

Leitfaden der Staubeckenkommission zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren

2024



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien; Geschäftsführung der Österreichischen Staubeckenkommission

Autorinnen und Autoren:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML):

MR DI Helmut Czerny; Rat DI Dr. Burkhard Rüdisser; MR Ing. Bernhard Weichlinger

Technische Universität Wien: Univ.-Prof. DI Dr. Dr. Günter Blöschl, Institut für Wasserbau
und Ingenieurhydrologie; DI Dr. Jürgen Komma und Dr.ⁱⁿ Borbala Szeles MSc, Institut für
Wasserbau und Ingenieurhydrologie;

Gesamtumsetzung: Univ.-Prof. DI Dr. Dr. Günter Blöschl, TU Wien

Fotonachweis: Cover: Talsperre Ottenstein, Hochwasser August 2002, © Bundesheer /
Heeresbild- und Filmstelle

Wien, 2024, Stand: 20. November 2024

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind
ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger
Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land-
und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorinnen und Autoren
ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der
Autorinnen und Autoren dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte
keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
stauanlagen@bml.gv.at.

Inhalt

1 Einleitung	5
1.1 Zielsetzung	5
1.2 Anwendungsbereich	7
1.3 Gliederung des Leitfadens	8
1.4 Konzeption der Durchführung der Nachweise	9
1.4.1 Generelle Aspekte.....	9
1.4.2 Bemessungshochwasser (BHQ)	10
1.4.3 Sicherheitshochwasser (SHQ)	11
1.4.4 Verfahren zur Ermittlung des BHQ und SHQ	12
1.4.5 Umgang mit Unsicherheiten und Klimawandel	13
2 Hydrologischer Teil	15
2.1 Ermittlung von BHQ und SHQ nach dem abgekürzten Verfahren.....	15
2.1.1 Bemessungshochwasser BHQ.....	15
2.1.2 Sicherheitshochwasser SHQ	17
2.2 Ermittlung von BHQ und SHQ nach dem detaillierten Verfahren	18
2.2.1 Bemessungshochwasser BHQ.....	18
2.2.1.1 Überblick und Datensituation	18
2.2.1.2 Lokale Hochwasserstatistik	20
2.2.1.3 Regionale Hochwasserstatistik.....	24
2.2.1.4 Niederschlag-Abflussmodellierung	27
2.2.1.5 GRADEX-Verfahren	39
2.2.1.6 Vergleich der Ergebnisse und Festlegung des Bemessungshochwassers	42
2.2.2 Sicherheitshochwasser SHQ	44
3 Wasserbaulicher Teil	48
3.1 Definition der maßgebenden Speicherkoten	48
3.1.1 Stauziel	48
3.1.2 Überstaukote	48
3.1.3 Wellenfreibord.....	48
3.1.4 Zuschläge für Abdeckung gesondert identifizierter Risiken	48
3.1.5 Sicherheitskote	49
3.1.5.1 Sicherheitskote bei Staumauern	49
3.1.5.2 Sicherheitskote bei Staudämmen	49

3.2	Erforderliche Nachweise.....	51
3.3	Berechnung des Überstaus.....	52
3.4	Berechnung des Wellenfreibords	52
3.4.1	Definition	52
3.4.2	Maßgebende Windgeschwindigkeit	53
3.4.3	Windstau.....	53
3.4.4	Wellenauflauf.....	53
3.4.4.1	Wellenkennwerte	54
3.4.4.2	Wellenauflaufberechnung.....	56
3.5	Zuschläge zur Überstaukote für Abdeckung gesondert identifizierter Risiken.....	59
3.6	Nachweisbedingungen für verschlussgesteuerte Hochwasserentlastungsanlagen	59
3.7	Berücksichtigung der Verklausungsgefahr bei der Wasserspiegellagenrechnung.....	60
3.8	Betriebliche Annahmen bei der Wasserspiegellagenrechnung	61
3.8.1	Ausgangswasserspiegel	61
3.8.2	Berücksichtigung von Betriebseinrichtungen.....	61
3.9	Zusammenfassung der Nachweisbedingungen.....	63
4	Berichtslegung und Dokumentation.....	65
4.1	Darstellung der Projektergebnisse.....	65
4.2	Checkliste für das detaillierte Verfahren.....	65
	Literatur.....	67
	Anhänge	71
	Anhang A: Zuordnungsmatrix für das Gefährdungspotential.....	71
	Anhang B: Karten für c Parameter und t_0	73
	Anhang C: Beschreibung der Methode bei der Ermittlung der c Parameter und t_0	83
	Anhang D: Beschreibung des Excel Pakets Hochwasserstatistik und Gradex.....	86
	Anhang E: Abkürzungen der Variablen und Konstanten.....	96
	Tabellenverzeichnis.....	101
	Abbildungsverzeichnis.....	102

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Hochwasserentlastungsanlagen von Talsperren und Speicher (Stauanlagen) sind auf extreme Abflüsse auszulegen. In den technischen Richtlinien und Normen werden die der Bemessung zugrundeliegenden Hochwasserwerte über die Wahrscheinlichkeit definiert, mit der das Auftreten eines solchen Ereignisses erwartet werden kann. Dem mit der Aufgabenstellung verbundenen Extremcharakter der zu bestimmenden Bemessungshochwässer entsprechend wird die Überschreitungswahrscheinlichkeit dieser Ereignisse sehr klein gewählt, der Bemessungspraxis in Österreich folgend zum Beispiel über eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1:5.000.

Um zu Angaben über solche äußerst seltenen und daher auch kaum beobachtbaren Ereignisse zu gelangen, muss bei der Bestimmung der Bemessungshochwässer über den Bereich der Beobachtung extrapoliert werden. Damit verbundene „Hochrechnungen“ sind im Allgemeinen mit vielen Freiheitsgraden und vielen Unsicherheiten behaftet. Es ist daher Ziel dieses Leitfadens, eine Methodik zur Bestimmung der Bemessungs- und Nachweisgrößen vorzulegen, die eine nach einheitlichen Grundsätzen erfolgende Bearbeitung ermöglicht und die auch – so weit wie möglich – auf die mit den verwendeten Daten und Methoden verbundenen Unsicherheiten eingeht sowie den Unschärfbereich der Bemessungsgrößen einengt.

Als weiterer Aspekt liegt der Konzeption des Leitfadens die Zielsetzung zugrunde, einen Arbeitsbehelf für die routinemäßige Überprüfung von bestehenden Stauanlagen im Rahmen der Prüftätigkeit der Aufsichtsbehörden bereitzustellen, die eine Vorbeurteilung nach einem rasch durchführbaren und einfach zu handhabenden „abgekürzten Verfahren“ ermöglichen soll.

Mit der Ausrichtung auf die Darstellung einer Methodik kann der vorliegende Leitfaden nur die grundlegende Vorgangsweise bei der Bearbeitung der erforderlichen hydrologischen Nachweise beschreiben und keine detaillierte Anleitung zu den hydrologischen Bearbeitungen liefern. Dementsprechend sind die hydrologischen Nachweise von Personen zu führen, die über eine vertiefte hydrologische Qualifikation verfügen. Auf die einschlägige Fachliteratur ist zurückzugreifen.

Der vorliegende Leitfaden ist eine Aktualisierung des entsprechenden Leitfadens aus dem Jahr 2009 (BMLFUW, Österreichische Staubeckenkommission, TU Wien, 2009). Er trägt den Erfahrungen aus der Anwendung des Leitfadens 2009 und den aktuellen hydrologischen Daten Rechnung.

Der gegenständliche Leitfaden wurde von der Staubeckenkommission in der 115. Staubeckenkommissionssitzung am 30.06.2023 beschlossen. Er dient zur Unterstützung der Wasserrechtsbehörden gemäß Staubeckenkommissionsverordnung 1985 und den Wasserberechtigten als Grundlage für den Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren.

Die Empfehlungen des vorliegenden Leitfadens beruhen auf den Ergebnissen der wissenschaftlichen Untersuchungen der letzten Jahre auf Basis der derzeit verfügbaren Informationen. In den einzelnen Elementen der Bearbeitung entspricht es der Grundphilosophie des Leitfadens, die jeweils neu entstandenen Informationen einzubeziehen (z. B. längere Datenreihen, von Dienststellen ausgegebene neue Bemessungswerte). Dies gilt auch für die Karten des abgekürzten Verfahrens, für die eine periodische Aktualisierung durch das zuständige Bundesministerium wünschenswert ist.

Die Hochwassersicherheit einer Stauanlage wird maßgebend von der Größe bzw. Wahrscheinlichkeit des Hochwasserereignisses bestimmt, für das die Entlastungsanlage bemessen wird. Um den Unschärfen bei der Ermittlung der beiden Hochwassergrößen BHQ (Bemessungshochwasser) und SHQ (Sicherheitshochwasser) Rechnung zu tragen, sind Reserven für den Fall einer Überlastung einzuplanen. Diese werden insbesondere bestimmt durch Typ und Betriebssicherheit der Hochwasserentlastungsanlage (sowie der im SHQ-Fall eingesetzten weiteren Ablass- bzw. Entnahmeorgane) aber auch durch konstruktive Vorkehrungen für den Überlastungsfall.

In Bezug auf die hydraulische Funktionsweise einer Hochwasserentlastung lassen sich folgende Bautypen unterscheiden:

- Bei **überlastbaren** Hochwasserentlastungsanlagen erhöht sich das Abfuhrvermögen mit Zunahme der Stauhöhe deutlich (Entlastungen mit freier Oberfläche). Wegen der größeren Sicherheitsreserve bei Extremstereignissen ist diese Bauform generell anzustreben.
- Bei **nicht überlastbaren** Hochwasserentlastungsanlagen nimmt das Abfuhrvermögen ab einer bestimmten Stauhöhe nicht mehr nennenswert zu. Beispiele sind das Zuschlagen eines Überfalls, wenn eine darüber liegende Wehrbrücke eingestaut wird,

das Zuschlagen eines Fallschachtes oder Ablaufrohres, das Überfließen einer Schussrinne bzw. wenn unzureichende Energieumwandlung sicherheitsgefährdende Erosionen verursacht.

Über die konstruktiven Merkmale der Stauanlage hinausgehend ist auch deren Betriebsweise für die Sicherheit entscheidend. Bei der Anwendung des vorliegenden Leitfadens sind deshalb auch die unter Kap. 3.8 „Betriebliche Annahmen bei der Wasserspiegellagenrechnung“ zusammengefassten Aspekte zu berücksichtigen.

1.2 Anwendungsbereich

Der vorliegende Leitfaden gilt für alle Talsperren und Speicher (Stauanlagen)

- mit einer Höhe von mehr als 15 m über Gründungssohle oder
- mit einem Speicherinhalt bei Stauziel von mehr als 500.000 m³.

Diese werden als große Stauanlagen bezeichnet. Eingeschlossen sind darin alle Arten von Nutzungen wie

- Wasserkraft,
- Hochwasserrückhalt,
- Wasserversorgung,
- Fischzucht,
- Beschneidung sowie
- Schlämmteiche, sofern sie einen wasserrechtlich zu bewilligenden Tatbestand aufweisen.

Ausgenommen sind hingegen große Stauanlagen, die kein erhebliches Gefährdungspotential aufweisen (siehe Anhang A).

Außerdem ausgenommen vom Anwendungsbereich des Leitfadens sind:

- Speicher, die ausschließlich dem Geschieberückhalt dienen und
- Flusstaustrufen (Flusskraftwerke).

Der Leitfaden kann auch auf **kleinere** Stauanlagen angewendet werden, **wenn sie ein erhebliches Gefährdungspotential darstellen.**

Betreffend die Abschätzung eines erheblichen Gefährdungspotentials wird auf Anhang A, Tabelle 14 bzw. den Leitfaden der Staubeckenkommission „Mindestanforderungen an den Stauanlagenverantwortlichen von Kleinen Stauanlagen“, Fassung 12/2009, verwiesen.

1.3 Gliederung des Leitfadens

Der Leitfaden gliedert sich in vier Abschnitte bzw. Kapitel.

- Kapitel 1: Die Einleitung erläutert Zielsetzung und Anwendungsbereich des Leitfadens.
- Kapitel 2 enthält den hydrologischen Teil zur Ermittlung des Bemessungs- und Sicherheitshochwassers.
- Kapitel 3 stellt den wasserbaulichen Teil zur Führung der Nachweise der Hochwassersicherheit von Stauanlagen dar.
- Kapitel 4 ist der Berichtslegung gewidmet.

Die Anhänge des Leitfadens enthalten ergänzende Unterlagen:

- Anhang A betrifft das Gefährdungspotential,
- Anhänge B und C betreffen das vereinfachte Verfahren und
- Anhang D betrifft das Excel-Paket Hochwasserstatistik.
- Anhang E: Zusammenstellung der Abkürzungen der Variablen und Konstanten (Symbol/Bezeichnung – Maßeinheit – Erläuterung).

Es ist beabsichtigt, Anwendungsbeispiele für verschiedene Anlagenarten (Beschneungsspeicher, Hochwasserrückhaltebecken, Kraftwerksspeicher) zur Verfügung zu stellen. Diese Anwendungsbeispiele können nach ihrer Fertigstellung beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft, Abt. I/4 – Anlagenbezogene Wasserwirtschaft angefordert werden.

1.4 Konzeption der Durchführung der Nachweise

1.4.1 Generelle Aspekte

Als Grundlage für den Nachweis der Hochwassersicherheit ist die zu bearbeitende Stauanlage in eine der folgenden Anlagentypen einzuordnen:

- Neuanlagen (Stauanlagen, die neu errichtet werden oder Stauanlagen an denen Umbauten vorgenommen werden, welche der Ertüchtigung des Abflusses über die Hochwasserentlastung dienen oder Stauanlagen bei Wiederverleihungsverfahren), Neuanlagen mit kleinem Einzugsgebiet (Neuanlagen mit Einzugsgebietsfläche < 1 km²),
- Altanlagen (bestehende Stauanlagen, an denen keine Umbauten vorgenommen werden, welche der Ertüchtigung des Abflusses über die Hochwasserentlastung dienen).

Im Rahmen von Wiederverleihungsverfahren sind grundsätzlich die Anforderungen an Neuanlagen einzuhalten, in speziellen Fällen (z. B. die zur Wiederverleihung anstehende Sperre wurde schon bei der seinerzeitigen Bewilligung als im Extremfall überströmbar konzipiert) sind Einzelfallbeurteilungen zulässig.

Die Hochwassersicherheit der Stauanlagen ist für zwei Belastungsfälle nachzuweisen, für das:

- „Bemessungshochwasser“ (BHQ) und für das
- „Sicherheitshochwasser“ (SHQ).

In beiden Fällen ist die Speicherretention zu berücksichtigen und eine Reihe von hydraulisch-wasserbaulichen Randbedingungen einzuhalten, die im Detail in Kapitel 3 angeführt sind.

Leitlinie bei der Konzeption der Nachweise war eine Trennung der verschiedenen Einflüsse, die bei einer Bemessung zu berücksichtigen sind. Die maßgebenden Hochwasserwerte (BHQ und SHQ) sollen die hydrologischen Gegebenheiten – die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Hochwässer – erfassen und dabei auch die Unschärfe in ihrer Berechnung berücksichtigen. Die anlagenspezifischen Sicherheitsaspekte werden im wasserbaulichen Teil (Kapitel 3) beschrieben.

Außerordentliche Einflüsse auf den Wasserspiegel, wie z. B. etwaige mit einem Hochwasserereignis verbundene Hangrutschungen, sind – so wie in anderen Richtlinien und Empfehlungen (z. B. DIN 19700, Teil 11) – nicht Thematik dieses Leitfadens und gesondert zu untersuchen. Die Ergebnisse sind aber bei den Wasserspiegellagenrechnungen für die Lastfälle BHQ und SHQ zusätzlich zu berücksichtigen (siehe Kap. 3.1.4).

Der Nachweis der Hochwassersicherheit erfolgt durch:

- die Definition einer „Sicherheitskote“, in Abhängigkeit der Konstruktion der Stauanlage,
- die Annahme bestimmter hydraulischer bzw. die Standsicherheit betreffenden Randbedingungen für die Belastungsfälle BHQ und SHQ,
- den Nachweis, dass der maßgebende Wasserspiegel im Speicher (Hochwasserüberstau einschließlich Effekt der Wellen bei extremen Windverhältnissen) in den beiden Belastungsfällen die Sicherheitskote nicht überschreitet.

Von einer Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des Wasserstandes im Speicher zu Beginn eines Hochwasserereignisses wird abgesehen, stattdessen ist in der Regel anzunehmen, dass der Speicher zu Beginn des Hochwasserereignisses auf Stauziel ist (siehe Kap. 3.8.1). Bei saisonalen Unterschieden im Stauziel ist generell der ungünstige Fall zu wählen.

Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass die Stand- und Betriebssicherheit einer Stauanlage nicht nur von der ausreichenden Bemessung der Hochwasserentlastung, sondern auch wesentlich von den geologischen, konstruktiven und betrieblichen Randbedingungen abhängt.

1.4.2 Bemessungshochwasser (BHQ)

Als **Bemessungshochwasser** wird jener Hochwasserdurchfluss bezeichnet, auf den die Entlastungsanlage zu bemessen ist. Die Bemessung hat sich dabei auf alle Teile der Entlastungsanlage, insbesondere auch auf jene der Energieumwandlung, zu beziehen.

In hydrologischer Hinsicht wird das Bemessungshochwasser über einen Hochwasserscheitelabfluss mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P_{\dot{u}}$ (BHQ) = $2 \cdot 10^{-4}$,

entsprechend einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren (HQ_{5000}), definiert. Für das Bemessungshochwasser ist sowohl der Scheitelwert als auch die Form der Hochwasserganglinie zu bestimmen.

In sicherheitstechnischer Hinsicht bezeichnet das Bemessungshochwasser einen Lastfall, bei dem keine Schäden an der Sperre oder an den Entlastungseinrichtungen auftreten dürfen und die volle Stand- und Betriebssicherheit der gesamten Stauanlage (einschließlich Betriebseinrichtungen) gegeben sein muss.

Mit der Bemessung auf ein Ereignis vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit ist verbunden, dass grundsätzlich auch das Auftreten von größeren Ereignissen – dies allerdings bei der Wahl von $P_{\bar{u}} = 2 \cdot 10^{-4}$ mit äußerst geringer Wahrscheinlichkeit – nicht ausgeschlossen werden kann. Dieses Restrisiko ist durch konstruktive und betriebliche Maßnahmen sowie durch eine Betrachtung der Standsicherheit der Stauanlage im Zusammenhang mit dem SHQ grundsätzlich abzudecken.

1.4.3 Sicherheitshochwasser (SHQ)

Als **Sicherheitshochwasser** wird jener Hochwasserdurchfluss bezeichnet, der der Überprüfung der Sicherheit der Stauanlage bei Überlastung (Überschreitung des Bemessungshochwassers) dient. Es entspricht demjenigen Hochwasser, das die Stauanlage unter Extrembedingungen bewältigen muss (extremer Lastfall oder Safety Check Flood). Unter hydrologischem Aspekt entspricht es dem international als „Probable Maximum Flood“ (PMF) („Vermutlich größtes Hochwasser“) bezeichneten Extremfall. In vieler Hinsicht gleicht es auch dem in früheren Regelwerken als RHHQ (Rechnerisch höchstes Hochwasser) bezeichneten extremen Bemessungsereignis.

Das Sicherheitshochwasser stellt ein Extremereignis dar, das sich bei Kombination ungünstiger aber möglicher hydrologischer Bedingungen ergibt, die über die des BHQ hinausgehen. Das können z. B. die vollständige Sättigung der Böden des Einzugsgebiets kombiniert mit einem Niederschlag entsprechend dem BHQ sein, oder Sättigungsverhältnisse wie beim BHQ kombiniert mit einem größeren Niederschlag.

Bei Abfuhr des Sicherheitshochwassers können begrenzte Schäden an der Stauanlage und den Entlastungsanlagen in Kauf genommen werden, die globale Standsicherheit der Stauanlage und das Funktionieren der in die Bemessung mit eingerechneten Betriebseinrichtungen müssen aber gegeben sein.

1.4.4 Verfahren zur Ermittlung des BHQ und SHQ

Die Ermittlung des Bemessungshochwassers und des Sicherheitshochwassers erfolgt je nach Sachverhalt (Tabelle 1) nach verschiedenen umfangreichen Bearbeitungen:

- einer Bearbeitung nach einem abgekürzten Verfahren,
- einer Bearbeitung nach einem detaillierten Verfahren.

Das **abgekürzte Verfahren** ermöglicht eine mit geringem Aufwand durchzuführende Abschätzung des maßgebenden Scheitels und des Volumens der Hochwasserzuflusswelle auf Basis der in diesem Leitfaden enthaltenen Karten, die unter Zugrundlegung einer regionalen Hochwasserstatistik erstellt wurden. Für die Erstbeurteilung der Hochwassersicherheit von **bestehenden** Stauanlagen (Altanlagen) darf das **abgekürzte Verfahren** herangezogen werden. Kann der Nachweis der Hochwassersicherheit nach dem abgekürzten Verfahren erbracht werden, kann von einer Bearbeitung nach einem detaillierten Verfahren abgesehen werden. Kann der Nachweis nicht erbracht werden, hat eine Bearbeitung nach einem detaillierten Verfahren zu erfolgen. Zum Vergleich sind auch die Werte des abgekürzten Verfahrens anzugeben.

Im **detaillierten Verfahren** ist eine eingehende Analyse aller erhebbaren relevanten Daten erforderlich - unter Anwendung verschiedener Methoden einschließlich Hochwasserstatistik und Niederschlag-Abflussmodellierung. Wegen des größeren Datenumfanges und der unterschiedlichen, sich ergänzenden Methoden lässt dieses Verfahren eine schärfere Aussage zu. Für **Neuanlagen** ist jedenfalls das **detaillierte Verfahren** heranzuziehen.

Die Anwendung des detaillierten Verfahrens kann mit unterschiedlicher Bearbeitungstiefe erfolgen. Grundsätzlich sind alle verfügbaren, relevanten Informationen zu verwenden und alle Teilschritte der Ermittlung des BHQ und SHQ durchzuführen, um möglichst zuverlässige Aussagen zu erhalten. Allerdings ist damit auch ein erheblicher Aufwand verbunden. Für Stauanlagen mit einer natürlichen Einzugsgebietsfläche von weniger als 1 km² kann deshalb ein **vereinfachtes detailliertes Verfahren** verwendet werden. Für viele Beschneigungsspeicher trifft dies beispielsweise zu. Die Bearbeitung reduziert sich dabei auf die konservative Anwendung der Niederschlag-Abflussmodellierung mit vereinfachten Modellansätzen und einer Überprüfung des Ergebnisses anhand von regionalen Hochwasserwerten (siehe Kap. 2.2).

Die Schritte des vereinfachten detaillierten Verfahrens sind, wie die des vollständigen detaillierten Verfahrens, in Kap. 2.2 dargestellt. Die nachzuweisenden Hydrologischen Kennwerte (BHQ, SHQ) sowie die wasserbaulichen Randbedingungen unterscheiden sich dabei nicht.

Tabelle 1: Auswahl des abgekürzten bzw. detaillierten Verfahrens zur Bestimmung von BHQ und SHQ als Funktion des Errichtungszeitpunktes und der natürlichen Einzugsgebietsfläche (A).

	Altanlagen	Neuanlagen mit $A > 1 \text{ km}^2$	Neuanlagen mit $A < 1 \text{ km}^2$
Anzuwendende Verfahren	Abgekürztes Verfahren; Detailliertes Verfahren, bzw. bei $A < 1 \text{ km}^2$ vereinfachtes detailliertes Verfahren, falls mit abgekürztem Verfahren Nachweis nicht gelingt	Detailliertes Verfahren	Vereinfachtes detailliertes Verfahren

1.4.5 Umgang mit Unsicherheiten und Klimawandel

Das dem BHQ zugrundeliegende HQ_{5000} wird als Erwartungswert definiert, d. h. der Hochwasserscheitelabfluss, der – unter den vorhandenen Informationen – als am zutreffendsten angesehen wird. Wesensgemäß ist dieser Wert mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, d. h. er kann etwas über oder unter dem wahren (aber unbekanntem) Wert des HQ_{5000} liegen. Ähnliches gilt für das SHQ. Diese Unsicherheiten sind auf die natürliche Variabilität der Hochwasser auslösenden Prozesse, die Datenbasis sowie auf die Modellannahmen zurückzuführen.

Im Falle des abgekürzten Verfahrens wird diese Unsicherheit durch entsprechende Faktoren abgedeckt, die sicherstellen, dass der gesuchte Wert mit großer Wahrscheinlichkeit dem wahren Wert entspricht oder diesen überschreitet. Allerdings sind dadurch die ermittelten Hochwasserscheitelabflüsse in manchen Fällen ziemlich groß, da sie eine gewisse, notwendige Sicherheitsmarge einschließen.

Im Falle des detaillierten Verfahrens besteht die Vorgangsweise darin, sämtliche erhebbareren, relevanten Daten zu analysieren und mit einem kombinierten Ansatz („Mehr-Standbeine“-Ansatz (Gutknecht et al., 2006)) auszuwerten. Dabei werden mehrere sich ergänzende Methoden angewandt: lokale sowie regionale Hochwasserstatistik, Simulation auf

Basis von Niederschlag-Abflussmodellen und Bemessungsniederschlägen, GRADEX-Verfahren, und Auswertung von historischen Hochwässern. Durch diese Vorgangsweise können die Unsicherheiten möglichst klein gehalten werden, allerdings ergibt sich dadurch ein gewisser Erhebungs- und Auswerteaufwand. Grundsätzlich erhöht sich die Aussagekraft der Ergebnisse, wenn Informationen über große Hochwasserereignisse verwendet werden. Umgekehrt sind Hochwasserreihen, in denen keine großen Ereignisse enthalten sind, wesentlich weniger aussagekräftig. Bei der Wahl der Struktur der Niederschlag-Abflussmodelle ist zu beachten, dass sie die Veränderungen in der Dynamik des Abflussvorganges beim Übergang von kleineren Hochwässern zu extremen Hochwässern zutreffend nachbilden. Die Ergebnisse nach den einzelnen Methoden werden schließlich gewichtet auf Basis ihrer Aussagekraft, um den maßgebenden Bemessungswert zu finden.

Ein sich wandelndes Klima bewirkt zusätzliche Unsicherheiten. Beide hier empfohlenen Verfahren sind so angelegt, dass sie diese Unsicherheiten berücksichtigen. Im abgekürzten Verfahren sind die Faktoren so gewählt, dass die nach Blöschl et al. (2018) in den nächsten Jahren in Österreich zu erwartenden Änderungen in den Hochwasserdurchflüssen inkludiert sind. Im detaillierten Verfahren wird der Einfluss des Klimawandels für BHQ und SHQ in folgender Weise berücksichtigt. Bei der Bestimmung des BHQ sind die mit Sicherheit zu erwartenden Veränderungen in den entsprechenden Bemessungsniederschlägen inkludiert. Bei der Bestimmung des SHQ werden darüberhinausgehende klimabedingten Veränderungen durch entsprechende Szenarien wiedergegeben. Um darüberhinausgehende Klimaschwankungen abzudecken wird empfohlen, alle zehn Jahre die hydrologische Datengrundlage der BHQ und SHQ auf Veränderungen zu überprüfen. Bei wesentlichen Veränderungen sind die Nachweise für BHQ und SHQ zu aktualisieren.

2 Hydrologischer Teil

2.1 Ermittlung von BHQ und SHQ nach dem abgekürzten Verfahren

2.1.1 Bemessungshochwasser BHQ

Die Basis für das abgekürzte Verfahren bilden regionalisierte Testwerte BHQ^* (m^3/s) des Hochwasserabflusses, die man über die folgende Formel erhält:

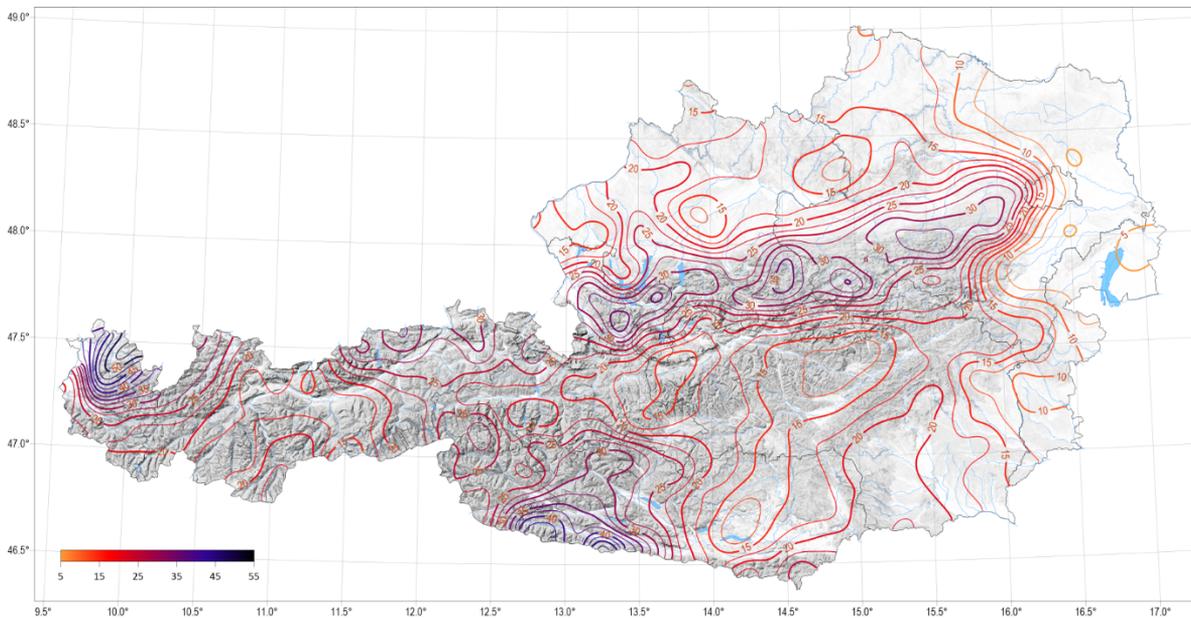
$$BHQ^* = c \cdot A^{0,6} + \Sigma Q_{BL} \quad (\text{Gl. 2.1.1})$$

Als Einzugsgebietsfläche A (km^2) ist das natürliche Einzugsgebiet der Stauanlage zu wählen, d. h. die Einzugsgebiete von Beileitungen müssen in der Bestimmung von A nicht mit einberechnet werden. Allerdings muss die Summe der Zuflüsse aus den Beileitungen ΣQ_{BL} dann addiert werden, wenn die Abkehr von Beileitungen nicht mit hoher Sicherheit gewährleistet ist, ansonsten ist $Q_{BL} = 0$.

Der Parameter c ist aus der Karte in Abbildung 1 am Flächenschwerpunkt des untersuchten Einzugsgebietes abzulesen. Für die Bearbeitungen steht diese Karte in Form von vergrößerten Teilkarten mit Koordinatennetz in Anhang B zur Verfügung. Der Parameter c deckt die folgenden Faktoren ab:

- Regionalisierter hundertjähriger Hochwasserabfluss HQ_{100} ermittelt aus Pegelbeobachtungen des Abflusses,
- die relative Vergrößerung des Hochwasserabflusses bei Übergang zu größeren Jährlichkeiten bzw. kleinen Überschreitungswahrscheinlichkeiten ($P_{\bar{u}}$), d. h. bei Übergang von $P_{\bar{u}} = 1 \cdot 10^{-2}$ auf $P_{\bar{u}} = 2 \cdot 10^{-4}$ und
- die mit der regionalen Übertragung verbundene hydrologische Unschärfe, die sich aus dem lokalen hydrologischen Verhalten sowie aus etwaigen Klimaschwankungen in den nächsten Jahren ergibt.

