

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 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; Anpassung der Messstellenkarte; Durchführung von Fehlwertergänzungen
	05.04.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Ergänzung der Anlage 3 zur Ableitung der Aussagen zur Jährlichkeit der Spitzenabflüsse
	06.11.2023	Bosch & Partner GmbH (Konstanze Schönthaler): Aktualisierung der Links
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
Einheit: <u>Teil A:</u> %	Kurzbeschreibung des Indikators: <u>Teil A:</u>
	<p>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 $MHQ_{HyWinter1961-1990}$</p> <p>2: Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HyWinter1961-1990}$</p> <p>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 seltener als einmal in 50 Jahren auftritt.</p>
<u>Teil B:</u> %	<p><u>Teil B:</u></p> <p>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 $MHQ_{HySommer1961-1990}$</p> <p>2: Spitzenabfluss liegt um das 2 bis <2,5-Fache über dem $MHQ_{HySommer1961-1990}$</p> <p>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 seltener als einmal in 50 Jahren auftritt. (s. Anlage 3 in Kap. VIII)</p>
<u>Teil C:</u> ohne Einheit	<u>Teil C:</u> Extremste Überschreitung als x-Faches des $MHQ_{HyWinter1961-1990}$ unter allen betrachteten Pegeln im hydrologischen Winterhalbjahr
<u>Teil D:</u> ohne Einheit	<u>Teil D:</u> Extremste Überschreitung als x-Faches des $MHQ_{HySommer1961-1990}$ unter allen betrachteten Pegeln im hydrologischen Sommerhalbjahr
	<p>Berechnungsvorschrift:</p> <p>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 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 Hochwasser 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 Hochwasser 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, 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 MHQ₁₉₆₁₋₁₉₉₀, 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 Absatz 1 sowie nach Artikel 13 Absatz 1 Buchstabe b) koordinierte</p>

	<p>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, seit 1961	
Beschränkungen:	keine	
Verweis auf Daten-Factsheet:	WW-I-5_Daten_Spitzenabfluss.xlsx WW-I-5_Berechnungen_Spitzenabfluss.xlsx	

V Zusatz-Informationen

Glossar:	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
-----------------	---

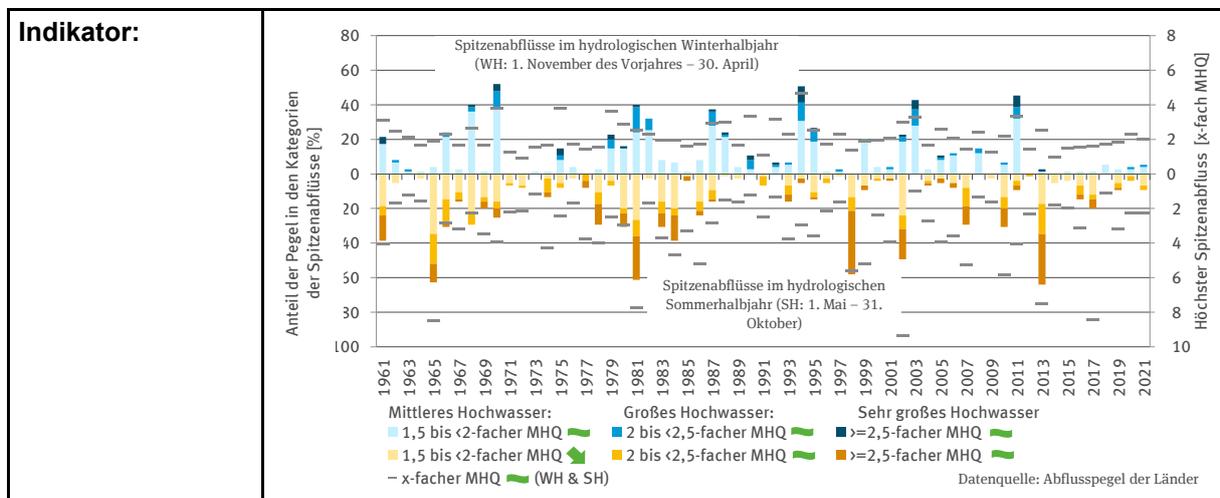
	<p>haben die Schwellenwerte Bedeutung im Hinblick auf das einem Hochwasser anhaftende Schadenspotenzial. Dieses wird bestimmt durch a) Scheitelhöhe, Dauer und Abflussvolumen, b) Topographie und Nutzung sowie c) die Jahreszeit, in der das Ereignis eintritt (Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN (1994): 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) (Hg.) 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) (Hg.) 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., Brahmaer 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.</p> <p>www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6</p> <p>Plate E. J. & Merz B. (Hg.) 2001: Naturkatastrophen: Ursachen, Auswirkungen, Vorsorge. Schweizerbart, Stuttgart, 475 S.</p> <p>Görgen K., Beersma J., Buiteveld H., Brahmaer 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 Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung. Stuttgart, 128 S.</p>

