 1,0 g/L) überschritten wird.

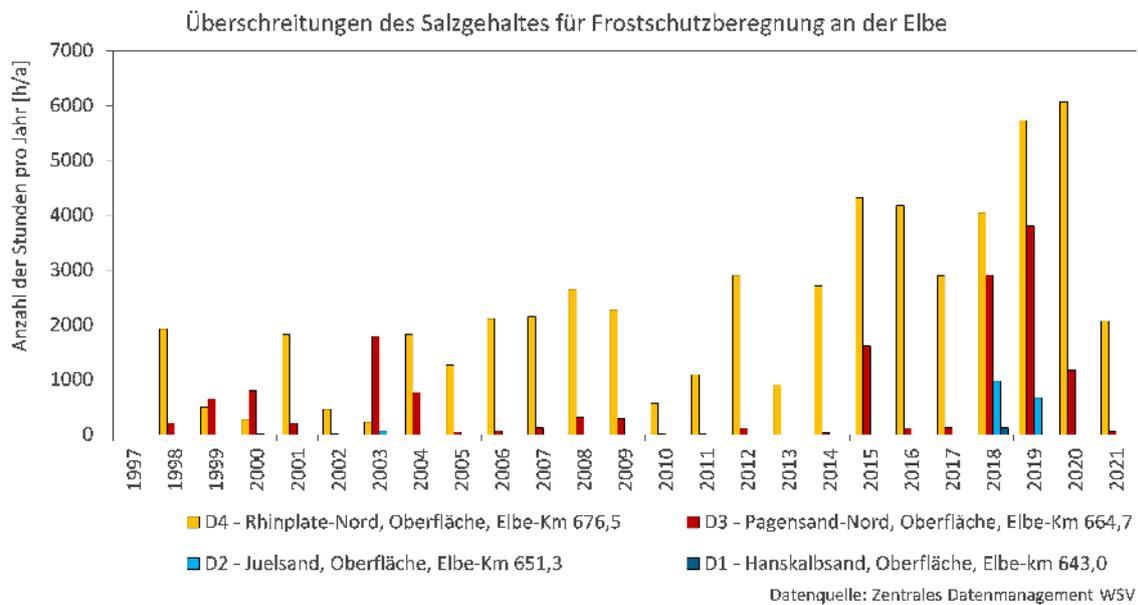
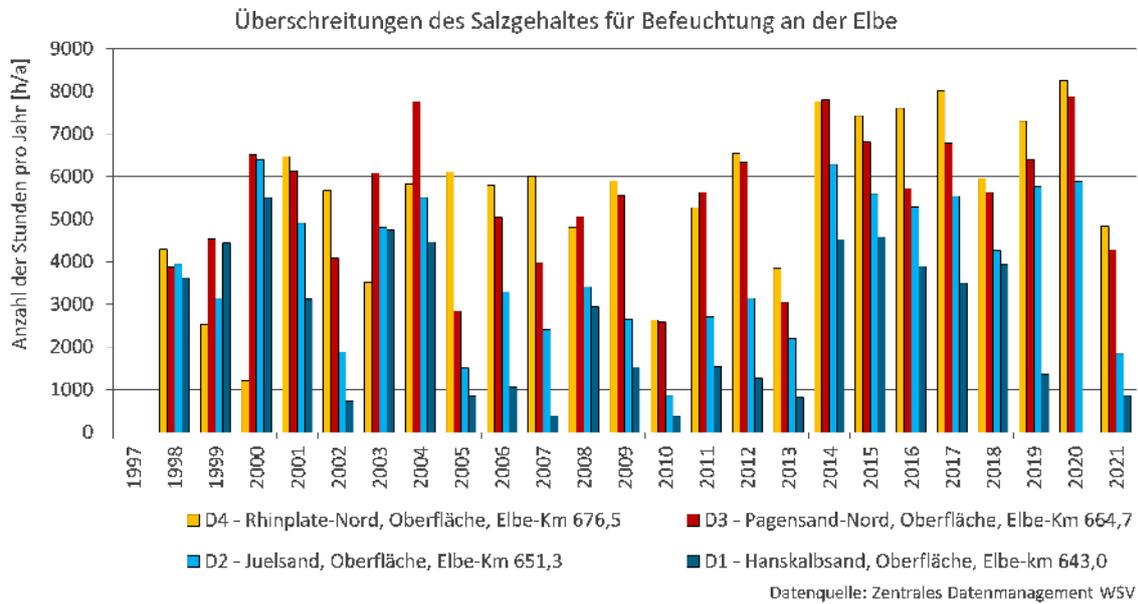
Im ersten Verarbeitungsschritt wird der heruntergeladene Datensatz bereinigt, indem sowohl fehlende Messungen als auch Messfehler entfernt werden. Im Anschluss werden die 5-Min. Messungen zu Mittelwerten pro Stunde zusammengefasst. Nachdem ein aufbereiteter Datensatz vorliegt werden im zweiten Verarbeitungsschritt über eine Wenn-Abfrage die Überschreitungen der Grenzwerte für Befeuchtung, Viehtränke und Frostschutzberegnung kenntlich gemacht. Überschreitet eine Messung den Grenzwert, bekommt der Eintrag eine „1“ zugeschrieben. Im dritten Verarbeitungsschritt werden die Überschreitungen pro Jahr aufsummiert und in einem Balkendiagramm dargestellt.

Typischerweise werden an den Pegeln im Elbästuar, die näher zur Mündung liegen, höhere Salzgehalte gemessen, als an jenen, die weiter in Richtung Binnenland liegen. Entsprechend zeigen die Darstellungen für die Station D4 – Rhinplate-Nord in der Regel die häufigsten und D1 – Hanskalbsand die geringsten Überschreitungen des Salzgehaltes an.

Quellen

WSV (2022): Portal Tideelbe – Leitfähigkeitsmessnetz. Hrsg.: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). https://www.kuestendaten.de/Tideelbe/DE/Service/Leitfaehigkeitsmessnetz/Leitfaehigkeitsmessnetz_node.html

Darstellungsvorschlag



Anhang

Messstelle	Gewässer	Zeitraum	Gewässerkilometer
LZ 1b Krummendeich	Elbe	2009-08-27 bis 2020-12-22	697,037
Brunsbüttel Mole 4	Elbe	1997-02-05 bis 2016-12-31	696,732
D4 – Rhinplate-Nord (Oberfläche)	Elbe	1998-01-26 bis 2021-06-28	676,458
D3 – Pagensand-Nord (Oberfläche)	Elbe	1998-01-12 bis 2021-07-01	664,665
D2 – Juelsand (Ober- fläche)	Elbe	1998-01-12 bis 2021-07-01	651,323
D1 – Hanskalbsand (Oberfläche)	Elbe	1998-01-12 bis 2021-07-01	642,997

LFP-Projekt: LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor

Schlussbericht Anlage 3: Dokumentation zu Indikatoren mit weiterem Entwicklungsbedarf

14.12.2022

Auftraggeber: **Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern** Eckhard Kohlhas
Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin

Auftragnehmer: **Bosch & Partner GmbH** Konstanze Schönthaler
Pettenkoferstraße 24 Can Ölmez
80336 München Mareike Wolf
Kantstraße 63a
10627 Berlin



Anlage 3: Dokumentation zu Indikatoren mit weiterem Entwicklungsbedarf

1 Ruhend gestellte Indikatoren: Indikator-Factsheet: Stagnationsperiode in Seen

Verfasser:innen:	Ecologic Institut (Darla Nickel, Ulf Stein) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 Neufassung: Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler) i. A. des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3720 48 101 0	
Mitwirkung	Für 2023: IGB - Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Abteilung 1: Ökohydrologie und Biogeochemie (Dr. Robert Schwefel) Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher und Klimaschutz (SenUMVK) (Antje Köhler)	
Letzte Aktualisierung:	22.01.2013	Ecologic Institut (Ulf Stein)
	27.04.2022	IGB (Dr. Robert Schwefel): Grundsätzliche Überarbeitung und Ergänzung des im Monitoringbericht 2015 letztmalig erschienenen Indikators
	17.05.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Redaktionelle Anpassungen
	15.06.2022	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Separate Darstellung der Stagnationsdauer auf der Sekundärachse
Nächste Fortschreibung:	Ab 2024	Die Datenbasis wird mit Fortsetzung und Ausweitung der Messungen im Rahmen des länderübergreifenden LAWA-Seenmonitorings sukzessive erweitert werden. Es sind dann auch Möglichkeiten der Aggregation über mehrere Seen zu diskutieren.

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-X	Titel: Stagnationsperiode in Seen
	Fallstudie für zwei Seen des Norddeutschen Tieflandes
Einheit: <u>Indikator I:</u> Anzahl Wochen <u>Indikator II:</u> Anzahl Wochen	Kurzbeschreibung des Indikators: Indikator I: <u>Teil A:</u> Beginn der sommerlichen Stagnationsperiode im Arendsee <u>Teil B:</u> Ende der sommerlichen Stagnationsperiode im Arendsee <u>Teil C:</u> Dauer der sommerlichen Stagnationsperiode im Arendsee Indikator II: <u>Teil A:</u> Beginn der sommerlichen Stagnationsperiode im Breiten Luzin <u>Teil B:</u> Ende der sommerlichen Stagnationsperiode im Breiten Luzin <u>Teil C:</u> Dauer der sommerlichen Stagnationsperiode im Breiten Luzin
	Berechnungsvorschrift:

	<p>Die Stagnationsperiode wird anhand der Daten kontinuierlich messender Temperaturlogger ermittelt. Zunächst werden die Daten auf 1 m-Auflösung interpoliert und die Oberflächentemperatur (Mittelwert der Temperatur 2-4 m unter der Oberfläche) und Tiefenwassertemperatur (1 m über Grund) ermittelt.</p> <p>Der Schichtungsbeginn wird anschließend definiert als Kalendertag, an dem die Oberflächentemperatur erstmals länger als einen Tag durchgehend 2°C höher als die Tiefenwassertemperatur ist. Dieser Zeitpunkt markiert den Beginn der Stagnationsperiode, während der eine Schicht von wärmerem, leichtem Wasser (Epilimnion) auf dem schwereren, kalten Wasser der Tiefenwasserschicht (Hypolimnion) aufliegt und eine Durchmischung des Tiefenwassers weitgehend verhindert.</p> <p>Das Schichtungsende wird analog definiert als der Kalendertag, an dem das Oberflächenwasser weniger als 2°C wärmer als das Tiefenwasser ist. Fällt das Schichtungsende in den Januar oder Februar des Folgejahres, wird die Zählung der Kalendertage fortgeführt (Beispiel 15. Januar 2022 = Kalendertag 380)</p>
Interpretation des Indikatorwerts:	Je größer der Indikatorwert, desto länger ist die Dauer der Sommerstagnation.

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
Indikationsfeld:	Physikalisch-chemischer Gewässerzustand (B)
Thematischer Teilaspekt:	Veränderung des Mischungsregimes
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorensysteme:	keine
Begründung:	<p>Zusammenhang mit dem Klimawandel:</p> <p>Die folgenden textlichen Ausführungen sind im Wesentlichen aus dem Abschlussbericht „Auswirkungen des Klimawandels auf Seen in Deutschland“ Hupfer et al. 2022 entnommen, der im Auftrag des Expertenkreises Seen der LAWA erstellt wurde (LAWA-Projekt K-4.20).</p> <p>Die Temperatur eines Sees ist nicht homogen, sondern variiert mit der Tiefe. Aufgrund der Dichteanomalie von Wasser (mit der höchsten Dichte bei ca. 4°C) bildet sich in tieferen Seen im Sommer eine stabile Schichtung aus, in der eine Schicht warmen, leichteren Oberflächenwassers (Epilimnion) auf dem kalten und schwereren Tiefenwasser (Hypolimnion) aufliegt. Die beiden Schichten sind nur von einer schmalen Sprungschicht (Thermokline) getrennt, in der die Temperaturen innerhalb weniger Meter um bis zu 20°C abnehmen können. In der Regel ist erst im Spätherbst oder Winter die Oberflächenschicht weit genug abgekühlt, um eine effektive Durchmischung des Tiefenwassers zu ermöglichen. Häufig stratifizieren geschichtete Seen nochmals im Winter (allerdings kommt es dann zu einer inversen Schichtung) und werden im Frühling ein zweites Mal durchmischt („dimiktische Seen“). Flachere Seen dagegen bilden im Sommer nicht durchgehend eine stabile Schichtung aus, sondern werden bei geeigneten Wetterbedingungen (in der Regel starke Winde), auch im Sommer mehrmals vollständig durchmischt („polymiktische Seen“).</p>

