

Diploma Thesis

Planning of flood retention basins

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Planung von Hochwasserrückhaltebecken

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Tamara Schuster, BSc

Matr.Nr.: 01325665

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Reinhard Prenner**

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/222, 1040 Wien, Österreich

Wien, im März 2020

Abstract

This diploma thesis deals with the planning of flood retention basins. Based on available literature, the different parts of the construction and the essential aspects for planning are discussed in more detail. These include, inter alia, the determination of the design flood and the evaluation of the economic efficiency. This work does not contain geotechnical aspects, the operation itself and existing legal framework.

Flood retention basins can be differentiated according to their location in relation to the water body, the period of the filling of the basin and possible control options. Each design variant exhibits different advantages and disadvantages which have to be considered in the course of planning. It has to be decided which variant should preferably be used on a case-by-case basis depending on the local circumstances and other relevant conditions.

The determination of the design flood plays a central role while planning. There are several possibilities to calculate this, whereby the existence of a representative and long data series is of crucial importance. In general, the basic population is not known and possible measurement errors of existing data must be considered. This results in a basic uncertainty of results. In addition, a complete prevention is not intended according to economic efficiency. As a result of these factors there is a residual risk. Consequently, a complete prevention is not possible.

The layout itself consists of a dam structure which defines the storage space, an outlet structure and a spillway. An inlet structure is required for flood retention basins in the bypass.

The design bases according to the Austrian Reservoir Panel have to be considered concerning the storage space. Furthermore DIN 19700 has three design cases which can be used. The first two design cases regard the assessment of the spillway and the verification of the system safety during extreme floods. The third design case addresses the assessment of the general flood retention area and is thus assigned to the degree of flood protection of the lower lying areas.

Control equipment has to be provided for an optimized operation. The minimum requirements include the measurement of the water level and the discharge as well as the measurement of the position of the control fittings. Flood retention basins can be operated uncontrolled, controlled for a constant release or via adaptive control. These options need to meet different requirements of the control equipment.

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Planung von Hochwasserrückhaltebecken. Ausgehend von vorhandener Literatur wird auf die unterschiedlichen Bauwerksteile sowie die für die Planung wesentlichen Aspekte näher eingegangen. Dazu gehören u.a. die Bestimmung des Bemessungshochwassers und die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. In dieser Arbeit nicht enthalten sind geotechnische Aspekte, der Betrieb selbst und die existierenden rechtlichen Rahmenbedingungen.

Hochwasserrückhaltebecken können nach ihrer Lage zum Gewässer, dem Befüllungszeitraum ihres Beckens und einer evtl. Steuerungsmöglichkeit unterschieden werden. Jede Ausführungsvariante weist verschiedene Vor- und Nachteile auf, die im Zuge der Planung zu berücksichtigen sind. Je nach örtlichen Gegebenheiten und sonstigen Rahmenbedingungen ist von Fall zu Fall zu entscheiden, welche Variante vorzugsweise eingesetzt werden soll.

Eine zentrale Rolle während der Planung spielt die Bestimmung des Bemessungshochwassers. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten dieses zu berechnen, wobei das Vorhandensein einer repräsentativen und langen Datenreihe von entscheidender Bedeutung ist. Grundsätzlich ist die Grundgesamtheit nicht bekannt und auch mögliche Messfehler von vorhandenen Daten sind zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich eine grundsätzliche Unsicherheit der Ergebnisse. Zusätzlich ist im Sinne der Wirtschaftlichkeit ein vollkommener Schutz nicht angestrebt. Aus diesen Faktoren ergibt sich ein verbleibendes Restrisiko. Ein vollkommener Schutz ist somit nicht möglich.

Die Anlage selbst besteht aus einem, durch ein Absperrbauwerk abgegrenzten, Stauraum, einem Auslassbauwerk und einer Hochwasserentlastungsanlage. Liegt ein Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss vor, ist ein Einleitungsbauwerk erforderlich.

Für den Stauraum sind die Bemessungsgrundlagen in Anlehnung an die Österreichische Stau-beckenkommission zu beachten. In der DIN 19700 finden sich außerdem drei Bemessungsfälle, die herangezogen werden können. Die ersten beiden Bemessungsfälle betrachten die Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage und den Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser und beziehen sich somit auf die Anlagensicherheit. Der dritte Bemessungsfall beschäftigt sich mit der Bemessung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteriums und ist somit dem Hochwasserschutzgrad für Unterlieger zugeordnet.

Für einen optimalen Betrieb sind zusätzlich auch Steuerungseinrichtungen vorzusehen. Zu den Mindestanforderungen zählen Staupiegel- und Abflussmessungen sowie Messungen der Regelmaturenstellung. Ein Hochwasserrückhaltebecken kann ungesteuert, gesteuert auf eine konstante Abgabe oder durch eine adaptive Steuerung betrieben werden, welche unterschiedliche Anforderungen an die Steuerungseinrichtungen stellen.

Danksagung

Zuerst gebührt mein Dank meinem Betreuer Ao.Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Prenner für die unkomplizierte Zusammenarbeit. Dank seiner konstruktiven Kritik, der guten Erreichbarkeit und seiner Flexibilität konnte diese Diplomarbeit erfolgreich abgeschlossen werden.

An dieser Stelle möchte ich mich außerdem bei meiner Familie bedanken, insbesondere bei meinen Eltern Cornelia und Franz, dafür, dass sie mir das Studium ermöglicht und mich während dieser Zeit immer unterstützt haben, sowie meinem Bruder Simon für seine Hilfe bezüglich des verwendeten Programms.

Ein besonderer Dank gilt meinem Freund Daniel, der mich über die Jahre hinweg durchs Studium begleitet hat. Er hat es geschafft, mich immer zu motivieren und somit wesentlich dazu beigetragen dieses Studium abzuschließen.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken, die während des Studiums für Abwechslung gesorgt haben und meinen Kommilitonen für die gegenseitige Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Gegenstand der Arbeit	2
1.3	Gliederung der Arbeit	2
2	Hochwasserrückhaltebecken	4
2.1	Klassifizierung	4
2.2	Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss	5
2.3	Trocken- und Dauerstaubecken	8
2.4	Gesteuerte und ungesteuerte Hochwasserrückhaltebecken	11
2.5	Ausführungsbeispiele	15
3	Bestimmung des Bemessungshochwassers	17
3.1	Angemessenes Schutzziel und verbleibendes Restrisiko	17
3.2	Statistische Analysen	17
3.2.1	Stichprobe	18
3.2.2	Beobachtungsdauer	19
3.2.3	Häufigkeit	19
3.2.4	Parameterschätzmethode	20
3.2.5	Vertrauensbereich	21
3.2.6	Informationserweiterung	21
3.3	Empirische Methoden zur Hochwasserbestimmung	22
3.3.1	Hüllkurven	22
3.3.2	Erweiterte Formeln	23
3.3.3	Laufzeitverfahren	23
3.3.4	Synthetisches Niederschlag-Abfluss-Modell nach Lutz	24
3.4	Regionalhydrologische Analysen	26
3.4.1	Regionale Übertragungsfunktionen	27
3.4.2	Gruppierungsmethoden	28
3.4.3	Geostatistische Interpolation von Hochwasserkenngrößen	28
3.5	Niederschlag-Abfluss-Modelle	29
3.5.1	Eingangsgrößen und Parameter	30
3.5.2	Modellwahl	33
3.5.3	Kalibrierung	34
3.5.4	Validierung/Plausibilisierung	36
3.5.5	Unsicherheiten der Ergebnisse	36
3.6	Gradex-Verfahren	37
3.7	Rückhaltewirkung	38
4	Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen	40
4.1	Schadenspotenzial und Schadenserwartungswerte	42
4.1.1	Schadenspotenzial	42

4.1.2	Schadensabschätzung	43
4.1.3	Schadenserwartungswert (SEW)	44
4.1.4	Schadensminderung	45
4.1.5	Kostenermittlung	46
4.1.6	Sensitivitätsuntersuchungen	46
4.2	Gesamtbewertung	47
4.2.1	Monetäre Wirtschaftlichkeit	47
4.2.2	Sozioökonomische Zuschläge	47
4.3	Strukturierung einer Nutzen-Kosten-Untersuchung	48
5	Stauraum	50
5.1	Bemessungsgrundlagen in Anlehnung an die Österreichische Staubeckenkommission	51
5.2	Hochwasserbemessungsfälle nach DIN 19700	53
5.2.1	Hochwasserbemessungsfall 1	53
5.2.2	Hochwasserbemessungsfall 2	53
5.2.3	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum	54
5.2.4	Hochwasserbemessungsfall 3	55
5.3	Freiraum und Freibord	56
5.3.1	Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss	58
5.3.2	Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss	59
6	Absperrbauwerk	60
6.1	Staudämme	60
6.1.1	Homogene Dämme	62
6.1.2	Zonendämme	62
6.1.3	Bewuchs auf Dämmen	63
6.1.4	Massivbauwerke in Dämmen	64
6.2	Staumauern	64
6.2.1	Gewichtsstaumauern	65
6.2.2	Bogenstaumauern	65
6.2.3	Winkelstützmauern	65
6.3	Kombinationsbauwerke	65
7	Einlaufbauwerk für HRB im Nebenschluss	66
7.1	Gesteuertes Einlaufbauwerk	67
7.1.1	Schütze	67
7.1.2	Einlaufrechen und Tauchwand	68
7.2	Ungesteuertes Einlaufbauwerk	68
7.2.1	Streichwehr	69
7.2.2	Ausführungsbeispiel Gemeinde Thalgau, Salzburg	70
8	Auslassbauwerk	72
8.1	Grundablass und Betriebsauslass	72
8.1.1	Arten von Grundablässen	73
8.1.2	Ungesteuerter Grundablass	75
8.1.3	Gesteuerter Grundablass	75
8.2	Bypass	77
8.3	Energieumwandlung	78

8.4	Ökologische Durchgängigkeit	78
8.4.1	Ökologische Gestaltung von Durchlässen	79
8.4.2	Bauweisen	80
8.5	Geschiebeführung	82
8.6	Rechen	83
8.6.1	Einlaufrechen	84
8.6.2	Vorgelagerter Pfahlrechen	85
8.6.3	Wartung und Instandhaltung	85
9	Hochwasserentlastungsanlage	86
9.1	Überlastbarkeit	87
9.2	Arten von Hochwasserentlastungsanlagen	88
9.2.1	Systeme mit Freispiegelabfluss	89
9.2.2	Systeme mit Druckabfluss	90
9.3	Energieumwandlung	91
10	Steuerungseinrichtungen	93
10.1	Wasserstandsmessung	94
10.1.1	Wasserstände von Oberflächenwasser	94
10.1.2	Wasserstände von unterirdischem Wasser	95
10.2	Abflussmessung	95
10.2.1	Abflussermittlung durch Wasserstandsmessung	95
10.2.2	Abflussermittlung durch Fließgeschwindigkeitsmessung	96
10.2.3	Abflussermittlung durch Messung von Tracerkonzentrationen	97
10.3	Möglichkeiten der Beckensteuerung	97
11	Zusammenfassung	99
	Literaturverzeichnis	104
	Anhang	106

Kapitel 1

Einleitung

Diese Diplomarbeit beinhaltet die grundlegenden Aspekte, die bei der Planung eines Hochwasserrückhaltebeckens zu berücksichtigen sind.

1.1 Allgemeines

Der moderne Hochwasserschutz basiert auf drei Säulen, nämlich dem technischen Hochwasserschutz, der Hochwasservorsorge und der Stärkung des natürlichen Wasserrückhalts in der Fläche. Eine weitere Unterscheidung in aktive und passive Hochwasserschutzmaßnahmen kann ebenfalls erfolgen. Ein Hochwasserrückhaltebecken, welches dem technischen Hochwasserschutz bzw. den aktiven Hochwasserschutzmaßnahmen zugeordnet ist, dient im Zuge einer Hochwasserschutzstrategie zur Reduktion des Schadensrisikos bei Hochwasserereignissen. Es ist also nicht als einzelnes Bauwerk sondern als Teil eines Hochwasserschutzkonzeptes zu sehen. Ein Restrisiko verbleibt jedoch immer, da ein vollkommener Schutz nicht möglich ist und auch wirtschaftlich nicht sinnvoll wäre. Die Bürger sind in jedem Fall in den Planungsprozess in Form von Bürgerinformationen miteinzubeziehen.

In den letzten Jahren wurde vermehrt in Gebieten gesiedelt, die ursprünglich dem Gewässer zur Verfügung standen, wodurch sich Konfliktfelder zwischen der Raumordnung und dem Hochwasserschutz entwickelt haben. Auch Einflüsse der Rückhaltebecken auf das Grundwasser, besonders im Hinblick auf Unterkellerungen, sind zu beachten.

Die Schwierigkeit bezüglich der Auslegung von Hochwasserrückhaltebecken liegt bei der Bestimmung des Bemessungshochwassers. Grund sind zum einen die in vielen Gebieten oft fehlenden bzw. unzulänglichen Messdaten, wodurch sich eine zuverlässige Bestimmung des Bemessungshochwassers mit zugehöriger Wiederkehrperiode schwierig gestaltet. Um dieses Problem umgehen zu können, werden sogenannte Regionalisierungsmethoden angewendet, um die Möglichkeit zu schaffen Datensätze anderer Regionen miteinzubeziehen und somit längere Datenreihen zu erhalten. Andererseits darf nicht nur die Wiederkehrperiode im Fokus stehen, denn auch die Dauer und somit die Fülle des Hochwasserereignisses sind von Bedeutung und unbedingt zu berücksichtigen.

Da Dauerstaubecken aus ökologischen Gründen kaum mehr ausgeführt werden, sind aus technischer Sicht die sehr kurzen Einstauzeiten und oftmals lang andauernden staufreien Perioden von Trockenbecken bei der statischen Bemessung zu beachten. Durch diese Randbedingungen unterscheiden sich Hochwasserrückhaltebecken wesentlich von anderen Stauanlagen.

1.2 Gegenstand der Arbeit

Für Hochwasserrückhaltebecken können unterschiedliche Ausführungsvarianten zum Einsatz kommen, für die rechtliche Rahmenbedingungen und hydrologische, wasserbauliche, geotechnische und sozioökonomische Aspekte miteinzubeziehen sind. Auch der Betrieb und die Überwachung von Hochwasserrückhaltebecken sind wesentlich. Diese Arbeit behandelt die Ausführungsvarianten, die hydrologischen Bemessungsgrundlagen, die Wirtschaftlichkeit, die Überwachung und die Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken. Auf geotechnische Faktoren, den Betrieb und die rechtlichen Rahmenbedingungen wird nicht näher eingegangen.

1.3 Gliederung der Arbeit

Es soll ein Überblick über die bei der Planung von Hochwasserrückhaltebecken im Allgemeinen zu berücksichtigenden Aspekte geschaffen werden. Daher wird neben den verschiedenen Ausführungsvarianten, Bauwerksteilen und Steuerungseinrichtungen auch auf die Bestimmung des Bemessungshochwassers und die Wirtschaftlichkeit eingegangen.

Kapitel 1 enthält die Einleitung und den Gegenstand der Arbeit. Die Klassifizierung nach DIN 19700-12 und die verschiedenen Ausführungsvarianten werden anschließend in Kapitel 2 aufgeführt. Hier erfolgt eine Unterscheidung der Hochwasserrückhaltebecken nach ihrer Lage zum Gewässer, der Zeitdauer des Einstaus und der Steuerungsart. Zusätzlich werden auch einige Ausführungsbeispiele aufgelistet.

In Kapitel 3 wird die Bestimmung des Bemessungshochwassers aufgegriffen. Es werden statistische und regionalhydrologische Analysen näher beschrieben, wobei u.a. die Niederschlag-Abfluss-Modelle und die Rückhaltewirkung im Fokus stehen.

Das 4. Kapitel behandelt die Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen. Es werden die Begriffe Schadenspotenzial und Schadenserwartungswert erklärt. Eine allgemeine Vorgehensweise zur monetären Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung sozioökonomischer Zuschläge ist ebenfalls enthalten.

Im 5. Kapitel liegt das Hauptaugenmerk auf den Stauraumbereich. Es werden die unterschiedlichen Hochwasserbemessungsfälle aufgelistet und der Freiraum und der Freibord definiert.

Kapitel 6 schließt an mit den möglichen Ausführungsvarianten des Absperrbauwerks. Dazu gehören u.a. Dämme, Staumauern und Kombinationsbauwerke, für die eine weitere Unterteilung erfolgt.

In Kapitel 7 wird kurz auf das Einlaufbauwerk für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss eingegangen. Für gesteuerte Rückhaltebecken stehen insbesondere Schütze mit davor liegenden Einlaufrechen und Tauchwänden bzw. für ungesteuerte Rückhaltebecken Streichwehre im Fokus.

Kapitel 8 beinhaltet das Auslassbauwerk mit dem gesteuerten oder ungesteuerten Grundablass und Bypass, der daran anschließenden Anlage zur Energieumwandlung sowie den Rechen zur Geschiebeabwehr. Auch die ökologische Durchgängigkeit findet hier Erwähnung.

Das 9. Kapitel beschäftigt sich mit der Hochwasserentlastungsanlage und den verschiedenen Ausführungsvarianten. Am Ende des Kapitels wird noch auf die Notentlastungen und Energieumwandlungsanlagen eingegangen.

Kapitel 10 schließt ab mit den Steuerungseinrichtungen. Schwerpunkt sind die Wasserstands- und Durchflussmessungen sowie die Möglichkeiten der Beckensteuerung. Anschließend findet sich noch eine Zusammenfassung der hier aufgelisteten Kapitel.

Eine grafische Übersicht über den Aufbau der Arbeit stellt Abb. 1 dar.

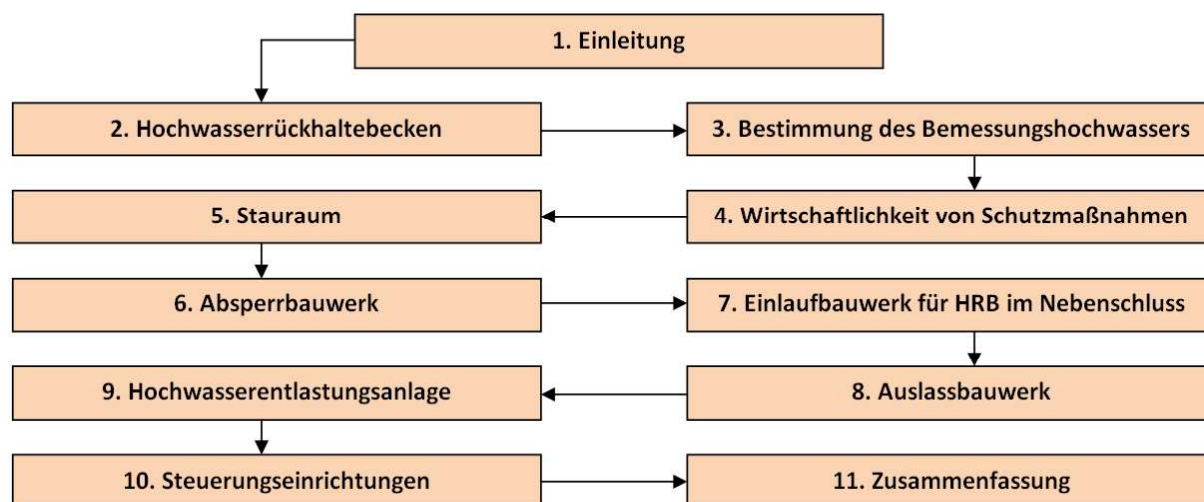


Abb. 1: Gliederung der Arbeit
Quelle: Eigene Darstellung

Kapitel 2

Hochwasserrückhaltebecken

2.1 Klassifizierung

Grundsätzlich werden Hochwasserrückhaltebecken lediglich für den Hochwasserschutz eingesetzt. Sollen zusätzliche Aufgaben erfüllt werden, sind Hochwasserrückhaltebecken im Dauerstau möglicherweise auch als Talsperren einzuordnen. Diese Unterscheidung muss anlagenspezifisch erfolgen.¹

Für die Klassifizierung wird die DIN 19700-12 herangezogen, welche der differenzierten Festlegung von Bemessungsanforderungen dient (siehe Abb. 2).²

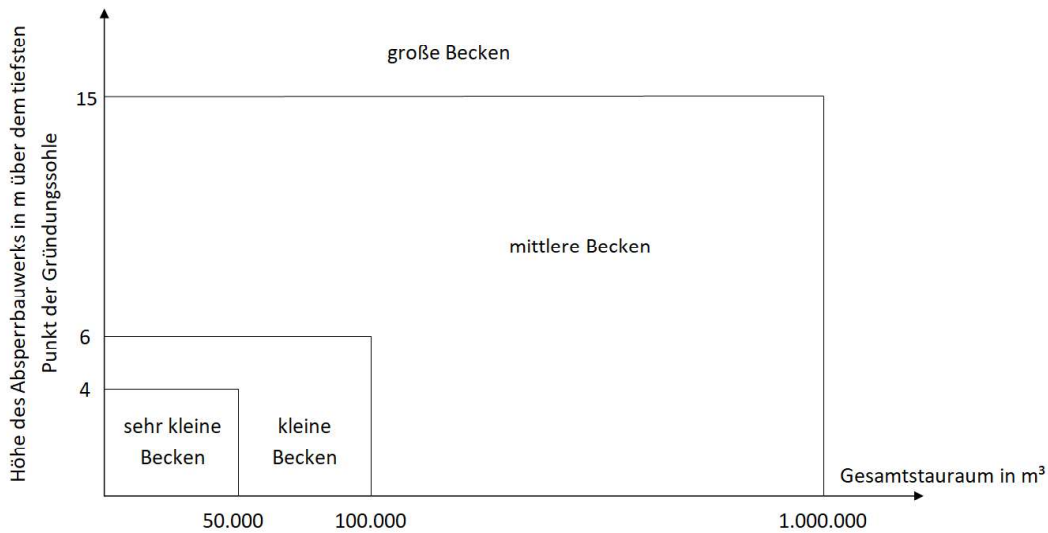


Abb. 2: Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken

Quelle: In Anlehnung an DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 4

Die Höhe des Absperrbauwerks ist vom tiefsten Punkt der Gründungssohle aus zu messen. Die Klassifizierung ist abhängig von den Abmessungen und der Konstruktion des Absperrbauwerks sowie der Stauraumgröße.³

¹Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 9

²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 4

³Vgl. ebd., S. 4

Nach der Klassifizierung kann eine maßgebliche jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Bemessungshochwasserzuflüsse nach DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, Tab.1 zugeordnet werden:

Klassifizierung nach Abb.1	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten	
	BHQ ₁	BHQ ₂
große Becken	10^{-3} (T = 1 000 a)	10^{-4} (T = 10 000 a)
mittlere und kleine Becken	2×10^{-3} (T = 500 a)	2×10^{-4} (T = 5 000 a)
sehr kleine Becken	5×10^{-3} (T = 200 a)	10^{-3} (T = 1 000 a)

Tab. 2.1: Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten für BHQ₁ und BHQ₂

Quelle: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 6

Abhängig von den Sicherheitsbetrachtungen ist es möglich eine Ab- oder Aufklassifizierung durchzuführen. Hierbei ist die Sicherheit der Unterlieger maßgebend. Ist die Gefährdung für Menschen und Sachgüter im Falle eines Versagens der Stauanlage unterstrom der Anlage nicht hoch oder ist bei Überströmen der Anlage kein abruptes Versagen zu erwarten, kann eine Abklassifizierung sinnvoll sein. In jedem Fall ist zu prüfen, ob die herabgesetzten Anforderungen genügend sind. Eine Aufklassifizierung wäre für überflutungsgefährdete Gebiete, auf denen sich besonders schützenswerte Güter befinden, eine Möglichkeit, eine höhere Schutzwirkung zu erzielen.⁴

2.2 Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss

Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss unterscheiden sich durch ihre Lage zum Gewässer (siehe Abb. 3). Die genauen Definitionen nach DIN 19700-12 lauten wie folgt:

„Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss werden vom Gewässer unmittelbar durchflossen.

Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss sind seitlich neben dem Gewässer angeordnet und werden über Zuleitungskanäle, Streichwehre oder andere Bauwerke gefüllt und über Auslassbauwerke entleert.“⁵

Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss werden demnach direkt durchflossen und benötigen kein Einlaufbauwerk. Die Retentionsflächen befinden sich unmittelbar an der Gewässerstrecke. Für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss sind die Retentionsräume hingegen seitlich des Gewässers vorzufinden. Im Falle eines Hochwasserereignisses muss das Wasser durch ein Einlaufbauwerk in das Staubecken geleitet werden.

⁴Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 14

⁵Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 5

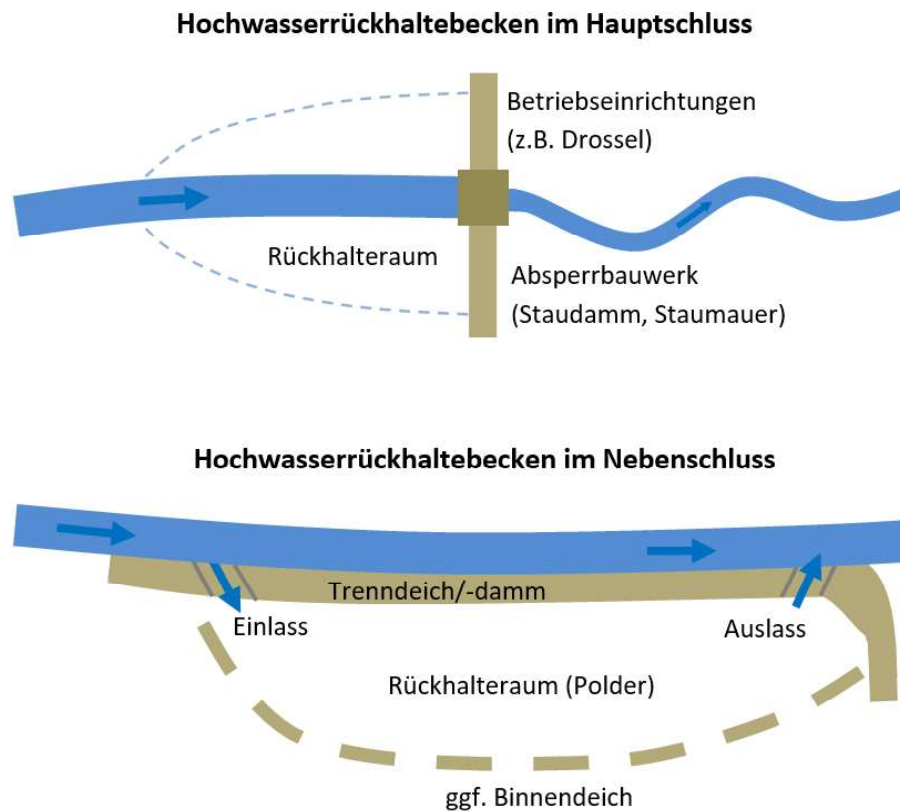


Abb. 3: Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss und im Nebenschluss
Quelle: In Anlehnung an Bayerisches Landesamt für Umwelt o.D.

Die wesentlichen Bestandteile von Hochwasserrückhaltebecken sind:

- Staubecken (siehe Kapitel 5)
- Absperrbauwerk (siehe Kapitel 6)
- Einlaufbauwerk; nur für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss relevant (siehe Kapitel 7)
- Auslassbauwerk (siehe Kapitel 8)
- Hochwasserentlastungsanlage (siehe Kapitel 9)
- Anlage zur Energieumwandlung (siehe Kapitel 9.3)
- Steuerungs- und Messeinrichtungen (siehe Kapitel 10)

Beide Typen weisen Vor- und Nachteile auf, die in folgender Tabelle gegenübergestellt werden:

	Hauptschluss	Nebenschluss
Vorteile	i.d.R. wesentlich höhere Rückhaltevolumina	ökologische Durchgängigkeit nicht unterbrochen
	kein Einlaufbauwerk erforderlich	verursachen keine Störungen
	evtl. Möglichkeit zur Vorabsenkung des Seespiegels (zusätzlicher Stauraum)	evtl. Entlastung in Seitengewässer möglich (Entfall einer Hochwasserentlastungsanlage)
	Ausnutzung des gesamten Talquerschnittes	Einsatz auch in teilbesiedelten Talböden möglich
		Geschiebeführung großteils ungestört
		i.d.R. Trockenbecken (gewässerökologische Vorteile)
Nachteile	ökologische Durchgängigkeit evtl. unterbrochen	i.d.R. wesentlich geringere Rückhaltevolumina
	evtl. Störung der Geschiebeführung	Einlaufbauwerk erforderlich
	Verklausungsgefahr des Grundablasses	größere bzw. längere Dammbauwerke

Tab. 2.2: Vor- und Nachteile von Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss
 Quellen: Göttle 2007, S. 9; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 19; Haselsteiner 2007, S. 71; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 34; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 128

Welcher Anlagentyp vorzuziehen ist, muss in jedem Fall individuell entschieden werden.

2.3 Trocken- und Dauerstaubecken

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Hochwasserrückhaltebecken ist das Vorhandensein eines Dauerstauraums (Dauerstaubecken) oder eine Befüllung nur im Hochwasserfall (Trockenbecken, auch „Grünes Becken“; siehe Abb. 4).

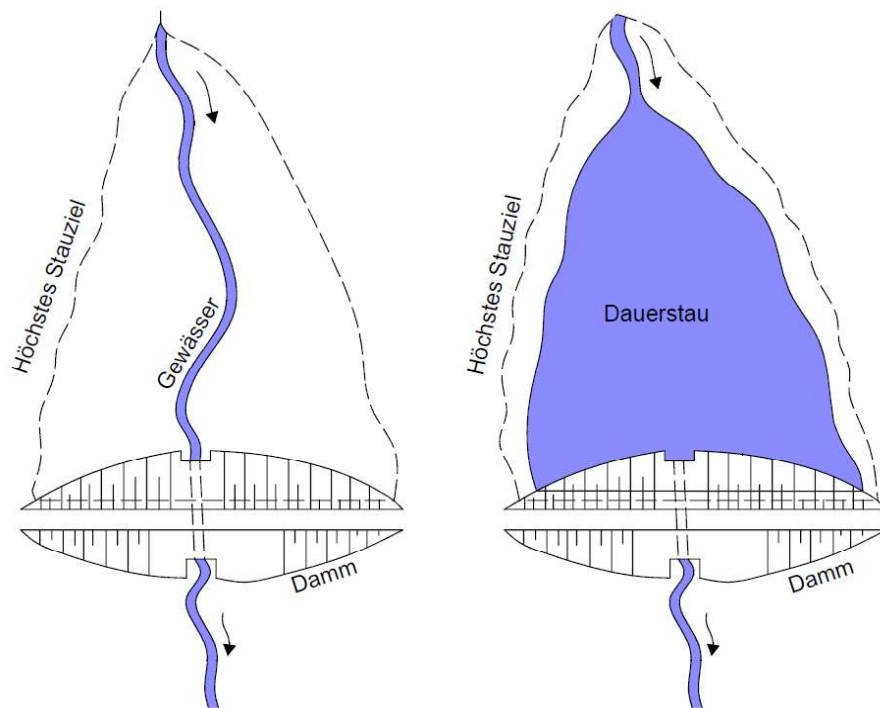


Abb. 4: Trockenbecken und Dauerstaubecken
Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 83

Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau sind das ganze Jahr oder über einen längeren Zeitraum des Jahres hinweg mit Wasser befüllt. Sie besitzen ein sogenanntes Dauerstauziel bzw. einen Dauerstauraum (siehe Abb. 5). Dadurch entsteht stehendes Gewässer, wodurch die Gewässerökologie maßgeblich verändert wird. Im Gegensatz dazu werden Trockenbecken lediglich im Hochwasserfall gefüllt. Das Fließgewässer bleibt bestehen und der das Becken begrenzende Damm ist der hauptsächliche Eingriff in die Landschaft. Ein Dauerstauziel bzw. Dauerstauraum entfällt demnach bei diesem Beckentyp.⁶

In Abb. 5 sind die Stauräume und Stauziele eines Dauerstaubeckens eingezeichnet. Ein Trockenbecken weist ein ähnliches Schema auf, der Unterschied ist das fehlende Dauerstauziel bzw. der fehlende Dauerstauraum.

⁶Vgl. Muth 1992, S. 83–85

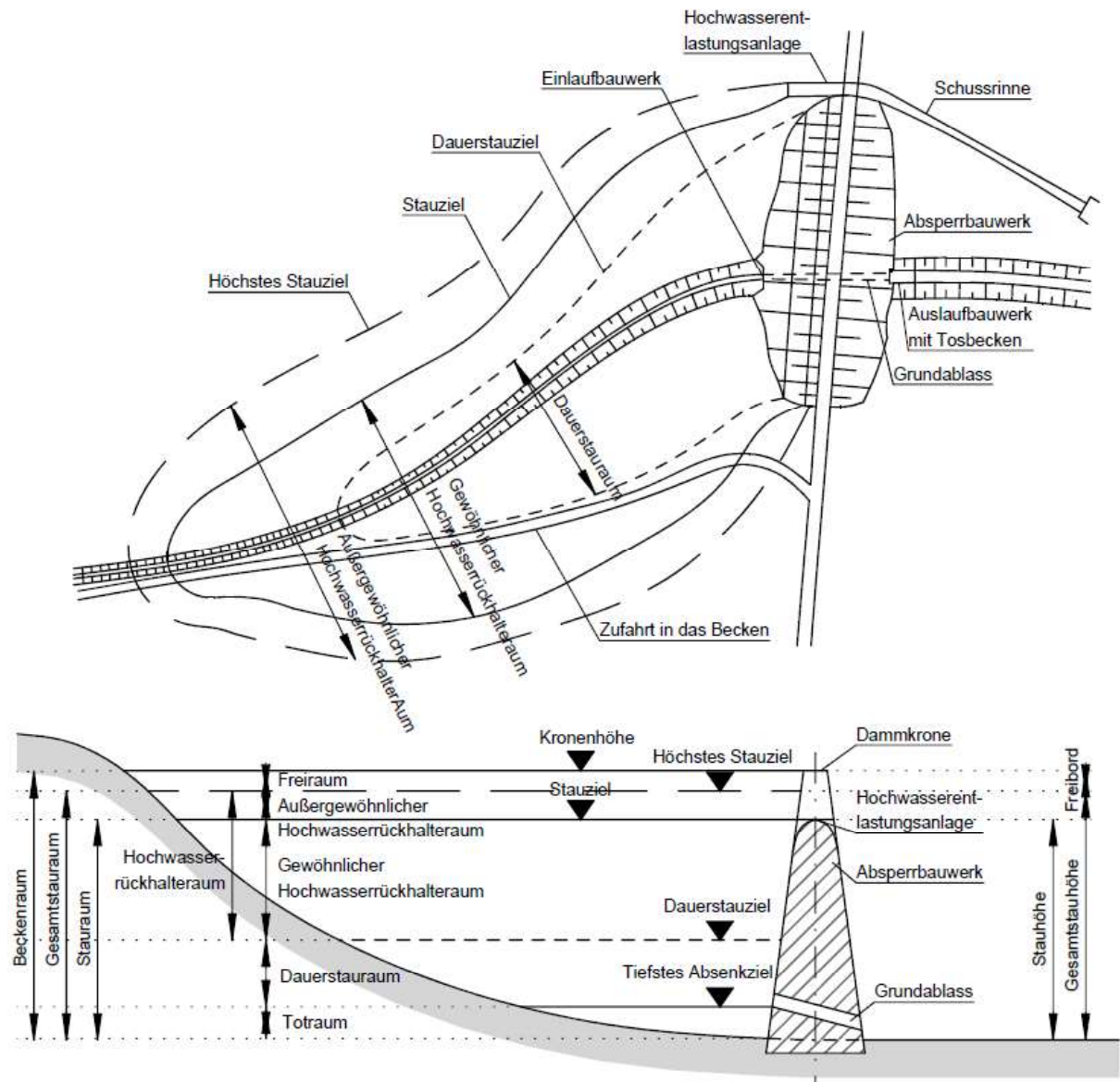


Abb. 5: Stauräume und Stauziele
 Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 28

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Beide Typen weisen Vor- und Nachteile auf, die in folgender Tabelle gegenübergestellt werden:

	Dauerstaubecken	Trockenbecken
Vorteile	Nutzung auch zum Zweck der Energiegewinnung oder Naherholung möglich	Eingriffe in die Landschaft und damit verbundene ökologische Auswirkungen sind minimiert
	Vorentlastung möglich (wenn ausreichende Zuflussvorhersage und Möglichkeit eines schadlosen Abführens gegeben)	Entstehung von Nassstandorten durch häufigere Überflutungen möglich (optimaler Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten)
	Möglichkeit der Herstellung neuer Wasserlebensräume durch landschaftsgestaltender Mittel	einfachere Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit geringere Veränderung eines Tals gewässerökologische Vorteile
Nachteile	allmähliche Verlandung des Staubeckens durch permanenten Geschiebebetrieb	bei Nutzung des Rückhalteraums als Ackerfläche Eintrag von Pestiziden und Düngemittel ins Gewässer (durch periodischen Einstau)
	Fließgewässercharakter geht verloren	bei Nutzung des Rückhalteraums als Waldfläche Verklauungsgefahr des Grundablasses (durch Wildholzanfall)
	Förderung der Kolmation	

Tab. 2.3: Vor- und Nachteile von Dauerstaubecken und Trockenbecken

Quellen: Strobl und Zunic 2006, S. 417; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 19, 23; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 103; Muth 1992, S. 111; Haselsteiner 2007, S. 71

Früher wurden häufig Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau präferiert, wohingegen heute überwiegend Trockenbecken zum Einsatz kommen. Dies begründet sich vor allem auf die dadurch erzielte ökologische Durchlässigkeit und die damit verbundene, weitgehende Einhaltung der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie („guter ökologischer Zustand“).⁷

⁷Hochwasserportal Hessen o.D.

2.4 Gesteuerte und ungesteuerte Hochwasserrückhaltebecken

Ein Unterscheidungskriterium bezüglich der Betriebsform stellen gesteuerte und ungesteuerte Hochwasserrückhaltebecken dar. Es können sowohl Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss, als auch Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss ungesteuert oder gesteuert ausgeführt werden.

Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss:

Das Auslassorgan bei ungesteuerten Hochwasserrückhaltebecken ist in seiner Form und Abmessung genau festgelegt und kann nicht ohne weiteres verändert werden. Der Abfluss ist abhängig vom Wasserstand im Staubecken und der vorgegebenen Durchflussöffnung.⁸

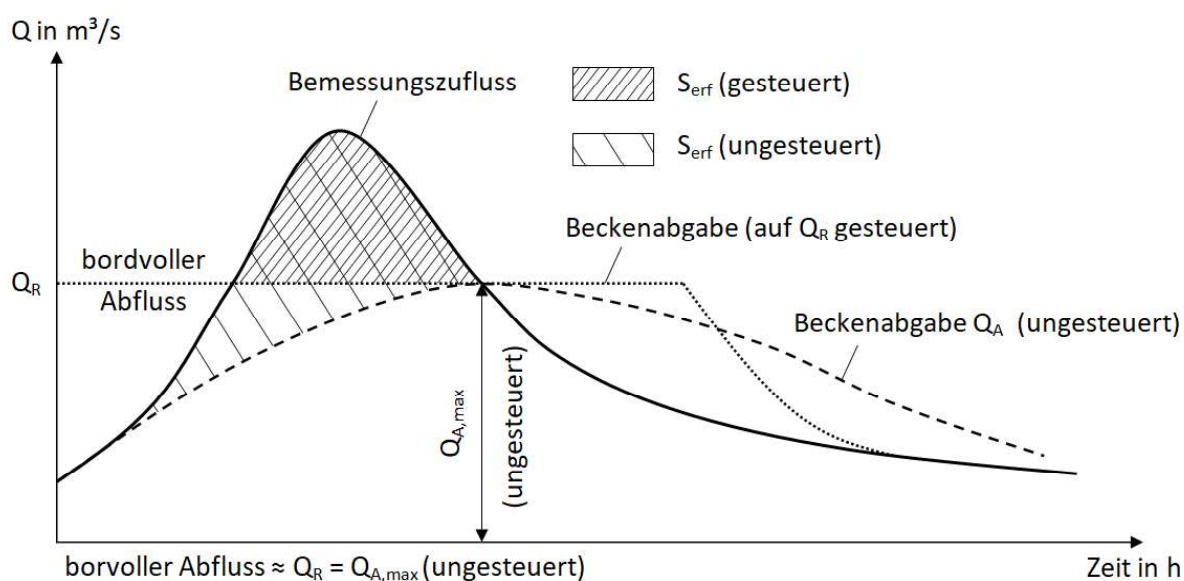


Abb. 6: Wirkungsweise eines Hochwasserrückhaltebeckens bei gesteuertem und ungesteuertem Betrieb

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 44

Wie in Abb. 6 dargestellt, bewirkt eine ungesteuerte Betriebsform ein Ansteigen des Wasserspiegels im Hochwasserrückhaltebecken bis ein gewisses Niveau erreicht wird. Danach erhöht sich der Abfluss aus dem Becken und ist auch nach Abklingen der Hochwasserwelle für längere Zeit höher als der Zufluss, bis der anfängliche Wasserspiegel wieder erreicht ist. Somit wird eine zeitliche Verschiebung des Abflusses (Dämpfung) induziert.⁹

⁸ebd.

⁹Wasserverband Pulkau o.D.

Hochwasserrückhaltebecken mit gesteuertem Auslassorgan besitzen nicht nur einen größeren Abflussquerschnitt, sondern auch die Möglichkeit diesen kurzzeitig auszuweiten. Dadurch ist u.a. die Option gegeben, durch einen Spülstoß beim Ankommen einer Hochwasserwelle das mitgeführte Geschwemmel abzuleiten. Diese Betriebsform benötigt technische Regulierungseinrichtungen. Die Steuerung kann manuell oder automatisch erfolgen.¹⁰ Der Füllvorgang selbst wird bei vorgegebener Zuflussganglinie durch die Regelabgabe und der Steuerungsart des Betriebsauslasses bestimmt.¹¹ Für einen optimalen Betrieb ist die Kenntnis des Ablaufs der Hochwasserwelle nötig. Ein Schema einer solchen Hochwasserganglinie zeigt Abb. 7. Dafür ist eine zuverlässige Wetterprognose erforderlich.

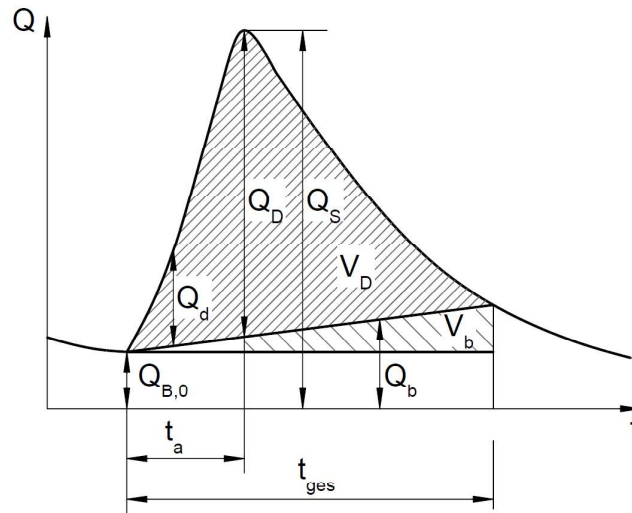


Abb. 7: Schema einer Hochwasserganglinie

Quelle: In Anlehnung an Prenner o.D., S. IV-05

Legende zu Abb.7:

Q_S	Hochwasserspitzenabfluss	V_D	Direktabflussvolumen
Q_d	Direktabfluss	V_b	„abgetrenntes“ Volumen
Q_D	Direktabflussspitze	t_a	Anstiegszeit
Q_b	Basisabfluss	t_{ges}	Gesamtdauer
$Q_{B,0}$	Anfangsbasisabfluss		

Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss:

Ein regelbarer Verschluss am Einlaufbauwerk ist bei ungesteuerten Rückhaltebecken nicht vorhanden. Das Becken wird gefüllt, sobald der Wasserstand höher ist als die Oberkante des starren Einlaufbauwerks. Somit ist das Retentionsvolumen begrenzt auf die Einlaufhöhe. Bei einer Überschreitung der Kapazität wirkt das Hochwasserrückhaltebecken nur mehr als Puffer und die Wirkung der Retention verringert sich. Die Hochwasserwelle wird danach nur verzögert weitergegeben. Die Entleerung erfolgt ungesteuert oder, wenn ein Aufstau ermöglicht werden soll, gesteuert.¹²

¹⁰Hochwasserportal Hessen o.D.