	Schumann A. 2012: Welche Jährlichkeit hat das extreme Hochwasser, wenn es als Vielfaches des HQ100 abgeschätzt wird? HW 56, H.2: 78-82. doi: 10.5675/HyWa_2012, 2_3
--	--

VI Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeiten

Aufwands-schätzung:	Daten-beschaffung:	3	Der Indikator basiert auf Länderdaten. Alle Länder (mit Ausnahme der drei Stadtstaaten) müssen Daten von ihren Messstellen zuliefern.
	Datenverar-beitung:	3	Zur Darstellung des Indikators ist eine komplexere Daten-aufbereitung 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.

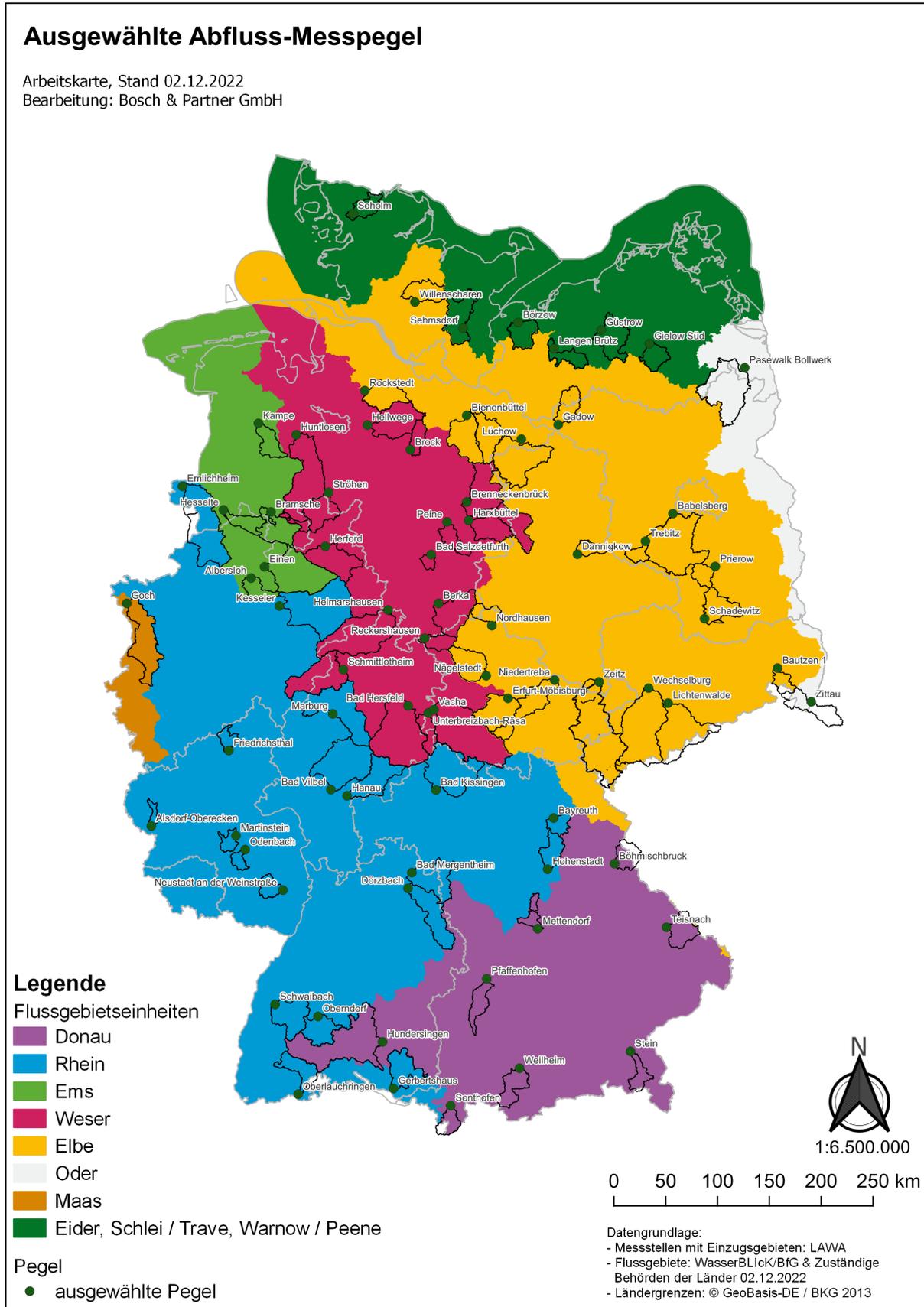
Die Pegelauswahl wurde für den Monitoringbericht 2023 noch einmal überarbeitet. Dabei wurden zum einen erbetene Überarbeitungen der Pegelauswahl durch die Bundesländer umgesetzt. Zum anderen wurden Pegel entfernt, deren Einzugsgebiete sich mit ebenfalls in der Pegelauswahl enthaltenen Pegeln überlagern,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