Abbildung 1: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1.



Erläuterung: Für die Bearbeitung ist der c Parameter in den vergrößerten Teilkarten in Anhang B abzulesen. Betreffend die Ermittlung dieser Karte wird auf Anhang C verwiesen.

Quelle: Diese Karte ist auf Basis der Daten HORA 3.0 (Stand 2019) ermittelt worden und unterscheidet sich deshalb von der entsprechenden Karte im Leitfaden 2009 (BMLFUW, Österreichische Staubeckenkommission, TU Wien, 2009).

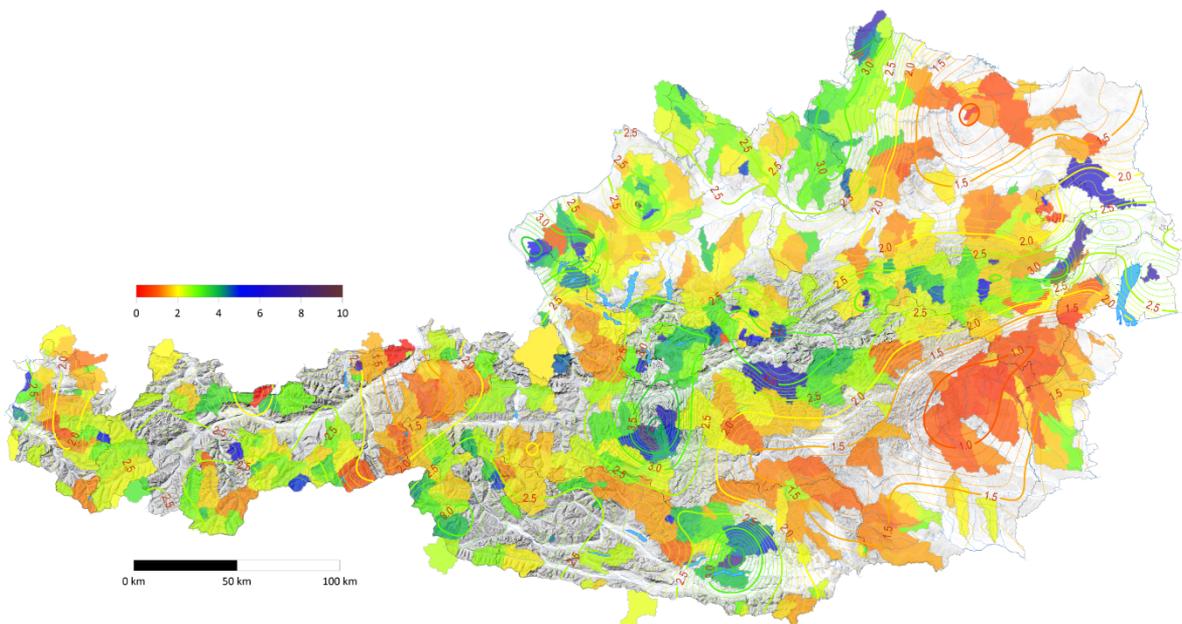
Zur Abschätzung der Speicherretention wird empfohlen, eine dreiecksförmige Zuflusswelle zu wählen, deren Scheitel gleich dem BHQ* gewählt wird und deren Anstiegszeit t_A (h) folgendermaßen ermittelt wird:

$$t_A = t_0 \cdot A^{0,35} \quad (\text{Gl. 2.1.2})$$

A (km²) ist die natürliche Einzugsgebietsfläche. t_0 wird auf Basis der t_0 Werte in nahe gelegenen, hydrologisch ähnlichen Pegelinzugsgebieten (Abbildung 2 bzw. Anhang B) und der interpolierten Isolinien am Flächenschwerpunkt des untersuchten Einzugsgebietes festgelegt. Für die Bearbeitungen steht diese Karte in Form von vergrößerten Teilkarten mit Koordinatennetz in Anhang B zur Verfügung. Der Parameter t_0 wurde aus Pegelbeobachtungen des Abflusses abgeleitet und ist ein flächenbezogener Mittelwert der Anstiegszeiten der Jahreshochwässer in jedem Gebiet (Gebietswerte) bzw. ein regionalisierter Wert (Isolinien in Anhang B). Die Basisdauer der Welle wird zu $2 \cdot t_A$ gewählt, wodurch sich eine gleichschenkelige Dreiecksform ergibt.

Auf Basis der so ermittelten Zuflusswelle ist eine Retentionsberechnung für die Stauanlage durchzuführen unter Einhaltung der in Kapitel 3 angegebenen Randbedingungen. Der Nachweis wird als erbracht angesehen, wenn der sich aus der Retentionsberechnung ergebende Wasserstand nicht die „Sicherheitskote“ überschreitet. Die Nachweisführung (einschließlich Definition der Sicherheitskote) hat nach Kapitel 3 zu erfolgen. Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist das detaillierte Verfahren anzuwenden.

Abbildung 2: Anstiegszeit t_0 in Pegelinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2.



Erläuterung: Für die Bearbeitung ist der t_0 Wert in den vergrößerten Teilkarten in Anhang B abzulesen. Betreffend die Ermittlung dieser Karte wird auf Anhang C verwiesen.

2.1.2 Sicherheitshochwasser SHQ

Der Wert des Sicherheitshochwassers wird im abgekürzten Verfahren ausgehend vom Testhochwasser BHQ* (Gl. 2.1.1) festgelegt als

$$SHQ^* = a \cdot c \cdot A^{0,6} + \Sigma Q_{BL} \quad (\text{Gl. 2.1.3})$$

wobei die Fläche A (km²) und die Summe der Zuflüsse der Beileitungen ΣQ_{BL} wie im Fall des BHQ zu wählen sind. Der Faktor a wird mit $a = 1,3$ angesetzt, auf Basis der Erfahrung mit

dem nach dem detaillierten Verfahren berechneten SHQ bei Projekten der Staubeckenkommission in der Vergangenheit. Dieser Faktor deckt die Vergrößerung des Hochwasserabflusses zufolge ungünstiger aber plausibler Kombinationen der Einflussfaktoren ab, und entspricht den Erfahrungen der Bemessungspraxis in Österreich.

Die Zuflusswelle ist durch den Scheitel SHQ^* , die Anstiegszeit t_A und die Basis $2 \cdot t_A$ (Gl. 2.1.2) definiert. Auf Basis der so ermittelten Zuflusswelle ist eine Retentionsberechnung für die Stauanlage durchzuführen und der Nachweis nach Kapitel 3 zu führen. Kann der Nachweis nicht erbracht werden, ist das detaillierte Verfahren anzuwenden.

2.2 Ermittlung von BHQ und SHQ nach dem detaillierten Verfahren

2.2.1 Bemessungshochwasser BHQ

2.2.1.1 Überblick und Datensituation

Die detaillierte Ermittlung des Bemessungshochwassers erfolgt nach einem kombinierten „Mehr-Standbeine“-Ansatz auf Basis voneinander unabhängigen Berechnungen des Bemessungshochwasserwertes nach den vier Ansätzen

- Lokale Hochwasserstatistik,
- Regionale Hochwasserstatistik,
- Niederschlag-Abflussmodellierung,
- Gradex-Verfahren,

sowie zur Einordnung der Ergebnisse eine Auswertung

- historischer Ereignisse bzw. Hüllkurven.

Der Bemessungswert wird aus den nach den vier Ansätzen erhaltenen Ergebnissen unter Abwägung der mit der jeweiligen Berechnungsmethode verbundenen Unsicherheiten ausgewählt. Hinter diesem „Mehr-Standbeine“-Ansatz steht die Überlegung, dass die Extrapolation auf ein so seltenes Ereignis wie ein HQ_{5000} (bzw. ein SHQ) mit großen Unsicherheiten verbunden ist, die durch die Kombination unterschiedlicher Methoden auf Basis unterschiedlicher Daten reduziert werden können. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die zur

Ermittlung bzw. zur Plausibilitätsprüfung der gesuchten Hochwasserschätzwerte herangezogenen Informationen. Die Möglichkeiten der Bearbeitungen hängen im konkreten Fall von der jeweils gegebenen Datensituation in der Region der Stauanlage ab.

Im Folgenden werden die einzelnen Methoden beschrieben, einschließlich der erforderlichen Datenbasis.

Tabelle 2: Informationsgehalt der einbezogenen Methoden (nach Gutknecht et al., 2006).

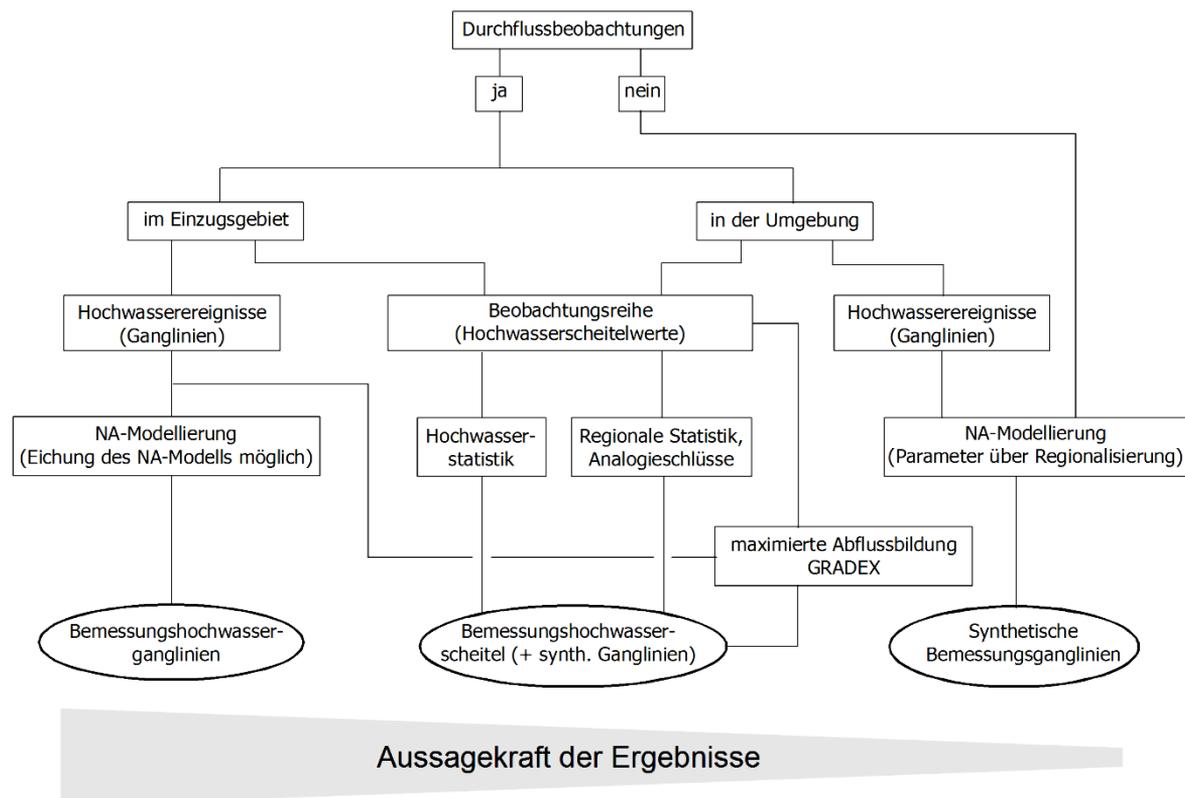
Methode	Informationsgehalt
Lokale Hochwasserstatistik	Verhältnisse im betrachteten Gebiet; bester Aufschluss über Hochwassersituation im Gebiet sofern die Beobachtungsreihen lang sind und große Ereignisse enthalten sind.
Regionale Hochwasserstatistik	Datenkollektiv mit längeren Beobachtungsreihen; mehr Information über größere Ereignisse; Möglichkeit des Vergleichs zwischen Hochwasser-Simulation (Größe, Entstehung, Auftreten) unter den unterschiedlichen Bedingungen in den verschiedenen Gebieten.
Niederschlag-Abflussmodellierung	Eingehen auf Niederschlagsverhältnisse und die Abflussentstehungsbedingungen im Gebiet, dadurch transparentere Extrapolation; Möglichkeit der „Verschärfung“ der Inputs, der Parameter und der Entstehungsbedingungen zur Abschätzung der Variationsbreite.
Gradex-Verfahren	Abschätzverfahren unter maximierenden Annahmen bezüglich der Abflussentstehungsbedingungen, d. h. der über einen Schwellenwert hinausgehende Niederschlag geht vollständig in Abfluss über.
Historische Hochwässer bzw. Hüllkurven	Einzelne extreme Hochwässer, die vor Beginn der systematischen Wasserstandszeichnungen aufgetreten sind, sowohl im Gebiet als auch in der Umgebung. Vergleich von Größe, Begleitumständen, auslösenden Faktoren, usw. mit späteren Ereignissen zur Einordnung der Annahmen der anderen Verfahren.

Abbildung 3 enthält eine Übersicht über die Anwendung der Berechnungsverfahren in Relation zu den vorhandenen Beobachtungsunterlagen. Je umfangreicher die Datenbasis (links in Abbildung 3) desto aussagekräftiger sind die Ergebnisse. Grundsätzlich sollen beim detaillierten Verfahren alle relevanten Daten erhoben und analysiert werden.

Das **vereinfachte detaillierte Verfahren** sieht hingegen nur die Anwendung der Niederschlag-Abflussmodellierung mit vereinfachten Modellansätzen und mit konservativen Annahmen für die Modellparameter vor (siehe Kap. 2.2.1.4), sowie die Überprüfung des Ergebnisses an Hand von regionalen Hochwasserwerten wie von den Hydrographischen Diensten bekanntgegeben bzw. auf Basis von HORA 3.0 (Blöschl et al., 2022).

Als Einzugsgebietsfläche A ist das Einzugsgebiet der Stauanlage einschließlich der Einzugsgebiete von Beileitungen anzusetzen. Wenn die Abkehr von Beileitungen mit hoher Sicherheit gewährleistet ist, ist es nicht erforderlich, die Abflüsse aus den Beileitungen mit einzuberechnen.

Abbildung 3: Verfahren zur Ermittlung des Bemessungsabflusses in Abhängigkeit von vorhandenen Beobachtungsunterlagen.



2.2.1.2 Lokale Hochwasserstatistik

Wenn in der Nähe der Stauanlage (stromauf oder stromab) eine Zeitreihe von Hochwasserabflüssen beobachtet wurde, kann an sie eine statistische Verteilungsfunktion angepasst werden, um daraus den BHQ-Durchfluss entsprechend einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren abzulesen.

Datenbasis: Üblicherweise werden als Datenbasis in Österreich die Jahresmaxima des Abflusses herangezogen. Die Aussagekraft der Beobachtungsreihe hängt von mehreren Faktoren ab (Tabelle 3). Die Reihenlänge sollte mindestens 50 Jahre betragen. Damit ist

ein HQ_{100} zuverlässig zu bestimmen. Die Unsicherheiten für ein HQ_{5000} sind zwar wegen der Extrapolation wesentlich größer, doch lässt sich dafür eine gewisse Aussage treffen. Kürzere Reihen können zwar analysiert werden, jedoch ist ihnen bei der vergleichenden Bewertung (siehe Kap. 2.2.1.6) ein geringes Gewicht zu geben.

Tabelle 3: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der lokalen Hochwasserstatistik.

Datenbasis	Informationsgehalt
Reihenlänge	Für die zuverlässige Bestimmung eines HQ_{100} ist mindestens eine Reihenlänge von 50 Jahren erforderlich, wodurch sich eine gewisse Aussagekraft auch für das HQ_{5000} ergibt.
Große Ereignisse enthalten	Die Datenreihe sollte zumindest ein großes Hochwasserereignis enthalten (eingeschätzt durch Vergleich zu Reihen der Umgebung bzw. durch Schadensausmaß).
Qualität Abflussdaten	Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen geprüft, besonders für die größten Ereignisse.
Beeinflussungen	Beeinflussungen durch wasserbauliche Maßnahmen müssen berücksichtigt werden.

Hochwässer treten oft in einer Abfolge von Perioden mit häufigen und weniger häufigen Hochwässern auf (Lun et al., 2020). Um zu vermeiden, dass die Beobachtungsreihe des betreffenden Gebietes in eine Periode mit weniger häufigen Hochwässern fällt und dadurch das HQ_{5000} unterschätzt wird, ist es von Vorteil, wenn die Datenreihe zumindest ein großes Hochwasserereignis enthält. Das Attribut „groß“ kann eingeschätzt werden durch einen Vergleich mit Reihen der Umgebung bzw. durch ein ungewöhnlich hohes Schadensausmaß. Zudem ist die Qualität der Hochwasserabflussdaten zu prüfen, insbesondere die der Größtwerte, und gegebenenfalls sind begründete Korrekturen anzubringen. Diese Prüfung kann durch einen Vergleich mit Abflussdaten von stromauf oder stromab gelegenen Pegeln mittels Bilanzüberlegungen (eventuell auch mit Pegeln in Nachbargebieten) und bei Zweifel durch eine Untersuchung der Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen erfolgen (DWA, 2012, Kapitel 2; ÖWAV, 2019, Kapitel 2).

Zudem ist der Einfluss wasserbaulicher Maßnahmen auf die Hochwasserreihe zu identifizieren, und bei starker Inhomogenität der Reihe ist sie in stationäre Teilkollektive zu trennen oder entsprechend zu korrigieren.

Die Auswertung der Hochwasserdaten erfolgt nach dem Grundsatz der **Extremwerthydrologie** (Blöschl und Merz, 2008, Tabelle 1), nach dem nicht die statistische Passfähigkeit einer Verteilungsfunktion, sondern die hydrologische Plausibilität im Vordergrund steht.

Zur Ermittlung des HQ_{5000} werden zwei Verteilungsfunktionstypen herangezogen, die Gumbelverteilung und die Allgemeine Extremwertverteilung (AEV). Die Gumbelverteilung besitzt zwei Parameter, die AEV hingegen drei. Verteilungen mit zwei Parametern sind robust, d. h. große Einzelwerte beeinflussen die Verteilung gering, doch kann möglicherweise keine gute Anpassung an die Daten erzielt werden. Verteilungen mit drei Parametern sind flexibler, doch sind die bestimmten Parameter bei kurzen Reihen unsicherer. Deshalb wird die Gumbelverteilung für kurze Reihen (ca. 30 Jahre oder weniger) empfohlen, die AEV dagegen für lange Reihen (ca. 50 Jahre oder mehr). Für den Zwischenbereich wird keine Präferenz angegeben.

Die **Schätzung** der Parameter der Verteilungsfunktion erfolgt über die Momentenmethode (Produktmomente). Zusätzlich wird für die Gumbel-Verteilung die L-Momenten-Methode empfohlen. Die so ermittelten Verteilungsfunktionen werden grafisch aufgetragen als Hochwasserdurchfluss gegen die Jährlichkeit im Vergleich zu den Hochwasserdaten. Für letztere werden die scheinbaren Jährlichkeiten T_e durch Ordnung nach der Größe wie folgt bestimmt:

$$T_e = \frac{M+1}{m} \quad (\text{Gl. 2.2.1})$$

wobei M die Anzahl der Werte und m die Rangordnung (1 für den größten Wert, M für den kleinsten Wert) des jeweiligen Ereignisses sind.

Eine hohe **Anpassungsgüte** der Verteilung an die Abflussdaten ist zwar anzustreben, erlaubt aber nur eine beschränkte Aussage über die Eignung der Verteilungsfunktion für die Extrapolation auf das HQ_{5000} , da die vorhandenen Hochwasserdaten in der Regel nicht alle notwendigen Informationen über das Verhalten der Extremwerte enthalten. Deswegen ist bei der Bewertung der Ergebnisse die Aussagekraft der verwendeten Datenreihe zu berücksichtigen, insbesondere die Länge der Reihe und das Auftreten bzw. Fehlen von großen Ereignissen (Tabelle 3).

Ergeben verschiedene **Verteilungsfunktionen** deutlich unterschiedliche Schätzungen des HQ_{5000} , so ist die Hochwasserreihe zu kurz für eine zuverlässige statistische Aussage. In diesem Fall muss sich der Wert des BHQ vor allem nach den anderen Verfahren des Leitfadens richten.

Manchmal ist der Größtwert der Reihe viel größer als alle anderen Werte (sogenannte **Ausreißer**). Dieser sollte (sofern es sich nicht um einen Messfehler handelt) aus der Reihe nicht entfernt werden, da er eine wertvolle Information für die Bestimmung des BHQ darstellt. Für diesen Wert ist die scheinbare Jährlichkeit T_e nicht gemäß Gl. 2.2.1 zu bestimmen, sondern durch einen Vergleich mit langen Niederschlagsreihen, langen Hochwasserreihen in Nachbargebieten und historischen Hochwässern.

Generell ist die Einbeziehung historischer Ereignisse empfehlenswert. Dabei werden Informationen zu Wasserständen besonders extremer Ereignisse vor Beginn der systematischen Abflussmessung aus Archiven und Chroniken erhoben und mittels hydraulischer Überlegungen in Durchflüsse umgerechnet (z. B. Amt der Kärntner Landesregierung, 2004). Die Jährlichkeit solcher historischen Ereignisse kann nach DWA (2012) bzw. ÖWAV (2019) abgeschätzt werden und erlaubt eine Bewertung des Extrapolationsverhaltens der Verteilungsfunktion in der grafischen Darstellung.

Neben den angepassten Verteilungsfunktionen können im Diagramm auch die **Vertrauensbereiche** (z. B. 90-Prozent-Vertrauensgrenzen) dargestellt werden. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass diese ausschließlich auf Basis der vorhandenen Hochwasserdaten geschätzt werden, während in der Praxis von Interesse ist, wie sich die nicht beobachteten, aber möglichen, Ereignisse auf die Verteilung auswirken.

Als Basis für die Entscheidung über den zu wählenden Bemessungswert im Rahmen der Gesamtbeurteilung (Kap. 2.2.1.6) wird der Streubereich des HQ_{5000} zufolge unterschiedlicher Verteilungsfunktionen und Parameterschätzmethoden übernommen.

Zu einfacheren Anwendung steht auf der Website des zuständigen Bundesministeriums ein Excel Makro zu Verfügung mit dessen Hilfe die lokale Hochwasserstatistik angewendet werden kann. Eingangsdaten und Parameter sind in die Excel Tabellen zu kopieren (siehe Anhang D).

2.2.1.3 Regionale Hochwasserstatistik

Die Methode der regionalen Hochwasserstatistik beruht auf einer Schätzung des gesuchten Hochwasserwertes auf Basis von Hochwasserreihen von Pegeln in der Region der Stauanlage. Der Vorteil gegenüber der lokalen Hochwasserstatistik besteht darin, dass erstens damit auch an Stellen ohne Abflussmessungen ein BHQ bestimmt werden kann, und zweitens die Datenbasis durch Verwendung vieler Pegel größer ist und somit die Unsicherheit reduziert werden kann. Demgegenüber steht der Nachteil der manchmal nicht vollständig gegebenen regionalen Übertragbarkeit von den Pegeln auf die Stelle der Stauanlage.

Datenbasis: Für die Datenbasis gilt ähnliches wie für die lokale Hochwasserstatistik. Typischerweise werden drei bis zehn Pegel mit Hochwasserreihen in der Region herangezogen (Tabelle 4). Die Reihenlänge sollte mindestens 50 Jahre betragen, aber auch kürzere Reihen besitzen eine gewisse Aussagekraft. Dies liegt daran, dass die Gesamtanzahl der möglicherweise erfassten Hochwässer durch die regionale Betrachtung höher ist, als bei der lokalen Hochwasserstatistik. Die Daten sollten qualitätsgeprüft werden und gegebenenfalls sollten wasserbauliche Maßnahmen Berücksichtigung finden. Ähnlich wie bei der lokalen Hochwasserstatistik ist es von Vorteil, wenn die Daten zumindest ein großes Hochwasserereignis enthalten, das für das Einzugsgebiet der Stauanlage relevant ist. Wenn beispielsweise der regionale Datensatz ein sehr großes Schneeschmelzhochwasser enthält, in dem Gebiet der Stauanlage (wegen der kleinen Einzugsgebietsfläche) jedoch Gewitter maßgebend sind, wäre dieses große Ereignis nicht als relevant zu bezeichnen. Zudem sollten die Einzugsgebiete der Pegel mit dem Einzugsgebiet der Stauanlage hydrologisch gut vergleichbar sein. Ist dies nicht der Fall, vermindert sich die Aussagekraft der Methode.

Tabelle 4: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der regionalen Hochwasserstatistik.

Datenbasis	Informationsgehalt
Anzahl der Pegel in der Region	Typischerweise werden drei bis zehn Pegel in der Region herangezogen, an denen Hochwasserreihen vorliegen.
Reihenlänge	Idealerweise sollte die Reihenlänge mindestens 50 Jahre betragen, aber auch kürzere Reihen besitzen eine gewisse Aussagekraft.
Große Ereignisse enthalten	Die Datenreihen sollten zumindest ein großes Hochwasserereignis enthalten, das für die Stauanlage relevant ist.
Regionale Übertragbarkeit	Die Pegelgebiete sollten hydrologisch ähnlich dem Einzugsgebiet der Stauanlage sein.

Die Auswertung folgt vorerst der Vorgangsweise der lokalen Hochwasserstatistik mit Anpassung einer Verteilungsfunktion an die Hochwasserdaten für jeden Pegel. Dabei sollte an allen Pegeln der gleiche Typ der Verteilungsfunktion (z. B. Gumbel) gewählt werden, um eine Vergleichbarkeit zu erzielen. Die Ergebnisse sind in ähnlicher Weise wie bei der lokalen Hochwasserstatistik grafisch darzustellen und zu interpretieren.

In einem zweiten Schritt folgt die Beurteilung der hydrologischen Ähnlichkeit zwischen Zielgebiet (dem Einzugsgebiet der Stauanlage) und den Pegelinzugsgebieten. In hydrologisch ähnlichen Gebieten werden Hochwässer durch ähnliche Prozesse ausgelöst und dadurch ergeben sich auch ähnliche Hochwasserdurchflüsse. Eine Beurteilung der Ähnlichkeit erfolgt auf Basis von

- Einzugsgebietsgröße: Je kleiner das Gebiet, desto eher sind lokale Gewitter maßgebend im Vergleich zu regionalen Niederschlägen, und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit von hohen Niederschlagsintensitäten im ganzen Gebiet (und damit großen Hochwasserspanden).
- Niederschlag: Der Jahresniederschlag ist ein wichtiger Indikator für die Niederschlagsverhältnisse, aber auch für den zu erwartenden Bodenfeuchtezustand (siehe z. B. Hydrologischer Atlas Österreichs). Typische Bewegungsrichtungen von Gewittern und die Geländeform (z. B. beide Gebiete sind nach Westen offen) geben Aufschlüsse über Extremniederschläge.
- Boden und Geologie: Zur Einschätzung der Abflussreaktion im Zielgebiet im Vergleich zu den Pegelinzugsgebieten dienen Infiltrationseigenschaften (Bodenart, Bewuchs etc.), Speicherfähigkeit des Oberbodens (Dicke der Bodenkrume, wirksames Porenvolumen), Wasserwegigkeiten des Untergrundes (Karst, Klüftigkeit, Quellenhorizonte) und Gewässernetzdichte als Summenmaß für die Abflusentstehung. Bodenkarten, geologische und hydrogeologische Karten und jedenfalls eine Geländebegehung sind für diese Einschätzung hilfreich.
- Topographie: Steile Geländebeziehungen sind oft mit höheren Niederschlägen und einer rascheren Abflussreaktion korreliert.
- Wasserbauliche Maßnahmen und Seen: Diese sind u.a. in Hinblick auf ihre Retentionseigenschaften bei der Vergleichbarkeit zu berücksichtigen.
- Saisonalität der Hochwässer: Der Zeitpunkt des Auftretens der Jahreshöchsthochwasser innerhalb des Jahres gibt einen summarischen Einblick in die Entstehungsmechanismen.

Um diese Ähnlichkeiten einzuordnen werden die HQ_{5000} der Pegel in der Region **grafisch** dargestellt. Dies kann durch ein Hochwasserspendendiagramm erfolgen, d. h. eine doppelt logarithmische Darstellung der HQ_{5000} -Spende (d. h. Hq_{5000}) an den Pegeln gegen die Einzugsgebietsfläche. Die Darstellung kann auch in Form von Karten, und für große Flüsse in Form von Längenschnitten (HQ_{5000} gegen die Lauflänge des Flusses), erfolgen. Zum Vergleich ist es auch sinnvoll, die HQ_{100} -Werte darzustellen, um zu beurteilen, um wie viel die HQ_{5000} größer als die HQ_{100} sind. In ähnlicher Weise können auch Abhängigkeiten der Hochwasserspenden von **anderen Kenngrößen** graphisch untersucht werden, indem sie z. B. gegen den Jahresniederschlag statt gegen die Einzugsgebietsfläche aufgetragen werden. Die Ähnlichkeit des Zielgebietes mit den Pegelgebieten ist in Hinblick auf die o. a. Faktoren zu bewerten und zu diskutieren, da dadurch die Unterschiede im zu erwartenden Hochwasserabfluss abschätzbar werden.

Schließlich folgt die Bestimmung des HQ_{5000} für das Gebiet der Stauanlage mittels **Regionaler Übertragung**. Im einfachsten Fall kann dies mittels **Hochwasserspendendiagramm** erfolgen. Dabei erhält man die 5.000-jährliche Spende (Hq_{5000}) für die Sperrenstelle aus einer Ausgleichsfunktion, bei der die dem Zielgebiet ähnlichen Pegeleinzugsgebiete eine stärkere Gewichtung erfahren. Durch den Vergleich der einzelnen Punkte bezüglich der Lage zur Ausgleichsfunktion werden die lokalen hydrologischen Besonderheiten, aber auch z. B. unterschiedliche Beobachtungszeiträume, deutlich. Die Ausgleichsfunktion kann etwa die Form

$$Hq_{5000} = \alpha \cdot A^{-\beta} \quad (\text{Gl. 2.2.2})$$

mit dem Faktor α und dem Exponenten β besitzen. In den Regionen Österreichs, in denen oft kleinräumige, konvektive Niederschläge für die maximalen jährlichen Hochwässer verantwortlich sind (z. B. südliches Burgenland, Steiermark, Weinviertel), reichen die Exponenten β typischerweise von 0,40 bis 0,50, während sie in Regionen mit relevanten großräumigen Niederschlägen (z. B. Salzkammergut, Bregenzer Wald) um 0,30 bis 0,35 liegen.

Darüberhinausgehend können **statistische** Regionalisierungsverfahren angewendet werden, wie z. B. eine Mehrfachregression der Hochwasserkennwerte an den Pegeln mit Gebietseigenschaften wie Einzugsgebietsfläche und Niederschlag. Welche Methode auch immer für die regionale Übertragung angewandt wird – das **lokale Verhalten** des Einzugsgebietes der Stauanlage in Hinblick auf Niederschlag, Abflussbildung und Hydrogeologie im Vergleich zur Region auf Basis einer hydrologischen Argumentation ist zu berücksichtigen und zu dokumentieren.