	<p>Höhere Wassertemperaturen und stärker ausgeprägte Temperaturgradienten verstärken die sommerliche Schichtung in Seen. Eine Verlängerung ergibt sich sowohl aus einem früheren Einsetzen der Stratifikation im Frühjahr („Schichtungsbeginn“) als auch durch eine spätere Durchmischung im Herbst bzw. Winter („Schichtungsende“). Diese beiden Prozesse laufen unabhängig voneinander ab, hängen von unterschiedlichen Faktoren ab und sollten daher auch getrennt voneinander betrachtet werden:</p> <p>Die Untersuchungen des IGB haben ergeben, dass der Schichtungsbeginn sehr deutlich von der Frühjahrslufttemperatur abhängt. Nicht-meteorologische Faktoren wie die Größe des Einzugsgebiets oder die Morphologie waren nicht statistisch signifikant. Im Mittel entspricht eine um 1°C höhere Frühjahrstemperatur einem um 5,5 Tage früherem Schichtungsbeginn. Damit ergibt sich ein enger Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels, da im Zuge dessen auch die Frühjahrstemperaturen ansteigen.</p> <p>Das Schichtungsende dagegen hängt stark von der Tiefe des Sees ab. Die Thermokline verschiebt sich im Laufe von Sommer bzw. Herbst graduell nach unten, bis die tiefste Stelle des Sees erreicht ist. Bestimmend für die Geschwindigkeit dieser Zunahme der Mischungstiefe ist der temperaturabhängige Dichteunterschied zwischen Epi- und Hypolimnion: Je größer der Dichteunterschied, desto langsamer wird die Wärme durch Mischungsprozesse ins Hypolimnion transportiert und desto langsamer ist dementsprechend die Bewegung der Thermokline. In Flachseen wird in der Regel bereits im Herbst die tiefste Stelle erreicht und der See somit vollständig durchmischt. In tieferen Seen geschieht dies erst im Winter. Dieser Tiefeneffekt überlagert zusätzliche Klimateffekte deutlich. Für Seen, die tiefer als 40 Meter sind, konnte das IGB in seinen Untersuchungen trotzdem einen deutlichen Zusammenhang zwischen Lufttemperaturen und Schichtung finden. Das Schichtungsende korrelierte signifikant sowohl mit den Sommer- als auch mit den Herbsttemperaturen, weil der Mischungsbeginn sowohl von der Wärmemenge, die im Epilimnion während des Sommers gespeichert wird, als auch vom Wärmeverlust im Herbst abhängt. Zusätzliche Faktoren wie Windgeschwindigkeit und eventuell Zuflüsse spielen zusätzlich eine Rolle. Für die flacheren Seen (Tiefe <40 m) konnte kein statistischer Zusammenhang zwischen Lufttemperaturen und Schichtungsende festgestellt werden. Hier waren die untersuchten Datenreihen allerdings im Gegensatz zu den tieferen Seen sehr kurz.</p> <p>Die Schichtungsdauer wird als Differenz von Schichtungsende und Schichtungsbeginn ermittelt. So sticht das Jahr 2018 trotz Rekordtemperaturen im Sommer nicht mit einer außergewöhnlich langen Schichtungsdauer hervor. Ausschlaggebend hierfür war ein relativ später Schichtungsbeginn. Dies deutet darauf hin, dass saisonale Entwicklungen für die Dauer der sommerlichen Schichtung von größerer Relevanz sind als Jahresmittel oder Extremtemperaturen im Sommer.</p> <p>Ökologische Bedeutung der Stagnation:</p> <p>Die Durchmischung eines stehenden Gewässers ist für den Stoffhaushalt des Sees von herausragender Bedeutung, denn nur unter den Bedingungen einer vollständigen Durchmischung können die Sauerstoffdefizite in den tieferen Wasserschichten wieder ausgeglichen werden. Verlängert sich die Sommerstagnation, fördert dies die Eutrophierung im See, da der Sauerstoff in den tieferen Schichten stärker aufgezehrt wird und Nährstoffe (und Schadstoffe) unter anaeroben Bedingungen aus dem Sediment remobilisiert werden können.</p> <p>Datenlage:</p> <p>Auswertungen zur Stagnation lassen sich nur mit hochfrequent erhobenen Daten und Temperaturmessungen in unterschiedlichen Tiefenschichten realisieren. Der Expertenkreis Seen der LAWa hat solche Messungen an ausgewählten Seen initiiert. Für die Zukunft soll damit eine valide Datenquelle geschaffen</p>
--	---

	<p>werden. An den beiden für diese Fallstudie ausgewählten Seen werden schon länger solche Messungen durchgeführt, so dass entsprechende Auswertungen möglich sind und eine längere Zeitreihe erstellt werden kann. In beiden Fällen handelt es sich um einen geschichteten Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet (entsprechend Typ 13 der LAWA-Seentypisierung, Norddeutsches Tiefland).</p>																																																																																																														
Einschränkungen:	<p>Da die Stagnation stark von den Spezifika der einzelnen Seen und Seentypen abhängt, können die Daten der bisherigen Fallstudie noch wenig generelle Aussagen zur Entwicklung der Sommerstagnation in Abhängigkeit veränderter Klimabedingungen zulassen. Die Tendenz in bislang durchmischten (polymiktischen) Seen ist steigend.</p>																																																																																																														
Erläuterungen zur Fallstudie:	<p>Im Rahmen der Arbeiten des IGB im Auftrag des Expertenkreises Seen der LAWA (IGB 2022) wurden die Daten von 40 Seen aus sieben Bundesländern im Hinblick auf die Entwicklung der Stagnation ausgewertet. Die zwei Seen mit den bisher längsten Datenreihen wurden für den Fallstudien-Indikator ausgewählt.</p> <p><u>Perspektiven für eine bundesweite Darstellung des Indikators:</u></p> <p>Das Seenmonitoring zur Erfassung von Klimawandelfolgen soll in Zukunft verstetigt und weiter ausgebaut werden. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Seen, die vom IGB für das langfristige Monitoring empfohlen werden.</p> <table border="1" data-bbox="454 965 1385 1794"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>See</th> <th>Bundesland</th> <th>Seentyp</th> <th>Institution</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Forschungsseen:</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Arendsee</td> <td>ST</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Müggelsee</td> <td>BE</td> <td>11</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Stechlinsee</td> <td>BB</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Tiefer See</td> <td>MV</td> <td>13</td> <td>GFZ Potsdam</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Bereits im bestehenden Projekt des IGB berücksichtigt:</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Tegeler See</td> <td>BE</td> <td>10</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Groß Glienicker See</td> <td>BE</td> <td>10</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Laacher See</td> <td>RP</td> <td>7</td> <td>Land Rheinland-Pfalz / IGB</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Großer Plöner See</td> <td>SH</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Scharmützelsee</td> <td>BR</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Breiter Luzin</td> <td>MV</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Feldberger Haussee</td> <td>MV</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Schaalsee</td> <td>MV/SH</td> <td>13</td> <td>IGB</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Titisee</td> <td>BW</td> <td>9</td> <td>ISF Baden-Württemberg / IGB</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Zusätzlich für langfristiges Monitoring:</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Ammersee</td> <td>BY</td> <td>4</td> <td>Freistaat Bayern</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>Engeratsgundsee</td> <td>BY</td> <td>4</td> <td>Freistaat Bayern</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>Rachelsee</td> <td>BY</td> <td>9</td> <td>Freistaat Bayern</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>Steinhuder Meer</td> <td>NS</td> <td>11</td> <td>Land Niedersachsen</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>Mindelsee</td> <td>BW</td> <td>2</td> <td>ISF Baden-Württemberg</td> </tr> </tbody> </table> <p>Mit der Verstetigung und Erweiterung des Seenmonitorings wird eine Ausweitung der Fallstudie auf eine größere Zahl von Seentypen und Ökoregionen in Zukunft möglich sein.</p>	Nr.	See	Bundesland	Seentyp	Institution	Forschungsseen:					1	Arendsee	ST	13	IGB	2	Müggelsee	BE	11	IGB	3	Stechlinsee	BB	13	IGB	4	Tiefer See	MV	13	GFZ Potsdam	Bereits im bestehenden Projekt des IGB berücksichtigt:					5	Tegeler See	BE	10	IGB	6	Groß Glienicker See	BE	10	IGB	7	Laacher See	RP	7	Land Rheinland-Pfalz / IGB	8	Großer Plöner See	SH	13	IGB	9	Scharmützelsee	BR	13	IGB	10	Breiter Luzin	MV	13	IGB	11	Feldberger Haussee	MV	13	IGB	12	Schaalsee	MV/SH	13	IGB	13	Titisee	BW	9	ISF Baden-Württemberg / IGB	Zusätzlich für langfristiges Monitoring:					14	Ammersee	BY	4	Freistaat Bayern	15	Engeratsgundsee	BY	4	Freistaat Bayern	16	Rachelsee	BY	9	Freistaat Bayern	17	Steinhuder Meer	NS	11	Land Niedersachsen	18	Mindelsee	BW	2	ISF Baden-Württemberg
Nr.	See	Bundesland	Seentyp	Institution																																																																																																											
Forschungsseen:																																																																																																															
1	Arendsee	ST	13	IGB																																																																																																											
2	Müggelsee	BE	11	IGB																																																																																																											
3	Stechlinsee	BB	13	IGB																																																																																																											
4	Tiefer See	MV	13	GFZ Potsdam																																																																																																											
Bereits im bestehenden Projekt des IGB berücksichtigt:																																																																																																															
5	Tegeler See	BE	10	IGB																																																																																																											
6	Groß Glienicker See	BE	10	IGB																																																																																																											
7	Laacher See	RP	7	Land Rheinland-Pfalz / IGB																																																																																																											
8	Großer Plöner See	SH	13	IGB																																																																																																											
9	Scharmützelsee	BR	13	IGB																																																																																																											
10	Breiter Luzin	MV	13	IGB																																																																																																											
11	Feldberger Haussee	MV	13	IGB																																																																																																											
12	Schaalsee	MV/SH	13	IGB																																																																																																											
13	Titisee	BW	9	ISF Baden-Württemberg / IGB																																																																																																											
Zusätzlich für langfristiges Monitoring:																																																																																																															
14	Ammersee	BY	4	Freistaat Bayern																																																																																																											
15	Engeratsgundsee	BY	4	Freistaat Bayern																																																																																																											
16	Rachelsee	BY	9	Freistaat Bayern																																																																																																											
17	Steinhuder Meer	NS	11	Land Niedersachsen																																																																																																											
18	Mindelsee	BW	2	ISF Baden-Württemberg																																																																																																											
Rechtsgrundlagen, Strategien:	<p>Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)</p>																																																																																																														

Ziele:	DAS, Kap. 3.2.3: „In der WRRL sollten Maßnahmen bevorzugt werden, die die natürliche Anpassungsfähigkeit der Gewässer wie auch die Lebensraum- oder Habitatvielfalt unserer Gewässer erhalten oder stärken [...]“
Berichtspflichten:	keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Seenmonitoring der Länder	
Räumliche Auflösung:	Punktdaten	Nicht relevant
Geographische Abdeckung:	für Seen der norddeutschen Tiefebene: Arendsee, Breiter Luzin	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, für Seen unterschiedlich: ab 2003 (Breiter Luzin) bzw. 2013 (Arendsee)	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	WW-I-9_Daten_Stagnationsperiode.xlsx	