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des 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	0,304
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

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	0,286
	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	0,034 0,012 0,095 0,025 0,021
NI		Ilmenau Jeetzel Oste	Bienenbüttel Lüchow Rockstedt	1.434,xx 1.300,xx 611,xx	0,076 0,069 0,032	
SH		Stör	Willenscharen	467,xx	0,025	
SN		Spree Zwickauer Mulde Zschopau	Bautzen 1 Wechselburg 1 Lichtenwalde 1	278,xx 2.099,xx 1.572,xx	0,015 0,111 0,083	
ST		Weißer Elster Ehle	Zeit Dannigkow	2.485,65 263,31	0,131 0,014	
TH		Zorge Ilm Unstrut Gera	Nordhausen Niedertrebra Nägelstedt Erfurt-Möbisburg	304,00 894,30 716,00 842,80	0,016 0,047 0,038 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				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				2.873,50	0,042	

Flussgebietseinheit	Land	Fluss	Pegelname	Größe des Pegel Einzugsgebiets 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	Unterbreizbach-Räsa	TH	Arenshausen Herford
	TH		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 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

Anlage 3 – Ableitung der Jährlichkeiten der Spitzenabflüsse

Den im Indikator verwendeten Kategorien der Spitzenabflüsse in Fließgewässern können folgende Wiederkehrzeiten zugeordnet werden:

- Ein Spitzenabfluss in der Kategorie 1 im Winterhalbjahr entspricht einem Hochwasserabfluss mit einer Wiederkehrzeit von fünf (HQ5) bis 20 Jahren (HQ20).

- Ein Hochwasserabfluss der Kategorie 2, entspricht einem Abfluss, der (nach den bisherigen Beobachtungen) einmal in 20 Jahren (HQ20) bis einmal in 50 Jahren (HQ50) auftritt.
- Wird ein Hochwasserabfluss in Kategorie 3 eingeordnet, ist nach den bisherigen Beobachtungen davon auszugehen, dass ein solcher Abfluss seltener als einmal in 50 Jahren auftritt.

Diese Annahmen basieren auf wissenschaftlichen Analysen von Schumann 2012:

$$HQ(T) = MHQ + s_{HQ} \cdot k_T \quad (5)$$

Der Faktor k_T hängt von der verwendeten Verteilungsfunktion ab:

- für die Gumbel-Verteilung ergeben sich die k_T -Werte nach der Momentenmethode zu

$$k_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left(\gamma + \ln \ln \frac{T}{T-1} \right) \quad \text{mit} \quad (6)$$

$\gamma = 0,5772$

Annahme: $s_{HQ} = 0,5 \text{ MHQ} \rightarrow$ nach den obigen Gleichungen 5 und 6 $\rightarrow HQ(T) = MHQ \cdot k_{MHQ}$

T	$\ln \ln T / (T-1)$	k_T	$s_{HQ} (=0.5 \text{ MHQ}) \cdot k_T$	k_{MHQ}	Indikator
[a]			0,5		
2	-0,3665	-0,1643	-0,0822	0,9	
5	-1,4999	0,7194	0,3597	1,4	1,5
10	-2,2504	1,3046	0,6523	1,7	
20	-2,9702	1,8658	0,9329	1,9	2
30	-3,3843	2,1887	1,0944	2,1	
50	-3,9019	2,5923	1,2962	2,3	2,5
100	-4,6001	3,1366	1,5683	2,6	