¹¹Vgl.Muth 1992, S. 125

¹²Vgl.Strobl und Zunic 2006, S. 421

Gesteuerte Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss besitzen bewegliche Verschlussorgane wie Klappen oder Schütze für die Befüllung und die Entleerung, um die größte Effizienz zu erzielen. Es wird der Überflutungszeitpunkt, das Ausmaß der Rückhaltmenge und gegebenenfalls auch die Überflutungshöhe gesteuert. Für eine optimale Steuerung sind außerdem eine zuverlässige Niederschlagsvorhersage und Hochwasservorhersagemodelle unerlässlich. Die Bedienung erfolgt im Allgemeinen über computergestützte Steuerstrategien. Die Rückhaltesysteme sind oftmals miteinander vernetzt.¹³

Beide Betriebsformen weisen Vor- und Nachteile auf, die in nachfolgenden Tabellen gegenübergestellt werden:

	Ungesteuert	Gesteuert
Vorteile	geringe Störungsanfälligkeit (kein Versagen beweglicher Betriebsorgane)	besserer Geschiebetransport bei Ereignisbeginn (aufgrund des größeren Abflussvolumens)
	vorteilhaft aus ökologischer Sicht (Füllvorgang kommt natürlichen Überschwemmungszyklen am nächsten)	Optimierung der Verzögerung der Hochwasserwelle möglich (bei Anordnung mehrerer Becken)
	durch geeignete Konstruktionen Anpassung der Beckenparameter an abgelaufene Hochwässer möglich	Abfluss kann abhängig von Ereignismessungen automatisch oder über Zwischenschaltungen von Prognosemodellen optimiert werden
	retendieren gut kleinere bis mittlere Hochwässer	optimale Ausnutzung des Retentionsvolumens möglich
	Kostenersparnis durch einfache Konstruktion	durch adaptive Steuerung kleinere Hochwasserspitze auch bei Überschreitung des Beckenvolumens möglich
	nahezu wartungsfrei	späterer Start des Einstaus
		höhere Flexibilität

Tab. 2.4: Vorteile gesteuerter und ungesteuerter Hochwasserrückhaltebecken

Quellen: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 44–47; Patt und Jüpner 2013, S. 127; Fischer 2007, S. 127

¹³Vgl.ebd., S. 421

	Ungesteuert	Gesteuert
Nachteile	schlechtere Ausnutzung des Retentionsvolumens	höhere Störungsanfälligkeit (bewegliche Teile)
	größeres Becken als bei gesteuertem Betrieb nötig	externe Energiequelle möglicherweise nötig (Gefahr von Versagen)
	höhere Verklauungsanfälligkeit zu Beginn der Hochwasserwelle	Versagen der Steuerungseinrichtung induziert evtl. Versagen der gesamten Anlage
	Störung des Geschiebebetriebs	höhere Gefahr für Unterlieger
	häufiger eingestaut als gesteuerte Becken	höhere Baukosten und Wartungsaufwand
		zuverlässige Niederschlagsvorhersage und Hochwasservorhersagemodelle erforderlich
		optimaler Betrieb nur durch optimale Steuerung möglich (aufgrund Unsicherheiten in der Prognose unmöglich)

Tab. 2.5: Nachteile gesteuerter und ungesteuerter Hochwasserrückhaltebecken
 Quellen: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 44–47; Strobl und Zunic 2006, S. 421

Gesteuerte Hochwasserrückhaltebecken verursachen im Allgemeinen mehr Kosten und sind wartungsintensiver und aufwendiger zu steuern. Dafür kann der geschaffene Retentionsraum im Gegensatz zu ungesteuerten Becken erheblich besser ausgenutzt werden. Für ungesteuerte Becken sprechen die geringeren Baukosten und die leichtere Handhabung. Auf dieser Grundlage muss unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten zwischen den beiden Varianten, die für die jeweilige Situation Vorteilhaftere gewählt werden.

2.5 Ausführungsbeispiele

HRB Auersbach, Gniebing, Kornberg:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein gesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als geschütteter Erddamm und die Hochwasserentlastungsanlage als befestigte Dammbabsenkung ausgeführt. Der Grundablass ist in Form eines Armco-Stahlrohrdurchlasses realisiert und mit einem rechteckigen Tafelschütz mit aufgesetztem Spindeltrieb ausgestattet. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 51 dargestellt.

HRB obere Lafnitz, Waldbach:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Der Grundablass ist mit einer Drosselschütz ausgestattet, er kann also nachträglich auf die maximal zulässige Abgabemenge eingestellt werden.¹⁴ Der Schnitt durch den Grundablass ist im Anhang in Abb. 52 dargestellt.

HRB Feldgasse, Gleisdorf:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein gesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Der Grundablass ist mit einem elektrisch solarbetriebenen Schieber ausgestattet, welcher für die Steuerung verwendet wird. Der Lageplan ist im Anhang in Abb. 53 und die Schnitte in Abb. 54 dargestellt.

HRB Deuchendorferbach, Kapfenberg:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als Homogendamm und die Hochwasserentlastungsanlage als freier Kronenüberfall über die Sperre ausgeführt. Der Grundablass ist in Form eines Rohrdurchlasses realisiert. Ein Grob- und Feinrechen sind im Einlaufbereich angeordnet, um eine etwaige Verklausung zu verhindern. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 55 dargestellt.

HRB Lindenbach, Lieboch:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als geschütteter Homogendamm ausgeführt. Die Hochwasserentlastungsanlage verläuft an der linken Hangschulter über die Dammkrone. Der Grundablass ist in Form eines Rohrdurchlasses realisiert. Eine gesicherte Vorsohle, ein Grobrechen und ein Kontrollquerschnitt sind im Einlaufbereich angeordnet. Eine Drosselung kann durch auf einem Stahlrahmen aufgeschraubte Lärchenbohlen erfolgen. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 56 dargestellt.

¹⁴Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 13

HRB Stambach, Grafendorf bei Hartberg:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als geschütteter Erddamm und die Hochwasserentlastungsanlage als freier Kronenüberfall über die Sperre ausgeführt. Eine Bypassleitung, die in den Grundablass mündet, ist zur Entleerung des Stauraums bei Verklausung des Grundablass einlaufs vorgesehen. Sie ist im Normalfall geschlossen. Der Grundablass ist in Ort beton hergestellt. Eine Drossel in Form eines Stahlschützes ist eingebaut, da der geplante Durchfluss sonst zu groß wäre. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 57 dargestellt.

HRB Lichenbach, Mettersdorf:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als geschütteter Zonendamm mit schräg liegendem Dichtungskern, luftseitigem Stützkörper und einer wasserseitigen Filterschicht ausgeführt. Die Hochwasserentlastungsanlage besteht aus einem seitlich über die Dammkrone geführten Streichwehr. Der Grundablass ist in Form einer Betonrohrleitung realisiert. Im Einlaufbauwerk ist eine schräg liegende Tauchwand aus Holzbohlen und eine Durchlassöffnung mit schräg davor liegendem Rechen angeordnet. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 58 dargestellt.

HRB Hunnesbach, Ligist:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk besteht aus einer etwa 10 m hohen Gewichtsmauer und beidseitig anschließenden Erddämmen. Die Hochwasserentlastungsanlage ist als Überfall mittig über die Gewichtsmauer geführt. Der Grundablass ist in Form einer an der Sohle durch die Gewichtsmauer geführten Dole realisiert. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 59 dargestellt.

HRB Lafnitz, St. Lorenzen, Riegersberg:

Dieses Hochwasserrückhaltebecken ist ein Ausführungsbeispiel für ein ungesteuertes Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss. Das Absperrbauwerk ist als Homogendamm und die Hochwasserentlastungsanlage als Schussrinne über den Damm ausgeführt. Der Grundablass ist in Form eines halbkreisförmigen Stahlbetondurchlasses mit dreizelligem Profil realisiert. Die beiden seitlichen Zellen werden als Grundablass und die Mittlere als Bypassleitung genutzt. Für die Grundablassöffnungen sind zwei fix eingestellte Rollenschütze vorgesehen. Das Schütz der Bypassleitung ist im Normalfall geschlossen. Der Lageplan und die zugehörigen Schnitte sind im Anhang in Abb. 60 dargestellt.

Kapitel 3

Bestimmung des Bemessungshochwassers

3.1 Angemessenes Schutzziel und verbleibendes Restrisiko

Laut ÖNORM B 2400 ist das Bemessungshochwasser wie folgt definiert:

„Scheitel und/oder Fracht eines Hochwasserdurchflusses, auf dem/der alle Teile einer wasserbaulichen Anlage zur Erreichung des beabsichtigten Schutzzieles zu bemessen sind.“¹

Das Bemessungshochwasser wird demnach abhängig vom angestrebten Schutzziel festgelegt. Welche Jährlichkeit dieses Hochwasser aufweisen muss, kann entweder aufgrund gebräuchlicher Bemessungsansätze oder Richtwerte, wie sie beispielsweise in DIN 19700 Teil 12 zu finden sind, oder abhängig vom Schadenspotential gewählt werden. Die Kosten der Schutzmaßnahmen sollten nicht höher sein als der potentielle Schaden, weshalb die zweite Variante sinnvoller erscheint.

Da ein absoluter Schutz aus wirtschaftlichen Gründen, aber auch aufgrund der auftretenden Unsicherheiten bei der Ermittlung des Bemessungshochwassers (siehe Kapitel 3.2), praktisch unerreichbar ist, verbleibt ein Risiko. Hierbei muss zwischen einem erhöhten Risiko, sprich eine größere Wassermenge als die Bemessungswassermenge, und einem Restrisiko, sprich Versagen der Schutzmaßnahme, unterschieden werden.²

3.2 Statistische Analysen

Die statistische Analyse dient dazu, die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasserabflüssen mathematisch zu bestimmen. Dazu werden Wasserstandsmessungen in Pegelstationen über einen möglichst langen Beobachtungszeitraum durchgeführt, um daraus auf den Durchfluss zu schließen.

Diese Vorgehensweise ist mit Unsicherheiten behaftet, einerseits seitens der Messung und andererseits infolge mathematischer Gründe. Nachstehend werden diese aufgelistet:

- Unsicherheiten infolge von Messungen:
 - Messfehler und Messunsicherheiten
 - exakte Bestimmung der Wasserstand-Durchflussbeziehung kaum möglich, da diese nur für den betrachteten Querschnitt gilt
 - zumeist fehlen für hohe Durchflusswerte Messungen

¹Vgl. Austrian Standards Institute 2016-03, S. 30

²Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 67

- Unsicherheiten infolge mathematischer Gründe:
 - Parameter der gewählten Verteilungsfunktion werden geschätzt
 - begrenzter Datenumfang der Stichprobe
 - Repräsentativität der vorhandenen Daten³

Hierzu kommt noch die natürliche Variabilität des Vorganges selbst und die oft fehlenden Beobachtungsdaten abseits der Pegelstationen.⁴

Da die hydrologischen Randbedingungen und die Datengrundlagen für jedes Flussgebiet variieren, kann hier kein Einheitsverfahren festgelegt werden. Für die unterschiedlichen statistischen Verfahren werden in Abhängigkeit der jeweiligen Verteilung und des Konfidenzbereichs unterschiedliche Ergebnisse bezogen auf bestimmte Jährlichkeiten erhalten.⁵ Für das ausgewählte Verfahren werden Hochwasserkennwerte ermittelt, die i.d.R. als Erwartungswerte betrachtet werden können. Diese Erwartungswerte sind die wahrscheinlichsten Kennwerte bezogen auf eine bestimmte Jährlichkeit.⁶

Es ist nicht ohne weiteres möglich Hochwasserkennwerte von größeren Einzugsgebieten in kleinere Einzugsgebiete ohne Anpassungen zu übertragen. Dies gilt ebenso für eine umgekehrte Vorgehensweise. Auch Unsicherheiten nehmen mit zunehmender Exploration über den Beobachtungszeitraum hinaus signifikant zu, da die Hochwasserwahrscheinlichkeiten durch Verteilungsfunktionen abgeschätzt werden. Zusätzlich kann ein sogenanntes Ausreißerproblem auftreten. Besonders bei kurzen Reihen sind seltene Ereignisse sehr zufällig. Hierbei fällt die Zuordnung zu einem entsprechenden, realitätsnahen Wiederkehrintervall nicht leicht.⁷

3.2.1 Stichprobe

An die Stichprobe werden folgende Anforderungen gestellt:

- Fehlerfreiheit (Konsistenz)
Fehlerhafte Messwerte sind zu identifizieren und anschließend zu korrigieren bzw. zu entfernen.
- Unabhängigkeit
Durch eine Verwendung von jährlichen Serien kann diese Forderung erfüllt werden. Bei partiellen Serien muss die Unabhängigkeit hingegen geprüft werden.
- Homogenität
Die Messwerte dürfen nur unbedeutend durch Veränderungen im Gewässer oder Einzugsgebiet beeinflusst werden, seien sie natürlichen oder anthropogenen Ursprungs. Inhomogenitäten dürfen nur entfernt werden, wenn ihre Ursache nachweislich anthropogene Gründe aufweist.
- Repräsentativität
Die Stichprobe muss zeitlich und mengenmäßig das langfristige Abflussverhalten wiedergeben.⁸

³Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 14–18

⁴Vgl. ebd., S. 14–18

⁵Vgl. ebd., S. 14

⁶Vgl. ebd., S. 17

⁷Vgl. ebd., S. 18–19

⁸Vgl. ebd., S. 30–32

3.2.2 Beobachtungsdauer

Es gibt keine Möglichkeit mathematisch festzulegen, wie lang die Messreihe sein muss, um die Wahrscheinlichkeiten ausreichend genau berechnen zu können, da die Grundgesamtheit nicht bekannt ist bzw. keine ausreichend langen homogenen Messreihen existieren.⁹

Nach Gattermayr u. a. 2011, Tab. 5 können folgende Beobachtungsdauern als Repräsentativ für extremwertstatistische Analysen angesehen werden:

Beobachtungsdauer	Statistische Eignung
<10 Jahre	nein
10 - 20 Jahre	schwach
20 - 30 Jahre	bedingt
>30 Jahre	ja

Tab. 3.1: Erforderliche repräsentative Beobachtungsdauer für extremwertstatistische Analysen

Quelle: Gattermayr u. a. 2011, S. 35

Ist eine Messreihe mit einer Länge von über 30 Jahren vorhanden, muss dennoch die Repräsentativität zusätzlich berücksichtigt werden. Bei zu wenig vorhandenen Daten muss eine Informationserweiterung z.B. in Form einer Regionalisierung (siehe Kapitel 3.4) erfolgen. Dies betrifft besonders die Betrachtung seltener Ereignisse.¹⁰

3.2.3 Häufigkeit

Hinsichtlich der univariaten statistischen Analyse, in welcher eine Abhängigkeit von einer Variable festgelegt wird, wird zwischen der Überschreitungswahrscheinlichkeit $P(X \geq x_1)$, der Unterschreitungswahrscheinlichkeit $P(X < x_2)$ und der Eintrittswahrscheinlichkeit $P(x_1 < X < x_2)$ unterschieden. Es wird berechnet, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Wert X einen bestimmten Schwellenwert über- oder unterschreitet bzw. das Auftreten des Wertes X in einem festgelegten Bereich.¹¹

Die Jährlichkeit T_n eines Hochwassers, auch als Wiederkehrintervall oder Wiederholzeitspanne bezeichnet, gibt die Anzahl der Jahre an, in denen das Hochwasser einmal erreicht oder überstiegen wird.¹² Für die Berechnung wird die Überschreitungs- oder Unterschreitungswahrscheinlichkeit nach ebd., S. 36 herangezogen:

$$P(X \geq x_i) = \frac{1}{T_n} \text{ bzw. } P(X < x_i) = 1 - \frac{1}{T_n} \quad (3.1)$$

Im Allgemeinen ist der Umfang einer Stichprobe klein, weswegen eine Schätzung der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeit für jeden Wert der Stichprobe erfolgt. Da keine Ereignisse berücksichtigt werden, die seltener sind als die in der Beobachtungsdauer vorgekommenen Ereignisse, wird ein Parameter α eingeführt. Dadurch wird verhindert, dass der Wert 1 nicht dem

⁹Vgl. ebd., S. 35

¹⁰Vgl. ebd., S. 35

¹¹Vgl. ebd., S. 36

¹²Vgl. ebd., S. 36

kleinsten Hochwasser und der Wert 0 nicht dem größten Hochwasser der Datenreihe bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeit zugewiesen wird.¹³

Die allgemeine Form der „Plotting-Position“ lautet nach Gattermayr u. a. 2011, S. 37:

$$P(X \geq x_i) = \frac{i - \alpha}{n + 1 - 2\alpha} (x_1 \geq x_2 \geq \dots, x_n) \quad (3.2)$$

i ... Rangzahl der Beobachtungswerte

α ... Parameter (0 bis 1)

n ... Anzahl der Messwerte

Es gibt unterschiedliche Ansätze die Daten der Messreihen zu ordnen und zu filtern, u.a. die AMS-Methode (annual maximum series). Hier wird für jedes Jahr nur das Maximum herangezogen. Im Gegensatz dazu werden bezüglich des PDS-Ansatzes (partial duration series) diejenigen Ereignisse verwendet, die einen zuvor festgelegten, kritischen Schwellenwert überschreiten.¹⁴

Werden diese beiden Ansätze miteinander verglichen, ist die Abweichung der Ergebnisse umso größer, je kleiner die angestrebte Unterschreitungswahrscheinlichkeit ist. Erst bei sehr seltenen Ereignissen konvergieren diese. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass durch die Verwendung der AMS-Methode Informationen verloren gehen. Die Voraussetzung für die Anwendung beider Methoden ist die stochastische Unabhängigkeit der Messwerte und die Beständigkeit von Erwartungswert und Varianz.¹⁵

3.2.4 Parameterschätzmethode

Wie in Kapitel 3.2.2 erwähnt, ist die Grundgesamtheit eine Unbekannte. Der Typ der Verteilungsfunktion und ihre Parameter müssen gewählt werden, was einer Schätzung entspricht. Eine Verteilungsfunktion kann durch eine unterschiedliche Anzahl von Parametern beschrieben werden. Die Anzahl der verwendeten Parameter spiegelt die Flexibilität bzw. die Anpassungsfähigkeit der Funktion wieder. Eine Überanpassung soll vermieden werden, da die Empfindlichkeit der Funktion gegenüber Ausreißern ansonsten zu groß ist. Parameter können als fixe Werte, berechnet aus der vorhandenen Datenreihe, oder als Zufallsvariable (Baye'sche Statistik) angenommen werden.¹⁶

Die Anforderungen an die Parameterschätzmethode sind wie folgt:

- Konsistenz
Parameterwert konvergiert mit zunehmender Anzahl von Messwerten gegen den wahren Wert.
- Erwartungstreue
Es ist kein systematischer Fehler vorhanden.
- Effizienz
Die Streuung ist minimal.¹⁷

¹³Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 37

¹⁴Vgl. ebd., S. 38–39

¹⁵Vgl. ebd., S. 42–44

¹⁶Vgl. ebd., S. 45

¹⁷Vgl. ebd., S. 45

3.2.5 Vertrauensbereich

Da für die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasserabflüssen nur ein Schätzwert angegeben werden kann, muss eine statistische Unsicherheit berücksichtigt werden, die durch den Vertrauensbereich ausgedrückt wird. Wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Daten fehlerfrei sind und die Verteilung bekannt ist, verbleibt dennoch diese Unsicherheit. Durch weitere Fehlerquellen, wie der Unkenntnis der Verteilungsfunktion oder fehlerhaften Grunddaten, kann die Abweichung größer werden als sie durch den Vertrauensbereich vorgegeben wird.¹⁸

Der Vertrauensbereich hängt im Allgemeinen ab von:

- Stichprobenumfang
Unsicherheit nimmt mit steigendem Umfang ab.
- Variabilität des betrachteten Prozesses, ausgedrückt durch die Varianz
Unsicherheit nimmt mit steigender Varianz zu.
- Extrapolationsweite, ausgedrückt durch die Jährlichkeit
Unsicherheit nimmt mit steigender Jährlichkeit zu.
- verwendete Verteilungsfunktion und Parameterschätzmethode¹⁹

Werden benachbarte, hydrologisch ähnliche Flussabschnitte betrachtet, ist es zulässig vorhandene Vertrauensbereiche zu übertragen. Wird hingegen mit regionalisierten Hochwasserkenntwerten gearbeitet, also Kennwerten für unbeobachtete Gebiete, kann nicht ohne weiteres ein statistischer Vertrauensbereich berechnet werden, da durch die Regionalisierung weitere Unsicherheiten vorhanden sind. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass hier der Vertrauensbereich größer ist als bei beobachteten Gebieten.²⁰

3.2.6 Informationserweiterung

Da die vorhandenen Längen der Beobachtungsreihen oft nicht ausreichen, um den Hochwasserabfluss zuvor festgelegter Jährlichkeiten zu ermitteln, muss situationsbedingt auf eine Extrapolation zurückgegriffen werden. Da jedoch starke Unterschiede zwischen den beobachteten Hochwasserereignissen und den Extremereignissen auftreten können, ist es zielführend, zusätzliche Informationen über hochwasserbildende Abläufe bei der Berechnung zu berücksichtigen. Diese können unterschieden werden in kausale, zeitliche und räumliche Informationen.²¹

Bei der kausalen Informationserweiterung ist es notwendig, Kenntnisse über die hochwasserbildenden Prozesse zu besitzen, um diese mit den Beobachtungen in Beziehung setzen zu können. Auch die lokale Gebietskenntnis spielt hierbei eine Rolle. Bei der zeitlichen Informationserweiterung wird das betrachtete Zeitfenster vergrößert, indem zusätzlich längere Beobachtungsreihen aus benachbarten Gebieten herangezogen oder historische Hochwasserereignisse berücksichtigt werden. Auch die räumliche Informationserweiterung nutzt den Vergleich mit einer Reihe von Nachbarpegeln.²²

¹⁸Vgl. ebd., S. 56

¹⁹Vgl. ebd., S. 56

²⁰Vgl. ebd., S. 59

²¹Vgl. ebd., S. 69

²²Vgl. ebd., S. 70–71

Auch hier sind alle verwendeten Informationen mit einer gewissen Unschärfe verbunden, weshalb ein Vertrauensbereich definiert werden muss. Im Laufe der Berechnungen werden die einzelnen Schätzwerte kombiniert und die Vertrauensbereiche überlagert. Dies führt entweder zu einer konsistenten Schätzung, was eine Überlappung der Vertrauensbereiche der einzelnen Schätzwerte bedeutet, oder zu inkonsistenten Schätzwerten, was bedeutet, dass eine eindeutige Überlagerung der Vertrauensbereiche fehlt. Gründe hierfür können bisher unberücksichtigte Aspekte oder Datenfehler sein. Ist es nicht möglich die Inkonsistenz zu beseitigen, muss mit einem größeren Vertrauensbereich gerechnet werden, der alle Streubereiche mit einschließt.²³

3.3 Empirische Methoden zur Hochwasserbestimmung

Stehen keine oder wenige Messdaten für ein zu untersuchendes Gebiet zur Verfügung, können empirische Formeln verwendet werden. Da es an Messdaten mangelt, werden Faktoren bezüglich der Gebietseigenschaften, des Niederschlags und des Klimas herangezogen. Es kann eine Einteilung in Hüllkurven, erweiterte Formeln und Laufzeitverfahren erfolgen.²⁴ Des Weiteren wird hier auch das synthetische Niederschlag-Abfluss-Modell nach Lutz erwähnt.