V Zusatz-Informationen

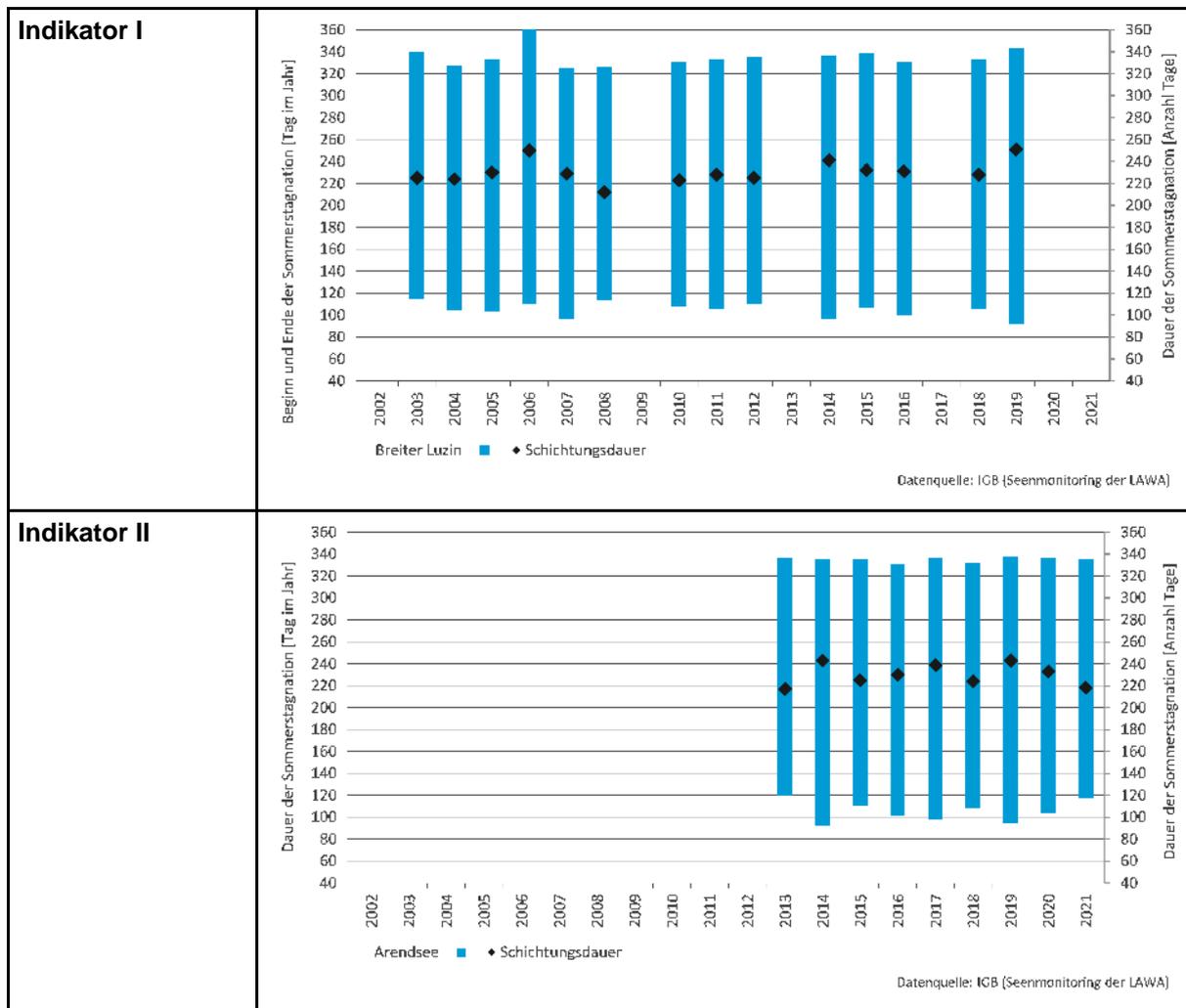
Glossar:	<p>Epilimnion: bezeichnet die obere erwärmte und stark bewegte Wasserschicht in einem geschichteten stehenden Gewässer.</p> <p>Hypolimnion: bezeichnet die untere bei ca. 4 °C homogen kalte Wasserschicht in einem geschichteten stehenden Gewässer.</p> <p>Dimiktische Seen: werden zweimal im Jahr durch Vollzirkulation durchmischt. Die Umwälzung des Wasserkörpers findet im Frühjahr und im Herbst statt, während im Sommer (Sommerstagnation) und im Winter (Winterstagnation) sich zwei in Temperatur und Dichte sehr unterschiedliche Wasserschichten, das Epilimnion und Hypolimnion, herausbilden.</p> <p>Polymiktische Seen: bezeichnet Seen, bei denen das Wasser häufig oder ganzjährig zirkuliert</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Adrian R., O'Reilly C. M., Zagarese H., Baines S.B., Hessen D.O., Keller W., Livingstone D.M., Sommaruga R., Straile D., Van Donk E., Weyhenmeyer G.A., Winderl M. 2009: Lakes as sentinels of climate change. <i>Limnol. Oceanogr.</i>, 54 (6, part 2), 2283–2297. www.aslo.org/lo/toc/vol_54/issue_6_part_2/2283.pdf</p> <p>Boehrer B. & Schultze M. 2009: IV-2.2 Schichtung von Seen. <i>Handbuch Angewandte Limnologie. Limnologische Grundlagen-Gewässerbelastungen-Restaurierung-Aquatische Ökotoxikologie-Gewässerschutz-Bewertung: 3-21.</i> www.wiley-vch.de/books/sample/3527321314_c01.pdf</p> <p>Foley B., Jones I.D., Maberly S.C., Rippey B. 2011: Long-term changes in oxygen depletion in a small temperate lake: effects of climate change and eutrophication. <i>Freshwater Biology</i> 57(2): 278–289. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2011.02662.x</p> <p>Hollan, E. 2000: Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf größere Binnenseen. <i>KLIWA Berichte, Heft 1: 213-23.</i></p> <p>IGB – Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Hrsg.) 2018: IGB Dossier. Seen im Klimawandel. Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin. DOI: 10.4126/FRL01-006407562</p>

	<p>IGB – Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei 2022 (in Vorbereitung): Auswirkungen des Klimawandels auf Seen in Deutschland. Abschlussbericht des Projekts Nr. K-4.20, erstellt im Auftrag der LAWA.</p> <p>Shatwell T., Thiery W., Kirillin G. 2019: Future projections of temperature and mixing regime of European temperate lakes. Hydrology and Earth System Sciences 23(3): 1533-1551. DOI:10.5194/hess-23-1533-2019</p> <p>Shimoda Y, Azim M. E., Perhar, G., Ramin, M., Kenney M.A., Sadraddini S., Gundimov, A., Arhonditsis G. B. 2011: Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: What have we really learned from the north temperate deep lakes? Journal of Great Lakes Research 37 (1): 173-193.</p> <p>Vincent W.F. 2009: Effects of Climate Change on Lakes. Encyclopedia of Inland Waters: 55-60</p> <p>Wahl B. 2007: Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Binnenseen am Beispiel des Bodensees. KLIWA Berichte, H. 10.: 185-198.</p> <p>Wilhelm S. & Adrian R. 2008. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake: Consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. Freshwater Biology 53: 226-237.</p>
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten beschaffung:	2	Mehrere datenhaltende Institutionen
	Datenverarbeitung:	1	Für die Fallstudie konnte die Daten direkt vom IGB übernommen werden.
	<u>Erläuterung:</u> Mit der Ausweitung der Fallstudie wird der Aufwand deutlich steigen, da Daten aus mehreren Quellen zusammengetragen, ausgewertet und in Zukunft auch aggregiert werden müssen.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Koordinationsstelle		
	<u>Erläuterung:</u> keine		

VII Darstellungsvorschlag



2 Nicht finalisierte Neuentwicklungen von Indikatoren: Indikator-Factsheet: Eisbedeckung von Seen

<p>Verfasser:innen:</p>	<p>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Dr. Katja Kuhwald, Prof. Dr. Natascha Oppelt) Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) i. A. des Umweltbundesamtes / DASIF FKZ 3719481010</p>	
<p>Mitwirkung:</p>		
	<p>31.05.2022</p>	<p>Brockmann Consult GmbH (Jorrit Scholze, Kerstin Stelzer) Christian Albrechts Universität (Katja Kuhwald)</p>
	<p>10.06.2022</p>	<p>Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Redaktionelle Anpassungen</p>

Nächste Fortschreibung:	ab sofort für 2027	Einer Erweiterung der Seenanzahl für die Berichtsfortschreibung 2027 ist möglich. Die aktuelle Auswahl der Seen wurde im Rahmen des DASIF Vorhabens (FKZ 3719481010) getroffen und beinhaltet Seen mit einer regelmäßigen Eisbedeckung und teilweise Archiven mit Webcam-Bildern. An den ausgewählten Seen wurde das Vorhaben getestet und durchgeführt. Für eine Fortschreibung kann die Anzahl der Seen erhöht und die Fallstudie damit ausgeweitet werden.
--------------------------------	--------------------	---

I Beschreibung

Interne Nr. WW-I-X	Titel: Eisbedeckung von Seen
	Fallstudie für vier alpine Seen
Einheit: %	Kurzbeschreibung des Indikators: Anteil der Eistage an den gültigen Satellitenüberflügen in der Wintersaison (November bis März) für den Großen Alpsee, den Rottachspeicher, den Freibergsee und den Engeratsgundsee
	<p>Berechnungsvorschrift:</p> <p><u>Schritt 1:</u> Automatische Auswahl wolkenfreier oder gering bewölkerter, optischer Satellitenszenen und Radardaten zwischen November und April. Bestimmung der Anzahl valider Aufnahmen.</p> <p><u>Schritt 2:</u> Klassifikation der Seefläche in Eis, Wasser und ungültig (bspw. Wolke)</p> <p><u>Schritt 3:</u> Extraktion der Flächen jeder Klasse Prozentualer Anteil der mit Eis bedeckten Seefläche an einem Aufnahmetermin = Fläche Eis / Gesamtfläche des Sees. Bestimmung der Eistage mit Eisbedeckung > 80 %</p> <p><u>Schritt 4:</u> Saisonmittel der Häufigkeit der Eisbedeckung = (Anzahl Eistage zwischen November und März / Anzahl der gültigen Satellitenaufnahmen)*100 Für den Indikator wurden Fallstudien an vier ausgewählten alpinen Seen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Großer Alpsee (LAWA Typ 1) • Rottachspeicher (LAWA Typ 3) • Freibergsee (alpiner Gebirgssee) • Engeratsgundsee (hochalpiner Gebirgssee)
Interpretation des Indikatorwerts:	Je niedriger der Indikatorwert (Eistage in einer Wintersaison im Vergleich zur Anzahl gültiger Satellitenüberflüge), desto geringer ist das Vorkommen von Eisbedeckung auf einem See.

II Einordnung

Handlungsfeld:	Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft
-----------------------	-------------------------------------

Themenfeld:	Physikalisch-chemischer Gewässerzustand
Thematischer Teilaspekt:	Erwärmung von Gewässern, Veränderung der Eisbedeckung
DPSIR:	Impact

III Herleitung und Begründung

Referenzen auf andere Indikatorenssysteme:	keine
Begründung:	<p>Zusammenhang mit dem Klimawandel:</p> <p>Für Seen, die periodisch mit Eis bedeckt sind, kann die Dauer der Eisbedeckung ein wichtiger Impact-Indikator des Klimawandels sein (Adrian et al. 2009). Durch den Klimawandel steigen die Luft- und Wassertemperaturen. Demnach ist zu erwarten, dass die meisten Seen künftig klimawandelbedingt kürzer zufrieren oder auch eisfrei bleiben (Woolway et al. 2020). Wie lange Seen in den Wintermonaten eisbedeckt sind, beeinflusst das Lichtklima unter Wasser, den Austausch von Gasen, Nährstoffen und Wärmeenergie zwischen See und seiner Umgebung. Die Dauer der Eisbedeckung bestimmt Prozesse in Monaten außerhalb der Eisperiode, beispielsweise wann die Frühjahrsblüte (s. DAS-Indikator WW-I-7) einsetzt und wie stark sie ausfällt (Adrian et al. 1999), die Durchmischung (Croley II et al. 1998) und Wasserqualität (Weyhenmeyer 2009).</p> <p>Die Dauer der Eisbedeckung umfasst die Zeit zwischen zwei eisphänologisch wichtigen Terminen: „ice-on“ und „ice-off“ (Brown und Duguay 2010). „Ice-on“ beschreibt das Datum, an dem im Herbst / Winter ein See zum ersten Mal eine geschlossene Eisdecke aufweist (Brown und Duguay 2010). Bei größeren Seen kann sich die geschlossene Eisdecke auch auf einen bestimmten Bereich oder eine Bucht beziehen (Magnuson 2000). „Ice-off“ beschreibt das Datum, an dem die geschlossene Eisdecke aufbricht (Brown und Duguay 2010). Daraufhin ist ein See meist innerhalb weniger Tage eisfrei.</p> <p>Den Zeitpunkt von „ice-on“ und „ice-off“ bestimmen unterschiedliche Faktoren. Neben der Lufttemperatur und atmosphärischen Zirkulationsmustern (beispielsweise der Nord-Atlantische Oszillation für Europa, Prowse et al. 2011) bestimmen vorwiegend morphologische Faktoren wie die Größe und Tiefe eines Sees, Lage und Abflussstärke der Zuflüsse, interne Strömungen und Wärmespeicherkapazität, ob und wann ein See zufriert (Brown und Duguay 2010). Für den Zeitpunkt von „ice-off“ ist die Lufttemperatur der entscheidende Faktor (Lopez et al. 2019). Aufgrund dieser starken Abhängigkeit ist der Termin von „ice-off“ besonders gut geeignet, um Folgen des Klimawandels zu beobachten (Lopez et al. 2019). Die Ursachen des „ice-on“ Termins wie Stärke des Zuflusses sind deutlich variabler.</p> <p>Nutzung von Fernerkundungsdaten:</p> <p>Die Eisbedeckung von Seen wird deutschlandweit kaum erfasst. In-situ Daten der Eisbedeckung sind nur vereinzelt vorhanden (wie für den Großen Müggelsee und einige Talsperren oder Eisdickenmessungen der Wasserwacht). Diverse Studien haben gezeigt, dass Satellitensensoren großflächig eingesetzt werden können, um die Eisbedeckung von Seen über mehrjährige Zeiträume seit etwa 1980 zu erfassen (unter anderem Latifovic und Pouliot 2007). Duguay et al. (2015) fassen wesentliche Fortschritte und Methoden der Fernerkundung zum Monitoring von Eisbedeckung zusammen. Veröffentlichte Studien beruhen</p>