Zur Bewertung des für die Anlagenstelle mittels regionaler Hochwasserstatistik ermittelten HQ_{5000} sind zudem zwei Vergleiche durchzuführen:

- Vergleich des hier ermittelten HQ_{100} mit den **HORA 3.0** Werten, die österreichweit bei den Hydrographischen Landesdiensten zur Verfügung stehen. Bei HORA 3.0 handelt es sich um eine regionale Auswertung, die nicht alle lokalen hydrologischen Effekte berücksichtigt, aber eine regionale Einordnung gibt. Es ist zu argumentieren, aus welchen hydrologischen Gründen der ermittelte Wert von den HORA Werten abweicht.
- Vergleich mit einer **Hüllkurve**, bei der die Maximalwerte der beobachteten Scheitelabflussspenden Hq_{max} in der Region gegen die Einzugsgebietsflächen A im doppelt-logarithmischen Maßstab aufgetragen werden. Es kann dabei zwar keine Aussage über die Jährlichkeit getroffen werden, jedoch darüber, ob große Hochwässer im Datensatz enthalten sind und wie das ermittelte Hq_{5000} dazu steht.

2.2.1.4 Niederschlag-Abflussmodellierung

Die Einbeziehung der Niederschlag-Abflussmodellierung ermöglicht es, den Einfluss verschiedener Niederschlagsituationen und verschiedener Abflussbedingungen im Einzugsgebiet auf die Größe der gesuchten Bemessungshochwasserwerte zu untersuchen. Die Methode erfordert die Aufstellung eines Niederschlag-Abflussmodells und die Wahl des Bemessungsniederschlags und setzt sich aus den folgenden Schritten zusammen: Datenprüfung, Modellwahl, Modellparameter, Modellvalidierung, Bemessungsniederschlag, Modelanwendung.

2.2.1.4.1 Datenprüfung, Feldbegehung und Ereignisdokumentation

Datenbasis: Die wichtigste Datenbasis sind Abflussmessungen großer Hochwasserereignisse (Tabelle 5). Im günstigsten Fall ist für das Einzugsgebiet der Stauanlage ein Pegel vorhanden, an dem mehrere große Hochwasserereignisse aufgezeichnet wurden, die für die Modellkalibrierung und Validierung verwendet werden. Ist dies der Fall, kann man von einer guten Datenbasis sprechen.

Ist dies nicht der Fall, ist das Modell an Abflussdaten in Nachbargebieten zu kalibrieren. Sind diese Pegelgebiete nahegelegenen, hydrologisch ähnlich und wurden große Hochwässer gemessen, kann man von einer relativ guten Datenbasis sprechen.

Ist auch dies nicht der Fall, ist die Datenbasis schlecht, wodurch sich die Unsicherheiten bei der Ermittlung des BHQ und SHQ erhöhen. Dieser Umstand ist bei der Sensitivitätsanalyse (siehe Kap. 2.2.1.4.6) durch ein **breiteres Spektrum der Szenarien** zu berücksichtigen.

Generell sollten alle verfügbaren Abflussdaten im Gebiet verwendet werden. Alle verwendeten Daten sind sorgfältig zu prüfen und den Berechnungen beizulegen.

Für die Anwendung des Niederschlag-Abflussmodells sind auch Niederschlagsdaten erforderlich. Auch hier gilt die Verwendung möglichst umfangreicher Daten von Niederschlagsstationen, deren Prüfung und Dokumentation.

Zudem stellt die **Begehung** des Einzugsgebiets der Stauanlage eine wichtige Informationsquelle dar. Je kleiner das Gebiet und je weniger umfangreich die hydrologische Datenbasis, desto wichtiger sind derartige Begehungen, und desto detaillierter sind sie auszuführen. Sie dienen vor allem zur Erhebung von Informationen zur Einschätzung der Abflussbildung und Abflusskonzentration, insbesondere beim **Übergang von kleinen zu großen Hochwasserereignissen**, um damit die Wahl der Modellstruktur und der Modellparameter zu belegen sowie Teilflächen mit ähnlichen hydrologischen Eigenschaften und damit Parameterwerten auszuweisen (z. B. nach Markart et al., 2004; Rogger et al., 2012; Reszler et al., 2008). Dabei sind Flächen unterschiedlicher Abflusswirksamkeit und Reaktion zu erheben und zu dokumentieren (durch Fotos, Karten, Skizzen) in Hinblick auf Beobachtungen von Oberflächenfließen, Runsen, Sättigungsflächen, Infiltrationseigenschaften, Hydrogeologie, Quellen, Retentionsflächen und anthropogene Eingriffe (z. B. Straßen). Ergänzt wird die Begehung durch vorhandene Bodenkarten und geologische Karten zur Einschätzung der Infiltrationseigenschaften (Bodenart, Bewuchs, ...) und der Speicherfähigkeit des Oberbodens (Dicke der Bodenkrume, wirksames Porenvolumen) und gegebenenfalls des tieferen Untergrunds (Karst, Klüftigkeit, Quellenhorizonte). Bei kleinen Einzugsgebieten ist auch die Gebietsabgrenzung bei der Begehung zu prüfen.

Schließlich wird eine **Dokumentation** abgelaufener Ereignisse bzw. eine Auswertung vorhandener Dokumentationen (z. B. Projektberichte, **Chroniken**) empfohlen, besonders von Ereignissen die größer waren, als solche die in den systematischen Abflussdaten enthalten sind. Eine solche Dokumentation sollte Informationen über Vorbedingungen, Niederschlag, Abflussbildung und Abflusskonzentration, Wellenablauf und einen Vergleich mit anderen Ereignissen enthalten. Auch hier gilt, dass je weniger umfangreich die sonstige hydrologische Datenbasis ist, desto wichtiger derartige Informationen sind.

Der Aufwand für die Begehung des Einzugsgebiets und die Dokumentation abgelaufener Ereignisse ist bei der Planung der **Projektkosten** zu berücksichtigen.

Für das **vereinfachte detaillierte Verfahren** ist eine weniger umfangreiche Datenerhebung erforderlich, sofern konservative Annahmen für die Parameter des Niederschlag-Abflussmodells getroffen werden (siehe Kap. 2.2.1.4.3). Eine Feldbegehung und eine vereinfachte Dokumentation der Abflussprozesse sind jedoch jedenfalls durchzuführen.

Tabelle 5: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der Niederschlag-Abflussmodellierung.

Datenbasis	Informationsgehalt
Abflussdaten für die Modellkalibrierung	Das Niederschlag-Abflussmodell sollte zumindest an einem Pegel für das Einzugsgebiet der Stauanlage kalibriert werden. Ist diese nicht möglich, soll das Modell an Abflussdaten in ähnlichen Nachbargebieten kalibriert werden, wobei die Unsicherheiten größer sind. Ist dies auch nicht möglich, ist mit zusätzlichen Unsicherheiten zu rechnen.
Große Ereignisse enthalten	Die Abflussdatenreihen sollten zumindest ein großes Hochwasserereignis enthalten, das für die Stauanlage relevant ist.
Begehung des Einzugsgebietes	Feldbegehungen zur Einschätzung der Abflussbildung und Konzentration sind durchzuführen und zu beschreiben, um die Wahl der Modellstruktur und der Parameter zu belegen.
Dokumentationen großer Ereignisse	Zumindest das größte bekannte Ereignis sollte dokumentiert werden.
Bemessungsniederschlag	Üblicherweise werden eHYD Werte verwendet. Zusätzlich sind Angaben zur zeitlichen Verteilung innerhalb des Ereignisses und Flächenabminderung aus Beobachtungen von Vorteil.
Modellvalidierung	Das Modell sollte an Abflussdaten validiert werden, mit Sensitivitätsstudien sollte die Unsicherheit ausgewiesen werden, und die Modellgüte sollte bewertet werden.
Modellstruktur	Das Modell sollte die Veränderung der Abflussbildung (Abflussbeiwert) und der Abflusskonzentration (Reaktionszeit) mit Ereignisgröße zutreffend beschreiben.

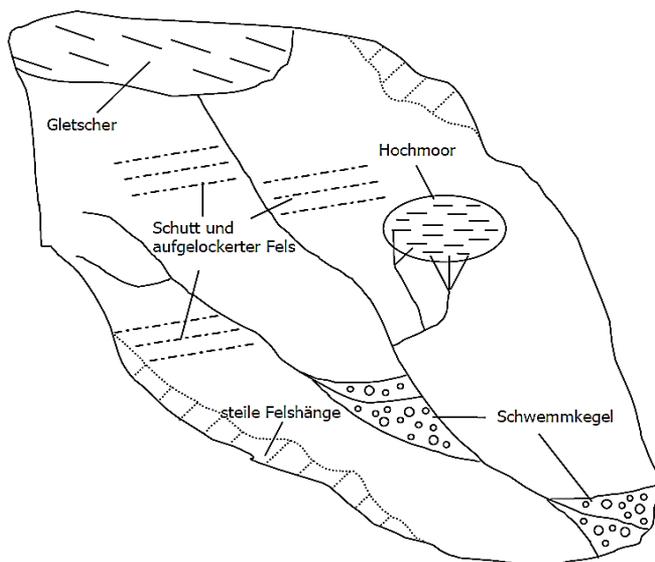
2.2.1.4.2 Modellwahl (Konzeption des Niederschlag-Abflussmodells)

Die Wahl des Niederschlag-Abflussmodells steht grundsätzlich frei. Der Aufgabenstellung entsprechend wird die Anwendung eher einfacher Modelle auf Ereignisbasis mit wenigen Modellparametern empfohlen, um die Variationsmöglichkeiten bei der Extrapolation in den

Bereich extremer Ereignisse in einem überschaubaren Rahmen zu halten. Bei komplexen Anwendungen kann es sinnvoll sein, zusätzlich oder alternativ kontinuierliche Modelle zu verwenden. Für diese ist sicherzustellen, dass sie speziell für den Fall großer Hochwässer genaue Ergebnisse liefern. Eine vertiefte praktische Erfahrung der Bearbeiterin oder des Bearbeiters mit der Niederschlag-Abflussmodellierung ist jedenfalls notwendig.

Unter dem Aspekt der Veränderung der Abflussreaktion bei Auftreten von extremen Abflussvorgängen wird empfohlen, das Gebiet nach Flächen unterschiedlicher Abflussreaktion zu **unterteilen** (z. B. Gletscher, steile Felshänge, Hochmoor, Schuttflächen, aufgelockerter Fels, Schwemmkegel) wie in Abbildung 4 beispielhaft gezeigt.

Abbildung 4: Beispiel für die Flächendifferenzierung eines alpinen Einzugsgebietes.



Der Ansatz zur Beschreibung der Abflussbildung muss berücksichtigen, dass der Abflussbeiwert (d. h. der Anteil des Ereignisniederschlags, der zum Abfluss kommt) mit zunehmender Ereignisgröße in der Regel zunimmt, da zunehmend mehr Flächen an das Gerinnenetz angeschlossen werden und zum Abfluss beitragen. In ähnlicher Weise hat der Ansatz zur Beschreibung der Abflusskonzentration (d. h. die zeitliche Verzögerung des Abflusses) zu berücksichtigen, dass bei Extremereignissen der Abfluss meist beschleunigt wird, wodurch die Scheitelabflüsse überproportional zunehmen. Rein lineare Modelle, bei denen der Abflussbeiwert bzw. die Reaktionszeit mit der Ereignisgröße gleichbleibt, sind ungeeignet. Je nach Modellstruktur, kann dieses nicht-lineare Verhalten unterschiedlich modelliert werden, z. B. betreffend die Abflusskonzentration durch eine Aufteilung des Effektivniederschlags

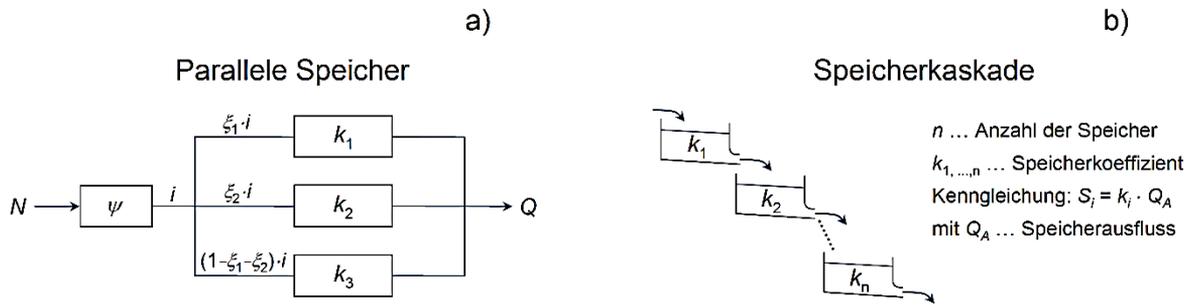
auf mehrere parallele Linearspeicher mittels Gewichte ξ_1 und ξ_2 oder bei einer linearen Speicherkaskade durch Änderung der Parameter n (Speicheranzahl), k (Speicherkoeffizient) mit der Ereignisgröße (Abbildung 5). Die Berechnungen können zum Beispiel mit den in Tabelle 6 angeführten Softwarepaketen durchgeführt werden.

Tabelle 6: Typische Niederschlag-Abflussmodelle zur Bestimmung des BHQ und des SHQ.

Software	HEC-HMS	IHW	KAMPUS	LARSIM	ZEMOKOST
Ereignis vs. kontinuierlich	Ereignis und kontinuierlich	Ereignis	kontinuierlich	Ereignis und kontinuierlich	Ereignis
Räumliche Gliederung	Raster, Einzugsgebiete	Einzugsgebiete	Raster, Einzugsgebiete	Einzugsgebiete	Einzugsgebiete, Teilflächen
Zusätzliche Information zur Unterstützung der Auswahl	Simulation der hydrologischen Prozesse von Einzugsgebieten	Besonders für Ingenieuranwendungen geeignet	Anwendung des Dominant Processes Konzeptes für Parameterbestimmung	Zur Abschätzung von Bemessungsereignissen sowie zur Simulation des Wasserhaushaltes	Vorwiegend für kleine Alpine Gebiete
Verfügbarkeit	Frei verfügbar	Käuflich erwerbbar	Auf Anfrage	Auf Anfrage	Frei verfügbar
Komplexität	Mittel	Gering	Hoch	Hoch	Gering
Nichtlinearität Abflussbildung berücksichtigt	Ja	Nein bei Abflussbeiwert, Ja bei SCS	Ja	Je nach Ansatz	Nein, aber Abflussbeiwert maximiert
Nichtlinearität Abflusskonzentration berücksichtigt	Ja bei kinematischer Welle, Nein bei UH	Nein	Ja	Nein	Nein

Erläuterung: Details siehe ÖWAV Regelblatt 220 (ÖWAV, 2019). Die Nichtlinearität in den beiden letzten Zeilen bezieht sich auf den Übergang von kleinen auf große Ereignisse.

Abbildung 5: Beispiele für die Modellstruktur.



Erläuterung: Effektivniederschlag i ist Abflussbeiwert ψ mal Niederschlag N ($i = \psi \cdot N$).

2.2.1.4.3 Wahl der Modellparameterwerte (Modellkalibrierung)

Die Vorgangsweise unterscheidet sich je nach Datensituationen:

- Modellkalibrierung an Abflussdaten im Gebiet:** Das Modell ist nach Möglichkeit an Abflussdaten großer Hochwässer aus dem zu untersuchenden Gebiet zu kalibrieren. Die Kalibrierung besteht aus einer Variation der Werte der Modellparameter, mit dem Ziel die beobachteten Abflussganglinien großer Hochwässer mit dem Modell genau zu beschreiben. Die **Modellierungsgüte** ist in Hinblick auf die Form der Abflussganglinien (Neigung der Auslauflinie, Zeitpunkt und Größe der Abflussscheitel) vor allem visuell zu beurteilen. Als Startwerte der Kalibrierung sollen hydrologisch basierte Werte gewählt werden und diese im Rahmen plausibler Grenzen variiert werden. Für die Einschätzung der Plausibilität sollen quantitative und qualitative **Zusatzinformationen** aus Feldbegehungen einbezogen werden, z. B. bodenkundliche, hydrogeologische und vegetationskundliche Aufnahmen, Wasserspiegelmarken und eine Beurteilung der Ausuferungsverhältnisse. Zusätzlich sind Informationen über große aufgetretene Ereignisse im Gebiet bzw. der Region zu verwenden. Die Kalibrierung sollte an möglichst vielen (insbesondere großen) Ereignissen erfolgen. Dabei ist der Abflussbeschleunigung beim Übergang von Normal- zu Extremereignissen Rechnung zu tragen (z. B. durch Extrapolation mittels Anpassung von SCS-Kurven; US Soil Conservation Service, 1957) und zu dokumentieren. Für die Abflussbildung hat dies zu erfolgen durch das Auftragen von Abflussbeiwerten ermittelt aus beobachteten Hochwasserwellen als Funktion des Niederschlags, und Vergleich mit den durch das Modell berechneten Abflussbeiwerten. Für die Abflusskonzentration hat dies zu erfolgen durch das Auftragen von Speicherkoeffizienten ermittelt aus den beobachteten Auslauflinien und Vergleich mit den entsprechenden Werten des Modells. Die Wahl der

Parameter für die Bemessungssituation ist zu begründen. Wenn möglich, sollte ein Teil des Datensatzes nicht für die Kalibrierung verwendet, sondern für die Validierung des Modells aufgehoben werden.

- **Keine Abflussdaten im Gebiet, aber in Nachbargebieten – Räumliche Übertragung:** Sind keine lokalen **Abflussdaten** vorhanden, ist das Modell an Abflussdaten aus hydrologisch ähnlichen Gebieten in der Umgebung zu kalibrieren und die Parameter auf das Zielgebiet zu übertragen. Die Vorgangsweise bei der Einschätzung der hydrologischen Ähnlichkeit und bei der räumlichen Übertragung der Parameter entspricht der bei der regionalen Hochwasserstatistik (Kap. 2.2.1.3) und ist entsprechend zu dokumentieren. Die anhand der übertragenen Parameter gewonnenen Ergebnisse sollten gemäß Prozessverständnis und Zusatzinformationen auf Plausibilität überprüft werden. Im Übrigen folgt die Vorgangsweise der Kalibrierung dem Fall bei Vorhandensein von Abflussdaten im Gebiet (siehe oben). Eine überblicksmäßige räumliche Darstellung der kalibrierten und übertragenen Parameter und Bewertung wird empfohlen.
- **Keine Abflussdaten in der Region – A priori Parameter:** Falls keine Abflussdaten vorhanden sind, müssen die Parameter aus a priori Informationen bestimmt werden. Dabei können Standardmethoden (z. B. Zemokost, SCS-Kurvennummern, Pedotransferfunktionen) zum Einsatz kommen, die eine Beziehung von vorhandenen Informationen (z. B. Bodentyp, eingeschätzte Infiltrationseigenschaften) und Modellparameter (z. B. Abflussbeiwert) darstellen. Im Fall ohne Abflussdaten gewinnt die **Feldbegehung** (siehe Kap. 2.2.1.4.1), besonders für kleine Gebiete, noch mehr an Bedeutung für die Bestimmung der Modellparameter und ist dementsprechend umfangreicher durchzuführen.

Für die Kalibrierung des Abflussmodells an beobachteten Ereignissen sind nicht nur Abflussdaten, sondern auch Niederschlagsdaten erforderlich. Dazu wird empfohlen, möglichst viele Bodenstationen heranzuziehen, einschließlich Tageswertstationen, auch wenn die Modellierung etwa für Stundenwerte erfolgt, um die Genauigkeit der räumlichen Interpolation und damit des Gebietsniederschlags zu erhöhen. Für sehr kleine Gebiete (<1 km²) empfiehlt es sich, eine repräsentative Station statt einer räumlichen Interpolation von Stationswerten zu verwenden, da die Interpolation Intensitätsspitzen reduziert.

Für das **vereinfachte detaillierte Verfahren** ist eine Modellkalibrierung nicht unbedingt erforderlich, allerdings sind konservative Annahmen für die Modellparameter zu treffen. Das bedeutet beispielsweise, dass Abflussbeiwerte an der oberen Grenze der bei Extremereignissen möglichen Werte gewählt werden.

2.2.1.4.4 Modellvalidierung und Plausibilisierung

Die Validierung sollte, wenn möglich, anhand von Abflussdaten eines nicht bei der Kalibrierung verwendeten Datenzeitraums durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass das Modell nicht nur die vorhandenen Daten, sondern die tatsächliche hydrologische Situation im Gebiet gut widerspiegelt. Wenn die Validierung eine ähnlich gute Beschreibung der Hochwasserganglinien ergibt wie die Kalibrierung, ist das Modell für den Bemessungsfall einsatzbereit. Ist das nicht der Fall, sollen die Daten nochmals geprüft werden, die Modellparameter und die Modellstruktur in Hinblick auf mögliche Fehlfunktionen analysiert werden, um die Unterschiede zwischen Kalibrierung und Validierung zu erklären. Falls es Hinweise auf strukturelle Fehlfunktionen des Modells gibt, ist die Adaptierung des Modells bzw. Verwendung eines anderen Modells zu empfehlen. Ansonsten verbleibt dadurch eine größere Restunsicherheit, die durch konservativere Annahmen der Modellparameter zu berücksichtigen ist.

Eine derartige Validierung ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn eine ausreichende Datenbasis (d. h. zumindest ein großes Ereignis) für die Kalibrierung übrig bleibt. Anderenfalls sind die Abflussdaten ausschließlich für die Kalibrierung zu verwenden und die Plausibilisierung des Modells konzentriert sich auf andere hydrologische Informationen, z. B. das Auftreten von Sättigungsflächen und Oberflächenabfluss, Erosionsspuren, Wasserspiegelanschlagslinien, Wasserspiegel von Speicherseen, Hinweise Ortsansässiger, die Auswertung von Chroniken und geomorphologische Indikatoren.

Für das **vereinfachte detaillierte Verfahren** ist eine Modellvalidierung nicht unbedingt erforderlich.

2.2.1.4.5 Bemessungsniederschlag

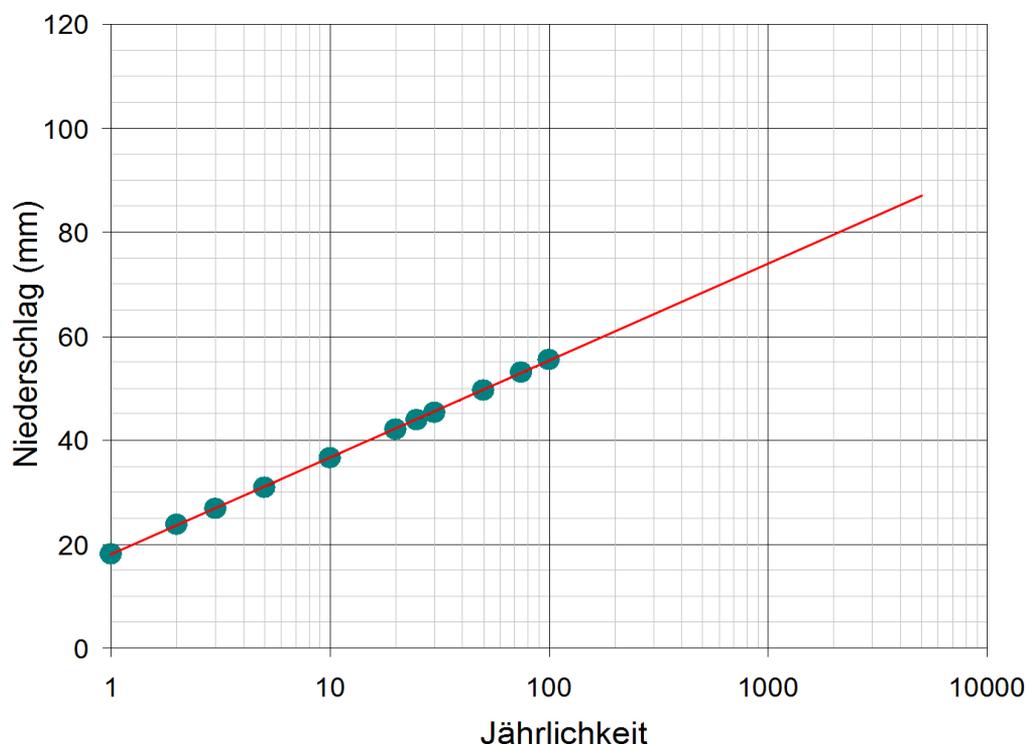
- **Größe des Niederschlags:** Der Wahl des Bemessungsniederschlags kommt große Bedeutung zu, da er über die Größe des BHQ entscheidet. Die Wahrscheinlichkeit des Niederschlags wird mit $P_{\bar{u}} = 2 \cdot 10^{-4}$ (entsprechend einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren) angesetzt. Für den Regelfall wird die Verwendung von „Bemessungsniederschlag – gewichteter Wert“ empfohlen, wie in eHYD (eHYD.gv.at, Karte Bemessungsniederschlag 2020, siehe auch Weilguni, 2020) zur Verfügung gestellt. Auf dieser Seite sind für ein Gitternetz in Österreich Niederschläge mit einer bestimmten Dauerstufe (5 Minuten bis 6 Tage) und einer bestimmten Jährlichkeit (1 Jahr bis 100 Jahre) angegeben. Für die Zwecke dieses Leitfadens kann der dem Einzugsgebietsschwerpunkt

nächste Gitterpunkt herangezogen werden, oder zwischen den nächsten Gitterpunkten interpoliert werden. Die Umrechnung von einer Jährlichkeit $T=100$ Jahre auf $T=5.000$ Jahre erfolgt durch Anpassung einer Geraden (mit Parametern μ und ν) an die Niederschläge N einer bestimmten Dauerstufe in halblogarithmischer Darstellung, d. h.

$$N = \mu + \nu \cdot \ln(T) \quad (\text{Gl. 2.2.3})$$

und Extrapolation auf $T = 5.000$ Jahre. Beispielsweise ergibt für den Gitterpunkt 2764 (Wien) und eine Dauerstufe von $D = 60$ Minuten der „Bemessungsniederschlag – gewichteter Wert“ (jeweils der mittlere in der eHYD Tabelle angeführte Wert) eine Extrapolation von $T = 100$ Jahre, $N = 55,4$ mm auf $T = 5.000$ Jahre, $N = 86,7$ mm (Abbildung 6). Alternativ können von den Hydrographischen Dienststellen des Bundes und der Länder aktuell bekanntgegebene Werte des 5.000-jährlichen Niederschlags für unterschiedliche Dauerstufen verwendet werden.

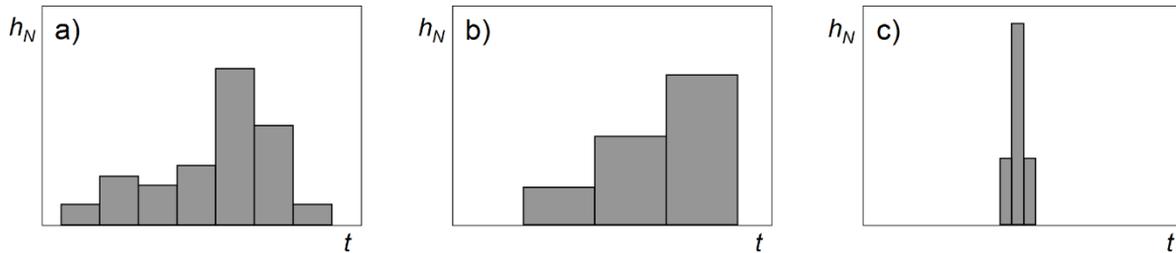
Abbildung 6: Beispiel für die Extrapolation des eHYD Bemessungsniederschlags (grüne Punkte) auf eine Jährlichkeit $T = 5.000$. Gitterpunkt 2764 (Wien), Dauerstufe 60 min.



Zusätzlich wird die Auswertung von Niederschlagsaufzeichnungen im Einzugsgebiet empfohlen, um die lokalen Niederschlagsverhältnisse besser einschätzen zu können. In begründeten Fällen kann der Niederschlag im Vergleich zu eHYD erhöht bzw. reduziert werden, um den Einfluss von Schneeschmelze bzw. Schneefall oder um die Saisonalität der Niederschläge (meist größere Niederschläge im Sommer als im Winter) zu berücksichtigen. Ergänzend dazu kann die maßgebende meteorologische Situation für das Auftreten von extremen Niederschlägen im Gebiet definiert werden (z. B. kurze lokale Starkregen bei konvektiven Ereignissen bzw. lange zyklonal- bzw. frontengebundenen Niederschläge), ausgehend von einer Analyse aufgetretener Starkniederschläge und der damit verbundenen Wetterlage und Strömungsrichtung. Die so ermittelte Bandbreite der Niederschläge kann auch für die Sensitivitätsuntersuchungen (siehe Kap. 2.2.1.4.6) herangezogen werden.

- **Zeitliche Verteilung des Bemessungsniederschlags:** Es wird empfohlen, die zeitliche Verteilung aus beobachteten Ereignissen abzuleiten unterstützt durch mehrere synthetische Verteilungen des Niederschlags, um damit den Einfluss auf die berechneten Abflüsse zu bewerten. Dafür können außerordentliche, in der Umgebung der Stauanlage beobachtete, Niederschlagsereignisse affin verzerrt werden (Abbildung 7 a), wodurch die zeitliche und räumliche Struktur der Ereignisse erhalten bleibt. Der Vorteil dieser Wahl liegt darin, dass die meteorologischen Verhältnisse in der Region implizit enthalten sind. Für die verschiedenen zeitlichen Verteilungen sind Sensitivitätsanalysen durchzuführen und die Auswirkung auf den Hochwasserabfluss zu bewerten. Dies dient zur Einschätzung der Unsicherheiten (siehe Diskussion der Unsicherheiten in Kap. 2.2.1.6) sowie zur Unterstützung der Berechnung des SHQ (siehe Kap. 2.2.2). Synthetische Niederschlagsganglinien sollten einen endbetonten Regen (Abbildung 7 b) und einen dreiecksförmigen Regen (Abbildung 7 c) umfassen, entsprechend dem Konzept der Modellregen nach DVWK (z. B. Taschenbuch der Wasserwirtschaft (Lecher et al., 2001; S.356, Bild 7.23)).

Abbildung 7: Beispiele für die zeitliche Verteilung des Bemessungsniederschlags. h_N ist die Niederschlagsintensität.



Für alle Niederschlagsfälle sind Ereignisse unterschiedlicher Dauer D zu wählen, unter Bedachtnahme auf die bei einem Extremereignis im betrachteten Einzugsgebiet zu erwartende meteorologische Situation. Wie in Kap. 2.2.1.4.6 näher ausgeführt, sind die Modellrechnungen mit diesen Ereignissen unterschiedlicher Dauer durchzuführen und die ungünstigste Dauer (z. B. die Dauer, die den größten Wasserspiegel im Speicher erzeugt) als maßgebend zu wählen.

Der Nachweis für Doppelereignisse ist im Lastfall BHQ nicht vorgesehen. Im Lastfall SHQ sind bei Hochwasserrückhaltebecken Doppelereignisse nachzuweisen (siehe Kap. 2.2.2).