3.3.1 Hüllkurven

Formel nach Wundt:

$$HQ = 13,8 A_B^{0,6} \quad (3.3)$$

HQ ... Abflussspitze in m³/s

A_B ... Einzugsgebietsfläche in km²

Sie kann für Einzugsgebiete mit einer Größe von 1 bis 200000 km² herangezogen werden. Die 90% Richtkurve entspricht einem Grenzwert, welcher in 10% der Fälle überschritten wird.²⁵

Hofbauer:

$$HQ = 42 \sqrt{A_B} \quad (3.4)$$

HQ ... Abflussspitze in m³/s

A_B ... Einzugsgebietsfläche in km²

Sie kann für Einzugsgebiete mit einer Größe von > 450 km² herangezogen werden. Empfohlen wird ein Einsatz für Gegenden mit höheren Niederschlägen.²⁶

Kürsteiner:

$$HQ = \alpha A_B^{2/3} \quad (3.5)$$

HQ ... Abflussspitze in m³/s

A_B ... Einzugsgebietsfläche in km²

α ... Adaptionkoeffizient

Sie werden für Einzugsgebiete mit einer Größe von > 2 km² kann herangezogen.²⁷

²³Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 72–73

²⁴Vgl. Kollersberger 2009, S. 21

²⁵Vgl. ebd., S. 22

²⁶Vgl. ebd., S. 22

²⁷Vgl. ebd., S. 24

Folgende Tabelle nach Kollersberger 2009, Tab. 2.3 listet den Adaptionskoeffizienten α in Abhängigkeit zur Einzugsgebietscharakteristik auf.

Charakteristik des Einzugsgebiets	HQ ₁₀₀	HQ ₅₀
ebene oder hügelige Oberfläche, reich an Vegetation und aufnahmefähigem Boden	9	5
steiles Gelände mit spärlicher Vegetation und undurchdringbarem Boden	12	8

Tab. 3.2: Adaptionskoeffizient α

Quelle: Kollersberger 2009, S. 25

3.3.2 Erweiterte Formeln

Müller:

$$HHQ = \alpha \cdot 43 \cdot A_B^{2/3} \quad (3.6)$$

HHQ ... höchste mögliche Abflussspitze in m³/s

A_B ... Einzugsgebietsfläche in km²

α ... Adaptionskoeffizient

Sie stellt eine Modifizierung der Melli-Formel dar.²⁸ Nachfolgende Tabelle nach ebd., Tab. 2.4 listet an das Schweizer Gebirge angepasste Adaptionskoeffizienten auf.

Höhenlage	Vegetation/Soil	Neigung		
		mittel	flach	steil
Flächen über der Waldgrenze	spärliche Vegetation, Fels	0,4	0,6	0,8
	Sträucher	0,3	0,5	0,7
Flächen unter der Waldgrenze	Wald ohne Kronenschluss	0,2	0,4	0,6
	Jungwald, Grasland und Felder	0,1	0,3	0,5
	Wald	0,1	0,2	0,4
	Altwald	0,05	0,15	0,3

Tab. 3.3: Adaptionskoeffizient α nach Müller, verändert

Quelle: Kollersberger 2009, S. 25

3.3.3 Laufzeitverfahren

Verfahren nach Zeller:

Es wird von der Annahme ausgegangen, dass eine Abflussspitze HQ_{\max} auftritt, sobald die Regendauer t_R der totalen Laufzeit t_{tot} eines Wasserteilchens entspricht, ausgehend vom zeitlich entferntesten Punkt des Einzugsgebiet ($t_R = t_{\text{tot}}$). Die totale Laufzeit ist definiert als die Summe der Laufzeit des Oberflächenabflusses t_{OB} und der Laufzeit im Gerinne t_G .²⁹

²⁸Vgl. ebd., S. 25

²⁹Vgl. ebd., S. 26

Die generelle Vorgehensweise, um ein gesuchtes Hochwasser zu ermitteln, lautet wie folgt:

1. Ermittlung einer Regendauer-Regenintensitäts-Beziehung in Bezug auf eine bestimmte Jährlichkeit
2. Bestimmung der maximalen Oberflächenlaufzeit
3. Bestimmung der Gerinnelaufzeit
4. Berechnung der totalen Laufzeit durch Aufsummieren der maximalen Oberflächenlaufzeit und der Gerinnelaufzeit
5. Vergleich, ob die totale Laufzeit der Regendauer entspricht, wenn nicht, werden die Schritte 1 bis 4 so lange wiederholt, bis diese Bedingung erfüllt ist³⁰

3.3.4 Synthetisches Niederschlag-Abfluss-Modell nach Lutz

Durch das Verfahren nach Lutz können Abflussbeiwerte auch in unbeobachteten Gebieten bestimmt werden. Es wird zwischen einem abflusswirksamen Niederschlag für unversiegelte und versiegelte Flächen unterschieden. Der abflusswirksame Niederschlag stellt hierbei den Anteil des Gebietsniederschlags dar, welcher direkt an der Oberfläche oder in den obersten Schichten des Bodens rasch abfließt.³¹

Nach Muth 1992, S. 120 werden die jeweiligen abflusswirksamen Niederschläge nach folgenden Formeln berechnet:

$$N_{eff,u} = [(N - A_V) c + \frac{c}{a}(e^{-a(N-A_V)} - 1)] \frac{A_E - A_{E,s}}{A_E} \quad (3.7)$$

$$N_{eff,s} = (N - A'_V) \psi_s \frac{A_{E,s}}{A_E} \quad (3.8)$$

$N_{eff,u}/N_{eff,s}$... abflusswirksamer Niederschlag unversiegelter/versiegelter Flächen in mm

N ... Gebietsniederschlag in mm

A_V/A'_V ... Anfangsverlust für unversiegelte/versiegelte Flächen in mm

c ... maximaler Abflussbeiwert

ψ_s ... Abflussbeiwert für versiegelte Flächen

A_E ... Einzugsgebietsfläche in km²

$A_{E,s}$... versiegelte Einzugsgebietsfläche in km²

a ... Proportionalitätsfaktor in 1/mm

Der in Formel (3.7) verwendete Proportionalitätsfaktor a ist abhängig von der Wochenzahl, der Basisabflussspende vor dem Niederschlag, die von einem hydrologisch ähnlichen Gebiet übertragen werden kann, und zwei gebietsabhängigen Parametern $C1 \approx 0,02$ und $C2 = 2,0$ für Nadelwald und Grünland bzw. 4,6 für Laubwald und Ackerland.³²

³⁰Vgl. Kollersberger 2009, S. 28

³¹Vgl. Muth 1992, S. 120

³²Vgl. ebd., S. 120–122

Die nachfolgenden Tabellen 3.4 und 3.5 nach ebd., Tab. 6.1 und 6.2 listen die zu verwendenden Anfangsverluste und maximalen Abflussbeiwerte nach unterschiedlichen Bodentypen und Landnutzungen auf, wie sie für einen Gebietsniederschlag von 250 mm zu erwarten sind.

Landnutzung	Anfangsverluste A_V in mm			
	Boden- typ A	Boden- typ B	Boden- typ C	Boden- typ D
landwirtschaftliche Flächen	7,0	4,0	2,0	1,5
bewaldete Flächen	8,0	5,0	3,0	2,5
versiegelte Flächen	1,0	1,0	1,0	1,0

Bodentyp:

A: Schotter, Kies, Sand

B: Feinsand, Löss, leicht tonige Sande

C: bindige Böden mit Sand, Mischböden: lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand

D: Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund

Tab. 3.4: Anfangsverluste nach Lutz

Quelle: Muth 1992, S. 121

Landnutzung	maximale Abflussbeiwerte c in mm			
	Boden- typ A	Boden- typ B	Boden- typ C	Boden- typ D
1 Wald	0,17	0,48	0,62	0,70
2 Ödland	0,71	0,83	0,89	0,93
3 Reihenkultur: Hackfrüchte, Weinbau u.ä.	0,62	0,75	0,84	0,88
4 Getreideanbau: Weizen, Roggen u.ä.	0,54	0,70	0,80	0,85
5 Leguminosen: Klee, Luzerne, Ackerfrüchte u.ä.	0,51	0,68	0,79	0,84
6 Weide	0,34	0,60	0,74	0,80
7 Dauerwiese	0,10	0,46	0,63	0,72
8 Obstanlagen u.ä.	0,17	0,48	0,66	0,77

Tab. 3.5: Maximale Abflussbeiwerte nach Lutz

Quelle: Muth 1992, S. 121

Es wird eine Δt -Einheitsganglinie definiert, welche die Ganglinie des Direktabflusses widerspiegelt. Volumenmäßig entspricht der Direktabfluss einem wirksamen Niederschlag der Dauer Δt von 1 mm (siehe Abb. 8).³³

Für die Einheitsganglinie wird der Scheitelwert u_{\max} und die Anstiegszeit t_A bis zu diesem ermittelt (siehe Abb. 9). Die Formeln sind nachfolgend laut ebd., S. 123–124 angegeben. Eine Systemfunktion ist darüber hinaus abhängig vom dimensionslosen Verlauf der Einheitsganglinie.³⁴

$$t_A = P1 \frac{L L_c}{IG^{1,5}} 0,26 e^{-0,016U} e^{-0,004W} \quad (3.9)$$

³³Vgl. ebd., S. 122

³⁴Vgl. ebd., S. 122

t_A ... Scheitelanstiegszeit der 1-Stunden-Einheitsganglinie in h

$P1$... Gebietsfaktor

L ... Länge des Hauptvorfluters in km

L_c ... Länge des Hauptvorfluters bis zum Schwerpunkt des Einzugsgebiets in km

IG ... gewogenes Gefälle entlang des Hauptvorfluters in m/m

U ... Bebauungsanteil in %

W ... Waldanteil in %

$$u_{max} = \frac{1}{t_A A^*} \quad (3.10)$$

u_{max} ... Scheitelwert der 1-Stunden-Einheitsganglinie in 1/h

A^* ... Flächen unter der dimensionslosen Einheitsganglinie

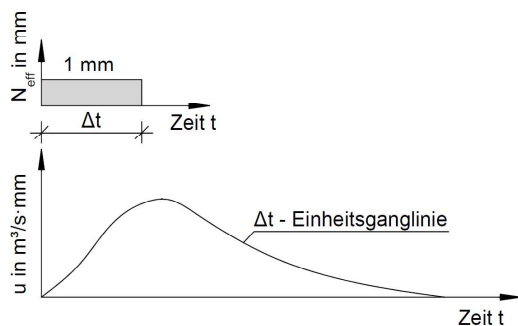


Abb. 8: Δt -Einheitsganglinie
Quelle: In Anlehnung an Muth
1992, S. 122

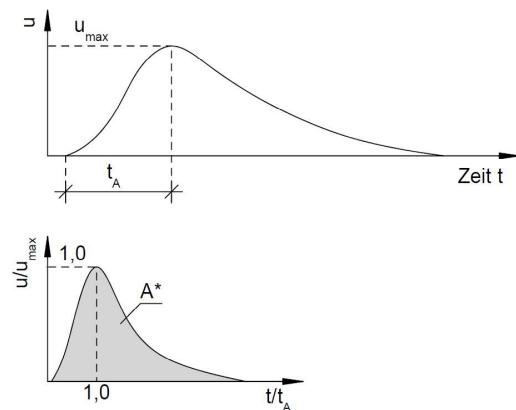


Abb. 9: Parameter der Einheitsganglinie
Quelle: In Anlehnung an Muth
1992, S. 123

Infolge der Niederschlag-Abfluss-Synthese werden die Δt -Einheitsganglinien herangezogen, um aus separaten Niederschlagsimpulsen von y Direktabflussganglinien zu erhalten. Die Ordinaten dieser Direktabflussganglinien entsprechen ein y -faches der Ordinaten der Δt -Einheitsganglinien. Abschließend erfolgt eine Überlagerung zu einer Ereignisganglinie $Q_D(t)$.³⁵

3.4 Regionalhydrologische Analysen

Liegen keine Messwerte an bestimmten Querschnitten vor, müssen räumlich übertragbare Aussagen durchführbar sein, indem hochwasserstatistische Informationen dementsprechend aufbereitet werden. Dafür werden regionalspezifische Aspekte wie beispielsweise die abflussbildenden Eigenschaften und die Niederschlagscharakteristik des betrachteten Einzugsgebiets miteinbezogen.³⁶

Wie in 3.2 erwähnt, ist eine Übertragung der Schätzmethode für mittelgroße in kleine Einzugsgebiete und umgekehrt nicht ohne weiteres möglich. Dies begründet sich aus der unterschiedlichen Abflussbildung und Abflusskonzentration. Aufgrund dessen sollte eine Unterscheidung in mittelgroße ($10 \text{ km}^2 < A_E < 500 \text{ km}^2$) und kleine ($A_E < 10 \text{ km}^2$) Einzugsgebiete erfolgen. Vorteilhaft ist anschließend eine Anwendung mehrerer verschiedener Schätzverfahren und ein Vergleich der Ergebnisse zur Minimierung des Risikos einer groben Unterschätzung.³⁷

³⁵Vgl. Muth 1992, S. 124

³⁶Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 75

³⁷Vgl. ebd., S. 75

Zusammenfassend erfolgt der Ablauf der Hochwasserabschätzung für nicht beobachtete Gebiete im Allgemeinen mit dem Einsatz verschiedener passender Methoden und einer Analyse der Abweichungen der Resultate. Ergebnisse, die nicht plausibel erscheinen, werden ausgeschieden und der Schätzwert für $HQ(T_n)$ mit zugehöriger Varianz ermittelt und validiert.³⁸

3.4.1 Regionale Übertragungsfunktionen

Regionale Übertragungsfunktionen haben die Aufgabe, invariable und variable Kenngrößen des Einzugsgebiets mit hydrologischen Kenngrößen bzw. Parameter in Verbindung zu bringen. Dafür werden Gebietskenngrößen (z.B. Untergrundverhältnisse, Vegetation und Landnutzung, Klima usw.) sowie auch Hochwasserkennwerte benötigt.³⁹

Zu den einfachen Schätzformeln zählen u.a. Hüllkurven (siehe 3.3.4) von Hochwasserabflüssen. Dabei werden für eine Region die höchsten beobachteten Abflüsse gegen die Größe des Gebiets aufgetragen. Die Hüllkurve wird als diejenige Kurve identifiziert, die sich oberhalb aller beobachteten Ereignisse befindet. Sie gibt damit Aufschluss über den größten Hochwasserabfluss in der betrachteten Region. Ein Nachteil ist die fehlende Zuordnung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit, welche die Einsatzmöglichkeit für die Bemessung stark beschränkt.⁴⁰

Im Gegensatz zu den einfachen Schätzformeln existieren auch Schätzformeln, die auf Hochwasserstatistik und Regionalisierung basieren. Diese verwenden einen Gebietsfaktor GF_{100} der laut Gattermayr u. a. 2011, S. 78 folgendermaßen mit dem HQ_{100} in Beziehung steht:

$$GF_{100} = \frac{HQ_{100}}{A_E^{0,6}} \quad (3.11)$$

Diese Gebietsfaktoren sind auf hydrologisch ähnliche Gebiete für die keine beobachteten Messdaten existieren übertragbar, wobei die Eignung von der hydrologischen Homogenität und der Menge und Qualität der existierenden Pegel im Gebiet abhängig ist.⁴¹

Als weitere Regionalisierungsverfahren sind außerdem Spendendiagramme und hydrologische Längenschnitte zu nennen. Für Spendendiagramme werden Gebiete mit Pegeln zu Regionen verbunden und Anschließend die Hochwasserspenden gegen die Fläche des jeweiligen Gebiets aufgetragen. Falls die Gebiete in der betrachteten Region als ähnlich angenommen wurden, muss die Spende mit zunehmender Gebietsfläche abnehmen. Wird hingegen der hydrologische Längenschnitt angewendet, werden die Hochwasserkennwerte gegen die Größe des Einzugsgebiets oder der Lauflänge aufgetragen. Dieser ist daraufhin einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Sie eignen sich vor allem für unbeobachtete Standorte an größeren Flüssen. Es darf ohne weitere Informationen nicht über den äußersten Beobachtungsstandort extrapoliert werden.⁴²

³⁸Vgl. ebd., S. 76

³⁹Vgl. ebd., S. 76

⁴⁰Vgl. ebd., S. 77

⁴¹Vgl. ebd., S. 79

⁴²Vgl. ebd., S. 79–81

3.4.2 Gruppierungsmethoden

Gruppierungsmethoden unterteilen die Landschaft in einheitliche bzw. ähnliche Gebiete hinsichtlich des hydrologischen Regimes. Hängen diese räumlich zusammen, können sie als Regionen bezeichnet werden, wodurch eine Regionalisierung vorliegt. Auch hier spielt die Kenntnis von Gebietskenngrößen und hydrologischen Kenngrößen eine wichtige Rolle für die Modellierung. Die Schwierigkeit liegt hier bei der richtigen Identifikation von Gebieten, die sich hydrologisch ähnlich verhalten, da es sie streng genommen nicht gibt. Ähnlichkeiten können allenfalls nur bezogen auf eine bestimmte hydrologische Kenngröße angenommen werden. Müssen diese in unbeobachteten Gebieten abgeschätzt werden, ist folgende Vorgehensweise zu empfehlen:

- Unterteilung in Regionen ausgehend von einer geeigneten hydrologischen Kenngröße.
- Unbeobachtetes Gebiet zu einer Region zuordnen.
- Annahme der typspezifischen hydrologischen Größe oder Parameter des Modells für das unbeobachtete Gebiet.⁴³

3.4.3 Geostatistische Interpolation von Hochwasserkenngrößen

Grundlage für dieses Verfahren ist die Annahme, dass aneinander angrenzende Gebiete ein gleichartiges Verhalten im Hochwasserfall aufweisen. Dies begründet sich daraus, dass sich die Eigenschaften eines Gebiets sowie das Klima nicht abrupt im Raum ändern. Diese Verfahren (z.B. Kriging) werden für die räumliche Interpolation zahlreicher hydrologischer Kenngrößen herangezogen.⁴⁴

Auch hier ist es möglich zusätzliche Informationen hinzuzuziehen, um eine Erweiterung der Interpolation zu erreichen (z.B. Georegression, External drift Kriging, Cokriging). Wichtig ist die passende Wahl der zusätzlichen Variablen, da die Berechnung durch Verwendung ungeeigneter Variablen auch verschlechtert werden kann.⁴⁵

Sinnvoll bei der geostatistischen Interpolation ist die Normierung der Hochwasserspanden auf einheitliche hypothetische Gebietsflächen, um den Einfluss der Einzugsgebietsgröße auf die Hochwasserwerte darzulegen. Diese Berechnung erfolgt laut Gattermayr u. a. 2011, S. 83 folgendermaßen:

$$q_N = q_A A^\alpha A_N^{-\alpha} \quad (3.12)$$

q_N ... auf die hypothetische Gebietsfläche A_N normierte Abflussspende

q_A ... Abflussspende der Gebietsfläche A

α ... Exponent (typisch von 0,25 bis 0,45)

Der Exponent α ist ein Maß für die maßgeblichen hydrologischen Abläufe der jeweiligen Region. Kleine Werte stehen eher für großflächige Prozesse als Auslöser für ein Hochwasserereignis, wohingegen höhere Werte höhere Abflüsse kleiner Gebiete aufgrund lokaler Effekte im Vergleich zu größeren Gebieten widerspiegeln.⁴⁶

⁴³Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 81–82

⁴⁴Vgl. ebd., S. 83

⁴⁵Vgl. ebd., S. 83

⁴⁶Vgl. ebd., S. 87

3.5 Niederschlag-Abfluss-Modelle

Niederschlag-Abfluss-Modelle zählen zu den regionalhydrologischen Verfahren (siehe 3.4) und werden somit vor allem für unbeobachtete Gebiete eingesetzt, um synthetische Hochwasserganglinien zu ermitteln. Je nach verfügbarer Datengrundlage können die Ergebnisse jedoch starke Unsicherheiten aufweisen. Für die Kalibrierung des Modells werden insbesondere Gebietskennwerte und Messwerte in zeitlich hoher Auflösung sowie guter Qualität benötigt, die oftmals nicht existieren. Gibt es einen Zusammenhang zur Abflussstatistik direkt oder durch Regionalisierung, ist die Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen sinnvoll.⁴⁷