	<p>hauptsächlich auf passiven optischen oder aktiven Synthetic Aperature Radar (SAR)-Sensoren.</p> <p>Passive optische Systeme beruhen auf den unterschiedlichen Reflexionseigenschaften von Wasser, Schnee, Eis und Wolken im nah-infraroten und kurzwelligen infraroten Wellenlängenbereich. Neben Schwellwertverfahren können maschinelle Lernverfahren eingesetzt werden, um Eisflächen zu klassifizieren. Aus diesen Karten lassen sich dann Zeitpunkte der Eisphänologie ableiten (Murfit und Brown 2017). Großskalige Sensoren wie MODIS werden sehr häufig verwendet, da sie große Bereiche abdecken und fast täglich Aufnahmen liefern. Die grobe räumliche Auflösung (> 500 m) beschränkt ihre Anwendbarkeit auf größere Seen, sodass für ein DAS-Monitoring eher Daten der Landsat und Sentinel-2 Sensoren in Frage kommen.</p> <p>Darüber hinaus ist es möglich, thermale Daten zu nutzen. Wie auch mit in-situ Temperaturdaten kann die Eisbedeckung indirekt über die Wassertemperatur abgeleitet werden. Da thermale Sensoren häufig mit optischen Sensoren an einem Satelliten kombiniert sind, bringen sie aber kaum Mehrwert bezüglich der zeitlichen Auflösung.</p> <p>Bei passiven Systemen, unabhängig ob thermal oder optisch, reduzieren Wolken die zeitliche Auflösung. Gerade der Beginn und das Ende der Eisperiode sollten engmaschig überwacht werden, um die Frier- und Auftauprozesse so exakt wie möglich zu erfassen (Arp et al. 2013). Außerdem erschweren niedrige Winkel des Sonnenstands im Herbst und Winter die Analysen (Latifovic und Pouliot 2007). Daher nutzt eine Vielzahl an Studien aktive SAR-Sensoren, deren Signal Wolken durchdringen kann und das unabhängig vom Sonnenstand ist. Damit eignen sich SAR-Sensoren sehr gut, um zu beobachten, wie sich Eis auf Seen dynamisch verändert. SAR-Studien zur Eisbedeckung von Seen verwenden hauptsächlich die Radar-Rückstreuung im C-Band (Duguay et al. 2015). Die am häufigsten genutzten SAR-Sensoren, um Eisbedeckung von Seen zu detektieren sind RADARSAT-1 (1995-2013), RADARSAT-2 (seit 2007), ERS-1 (1991-2000), ERS-2 (1995-2011) und ENVISAT-ASAR (2002-2012) (Murfit et al. 2018). Erste Studien nutzen bereits Sentinel-1 (Barbieux et al. 2018; Tom et al. 2020). Allerdings sind auch SAR-Sensoren hinsichtlich zeitlicher Auflösung (Repetitionsrate bei Sentinel-1 12 Tage, 6 Tage mit A/B) limitiert, um Eisbedeckung von Seen zu erfassen (Murfit et al. 2018). Seen in den mittleren Breiten frieren und tauen in kurzen Zeiträumen (Weber et al. 2016), weswegen mehr als eine Datenquelle genutzt werden sollte (Barbieux et al. 2018).</p> <p>Mit Blick auf die Größe deutscher Seen, das Risiko der Wolkenbedeckung sowie der momentanen Verfügbarkeit an geeigneten Sensoren ist eine Kombination aus optischen und SAR-Daten vielversprechend für ein Monitoring der Eisbedeckung. Für die Fallstudien wurde zunächst der Zeitraum vom Herbst 2013 bis Frühjahr 2020 ausgewählt. Da dieser Zeitraum die höchstmögliche Dichte an Satellitendaten aufweist, eignet er sich besonders gut, um das Potenzial eines satellitenbasierten Indikators abzuschätzen. Als Fallstudiengebiete wurden Seen gewählt, die regelmäßig eisbedeckt sind und teilweise durch Webcam-bildarchive flächenhafte Vergleichsdaten aufweisen.</p>
<p>Einschränkungen:</p>	<p>Die aktuellen Fallstudien betrachten einen kurzen Zeitraum von sieben Wintern in Folge. Aus dieser Zeitreihe lassen sich keine klimawandelbedingten Schlüsse ziehen.</p> <p>Seen der mittleren Breiten durchlaufen häufig mehrere Frier- und Tauprozessen in einer Saison. Der Indikator kann das nur teilweise abbilden.</p> <p>Es existieren kaum bzw. keine räumlich verorteten Informationen zur Eisbedeckung wie sie notwendig sind, um Klassifikationsalgorithmen zu trainieren und zu validieren. Daher wurden Trainings- und Validierungsdatensätze mithilfe von optische Satellitendaten und Webcam-bildarchiven erstellt. Dadurch enthalten</p>

	<p>die Trainings- und Validierungsdaten hauptsächlich Flächen, die bereits visuell eindeutig als Wasser, Eis oder Wolke erkannt wurden. Das bedeutet, kritische Flächen sind in der Validierung nicht enthalten, wodurch die Genauigkeit der Klassifikation überschätzt werden kann.</p> <p>In den Fallstudien wurde beobachtet, dass Sentinel-1 Radardaten nur an windstillen Tagen (Windgeschwindigkeit < 2 m/s) verlässlich genutzt werden, da aufgerautes Wasser und Eis in den Daten nicht unterscheidbar sind. Die zeitliche Auflösung der Zeitreihe wird dadurch und durch Wolken/ Nebel in den optischen Daten beeinträchtigt.</p>
<p>Erläuterungen zur Nutzung von Fernerkundungsdaten:</p>	<p><u>Grundlagen Fernerkundung von Eis:</u></p> <p>Passive optische Systeme der Fernerkundung beruhen auf den unterschiedlichen Reflexionseigenschaften von Wasser, Schnee, Eis und Wolken im nahinfraroten und kurzwelligen infraroten Wellenlängenbereich. Wasser reflektiert deutlich weniger elektromagnetische Strahlung in allen Wellenlängenbereichen als Eis oder schneebedecktes Eis. Schwierigkeiten in der Unterscheidung können durch dünnes, transparentes entstehen, das ähnliche Reflexionseigenschaften aufweist wie Wasser. Wolken und Eis lassen sich im mittleren Infrarot gut unterscheiden.</p> <p>Grundlage für die SAR-Analysen sind deutliche Unterschiede in der Intensität der Radarrückstreuung aufgrund der unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften (Gunn et al. 2018). Ruhiges, offenes Wasser streut wenig Signal zurück, weswegen diese Flächen in einem dunklen, texturlosen Ton erscheinen. Eisflächen haben eine variable Oberflächenstruktur und streuen viel Signal zurück, wodurch sie einen helleren, texturreichen Grauton aufweisen. Unruhiges, welliges Wasser kann allerdings eine klare Unterscheidung erschweren (Murfitt et al. 2018). Darüber hinaus helfen Unterschiede, die in Texturmaße wie Entropie, Standardabweichung und Homogenität, sichtbar werden, Eis und Wasser zu trennen (Zakhvatkina et al. 2017).</p> <p><u>Datengrundlage:</u></p> <p>Für alle Seen liegen Datenreihen mit einer räumlichen Auflösung von 10 bis 30 m für die Jahre 2013 bis 2020 und einer Wiederholrate von 3-10 Tagen vor. Die zeitliche Auflösung wird zusätzlich vom Wetter am Aufnahmezeitpunkt beeinflusst und kann die zeitliche Auflösung verringern.</p> <p><u>Validierungsarbeiten mit in-situ Messungen:</u></p> <p>Zur Validierung der Eisbedeckung aus Satellitendaten wurde ein Vergleichsdatensatz mithilfe von Webcambildarchiven und parallel erfassten Satellitenaufnahmen erstellt.</p>
<p>Rechtsgrundlagen, Strategien:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2008 (DAS) • Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (WHG)
<p>In der DAS beschriebene Klimawandelfolgen:</p>	<p>DAS, Kap. 3.2.3: Eine zunehmende Erwärmung der Wasser- und Bodentemperaturen aquatischer Systeme im Sommer bewirkt beispielsweise, dass der Sauerstoffgehalt der Gewässer sinkt. Für Wassertiere und -pflanzen bedeutet das zusätzlichen Stress, denn sie leiden bereits unter hoher Wassertemperatur und eingeschränktem Wasservolumen.</p>
<p>Ziele:</p>	<p>WHG, § 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer:</p> <p>(1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass [...] ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.</p>

	(2) Oberirdische Gewässer, die [...] als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, sind so zu bewirtschaften, dass [...] ein gutes ökologisches Potenzial und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.
Berichtspflichten:	Keine

IV Technische Informationen

Datenquelle:	Fernerkundungsdaten: <ul style="list-style-type: none"> • Landsat 8; United States Geological Survey (USGS) • Sentinel-2; European Space Agency (ESA) • Sentinel-1; European Space Agency (ESA) 	
Räumliche Auflösung:	flächenhaft	NUTS: nicht relevant
Geographische Abdeckung:	Vier ausgewählte Seen im Alpenraum (Allgäu): Großer Alpsee, Rottachspeicher, Freibergsee, Engeratsgundsee	
Zeitliche Auflösung:	jährlich, seit 2013	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	W-I-X_Daten_Eisbedeckung_2023.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	<p>Ice-On: Datum, an dem im Herbst/Winter ein See zum ersten Mal eine geschlossene Eisdecke aufweist</p> <p>Ice-Off: Datum, an dem die geschlossene Eisdecke aufbricht</p> <p>TOA: Top-of atmosphere (TOA) bedeutet das Signal am Sensor oder oberhalb der Atmosphäre. D.h. es beinhaltet neben der reflektierten Strahlung von der Erdoberfläche auch Effekte, durch die Atmosphäre, bspw. ist das TOA-Signal höher als an der Erdoberfläche (BOA- bottom-of-atmosphere), weil die Strahlung an Partikeln in der Atmosphäre gestreut werden. Andererseits absorbieren Gase in der Atmosphäre, bspw. Wasserdampf Strahlung, wodurch das TOA-Signal in bestimmten Wellenlängenbereichen niedriger ist als an der Erdoberfläche.</p>
Weiterführende Informationen:	<p>Adrian R., Walz N., Hintze T., Hoeg S., Rusche R. 1999: Effects of ice duration on plankton succession during spring in a shallow polymictic lake. <i>Freshwater Biology</i>, 41, 621–634.</p> <p>Adrian R., O'Reilly C. M., Zagarese H., Baines S. B., Hessen D. O., Keller W. et al. 2009: Lakes as sentinels of climate change. <i>Limnology and Oceanography</i>, 54, 2283–2297.</p> <p>Arp C. D., Jones B. M., Grosse G. 2013: Recent lake ice-out phenology within and among lake districts of Alaska, U.S.A. <i>Limnology and Oceanography</i>, 58, 2013–2028.</p> <p>Barbieux K., Charitsi A., Merminod B. 2018: Icy lakes extraction and water-ice classification using Landsat 8 OLI multispectral data. <i>International Journal of Remote Sensing</i>, 39, 3646–3678.</p> <p>Brown L. C. & Duguay C. R. 2010: The response and role of ice cover in lake-climate interactions. <i>Progress in Physical Geography</i>, 34, 671–704.</p>

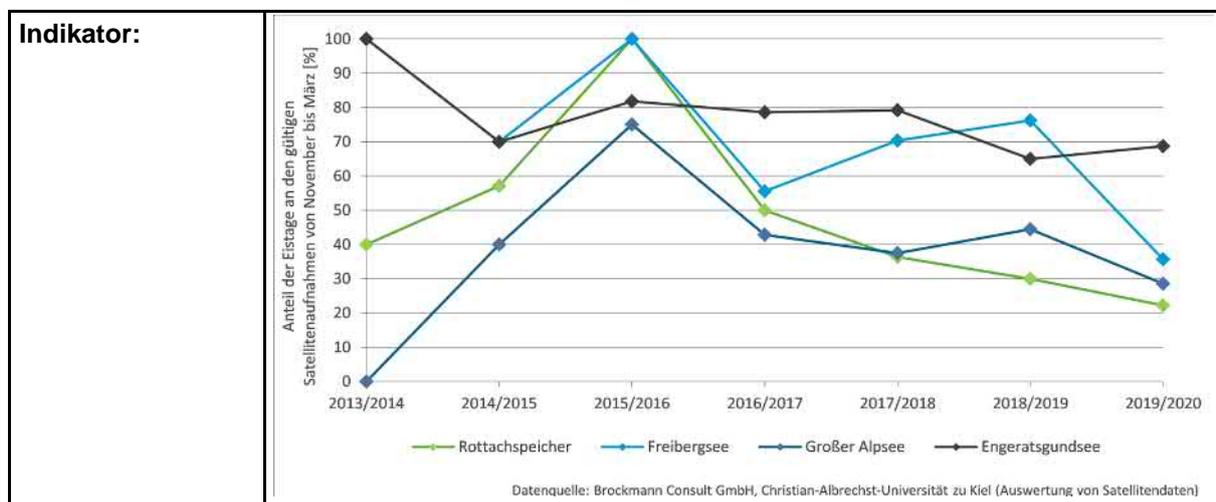
	<p>Croley II T. E., Quinn F. H., Kunkel K. E., Changnon S. a. 1998: Great Lakes Hydrology Under Transposed Climates. <i>Climatic Change</i>, 38, 405–433.</p> <p>Duguay C. R., Bernier M., Gauthier Y., Kouraev A. 2015: Remote sensing of lake and river ice. In M. Tedesco (Ed.), <i>Remote Sensing of the Cryosphere</i> (pp. 273–306): John Wiley & Sons, Ltd.</p> <p>Gunn G. E., Duguay C. R., Atwood D. K., King J., Toose P. 2018: Observing Scattering Mechanisms of Bubbled Freshwater Lake Ice Using Polarimetric RADARSAT-2 (C-Band) and UW-Scat (X- and Ku-Bands). <i>IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing</i>, 56, 2887–2903.</p> <p>Heinilä K., Metsäämäki S., Mattila O.-P. 2017: Copernicus Global Land Operations “Cryosphere and Water” ”CGLOPS-2” Framework Service Contract N° 199496 (JRC): Algorithm Theoretical basis document lake ice extent (lie) collection 250m Baltic sea region version 1.0.1.</p> <p>Latifovic R. & Pouliot D. 2007: Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. <i>Remote Sensing of Environment</i>, 106, 492–507.</p> <p>Magnuson J. J. 2000: Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. <i>Science</i>, 289, 1743–1746.</p> <p>Murfitt, J. & Brown L. C. 2017: Lake ice and temperature trends for Ontario and Manitoba: 2001 to 2014. <i>Hydrological Processes</i>, 31, 3596–3609.</p> <p>Murfitt, J. Brown L., Howell S. 2018: Evaluating RADARSAT-2 for the Monitoring of Lake Ice Phenology Events in Mid-Latitudes. <i>Remote Sensing</i>, 10, 1641.</p> <p>Tom M., Aguilar R., Imhof P., Leinss S., Baltsavias E., Schindler K. 2020: lake ice detection from Sentinel-1 SAR with deep learning. <i>ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences</i>, V-3-2020, 409–416.</p> <p>Weber H., Riffler M., Nöges T., Wunderle S. 2016: Lake ice phenology from AVHRR data for European lakes: An automated two-step extraction method. <i>Remote Sensing of Environment</i>, 174, 329–340.</p> <p>Weyhenmeyer G. A. 2009: Do warmer winters change variability patterns of physical and chemical lake conditions in Sweden? <i>Aquatic Ecology</i>, 43, 653–659.</p> <p>Woolway R. I., Kraemer B. M., Lenters J. D., Merchant C. J., O’Reill C. M., Sharma S. 2020: Global lake responses to climate change. <i>Nature Reviews Earth & Environment</i>, 1, 388–403.</p> <p>Zakhvatkina N., Korosov A., Muckenhuber S., Sandven S., Babiker M. 2017: Operational algorithm for ice–water classification on dual-polarized RADARSAT-2 images. <i>The Cryosphere</i>, 11, 33–46.</p>
--	---