- **Flächenabminderung des Bemessungsniederschlags:** Für den Regelfall wird die Verwendung der sanften modifizierten räumlichen Abminderung des Niederschlags empfohlen (siehe ÖWAV, 2019):

$$N_G = N_P \cdot ARF; \quad ARF = e^{-\kappa \cdot A^{0,435}}; \quad \kappa = 0,41 \cdot D^{-0,43} \quad (\text{Gl. 2.2.4})$$

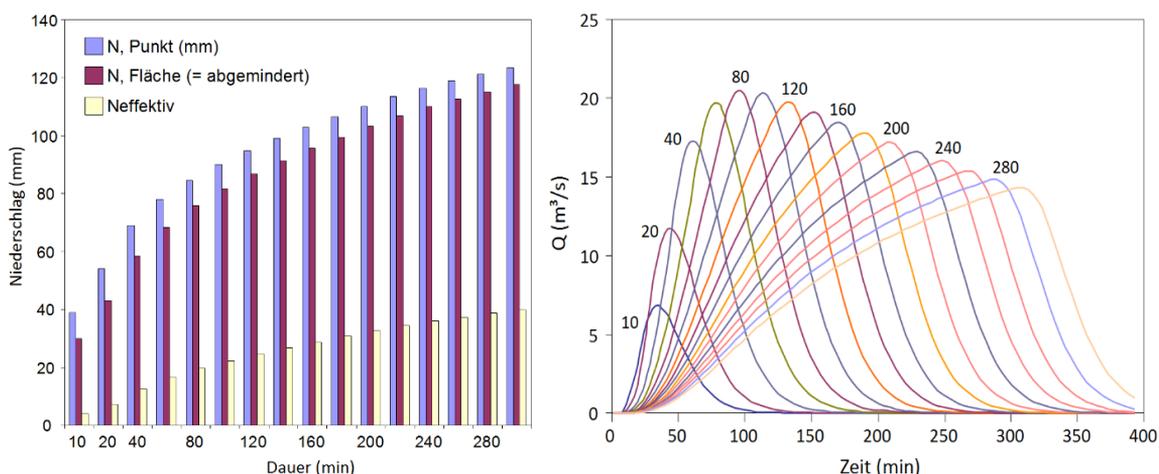
wobei N_G der Gebietsniederschlag (mm), N_P der Punktniederschlag (in der Regel entsprechend eHYD), ARF der Flächenabminderungsfaktor, A die Einzugsgebietsfläche (km^2) und D die Dauerstufe (min) sind. Wenn ein Einzugsgebiet beispielsweise die folgenden Kenngrößen hat: $A = 50 \text{ km}^2$, $D = 60 \text{ min}$, $N_{5000} = 86,7 \text{ mm}$ ergibt sich ARF zu 0,68 und der Gebietsniederschlag zu $N_G = 58,9 \text{ mm}$. Wenn durch Niederschlagsanalysen (z. B. in Form einer Isohyeten-Darstellung beobachteter Niederschlagsereignisse) begründet, kann eine abweichende Abminderung oder eine räumlich differenzierte Verteilung des Niederschlags Anwendung finden.

2.2.1.4.6 Modellanwendung (einschließlich Sensitivitätsanalyse)

Für die Simulation der Bemessungsereignisse sind der Bemessungsniederschlag, die zeitliche Verteilung des Niederschlags, die Flächenabminderung und die Modellparameter nicht isoliert zu wählen, sondern so, dass sie in ihrer **Kombination** den maßgebenden Niederschlag – Abfluss Prozess plausibel abbilden, damit der Anspruch der ermittelnden Wahrscheinlichkeit $P_{\ddot{u}} = 0,0002$ für den Scheitelabfluss erfüllt wird. Das bedeutet, dass in den meisten Anwendungsfällen die angesetzten hydrologischen Verhältnisse extremer sind als die der in der Vergangenheit beobachteten Ereignisse.

Das BHQ kann von Niederschlägen unterschiedlicher **Dauer** hervorgerufen werden. Für die Berechnung mittels Ereignismodellen sind deshalb unterschiedliche Dauerstufen heranzuziehen, die eine Schar von Hochwasserwellen ergeben (Abbildung 8). Die Schar von Hochwasserwellen entspricht dem Zufluss in das Speicherbecken aus seinem Einzugsgebiet. Diese Hochwasserwellen sind einer Seeretentionsberechnung zu unterziehen unter Berücksichtigung der Beckeninhaltslinie, der Charakteristika der Hochwasserentlastung, des Grundablasses, etwaiger Zuflüsse aus Beileitungen und sämtlicher anderer Randbedingungen wie in Kapitel 3 für das BHQ definiert. Aus der Seeretentionsberechnung ergeben sich Ganglinien des Wasserstandes im Speichersee. Der maximale Wasserstand der Ganglinien zufolge unterschiedlicher Niederschlagsdauern ist als maßgebend für den Nachweis gemäß Kapitel 3 anzusehen.

Abbildung 8: Bemessungsereignisse für den Dürnbergbach, Waldviertel. Einzugsgebietsfläche 4,5 km². Linke Abb.: N_{100} : gewählter Ereignisniederschlag für unterschiedliche Starkregendauer. Rechte Abb.: Bemessungsganglinien für jede Niederschlagsdauer (min).



Quelle: ÖWAV (2019).

Zudem sind **Sensitivitätsstudien** durchzuführen. Dabei erfolgt eine plausible Variation des Bemessungsniederschlags (Größe und zeitliche Verteilung, eventuell räumliche Verteilung), Modellparameter und anderer Randbedingungen (z. B. Anfangsbodenfeuchte, Schnee). Bezüglich des Bemessungsniederschlags können eine Erhöhung des eHYD Niederschlags um einen plausiblen Wert, Kombinationen von verschiedenen Stationsniederschlägen sowie synthetische Regenganglinien herangezogen werden. Bezüglich der Modellparameter (z. B. Abflussbeiwert, Speicherkoeffizient) kann beispielsweise der Abflussbeiwert – wenn nach dem SCS-Verfahren bestimmt – auf die Bodenfeuchteklassen II oder III bezogen werden, um den Einfluss der Vorbefeuchtung deutlich zu machen.

Die Variationsbreite der Annahmen der Sensitivitätsstudie ist von der Datenlage abhängig zu machen. Je schlechter die Datenlage, desto breiter ist das zu berücksichtigende Spektrum bei der Sensitivitätsanalyse. Die Variationsbreite ist in Hinblick auf die Datenlage zu begründen.

Die Sensitivitätsstudien machen den Einfluss der verschiedenen Annahmen sichtbar. Daraus kann ein plausibler Wertebereich abgeleitet werden, der den Unschärfbereich der Schätzung des Bemessungshochwasserwertes wiedergibt.

Bei zusätzlicher Berücksichtigung größerer Niederschlagshöhen und verschärfter Abflussmodellparameter kann das Sicherheitshochwasser (siehe Kapitel 2.2.2) bestimmt werden.

2.2.1.5 GRADEX-Verfahren

Der Leitfaden sieht auch die Anwendung des Gradex-Verfahrens vor, das eine Niederschlagstatistik und eine Hochwasserstatistik mittels einer Niederschlag-Abflussbeziehung kombiniert und auf große Jährlichkeiten extrapoliert (Duband et al., 1994; Merz et al., 1999). Demgemäß ist es vor allem dann nutzbringend, wenn die Niederschlagsreihen deutlich länger als die Abflussreihen sind. Folgende Daten bzw. Parameter sind dazu erforderlich (Tabelle 7):

- Eine Jahresreihe beobachteter Hochwasserscheitel für das Gebiet;
- Eine Jahresreihe beobachteter maximaler jährlicher Niederschläge der Dauer H für eine für das Gebiet repräsentative Station;
- Flächenabminderungsfaktor ARF für den Niederschlag;
- Ein die zeitliche Dynamik der Gebietsreaktion und die zeitliche Dynamik hochwasser-auslösender Niederschläge beschreibender Parameter r . Gebiete mit einer schnellen

Abflussreaktion (d. h. kleinen Konzentrationszeit) haben eine schlanke Welle mit einem verhältnismäßig großen Scheitel und somit große r -Werte,

- Jährlichkeit T_g , ab der Sättigung des Gebietes angenommen werden kann.

Die Bezugsdauer H ist womöglich in der gleichen Größenordnung wie die Konzentrationszeit des Gebietes zu wählen. Näherungsweise kann eine Bezugsdauer von $H = 24$ Stunden angesetzt werden, um Reihen maximaler Tagesniederschläge verwenden zu können, doch vermindert in diesem Fall eine Konzentrationszeit wesentlich kürzer als 24 Stunden die Aussagekraft des Verfahrens. Der Flächenabminderungsfaktor ARF für den Niederschlag ergibt sich aus Gl. 2.2.4 bzw. aus der Auswertung hochwasserauslösender Niederschlagsfelder für die Region entsprechend dem Wert bei der Niederschlag-Abflussmodellierung.

Der Parameter r ist durch Auswertung beobachteter Abflusswellen des Untersuchungsgebietes zu bestimmen, und zwar als Verhältnis zwischen dem Scheitelabfluss Q_s und dem mittleren Abfluss Q_m über die Dauer H (Abbildung 9),

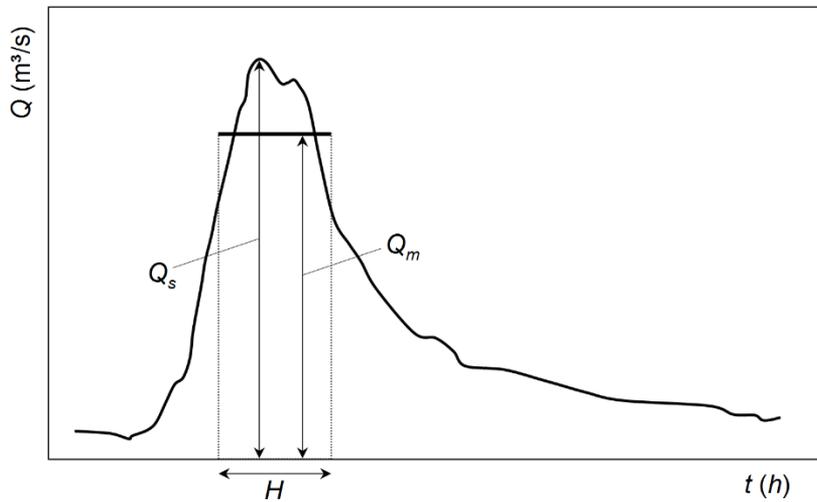
$$r = \frac{Q_s}{Q_m} \quad (\text{Gl. 2.2.5})$$

wobei er besonders auf große Ereignisse abzustimmen ist, da die r Werte wegen der raschen Abflussreaktion tendenziell mit der Größe des Ereignisses zunehmen (siehe z. B. Merz et al. 1999). Sind im Zielgebiet keine Abflussdaten vorhanden, ist auf Abflussdaten in ähnlichen Nachbargebieten zurückzugreifen, wobei die Unterschiede in der Einzugsgebietsfläche zu berücksichtigen sind. Typischerweise wird in Österreich der r -Wert mit abnehmender Einzugsgebietsfläche größer, etwa entsprechend der folgenden Form

$$r = \gamma \cdot A^{-\delta} \quad (\text{Gl. 2.2.6})$$

wobei δ einen Wert von etwa 0,65 besitzt.

Abbildung 9: Berechnung des r -Wertes als Verhältnis von Scheiteldurchfluß Q_s zu mittlerem Abfluss Q_m . H ist das Bezugszeitintervall.



Die Jährlichkeit T_g ist auf Basis einer hydrologischen Einschätzung des Gebietes zu wählen. In Gebieten, in denen Sättigung auch bei extremen Ereignissen nicht erreicht wird (etwa im Osten Österreichs), sind große Werte von T_g anzunehmen (z. B. $T_g > 100$ Jahre), während für Gebiete, bei denen zumindest teilweise Sättigung schon bei kleineren Ereignissen eintritt (etwa in den niederschlagsreichen Gebieten Österreichs) T_g kleiner zu wählen ist (z. B. $10 < T_g < 100$ Jahre).

Zu einfacheren Anwendung steht auf der Website des zuständigen Bundesministeriums ein Excel Makro zu Verfügung mit dessen Hilfe das Gradex Verfahren angewendet werden kann. Eingangsdaten und Parameter sind in die Excel Tabellen zu kopieren (siehe Anhang D).

Tabelle 7: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung des Gradex Verfahrens.

Datenbasis	Informationsgehalt
Reihenlänge	Eine HQ-Reihenlänge von 10 Jahren im Gebiet
Niederschlagsdaten	Lange Niederschlagsreihen (womöglich 100 Jahre) mit zeitlicher Auflösung ungefähr gleich der Konzentrationszeit des Gebiets, wobei auch $24 \text{ h} > \text{Konzentrationszeit}$ eine gewisse Aussagekraft besitzen
r -Wert	Womöglich aus beobachteten Abflussdaten großer Hochwasserereignisse im Gebiet
T_g	Durch Einschätzung der hydrologischen Situation

2.2.1.6 Vergleich der Ergebnisse und Festlegung des Bemessungshochwassers

Die Ermittlung des gesuchten Hochwasserabflusses BHQ ist durch eine Kombination der Ergebnisse der vier Methoden durchzuführen, um die Unsicherheiten möglichst zu reduzieren. Dabei ist den zuverlässigeren Informationen mehr **Gewicht** zu geben als den weniger zuverlässigen. In Gebieten mit langen Hochwasserreihen ist die Hochwasserstatistik in der Regel mit kleineren Unsicherheiten verbunden als die Niederschlag-Abflussmodellierung. In diesem Fall ist der ersteren ein größeres Gewicht zu geben. In kleinen Gebieten oder in Gebieten, die durch wasserbauliche Maßnahmen stark verändert sind, kann die Niederschlag-Abflussmodellierung mehr Gewicht erhalten. In relativ homogenen Regionen mit vielen Pegeln ist die regionale Hochwasserstatistik oft sehr aussagekräftig und kann deshalb mehr Gewicht erhalten. Lange Niederschlagsreihen verbunden mit kürzeren Abflussreihen können der Gradex Methode viel Aussagekraft verleihen.

Das wesentlichste Kriterium für die Einschätzung der Zuverlässigkeit der Einzelergebnisse nach den vier Methoden ist demnach die jeweilige Datenlage. Dies betrifft den Umfang der vorhandenen und vergleichbaren Abflussdaten, die Qualität der Abflussmessungen (besonders der größten beobachteten Hochwässer) und der Niederschläge. Zusätzlich liefern die vier Methoden auch direkt eine Aussage über ihrer Zuverlässigkeit bzw. Unsicherheit:

- bei der lokalen Hochwasserstatistik der Vergleich unterschiedlicher Verteilungen (mit verschiedenen Parameterschätzmethode) bzw. deren Vertrauensbereiche,
- bei der regionalen Hochwasserstatistik zusätzlich die räumliche Ähnlichkeit der Gebiete und die räumliche Konsistenz der Hochwasserwerte,
- bei der Niederschlag-Abflussmodellierung die Methode der Bestimmung der Modellparameter (Kalibrierung aus lokalen Abflussmessungen großer Ereignisse oder nicht), die Modellvalidierung, die Zuverlässigkeit der verwendeten Niederschläge sowie die Sensitivitätsstudien,
- bei der Gradex Methode der Umfang der Niederschlags- und Hochwasserreihen sowie die Übereinstimmung der zeitlichen Auflösung der Niederschlagsdaten mit der Konzentrationszeit.

Diese quantitativen Kriterien sollten durch qualitative Informationen unterstützt werden, insbesondere durch eine vergleichende Betrachtung der Gebiete. Die Feldbegehung kann beispielsweise zeigen, dass im Untersuchungsgebiet mehr Erosionsspuren zu sehen sind als im Nachbargebiet, in dem ein Pegel vorhanden ist. Die Erosionsspuren deuten auf raschere Abflussprozesse und damit größere Hochwasserscheitel hin, weshalb ein größeres HQ_{5000}

plausibel ist. In ähnlicher Weise sollen große Hochwässer (einschließlich historischer Hochwässer) mit der Situation in Nachbargebieten verglichen und unterschiedliche Zeiträume der Hochwasserreihen eingeordnet werden. Der Vergleich ermöglicht also eine Wertung, wodurch sich aus den qualitativen Aussagen quantitative Relationen ableiten lassen.

Zur Beurteilung und zur Überprüfbarkeit der Berechnungsergebnisse sind alle Werte (einschließlich der Werte aus der Sensitivitätsanalyse) in ein **Hochwasserspendendiagramm** einzutragen. Zum Vergleich können Hüllkurven aus eigenen Erhebungen oder aus der Literatur (z. B. Wundt, 1965; Vischer, 1980; Klein et al., 2006) und historische Hochwässer eingetragen werden.

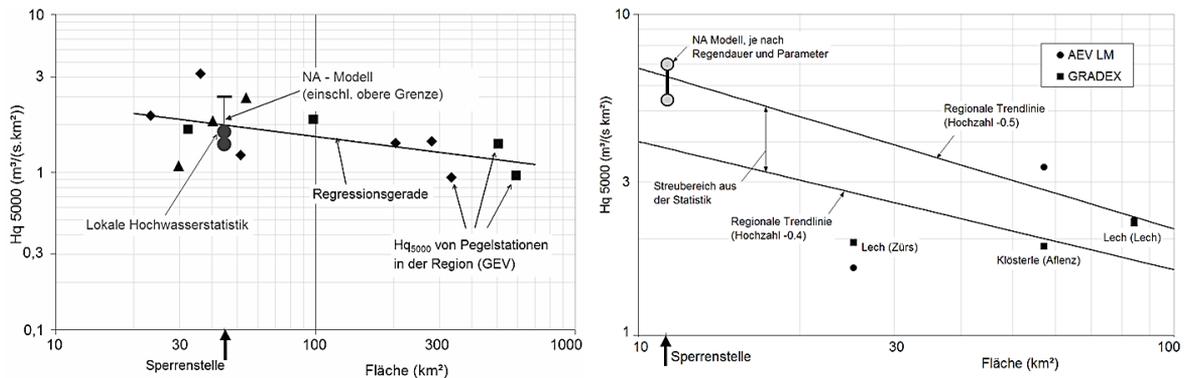
Je nach Situation können die Informationsquellen **konsistent** sein, d. h., das Ergebnisspektrum ist schmal und die Gesamtunsicherheit ist eher klein. Sind die Schätzwerte jedoch inkonsistent, d. h., es gibt keinen eindeutigen Bereich, in dem sich die Ergebnisse der Methoden überlagern, ist die Gesamtunsicherheit groß. Grund hierfür können schlechte Datenlage, Datenfehler oder nicht erfasste Aspekte sein. In diesen Fall sollten die verwendeten Daten und Methoden überprüft werden, um die Ursachen der Inkonsistenz zu erkennen. Lässt sich die Inkonsistenz nicht beheben, ist mit einem größeren Unsicherheitsbereich zu rechnen.

Der plausibelste Bemessungswert ist unter Abwägen der Unsicherheiten der Ergebnisse der einzelnen Verfahren zu wählen und detailliert hydrologisch zu begründen. Bei schlechter Datenlage bzw. Inkonsistenz der Ergebnisse der vier Verfahren sind die plausibelsten Werte innerhalb des Ergebnisspektrums **höher anzusetzen** als bei guter Datenlage bzw. Konsistenz der Ergebnisse. Die Beurteilung wird von Expertenwissen wesentlich geleitet. Abbildung 10 zeigt zwei Beispiele der Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl des plausibelsten Wertes (Gutknecht et al., 2006). Weitere Beispiele zur Kombination von verschiedenen Verfahren finden sich bei Merz et al. (2008a und 2008b) sowie in DWA (2012).

Dieser Abschnitt gilt für das (normale) detaillierte Verfahren und sinngemäß auch für das **vereinfachte detaillierte Verfahren**. Allerdings sind im letzteren Fall nur die Anwendung der Niederschlag-Abflussmodellierung mit vereinfachten Modellansätzen und mit konservativen Annahmen für die Modellparameter (siehe Kap. 2.2.1.4), sowie die Überprüfung des Ergebnisses anhand von regionalen Hochwasserwerten wie von den Hydrographischen Diensten bekanntgegeben bzw. auf Basis von HORA 3.0 vorgesehen. Qualitative Informationen (etwa aus Feldbegehungen) sind auch beim vereinfachten detaillierten Verfahren zu

berücksichtigen, und die Wahl des plausibelsten Wertes innerhalb des Ergebnisspektrums ist zu begründen.

Abbildung 10: Vergleich der Ergebnisse nach den verschiedenen Methoden für zwei Stauanlagen.



2.2.2 Sicherheitshochwasser SHQ

Das **Sicherheitshochwasser** dient der Überprüfung der Sicherheit der Stauanlage bei Überlastung. Dementsprechend handelt es sich um ein Hochwasserereignis, das die Größe des Bemessungshochwassers deutlich überschreitet. Diesem Ereignis wird keine Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Das Sicherheitshochwasser wird auf Basis der Sensitivitätsstudien im Rahmen der Niederschlag-Abflussimulationen festgelegt. Durch eine Kombination von ungünstigen – aber dennoch plausiblen – Bedingungen hinsichtlich des Niederschlags und der Modellparameter wird ein oberer Grenzwert des Bemessungshochwassers abgeschätzt. Diese Kombinationen sollen ungünstiger sein als die für das BHQ angesetzten Bedingungen und berücksichtigen auch explizit den Einfluss des zukünftigen Klimawandels.

Derartige Kombinationen sind in Tabelle 8 angeführt. In einer Kombination wird der gleiche Bemessungsniederschlag wie für die Ermittlung des BHQ verwendet, gleichzeitig werden jedoch die Modellparameter des Abflussmodells maximiert. Bei der Abflussbildung wird der Abflussbeiwert gleich 1 gesetzt (d. h. der gesamte Niederschlag trägt zum Abfluss bei), wodurch Scheitel und Volumen der Bemessungswelle erhöht werden. Bei der Abflusskonzentration werden die Reaktionszeiten des Gebietes verkürzt (z. B. Berücksichtigung der Abflussverschärfung durch eine zusätzliche, noch nicht beobachtete, sehr rasch reagierende Kaskade), wodurch der Scheitel erhöht wird, sich das Volumen aber nur wenig ändert. Ein anderer zu untersuchender Fall ist die Erhöhung des Bemessungsniederschlags, wobei

z. B. die MaxMod Niederschläge statt der Gewichteten Bemessungsniederschläge (mittlere Werte) nach eHYD verwendet werden, dabei die Modellparameter aber wie beim BHQ angesetzt werden. Zudem soll ein kürzerer, extremerer Starkniederschlag (z. B. 40–50 mm/h) in die Ganglinie des Bemessungsniederschlags eingebettet werden, wahlweise mit Annahme eines zusätzlichen Vorregens. Ein Abweichen von diesen Kombinationen ist nur in Ausnahmefällen zulässig und zu begründen.

Bei der Bestimmung des SHQ ist auch der Einfluss des Klimawandels durch Szenarien zu berücksichtigen. Auswertungen von Niederschlagsmessungen in Österreich zeigen, dass über den Zeitraum der letzten 20 Jahre die extremen Tagesniederschläge im Mittel über Österreich um ca. 6 % zugenommen haben (relevant für größere Einzugsgebiete, für die Tagesniederschläge maßgebend sind), die extremen Stundenniederschläge um ca. 12 % (relevant für kleine Einzugsgebiete, für die Stundenniederschläge maßgebend sind). Dies ist in Einklang mit anderen europäischen Studien (Marani and Zanetti, 2015; Blöschl et al., 2018; Fowler et al., 2021). Eine ähnliche Zunahme ist gemäß Klimaprojektionen auch für die nächsten Jahrzehnte zu erwarten (Chimani et al., 2016). Bei der Wahl der Szenarien laut Tabelle 8 sind die Szenarien (z.B. Szenarien SHQ^S) so zu wählen, dass diese klimabedingten Veränderungen jedenfalls abgedeckt sind. Im Falle von Hochwasserrückhaltebecken ohne **Dauerstau** (siehe Kapitel 3.8.1) ist auch das Auftreten von **Doppelereignissen** zu untersuchen.

Folgende Szenarien sind zu untersuchen:

- Zuflusswelle mit hydrologischen SHQ Annahmen wie bei anderen Stauanlagen (allerdings leer bzw. mit Teilstau),
- Zuflusswelle mit hydrologischen BHQ Annahmen, bei dem ein Vollstau bei Eintreffen der Hochwasserwelle anzunehmen ist.

Generell ist das maßgebende SHQ Ereignis ein solches, das sich aus einer Kombination ungünstiger, aber plausibler Faktoren ergibt. Eine gleichzeitige Maximierung aller Kenngrößen (Niederschlag und Modellparameter) ist nicht vorgesehen, da es sich dabei um eine wenig plausible Kombination handelt. Das SHQ muss auch nicht notwendigerweise das größte der bei der Sensitivitätsanalyse betrachteten Ereignisse sein. Die Bedeutung etwaiger größerer Szenarien als das SHQ bei der Sensitivitätsanalyse liegt im Einordnen der möglichen Kombinationen und dem Sichtbarmachen der plausiblen Schwankungsbreiten. Wenn etwa eine bestimmte Kombination weit größere Hochwasserwerte als andere Kombinationen ergibt,

ist der Grund für diese großen Werte zu untersuchen und, wenn erforderlich, zu berücksichtigen. Wenn hingegen die verschiedenen Kombinationen ähnliche Werte ergeben, kann mit größerer Bestimmtheit das SHQ nach oben hin abgeschätzt werden. Dies bedeutet, dass die Auswahl ein plausibles Maximum ist, das kleiner sein kann als das absolute Maximum aller untersuchten Szenarien.

Die Festlegung des Sicherheitshochwassers erfolgt unter Berücksichtigung der Ergebnisse der (regionalen) Hochwasserstatistik und Gradex für das HQ_{5000} (siehe Kap. 2.2.1.3), sinnvoller Weise mittels Spendendiagramm. Dadurch kann eine Aussage getroffen werden, wie sich der ausgewiesene Wert in das regionale Gesamtbild einfügt. Nach einer regionalen Einschätzung der plausiblen Hochwasserentstehungsbedingungen ist eine Entscheidung über den Wert des SHQ zu treffen und mit Begründung zu dokumentieren.

Das Kapitel 2.2.2 gilt für das (normale) detaillierte Verfahren und auch für das **vereinfachte detaillierte Verfahren**, analog der Bestimmung des BHQ (Kap. 2.2.1). Das bedeutet, dass beim vereinfachten detaillierten Verfahren das SHQ nicht als fixes Vielfaches des BHQ, sondern durch eine Sensitivitätsanalyse gemäß Tabelle 8 zu berechnen ist.

Tabelle 8: Kombinationen des Bemessungsniederschlags bzw. der Modellparameter für die Ermittlung des Sicherheitshochwassers.

Szenario	Niederschlag	Modellparameter	Kommentar
BHQ	Gewichteter Bemessungsniederschlag (mittlere Werte) nach eHYD, $T=5.000$	Abflussbeiwert größer als bei einem beobachteten HQ_{100} , aber kleiner als 1	Jährlichkeit des HQ -Scheitels soll 5000 ergeben
SHQ	Gewichteter Bemessungsniederschlag (mittlere Werte) nach eHYD, $T=5000$	Maximierung des Abflussbeiwertes $\psi=1,0$, bzw. Maximierung der Vorbefeuchtung (Sättigung des Bodens vor Ereignisbeginn)	HQ -Scheitel und Volumen größer als bei BHQ
SHQ	Gewichteter Bemessungsniederschlag (mittlere Werte) nach eHYD, $T=5.000$	Schnellere Abflussreaktion, Halbierung der Reaktionszeit	HQ -Scheitel größer als bei BHQ, Volumen ähnlich
SHQ[§]	MaxMod Niederschlag nach eHYD, $T=5.000$ (größer als die mittleren Werte)	Abflussbeiwert größer als bei einem beobachteten HQ_{100} , aber kleiner als 1 (ähnlich wie bei BHQ)	HQ -Scheitel und Volumen größer als bei BHQ
SHQ[§]	Gewichteter Bemessungsniederschlag (mittlere Werte) nach eHYD, $T=5.000$, zusätzlich extremer kurzer Starkniederschlag eingebettet	Abflussbeiwert größer als bei einem beobachteten HQ_{100} , aber kleiner als 1 (ähnlich wie bei BHQ)	HQ -Scheitel größer als bei BHQ
SHQ für DE^{§§}	Gewichteter Bemessungsniederschlag (mittlere Werte) nach eHYD, $T=5.000$	Abflussbeiwert wie bei BHQ (erste Zeile), aber Annahme von Vollstau des Beckens bei Eintreffen der Hochwasserwelle	Nachweis für die zweite Welle eines Doppelereignisses

Erläuterungen:

[§] Mögliche Klimawandelszenarien.

^{§§} Die letzte Zeile bezieht sich auf Doppelereignisse (DE), die im Falle von Hochwasserrückhaltebecken ohne Dauerstau zu untersuchen sind.

3 Wasserbaulicher Teil

3.1 Definition der maßgebenden Speicherkoten

Die für den Hochwassersicherheitsnachweis maßgebenden Speicherkoten werden im Folgenden beschrieben und in entsprechenden Skizzen dargestellt.

3.1.1 Stauziel

Das Stauziel ist die im Regelbetrieb bewilligungsgemäß festgelegte maximale Wasserspiegelhöhe.

3.1.2 Überstaukote

Überstau ist ein zeitlich begrenzter höherer Wasserspiegel über Stauziel. Die Überstaukote gibt die zeitlich begrenzte maximale Wasserspiegelhöhe an, die für die Abfuhr des BHQ bzw. SHQ erforderlich ist.

3.1.3 Wellenfreibord

Der Wellenfreibord ist ein für die Nachweisführung erforderlicher Zuschlag zur Überstaukote bei BHQ bzw. SHQ zur Abdeckung der Auswirkung des Windes auf den Wasserspiegel beim Auftreffen auf das Absperrbauwerk.

3.1.4 Zuschläge für Abdeckung gesondert identifizierter Risiken

Weitere für die Nachweisführung erforderliche Zuschläge zur Überstaukote bei BHQ bzw. SHQ dienen zur Abdeckung gesondert identifizierter Risiken (z. B. Impulswellen aufgrund von Hangrutschungen oder Lawineneinstößen in den Stausee). Dieser Zuschlag kann entfallen, wenn in der Zeit von Lawinengefahr eine entsprechende Stauspiegelabsenkung in der Betriebsordnung festgehalten ist.

3.1.5 Sicherheitskote

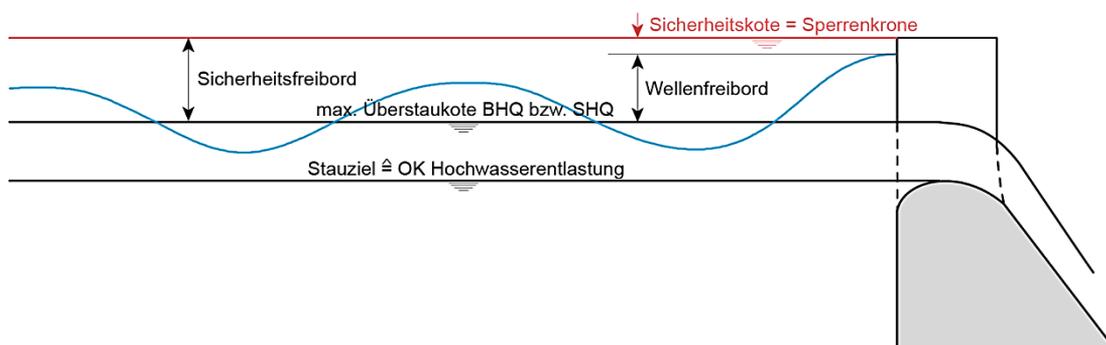
Die Sicherheitskote ist eine bauwerksspezifische Kote, die durch Überstau zuzüglich Wellenfreibord und allenfalls Zuschlag zur Abdeckung gesondert identifizierter Risiken nicht überschritten werden darf.