Bemessungsgrößen können durch zwei verschiedene Vorgangsweisen ermittelt werden:

Ereignisbezogene Modellierung (siehe Abb. 10a):

Hier wird auf ein Einzugsgebiet ein Bemessungsniederschlag aufgebracht, wobei die gewählten Randbedingungen die Ergebnisse stark beeinflussen. Gibt es keinen Zusammenhang zur Abflussstatistik, kann eine Wiederkehrperiode nicht zuverlässig festgelegt, sondern lediglich ein Bereich für diese abgeschätzt werden. Dies begründet sich aus der Komplexität der Randbedingungen. Die Kalibrierung der Parameter des Modells spielt deswegen eine zentrale Rolle.⁴⁸

Langzeitsimulation (siehe Abb. 10b):

Betreffend dieser Simulation werden für die Parameter über einen langen Zeitraum beobachtete oder simulierte Reihen benötigt, wodurch eine Abflussreihe simuliert werden kann. Die Erstellung der Reihen der Modellparameter ist allerdings häufig mit einem sehr großen Aufwand verbunden.⁴⁹

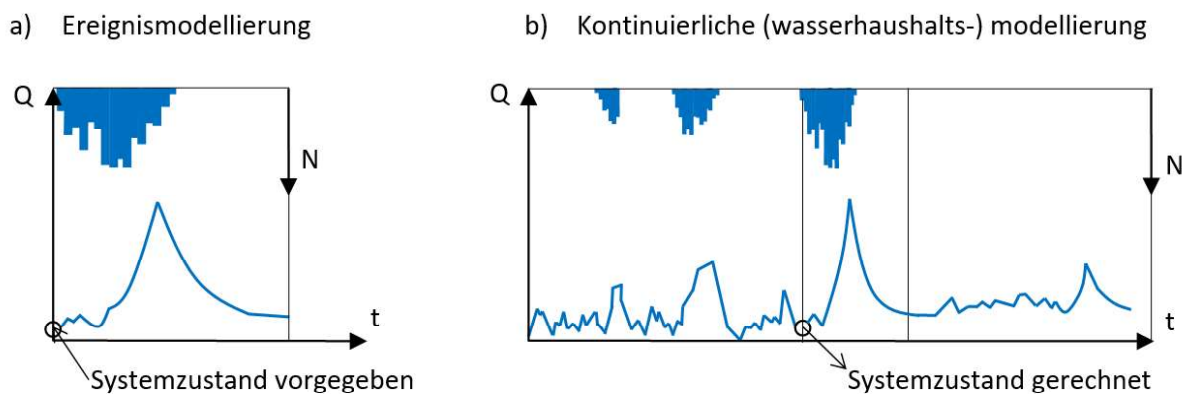


Abb. 10: Schematische Darstellung der Betrachtungszeiträume bei (a) ereignisbezogener Modellierung und (b) Langzeitsimulation

Quelle: In Anlehnung an Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 67

Durch eine Kombination beider Verfahren können die Nachteile jedoch verringert werden.⁵⁰

⁴⁷Vgl. ebd., S. 83

⁴⁸Vgl. ebd., S. 88

⁴⁹Vgl. ebd., S. 88

⁵⁰Vgl. ebd., S. 88

3.5.1 Eingangsgrößen und Parameter

Gebietsüberblick und Gebietseigenschaften

Eine landschaftliche Zuordnung des betrachtenden Gebiets ist als Basis für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung sinnvoll, da Niederschlag-Abfluss-Prozesse u.a. von der Einzugsgebietsfläche, der Lage innerhalb einer Region, dem Versiegelungsgrad, etwaigen Besonderheiten usw. beeinflusst werden. Aufgrund dessen sind Eingangsgrößen erforderlich, die die Gebietseigenschaften beschreiben, um daraus Modellparameter ableiten zu können. Weitere benötigte Daten sind Niederschlag- und Lufttemperaturzeitreihen sowie gegebenenfalls auch Angaben bezüglich der Verdunstung und Schneeschmelze. Die Kalibrierung und Validierung des Modells erfolgt auf Grundlage von Abflusszeitreihen. Die im Detail benötigten Daten sind jedoch immer abhängig von der genauen Fragestellung.⁵¹

Die Geologie bzw. der vorhandene Boden haben ebenfalls einen Einfluss auf die abflussbildenden Prozesse. Relevante Parameter sind beispielsweise die Bodentiefe, die hydraulische Leitfähigkeit und die Bodenfeuchte. Stehen keine Bodendaten für das betrachtete Gebiet zur Verfügung, sollten diese wenn möglich direkt erhoben werden. Es können aber unter Umständen auch Informationen aus ähnlichen Gebieten übertragen werden.⁵²

Die Verdunstung wird direkt und die Abflussbildung indirekt von der jeweils vorherrschenden Vegetation beeinflusst. Die Landnutzung (versiegelte Flächen, Waldflächen, landwirtschaftliche Nutzung usw.) spielt ebenfalls eine wichtige Rolle für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Änderungen in der Landnutzung können bei der Modellierung durch unterschiedliche Szenarien oder zeitlich variabler Eingangsgrößen und Parameter berücksichtigt werden.⁵³

Niederschlag und andere meteorologische Größen

Für das betrachtete Gebiet sollten möglichst sämtliche zur Verfügung stehenden Niederschlagsstationen herangezogen werden (Messstellen des Hydrographischen Dienstes für Niederschläge siehe Abb. 11). Ist keine Niederschlagsstation vorhanden, müssen die Daten von umgebenden oder hydrologisch ähnlichen Gebieten verwendet werden. Um eine Station heranziehen zu können, sollte sie für das betrachtete Gebiet räumlich und zeitlich repräsentativ sein. Auch die Datenqualität und Verfügbarkeit sind zu beachten. Die Einbeziehung von Daten aus der Umgebung und von Zusatzinformationen ist zu empfehlen. Bezüglich der zeitlichen Auflösung des Niederschlag-Abfluss-Modells entspricht diese der zeitlichen Auflösung der Eingangsdaten. Welche zeitliche Auflösung für das Modell erforderlich ist, muss abhängig von der Fragestellung festgelegt werden.⁵⁴

⁵¹Vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 17

⁵²Vgl. ebd., S. 19–20

⁵³Vgl. ebd., S. 20

⁵⁴Vgl. ebd., S. 23

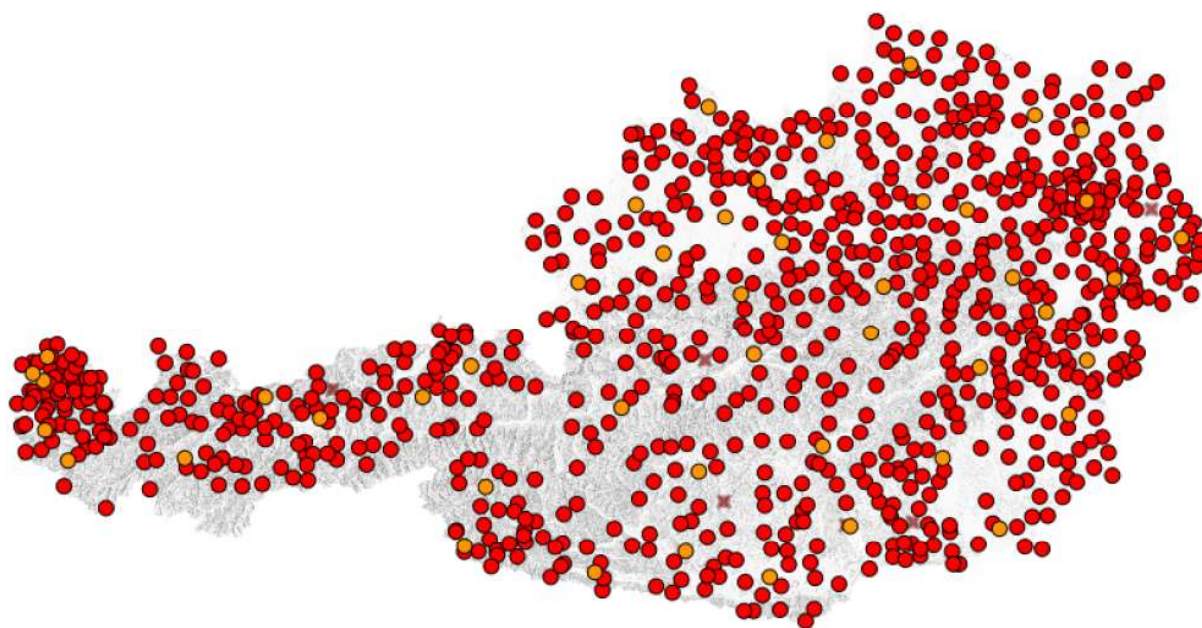


Abb. 11: Niederschlagsstationen des Hydrographischen Dienstes in Österreich

Quelle: www.ehyd.gv.at (25.02.2020)

Für die räumliche Verteilung des Niederschlags müssen die am Punkt gemessenen Daten in Flächenwerte umgewandelt werden. Dafür werden u.a. folgende Regionalisierungsmethoden verwendet:

- Flächenabminderungsfaktoren (Umrechnung des Punktniederschlags in einen mittleren Flächenniederschlag; bezogen auf eine bestimmte Jährlichkeit) oder räumlichen Niederschlagsszenarien (Vorgabe einer expliziten räumlichen Verteilung) zur Abminderung des Bemessungsniederschlags am Punkt.
- Bestimmung des Gebietsniederschlags durch räumliche Interpolation (deterministische und statistische Methoden) von Niederschlagszeitreihen.
 - Thiessen-Methode (deterministische Methode)
Gebietsniederschlag als gewichteter Mittelwert der Stationsniederschläge. Berechnung der Gewichte durch Verschneidung der Streckensymmetrale zweier Stationen. Gewicht für jede Station aus Verhältnis der aus Verschneidung resultierender Teilfläche zur Gesamtfläche.
 - Distanzgewichtung (deterministische Methode)
Niederschlag als gewichteter Mittelwert der Stationsniederschläge. Berechnung der Gewichte durch eine Funktion, die abhängig ist vom Abstand zwischen der Station und dem jeweiligen Punkt.
 - Spline-Interpolation (deterministische Methode)
Verwendung von stückweisen räumlichen Polynomfunktionen zwischen den Stationen.
 - Kriging-Interpolation (statistische Methode)
Niederschlag als gewichteter Mittelwert der Stationsniederschläge. Berechnung der Gewichte durch das Variogramm des Niederschlags, welches die räumliche Beziehung der Daten widerspiegelt.

- External Drift Kriging (statistische Methode)
Ähnlich wie Kriging-Interpolation. Zusätzliche Annahme, dass eine Zusatzvariable einwandfrei mit dem Niederschlag korreliert.
- Georegression (statistische Methode)
Aufstellung einer Regression des Niederschlags mit einer Zufallsvariable. Bestimmung des Niederschlags durch Regressionsgleichung an allen Punkten, für die diese zusätzliche Information vorhanden ist. Räumliche Interpolation der Differenz des berechneten und gemessenen Wertes und anschließende Addition zum Wert der Regression.⁵⁵

Für die Auswahl einer geeigneten Methode bzw. deren Qualität ist vor allem die Güte der verwendeten Stationsdaten des Niederschlags, aber auch die Anzahl dieser Stationen entscheidend. Außerdem muss festgelegt werden, wie mit systematischen Interpolationsfehlern umgegangen werden soll. Die Auswahl der zusätzlich einfließenden Informationen muss ebenfalls berücksichtigt werden.⁵⁶

Ob nun eine deterministische oder statistische Interpolationsmethode gewählt wird, hat jedoch eine geringere Bedeutung als die Miteinbeziehung möglichst vieler Stationen und Verwendung aussagekräftiger Zusatzinformationen.⁵⁷

Weitere Daten, die für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung benötigt werden, sind u.a. Schneedaten, wie beispielsweise die Schneehöhe und Daten bzgl. der Lufttemperatur und Verdunstung, die gegebenenfalls ebenfalls einer räumlichen Interpolation zu unterziehen sind. Es ist auf physikalisch sinnvolle Werte zu achten.⁵⁸

Abfluss

Für die Erhebung des Abflusses werden Pegel eingesetzt (Messstellen des Hydrographischen Dienstes für Oberflächengewässer siehe Abb. 12). Es wird das Niveau des Wasserspiegels aufgezeichnet und unter Verwendung von Wasserstands-Durchflussbeziehungen der Abfluss ermittelt. Die Messung sollte hierbei in einer hohen zeitlichen Auflösung stattfinden. Sind Niederschlag-Abfluss-Modelle für unbeobachtete Einzugsgebiete zu erstellen, können Daten von umgebenden, hydrologisch ähnlichen Gebieten eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre die direkte Erhebung der benötigten Daten.⁵⁹

⁵⁵Vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 35–38

⁵⁶Vgl. ebd., S. 39

⁵⁷Vgl. ebd., S. 41

⁵⁸Vgl. ebd., S. 41–43

⁵⁹Vgl. ebd., S. 46

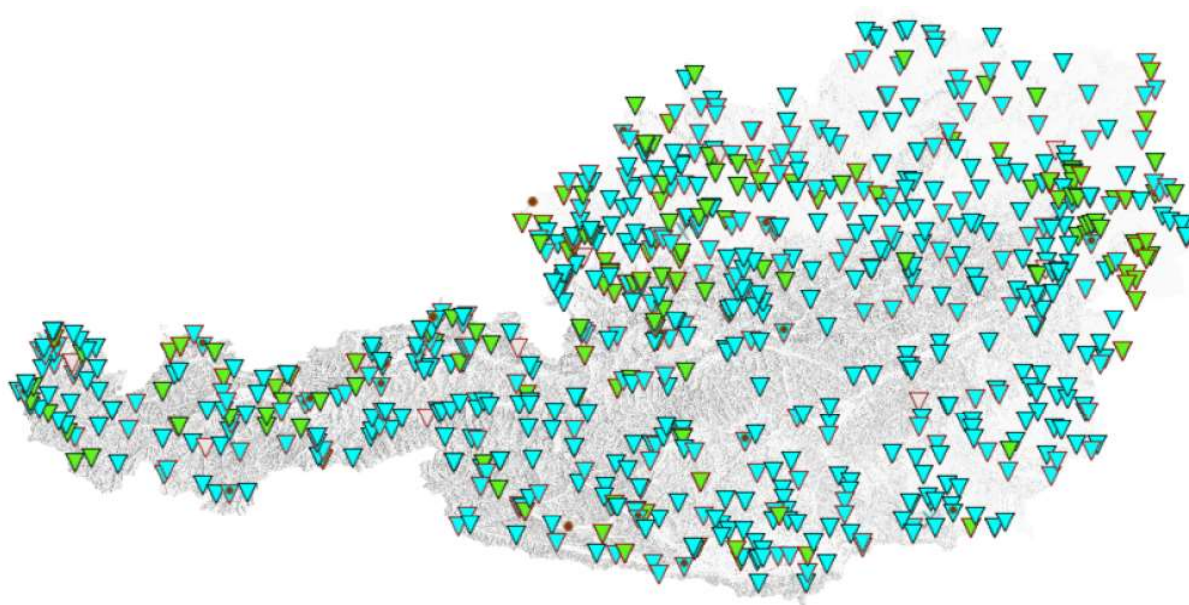


Abb. 12: Messstellen des Hydrographischen Dienstes für Oberflächengewässer
Quelle: www.ehyd.gv.at (25.02.2020)

3.5.2 Modellwahl

Um ein geeignetes Modell wählen zu können, sind vor allem folgende vier Punkte zu berücksichtigen:

- **Aufgabenstellung**
Verschiedene Niederschlag-Abfluss-Modelle besitzen nicht die gleiche Eignung für alle Aufgabenstellungen.
- **Datenerfordernis und Datenverfügbarkeit**
Es sollten für das Modell nur Daten (Eingangsdaten, Grundlagendaten zur Parameterableitung) benötigt werden, die für das betreffende Gebiet vorhanden sind.
- **Relevante hydrologische Prozesse und Modellkomplexität**
Abhängigkeit der Modellwahl von den vorherrschenden, dominierenden hydrologischen Prozessen (z.B. Abflussprozesse, Sedimenttransport, Grundwasserneubildung usw.). Diverse Modelle beschreiben diese Prozesse in unterschiedlicher Komplexität.
- **Praktische Erfahrung mit den verschiedenen Modellen**
Für unbekannte Modelle ist eine Einarbeitungszeit vorzusehen. Die Länge der Einarbeitungszeit hängt von der Komplexität des Modells ab.⁶⁰

Grundsätzlich werden Niederschlag-Abfluss-Modelle in deterministische und statistische Modelle unterschieden. Deterministische Modelle verwenden deterministische Variablen, um die Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss wiederzugeben, wohingegen statistische Modelle diese Beziehung mit Zufallsvariablen beschreiben. Diese Zufallsvariablen sind durch eine Wahrscheinlichkeit bestimmt, wodurch Unsicherheiten dargestellt werden können.⁶¹

⁶⁰Vgl. ebd., S. 61

⁶¹Vgl. ebd., S. 62

Eine Unterscheidung von deterministischen Modellen, die in der Praxis häufiger zur Anwendung kommen als statistische Modelle, kann nach der Komplexität erfolgen.⁶²

White-Box-Modelle	mathematische Formulierung der Prozesse auf Basis der Physik Modellverhalten extrapolierbar auf unbeobachtete Situationen detaillierte Daten für Bestimmung der Modellparameter nötig
Grey-Box-Modelle	mathematische Formulierung der Prozesse auf Basis vereinfachter physikalischer Gesetze bei Möglichkeit der Kalibrierung mit Abflussdaten bevorzugt verwendet Anwendung auch in unbeobachteten Gebieten möglich
Black-Box-Modelle	betrachten nur Input-Output-Beziehungen basieren nicht auf physikalischen Gleichungen innere Prozesse werden nicht beachtet Anwendung mit geringem Aufwand aufgrund der Einfachheit des Modells vergleichbar wenig Daten erforderlich Situationen, die nicht im Kalibrierungsdatensatz enthalten sind, können schlecht extrapoliert werden

Tab. 3.6: Unterscheidung deterministischer Modell nach ihrer Komplexität
Quelle: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 62–63

3.5.3 Kalibrierung

Das Niederschlag-Abfluss-Modell stellt eine Vereinfachung eines Ausschnitts der Realität dar. Wie in Kapitel 3.5.2 bereits erwähnt, werden die hydrologischen Prozesse durch mathematische Formeln beschrieben, wobei die Modellparameter die Koeffizienten in diesen Formeln darstellen. Diese müssen so gewählt werden, dass eine beobachtete lokale Situation so gut wie möglich wiedergegeben werden kann. Es gibt Parameter, die direkt gemessen werden können, aber auch jene, die aus dem Vergleich der Modellantwort mit den Messdaten zu erschließen sind. Die Parameter werden hierbei so oft variiert, bis eine bestmögliche Übereinstimmung von Simulation und Messdaten erreicht wird. Dieser Vorgang stellt die Kalibrierung dar, welche manuell, automatisch oder auch kombiniert durchgeführt werden kann. Das Ziel ist es, systematische Fehler zu reduzieren. Nach erfolgter Kalibrierung ist eine Validierung des Modells durchzuführen (siehe Kapitel 3.5.4) erfolgen.⁶³

⁶²Vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 62

⁶³Vgl. ebd., S. 83

Eine Einteilung der Parameter kann wie folgt erfolgen:

- Physikalisch basierte Parameter
Haben eine physikalische Bedeutung und sind prinzipiell messbar. Eine zusätzliche Kalibrierung kann aber notwendig sein.
- Konzeptionelle Parameter
Physikalisch interpretierbar und nicht direkt messbar.
- Black-Box-Parameter
Reine Kalibriergrößen. Nicht interpretier- und messbar.⁶⁴

Um die Übereinstimmung der simulierten und gemessenen Daten bewerten zu können, werden sogenannte Zielfunktionen verwendet. Sie vergleichen die Simulation mit der Messung und quantifizieren die Fehler bzw. Güte. Beispiele für solche Zielfunktionen sind etwa der mittlere absolute Fehler (MAE), der mittlere quadratische Fehler (MSE), der Volumenfehler (BIAS) und die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE).⁶⁵

Werden komplexe Modelle eingesetzt, sind für die Kalibrierung mehr Freiheitsgrade vorhanden. Diese benötigen aber auch mehr Daten, die nicht immer vorhanden sind. Die Parameter können allerdings auch stark korreliert sein. Dies wird als Überparametrisierung bezeichnet. Sie bewirkt, dass eine eindeutige Kalibration der Parameter aus den verfügbaren Daten nicht möglich ist. Die Abhängigkeit der Modellgüte von der Modellkomplexität und den verfügbaren Daten ist in Abb. 13 dargestellt. Eine höhere Komplexität ist demnach verbunden mit einem größeren Datenumfang, um die Parameter für ein prognosefähiges Modell bestimmen zu können.⁶⁶

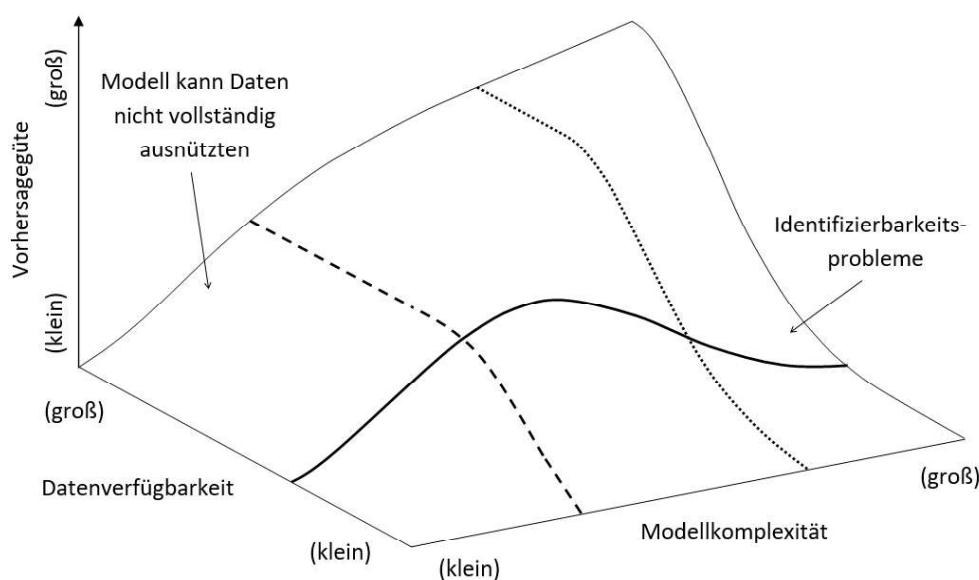


Abb. 13: Modellgüte in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit und Modellkomplexität
Quelle: In Anlehnung an Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 110