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	1	nur eine datenhaltende Institution
	Datenverar-beitung:	3	Satellitenbildauswertung
	<u>Erläuterung:</u> Der Indikator basiert auf Satellitenbildauswertungen, die spezifischen techni-schen Sachverstand erfordern.		
Datenkosten:	keine		
Zuständigkeit:	Umweltbundesamt, Abteilung II.3		

	<u>Erläuterung:</u> keine
--	------------------------------

VII Darstellungsvorschlag



LFP-Projekt: LAWA-Konzept

Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor

Schlussbericht

Anlage 4: Ergebnisdokumentation zur Analyse der Hürden für eine bundesweite Darstellung des Indikators „Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Fließgewässern“

14.12.2022

Auftraggeber: **Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern** Eckhard Kohlhas
Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin

Auftragnehmer: **Bosch & Partner GmbH** Konstanze Schönthaler
Pettenkoferstraße 24 Can Ölmez
80336 München Mareike Wolf
Kantstraße 63a
10627 Berlin



Anlage 4: Ergebnisdokumentation zur Analyse der Hürden für eine bundesweite Darstellung des Indikators „Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Fließgewässern“

WW-R-3: Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Fließgewässern – Analyse der Hürden für eine bundesweite Darstellung und Diskussion von Änderungsvorschlägen

1	Hintergrund der Analyse	2
2	Ergebnisse der Analyse.....	4
2.1	Erhebungsmethoden: Vergleich der verschiedenen Kartieranleitungen für die Gewässerstrukturkartierung	4
2.2	Datenstand und Erhebungszyklen in den einzelnen Bundesländern	9
2.3	Änderungsvorschläge und Möglichkeiten der Umsetzung	10
3	Empfehlungen (Stand: April 2021).....	14

1 Hintergrund der Analyse

Der Indikator „Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern“ (WW-R-3) wurde für den Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (UBA 2019) entwickelt. Ziel war es, die Beschattung schmalere Fließgewässer durch gewässerbegleitende Gehölzvegetation abzubilden, die dazu beitragen kann, dass sich die Gewässer nicht so stark aufgrund intensiver Sonneneinstrahlung erwärmen. Als Datengrundlage wurde die Gewässerstrukturkartierung genutzt und zwar der Einzelparameter EP 5.1 „Uferbewuchs“. Für den Monitoringbericht 2019 konnten Daten aus drei Bundesländern zusammengetragen werden: Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Sachsen (siehe Abbildung 1). Der Indikator konnte folglich zunächst nur im Rahmen einer Fallstudie umgesetzt werden. Hinzu kommt, dass nach Veröffentlichung des Indikators aus einigen Ländern inhaltlich Anregungen kamen, den Indikator zu verändern, sowie Fragen zur Interpretierbarkeit der Daten (siehe Kapitel 2.2).

Schon 2019 wurde deutlich, dass das unterschiedliche Vorgehen der Bundesländer bei der Gewässerstrukturkartierung eine Schwäche des Indikators ist. So konnten für das Land Brandenburg nur Gewässer bis zu einer Breite von 8 m in den Indikator einfließen, während aus den anderen beiden Bundesländern Gewässer bis 10 m Breite einfließen (Buth 2019). Auch wurde im Indikator-Factsheet schon 2019 darauf hingewiesen, dass beispielsweise für das Land Rheinland-Pfalz, das seine Gewässerabschnitte kontinuierlich kartiert, für einen Teil des Gewässernetzes keine aktuellen Daten vorliegen (Buth 2019). Ein nicht unerheblicher Teil der Gewässerabschnitte dieses Bundeslandes wurde zuletzt im Jahr 1999 kartiert.

WW-R-3: Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern – Fallstudie

Uferbegleitende Gehölze tragen durch die damit verbundene Beschattung dazu bei, einem Anstieg der Wassertemperaturen entgegen zu wirken. Ein- oder beidseitige Gehölzsäume finden sich heute in den hier beispielhaft betrachteten Bundesländern nur noch an einem Drittel bis knapp der Hälfte der Gewässerstrecken kleiner und mittelgroßer Gewässer.

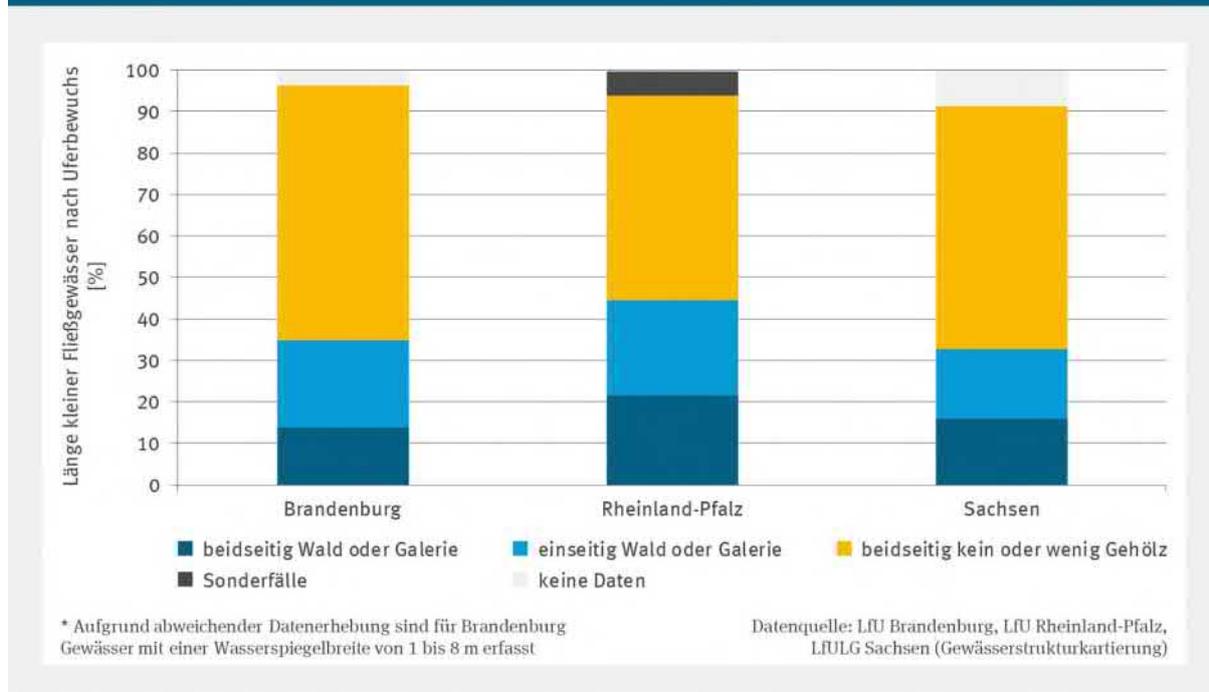


Abbildung 1: Indikator WW-R-3 „Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern“ (UBA 2019: 70)

Im Zuge des LFP-Projektes „LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor“ ist es Aufgabe der Bosch & Partner GmbH und der LAWAKG Klimaindikatoren, zu prüfen, ob die Fallstudie zu einem bundesweiten Indikator weiterentwickelt werden kann. Außerdem sollen Methodik und Datengrundlage des Indikators kritisch reflektiert werden: Bildet der Indikator die natürliche Beschattung kleiner und mittelgroßer Fließgewässer hinreichend genau ab? Sind die Gewässerstrukturkartierungen der Länder eine valide Grundlage, um Entwicklungen bei der Beschattung kleiner und mittelgroßer Fließgewässer darzustellen oder ist die Entwicklung des Indikators zu stark auch vom Turnus der Datenaktualisierung in den einzelnen Ländern beeinflusst?

Um diese Fragen beantworten zu können, wurden um den Jahreswechsel 2020/2021 Daten der Gewässerstrukturkartierung aus drei weiteren Bundesländern akquiriert: Bayern, Hessen und Sachsen-Anhalt. Außerdem wurden die bei der Erhebung dieser Daten sowie der Daten der ursprünglichen Fallstudie verwendeten Kartieranleitungen auf Konsistenz hin geprüft. Dabei standen im Detail folgende Fragen im Vordergrund:

1. Sind die Erhebungsmethoden der einzelnen Bundesländer einheitlich genug, um den bestehenden Indikator bundesweit umsetzen zu können?

2. Sind die Erhebungszyklen häufig genug bzw. ist der Datenstand aktuell genug, damit ein Indikator eine aktuelle Aussage treffen kann und regelmäßig fortgeschrieben werden kann?
3. Sind inhaltliche Änderungen am bestehenden Indikator vorzunehmen, um das Thema Beschattung präziser abbilden zu können?

Die Ergebnisse der Datensichtung und insbesondere des Vergleichs der Kartieranleitungen sind im Folgenden dargestellt.

2 Ergebnisse der Analyse

2.1 Erhebungsmethoden: Vergleich der verschiedenen Kartieranleitungen für die Gewässerstrukturkartierung

Die folgenden Kartieranleitungen für die Gewässerstrukturkartierung kleiner und mittelgroßer Fließgewässer liegen den bei dieser Analyse zur Verfügung stehenden Daten zugrunde:

LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) 1999: Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Gewässer. www.lawa.de/documents/gewaesserstrukturguetekartierung_verfahren_kleine_mittelgrosse_fliesssgewaesser_1552305499.pdf (24.02.2021).

LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.) 2012: Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt, Band 18. umweltbüro essen Bolle und Partner GbR, chromgruen Planungs- und Beratungs-GmbH & Co. KG. www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018.pdf (24.02.2021).

LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) 2019: Gewässerstrukturkartierung von Fließgewässern in Bayern. Erläuterungen zur Erfassung und Bewertung. www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_was_00152.htm (24.02.2021).

Darüber hinaus wurden die folgenden Verfahrensanleitungen als Aktualisierungen der oben genannten Anleitungen in den Vergleich einbezogen:

LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) 2019: LAWA-Verfahrensempfehlung zur Gewässerstrukturkartierung. Verfahren für kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Kulturbuch-Verlag, Berlin.

LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.) 2018b: Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt, Band 18. 2. Auflage. umweltbüro essen Bolle und Partner GbR, chromgruen Planungs- und Beratungs-GmbH & Co. KG. www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsblaetter?tx_cartproducts_products%5Bproduct%5D=921&cHash=ce4b282202e74b423e09793c98c815fd (24.02.2021).

Definition des „Ufers“

Der Bereich des Ufers, dessen Vegetation kartiert wird, ist in den einzelnen Verfahrensanleitungen unterschiedlich definiert. Kartiert wird die Böschung, teilweise inklusive, teilweise exklusive der Böschungskrone. Die Vegetation auf der Böschungskrone bzw. Böschungsoberkante wird nach LAWA (1999: 120 des Anhangs 2), LAWA (2019: 197) und LANUV (2018b: 209) mitkartiert. Die bayerische Kartieranleitung hingegen nimmt die Böschungsoberkante explizit aus der Betrachtung aus. Für den Vergleich wird der Einzelparameter [4-1] „Böschungsbewuchs“ herangezogen; die bayerische Anleitung unterscheidet sich in der Nummerierung und Benennung des Parameters von den anderen hier betrachteten Kartieranleitungen. Sie definiert: „Als Böschungsbewuchs wird die Vegetation auf der Uferböschung zwischen Böschungsoberkante und Böschungsfuß bezeichnet [...]“ (LfU 2019: 74).