3.1.5.1 Sicherheitskote bei Staumauern

Für die Sicherheitskote ist bei **Neuanlagen** die tiefste Oberkante der Sperrenkrone bzw. die tiefste Oberkante einer dicht angeschlossenen, statisch tragfähigen Brüstung anzusetzen (Abbildung 11).

Bei **Altanlagen** darf die Sicherheitskote über der Sperrenkrone bzw. über der Oberkante einer dicht angeschlossenen, statisch tragfähigen Brüstung angesetzt werden, wenn dieser Ausnahmefall auf Basis einer Einzelfallbeurteilung aus statischer und geologischer Sicht zulässig ist. In diesem Fall ist jedoch nur das zeitweise Überschwappen von Wellen infolge Windes zulässig, die Überstaukote muss unterhalb der tiefsten Oberkante Sperrenkrone bzw. der dicht angeschlossenen, statisch tragfähigen Brüstung liegen. Die aktuellen Höhenkoten der Stauanlage sind nachzuweisen (unter Berücksichtigung eventueller Setzungen).

Abbildung 11: Definitionsskizze für die Sicherheitskote für Staumauern (Neuanlagen).



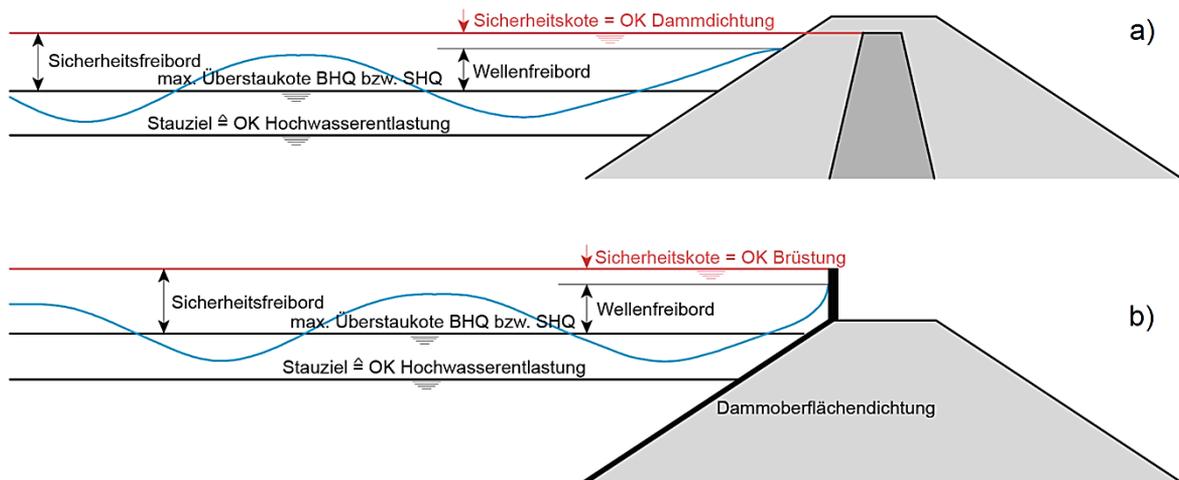
3.1.5.2 Sicherheitskote bei Staudämmen

Für die Sicherheitskote ist bei **Neuanlagen** die tiefste Oberkante der Dammdichtung anzusetzen (Abbildung 12 a). Geht die Dammdichtung in eine dicht angeschlossene, statisch tragfähige Brüstung über, darf für die Sicherheitskote höhenmäßig die tiefste Oberkante der dicht angeschlossenen, statisch tragfähigen Brüstung angesetzt werden, wenn dies aus

dammbautechnischer Sicht zulässig ist (Abbildung 12 b). Die Brüstung darf jedoch im maßgebenden Lastfall (BHQ oder SHQ) nur den Wellenfreibord abdecken, d. h. die Überstaukote muss unterhalb der tiefsten Oberkante der Dammkrone liegen.

Für die Sicherheitskote ist bei **Altanlagen** analog vorzugehen, allerdings darf die Sicherheitskote über der Oberkante Dichtung bzw. der dicht angeschlossenen und statisch tragfähigen Brüstung angesetzt werden. In diesem Fall ist jedoch nur das zeitweise Überschwappen von Wellen infolge Windes zulässig, die Überstaukote muss unterhalb der tiefsten Oberkante Dichtung bzw. bei dicht angeschlossener und statisch tragfähiger Brüstung unterhalb der tiefsten Oberkante Dammkrone liegen. Ist die Brüstung ein Teil einer durchgehenden Betondichtwand eines Dammes, kann die Überstaukote auch geringfügig oberhalb der Dammkrone liegen, sofern statisch zulässig. Für diese Ausnahmefälle ist eine Einzelfallbeurteilung (z. B. dammbautechnisches Gutachten über die Erosionsstabilität des Dammaufbaus und geologisches Gutachten) durchzuführen. Die aktuellen Höhenkoten der Stauanlage sind nachzuweisen (unter Berücksichtigung eventueller Setzungen).

Abbildung 12: Definitionsskizze für die Sicherheitskote für (a) Staudämme mit Dichtungselement und (b) Staudämme mit Brüstungsmauer dicht an Dammdichtung angeschlossen und Oberflächendichtung (Neuanlagen).



3.2 Erforderliche Nachweise

Grundsätzlich sind bei Stauanlagen unter dem Aspekt Hochwassersicherheit zwei Nachweise zu erbringen. Diese beziehen sich auf:

- Fördervermögen der Hochwasserentlastungseinrichtungen:
Der Nachweis, dass das Bemessungshochwasser BHQ über die Hochwasserentlastungseinrichtungen ohne Überlastung abgeführt werden kann.
- Sicherheit der Anlage:
Der Nachweis, dass durch die Abfuhr eines Sicherheitshochwassers SHQ die globale Sicherheit der Anlage nicht gefährdet wird.

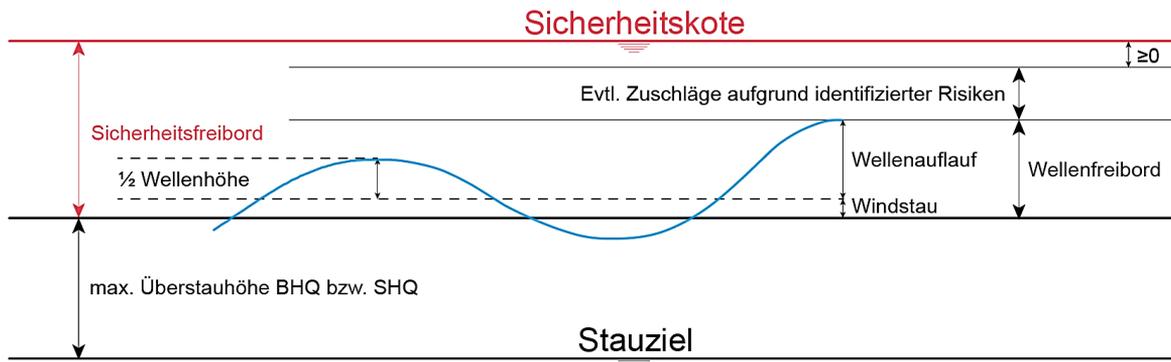
In keinem der beiden Lastfällen (BHQ bzw. SHQ) darf die Sicherheitskote durch die Summe aus Stauziel, Überstau (BHQ bzw. SHQ), Wellenfreibord und Zuschlag für die Abdeckung gesondert identifizierter Risiken überschritten werden (Abbildung 13), d. h.:

$$\text{Sicherheitskote} \geq \text{Stauziel} + \text{Überstau (BHQ oder SHQ)} + \text{Wellenfreibord} + \text{Zuschlag für die Abdeckung gesondert identifizierter Risiken}$$

Im **BHQ**-Fall muss nachgewiesen werden, dass beim Erreichen dieser Sicherheitskote weder an den Bauwerken (Sperrbauwerk und Betriebseinrichtungen) noch am umgebenden Gelände (auch Stauraum) Schäden entstehen, welche die Stand- oder Betriebssicherheit der Anlage gefährden. Zu beachten sind beispielsweise Erosionen, Auftrieb, Überbeanspruchung des Tragwerkes oder der Verschlüsse.

Im **SHQ**-Fall können begrenzte Schäden an der Stauanlage und den Entlastungsanlagen in Kauf genommen werden, die globale Standsicherheit der Stauanlage und das Funktionieren der in die Bemessung mit eingerechneten Betriebseinrichtungen müssen aber gegeben sein.

Abbildung 13: Der Nachweis ist für beide Lastfälle (BHQ und SHQ) zu erbringen: die Sicherheitskote muss mindestens so hoch liegen, dass sie die Summe aus Stauziel, maximale Überstauhöhe (BHQ bzw. SHQ), Wellenfreibord und eventuelle Zuschläge aufgrund identifizierter Risiken abdeckt.



3.3 Berechnung des Überstaus

Zur Berechnung der Überstaukote ist eine hydraulische Wasserspiegellagenrechnung unter Berücksichtigung der Speicherretention und allen Randbedingungen (gemäß Kap. 3.4–3.9) durchzuführen. Alle getroffenen Annahmen sind im Bericht zu dokumentieren und die Ergebnisse sind sowohl grafisch als auch tabellarisch als Funktion der Zeit in nachvollziehbarer Weise darzustellen.

3.4 Berechnung des Wellenfreibords

3.4.1 Definition

Bei Windeinwirkung verursachen die auf die Wasseroberfläche des Stausees übertragenen Windschubspannungen neben örtlichen Spiegelanhebungen (Windstau) vor allem Wellen, die an der Sperre auflaufen. Der zur Aufnahme der Windeinwirkung erforderliche Freibord, d. h. der „Wellenfreibord“, besteht deshalb aus zwei Komponenten:

$$\text{Wellenfreibord} = \text{Windstau} + \text{Wellenauflauf}$$

Für beide Komponenten wird vorerst eine maßgebende Windgeschwindigkeit festgelegt.

3.4.2 Maßgebende Windgeschwindigkeit

Die der Berechnung zugrundeliegende **Windgeschwindigkeit** w_{10} ist die stündliche mittlere Geschwindigkeit, die in einer Höhe von 10 m über der Wasseroberfläche in Richtung Ab-sperrbauwerk mit einer Jährlichkeit von 25 Jahren auftritt. Durch diese Wahl wird ein Wind mit relativ hoher Eintrittswahrscheinlichkeit mit einem Hochwasser geringer Eintrittswahrscheinlichkeit kombiniert.

Bei Stauanlagen mit geringem Hochwasserüberstau (≤ 10 cm) sind Windeinflüsse mit kleinerer Eintrittswahrscheinlichkeit zu untersuchen (Windstärke mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren), da bei solchen Speichern die Wellen infolge Windeinwirkung maßgebend sein können.

Die Windgeschwindigkeit w_{10} ist auf Basis eines meteorologischen Gutachtens unter Verwendung von langjährigen, repräsentativen Messreihen anzusetzen, wobei ein Wert von $w_{10} = 20$ m/s (72 km/h) nicht unterschritten werden darf. Wenn es nicht möglich ist ein derartiges Gutachten beizustellen, ist $w_{10} = 35$ m/s (126 km/h) anzusetzen.

3.4.3 Windstau

Der Windstau h_{wi} ist gemäß DVWK Merkblatt 246/1997 (DVWK, 1997) anzusetzen und die empirische Gl. 3.4.1 zu verwenden:

$$h_{wi} = \frac{w_{10}^2 \cdot S \cdot \cos \beta}{k \cdot \bar{d}} \quad (\text{Gl. 3.4.1})$$

wobei h_{wi} die Windstauhöhe (m), w_{10} die maßgebende Windgeschwindigkeit (m/s), S die maximale Streichlänge (m), β der Winkel zwischen der maßgebenden Windrichtung und der angesetzten Streichlänge, \bar{d} die mittlere Wassertiefe (m), und k eine empirische Konstante $k = 4.861.110$ (m/s^2) sind.

3.4.4 Wellenauflauf

Die Berechnung des Wellenauflaufes erfolgt in zwei Schritten (Tabelle 9):

- Ermittlung der Wellenkennwerte im See,
- Ermittlung des Wellenauflaufes auf Basis der Wellenkennwerte.

Tabelle 9: Überblick über Verfahren zur Ermittlung des Wellenauflaufes.

Wellenkennwerte im See	KRYLOW II (DVWK, 1997)	
Wellenauflauf an Sperre abhängig von Böschungsneigung n	$n < 1:1,6$ oder $n > 1:0,2$ DVWK (1997)	$1:1,6 \leq n \leq 1:0,2$ Pohl (1997)

3.4.4.1 Wellenkennwerte

Die zur Berechnung des Wellenauflaufes erforderlichen Wellenkennwerte sind mittlere Wellenhöhe \bar{h}_{We} , mittlere Wellenperiode \bar{T}_{We} und mittlere Wellenlänge \bar{l}_{We} , d. h. arithmetische Mittelwerte über einen bestimmten Zeitabschnitt. Für ihre Berechnung wird das mit Naturversuchen gut übereinstimmende Verfahren nach KRYLOW II gemäß DVWK Merkblatt 246/1997 (DVWK, 1997) empfohlen, das im Folgenden zusammengefasst wird.

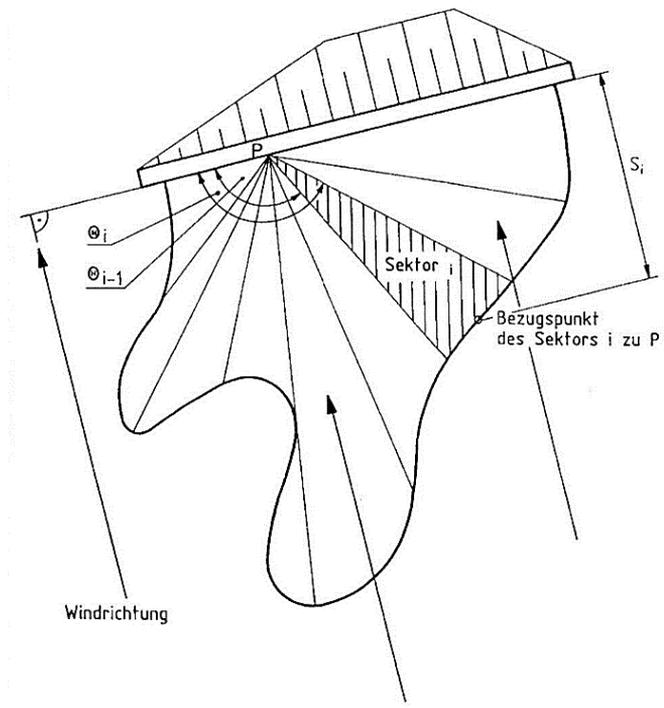
Ausgehend von einem frei gewählten Punkt P am Ufer der Stauanlage wird die Stauoberfläche in m Sektoren i eingeteilt (Abbildung 14). Die zur Wellenbewegung beitragenden Energieanteile der Sektoren werden durch die Spektralfaktoren a_i berücksichtigt:

$$a_i = a_i^* - a_{i-1}^* \quad (\text{Gl. 3.4.2})$$

wobei

$$a_i^* = \frac{\theta_i}{180^\circ} - \frac{\sin(2 \cdot \theta_i)}{2 \cdot \pi} \quad (\text{Gl. 3.4.3})$$

Abbildung 14: Stauoberfläche und Streichlänge.



Die Streichlänge S_i ist die Distanz in Windrichtung zwischen dem Bezugspunkt eines Sektors am weitest entfernten Ufer (Abbildung 14) und der Stauanlage, wobei die Windrichtung senkrecht zur Stauanlage anzusetzen ist. Die mittlere partielle Wellenhöhe $\bar{h}_{We,i}$ wird berechnet zu:

$$\bar{h}_{We,i} = \frac{w_{10}^2 \cdot 0,16}{g} \cdot h_i^* \cdot \tanh \left(0,625 \cdot \frac{(d_i^*)^{0,8}}{h_i^*} \right) \quad (\text{Gl. 3.4.4})$$

$$\text{mit } h_i^* = 1 - \frac{1}{\left[1 + 0,006 \cdot \sqrt{S_i^*} \right]^2} \quad d_i^* = \frac{g \cdot \bar{d}_i}{w_{10}^2} \quad \text{und} \quad S_i^* = \frac{g \cdot S_i}{w_{10}^2} \quad (\text{Gl. 3.4.5})$$

sowie der mittleren Wassertiefe \bar{d}_i und der Erdbeschleunigung g . Die mittlere Wellenhöhe \bar{h}_{We} in Punkt P ist:

$$\bar{h}_{We} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_i \cdot \bar{h}_{We,i}^2)} \quad (\text{Gl. 3.4.6})$$

Die Lage des Punktes P wird variiert und der Größtwert von \bar{h}_{We} als maßgebend angesehen. Aus \bar{h}_{We} wird jene Wellenhöhe berechnet, die von x % der entstehenden Wellen überschritten wird:

$$h_{We,x\%} = k_{h_{We}} \cdot \bar{h}_{We} \quad (\text{Gl. 3.4.7})$$

Es wird $x = 5$ % empfohlen, woraus sich gemäß DVWK (1997) $k_{h_{We}} = 2,0$ ergibt.

Die mittlere Wellenperiode \bar{T}_{We} wird berechnet zu:

$$\bar{T}_{We} = \frac{6,2 \cdot w_{10} \cdot \pi}{g} \cdot \left(\frac{g \cdot \bar{h}_{We}}{w_{10}^2} \right)^{0,625} \quad (\text{Gl. 3.4.8})$$

Die mittlere Wellenlänge \bar{l}_{We} kann näherungsweise in Abhängigkeit von der mittleren Wellenperiode \bar{T}_{We} und der Wassertiefe d an der Stauanlage durch Lösung der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\bar{l}_{We} \approx \frac{g \cdot \bar{T}_{We}^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\bar{l}_{We}} \right) \quad (\text{Gl. 3.4.9})$$

3.4.4.2 Wellenauflaufberechnung

Die Berechnung des Wellenauflaufes aus den Wellenkennwerten unterscheidet sich je nach Böschungsneigung des Absperrbauwerkes. Für Böschungsneigungen n flacher als 1:1,6 oder steiler 1:0,2 wird das Verfahren nach DVWK (1997) empfohlen, für Böschungsneigungen im Übergangsbereich ($1:1,6 < n < 1:0,2$) hingegen Pohl (1997). Es können auch Alternativen verwendet werden (z. B. die Abminderung nach Tschernutter et al., 2018), wobei die Anwendbarkeit im Einzelfall nachzuweisen ist.

a) Böschungsneigung n flacher als 1:1,6 – Wellenauflauf brandender Wellen (DVWK, 1997)

An Staudämmen kommt es in der Regel zum Auflauf brandender Wellen. Für den orthogonalen Wellenauflauf bei brandenden Wellen, wird der Wellenauflauf nach der empirischen Beziehung von Hunt (1959) berechnet:

$$h_{Au,x\%} = k_D \cdot k_R \cdot k_x \cdot \sqrt{\bar{h}_{We} \cdot \bar{l}_{We}} \cdot \tan(\alpha) \quad (\text{Gl. 3.4.10})$$

Die Werte für das Produkt von Rauheit und Durchlässigkeit $k_D \cdot k_R$ sind in Tabelle 10 angeführt, k_x in Tabelle 11, \bar{h}_{We} ist die mittlere Wellenhöhe, \bar{l}_{We} die mittlere Wellenlänge, und α ist der Böschungswinkel $\alpha = \tan^{-1}(n)$.

Bei Böschungen mit wasserseitiger Berme kann die Wellenaufbauhöhe iterativ ermittelt werden (DVWK, 1997). Für die rechnerische Berücksichtigung verschiedener Böschungsneigungen der Wasserseite bzw. auflaufvermindernder Kronenelemente wird auf (DVWK, 1997) bzw. die Fachliteratur verwiesen, z. B. Pohl (1991).

Tabelle 10: Koeffizienten für das Produkt von Böschungsrauhheit und Durchlässigkeit (Wagner, 1974).

Böschungsoberfläche	$k_D \cdot k_R$
Glatte Bauweisen (Betonplatten mit vergossenen Fugen, Asphaltbeton)	1,00
Betonplatten mit offenen Fugen	0,95
Pflaster mit vergossenen Fugen	0,90 – 0,95
Pflaster mit offenen Fugen	0,80 – 0,90
Rasen, Sand	0,75 – 0,85
Kies	0,70 – 0,78
Schüttungen aus rundlichem Gesteinsmaterial, Asphalttrauhbauweise	0,60 – 0,65
Bruchsteinschüttungen	0,55 – 0,65

Tabelle 11: Überschreitungswahrscheinlichkeiten x (%) des Wellenauflaufes in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp und die zugehörigen Koeffizienten nach Battjes (1974).

Bauwerkstyp	x (%)	k_x
Staumauern, Wehre (glatte, senkrechte Wände)	5	entfällt
Steinschüttdämme mit erosionsbeständiger Krone und Luftseite	2	2,2
Erddämme	1	2,4

Erläuterung: Unter Annahme einer linearen Korrelation $\rho = 0,8$ zwischen \bar{h}_{We} und \bar{l}_{We} .

b) Böschungsneigung n steiler als 1:0,2 – Wellenauflauf schwingender Wellen (DVWK, 1997)

An Staumauern kommt es in der Regel zum Auflauf schwingender Wellen. Für glatte, senkrechte Wände ist $h_{Au,x\%} = h_{We,x\%}$. Für alle anderen Wände steiler als 1:0,2 lässt sich der Wellenauflauf nach der Beziehung von Wagner (1974) bestimmen:

$$h_{Au,x\%} = \frac{0,5 \cdot h_{We,x\%} \cdot (\sqrt{2} \cdot \cos \alpha + 1) \cdot (1 + R)}{\frac{1}{\cos B} - 2 \cdot \pi \cdot \frac{\bar{h}_{We}}{\bar{l}_{We}} \cdot (\sqrt{2} \cdot \cos \alpha + \tan B) \cdot \cot \alpha} \quad (\text{Gl. 3.4.11})$$

mit $B = 1,11 \cdot \cos \alpha$, dem Reflexionskoeffizienten R :

$$R = k_D \cdot k_R \cdot \tanh \left[\frac{0,1 \cdot \tan^2 \alpha}{\frac{\bar{h}_{We}}{\bar{l}_{We}}} \right] \quad (\text{Gl. 3.4.12})$$

und den Werten $k_D \cdot k_R$ aus Tabelle 10.

c) Böschungsneigung im Übergangsbereich ($1:1,6 \leq n \leq 1:0,2$) (Pohl, 1997)

Im Übergangsbereich, wo beide Wellentypen auftreten, kann gemäß Pohl (1997) die Auf-
laufhöhe errechnet werden zu:

$$h_{Au,x\%} = h_{Au,x\%,schwingend} \cdot P + h_{Au,x\%,brandend} \cdot (1 - P) \quad (\text{Gl. 3.4.13})$$

mit

$$P = 1 - e^{-\left(\frac{\xi'}{a}\right)^C} \quad (\text{Gl. 3.4.14})$$

$a = 2,2$ und $C = 3$ sowie ξ' :

$$\xi' = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{\frac{\bar{h}_{We}}{\bar{l}_{We}}}} \quad (\text{Gl. 3.4.15})$$

Hinweis: Bei Abfuhr eines BHQ oder SHQ mit überlagerten Windwellen stellen sich im Bereich der Überfallkrone der Hochwasserentlastungsanlage zeitweise höhere Wasserspiegel

ein als bei Hochwasserabfuhr ohne Windwellen. Gegebenenfalls sind die Auswirkungen auf das Freibord von Wehrbrücken oder die Förderfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage gesondert zu überprüfen.

3.5 Zuschläge zur Überstaukote für Abdeckung gesondert identifizierter Risiken

Falls bei Stauanlagen mit zusätzlichen Risiken zu rechnen ist, sind diese gesondert zu identifizieren. Beispiele sind Impulswellen aufgrund von Hangrutschungen oder Lawineneinstößen in den Stausee oder aufgrund des Bruches von Verklausungen. Die sich daraus ergebenden Impulswellen sind im Einzelfall entsprechend dem Stand der Technik zu ermitteln (siehe z. B. Heller et al., 2008) und daraus Zuschläge zur Überstaukote abzuleiten, die beim Nachweis der Hochwassersicherheit zu berücksichtigen sind.

3.6 Nachweisbedingungen für verschlussgesteuerte Hochwasserentlastungsanlagen

Sowohl überlastbare als auch nicht überlastbare Hochwasserentlastungsanlagen können mit beweglichen Verschlüssen ausgestattet sein (Senkschützen, Klappen, Segmentschützen usw.).

- Bei verschlussgesteuerten Anlagen ist nachzuweisen, dass sich auch bei Ausfall der Antriebe bzw. der Energieanspeisung die Verschlüsse öffnen lassen (z. B. kontrolliertes Senken ohne Energieanspeisung). Bei verschlussgesteuerten Anlagen wird man deshalb nach Möglichkeit hydraulisch angetriebene Verschlüsse – wie zum Beispiel Fischbauchklappen – wählen, die bei entsprechender Einstellung des Hydrauliksystems allein durch den Druck des aufgestauten Wassers gezielt abgesenkt werden können und damit den Durchflussquerschnitt freigeben.
- Gelingt dieser Nachweis nicht, ist die Blockierung eines der Verschlüsse in Geschlossenstellung anzunehmen (n-1 Bedingung, wobei n die Anzahl der Verschlüsse ist). Im Falle ungleicher Verschlüsse wird der Verschluss mit der größten Leistungsfähigkeit als nicht verfügbar angenommen.
- Zur Vermeidung unzulässiger Schwallerscheinungen im Unterwasser (z. B. Verstärkung der Zuflusswelle) sind Vorkehrungen zu treffen.

- Die Regelung der Verschlüsse muss so ausgelegt sein, dass in allen Lastfällen die Spitze der Zulaufwelle keinesfalls verstärkt wird.
- Generell sind bei verschlussgesteuerten Anlagen (Staudämme und -mauern) Revisionen in hochwasserarmen Zeiten durchzuführen.

3.7 Berücksichtigung der Verklausungsgefahr bei der Wasserspiegellagenrechnung

Wenn sich die Sperre unterhalb der Waldgrenze befindet, ist vor den Einläufen von Hochwasserentlastungsanlagen, in Abhängigkeit von Überlaufbreite und Überlaufhöhe, die Gefahr von Verklausung durch Wildholz gegeben. Dies gilt sowohl für verschlussgesteuerte als auch für ungesteuerte Hochwasserentlastungsanlagen. Verklausungen können auch durch andriftende Eisschollen verursacht werden.

Der Verklausungsgefahr ist durch geeignete bauliche und betriebliche Maßnahmen zu begegnen, so dass trotz Annahme einer Verklausung mit einer bestimmten Verklausungsfläche und Mächtigkeit eine gesicherte Hochwasserabfuhr erhalten bleibt. Dabei ist der gesamte Hochwassertransportweg (einschließlich Schächte und Stollen) in Hinblick auf die Verklausungsgefahr zu betrachten. Verklausungsschutzmaßnahmen sind zum Beispiel Schwimmketten, Schwemmzeugrechen oder ähnliche Einrichtungen. Zusätzlich sollte danach getrachtet werden, dass die Abwehr von Wildholz bereits im Einzugsgebiet des Speichers (Wildholzsperrern) erfolgt. Bei einer Breite der Hochwasserentlastung von über 20 m mit einer Überlaufhöhe im BHQ Fall von mehr als 2 m ist es generell nicht erforderlich Verklausungsschutzmaßnahmen vorzusehen.

Bei Vorhandensein von Verklausungsschutzmaßnahmen ist mittels Wasserspiegellagenrechnung (Kap. 3.2) nachzuweisen, dass trotz verkleuster Schutzeinrichtung die Lastfälle BHQ und SHQ unter Einhaltung der Sicherheitskote bewältigt werden können. Die anzunehmende Verklausungsfläche sowie die Belastung auf den Verklausungsschutz ist in Abstimmung mit der Bewilligungsbehörde bzw. den von ihr zugezogenen Sachverständigen festzulegen. Dabei ist auch zu beachten, dass trotz Eisfreihaltungsmaßnahmen (z. B. Luftperlanlage, rasches bzw. starkes Schwanken des Wasserspiegels) die Bildung einer Eisdecke (bzw. von Eisschollen) angenommen werden muss.

3.8 Betriebliche Annahmen bei der Wasserspiegellagenrechnung

3.8.1 Ausgangswasserspiegel

Für die Wasserspiegellagenrechnung ist zu Beginn des Ereignisses der Wasserspiegel im Speicher grundsätzlich auf Stauziel anzunehmen. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

- Eine Ausnahme sind **Hochwasserrückhaltebecken**, die im Normalzustand leer oder teilweise gefüllt sind. Für diese kann der Wasserspiegel im Normalzustand angenommen werden, doch sind dann für den Lastfall SHQ Doppelereignisse zu berücksichtigen (siehe Kap. 2.2.2).
- Eine **Vorabsenkung** des Speicherwasserspiegels zur Erhöhung des Retentionsraumes ist in einigen Betriebsordnungen von Stauanlagen der Wasserkraftnutzung festgelegt und wasserrechtlich bewilligt. Dies soll zu einer Dämpfung der zufließenden Hochwasserspitze führen und dadurch die Belastungen im Unterwasser mildern. Die Zeit zwischen dem Niederschlagsereignis und der Ankunft der Hochwasserwelle beim Speicher ist in der Regel zu kurz oder die Zuflussfracht zu groß, um ein wirkungsvolles Speichervolumen, z. B. durch Abarbeiten mit Turbinen, bereitstellen zu können. Vorhersageverfahren auf Basis von Niederschlagsprognosen und einer detaillierten Niederschlags- und Zuflusserfassung im Einzugsgebiet erlauben zwar eine Verlängerung der Vorhersagefrist, doch haben die Erfahrungen gezeigt, dass derzeit die erzielbare Zuverlässigkeit der Vorhersage in der Regel nicht ausreicht und daher zu unproportionalen Vorabsenkungen, die meistens über den Triebwasserweg erfolgen, führen kann. Daher kann für solche Stauanlagen bei der Wasserspiegellagenrechnung die bewilligte Vorabsenkung zwar in Rechnung gestellt werden, für den Lastfall SHQ sind jedoch Doppelereignisse zu berücksichtigen (siehe Kap. 2.2.2).

3.8.2 Berücksichtigung von Betriebseinrichtungen

Für die Berücksichtigung von Betriebseinrichtungen bei der Wasserspiegellagenrechnung gilt:

- Im BHQ- Fall darf nur die Hochwasserentlastung herangezogen werden, nicht hingegen andere Betriebseinrichtungen. Bei gesteuerten Hochwasserentlastungen ist die (n-1) Bedingung anzusetzen, wenn ein Öffnen des Wehrverschlusses ohne Energieanspeisung nicht möglich ist.