⁶⁴Vgl. ebd., S. 83–84

⁶⁵Vgl. ebd., S. 100

⁶⁶Vgl. ebd., S. 109

3.5.4 Validierung/Plausibilisierung

Die Validierung hat die Aufgabe sicherzustellen, dass das Niederschlag-Abfluss-Modell nicht nur den Datensatz, der für die Kalibrierung herangezogen wurde, wiedergibt, sondern auch andere Situationen. Für die Prognosefähigkeit des Modells ist sie deshalb von großer Bedeutung. Um die Parameter validieren zu können, ist ein von der Kalibrierung unabhängiger Datensatz notwendig. Die Unterschiede zwischen Simulation und Messdaten müssen dokumentiert und interpretiert werden. Es können auch zusätzliche hydrologische Informationen bzw. Argumentationen für eine Plausibilisierung herangezogen werden. Sind in dem betrachteten Gebiet keine Abflussmessungen vorhanden, können Daten aus benachbarten Gebieten oder auch hydrologische Zusatzinformationen herangezogen werden. Ist die Validierung erfolgreich abgeschlossen, kann das Modell für die jeweilige Aufgabenstellung verwendet werden. Ist dies nicht der Fall muss die Analyse erweitert werden.⁶⁷

Die generelle Vorgehensweise der Validierung bzw. Plausibilisierung ist wie folgt:

- Validierung durch Abflussdaten im Gebiet.
Graphische Gegenüberstellung von simulierten und beobachteten Daten. Verwendung gleicher Gütemaße für Kalibrierung und Validierung ist zu empfehlen.
- Perioden, in denen Unterschiede zwischen simulierten und beobachteten Abfluss erfasst wurden, analysieren.
- Plausibilitätskontrolle durch Einbinden weiterer hydrologischer Informationen bzw. Argumentationen.⁶⁸

3.5.5 Unsicherheiten der Ergebnisse

Die Unsicherheiten der Ergebnisse können in folgende Typen unterschieden werden:

- Unsicherheiten zufolge Daten
Hierzu zählen Messfehler der verfügbaren Datensätze sowie Interpolationsfehler. Bezüglich der Messfehler ist zwischen systematischen und zufälligen Fehlern zu differenzieren.
- Unsicherheiten zufolge Modellstruktur
Ursache ist die Vereinfachung der Realität im Modell bzw. eine unzureichende Berücksichtigung aller auftretenden Prozesse.
- Unsicherheiten zufolge suboptimaler Modellparameter
Die Kalibrierung hat einen großen Einfluss auf diese Art von Unsicherheit. Zuverlässige Datensätze, die über einen langen Zeitraum gemessen wurden, sind für eine zuverlässige Kalibrierung von großer Bedeutung. Es ist jedoch auf eine Überparametrisierung (siehe Kapitel 3.5.3) zu achten. Kurze Datenreihen resultieren oftmals in nicht optimal kalibrierten Parametern, welche die Unsicherheit in den Ergebnissen beeinflusst.⁶⁹

⁶⁷Vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) 2019, S. 121

⁶⁸Vgl. ebd., S. 126

⁶⁹Vgl. ebd., S. 151–152

Um die Unsicherheiten letztendlich abschätzen zu können, werden folgende Methoden angewendet:

- Validierung durch Abflussdaten, Plausibilisierung durch Zusatzinformationen (siehe Kapitel 3.5.4)
- Sensitivitätsanalysen
Sinnvolle Ergänzungen zu den anderen aufgelisteten Methoden. Eine Untersuchung der Sensitivität des Resultats auf die Eingangsdaten und die Modellparameter sowie damit zusammenhängender Behauptungen kann erfolgen.
- Mögliche Unsicherheiten hydrologisch argumentieren
Auf Grundlage des Prozessverständnisses und der Kenntnis des Modells und der verwendeten Eingangsdaten.⁷⁰

3.6 Gradex-Verfahren

Das Gradex-Verfahren ist ein indirekt statistisches Verfahren und besteht aus einem einfachen Niederschlag-Abfluss-Modell. Es wird angenommen, dass das Gebiet ab dem Zeitpunkt des Auftretens eines Hochwassers mit festgelegter Jährlichkeit T_g gesättigt ist, wodurch jeder darüber hinausgehende Regen vollkommen zum Abfluss kommt. Somit kann das Verhalten bei Hochwasser mit größerer Jährlichkeit über das Niederschlagsverhalten abgeschätzt werden. Da eine vollständige Sättigung angenommen wird, stellen die aus diesem Verfahren gewonnenen Ergebnisse für die Hochwasserwahrscheinlichkeit obere Schranken dar.⁷¹

Die Speicherkapazität des Untergrunds ist definiert als die Differenz zwischen dem Niederschlag und dem Direktabfluss. Im Zuge des Gradex-Verfahrens wird nach Merz, Blöschl und Piock-Ellena 1999, S. 292 das Abflussvolumen durch folgende Gleichung in einen Abflussscheitel umgerechnet:

$$Q_{m_T} - Q_{m_{T_g}} = (N_T^{Geb} - N_{T_g}^{Geb}) A \quad (3.13)$$

$$Q_{S_T} = r Q_{m_T} \text{ bzw. } Q_{S_{T_g}} = r Q_{m_{T_g}} \quad (3.14)$$

Q_{m_T} ... mittlerer Abfluss während eines Zeitintervalls H mit einer Jährlichkeit $T > T_g$

$Q_{m_{T_g}}$... entsprechender Wert mit einer Jährlichkeit T_g

N_T^{Geb} ... Gebietsniederschlag während eines Zeitintervalls H mit einer Jährlichkeit T

$N_{T_g}^{Geb}$... Gebietsniederschlag während eines Zeitintervalls H mit einer Jährlichkeit T_g

A ... Einzugsgebietsfläche

Q_{S_T} bzw. $Q_{S_{T_g}}$... Abflussscheitel mit einer Jährlichkeit T bzw. T_g

r ... Parameter

Ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Niederschlags sowie der Abflussscheitel $Q_{S_{T_g}}$ und der r -Parameter bekannt, so kann aus den Gleichungen (3.13) und (3.14) der Abfluss mit einer Jährlichkeit $T > T_g$ ermittelt werden.⁷²

⁷⁰Vgl. ebd., S. 155

⁷¹Vgl. Gattermayr u. a. 2011, S. 53

⁷²Vgl. Merz, Blöschl und Piock-Ellena 1999, S. 293

3.7 Rückhaltewirkung

Für eine Ganglinie, die durch einen Spitzenabfluss Q_{\max} und eine Dauer charakterisiert ist, kann eine Fülle F für einem festgelegten Schwellenwert Q_S ermittelt werden. Werden diese Füllen F in Abhängigkeit zu den Schwellenwerte Q_S aufgetragen, ergibt dies die sogenannte Fülllinie (siehe Abb. 14).⁷³

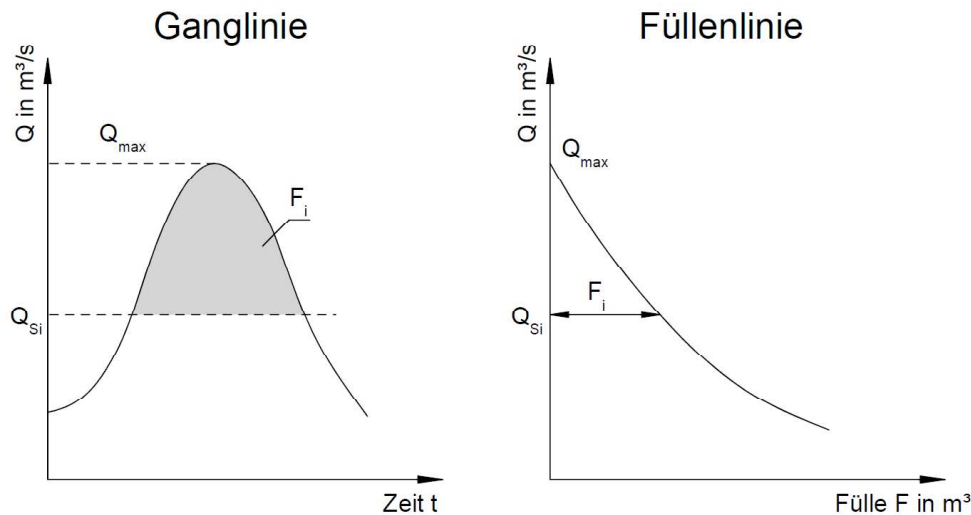


Abb. 14: Gang- und Fülllinie

Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 125

Die Rückhaltewirkungslinie wird ermittelt indem alle Fülllinien mit gleicher Wiederholungszeitspanne T_n , aber unterschiedlicher Niederschlagsdauern T_N , durch eine Einhüllende abgegrenzt werden (siehe Abb. 15). Dadurch kann der erforderliche, gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum bei gegebenem Regelabfluss berechnet werden. Umgekehrt ist aber auch die Ermittlung des Regelabflusses bei einem bereits festgelegten Rückhalteraum möglich.⁷⁴

Ein lang andauerndes Hochwasserereignis mit einer geringen Wiederholungszeitspanne kann also zur Einhaltung des festgelegten Regelabflusses unter Umständen ein größeres Rückhaltevolumen benötigen, als ein kürzer dauerndes Hochwasserereignis mit einer großen Wiederholungszeitspanne. Es ist deshalb bei der Bestimmung des erforderlichen Rückhalteraus nicht nur die Wiederholungszeitspanne, sondern auch die Dauer des Niederschlagsereignisses zu berücksichtigen.

⁷³Vgl. Muth 1992, S. 125

⁷⁴Vgl. ebd., S. 125

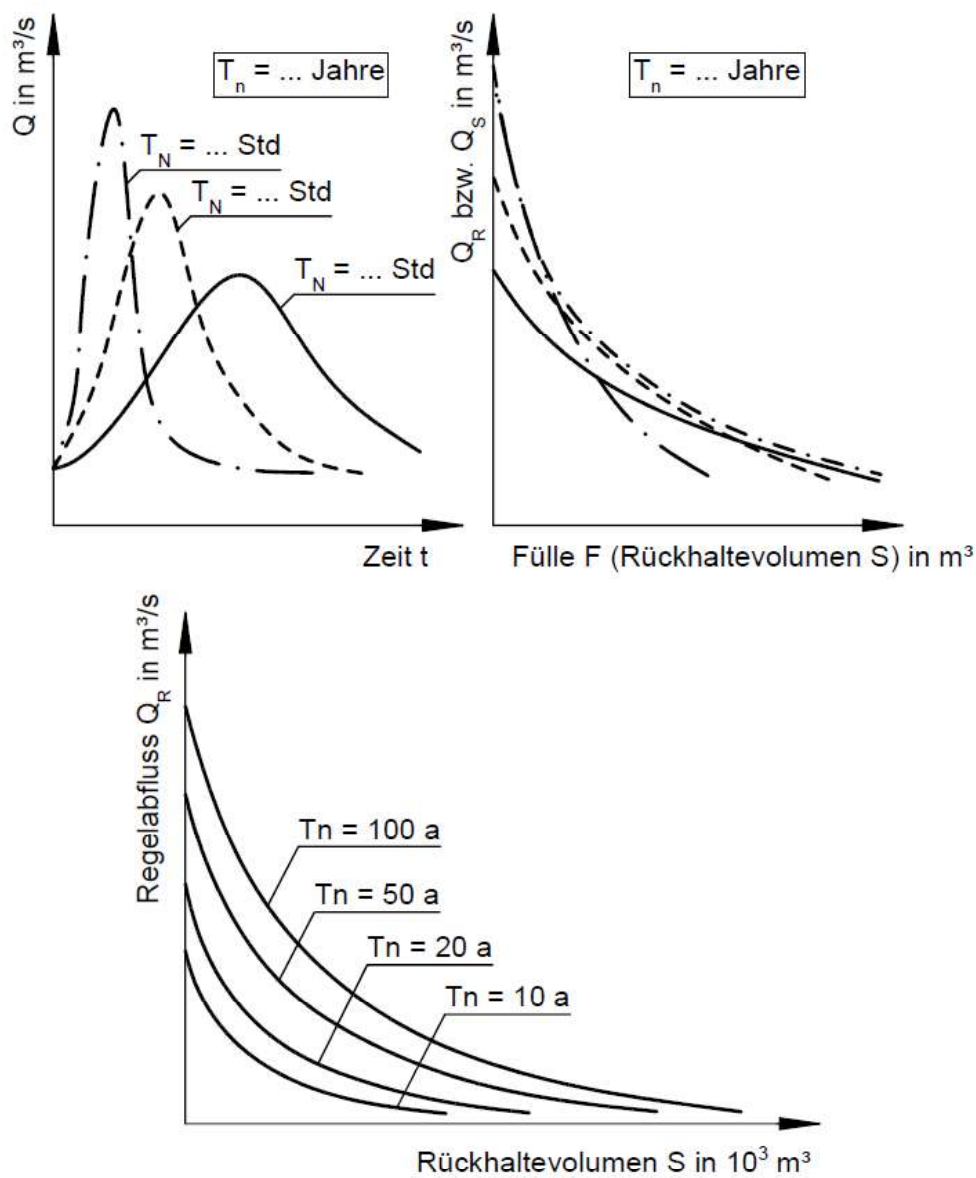


Abb. 15: Ermittlung der n -jährlichen Rückhaltewirkungslinie als Einhüllende der Fülllinien für unterschiedliche Niederschlagsdauern T_N
 Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 126

Kapitel 4

Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen

Um Schäden durch Hochwasser zu minimieren, sind drei Teilstrategien (siehe Abb. 16) zu berücksichtigen:

- Hochwasser-Flächenmanagement
- Technischer Hochwasserschutz
- Hochwasservorsorge¹

Diese sollen sich den jeweils vorhandenen Gegebenheiten bestmöglich anpassen und zu einem Gesamtschutzkonzept zusammengefasst werden.²

Um die Wirtschaftlichkeit bei der Planung von Schutzmaßnahmen sicherzustellen, ist die Durchführung einer Risikoanalyse unerlässlich. Für diese sind vor allem die bestehende Gefährdung sowie die Vulnerabilität und Exposition der bedrohten Objekte von Bedeutung.³

Wird ein Schutzziel festgelegt, gibt es, bezogen auf die drei Teilstrategien, unterschiedliche Maßnahmen mit denen dieses Ziel erreicht werden kann. Diese Maßnahmen sollten, wie bereits erwähnt, wirtschaftlich und verhältnismäßig sein. Es ist also darauf zu achten, dass die Reduktion des zu erwartenden Schadens, sprich der Nutzen der Maßnahmen, nicht größer als die Errichtungs- und Betriebskosten der ausgewählten Schutzmaßnahmen ist. Sie müssen also hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit beurteilt und gewichtet werden.

¹Vgl. Patt und Gonsowski 2011, S. 160

²Vgl. ebd., S. 160

³Vgl. ebd., S. 161

Hochwasserschutz-Strategie



Hochwasser-Flächenmanagement

Flächenvorsorge für hochwassergefährdete Gebiete:

- Flächenbezogene Informationsveranstaltung und -aufbereitung (Hochwassergefahrenkarten)
- Landes-, Regional- und Bauleitplanung, einschließlich rechtlicher Festlegungen und Benennungen von Verantwortlichkeiten
- Angepasste bauliche Nutzung

Wasserrückhaltung in der Fläche:

- Erhalt und Wiederherstellung von Retentionsräumen und versickerungsfähigen Böden

Technischer Hochwasserschutz

Als Infrastrukturmaßnahme:

- Deiche und Dämme
- Hochwasserrückhaltebecken
- Gewässerausbau
- Hochwasserschutzmauern und mobile Wände
- Objektschutz

Hochwasservorsorge

- **Bauvorsorge** durch angepasste Bauweise und auf Hochwasser ausgerichtete Anlagenausrüstung einschließlich entsprechender Nutzung gefährdeter Keller- und Wohnräume
- **Verhaltensvorsorge** durch rechtzeitige Hochwasserwarnung und planvolles Handeln vor und während des Hochwassers, Alarm- und Einsatzplanung, Einrichten von Hochwasserpartnerschaften
- **Risikovorsorge** in Form von Versicherungen und eigenen Rücklagen

Abb. 16: Teilstrategien zur Zielerreichung

Quelle: In Anlehnung an Patt und Gonsowski 2011, S. 161

4.1 Schadenspotenzial und Schadenserwartungswerte

4.1.1 Schadenspotenzial

Der Begriff Schadenspotenzial ist laut Zeisler und Pflügner 2019 folgendermaßen definiert:

„Als Schadenspotenzial werden allgemein die vorhandenen Werte in einem abgegrenzten Untersuchungsraum bezeichnet, die potenziell von einem definierten Schadereignis (z.B. ein Naturereignis wie Hochwasser, Tsunami, Erdbeben aber auch ein anderes Ereignis wie ein Atomunfall, Terroranschlag etc.) betroffen werden können und als schadensanfällig anzusehen sind. Über den tatsächlich zu erwartenden Schaden ist damit noch nichts Eindeutiges ausgesagt.“⁴

Das Schadenspotenzial wird herangezogen, um den zu erwartenden Schaden abzuschätzen, der in einer Abhängigkeit zu den Charakteristiken des jeweiligen Ereignisses steht. Es ist als oberer Grenzwert der potenziellen Schäden anzusehen. Der höchstmögliche Schaden unter den ungünstigsten, aber noch realistischen Gegebenheiten, ist das Maximum des Schadenspotenzials. Ein Ereignis kann u.a. Personen, natürliche Güter, Sachwerte sowie kulturelle Werte beeinträchtigen. Hinzukommend ist die Unterbrechung von sozialen und wirtschaftlichen Aktivitäten zu berücksichtigen, die in Abb. 17 den indirekten Schäden zugeordnet wird.⁵

Der Berechnung des Schadenspotenzials liegt eine Gefahrenanalyse zu Grunde, durch welche in weiterer Folge das mögliche Schadensausmaß für verschiedene Szenarien ermittelt werden kann. Diese Szenarien sind nachfolgend aufgelistet:

- Mittleres Ereignis frei von neuen Maßnahmen
- Seltenes Ereignis frei von neuen Maßnahmen
- Mittleres Ereignis mit neuer Maßnahme
- Seltenes Ereignis mit neuer Maßnahme⁶

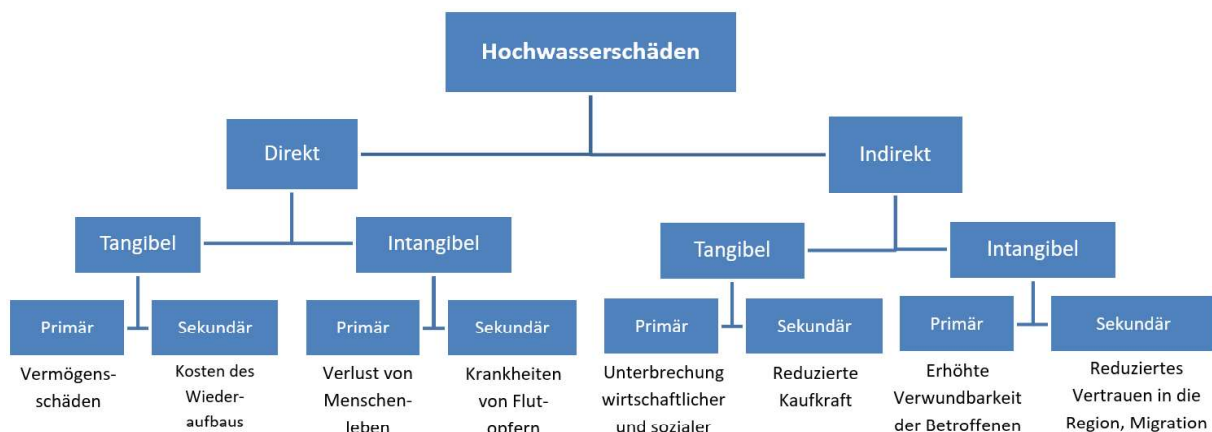


Abb. 17: Systematik von Hochwasserschäden

Quelle: In Anlehnung an Zeisler und Pflügner 2019, S. 23

⁴Vgl. Zeisler und Pflügner 2019, S. 27

⁵Vgl. ebd., S. 27

⁶Vgl. ebd., S. 27

4.1.2 Schadensabschätzung

Für die Schadensabschätzung kann entweder der Ansatz gewählt werden, die Kosten für die Beseitigung der Folgen aus den Schaden zu folgern oder den Wertverlust als Schaden heranzuziehen. Für den letzteren Ansatz ist grundlegend eine Zuweisung von Wertbeständen zu den in Form von Katastern vorliegenden Land- bzw. Objektnutzungen von Bedeutung. Es können drei Hauptsektoren unterschieden werden. Dazu gehören die Landwirtschaft, die Produktion und die Dienstleistungen, welche jeweils in „Bauten“ und „Ausrüstung“ eingeteilt werden können. Im Anteil „Bauten“ sind die Bauwerke selbst sowie die gesamte technische Gebäudeausrüstung enthalten. Der zweite Anteil „Ausrüstung“ beinhaltet jegliche Ausstattung von Betrieben und Geschäften von diversen Wirtschaftsgütern. Aufgrund der unterschiedlichen Schadensanfälligkeit dieser beiden Anteile ist diese Unterscheidung sinnvoll.⁷