Die Formulierung in LANUV (2012) ist zunächst nicht ganz eindeutig. Uferbewuchs wird hier definiert als „Art und Umfang des Gehölzbestandes und der krautigen Vegetation an der Uferböschung bis zur Böschungskrone. Der Bewuchs hinter der Böschungskrone bleibt hier unberücksichtigt.“ (LANUV 2012: 137). Dass die Böschungskrone hier von der Kartierung ausgenommen ist, wird aber deutlich durch eine Formulierung im Dokument „Änderungen des LANUV-Arbeitsblatt 18 2. überarbeitete Auflage 2018 gegenüber der 1. Auflage 2012“ (LANUV 2018a). Hier wird es als wesentliche Änderung zwischen den beiden Kartieranleitungen aus NRW benannt, dass der „Uferbewuchs [nach der Anleitung aus dem Jahr 2018; Anm. d. A.] auf der Uferböschung und auf der Böschungsoberkante [kartiert wird]; der Bewuchs hinter der Böschungsoberkante bleibt unberücksichtigt“ (LANUV 2018a: 7).

Die Kartieranleitungen des LANUV definieren darüber hinaus (im Gegensatz zu den anderen Kartieranleitungen) das Ufer von Gewässern ohne deutlich abgrenzbare Böschung (vgl. LANUV 2012: 137 und LANUV 2018b: 209):

- Bei Bächen und kleinen Flüssen bis 20 m Gewässerbettbreite wird ein gewässerbegleitender Streifen von ca. 5 m Breite als „Ufer“ angesehen; wasserseitig am Rand des flächenhaften Wuchses der terrestrischen Vegetation beginnend.
- Bei flachen Naturufern bilden die Uferbänke aus Flussschotter sowie ein schmaler Streifen der sich landseitig anschließenden Vegetation („Ufergehölze“) das Ufer.
- Bei eingedeichten Fließgewässern, bei denen das Mittelwasser bis an den Deich heranreicht, gilt die wasserseitige Deichböschung als Ufer.

Abbildung von Gehölzen an Ufer bzw. Böschung

Neben der Frage, wo kartiert wird, sind auch die Kategorien, in denen die Vegetation kartiert wird, verschieden. Zum einen unterscheiden sich die unterschiedlichen Verfahrensanleitungen dahingehend, wie viele Vegetations-Kategorien beim Kartieren „angekreuzt“ werden dürfen. Die Anleitung der LAWA (1999) sieht vor, dass nur eine Kategorie ausgewählt wird. Kartiert wird, „ob der überwiegende Teil des linken bzw. rechten Ufers ein Ufergehölz, ein Röhricht oder eine Hochstaudenflur besitzt“ (LAWA 1999: 121 des Anhangs 2). LAWA (2019), LANUV

(2012) und LANUV (2018b) ermöglichen je eine Angabe für Gehölze und eine für Krautvegetation.

Wird nach der bayerischen Verfahrensanleitung kartiert, können mehrere (beliebig viele) Kategorien für den Böschungsbewuchs vergeben werden. Die bayerische Verfahrensanleitung unterscheidet sich aber vor allem darin, dass es keine mit den anderen Anleitungen vergleichbaren Kategorien für Gehölzbewuchs auf der Böschung gibt (siehe Tabelle 1). Den naturräumlichen Gegebenheiten in Bayern angepasst werden Gehölzarten lediglich als Gebüsch kartiert, dem aber trotzdem „eine wichtige Bedeutung [...] auch in der Funktion der Beschattung des Gewässers“ (LfU 2019: 76) zugeschrieben wird.

Auch die anderen Kartieranleitungen unterscheiden sich untereinander hinsichtlich ihrer Kategorien (siehe Tabelle 1). Die Unterschiede sind aber nicht so gravierend, dass der für die ursprüngliche Fallstudie entwickelte Indikator nicht mit jeder von ihnen umzusetzen wäre. Entscheidend ist, dass Wälder, Forste, Galerien, Einzelgehölze und Gebüsch so kartiert werden, dass sie den im Indikator verwendeten Klassen „Wald oder Galerie“, „wenig Gehölz“ oder „kein Gehölz“ zugeordnet werden können. Sollte der bisherige Indikator beibehalten werden, wäre vor dem Hintergrund der bayerischen Kartieranleitung allerdings zu prüfen, ob „wenig Gehölz“ und „kein Gehölz“ separat dargestellt werden sollten, damit nicht alle bayerischen Fließgewässerabschnitte mit Gebüsch automatisch in die Klasse „beidseitig kein oder wenig Gehölz“ (in Abbildung 1 in Ocker dargestellt) fallen und damit als (weitestgehend) unbeschattet gelten.

Tabelle 1: Kategorien des Ufer- bzw. Böschungsbewuchses im Vergleich

Kartieranleitung	Kategorien des Parameters 5.1 Uferbewuchs bzw. [4-1] Böschungsbewuchs (BY)		
LAWA (1999)	bodenständig - Wald - Galerie - Röhricht - teilweise Wald, Galerie - Gebüsch, Einzelgehölz - Krautflur, Hochstauden - Wiese, Rasen	nicht bodenständig - Forst - Galerie - Gebüsch, Einzelgehölz	kein Uferbewuchs - Verbau - Erosion - naturbedingt
LAWA (2019)	Gehölze - naturbedingt keine - anthropogen keine Bodenständige Gehölze - Wald - Galerie - teilweise Wald und Galerie - Gebüsch, Einzelgehölze - Junge Gehölze Nicht bodenständige Gehölze - Forst, Galerie - Gebüsch, Einzelgehölze - Junge Gehölze	Krautvegetation - naturbedingt keine - anthropogen keine - natürliche Krautvegetation - anthropogen bedingte Krautflur, Hochstauden - Neophyten - Wiese - Böschungsrasen	
LANUV (2012)	Kein Uferbewuchs - naturbedingt - anthropogen	Gehölze - keine, naturbedingt - keine, anthropogen - bodenständiger Wald - bodenständige Galerie	Krautvegetation - keine, naturbedingt - keine, anthropogen - naturnahe Krautvegetation - Röhricht, Flutrasen

		<ul style="list-style-type: none"> - teilweise bodenständiger Wald oder Galerie - bodenständiges Gebüsch, Einzelgehölze - nicht bodenständiger Wald, Nadelforst - nicht bodenständige Galerie - nicht bodenständiges Gebüsch, Einzelgehölze - zusätzlich: junge Gehölzpflanzung 	<ul style="list-style-type: none"> - Krautflur, Hochstauden, Wiese - Rasen - nitrophil. Hochstauden, Neophyten
LANUV (2018b)	<p>Kein Uferbewuchs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Naturbedingt - anthropogen 	<p>Gehölze</p> <ul style="list-style-type: none"> - naturbedingt keine - anthropogen keine <p><u>Bodenständige Gehölze</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Wald - Galerie - Gebüsch, Einzelgehölze - junge Gehölze <p><u>Nicht bodenständige Gehölze</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Forst, Galerie - Gebüsch, Einzelgehölze - junge Gehölze 	<p>Krautvegetation</p> <ul style="list-style-type: none"> - naturbedingt keine - anthropogen keine - naturnahe Kräuter, Gräser - anthropogen bedingte Krautflur, Hochstauden, Wiese - Böschungsrasen - Neophyten
LfU (2019)	<ul style="list-style-type: none"> - Gebüsch lückig, heimisch und standortgerecht - Gebüsch lückig, nicht heimisch und/oder nicht standortgerecht - Kraut-/Hochstaudenflur, Röhricht (heimisch) - nitrophytische Krautflur - Altgras, Sukzession - neophytische Krautflur - Wiese, Weide, Kulturrasen - lückiger Bewuchs auf offenem Uferverbau - kein oder geringer Böschungsbewuchs, naturbedingt - kein Böschungsbewuchs, wegen Verbau 		

Angabe der Gewässerbreiten

Bei der Entwicklung der 2019 veröffentlichten Fallstudie wurde entschieden, den Indikator nur für Gewässerabschnitte mit einer Gewässerbreite (an der Oberfläche) von 10 m darzustellen. Die Klassen, in denen die Gewässerbreiten angegeben werden, variieren zwischen den einzelnen Verfahrensanleitungen durchaus leicht; jedoch nicht so stark, dass es nicht bei allen möglich wäre, Gewässer mit einer Breite 1 m bis zu 10 m herauszufiltern (siehe Tabelle 2).

Trotzdem hat die Datenauswertung im Zuge der Fallstudie ergeben, dass für die Brandenburger Gewässerstrukturkartierung von diesen Klassen abgewichen wurde. Daher konnten für dieses Bundesland nur Gewässer von 1 m bis zu 8 m Gewässerspiegelbreite berücksichtigt werden (Buth 2019). Das Brandenburger Vor-Ort-Verfahren der Gewässerstrukturkartierung sieht folgende Klassen der Gewässerbreite vor: < 1 m; 1 - 2 m; 2 - 4 m; 4 - 8 m; 8 - 16 m; 16 - 32 m; 32 - 64 m; 64 - 128 m; > 128 m (EP 01_2 Wasserspiegelbreite). Beim Parameter Uferbewuchs hingegen folgt Brandenburg der Kartieranleitung der LAWa aus dem Jahr 1999 ohne Anpassungen.

Tabelle 2: Kategorien der Gewässerbreite im Vergleich

Kartier-anleitung	LAWA 1999	LAWA 2019	LANUV 2012 ¹	LANUV 2018b ¹	LfU 2019 ¹
Parameter	Größenklasse – Gewässerbreite	Größenklasse – Ist-Gewässerbreite	Obere Breite	Obere Breite	0-7 aktuelle Gewässerbreite
Kategorien (Klassen)	< 1 m 1 - 5 m 5 - 10 m > 10 m	< 1 m 1 - 5 m > 5 - 10 m > 10 - 20 m	< 1 m 1 - 2 m > 2 - 5 m > 5 - 10 m > 10 - 20 m > 20 - 40 m > 40 - 80 m > 80 - 160 m > 160 m	< 1 m 1 - 2 m > 2 - 5 m > 5 - 10 m > 10 - 20 m > 20 - 40 m > 40 - 80 m > 80 - 160 m > 160 m	< 1 m 1 - 5 m > 5 - 10 m > 10 - 20 m > 20 - 40 m > 40 - 80 m > 80 - 160 m > 160 m

Lücken in den Datenbeständen

Schon bei der Fallstudie aus dem Jahr 2019 wurde deutlich, dass die Daten der Gewässerstrukturkartierung zum Teil lückenhaft sind. „Für Rheinland-Pfalz fehlen bei 0,13 % der betrachteten Gewässerabschnitte Angaben zum Uferbewuchs. [...] In Brandenburg liegen für rund 3,4 % der betrachteten Gewässerabschnitte keine Informationen zum Uferbewuchs vor. Zu berücksichtigen ist zudem, dass im Gesamtdatensatz z. T. Angaben zur Wasserspiegelbreite fehlen. Solche Gewässerabschnitte wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass dies auch Gewässerabschnitte betrifft, die 1 bis 8 m breit sind und somit eigentlich in die Auswahl fallen würden.“ (Buth 2019)

Auch bei der Sichtung der Daten aus weiteren Bundesländern sind Lücken im Datenbestand sowohl hinsichtlich des Uferbewuchses als auch der Gewässerbreiten aufgefallen. Insgesamt muss für einen eventuellen bundesweiten Indikator also ein Umgang mit Fehlwerten abgestimmt werden.

Zwischenfazit

Sind die Erhebungsmethoden der einzelnen Bundesländer einheitlich genug, um den bestehenden Indikator bundesweit umsetzen zu können? Nach derzeitigem Informationsstand ist es möglich, den bestehenden Indikator bundesweit umzusetzen, jedoch mit methodischen Schwächen. Dazu zählen, wie bereits in der Fallstudie, die geringeren Gewässerbreiten in Brandenburg ebenso wie die abweichenden Gehölkategorien in Bayern. Außerdem sollte ein bundesweit einheitlicher Umgang mit Fehlwerten abgestimmt werden.

¹ Die Verfahrensanleitungen des LANUV und des LfU Bayern gelten nicht nur für kleine und mittelgroße, sondern auch für große Fließgewässer. Daher sind hier auch Gewässerbreiten > 20 m möglich.

Datenstand und Erhebungszyklen in den einzelnen Bundesländern

Der Datenstand – also die Aktualität der Daten – ist sowohl innerhalb der einzelnen Bundesländer als auch im Vergleich der Länder sehr unterschiedlich. Datenaktualisierungen erfolgen zu unterschiedlichen Zeiten und teilweise erst nach vielen Jahren. Eine Übersicht bietet Tabelle 3.