- Nur im SHQ- Fall darf man neben der Hochwasserentlastung zum Teil auch die vorhandenen Betriebseinrichtungen wie Grundablässe, Zwischenauslässe und Triebwasserwege zur Hochwasserabfuhr mit heranziehen. Dabei ist anzunehmen, dass die Betriebseinrichtung mit dem größten Fördervermögen nicht zur Verfügung steht. Die verbleibenden Betriebseinrichtungen dürfen im ansteigenden Bereich der Hochwasserwelle erst dann rechnerisch zur Entlastung herangezogen werden, wenn der Wasserspiegel im Speicher die Oberkante der Hochwasserentlastung erreicht hat bzw. übersteigt. Dabei darf es durch den Einsatz der Betriebseinrichtungen zu keiner Spiegelabsenkung im Speicher kommen.

Falls im SHQ- Fall der Triebwasserweg zur Hochwasserentlastung mit herangezogen werden darf, ist bei Vorhandensein mehrerer **Turbinen** die Leistungsstärkste als nicht verfügbar anzunehmen (n-1) Bedingung. Bei einer Entlastung über den Triebwasserweg kann man nicht mit Sicherheit ausschließen, dass eine Turbine oder das davorliegende Verschlussorgan (Kugelschieber bzw. Drosselklappe) nicht zur Verfügung steht (z. B. zwecks Reparatur ausgebaut). Es ist daher auch bei Freistrahlturbinen, wo man über die Strahlableiter auch bei ausgebauter Turbine Wasser abgeben könnte, die (n-1) Bedingung anzuwenden. Das heißt, die leistungsfähigste Turbine ist als nicht betriebsbereit anzusetzen. Von dieser Bedingung kann auf Basis einer Einzelfallbeurteilung abgegangen werden, wenn beispielsweise verbindlich festgelegt wird, dass Revisionen bei abgesenktem Stauspiegel durchgeführt werden und das Volumen der maßgebenden Hochwasserwelle im abgesenkten Speicher retiniert werden kann.

Bei Anlagen, bei denen die Abgabe der von den verbleibenden (n-1) Turbinen erzeugten Energie nicht gesichert ist, darf die Entlastung über den Triebwasserweg nur dann erfolgen, wenn die Wasserabgabe ohne Energieabgabe an das Netz durch Erprobung nachgewiesen wurde. Pumpen dürfen in die Entlastung mit einbezogen werden, wenn die Energiezufuhr über mehrere Zuleitungen gesichert ist. Auch dann ist, wie bei den Turbinen, betreffend die Verfügbarkeit der Pumpen die n-1 Bedingung zu berücksichtigen.

Bei einer Entlastung über den Triebwasserweg ist nachzuweisen, dass das Kraftwerk bzw. die Steuerzentrale nicht überflutet wird und die Abgabe der von (n-1) Turbinen erzeugten Energie über das Netz sicher möglich ist (z. B. zumindest redundante Energieableitungen). Es kann aber auch eine Wasserabgabe über die Turbinen ohne Energieabgabe an das Netz zulässig sein, wenn diese durch Erprobung nachgewiesen wurde.

Falls eine Tiefentlastung (z. B. Grundablass, Zwischenablass) zur Hochwasserentlastung mit herangezogen wird, muss eine hohe Betriebssicherheit der Verschlussorgane (u.a. das Vorhandensein von zwei Verschlussebenen, redundante Antriebsaggregate, abgesicherte Energieversorgung, abgesicherte Zugänglichkeit auch bei extremen Witterungsverhältnissen) gewährleistet sein. Dabei sind mögliche Verklausungen der Einläufe oder anderer kritischer Engstellen bei den maßgebenden Extremereignissen zu berücksichtigen (siehe Kap. 3.7).

3.9 Zusammenfassung der Nachweisbedingungen

Eine Zusammenfassung, gegliedert nach den Aspekten Altanlagen – Neuanlagen und Bemessungshochwasser (BHQ bzw. BHQ*) – Sicherheitshochwasser (SHQ bzw. SHQ*), enthalten Tabelle 12 und Tabelle 13.

Tabelle 12: Nachweisbedingungen für das Bemessungshochwasser BHQ bzw. BHQ*.

Anlage	Sperre	Hochwasserermittlung	Lage der Sicherheitskote	verschlussgest. Hochwasserentlastungsanlagen	Einsatz von Betriebseinrichtungen ³
Altanlagen	Mauern	BHQ* aus abgekürztem Verfahren	OK Sperrenkrone bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung ¹	n-1 Bedingung, wenn das Öffnen aller Verschlüsse nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Der leistungsfähigste Verschluss ist dabei als blockiert zu betrachten.	nein
	Dämme	BHQ aus detailliertem Verfahren, falls mit BHQ* Nachweise nicht gelingen	OK Dammdichtung bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung ²		
Neuanlagen	Mauern	BHQ aus detailliertem Verfahren	OK Sperrenkrone bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung		
	Dämme		OK Dammdichtung bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung		

Erläuterungen, auch für nachfolgende Tab. 13:

OK bedeutet tiefste Oberkante.

¹ Auch über OK Sperrenkronen bzw. über OK Brüstung, wenn statisch und geologisch zulässig, und Überstaukote < tiefste OK Sperrenkronen bzw. aufgesetzte Brüstung (d.h. Überschwappen zulässig).

² Auch über OK Dammdichtung bzw. über OK Brüstung, wenn dammbautechnisch und geologisch zulässig, und Überstaukote < tiefste OK Dammdichtung, bzw. bei dicht angeschlossener und statisch tragfähiger Brüstung Überstaukote < tiefste OK Dammkronen. Die Überstaukote darf auch geringfügig oberhalb der Dammkronen liegen, sofern die Brüstung ein Teil einer durchgehenden Betondichtwand ist und dies statisch zulässig ist.

³ Zusätzlich zur Hochwasserentlastung

Tabelle 13: Nachweisbedingungen für das Sicherheitshochwasser SHQ bzw. SHQ*.

Anlage	Sperre	Hochwasserermittlung	Lage der Sicherheitskote	verschlussgest. Hochwasserentlastungsanlagen	Einsatz von Betriebseinrichtungen ³
Altanlagen	Mauern	SHQ* aus abgekürztem Verfahren	OK Sperrenkronen bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung ¹	n-1 Bedingung, wenn das Öffnen aller Verschlüsse nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Der leistungsfähigste Verschluss ist dabei als blockiert zu betrachten	Ja, aber mit n-1 Bedingung. Die leistungsfähigste Betriebs-einrichtung ist dabei als blockiert zu betrachten.
	Dämme	SHQ aus detailliertem Verfahren, falls mit SHQ* Nachweise nicht gelingen	OK Dammdichtung bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung ²		
Neuanlagen	Mauern	SHQ aus detailliertem Verfahren	OK Sperrenkronen bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung	blockiert zu betrachten	
	Dämme		OK Dammdichtung bzw. OK dicht angeschlossene und statisch tragfähige Brüstung		

4 Berichtslegung und Dokumentation

4.1 Darstellung der Projektergebnisse

Den Abschluss der Bearbeitung bildet die Berichtslegung. Der Bericht soll die Untersuchungen vollständig und nachvollziehbar darstellen, und entsprechend den Kapiteln des Leitfadens gestaltet sein. Er sollte zumindest die folgenden Punkte enthalten:

- Dokumentation der wasserwirtschaftlichen Situation der Stauanlage, soweit für die Nachweise dieses Leitfadens relevant,
- Dokumentation des Einzugsgebietes, der berücksichtigten Daten und ihrer Qualität, einschließlich qualitativer Informationen,
- Ermittlung des Bemessungshochwassers und des Sicherheitshochwassers, mit Dokumentation aller Verfahren, einschließlich Wahl des Niederschlag-Abflussmodells und seiner Parameter (Kalibrierung bzw. a priori Wahl) mit hydrologischer Begründung, womöglich im Zusammenhang der Erfahrungen aus Feldbegehungen, Modellvalidierung und Plausibilisierung, sowie Checkliste (siehe Kap. 4.2),
- Vergleich der Ergebnisse und Festlegung des BHQ und SHQ mit hydrologischer Argumentation,
- Dokumentation der Ergebnisse der Wasserspiegelrechnung mit Angabe der Randbedingungen,
- Zusammenfassende Darstellung der Nachweise.

Eingangsdaten, gewählte Parameter, Beschreibung der Software und Modellergebnisse sind für einen Zeitraum von mindestens zehn Jahre digital zu archivieren, um die Wiederholbarkeit der Modellierung zu gewährleisten (Qualitätssicherung) und die Durchführung von Nachfolgestudien zu erleichtern.

4.2 Checkliste für das detaillierte Verfahren

Zur Unterstützung einer systematischen Bewertung der Qualität der Bearbeitung ist dem Leitfaden eine Checkliste beigelegt. Die ausgefüllte Checkliste ist für das detaillierte Verfahren (einschließlich des vereinfachten detaillierten Verfahrens) dem Projektsbericht beizulegen, um einen raschen Überblick über die erzielte Qualität der Nachweise zu erhalten.

Die Checkliste umfasst folgende thematische Schwerpunkte:

- Stauanlage und Verfahren,
- Lokale Hochwasserstatistik,
- Regionale Hochwasserstatistik,
- Niederschlag-Abflussmodellierung (BHQ),
- GRADEX-Verfahren,
- Vergleich der Ergebnisse und Festlegung BHQ,
- Sicherheitshochwasser,
- Wasserspiegellagenrechnung.

Die Checkliste steht auf der Website des zuständigen Bundesministeriums als Word-File zum Download zur Verfügung.

Literatur

Amt der Kärntner Landesregierung (2004): Hochwasserchronik Kärnten 792 – 2003. Klagenfurt, 2004, 64 Seiten.

Battjes, J.A. (1974): Computation of set-up, long shore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. In: Communications on hydraulics. Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, report no. 74-2.

Blöschl, G., Blaschke, A.P., Haslinger, K., Hofstätter, M., Parajka, J., Salinas, J., Schöner, W. (2018): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserwirtschaft Österreichs – ein aktualisierter Statusbericht. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 70, 462-473.

Blöschl, G., Merz, R. (2008): Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlichkeit - Aspekte einer zeitgemäßen Strategie. Wasserwirtschaft, 98, 12-18.

Blöschl, G., Waser, J., Buttinger-Kreuzhuber, A., Cornel, D., Eisl, J., Hofer, M., ..., Stiefelmeyer, H. (2022): HOchwasser-Risikozonierung Austria 3.0 (HORA 3.0). Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 74, 212–223.

BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreichische Staubeckenkommission, TU Wien Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie (2009): Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren.

Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht, A., Lexer, A., Peßenteiner, S., Poetsch, M. S., Salzmann, M., Spiekermann, R., Switanek, M., & Truhetz, H. (2016): Endbericht ÖKS15 - Klimaszenarien für Österreich - Daten - Methoden - Klimaanalyse. Projektbericht.

Duband, D., Michel, C., Garros, H., Astier, J. (1994): Design flood determination by the Gradex method. CIGB, ICOLD; Paris, 96 Seiten. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Merkblatt DWA-M 552.

DVWK (1997): Freibordbemessung an Stauanlagen. DVWK Merkblätter 246/1997, DWA.

DWA (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Merkblatt DWA-M 552. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, A. F., Westra, S., Allan, R. P., Ban, N., ... & Zhang, X. (2021): Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 107-122.

Gutknecht, D., Blöschl, G., Reszler, C., Heindl, H. (2006): Ein „Mehr-Standbeine“-Ansatz zur Ermittlung von Bemessungshochwässern kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 58, 44-50.

Heller, V., Hager, W.H., Minor, H.-E. (2008): Rutscherzeugte Impulswellen in Stauseen: Grundlagen und Berechnung. *Mitteilungen 206, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), H.-E. Minor, Hrsg. ETH Zürich.*

Hunt, I.A. (1959): Design of seawalls and breakwaters. In: *Proc. ASCE, Journ. of Waterways, Harbor and Coastal Eng. Div.* 85 WW3 S. 123 ff.

Klein, B., Schumann, A., Pawlow, M. (2006): Extreme Hochwasserereignisse an deutschen Talsperren. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 50, 162-168.

Lecher, K., Lühr, H.-P., Zanke, U.C.E. (Ed.) (2001): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Parey Verlag Berlin, 2001, 8. Auflage, 1217 Seiten.

Lun, D., Fischer, S., Viglione, A., Blöschl, G. (2020): Detecting Flood-Rich and Flood-Poor Periods in Annual Peak Discharges Across Europe. *Water Resources Research*, 56, e2019WR026575.

Marani, M. & Zanetti, S. (2015): Long-term oscillations in rainfall extremes in a 268 year daily time series. *Water Resources Research*, 51, 639-647.

Markart, G., Kohl, B., Sotier, B., Schauer, T., Bunza, G., Stern, R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW) Dokumentation, Nr.3.

Melone, F., Corradini, C., Singh, V.P. (2002): Lag prediction in ungauged basins: an investigation through actual data of the upper Tiber River valley. *Hydrological Processes*, 16, 1085-1094.

Merz, R., Blöschl, G., Humer, G. (2008a): Hochwasserabflüsse in Österreich – das HORA-Projekt. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 60, 129-138.

Merz, R., Blöschl, G., Humer, G. (2008b): National flood discharge mapping in Austria. *Natural Hazards*, 46, 53-72.

Merz, R., Blöschl, G., Piock-Ellena, U. (1999): Zur Anwendbarkeit des Gradex-Verfahrens in Österreich. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 51, 291-305.

Österreichische Staubeckenkommission (2009): Mindestanforderungen an den Stauanlagenverantwortlichen von Kleinen Stauanlagen, Fassung 12/2009, Anhang 4: Vigl, A., Czerny, H., „Zuordnungsmatrix zu Gefährdungsklassen“.

ÖWAV Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2019): ÖWAV-Regelblatt 220 Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

Pohl, R. (1991): Wellenüberlauf über Dämme mit Wellenumlenkern. *Wasser und Boden*, 43, 42-46.

Pohl, R. (1997): Überflutungssicherheit von Talsperren. *Wasserbauliche Mitteilungen*, Heft 11, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, TU Dresden.

Reszler, C., Komma, J., Blöschl, G., Gutknecht, D. (2008): Dominante Prozesse und Ereignistypen zur Plausibilisierung flächendetaillierter Niederschlag-Abflussmodelle. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 52, 120-131.

Rogger, M., Pirkl, H., Viglione, A., Komma, J., Kohl, B., Kirnbauer, R., Merz, R., Blöschl, G. (2012): Step changes in the flood frequency curve: Process controls. *Water Resources Research*, 48, W05544.

Tschernutter, P., Wagner, E., Wallner, S., Innerhofer, G., Rieder, C. (2018): Die Entwicklung von Wellenauflaufhöhen als Grundlage zur Freibordbemessung bei Speichern mit steilen

Böschungsneigungen und kürzeren Speicherlängen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 70, 406–419.

US Soil Conservation Service (1957): National Engineering Handbook. Sec. 4, Supplement 4, Hydrology.

Vischer, D. (1980): Das höchstmögliche Hochwasser und der empirische Grenzabfluss. Schweizer Ingenieur und Architekt, 98 H.40/80, 981-984.

Wagner, H. (1974): Seebau und Küstenschutz. 1. Lehrbrief, Berlin VEB Verlag Technik.

Weilguni, V. (2020): eHYD-Auswertungen: Karte Bemessungsniederschlag. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.

Wundt, W. (1965): Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflußspende in Abhängigkeit von der Fläche. Wasserwirtschaft, 55, H.1, 1-5.

Anhänge

Anhang A: Zuordnungsmatrix für das Gefährdungspotential

Unter Gefährdungspotential wird das Gefährdungspotential in Folge des Versagens der Stauanlage für den Bereich unterhalb der Stauanlage verstanden.

Für große Stauanlagen (Höhe > 15 m über Gründungssohle oder Speicherinhalt bei Stauziel > 500.000 m³) wird das Gefährdungspotential grundsätzlich als erheblich eingestuft, sofern nicht vom Betreiber ein geringes Gefährdungspotential nachgewiesen wird. Für kleine Stauanlagen (Höhe ≤ 15 m über Gründungssohle und Speicherinhalt bei Stauziel ≤ 500.000 m³) ist das Gefährdungspotential jedenfalls nachzuweisen.

Der Nachweis des Gefährdungspotentials erfolgt gemäß dem Leitfaden der Staubeckenkommission „Mindestanforderungen an den Stauanlagenverantwortlichen von Kleinen Stauanlagen“ (Fassung 12/2009). Die Einschätzung, ob das Gefährdungspotential erheblich oder gering ist, erfolgt auf Basis der maximalen Wassertiefe und der maximalen Fließgeschwindigkeit des Abflusses einer ermittelten Flutwelle am Ort der gefährdeten Schutzgüter (Tabelle 14). Dabei sind die folgenden Schritte durchzuführen:

- Aufstellen eines oder mehrerer Szenarien des Versagens der Stauanlage,
- hydraulische Berechnung der Flutwelle (ev. mit Feststoffen),
- Erhebung der gefährdeten Schutzgüter im überfluteten Bereich,
- Ausweisen der maximalen Überflutungshöhen und maximalen Fließgeschwindigkeiten im Bereich der gefährdeten Schutzgüter,
- Vergleich der maximalen Überflutungshöhen und maximalen Fließgeschwindigkeiten mit den Schwellenwerten laut Tabelle 14.
- Wenn für mindestens ein gefährdetes Schutzgut mindestens ein Schwellenwert überschritten wird, ist für die Stauanlage ein erhebliches Gefährdungspotential anzusetzen.
- Wenn die maximalen Überflutungshöhen und maximalen Fließgeschwindigkeiten für alle gefährdeten Schutzgüter unter den Schwellenwerten liegen, kann für die Stauanlage ein geringes Gefährdungspotential angesetzt werden.

Tabelle 14: Zuordnungsmatrix für das Gefährdungspotential (gering oder erheblich) bei Versagen von Stauanlagen.

SCHUTZGÜTER		Schwellenwerte der Einwirkung					
		v.h $\leq 0,5m^2/s$ h $\leq 0,5m$	v.h $> 0,5m^2/s$ h $> 0,5m$	v.h $\leq 2,0m^2/s$ h $\leq 1,0m$	v.h $> 2,0m^2/s$ h $> 1,0m$	\leq SHQ	$>$ SHQ
		Flucht zu Fuß möglich	Flucht zu Fuß Lebensgefahr	Schäden an Gebäuden	Gefährdung der Standsticherheit	Schadensgefahr	Gefährdung der Standsticherheit
Betroffene Personen							
1	Personen ohne Vorwarnung und/oder ohne Fluchtmöglichkeit (bewohnte Kellerräume, öffentliche Campingsplätze, Kinderspielplätze, Veranstaltungsplätze,...)	gering	erheblich				
2	Personen im Inneren von Gebäuden bei Vorwarnung und mit Fluchtmöglichkeit in obere Stockwerke			gering	erheblich		
Betroffene Gebäude							
3	öffentliche Gebäude von besonderer Bedeutung (Notfalleinrichtungen, Kultur, Verwaltung, ...)	gering	erheblich				
4	sonstige Gebäude von besonderem Wert (Wohnhäuser, Betriebseinrichtungen, ...)			gering	erheblich		
Betroffene Sonstige Einrichtungen							
5	wichtige öffentliche Einrichtungen (Infrastruktur, Notfalleinrichtungen, ...)	gering	erheblich				
6	wichtige öffentliche Verkehrswege ohne Ausweichmöglichkeit	gering	erheblich				
7	Eisenbahnen und Einrichtungen zur Personenbeförderung (wenn auf SHQ bemessen)					gering	erheblich
8	Brücken und Brückenfundamente wichtiger Verkehrswege und Eisenbahnen (wenn auf SHQ bemessen)					gering	erheblich
9	Anlagen mit gefährlichen Gütern (z.B. Öltanks) - im Einzelfall abzuklären			gering	erheblich		
10	Bauten auf Uferböschungen			gering	erheblich		
11	Wasserbauten (wenn auf SHQ bemessen)					gering	erheblich
12	Brücken und Brückenfundamente untergeordneter Verkehrswege						gering
13	Geparkte Autos ohne Vorwarnung	gering	erheblich				

Quelle: Leitfaden der Staubeckenkommission „Mindestanforderungen an den Stauanlagenverantwortlichen von Kleinen Stauanlagen, Anhang 4“ (Österreichische Staubeckenkommission, 2009).

Anhang B: Karten für c Parameter und t_0

Die folgenden Karten zeigen die c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 entsprechend Abbildung 1. Für die Bearbeitung ist der c Parameter im Flächenschwerpunkt des Einzugsgebietes abzulesen. Zur einfacheren Anwendung stehen auf der Website des zuständigen Bundesministeriums Shape-Files zum Download zur Verfügung.

Abbildung 15: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt West.

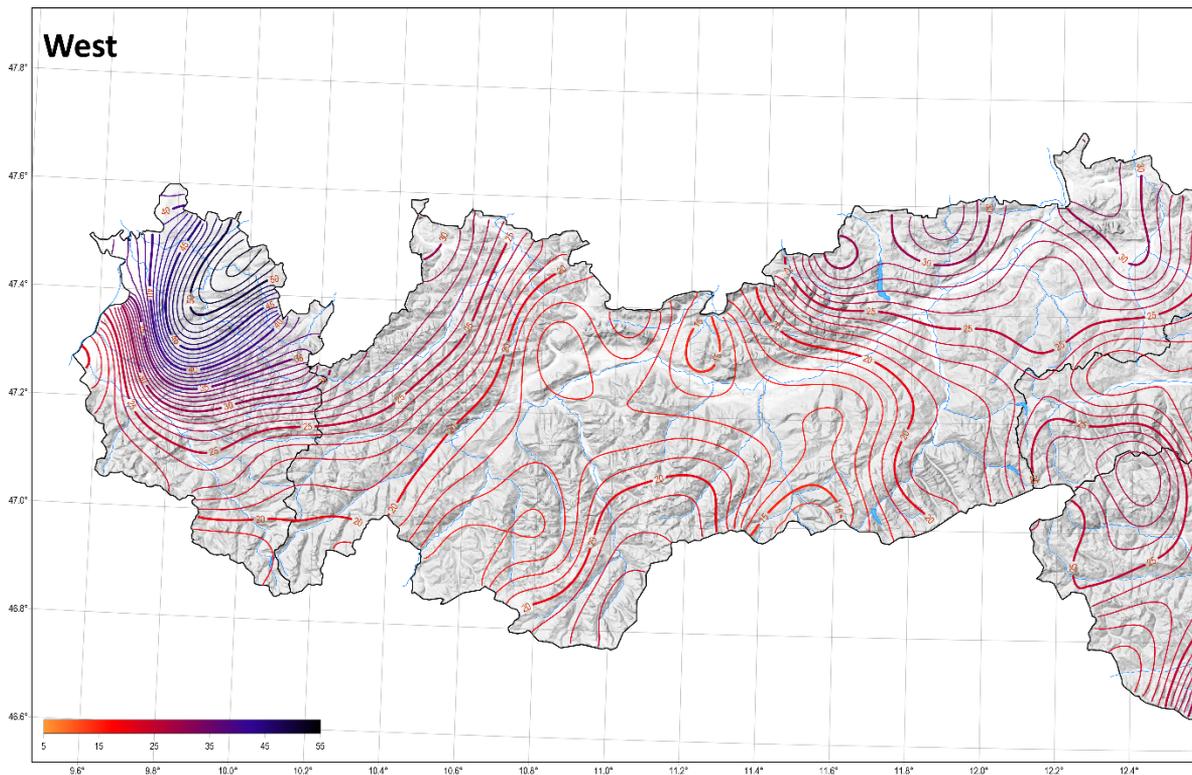


Abbildung 16: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Nord.

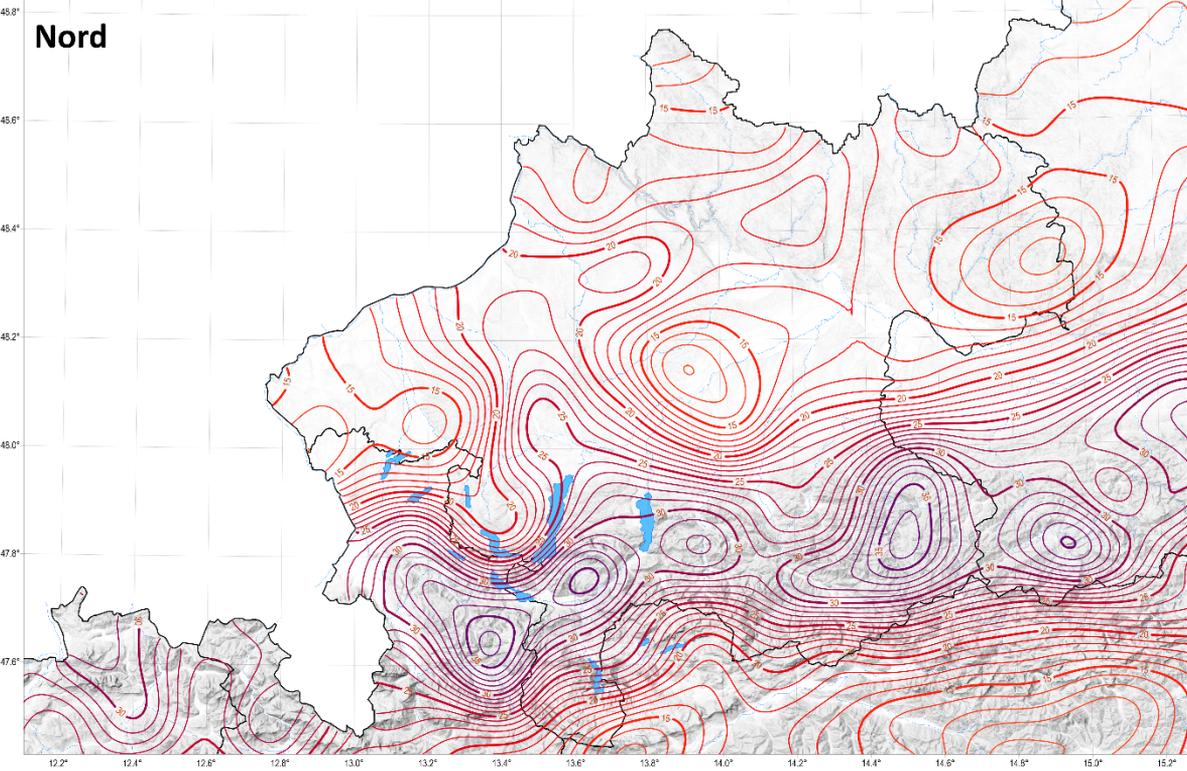


Abbildung 17: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Nord-Ost.

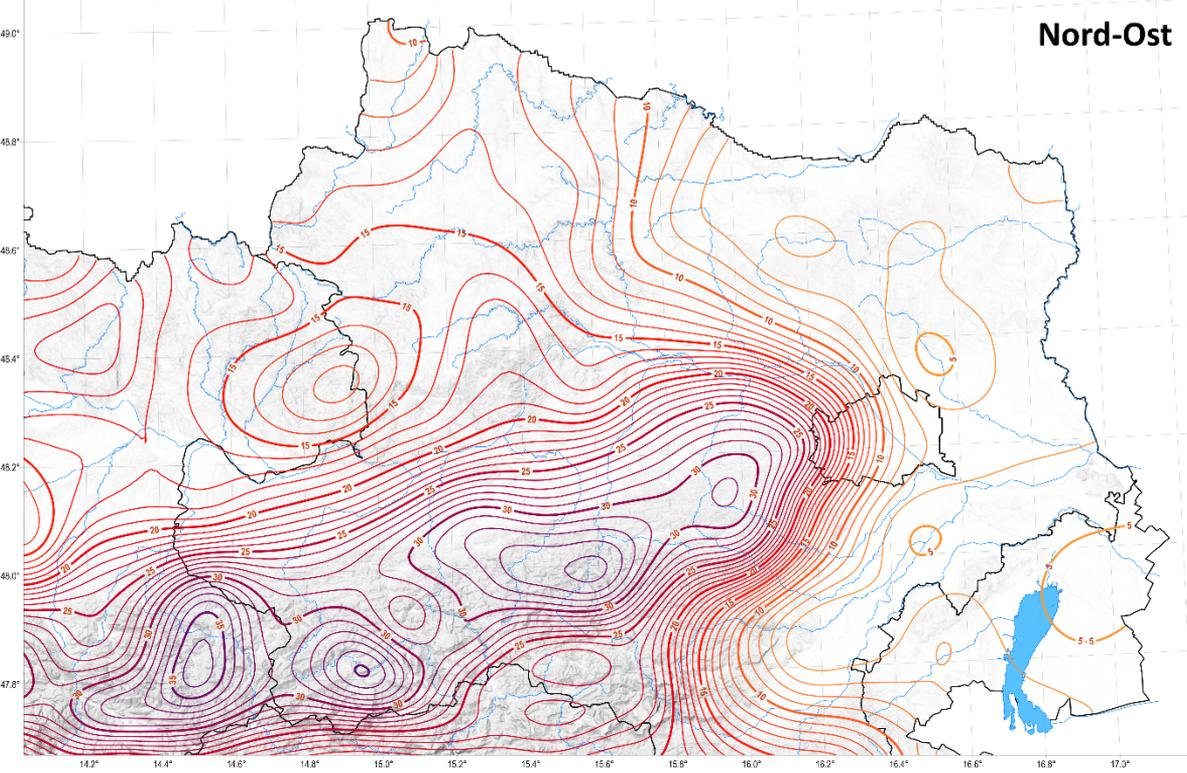


Abbildung 18: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Süd.