Werden alle Vermögenswerte im untersuchten Raum aufsummiert, wird der Wert für eine vollständige Überflutung und totale Schädigung erhalten. Da dies jedoch selbst beim größten anzunehmenden Hochwasserereignis mit großer Wahrscheinlichkeit nicht eintritt, werden zusätzliche Informationen benötigt. Dazu gehören u.a. Rahmenbedingungen bezüglich der Überflutung selbst und auch technisch-gesellschaftliche Aspekte, wie die Entwicklung des Schadens einzelner Vermögensgegenstände.⁸

Durch eine Verschneidung dieser Daten für alle untersuchten Hochwasserereignisse ist es möglich die Vermögensschäden monetär abzuschätzen. Es werden Schädigungsbeziehungen als Wasserstands-Schadens-Funktionen (Schadensfunktionen) verwendet. Die Ergebnisse sind in Prozent angegeben, sodass 100 % eine maximale Schädigung widerspiegeln. Der reale Schaden wird bestimmt von dem betrachteten Hochwasserereignis und dessen Charakteristik.⁹

Laut ebd. ist der Begriff Schadensfunktion wie folgt definiert:

„Schädigungsfunktionen geben nutzungsspezifisch in Abhängigkeit eines Leitparameters (z.B. Überflutungstiefe) den Prozentanteil eines Vermögenswertes an, der unter den vorgegebenen Bedingungen schadensempfindlich ist.“¹⁰

Die Entwicklung des Schadens, abhängig von der Überflutungstiefe, ist grundlegend für weitere Überlegungen. Diese wird in der Schädigungsfunktion bzw. Schadensentwicklungsfunktion dargestellt (siehe Abb. 18).¹¹

⁷Vgl.ebd., S. 28

⁸Vgl.ebd., S. 29

⁹Vgl.ebd., S. 29

¹⁰Vgl.ebd., S. 13

¹¹Vgl.ebd., S. 29

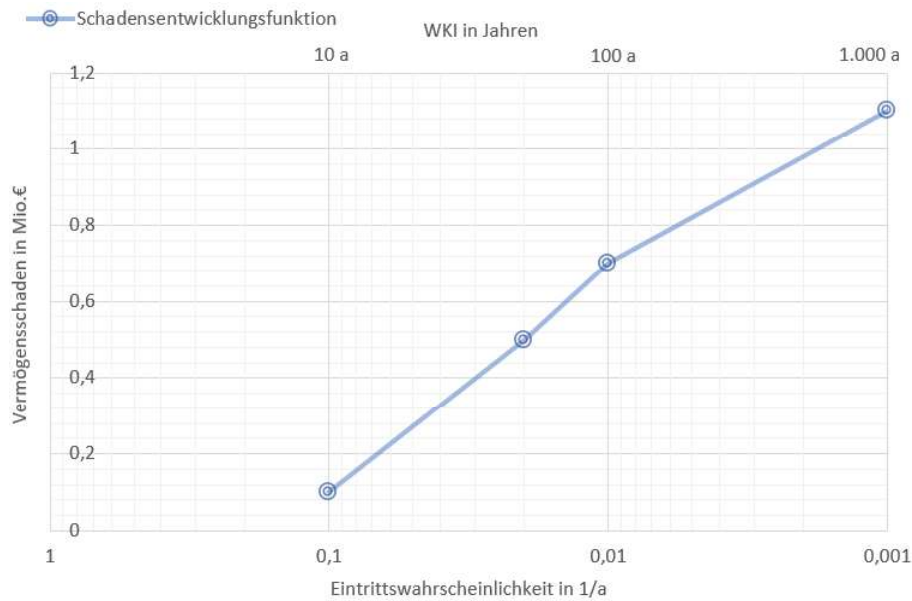


Abb. 18: Darstellung der Schadensentwicklungsfunktion über die Eintrittswahrscheinlichkeit
Quelle: In Anlehnung an Zeisler und Pflügner 2019, S. 30

4.1.3 Schadenserwartungswert (SEW)

Um eine monetäre Bewertung von Schutzmaßnahmen durchführen zu können, ist die gesamte Dichte der Ereignisse erforderlich.¹² Der Begriff Schadenserwartungswert ist laut Zeisler und Pflügner 2019 folgendermaßen definiert:

„Der Schadenserwartungswert beschreibt die mittlere jährliche Schadenserwartung, die aus der Schadensentwicklungskurve abgeleitet wird.“¹³

Er berechnet sich prinzipiell nach ebd., S. 32 wie folgt, wobei vereinfachend auch eine numerische Integration angewendet werden kann:

$$SEW = \int_{P_k}^{P_0} S(P) dP \quad (4.1)$$

SEW ... mittlere jährliche Schadenserwartung (Schadenserwartungswert)

S(P) ... Schadensfunktion

P ... Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses

P₀ ... Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses, bei dessen Überschreitung Schäden auftreten

P_k ... Eintrittswahrscheinlichkeit des größten betrachteten Hochwasserereignisses

Oftmals wiederkehrende Schäden sind stärker zu gewichten als Seltene. Als Schwellenwert ist die Jährlichkeit zu bestimmen, bei der erstmals Schäden auftreten können. Die Eintrittswahrscheinlichkeit P₀ und ein Schadenswert von „0“ ist diesem zugeordnet.¹⁴

¹²Vgl. Zeisler und Pflügner 2019, S. 32

¹³Vgl. ebd., S. 13

¹⁴Vgl. ebd., S. 30–31

4.1.4 Schadensminderung

Durch eine Hochwasserschutzmaßnahme kann die Schadensentwicklungskurve beeinflusst werden. Die Schadensminderung kann laut ebd., S. 34 wie folgt ausgedrückt werden:

$$\text{Schadensminderung} = SEW_{\text{OHNE-Zustand}} - SEW_{\text{MIT-Zustand}} \quad (4.2)$$

Der MIT-Zustand ist jenes Szenario, in der die Schutzmaßnahme umgesetzt wurde. Der OHNE-Zustand beschreibt ein Szenario in dem keine Schutzmaßnahme realisiert wurde. Die Schadensminderung drückt den durchschnittlichen jährlichen abgewendeten Schaden aus, betrachtet über die komplette Lebensdauer einer Schutzmaßnahme. Zunächst muss die Art der geplanten Maßnahme identifiziert werden, wobei zwischen Linearmaßnahmen, Retentionsmaßnahmen und einer Kombination aus beiden unterschieden werden kann. Das weitere Vorgehen hängt von dem jeweiligen Maßnahmentypen ab, wobei im folgenden nur auf die Retentionsmaßnahmen eingegangen wird.¹⁵

Durch das zusätzliche Retentionsvolumen wird eine Verringerung und Verzögerung des Abflusses angestrebt. Die Retentionswirkung beeinflusst i.d.R. einen bestimmten Gewässerbereich und klingt darüber hinausgehend ab. Bezüglich der Schadensfunktion bedeutet dies, verglichen mit dem OHNE-Zustand, einen verzögerten Beginn der Funktion und eine Anschließung an die Schadensfunktion des OHNE-Zustands aufgrund des Abklingens der Speicherwirkung. Die dadurch entstehende Differenz der Flächen spiegelt das Maß der Schadensminderung wieder (siehe Abb. 19).¹⁶

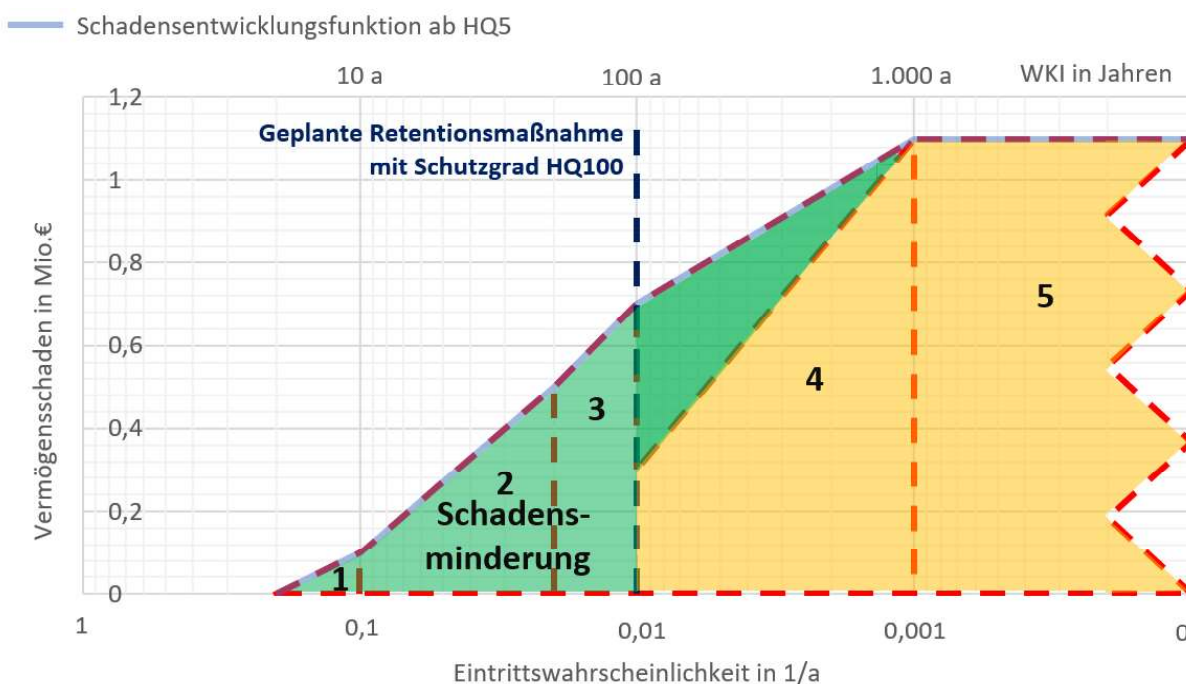


Abb. 19: Darstellung der Schadensminderung durch Retentionsmaßnahmen
Quelle: In Anlehnung an Zeisler und Pflügner 2019, S. 37

¹⁵Vgl.ebd., S. 34

¹⁶Vgl.ebd., S. 36–37

In Abb. 19 ist im rechten Bereich, beschriftet mit der Zahl 5, ebenfalls das sogenannte Restriko eingezeichnet. Eine Beeinflussung dieser Schadenspotenziale durch Hochwasserschutzmaßnahmen ist meist nicht möglich, weswegen eine monetäre Bewertung wichtig ist. Dadurch kann das Gewicht von zusätzlichen Hochwasservorsorgemaßnahmen hervorgehoben werden.¹⁷

4.1.5 Kostenermittlung

Bezüglich der Kostenermittlung werden Lebenszyklusbetrachtungen angewendet. Alle Kostenbestandteile müssen berücksichtigt werden, wobei sie im Allgemeinen in drei Hauptkategorien eingeteilt werden können.

- Investitionskosten (Anschaffungs- und Herstellungskosten)
 - Grundstückskosten sowie Kosten für Ablösungen von Rechten, Anlagen, usw.
 - Kosten für alle notwendigen Vorarbeiten
 - Bau- und Erschließungskosten
- Reinvestitionskosten
 - Kosten für während der Betriebsphase zu ersetzende Anlageteile
- Laufende Kosten (Kosten für Betrieb, Wartung, Unterhaltung und Überwachung)
 - Energiekosten
 - Sachkosten
 - Personalkosten
 - Mieten und Pachten
 - Entschädigungsleistungen für Nutzungsausfall¹⁸

4.1.6 Sensitivitätsuntersuchungen

Es werden Sensitivitätsuntersuchungen hinsichtlich der Nutzungsdauern bzw. Lebensdauern, der Kostengenauigkeit und der Kostensteigerungstendenzen durchgeführt. Ersteres hat den Sinn, die Folgen für eine Maßnahme zu ermitteln, die sich als kurzlebiger als geplant herausstellt. Die Kostengenauigkeit zielt auf unvorhergesehene Erhöhungen ab, die in späteren Projektphasen auftreten können.¹⁹

¹⁷Vgl. Zeisler und Pflügner 2019, S. 39

¹⁸Vgl. ebd., S. 41–43

¹⁹Vgl. ebd., S. 47–48

4.2 Gesamtbewertung

4.2.1 Monetäre Wirtschaftlichkeit

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis und die Nutzen-Kosten-Differenz sind maßgebend für eine monetäre Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Diese können aus dem Projektnutzenbarwert, welcher ca. das 40-fache des Schadenminderungspotenzials entspricht, und dem Projektkostenbarwert abgeleitet werden.²⁰

Folgende Bedingung ist für die Erfüllung der monetären Wirtschaftlichkeit erforderlich:

$$\text{Projektnutzenbarwert} > \text{Projektkostenbarwert}$$

Der Nutzen muss also größer sein als der Aufwand, um als monetär wirtschaftlich zu gelten. Es sind aber auch andere Kriterien, wie beispielsweise eine Minderung von Wertschöpfungsverlusten durch Hochwasserschäden, zu berücksichtigen. Für diese Anteile ist es jedoch schwierig ein geeignetes Bewertungsverfahren zu finden, weshalb oftmals vereinfachend der monetäre Nutzen erhöht wird. Dies stellt jedoch nur eine grobe Abschätzung dar.²¹

4.2.2 Sozioökonomische Zuschläge

Sollen zusätzliche vorteilhafte Auswirkungen berücksichtigt werden, die aber nicht monetär beurteilt werden können, kommen sozioökonomische Zuschläge (siehe Abb. 20) zum Einsatz. Dazu zählen folgende Zuschläge:

- Menschliche Gesundheit: Zuschlag Z_M
Unterscheidung nach Überflutungstiefenklassen und Möglichkeit zur zusätzlichen Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeiten.
- Kultur: Zuschlag Z_K
Unterscheidung nach Überflutungstiefenklassen und Hochwasserwahrscheinlichkeit. Zusätzliche Berücksichtigung der Empfindlichkeit der Kulturgüter, wenn bekannt.
- Umwelt: Zuschlag Z_U
Unterscheidung nach Betroffenheit von Betrieben (europäische Industrieemissionsrichtlinie), Natura 2000 Gebieten, EU-Badewässern und Wasserschutzgebieten.
- Infrastruktur: schutzgutübergreifender Zuschlag Z_I
Berücksichtigung vor allem von zentralen Infrastrukturen, deren Ersatz schwierig ist, wie beispielsweise Autobahnen, Bundesstraßen, Landstraßen, Eisenbahnstrecken des Trans-europäischen Netzes, Netze der Fernwasserversorgung, Krankenhäuser usw.
- Übereinstimmung mit den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie: Zuschlag Z_{WRRL}
Insbesondere möglich bezüglich der Hydromorphologie.²²

Diese Zuschläge haben einen direkten Einfluss auf das Nutzen-Kosten-Verhältnis und werden zu diesem addiert.²³

²⁰Vgl.ebd., S. 50

²¹Vgl.ebd., S. 50–51

²²Vgl.ebd., S. 52–61

²³Vgl.ebd., S. 52

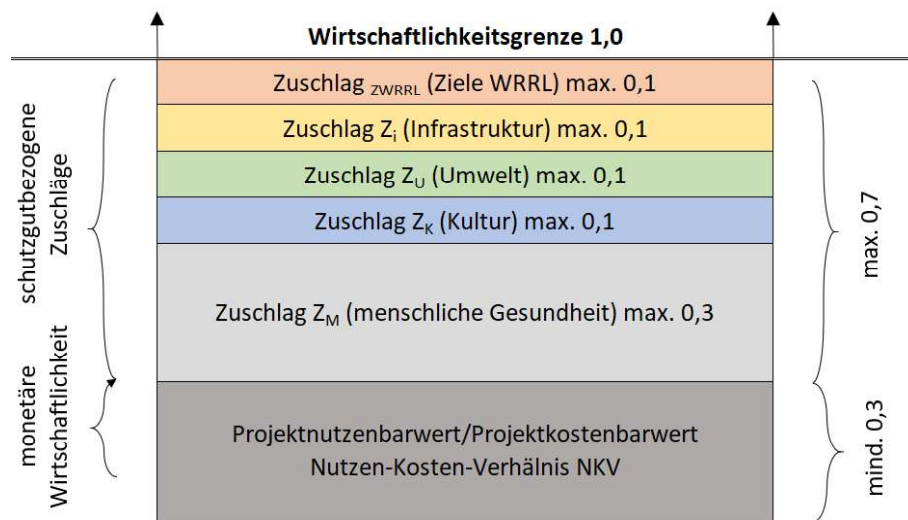


Abb. 20: Gewichtung der sozioökonomischen Zuschläge im Verhältnis zur monetären Wirtschaftlichkeit

Quelle: In Anlehnung an Zeisler und Pflügner 2019, S. 63

Dieses Gesamtverfahren betrifft allerdings lediglich Maßnahmen des technisch-infrastrukturellen Hochwasserschutzes.²⁴

4.3 Strukturierung einer Nutzen-Kosten-Untersuchung

Tab. 4.1 nach Zeisler und Pflügner 2019 listet 16 Arbeitsschritte als generelle Vorgehensweise zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen auf, wobei die Arbeitsschritte 1 bis 3 die notwendigen Vorleistungen darstellen. Diese werden benötigt, um eine spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vornehmen zu können. Die Arbeitsschritte 4 bis 10 dienen dazu, die Kosten und den Nutzen der jeweiligen Maßnahmen bzw. Alternativen zu bestimmen. Die sozioökonomischen Zuschläge (siehe Kap. 4.2.2) werden durch die Arbeitsschritte 11 und 12 berücksichtigt. Arbeitsschritt 13 fasst die Ergebnisse für die Maßnahmen und Alternativen zusammen und bildet die Gesamtbeurteilung. Bezüglich Arbeitsschritt 14 wird auf Grundlage der Gesamtbeurteilung die bestmögliche Variante gewählt. Arbeitsschritt 15 hat eine große Bedeutung in Hinblick auf das verbleibende Hochwasserrisiko. Im letzten Arbeitsschritt wird ein Bericht erstellt, der auch für nicht fachkundige Dritte verständlich und nachvollziehbar sein soll.²⁵

²⁴Vgl. Zeisler und Pflügner 2019, S. 63

²⁵Vgl. ebd., S. 64–65

Arbeitsbereich	Arbeits- schritt	Charakterisierung des Arbeitsschritts
erforderliche Vorleistungen		
Wirkungsanalysen in wasserwirtschaftlichen Systemen	1	Einrichtung des Geoinformations- systems zur Beschreibung der naturräumlichen Verhältnisse und der wasserbaulichen Anlagen
	2	Ermittlung der hydrologischen Ausprägung charakteristischer Hochwasserereignisse
	3	Berechnung der hydraulischen Hochwasserbeaufschlagung
Nutzen-Kosten-Untersuchung im engeren Sinn		
Wirkungsanalysen im sozioökonomischen System	4	Erfassung der Flächennut- zungen und ihrer physischen Betroffenheit
Schadensanalysen	5	Ermittlung der Schadensanfäl- ligkeit der Flächennutzungsarten
	6	Monetäre Bewertung der Schäden, Berechnung der Schadenserwartungen
Bestimmung der rechen- technisch nachweisbaren ökonomischen Effizienz (Teilbilanz 1)	7	Nutzenermittlung und Berechnung des Projektnutzenbarwertes
	8	Kostenermittlung und Berechnung des Projektkostenbarwertes
	9	Nutzen-Kosten-Gegenüberstellung
	10	Empfindlichkeitsprüfungen
Darstellung und Beur- teilung der weiteren Projektwirkungen (Teilbilanz 2)	11	Ermittlung der Personengefährdung nach Gefahrenklassen
	12	Beurteilung der monetär nicht bewerteten und nicht monetär bewertbaren ökonomischen Effizienznutzen sowie der außerökonomischen Effekte
Zusammenfassung der Teilbilanzen	13	Gesamtbeurteilung jeder Alternative/ Variante
Lösen des Aus- wahlproblems	14	Alternativen-/Variantenvergleich und Auswahl der optimalen Lösung
Einordnung in das inte- grierte Hochwasser- risikomanagement	15	Beschreibung der verbleibenden Hochwassergefährdungen und notwendiger Aktionen Dritter
Dokumentation	16	Berichterstellung, Übergabe einer Projektdatenbank

Tab. 4.1: Ablaufschema einer Nutzen-Kosten-Untersuchung
Quelle: Zeisler und Pflüger 2019, S. 65

Legende zu Abb. 21:

f_1	Freibord im HWBF 1	1	Absperrbauwerk
f_2	Freibord im HWBF 2	2	Betriebsauslass
Z_K	Kronenstau = Wasserspiegel in Höhe der Krone des Absperrbauwerkes	3	Grundablass
Z_{H1}	Hochwasserstauziel 1 infolge BHQ_1 im HWBF 1	4	Kronenhöhe
Z_2	Hochwasserstauziel 2 infolge BHQ_2 im HWBF 2	5	Gesamtstauraum im HWBF 1
Z_V	Vollstau = Wasserspiegel in Höhe Überfallkrone bzw. Oberkante Verschluss der Hochwasserentlastungsanlage	6	Gesamtstauraum im HWBF 2
Z_S	Stauziel (bei HRB Dauerstauziel Z_D)	7	Überfallkrone oder Oberkante Verschluss der HWEA
Z_A	Absenkziel	8	Dauerstauraum
Z_T	Tiefstes Absenkziel	9	Überlauf zur Begrenzung des Dauerstaus
I_{AHR1}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im HWBF 1		
I_{AHR2}	Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum im HWBF 2		
I_{GHR}	Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum		
I_{BR}	Betriebsraum		
I_R	Reserveraum		
I_T	Totraum		

Aus dem ermittelten Bemessungshochwasser (siehe Kapitel 3) wird das zur Retention benötigte Volumen berechnet. Daraus kann das erforderliche Stauziel abgeleitet werden, welches einem Stauraum zugeordnet wird. Da die Höhenlage des Stauziels von der Intention der Anlage bestimmt wird, können diverse Stauziele existieren.³

5.1 Bemessungsgrundlagen in Anlehnung an die Österreichische Staubeckenkommission

Um die maßgeblichen hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen festlegen zu können, erfolgt eine Unterscheidung zwischen Stau- und Rückhalteanlagen (große und kleine Stauanlagen) und Längsbauwerken.⁴