Tabelle 3: Erhebungszyklen und Datenstand der Gewässerstrukturkartierung in den zum Vergleich herangezogenen Bundesländern

Bundesland	Brandenburg	Rheinland-Pfalz	Sachsen	Bayern	Hessen	Sachsen-Anhalt
Datenabfrage	2018/2019	2018/2019	2018/2019	2020/2021	2020/2021	2020/2021
Datenstand	2010-2016	1996-2016	2014-2016	2014-2018	2012-2017	2007-2009
Kartierhäufigkeit	kontinuierlich	kontinuierlich	6-jährlich	6-jährlich	1. Runde: bis 1999 2. Runde: 2012-2013 Änderungen ab 2014 jährlich	1. Runde: 2007-2009 2. Runde: 2021-2024

Hinweis: Für die drei Bundesländer der 2019 veröffentlichten Fallstudie wurde der Datenstand für diese Analyse nicht erneut erfragt (siehe Zeile „Datenabfrage“). Es ist daher möglich, dass in diesen Ländern inzwischen neuere Daten vorliegen. Für Brandenburg ist das sicher der Fall.

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Herangehensweisen an die Gewässerstrukturkartierung. Manche Bundesländer kartieren kontinuierlich (vor allem Änderungen bei Maßnahmen an Gewässern). Dies führt dazu, dass der Datenstand innerhalb des Landes sehr verschieden sein kann. So wurde ein nicht unerheblicher Teil der Gewässerabschnitte in Rheinland-Pfalz zuletzt 1999 kartiert. In anderen Ländern wird in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen das gesamte Gewässernetz kartiert. Der Datenstand innerhalb dieser Länder ist folglich einheitlicher. Der zeitliche Abstand zwischen den Kartierungen aber ist nicht selten davon abhängig, ob und wann Gelder für die Gewässerstrukturkartierung bereitgestellt werden. Außerdem kann sich die Methodik der Kartierung zwischen den einzelnen Kartierungen unterscheiden. Sachsen-Anhalt beispielsweise nutzte in der ersten Kartier-Runde LAWA (1999) als Verfahrensanleitung und wird in der zweiten voraussichtlich LANUV (2018b) folgen. Zudem wurde das Gewässernetz seit der letzten Kartierung grundlegend überarbeitet: Die ermittelten Einzugsgebiete wurden grundlegend überarbeitet und die Einzugsgebietsgrößen neu berechnet. Deshalb kamen neue WRRL-Gewässer hinzu, andere Gewässer verloren ihren WRRL-Status.

Generell bedacht werden muss, dass ältere Daten nicht notwendigerweise den korrekten Uferbewuchs zeigen, auch wenn keine Maßnahmen an diesen Gewässern umgesetzt wurden.

Schäden an ufernahen Bäumen aufgrund von Hitze, Trockenheit, Sturm oder Altersschwäche / Krankheit sind ggf. nicht erfasst. Werden ältere Daten aktualisiert, kann dies folglich den Indikator in der Weise beeinflussen, dass seine Aussage nicht nur reale Entwicklungen, sondern auch die Datenfortschreibung abbildet.

Zwischenfazit

Sind die Erhebungszyklen häufig genug bzw. ist der Datenstand aktuell genug, damit ein Indikator eine aktuelle Aussage treffen kann und regelmäßig fortgeschrieben werden kann? Eine Fortschreibung des Indikators alle vier Jahre, wie sie beispielsweise für den Monitoringbericht zur DAS sowie einige Monitoringberichte der Länder üblich ist, bietet sich bei diesem Indikator, solange er auf den Daten der Gewässerstrukturkartierung beruht, nicht an. Im Fachteam „Fließgewässer“ der KG Klimaindikatoren wurde daher ein Fortschreibungszyklus von 10 bis 15 Jahren diskutiert.

2.2 Änderungsvorschläge und Möglichkeiten der Umsetzung

Seit der Veröffentlichung der Fallstudie des Indikators WW-R-3 „Uferbewuchs kleiner und mittlerer Fließgewässer“ hat das Projektteam unterschiedliches inhaltliches, zum Teil auch widersprüchliches Feedback aus den Ländern bekommen. Drei wesentlich Punkte haben sich dabei herausgebildet, die im Folgenden näher dargestellt werden:

- Ausschluss bestimmter Fließgewässerabschnitte
Gehölze sind nicht bei allen Fließgewässern bzw. Fließgewässerabschnitten der natürliche Uferbewuchs. In Mooren beispielsweise ist Gehölzbestand ein Zeichen von Degradierung, häufig gezielter Entwässerung und Aufforstung. Es ist daher in der Kommunikation ungünstig, Gehölzbestand an Fließgewässerabschnitten in Mooren als Klimafolgenanpassung (und damit ökologisch positiv konnotiert) zu interpretieren. Eine Beschattung durch Gehölze ist hier aus ökologischer Sicht nicht gewünscht. Gleichzeitig gibt es Fließgewässerabschnitte, die von Natur aus nicht Gehölzbeständen, zugleich aber auf natürlichem Wege beschattet sind. Hier sind insbesondere Fließgewässer in Schluchten und Engtälern zu nennen, die im Süden Deutschlands durchaus häufig sind. Es ist daher sinnvoll, Kriterien für die Auswahl der in den Indikator einfließenden Fließgewässerabschnitte (bzw. für jene Abschnitte, die nicht eingehen sollen) zu entwickeln. Das Fachteam Fließgewässer der KG Klimaindikatoren hat sich dafür ausgesprochen, dies in Abstimmung mit den Ländern zu tun.
- Berücksichtigung der beschattenden Wirkung von Röhricht und Hochstauden auf kleine und mittelgroße Fließgewässer
Bei kleinen und mittelgroßen Fließgewässern kann nicht nur Gehölzbestand eine beschattende Wirkung entfalten. Auch Röhricht und Hochstauden können diese Gewässer (insbesondere im Uferbereich) effektiv beschatten. Daher wurde der Vorschlag geäußert, die Beschattungsleistung von Röhricht und Hochstauden im Indikator zu berücksichtigen. Dies methodisch sauber umzusetzen, ist anhand der aktuellen Daten jedoch nicht möglich. Tabelle 4 stellt die Kategorien der Parameter Uferbewuchs bzw.

Böschungsbewuchs der verglichenen Kartieranleitungen gegenüber, in denen Röhricht und Hochstauden kartiert werden. Es zeigt sich, dass diese Vegetationsformen häufig zusammen mit anderen Vegetationsformen wie Krautflur, Wiese oder Rasen kartiert werden, die für die Gewässer keine beschattende Wirkung haben. Es kann also nicht davon ausgegangen werden, dass an jenen Fließgewässern, für die diese Kategorien angekreuzt wurden, tatsächlich eine Beschattung gegeben ist. Hinzu kommt, dass nicht alle Verfahrensanleitungen eine Kartierung von Röhricht vorsehen.

Tabelle 4: Kategorien des Ufer- bzw. Böschungsbewuchses im Vergleich, die Röhricht- oder Hochstauden-Bewuchs angeben

Kartieranleitung	Kategorien, die Röhricht oder Hochstauden beinhalten, der Einzelparameter „Uferbewuchs“ oder „Böschungsbewuchs“
LAWA 1999	– Röhricht – Krautflur, Hochstauden
LAWA 2019	– anthropogen bedingte Krautflur, Hochstauden
LANUV 2012	– Röhricht, Flutrasen – Krautflur, Hochstauden, Wiese – Nitrophile Hochstauden, Neophyten
LANUV 2018b	– anthropogen bedingte Krautflur, Hochstauden, Wiese
LfU 2019	– Kraut-/Hochstaudenflur, Röhricht (heimisch)

- Berücksichtigung der Gehölzbestände des angrenzenden Auenbereichs bzw. des Gewässersaums

Der im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung kartierte Uferbereich ist häufig recht schmal (siehe dazu auch Kapitel 2.1, Abschnitt „Definition des „Ufers“). Das heißt, dass auch Gehölzbestände des angrenzenden Auenbereichs oder Gewässersaums eine beschattende Wirkung auf die kleinen und mittelgroßen Fließgewässer haben können. Sie werden bisher im Indikator aber nicht berücksichtigt. Insbesondere die bayerische Kartieranleitung empfiehlt, in die Bewertung der Beschattung auch die Angaben zum Gewässersaum (der hier als der Teil des ufernahen Bereichs, der direkt an das Gewässer angrenzt, definiert wird und stets 5 m breit ist; LfU 2019: 106) einzubeziehen (LfU 2019: 76). Hinsichtlich der Angaben zu Gewässersaum und Gewässerrandstreifen sowie der anschließenden Landnutzung sind die Kartieranleitungen aber zu unterschiedlich, um ein einheitliches Verfahren für den Indikator zu entwickeln. Verschiedene Kartieranleitungen geben nur an, ob es überhaupt einen Gewässerrandstreifen gibt, nicht wie die Vegetation dieses Gewässerrandstreifens aussieht. Und der Parameter zur an das Ufer oder den Gewässerrandstreifen angrenzenden Flächennutzung bildet zum Teil einen so weiten Bereich des Gewässerumfelds ab, dass selbst bei Gehölzbestand nicht automatisch von einer Beschattung ausgegangen werden kann. Darüber hinaus gibt es bei beiden Parametern Kategorien, die Gehölze beschreiben können, aber nicht müssen; beispielsweise „Nutzung“ beim Gewässerrandstreifen oder „Äcker, Gärten, Nadelforst“ bei der Landnutzung. Nähere Details zeigen Tabelle 5 und Tabelle 6.

Tabelle 5: Kategorien zur Beschreibung des Gewässer-/Uferstreifens bzw. Gewässersaums im Vergleich

Kartieranleitung	Parameter	Kategorien
LAWA 1999	6.2 Gewässer- randstreifen	- flächenhaft Wald/Sukzession - Gewässerrandstreifen - Saumstreifen - Nutzung (Hinweis: Alle Kategorien können Gehölze beinhalten.)
LAWA 2019	6.2 Uferstreifen	> 20 m Breite 5 - 20 m Breite 2 - 5 m Breite < 2 m Breite
LANUV 2012	6.2 Gewässer- randstreifen	- kein - Saumstreifen - Gewässerrandstreifen - flächig Wald/Sukzession (Hinweis: Alle Kategorien können Gehölze beinhalten.)
LANUV 2018b	6.2 Uferstreifen	Breite des Uferstreifens < 2 m 2 - 5 m 10 - 20 m > 20 m (Hinweis: Für große Gewässer sind andere Kategorien vorgesehen.)
LfU 2019	Gewässersaum (Teil von 6-1)	- Gehölze geschlossen - naturgemäß vegetationslos bzw. lückig - keine Aue (inkl. Gewässersaum), naturgemäß - extensiv oder ungenutzt - intensive Nutzung - versiegelte Flächen (Hinweis: Mehrere Kategorien können Gehölze beinhalten.)

Tabelle 6: Kategorien und Umfang der Flächennutzung bzw. der „ufernahen Ausprägung oder Nutzung“ (BY) im Vergleich

Kartieranleitung	Räumlicher Umfang des kartierten Gewässerumfelds	Kategorien der Landnutzung
LAWA 1999	bis max. 100 m vom Gewässer entfernt, soweit dieses Umfeld von Natur aus Gewässerniederung und potenzielles Überschwemmungsgebiet ist	- Wald, bodenständig - naturnahe Biotope - Brache - Grünland - Wald, nicht bodenständig - Acker, Gärten, Nadelforst - Park, Grünanlage - Bebauung mit Freiflächen - Bebauung ohne Freiflächen
LAWA 2019	bis max. 100 m vom Gewässer entfernt, soweit dieses Umfeld Teil der morphologischen Aue ist.	- Wald, bodenständig - Auenvegetation (exkl. Wald) - Brache - Grünland - nicht bodenständiger Wald, Nadelforst - Acker, Sonderkultur

	In Kerb- und Klammtälern, Sohlenkerbtälern und Mäandertälern werden 50 m der Talhänge berücksichtigt.	<ul style="list-style-type: none"> - Garten, Park, Grünanlage - Bebauung mit Freiflächen - Bebauung ohne Freiflächen - Umfeldbelastungen gemäß EP 6.3²
LANUV 2012	Streifen von bis zu 100 m bzw. innerhalb des potenziellen Überschwemmungsraumes (bis einschließlich zum Deich bzw. bis zur Talkante)	<ul style="list-style-type: none"> - bodenständiger Wald - Auenvegetation (exkl. Wald) - Brache - Grünland - nicht bodenständiger Wald, Nadelforst - Acker, Sonderkultur - Park, Grünanlage - Bebauung mit Freiflächen - Bebauung ohne Freiflächen - Weitere schädliche Struktur gemäß 6.3²
LANUV 2018b	Streifen von bis zu 100 m bzw. innerhalb der morphologischen Aue (bis einschließlich zum Deich bzw. bis zur Talkante). D. h. in Kerbtälern und Sohlenkerbtälern werden die Talhänge bis zur Talkante (soweit einsehbar) mit berücksichtigt.	<ul style="list-style-type: none"> - bodenständiger Wald - Auenvegetation (exkl. Wald) - Brache - Grünland - nicht bodenständiger Wald, Nadelforst - Acker, Sonderkultur - Park, Grünanlage - Bebauung mit Freiflächen - Bebauung ohne Freiflächen - Weitere schädliche Struktur gemäß 6.3²
LfU 2019	<p>mind. 10 Meter bis max. 20 Meter breit (gilt für Gewässerbreiten < 10 m)</p> <p>mind. 20 Meter breit bis max. halbe Gewässerbreite (gilt für Gewässerbreiten von 10 bis 80 m)</p> <p>Die hier betrachteten ufernahen Bereiche sind maximal so groß wie die natürliche Aue, das heißt: Sollte die natürliche Aue schmaler als der jeweils angegebene Minimalwert sein, ist abweichend als ufernaher Bereich maximal die Breite der natürlichen Aue zu betrachten.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Wald, heimisch und standortgerecht - Wald, nicht heimisch und/oder nicht standortgerecht - Gebüsch lückig, heimisch und standortgerecht - Gebüsch lückig, nicht heimisch und/oder nicht standortgerecht - Röhricht, Seggenriede, Moorvegetation - Kraut-/Hochstaudenflur (standortgerecht, heimisch) - Kraut-/Hochstaudenflur (nicht standortgerecht, nicht heimisch) - naturgemäß vegetationslos bzw. lückige Pioniervegetation - Extensivgrünland (Wiese/Weide) - Intensivgrünland (Wiese/Weide/Kulturrasen) - Ackerflächen - unversiegelter Weg - versiegelte Verkehrsflächen (Straße, Bahn etc.) - Bebauung (Wohnen, Industrie, Gewerbe) - Park/Garten (Freizeit, Erholung) - Abgrabung, Aufschüttung (Deponien, Kiesgruben etc.) - Nutzungskomplex extensiv ohne Acker/Bebauung - Nutzungskomplex intensiv ohne Acker/Bebauung - Nutzungskomplex mit Acker/Bebauung - keine Aue (inkl. Gewässersaum), naturgemäß