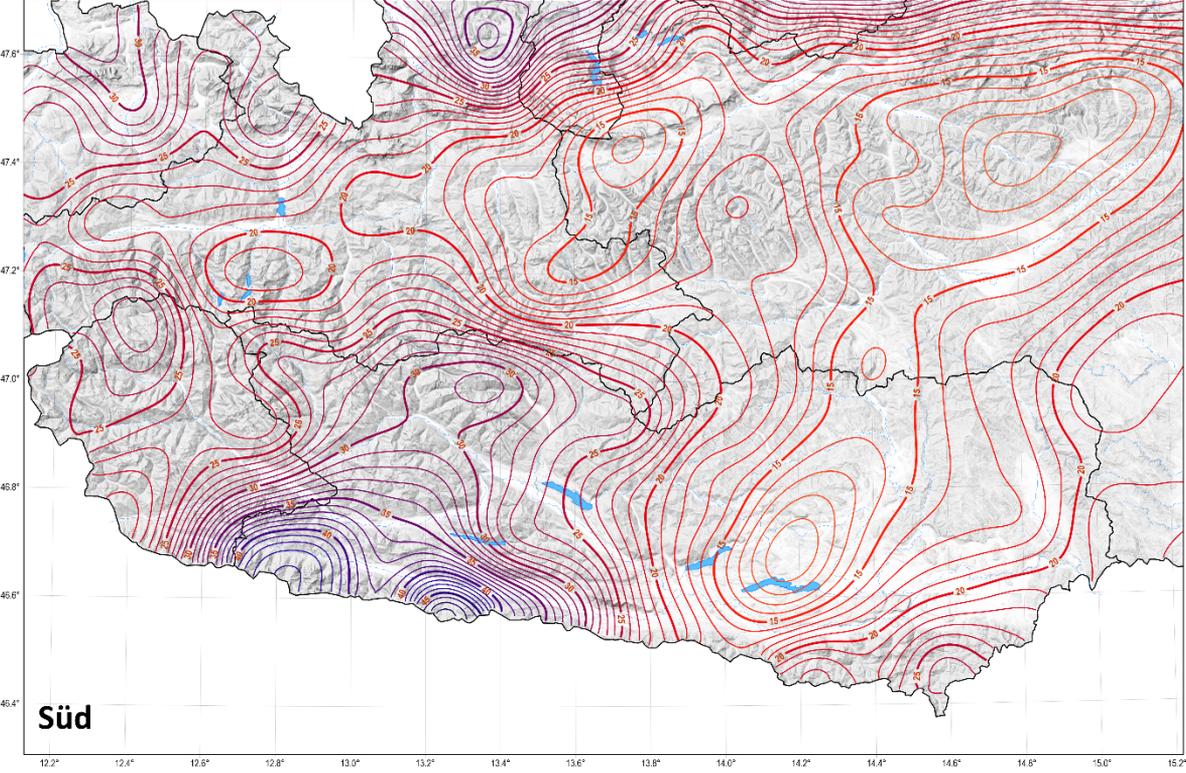
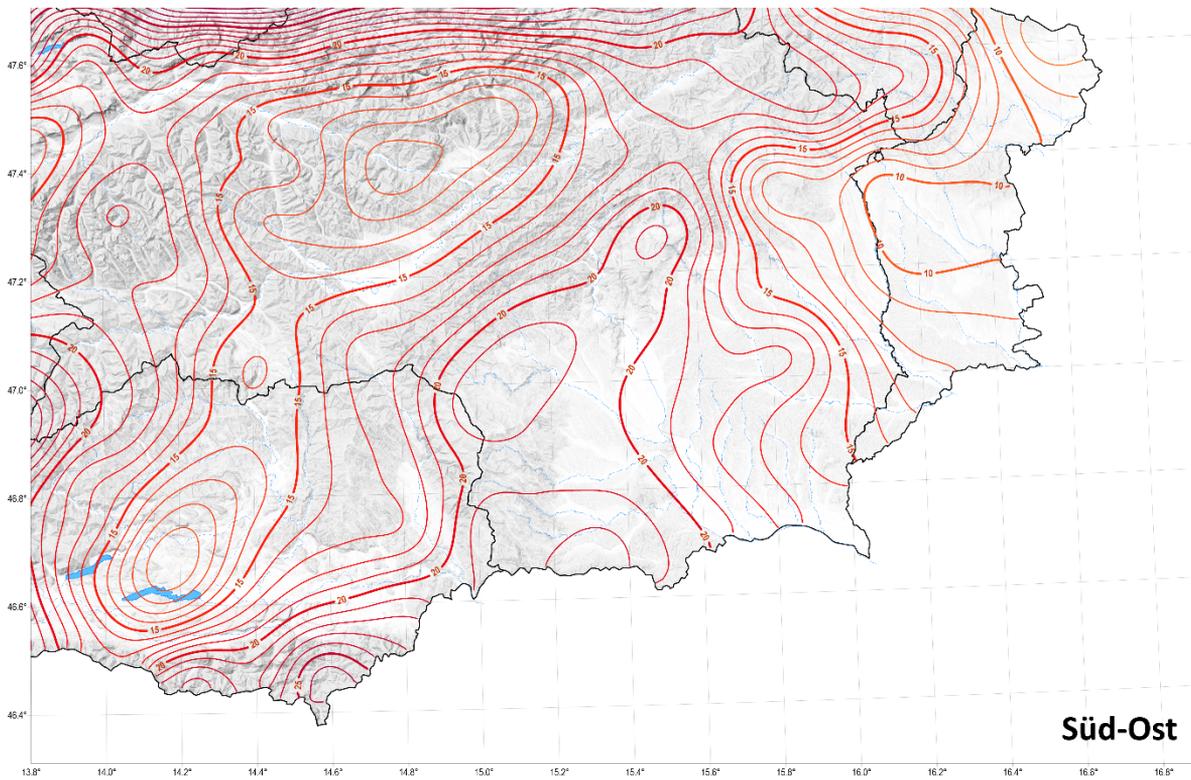


Abbildung 19: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Süd-Ost.



Die folgenden Karten zeigen die Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 sowie im Hintergrund regionalisierte Werte als Isolinien. Bei der Bearbeitung wird t_0 auf Basis der t_0 Werte in nahe gelegenen, hydrologisch ähnlichen Pegeleinzugsgebieten und der interpolierten Isolinien am Flächenschwerpunkt des untersuchten Einzugsgebietes festgelegt. Zur einfacheren Anwendung stehen auf der Website des zuständigen Bundesministeriums Shape-Files zum Download zur Verfügung.

Abbildung 20: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt West.

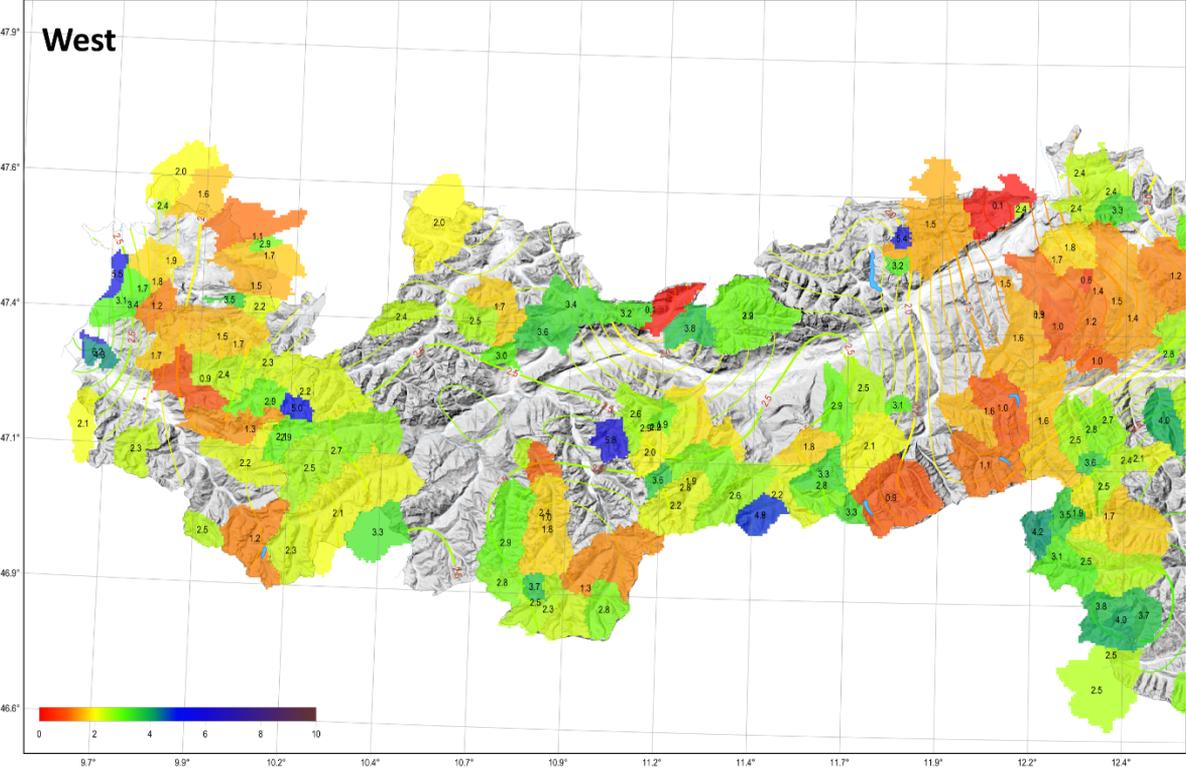


Abbildung 21: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Nord.

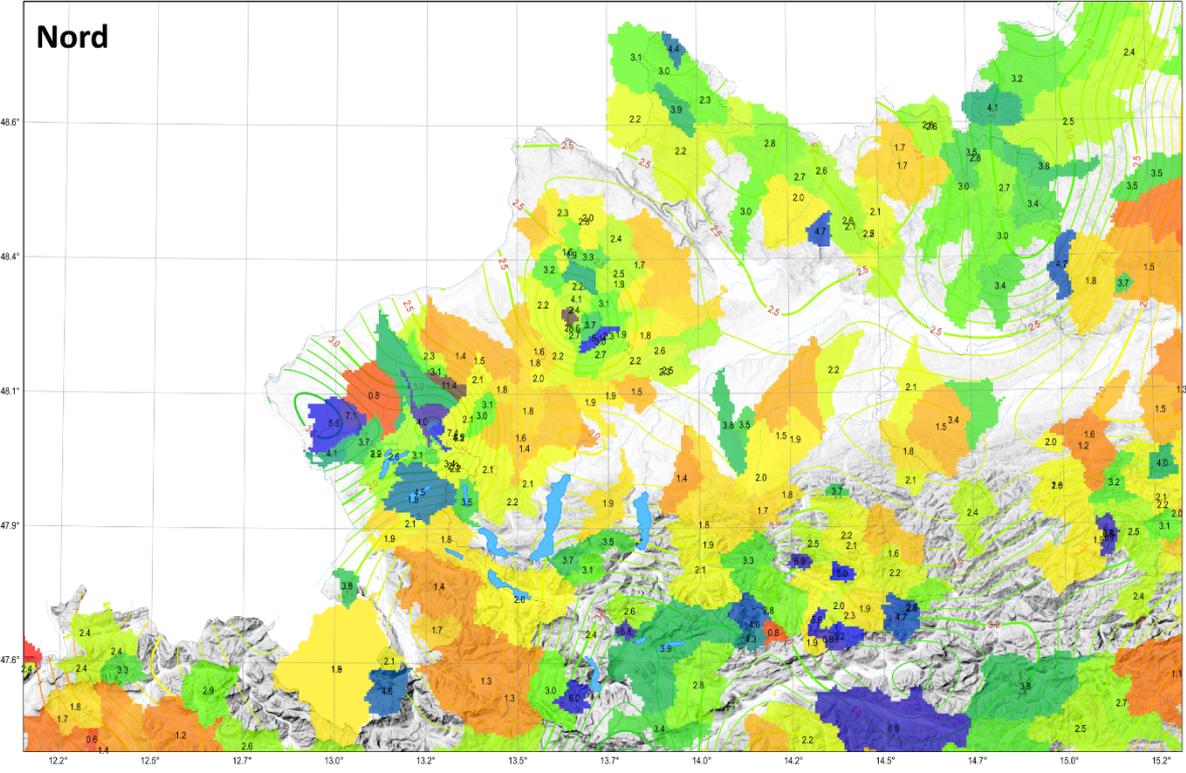


Abbildung 22: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Nord-Ost.

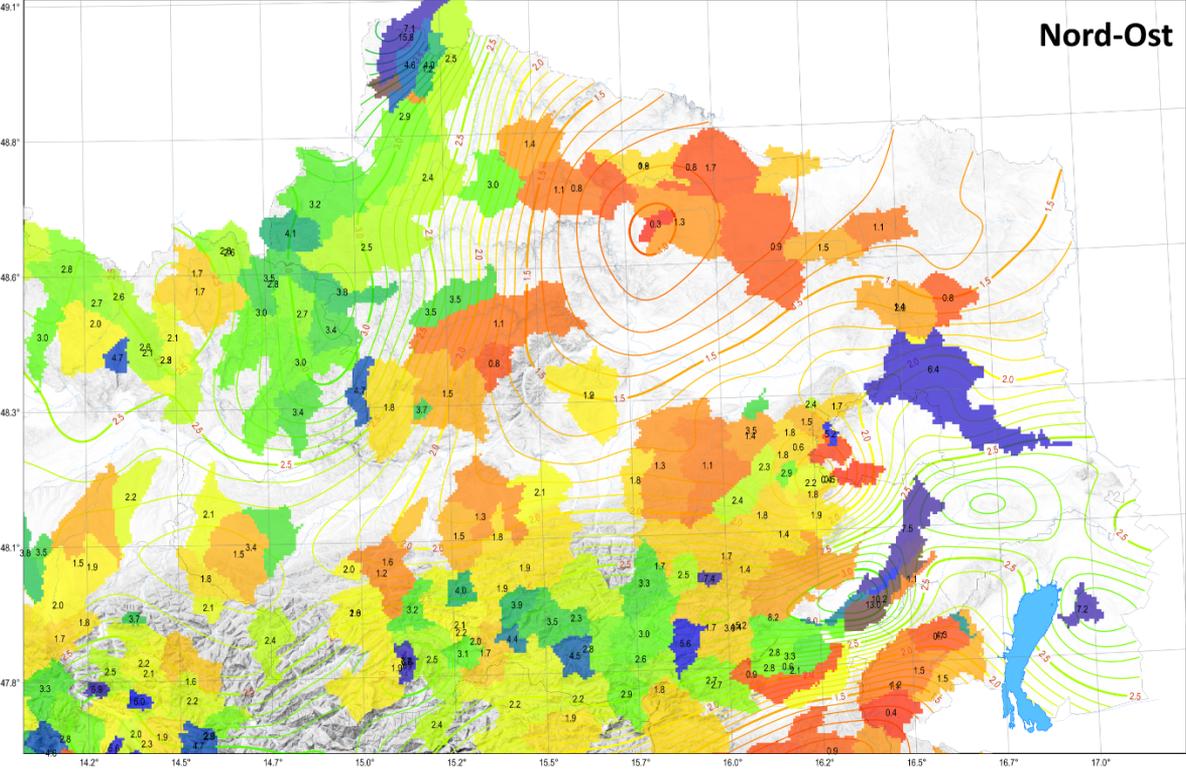


Abbildung 23: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Süd.

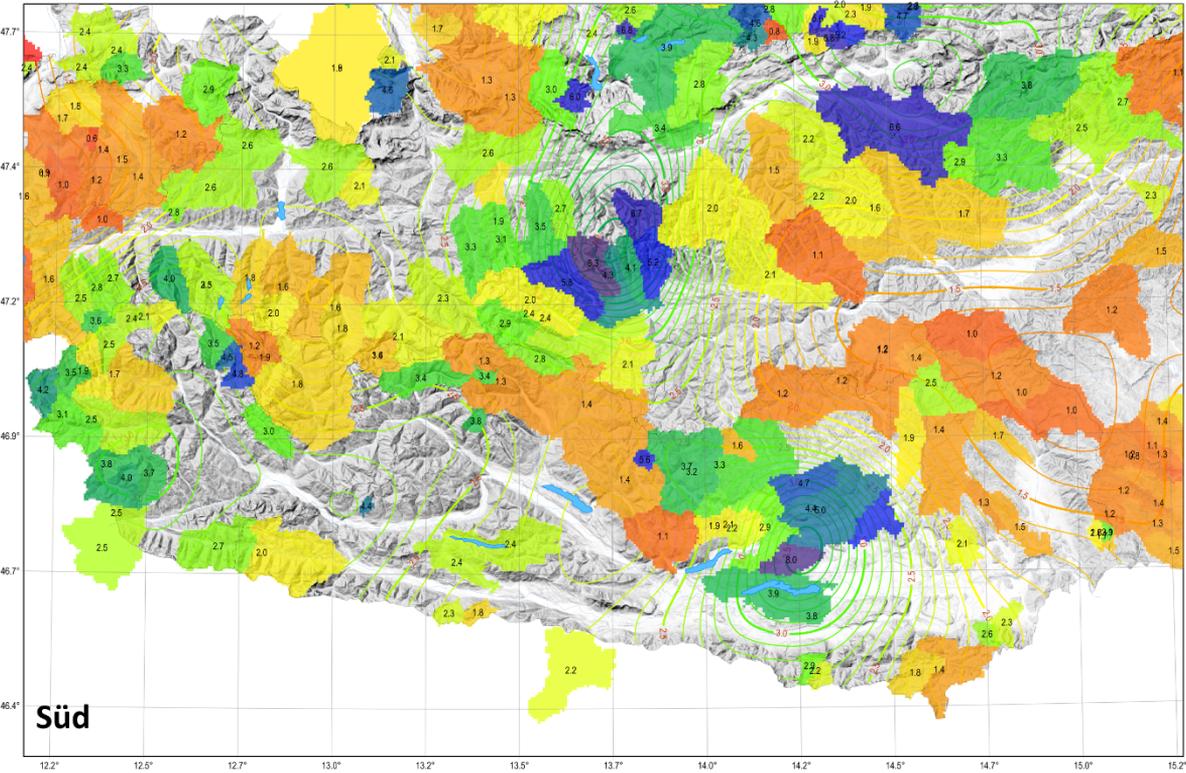
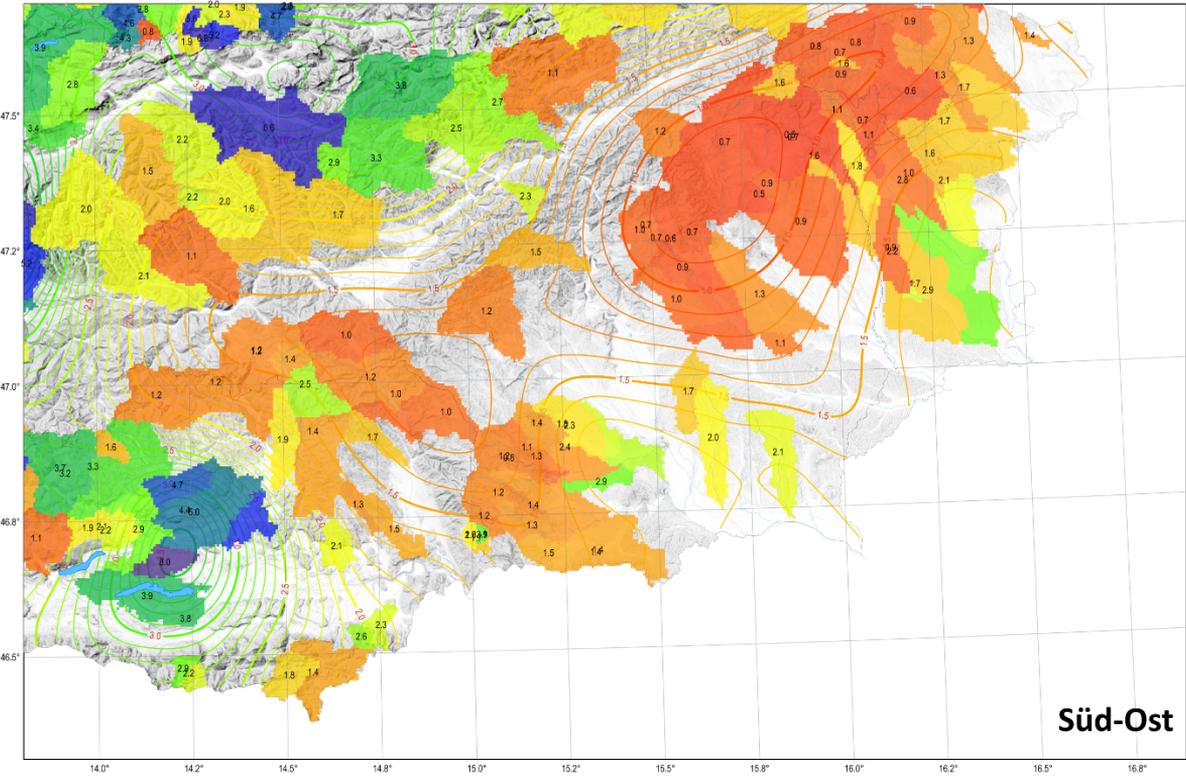


Abbildung 24: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Süd-Ost.



Anhang C: Beschreibung der Methode bei der Ermittlung der c Parameter und t_0

Die Basis für das abgekürzte Verfahren bilden regionalisierte Testwerte BHQ^* (m^3/s) des Hochwasserabflusses, die man über die folgende Formel erhält:

$$BHQ^* = c \cdot A^{0,6} + \Sigma Q_{BL} \quad (\text{Gl. 2.1.1})$$

Als Einzugsgebietsfläche A ist das natürliche Einzugsgebiet der Stauanlage zu wählen. Die Summe der Zuflüsse aus den Beileitungen ΣQ_{BL} ist zu addieren, wenn diese im Hochwasserfall nicht gesichert rechtzeitig abgekehrt werden können, ansonsten ist $\Sigma Q_{BL} = 0$.

Die Ermittlung der c Parameter folgt der Vorgangweise des entsprechenden Leitfadens aus dem Jahr 2009 (BMLFUW, Österreichische Staubeckenkommission, TU Wien, 2009). Ausgangspunkt ist das HQ_{100} . Der c Parameter berücksichtigt zusätzlich zwei Aspekte. Der erste ist die relative Vergrößerung des Hochwasserabflusses bei Übergang von einer Jährlichkeit von 100 Jahren auf 5.000 Jahre. Entsprechend der Definition des Bemessungshochwassers wird auch für den Testwert BHQ^* eine Jährlichkeit von 5000 Jahren angesetzt. Der zweite Aspekt ist die mit der regionalen Übertragung verbundene hydrologische Unschärfe, die sich aus dem lokalen hydrologischen Verhalten sowie aus etwaigen Klimaschwankungen in den nächsten Jahren ergibt. Die Analysen des Leitfadens aus dem Jahr 2009 hatten ergeben, dass die folgende Beziehung beide Aspekte abdeckt:

$$c = \delta \cdot (HQ_{100} \cdot A^{\beta-1} \cdot 100^{-\beta} + \gamma) \cdot 100^{\beta} \quad (\text{Gl. C.1})$$

mit HQ_{100} (m^3/s), A (km^2), $\beta = 0,4$, $\delta = 3,3$, $\gamma = 0,1 m^3 s^{-1} km^{-2}$.

Die Auswertungen hier unterscheiden sich vom Leitfaden aus dem Jahr 2009 nur durch Verwendung längerer und zusätzlicher Abflussreihen. Folgende Schritte wurden durchgeführt:

- Verwendung von Reihen der jährlichen Maximalwerte beobachteter Abflüsse für 607 Pegel in Österreich. Dabei handelt es sich um Pegel mit Einzugsgebieten zwischen 10 und 1.000 km^2 Fläche, und Reihen bis 2015, fallweise bis 2019. Pegel unterhalb großer Seen (z. B. Wolfgangsee, Wörthersee) wurden nicht verwendet.
- Berechnung des HQ_{100} für jeden Pegel auf Basis dieser Messwerte mittels Extremwerthydrologie, d. h. statistische Auswertungen erweitert in zeitlicher, räumlicher und kausaler Hinsicht (Merz und Blöschl, 2008). Die zeitliche Informationserweiterung

erfolgte durch Berücksichtigung historischer Hochwasserereignisse und Vergleich mit längeren Abflussreihen von Nachbargebieten; die räumliche Informationserweiterung durch Einschätzung der räumlichen Situation mittels Karten, Hochwasserspendendiagrammen und Längenschnitten; und die kausale Informationserweiterung durch einen Vergleich mit z. B. Niederschlag, Abflussbeiwerten, und der Lage von Rückhaltebecken und Seen im Gebiet. Diese Berechnung wurde im Rahmen des HORA 3.0 Projektes durchgeführt.

- Bestimmung des c Parameters gemäß Gl. C.1 für jeden Pegel.
- Räumliche Interpolation von $\ln(c)$ mittels Ordinary Kriging unter Verwendung der Gebietsschwerpunkte als Bezugskordinate auf einem Quadratraster.
- Rücktransformation von $\ln(c)$ auf c für jeden Rasterpunkt und Darstellung als Isolinien.

Zur Abschätzung der Speicherretention wird empfohlen, eine dreiecksförmige Zuflusswelle zu wählen, deren Scheitel gleich dem BHQ^* gewählt wird und deren Anstiegszeit t_A (h) folgendermaßen ermittelt wird:

$$t_A = t_0 \cdot A^{0,35} \quad (\text{Gl. 2.1.2})$$

A (km²) ist die natürliche Einzugsgebietsfläche.

Die Ermittlung des Wertes für t_0 zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle im abgekürzten Verfahren folgt der Vorgangweise des entsprechenden Leitfadens aus dem Jahr 2009 (BMLFUW, Österreichische Staubeckenkommission, TU Wien, 2009) und wurde aus Pegelbeobachtungen des Abflusses abgeleitet. Verwendet wurden Messwerte der Jahreshöchsthochwässer für 611 Pegeleinzugsgebiete Österreichs mit einer Fläche zwischen 5 bis 500 km² und einer Beobachtungsdauer von ca. 40 Jahren. Zusätzlich wurden für die gleichen Gebiete und den gleichen Zeitraum Messwerte der mittleren täglichen Abflüsse verwendet.

Zur Charakterisierung der zeitlichen Dynamik der Jahreshochwässer wurde aus den Hochwasser- bzw. Abflussdaten das Verhältnis zwischen Scheitelabfluss der Hochwasserwelle und dem mittleren täglichen Abfluss Q_m an dem Tag, an dem der Scheitelabfluss aufgetreten ist, berechnet. Für langsam reagierende Gebiete ist dieses Verhältnis geringfügig größer als 1, während es für schnell reagierende Gebiete wesentlich größer als 1 ist. Aus diesem Verhältnis wurde die Anstiegszeit wie folgt abgeleitet. Es wurde angenommen, dass sich die Hochwasserwelle durch den Ausfluss $Q(t)$ eines Linearspeichers mit einer Zeitkonstante t_A' zufolge eines konstanten Niederschlagsblockes mit der Dauer t_A' beschreiben lässt.

$$Q(t) = \mu \cdot (1 - e^{-t/t'_A}) \quad t < t'_A$$

$$Q(t) = Q(t'_A) \cdot e^{-\frac{t-t'_A}{t'_A}} \quad t \geq t'_A$$

(Gl. C.2)

wobei μ eine Konstante und $Q(t'_A)$ der Scheitelwert dieser Welle ist. Das dieser Welle entsprechende Verhältnis zwischen Scheitelwert und mittlerem Tagesabfluss Q_m wurde durch Integration von Gl. C.2 bestimmt:

$$\frac{Q(t'_A)}{Q_m} = \frac{(1 - e^{-1}) \cdot H}{t'_A \left(1 - (1 - e^{-1}) \cdot e^{-\frac{H/2}{t'_A}} \right)} \quad t'_A \leq H/2$$

$$\frac{Q(t'_A)}{Q_m} = \frac{(1 - e^{-1}) \cdot H}{\frac{H}{2} + t'_A \left(1 - e^{-\frac{H/2 - t'_A}{t'_A}} - (1 - e^{-1}) \cdot e^{-\frac{H/2}{t'_A}} \right)} \quad t'_A > H/2$$

(Gl. C.3)

wobei H die Bezugszeit der mittleren Tagesabflüsse, also 24 Stunden, ist. Das Verhältnis in Gl. C.3 wurde nun dem aus den Abflussdaten abgeleiteten Verhältnis gleichgesetzt. Sodann wurde die Anstiegszeit t'_A durch Invertieren von Gl. C.3 iterativ für jedes Jahreshochwasser in allen Pegelinzugsgebieten ermittelt. Um einen repräsentativen Wert für jedes Gebiet zu erhalten, wurde der Median t_A der Anstiegszeiten t'_A der n Einzeljahre gebildet. Um die Flächenabhängigkeit der mittleren Anstiegszeit t_A zu berücksichtigen, wurde diese auf die Einzugsgebietsfläche A (km²) folgendermaßen bezogen:

$$t_0 = t_A \cdot A^{-0,35}$$

(Gl. C.4)

Der Exponent von -0,35 entspricht der typischen Flächenabhängigkeit von dynamischen Kenngrößen von Hochwasserwellen (Melone et al., 2002). t_0 ist in der Karte in Abbildung 1 für jedes Pegelinzugsgebiet dargestellt, wobei bei ineinander liegenden Gebieten die Werte der kleinen Gebiete auf denen der großen Gebiete eingetragen wurden. Zusätzlich wurden diese Werte mittels Ordinary Kriging unter Verwendung der Gebietsschwerpunkte als Bezugscoordinate auf einen Quadratraster interpoliert und als Isolinien in Anhang B dargestellt. Für die Anwendung sind sowohl die Werte der Einzelgebiete als auch die Isolinien heranzuziehen (siehe Anhang B).

Anhang D: Beschreibung des Excel Pakets Hochwasserstatistik und Gradex

Das auf der Website des zuständigen Bundesministeriums zur Verfügung gestellte Excel Paket dient zur Ermittlung des Hochwasserabflusses einer bestimmten Jährlichkeit für eine Pegelstelle auf Basis beobachteter jährlicher Reihen des Hochwasserabflusses. Zusätzlich beinhaltet es das Gradex-Verfahren, das den Hochwasserabfluss einer bestimmten Jährlichkeit auf Basis beobachteter jährlicher Reihen des Hochwasserabflusses und der maximalen jährlichen Tagesniederschläge berechnet. Im Folgenden eine kurze Beschreibung der Schritte:

Öffnen des Excel Files. Wenn erforderlich, Makros aktivieren. File öffnet sich im Reiter „TUW“.

Schritt 1: Eingabe der HQ (maximaler jährlicher Abfluss) (m³/s) in Spalte B statt der vorgegebenen Daten Zwettl Bahnbrücke. Das Datum (Spalte A) kann zur Information eingegeben werden, wird aber nicht verwendet.

Schritt 1a: Alternativ können die HQ im eHYD Format (Q-Monatsmaxima auf ehyd.gv.at) durch Klicken des gelben Feldes importiert werden. Jahreswerte werden automatisch extrahiert.

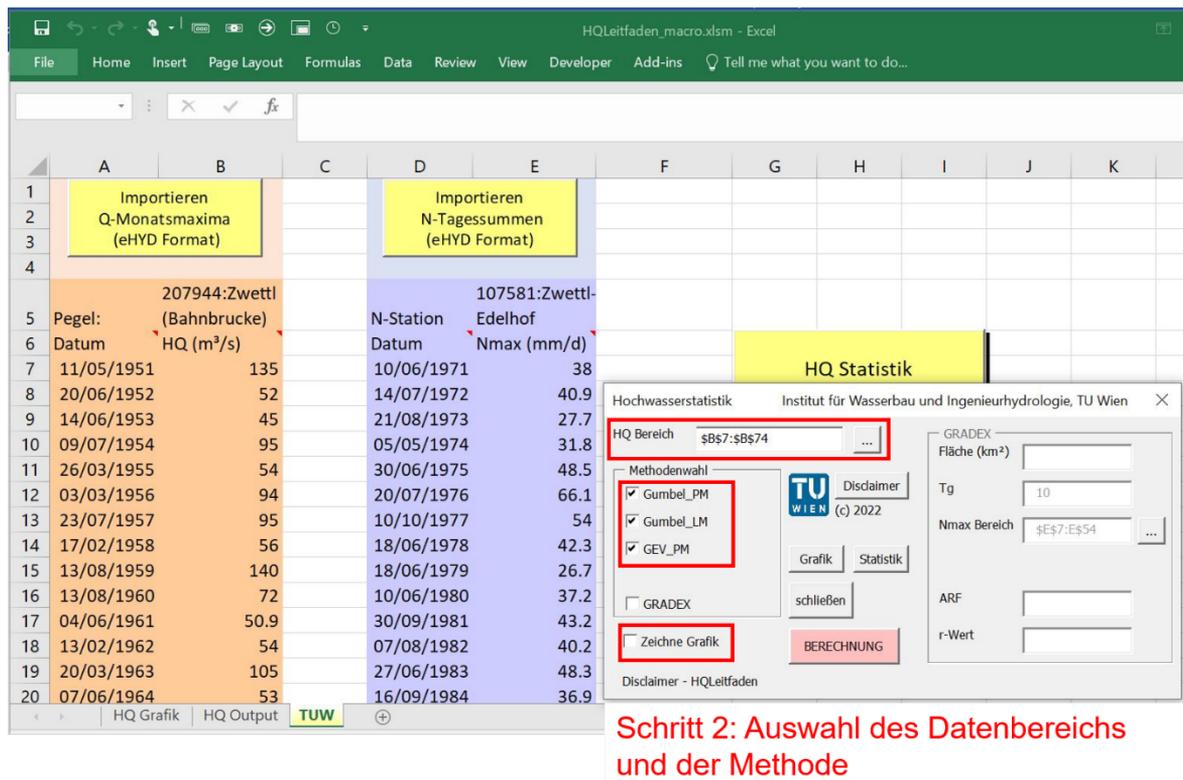
Abbildung 25: Beispiel-Screenshot für Schritt 1 bzw. 1a.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Importieren		Importieren							
2		Q-Monatsmaxima		N-Tagessummen							
3		(eHYD Format)		(eHYD Format)							
4											
5		207944:Zwettl		107581:Zwettl-							
6		Pegel:		N-Station	Edelhof						
7		(Bahnbrücke)		Datum	Nmax (mm/d)						
8		HQ (m ³ /s)									
9	11/05/1951	135		10/06/1971	38						
10	20/06/1952	52		14/07/1972	40.9						
11	14/06/1953	45		21/08/1973	27.7						
12	09/07/1954	95		05/05/1974	31.8						
13	26/03/1955	54		30/06/1975	48.5						
14	03/03/1956	94		20/07/1976	66.1						
15	23/07/1957	95		10/10/1977	54						
16	17/02/1958	56		18/06/1978	42.3						
17	13/08/1959	140		18/06/1979	26.7						
18	13/08/1960	72		10/06/1980	37.2						
19	04/06/1961	50.9		30/09/1981	43.2						
20	13/02/1962	54		07/08/1982	40.2						
21	20/03/1963	105		27/06/1983	48.3						

Schritt 1: Eingabe der Hochwasserwerte

Schritt 2: Auswahl des Datenbereichs und der Methode: Klicken des gelben Feldes „HQ Statistik“. Im Auswahlfenster den Bereich für die HQ Daten auswählen (Spalte B, Zeilen je nach Länge der Reihe, sowie die Verteilung (Gumbel oder AEV) und die Schätzmethode (Produktmomente, PM oder L-Momente LM) auswählen. Zeichne Grafik auswählen. „BERECHNUNG“ klicken.

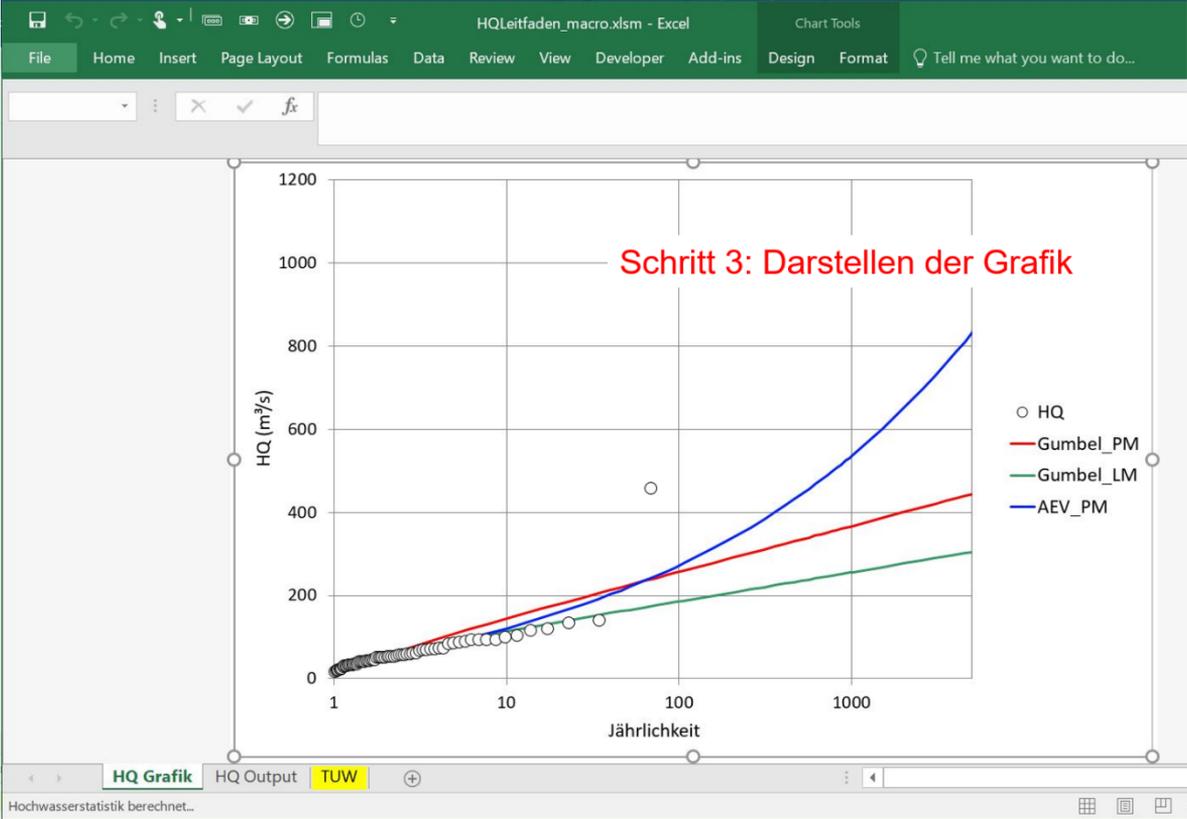
Abbildung 26: Beispiel-Screenshot für Schritt 2.



Schritt 2: Auswahl des Datenbereichs und der Methode

Schritt 3: Darstellung der Grafik im Reiter „HQ Grafik“. Die Grafik kann wie in Excel üblich verändert werden.

Abbildung 27: Beispiel-Screenshot für Schritt 3.



Schritt 4: Ablesen der Ergebnisse der Extremwertstatistik: Im Reiter „HQ Output“

Abbildung 28: Beispiel-Screenshot für Schritt 4.

Jährlichkeit	HQ_GUMBEL_PM (m³/s)	HQ_GUMBEL_LM (m³/s)	HQ_AEV_PM (m³/s)	HQ_GRADEX (m³/s)	N_GRADEX (mm/d)	N_GRADEX (m²/s)
2	64.95	63.76	56.25			
5	108.93	91.73	88.73			
10	144.75	114.51	121.24			
20	179.11	136.36	158.62			
30	198.88	148.93	183.34			
50	223.59	164.65	218.01			
100	256.92	185.84	272.39			
200	290.13	206.96	336.75			
300	309.52	219.29	379.78			
500	333.93	234.82	440.47			
1000	367.05	255.87	536.03			
2000	400.14	276.92	649.41			
3000	419.50	289.23	725.30			
5000	443.89	304.74	832.38			
10000	476.98	325.79	1001.07			

Schritt 5: Eingabe der Niederschläge für Gradex (maximale jährliche Tageswerte) (mm/d) in Spalte E statt der vorgegebenen Daten Zwettl-Edelhof. Das Datum (Spalte D) kann zur Information eingegeben werden, wird aber nicht verwendet.

Schritt 5a: Alternativ können die Niederschläge im eHYD Format (N-Tagessummen auf ehyd.gv.at) importiert werden durch Klicken des gelben Feldes. Jahreswerte werden automatisch extrahiert.

Abbildung 29: Beispiel-Screenshot für Schritt 5 bzw. 5a.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Importieren Q-Monatsmaxima (eHYD Format)			Importieren N-Tagessummen (eHYD Format)							
2											
3											
4											
5	Pegel:	207944:Zwettl (Bahnbrücke)		N-Station	107581:Zwettl-Edelhof						
6	Datum	HQ (m³/s)		Datum	Nmax (mm/d)						
7	11/05/1951	135		10/06/1971	38						
8	20/06/1952	52		14/07/1972	40.9						
9	14/06/1953	45		21/08/1973	27.7						
10	09/07/1954	95		05/05/1974	31.8						
11	26/03/1955	54		30/06/1975	48.5						
12	03/03/1956	94		20/07/1976	66.1						
13	23/07/1957	95		10/10/1977	54						
14	17/02/1958	56		18/06/1978	42.3						
15	13/08/1959	140		18/06/1979	26.7						
16	13/08/1960	72		10/06/1980	37.2						
17	04/06/1961	50.9		30/09/1981	43.2						
18	13/02/1962	54		07/08/1982	40.2						
19	20/03/1963	105		27/06/1983	48.3						
20	07/06/1964	53		16/09/1984	36.9						

Schritt 5: Eingabe der Niederschläge

Schritt 6: Auswahl des Datenbereichs der Niederschläge und der Parameter für Gradex: Klicken des gelben Feldes „HQ Statistik“. Im Auswahlfenster „GRADEX“ und „Zeichne Grafik“ auswählen. Den Bereich für die Niederschlagsdaten auswählen (Spalte E, Zeilen je nach Länge der Reihe), und die Einzugsgebietsfläche (km²), die Jährlichkeit T_g ab der Sättigung des Gebietes angenommen werden kann, den Flächenabminderungsfaktor ARF für den Niederschlag, und den r -Wert (ein Parameter, der die Form der Hochwasserwelle beschreibt) eingeben. Der r -Wert ist womöglich aus beobachteten Abflussdaten großer Hochwasserereignisse im Gebiet zu bestimmen, anderenfalls aus Abflussdaten vergleichbarer Nachbargebiete. Die Bezugsdauer H ist ein Tag, da Tageswerte des Niederschlags verwendet werden. „BERECHNUNG“ klicken.

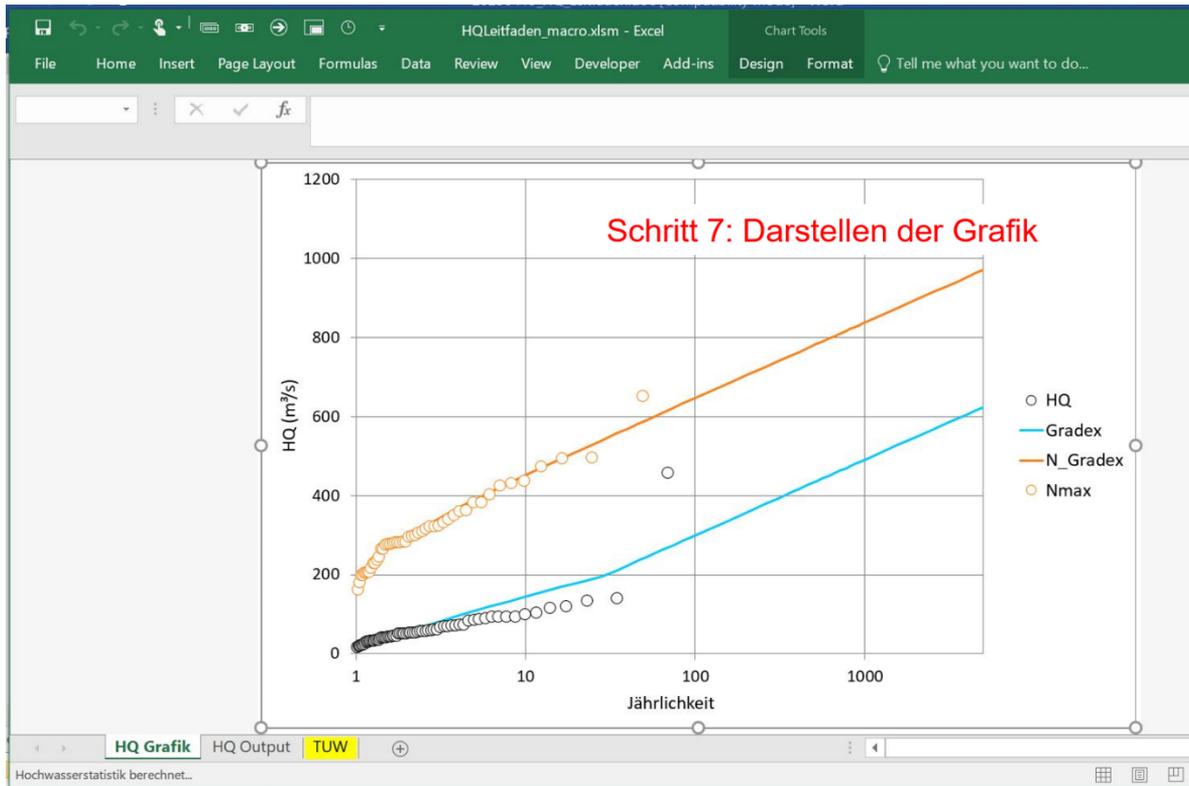
Abbildung 30: Beispiel-Screenshot für Schritt 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
5	Pegel:	207944:Zwettl (Bahnbrücke)		N-Station	107581:Zwettl- Edelhof							
6	Datum	HQ (m ³ /s)		Datum	Nmax (mm/d)							
7	11/05/1951	135		10/06/1971	38							
8	20/06/1952	52		14/07/1972	40.9							
9	14/06/1953	45		21/08/1973	27.7							
10	09/07/1954	95		05/05/1974	31.8							
11	26/03/1955	54		30/06/1975	48.5							
12	03/03/1956	94		20/07/1976	66.1							
13	23/07/1957	95		10/10/1977	54							
14	17/02/1958	56		18/06/1978	42.3							
15	13/08/1959	140		18/06/1979	26.7							
16	13/08/1960	72		10/06/1980	37.2							
17	04/06/1961	50.9		30/09/1981	43.2							
18	13/02/1962	54		07/08/1982	40.2							
19	20/03/1963	105		27/06/1983	48.3							
20	07/06/1964	53		16/09/1984	36.9							
21	07/06/1965	62		06/08/1985	63.3							

Schritt 6: Auswahl des Datenbereichs der Niederschläge und der Parameter für Gradex

Schritt 7: Darstellung der Grafik im Reiter „HQ Grafik“. Die Grafik kann wie in Excel üblich verändert werden.

Abbildung 31: Beispiel-Screenshot für Schritt 7.



Schritt 8: Ablesen der Ergebnisse der Gradex-Methode: Im Reiter „HQ Output“.

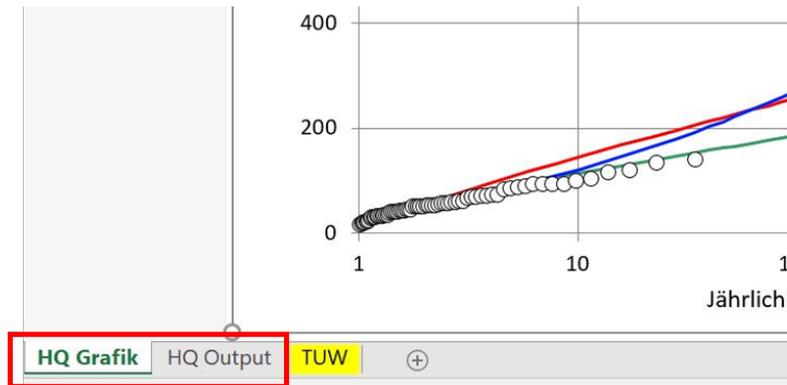
Abbildung 32: Beispiel-Screenshot für Schritt 8.

Jährlichkeit	HQ_GUMBEL_PM (m³/s)	HQ_GUMBEL_LM (m³/s)	HQ_AEV_PM (m³/s)	HQ_GRADEX (m³/s)	N_GRADEX (mm/d)	N_GRADEX (m³/s)
2				64.95	41.86	313.39
5				108.93	52.06	389.79
10				144.75	60.37	452.02
20				179.11	68.35	511.71
30				198.88	72.93	546.05
50				241.81	78.67	588.97
100				299.70	86.40	646.87
200				357.39	94.10	704.55
300				391.08	98.60	738.25
500				433.49	104.27	780.66
1000				491.01	111.95	838.18
2000				548.51	119.63	895.68
3000				582.14	124.12	929.31
5000				624.50	129.78	971.67
10000				681.99	137.46	1029.15

Schritt 8: Ablesen der Ergebnisse

Schritt 9: Umbenennen der Reiter. Eine neue Berechnung (z. B. mit anderen Gradex-Parametern) überschreibt die Werte in den Reitern „HQ Grafik“ und „HQ Output“. Durch Umbenennen der Reiter kann das Überschreiben vermieden werden, und dadurch ist es möglich, mehrere Varianten im Excel File zu speichern. Das Excel File kann wie üblich gespeichert werden.

Abbildung 33: Beispiel-Screenshot für Schritt 9.



Schritt 9: Umbenennung der Reiter

Disclaimer: Das vorliegende Excel File wird von der TU Wien zur Verfügung gestellt und ist Teil des Leitfadens zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren. Die Benutzung erfolgt auf eigene Verantwortung. Die TU Wien kann keinerlei Haftung übernehmen, die sich aus der Benutzung des Excel Files und der Ergebnisse ergibt. (c) 2022

Anhang E: Abkürzungen der Variablen und Konstanten

Symbol, Bezeichnung	Maßeinheit	Erläuterung
a	[-]	Parameter für die Ermittlung des Wellenaufbaus nach Pohl (Kap. 3.4.4.2)
a	[-]	Faktor für die Ermittlung von SHQ nach dem abgekürzten Verfahren (Kap. 2.1.2)
A	[km ²]	Einzugsgebietsfläche
a_i	[-]	Spektralfaktoren für die Ermittlung des Wellenaufbaus
a_i^*	[-]	Variable für die Ermittlung der Spektralfaktoren
ARF	[-]	Flächenabminderungsfaktor des Niederschlags
B	[-]	Hilfsvariable für die Ermittlung des Wellenaufbaus
BHQ^*	[m ³ /s]	Regionalisierte Testwerte des Hochwasserabflusses, Bemessungshochwasser nach dem abgekürzten Verfahren
c	[m ³ s ⁻¹ km ^{-1,2}]	Parameter in Abbildung 1 für die Ermittlung von BHQ und SHQ nach dem abgekürzten Verfahren
C	[-]	Parameter für die Ermittlung des Wellenaufbaus nach Pohl
CN	[-]	Curve Number für die Abflussbildung
\bar{d}	[m]	Mittlere Wassertiefe im Staubecken
D	[min]	Dauerstufe
\bar{d}_i	[m]	Mittlere Wassertiefe im Sektor i
d_i^*	[-]	Variable für die Ermittlung der mittleren partiellen Wellenhöhe für Sektor i
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
H	[h]	Bezugsdauer
$h_{Au,x\%}$	[m]	Wellenaufbauhöhe mit x % Überschreitungswahrscheinlichkeit
$h_{Au,x\%,brandend}$	[m]	Wellenaufbauhöhe für brandende Wellen mit x % Überschreitungswahrscheinlichkeit
$h_{Au,x\%,schwingend}$	[m]	Wellenaufbauhöhe für schwingende Wellen mit x % Überschreitungswahrscheinlichkeit
h_N	[mm/h]	Niederschlagsintensität
h_i^*	[-]	Variable für die Ermittlung der mittleren partiellen Wellenhöhe für Sektor i

Symbol, Bezeichnung	Maßeinheit	Erläuterung
HQ_{100}	[m ³ /s]	Regionalisierter hundertjähriger Hochwasserabfluss
Hq_{5000}	[m ³ /s.km ²]	Hochwasserspense mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P_{\bar{u}}(\text{BHQ}) = 2 \cdot 10^{-4}$, entsprechend einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren
$HQ_{5000} = \text{BHQ}$	[m ³ /s]	Hochwasserscheitelabfluss mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P_{\bar{u}}(\text{BHQ}) = 2 \cdot 10^{-4}$, entsprechend einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren
Hq_{\max}	[m ³ /s.km ²]	Maximalwert der beobachteten Scheitelabflussspenden
\bar{h}_{We}	[m]	Mittlere Wellenhöhe
$\bar{h}_{We,i}$	[m]	Mittlere partielle Wellenhöhe
$h_{We,x\%}$	[m]	Wellenhöhe mit x % Überschreitungswahrscheinlichkeit
h_{Wi}	[m]	Windstau
i	[mm]	Effektivniederschlag (Kap. 2.2.1.4)
i	[-]	Index, Numerierung von Elementen (Kap. 3.4.4.1)
k	[m/s ²]	Empirische Konstante für die Ermittlung des Windstaus
$k_{1,\dots,n}$	[h]	Speicherkoeffizient
$k_D \cdot k_R$	[-]	Beiwert für das Produkt von Rauheit und Durchlässigkeit der Böschungsoberfläche
$k_{h_{We}}$	[-]	Faktor zur Berechnung der Wellenhöhe mit x% Überschreitungswahrscheinlichkeit aus der mittleren Wellenhöhe \bar{h}_{We}
k_x	[-]	Koeffizient nach Battjes zur Berücksichtigung der Überschreitungswahrscheinlichkeit des Wellenauflaufes
\bar{l}_{We}	[m]	Mittlere Wellenlänge
m	[-]	Rangordnung für die Ermittlung der scheinbaren Jährlichkeiten (Kap. 2.2.1.2)
m	[-]	Zahl der Sektoren für die Ermittlung der Wellenkennwerte (Kap. 3.4.4.1)
M	[-]	Anzahl der Werte für die Ermittlung der scheinbaren Jährlichkeiten (Kap. 2.2.1.2)
n	[-]	Speicheranzahl (Kap. 2.2.1.4)
n	[-]	Böschungsneigung (Kap. 3.4.4)

Symbol, Bezeichnung	Maßeinheit	Erläuterung
n	[-]	Anzahl der Verschlüsse (Kap. 3.6, 3.8, 3.9)
N	[mm]	Niederschlag
N_{100}	[mm]	Ereignisniederschlag mit $T = 100$ Jahren
N_G	[mm]	Gebietsniederschlag
N_P	[mm]	Punktniederschlag
P	[-]	Anteil der schwingenden Wellen, nach Pohl (Kap. 3.4.4.2)
$P_{\bar{u}}$	[-]	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit
Q	[m ³ /s]	Abfluss
Q_A	[m ³ /s]	Speicherausfluss
Q_{BL}	[m ³ /s]	Summe der Abflüsse aus den Beileitungen
Q_m	[m ³ /s]	Mittlerer Abfluss
Q_s	[m ³ /s]	Scheitelabfluss
r	[-]	Parameter des GRADEX-Verfahrens
R	[-]	Reflexionskoeffizient
S	[m], [km]	Maximale Streichlänge des Windes über die Stauoberfläche, Windwirklänge
S_i	[m ³]	Speicher (Kap. 2.2.1.4)
S_i	[m], [km]	Streichlänge des Windes über die Stauoberfläche, Windwirklänge (Kap. 3.4.4.1)
S_i^*	[-]	Variable für die Ermittlung der mittleren partiellen Wellenhöhe
t	[s], [h]	Zeit
T	[a]	Jährlichkeit
t_0	[h.km ^{-0,7}]	Parameter aus der Karte in Abbildung 1 und Anhang B für die Ermittlung der Anstiegszeit t_A
t_A	[h]	Anstiegszeit der Zuflusswelle
T_e	[a]	Scheinbare Jährlichkeit
T_g	[a]	Jährlichkeit ab der die Sättigung des Gebietes angenommen wird für das GRADEX Verfahren
\bar{T}_{We}	[s]	Mittlere Wellenperiode
W	[m]	Wasserspiegelhöhe

Symbol, Bezeichnung	Maßeinheit	Erläuterung
w_{10}	[m/s]	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
x	[%]	Maß für die Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Berechnung der $h_{We,x\%}$ (Kap. 3.4.4.1)
x	[%]	Maß für die Überschreitungswahrscheinlichkeiten x (%) des Wellenauflaufes in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp (Kap. 3.4.4.2)
α	[$m^3 s^{-1} km^{\beta-2}$]	Multiplikator der Ausgleichsfunktion für die Berechnung der 5000 jährlichen Spende (Kap. 2.2.1.3)
α	[rad], [°]	Böschungswinkel (Kap. 3.4.4.2)
β	[-]	Exponent der Ausgleichsfunktion für die Berechnung der 5.000 jährlichen Spende (Kap. 2.2.1.3)
β	[°]	Winkel zwischen der maßgebenden Windrichtung und der angesetzten Streichlänge (Kap. 3.4.3)
β	[-]	Parameter für die Ermittlung von c (Anhang C)
γ	[$km^{1,3}$]	Parameter für die Ermittlung des r -Wertes für das GRADEX Verfahren (Kap. 2.2.1.5)
γ	[$m^2 s^{-1} km^{-2}$]	Parameter für die Ermittlung von c (Anhang C)
δ	[-]	Parameter für die Ermittlung des r -Wertes für das GRADEX Verfahren (Kap. 2.2.1.5)
$\delta = 3,3$	[-]	Parameter für die Ermittlung von c (Anhang C)
θ_i	[°]	Winkel für die Ermittlung der Spektralfaktoren
κ	[min]	Exponent für die Ermittlung des Flächenabminderungsfaktors
μ	[mm]	Parameter für die Umrechnung des Niederschlags von einer Jährlichkeit $T=100$ auf $T=5.000$ Jahre
ρ	[-]	Korrelationskoeffizient
ν	[-]	Parameter für die Umrechnung des Niederschlags von einer Jährlichkeit $T=100$ auf $T=5.000$ Jahre
ξ_1, ξ_2	[-]	Gewichte für die Aufteilung des Effektivniederschlags auf mehrere parallele Linearspeicher
ξ'	[-]	Parameter für die Ermittlung des Wellenaufbaus nach Pohl
ψ	[-]	Abflussbeiwert

Andere Abkürzungen

Bezeichnung	Erläuterung
AEV	Allgemeine Extremwertverteilung
BHQ	Bemessungshochwasser
DE	Doppelereignis
P	Maßgebender Punkt auf dem Absperrbauwerk zur Ermittlung der Windwellenwirkung (Kap. 3.4.4.1)
PMF	Probable Maximum Flood, Vermutlich größtes Hochwasser
RHHQ	Rechnerisch höchstes Hochwasser
SHQ	Sicherheitshochwasser

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl des abgekürzten bzw. detaillierten Verfahrens zur Bestimmung von BHQ und SHQ als Funktion des Errichtungszeitpunktes und der natürlichen Einzugsgebietsfläche (A).....	13
Tabelle 2: Informationsgehalt der einbezogenen Methoden (nach Gutknecht et al., 2006).....	19
Tabelle 3: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der lokalen Hochwasserstatistik.....	21
Tabelle 4: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der regionalen Hochwasserstatistik.....	24
Tabelle 5: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung der Niederschlag-Abflussmodellierung.....	29
Tabelle 6: Typische Niederschlag-Abflussmodelle zur Bestimmung des BHQ und des SHQ.	31
Tabelle 7: Erforderliche Datenbasis für die Anwendung des Gradex Verfahrens.	41
Tabelle 8: Kombinationen des Bemessungsniederschlags bzw. der Modellparameter für die Ermittlung des Sicherheitshochwassers.....	47
Tabelle 9: Überblick über Verfahren zur Ermittlung des Wellenauflaufes.....	54
Tabelle 10: Koeffizienten für das Produkt von Böschungsrauheit und Durchlässigkeit (Wagner, 1974).....	57
Tabelle 11: Überschreitungswahrscheinlichkeiten x (%) des Wellenauflaufes in Abhängigkeit vom Bauwerkstyp und die zugehörigen Koeffizienten nach Battjes (1974).	57
Tabelle 12: Nachweisbedingungen für das Bemessungshochwasser BHQ bzw. BHQ*.	63
Tabelle 13: Nachweisbedingungen für das Sicherheitshochwasser SHQ bzw. SHQ*.	64
Tabelle 14: Zuordnungsmatrix für das Gefährdungspotential (gering oder erheblich) bei Versagen von Stauanlagen.	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1.....	16
Abbildung 2: Anstiegszeit t_0 in Pegelzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2.	17
Abbildung 3: Verfahren zur Ermittlung des Bemessungsabflusses in Abhängigkeit von vorhandenen Beobachtungsunterlagen.	19
Abbildung 4: Beispiel für die Flächendifferenzierung eines alpinen Einzugsgebietes.....	30
Abbildung 5: Beispiele für die Modellstruktur.	32
Abbildung 6: Beispiel für die Extrapolation des eHYD Bemessungsniederschlags (grüne Punkte) auf eine Jährlichkeit $T = 5.000$. Gitterpunkt 2764 (Wien), Dauerstufe 60 min.	35
Abbildung 7: Beispiele für die zeitliche Verteilung des Bemessungsniederschlags. h_N ist die Niederschlagsintensität.	37
Abbildung 8: Bemessungsereignisse für den Dürnbergbach, Waldviertel. Einzugsgebietsfläche 4,5 km ² . Linke Abb.: N_{100} : gewählter Ereignisniederschlag für unterschiedliche Starkregendauer. Rechte Abb.: Bemessungsganglinien für jede Niederschlagsdauer (min).	38
Abbildung 9: Berechnung des r -Wertes als Verhältnis von Scheiteldurchfluß Q_s zu mittlerem Abfluss Q_m . H ist das Bezugszeitintervall.....	41
Abbildung 10: Vergleich der Ergebnisse nach den verschiedenen Methoden für zwei Stauanlagen.	44
Abbildung 11: Definitionsskizze für die Sicherheitskote für Staumauern (Neuanlagen)....	49
Abbildung 12: Definitionsskizze für die Sicherheitskote für (a) Staudämme mit Dichtungselement und (b) Staudämme mit Brüstungsmauer dicht an Dammdichtung angeschlossen und Oberflächendichtung (Neuanlagen)....	50
Abbildung 13: Der Nachweis ist für beide Lastfälle (BHQ und SHQ) zu erbringen: die Sicherheitskote muss mindestens so hoch liegen, dass sie die Summe aus Stauziel, maximale Überstauhöhe (BHQ bzw. SHQ), Wellenfreibord und eventuelle Zuschläge aufgrund gesondert identifizierter Risiken abdeckt..	52
Abbildung 14: Stauoberfläche und Streichlänge.....	55
Abbildung 15: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt West.	73
Abbildung 16: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Nord.	74

Abbildung 17: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Nord-Ost.....	75
Abbildung 18: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Süd.....	76
Abbildung 19: c Parameter zur Bestimmung des Testhochwassers BHQ* gemäß Gl. 2.1.1 – Österreich, Teilabschnitt Süd-Ost.....	77
Abbildung 20: Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt West.	78
Abbildung 21: Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Nord.	79
Abbildung 22: Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Nord-Ost.....	80
Abbildung 23: Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Süd.	81
Abbildung 24: Anstiegszeit t_0 in Pegeleinzugsgebieten zur Bestimmung der Basisdauer der Zuflusswelle gemäß Gl. 2.1.2 – Österreich, Teilabschnitt Süd-Ost.....	82
Abbildung 25: Beispiel-Screenshot für Schritt 1 bzw. 1a.	87
Abbildung 26: Beispiel-Screenshot für Schritt 2.....	88
Abbildung 27: Beispiel-Screenshot für Schritt 3.....	89
Abbildung 28: Beispiel-Screenshot für Schritt 4.....	90
Abbildung 29: Beispiel-Screenshot für Schritt 5 bzw. 5a.	91
Abbildung 30: Beispiel-Screenshot für Schritt 6.....	92
Abbildung 31: Beispiel-Screenshot für Schritt 7.....	93
Abbildung 32: Beispiel-Screenshot für Schritt 8.....	94
Abbildung 33: Beispiel-Screenshot für Schritt 9.....	95

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
Stubenring 1, 1010 Wien
bml.gv.at