• **Berücksichtigung großer Fließgewässer**

Hinsichtlich der Begrenzung des Indikators auf kleine und mittelgroße Fließgewässer waren die Meinungen der Fachleute aus den Ländern verschieden. Einige begrüßten

² Der Einzelparameter (EP) 6.3 beschreibt Umfeldbelastungen wie Fischteiche im Nebenschluss, Verkehrswege oder Hochwasserschutzbauwerke.

explizit die Fokussierung. Es kam aus einem Bundesland aber auch der Vorschlag, große Fließgewässer ebenfalls einzubeziehen, da der ggf. beschattete aquatische Uferbereich für viele Organismen als Rückzugsraum von großer Bedeutung ist. Inwiefern die Einbeziehung großer Fließgewässer die Weiterentwicklung des Indikators vor zusätzliche methodische Herausforderungen stellen würde, wurde bisher nicht geprüft. Da die LAWA und einige Bundesländer aber unterschiedliche Verfahrensanleitungen für die Gewässerstrukturkartierung kleiner und mittelgroßer sowie großer Fließgewässer haben, sind weitere methodische Schwächen bei einer Ausweitung des Indikators auf große Fließgewässer nicht ausgeschlossen.

Zwischenfazit

Sind inhaltliche Änderungen am bestehenden Indikator vorzunehmen, um das Thema Beschattung präziser abbilden zu können? Das Fachteam Fließgewässer der KG Klimaindikatoren hat sich dafür ausgesprochen, verschiedene Typen von Fließgewässerabschnitten nicht in den Indikator einfließen zu lassen, um den Indikator aussagekräftiger zu gestalten. Eine Berücksichtigung von Röhricht und Hochstauden könnte den Indikator weiter präzisieren, dafür ist aber die Datenlage nicht ausreichend. Die Ausweitung des Indikators auf große Fließgewässer wurde bisher weder geprüft noch diskutiert, sie könnte einer Präzisierung des Indikators aber entgegenstehen.

3 Empfehlungen

Aus der dargestellten Analyse und dem Gespräch mit dem Fachteam Fließgewässer der LAWA-KG Klimaindikatoren ergeben sich folgende Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung des Indikators und dessen Fortschreibung:

- Die Darstellung des Indikators sollte überarbeitet werden. Statt, wie bisher, folgende Kategorien abzubilden: „beidseitig Wald oder Galerie“, „einseitig Wald oder Galerie“, „beidseitig kein oder wenig Gehölz“ und „keine Daten“, sollte folgende Einteilung angewendet werden, die die Situation in Süddeutschland und die bayerische Kartieranleitung besser berücksichtigt:
 - beidseitig Wald oder Galerie
 - einseitig Wald oder Galerie
 - ein- oder beidseitig wenig Gehölz (beidseitig weder Wald noch Galerie)
 - beidseitig kein Gehölz
 - keine Daten.
- Bestimmte Fließgewässerabschnitte sollten nicht in den Indikator eingehen. Dazu zählen natürlicherweise nicht Gehölz-bestandene Fließgewässerabschnitte sowie Fließgewässerabschnitte in Schluchten und Engtälern. Mit den Ländern ist ein Verfahren abzustimmen, wie diese Fließgewässerabschnitte zu identifizieren sind. Hierbei sollte, wenn möglich, auf die Daten der Gewässerstrukturkartierung selbst zurückgegriffen werden. Der Gewässertyp beispielsweise gibt Auskunft zu in Tälern oder Schluchten

liegenden Fließgewässerabschnitten. LAWA (1999) definiert u. a. folgende Gewässertypen:

- „Klamm-/Schluchtgewässer: Sehr steile Talwände, senkrecht bis überhängend; das Tal ist insgesamt sehr schmal und tief, in der Tiefe tosendes Fließgewässer nimmt die volle Sohlbreite ein.“ (LAWA 1999: 37 des Anhangs 2)
- „Kerbtalgewässer: Tief eingesenkte Erosionstäler mit V-förmigem Querschnitt ohne oder nur mit sehr schmalen Talböden; die Gewässerufer gehen unmittelbar in die Talhänge über; aus diesem Grund und wegen des i.d.R. relativ hohen Längsgefälles zeigt das Gewässer einen gestreckten Verlauf.“ (LAWA 1999: 37 des Anhangs 2)

LAWA (2019) weist ebenfalls Kerb- und Klammtäler aus, die beiden Kartieranleitungen aus NRW immerhin Kerbtäler. Die bayerische Kartieranleitung differenziert zwischen Sohlentälern und Engtälern.

Wenn relevante Fließgewässercharakteristika, die zum Ausschluss von Fließgewässerabschnitten führen sollten, nicht aus den Daten der Gewässerstrukturkartierung selbst ausgelesen werden können, sind andere Geodaten hinzuzuziehen, die eine entsprechende Charakterisierung der Fließgewässerabschnitte erlauben.

- Wie der vorherige Punkt zeigt, besteht ein großes Interesse daran, den Indikator zu präzisieren. Die Ausweitung des Indikators auf große Fließgewässer würde dem aus Sicht der Auftragnehmerin entgegenstehen, da diese Gewässer in ihrer Breite auf natürlichem Weg in der Regel nicht voll beschattet werden können. Die Auftragnehmerin rät daher davon ab, große Fließgewässer in den Indikator zu integrieren.
- Der Indikator sollte alle 12 Jahre fortgeschrieben werden. So könnten in jedem dritten Monitoringbericht zur DAS aktualisierte Daten veröffentlicht werden. Außerdem gäbe es in jenen Bundesländern, die im 6-jährlichen Rhythmus kartieren (entsprechend der WRRL-Bewirtschaftungszyklen) dann jeweils aktuelle Daten (jede zweite Fortschreibung würde in den Indikator einfließen).
- Die aktuellen Daten der Gewässerstrukturkartierung erscheinen nicht geeignet, das Gewässerumfeld (also die Landnutzung jenseits der Böschung) bei der Berechnung des Indikators zu berücksichtigen. Es ist daher nicht zu empfehlen, diese Daten zum jetzigen Zeitpunkt auszuwerten. Ggf. können eine Überarbeitung der Kartieranleitung(en) oder die Verwendung von Fernerkundungsdaten diese Lücke mittelfristig schließen (s. nächste Punkte). Die Nicht-Berücksichtigung der an die Böschung anschließenden Landnutzung sollte als Schwäche des Indikators transparent kommuniziert werden. Gleiches gilt für die beschattende Wirkung von Röhricht und Hochstauden.
- Für künftige Präzisierungen des Indikators empfiehlt die Bosch & Partner GmbH bei einer möglichen kommenden Anpassung der LAWA-Kartieranleitung für kleine und mittelgroße Fließgewässer die Beschattung der Fließgewässer als eigenen Einzelparameter aufzunehmen. Dabei sollten der Grad der Beschattung sowie die Form der Beschattung kartiert werden:

- Grad der Beschattung (übernommen aus LANUV 2018b):
 - sonnig
 - halbschattig
 - schattig
 - nicht erkennbar
- Form der Beschattung:
 - natürlich durch Vegetation
 - natürlich durch Relief
 - anthropogen bedingt / technisch (durch Bauwerke etc.)

Sollte dies nicht möglich oder nicht erwünscht sein, könnte bei einer künftigen Überarbeitung der LAWA-Kartieranleitung dadurch ein wenig zur Präzisierung des Indikators beigetragen werden, dass Hochstauden als eigene (separate) Kategorie des Uferbewuchses geführt werden und Röhricht ebenfalls als separate Kategorie aufgenommen wird (auch eine Kategorie „Hochstauden, Röhricht“ wäre möglich).

- Alternativ könnte mittelfristig geprüft werden, ob Fernerkundungsdaten die Gewässerstrukturkartierung als Datengrundlage für den Indikator ablösen oder ergänzen könnten. Hierfür würden räumlich hochaufgelöste Fernerkundungsdaten gebraucht, und es müsste ein entsprechender Auswertungsalgorithmus entwickelt werden.

4 Weiteres Vorgehen im Vorhaben „LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor“ und mit Blick auf den Monitoringbericht 2023 zur DAS

Im laufenden Vorhaben „LAWA-Konzept Klimafolgenmonitoring für den Wassersektor“ arbeitet die Bosch & Partner GmbH zusammen mit dem Fachteam Fließgewässer der KG Klimaindikatoren einen Vorschlag aus, welche Fließgewässerabschnitte nicht in den Indikator einfließen sollten (Gibt es weitere Ausschlusskriterien als die Lage in Tälern oder Schluchten oder in Mooren?). Teil dieses Vorschlags wird ein Verfahren zu Identifizierung der auszuschließenden Fließgewässerabschnitte sein (Welche Daten werden genutzt, um die auszuschließenden Fließgewässerabschnitte zu identifizieren?). Der Vorschlag wird von der Bosch & Partner GmbH mithilfe ausgewählter Daten, die auf der Kartieranleitung der LAWA basieren, erprobt und illustriert. Er wird in der KG Klimaindikatoren abgestimmt.

Sollte entschieden werden, den Indikator in den Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel aufzunehmen und bundesweit darzustellen, wird das in der KG Klimaindikatoren abgestimmte Verfahren zur Identifikation der Fließgewässerabschnitte und die Berechnungsvorschrift für den Indikator (beide angelehnt an die Kartieranleitung der LAWA) an die Länder geschickt mit der Bitte um Rückmeldung, wie viel Prozent ihrer Fließgewässer in die einzelnen Kategorien des Indikators fallen. Länder, deren Gewässerstrukturkartierungen nicht nach dem LAWA-Verfahren erhoben wurden, müssten die Berechnungsvorschrift ggf. an ihre bestehende Datenstruktur anpassen. So kann den unterschiedlichen Verfahren in den Ländern Rechnung getragen und der Indikator trotzdem bundesweit dargestellt werden.

5 Quellenverzeichnis

- Buth M. 2019: Indikatoren-Factsheet: Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern. Umweltbundesamt (Hg.). www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/ww-r-3_indikator_uferbewuchs_2019_abgest.pdf (31.03.2021).
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.) 2012: Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt, Band 18. umweltbüro essen Bolle und Partner GbR, chromgruen Planungs- und Beratungs-GmbH & Co. KG. www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018.pdf (24.02.2021).
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.) 2018a: Änderungen des LANUV-Arbeitsblatt 18 2. überarbeitete Auflage 2018 gegenüber der 1. Auflage 2012. Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. umweltbüro essen Bolle und Partner GbR. www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018-Aenderungen_Auflage_1-2.pdf (24.02.2021).
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.) 2018b: Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen. Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer. LANUV-Arbeitsblatt, Band 18. 2. Auflage. umweltbüro essen Bolle und Partner GbR, chromgruen Planungs- und Beratungs-GmbH & Co. KG. www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/publikationen/arbeitsblaetter?tx_cartproducts_products%5Bproduct%5D=921&cHash=ce4b282202e74b423e09793c98c815fd (24.02.2021).
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) 1999: Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Gewässer. www.lawa.de/documents/gewaesserstruktur-guetekartierung_verfahren_kleine_mittelgrosse_fliessgewaesser_1552305499.pdf (24.02.2021).
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) 2019: LAWA-Verfahrensempfehlung zur Gewässerstrukturkartierung. Verfahren für kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Kulturbuch-Verlag. Berlin.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) 2019: Gewässerstrukturkartierung von Fließgewässern in Bayern. Erläuterungen zur Erfassung und Bewertung. www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_was_00152.htm (24.02.2021).
- UBA – Umweltbundesamt (Hg.) 2019: Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Bosch & Partner GmbH. klivportal.de/Monitoringbericht2019.pdf (28.11.2019).