Bezüglich der Längsbauwerke dient als Bemessungsgrundlage im Allgemeinen das HQ_{100} mit einem angemessenen Freibord und das HQ_{300} mit Risiko- bzw. Restrisikoabschätzung und einem reduzierten Freibord. Es ist auf die Einhaltung der (n-1)-Regel zu achten. Diese bedeutet, dass das Rückhaltebecken auch mit einem blockierten Wehrfeld noch die gestellten Anforderungen erfüllen muss.⁵ Für landwirtschaftliche Nutzflächen wird ein HQ_{30} als Bemessungsgrundlage herangezogen.⁶

³Vgl. ebd., S. 26

⁴Vgl. Tschernutter 2007-07, S. 104

⁵Vgl. ebd., S. 104–105

⁶Vgl. Prenner o.D., S. IV-04

Als kleine Stauanlagen gelten jene, die einen Speicherinhalt bei Stauziel $\leq 500.000 \text{ m}^3$ bzw. eine Höhe der Sperre $\leq 15 \text{ m}$ über der Gründungssohle aufweisen. Bei Überschreitung eines oder beider dieser Werte wird von einer großen Stauanlage gesprochen.⁷

Für große Stauanlagen wird als Bemessungshochwasser das HQ_{5000} herangezogen. Es sind der Scheitelabfluss wie auch die Form der Hochwasserganglinie zu beachten. Sicherheitstechnisch dürfen während des Bemessungshochwassers keine Schäden an der Sperre und der Hochwasserentlastungsanlage entstehen. Die volle Betriebssicherheit ist sicherzustellen und das Hochwasser muss durch die Entlastungsanlage schadlos abgeführt werden können. Das Sicherheitshochwasser wird als wahrscheinlich größtes Hochwasser angesehen. Sicherheitstechnisch dürfen Schäden im begrenzten Ausmaß an der Sperre und der Hochwasserentlastungsanlage auftreten. Die Stand-sicherheit der Sperre sowie die Funktionsfähigkeit der Betriebseinrichtung müssen gegeben sein.⁸

Liegt eine kleine Stauanlage vor, ist für unterwasserseitig gelegene Siedlungen und bedeutsame Wirtschafts- und Verkehrsanlagen ein HQ_{100} als Bemessungshochwasser heranzuziehen. Von diesem Schutzgrad kann jedoch abgewichen werden, dieses Vorgehen ist aber zu begründen. Grundsätzlich existiert derzeit keine einheitliche Regelung bezüglich der Festlegung des Bemessungshochwassers. Risiko- und Restrisikoabschätzungen sind für das HQ_{300} durchzuführen. Bezüglich der Risikovorsorge sind Maßnahmen einzuplanen, welche in die Gefahrenzonenpläne miteinzubeziehen sind.⁹

Abb. 22 zeigt charakteristische Hochwasserganglinien für kleine und große Einzugsgebiete sowie für jene Gebiete, die anthropogenen Einflüssen unterliegen. Bezüglich großer Einzugsgebiete ($> 1.000 \text{ km}^2$) mit einer Niederschlagsdauer zwischen 6 und 60 Stunden nimmt der Abflussbeiwert zu während die Intensität der Versickerung mit zunehmender Dauer des Regenereignisses sinkt. Kleine Einzugsgebiete ($< 10 \text{ km}^2$) mit einer Niederschlagsdauer von weniger als einer Stunde weisen einen nahezu konstanten Abflussbeiwert auf. Der einzige Einflussfaktor ist die vorliegende Sättigung des Untergrunds. Unter anthropogenen Einflüssen tritt eine Verschärfung des Abflusses ein.¹⁰

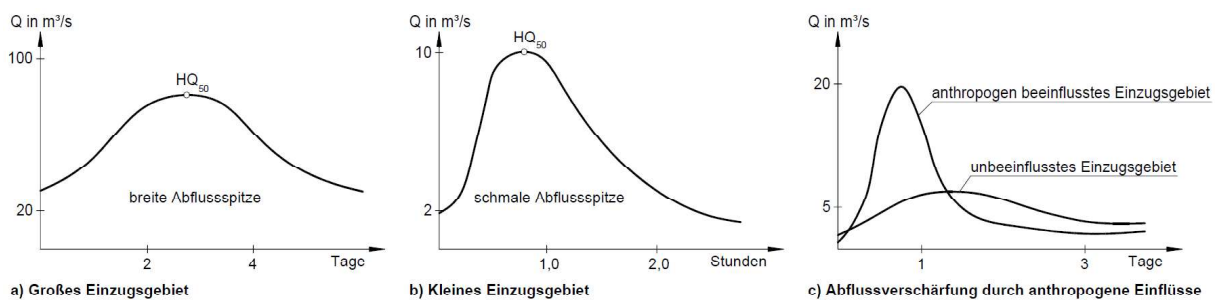


Abb. 22: Charakteristische Hochwasserganglinien

Quelle: In Anlehnung an Prenner o.D., S. IV-02, IV-03

⁷Vgl. Tschernutter 2007-07, S. 105

⁸Vgl. ebd., S. 105

⁹Vgl. ebd., S. 106

¹⁰Vgl. Prenner o.D., S. IV-02, IV-03

5.2 Hochwasserbemessungsfälle nach DIN 19700

Die DIN 19700 gibt drei Bemessungsfälle für Hochwasserrückhaltebecken vor, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Hochwasserbemessungsfall 1 (siehe Kapitel 5.2.1)
Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage
- Hochwasserbemessungsfall 2 (siehe Kapitel 5.2.2)
Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser
- Hochwasserbemessungsfall 3 (siehe Kapitel 5.2.4)
Bemessung des gewöhnlichen Hochwasserrückhaltereaumes

Hochwasserbemessungsfall 1 und 2 beziehen sich auf die Anlagensicherheit, wohingegen Bemessungsfall 3 den Hochwasserschutzgrad für die Unterlieger betrachtet.

5.2.1 Hochwasserbemessungsfall 1

Im Hochwasserbemessungsfall 1 wird die Hochwasserentlastungsanlage bemessen. Dazu muss ein Bemessungshochwasser BHQ_1 festgelegt werden, bis zu welchem die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowie die Dauerhaftigkeit ohne Einschränkungen einzuhalten sind.¹¹

In Kapitel 2.1 Tab. 2.1 sind maßgebliche jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten für das BHQ_1 aufgelistet. Auch die Anfangs- und Randbedingungen, die in DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 9 Tab. 1 einzusehen sind, müssen berücksichtigt werden. Eine Erhöhung der in Tab. 2.1 angegebenen Werte ist für sehr kleine und kleine Becken zulässig, sofern im Versagensfall nur Folgen untergeordneter Bedeutung im Unterliegergebiet zu erwarten sind. Grundablässe, Betriebsauslässe sowie passende Hochwasserentlastungsanlagen können zur Vor- und Parallelentlastung eingesetzt werden.¹²

5.2.2 Hochwasserbemessungsfall 2

Im Hochwasserbemessungsfall 2 wird die Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser nachgewiesen. Dazu muss ein Bemessungshochwasser BHQ_2 festgelegt werden. Die zugehörige jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit muss um einiges niedriger als jene von BHQ_1 sein. Der Hochwasserzufluss ist in diesem Fall größer als der aus BHQ_1 resultierende Zufluss. Das Bemessungshochwasser BHQ_2 muss ohne globales Versagen der Anlage, besonders hinsichtlich der Tragsicherheit des Absperrbauwerks, abgeführt werden können. Alle Notentlastungen neben der Hochwasserentlastungsanlage dürfen zur Ableitung herangezogen werden.¹³

Die maßgeblichen jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten von BHQ_2 sind ebenfalls in Kapitel 2.1 Tab. 2.1 aufgelistet.

¹¹Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 13

¹²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 6–7

¹³Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 13

5.2.3 Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum

Der außergewöhnliche Hochwasserrückhalteraum liegt, wie in Abb. 21 dargestellt, zwischen dem Vollstau Z_V und dem höchsten Stauziel Z_H . Für Hochwasserbemessungsfall 1 und 2 ergeben sich unterschiedliche Größen dieses Rückhalteriums.¹⁴

Sobald die Hochwasserentlastungsanlage zum Einsatz kommt, wird der außergewöhnliche Hochwasserrückhalteraum herangezogen. Die Entlastungsanlage wird benötigt, wenn das Bemessungshochwasser BHQ_3 überschritten wird oder das Becken bei Auftritt dieses Ereignisses bereits gefüllt ist. Es wird zwischen einem Normallastfall und einem außergewöhnlichen Lastfall unterschieden (siehe Abb. 23).¹⁵

Die gewählte Wiederholungszeitspanne T_n des Bemessungshochwassers sowie die hydraulische Gestaltung der Entlastungsanlage, sprich eine feste Überfallkrone oder bewegliche Verschlüsse, bestimmen das Volumen dieses Rückhalteriums.¹⁶

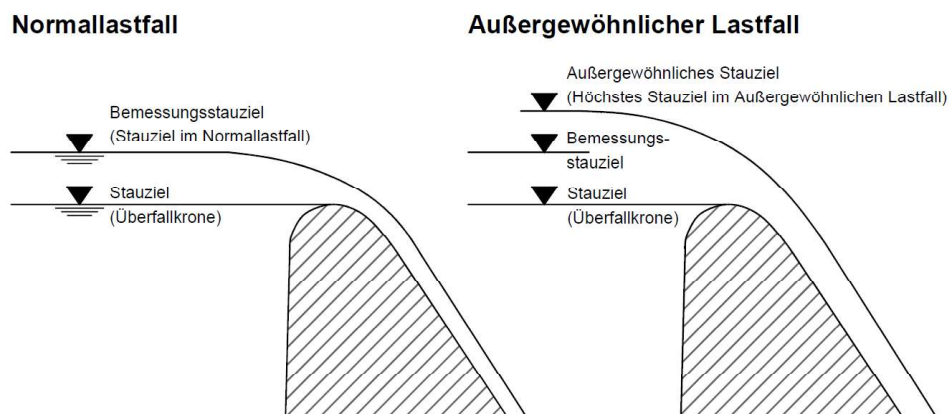


Abb. 23: Normallastfall und außergewöhnlicher Lastfall

Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 33

Die Berechnung erfolgt nach den Regeln der Retention, wobei die Zuflussmenge nach Muth 1992, S. 34 wie folgt in eine verringerte Abflussmenge und das Rückhaltevolumen aufgeteilt wird:

$$Q_z dt = Q_a dt + A dh \quad (5.1)$$

$Q_t dt$... Zuflussmenge

$Q_a dt$... reduzierte Abflussmenge

$A dh$... Rückhaltevolumen

Bei Nachweis des Hochwasserbemessungsfalls 2 darf teilweise der im Freibord miteinbezogene Sicherheitszuschlag herangezogen werden. Weitere abmindernde Maßnahmen wären z.B. Überleitungen oder die Verwendung seitlicher Entlastungen.¹⁷

¹⁴Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 13, 50

¹⁵Vgl. Muth 1992, S. 32

¹⁶Vgl. ebd., S. 34

¹⁷Vgl. ebd., S. 34

5.2.4 Hochwasserbemessungsfall 3

Im Hochwasserbemessungsfall 3 wird der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum bemessen. Das Schutzbefürfnis der Unterlieger und die Wertigkeit der Sachgüter und Flächen, die vom Hochwasserereignis betroffen sind, sind maßgeblich für die Größe dieses Stauraumanteils. Er soll die Fülle einer Hochwasserwelle mit zugeordneter Jährlichkeit speichern können, wobei der Abfluss aus dem Becken berücksichtigt werden muss. Dieses Hochwasserereignis wird mit BHQ_3 bezeichnet. Wird dieses überschritten, kommt die Hochwasserentlastungsanlage zum Einsatz. Der Abfluss aus dem Becken gleicht sich hierbei immer weiter dem Zufluss an. Die Retentionswirkung des Rückhaltebeckens geht somit zurück und kann im Extremfall vollkommen abhandenkommen, wodurch die Schutzwirkung für Unterlieger wegfällt. Dadurch bleibt eine Hochwassergefahr im Falle einer Überschreitung des BHQ_3 bestehen. Ein vollkommener Hochwasserschutz ist daher nicht möglich.¹⁸

Bezüglich der Wahl der Wiederkehrzeit T_n für das Bemessungshochwassers kann LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007 herangezogen werden. Diese gibt Anhaltswerte bezüglich des Hochwasserschutzgrades durch von der Nutzung abhängigen Wiederkehrzeiten T_n an, welche in Abb. 24 dargestellt sind. Jedoch kann, ausgehend vom angestrebten Schutzziel der Unterlieger, von diesen Werten abgewichen werden.

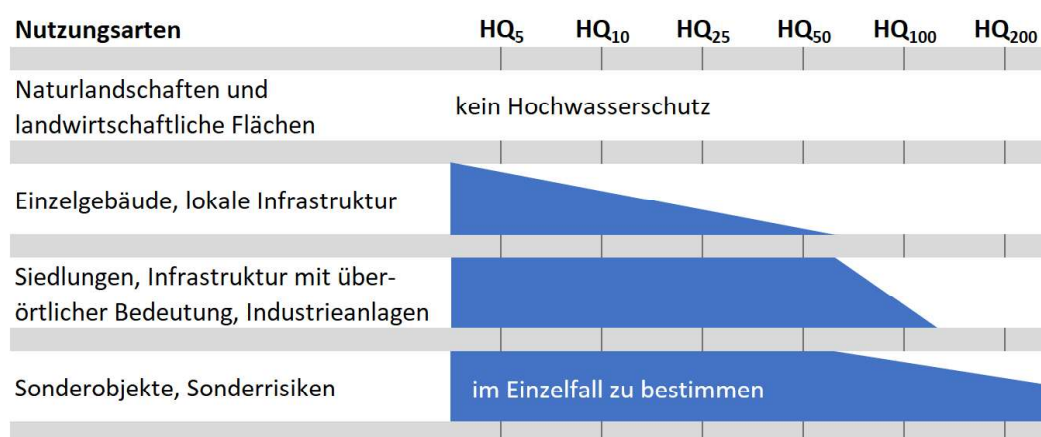


Abb. 24: Anhaltswerte für die Wiederkehrzeit T_n in Baden-Württemberg

Quelle: In Anlehnung an LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 16

Grundsätzlich ist für die Bestimmung des BHQ_3 ein Niederschlag-Abfluss-Modell (siehe Kapitel 3.5) notwendig.¹⁹

¹⁸Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 14

¹⁹Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 16

5.3 Freiraum und Freibord

Der Freibord ist laut DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a wie folgt definiert:

„Der Freibord ist der lotrechte Abstand zwischen der Krone des Absperrbauwerkes der Stauanlage und dem Hochwasserstauziel bzw. der Staukurve beim Bemessungshochwasserabfluss.“²⁰

Der Freiraum berechnet sich aus dem Freibord und der entsprechenden mittleren Oberfläche des Beckenraums, die über dem außergewöhnlichen Stauziel liegt.²¹

Der Freibord hat die Aufgabe, alle aus einem extremen Hochwasserereignis resultierenden Gefahrenmomente abzudecken. Berücksichtigt werden müssen in Anlehnung an die Österreichische Staubeckenkommission der Wellenfreibord, die Freibordreserve und Zuschläge infolge identifizierter Risiken wie etwa Verklausung und Hangrutschung. Die Wellenhöhe, der Windstau sowie der Wellenauflauf sind maßgeblich für den Wellenfreibord. Diesen liegt grundsätzlich eine Windstärke w_{10} mit einer Jährlichkeit von 25 Jahren zugrunde. Fehlen meteorologische Messdaten, ist eine Windstärke W_{10} von 30 m/s anzunehmen.²²

Konstruktive Randbedingungen einer Stauanlage werden durch die Sicherheitskote berücksichtigt. Liegt eine Staumauer vor, entspricht die Sicherheitskote der Krone der Sperre, bei einem Staudamm hingegen der Oberkante der Dammdichtung (siehe Abb. 25).²³

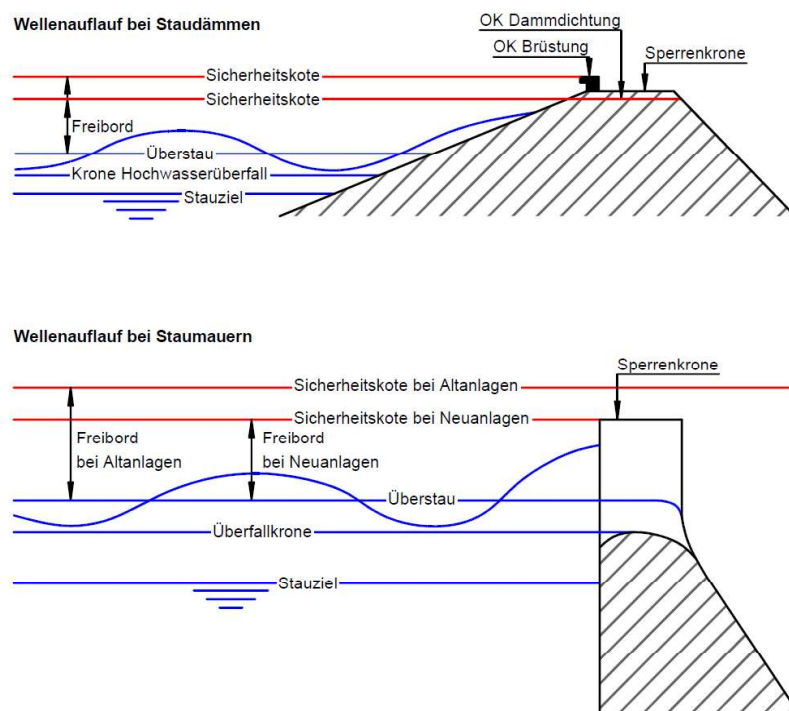


Abb. 25: Wellenauflauf bei Staudämmen und Staumauern
Quelle: In Anlehnung an Tschernutter 2007-07, S. 106

²⁰Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 14

²¹Vgl. Muth 1992, S. 36

²²Vgl. Tschernutter 2007-07, S. 106

²³Vgl. ebd., S. 106

In Anlehnung an die DIN 19700 ergeben sich für Hochwasserbemessungsfall 1 und 2 je nach Höhenlage des jeweiligen Hochwasserstauziels Z_H unterschiedliche Größen des Freibords. Für beide Bemessungsfälle wird demnach ein Freibordmaß berechnet. Das Maß, mit dem die resultierende Höhe der Krone am höchsten ist, ist schlussendlich zu verwenden.²⁴

Das Freibord besteht aus folgenden Teilen (siehe Abb. 26):

- Windstau
- Wellenlauf
- Ggf. Eisstau
- Angemessener Sicherheitszuschlag (abhängig von verbleibenden Risiken)²⁵

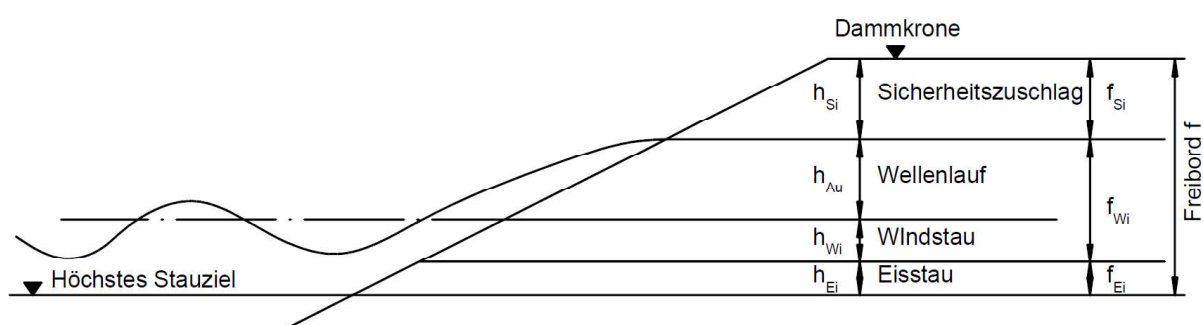


Abb. 26: Bestandteile des Freibords

Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 36

Wellenlauf und Windstau weisen beide als Ursache Wind auf. Dieser Anteil des Freibords und der Anteil infolge von Eisstau sind gesondert zu betrachten, da ein zeitgleiches Auftreten beider Teile nicht möglich ist. Für Trockenbecken entfällt grundsätzlich der Anteil infolge von Eisstau. Für Dauerstaubecken muss dieser beachtet werden, falls eine Eisschicht mit entsprechender Dicke einen Verschluss der Hochwasserentlastungsanlage auslösen könnte. Wird diese durch geeignete Maßnahmen, seien sie organisatorischer oder konstruktiver Natur, geschützt, kann eine Berücksichtigung entfallen. Sind Setzungen des Absperrbauwerks zu erwarten, müssen diese bezüglich des Freibords nicht miteinbezogen werden. Hochwasserrückhaltebecken, die als sehr klein klassifiziert wurden, müssen keinen rechnerischen Nachweis aufweisen, sofern das Freibordmaß $\geq 0,5$ m ist.²⁶

²⁴Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 14

²⁵Vgl. ebd., S. 14

²⁶Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 21

5.3.1 Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss

Freibord f_1

Das Freibordmaß f_1 ist ausschlaggebend für das Ausmaß des Freiraums I_{F1} . Es ergibt sich infolge des Hochwasserbemessungsfalls 1 aus dem Wellenlauf h_{Au} , dem Windstau h_{Wi} und erforderlichenfalls dem Eisstau h_{Ei} . Bezüglich des Windes ist eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit der Bemessungsgeschwindigkeit von 4×10^{-2} ($T = 25$ a) anzusetzen.²⁷

Für ein Trockenbecken ergibt sich nach LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 21 folgende Formel:

$$f_1 = h_{Wi(25)} + h_{Au(25)} \quad (5.2)$$

Bezüglich eines Dauerstaubeckens können wie bereits erwähnt Belastungen, die aus Wind resultieren und Eisstau getrennt betrachtet werden. Daraus resultieren nach ebd., S. 21 folgende zwei Formeln:

$$f_{1Wind} = h_{Wi(25)} + h_{Au(25)} \quad (5.3)$$

$$f_{1Eis} = h_{Ei} \quad (5.4)$$

Mit dem größeren Maß ist weiter zu rechnen.

Freibord f_2

Das Freibordmaß f_2 ist ausschlaggebend für das Ausmaß des Freiraums I_{F2} . Es ergibt sich infolge des Hochwasserbemessungsfalls 2 ebenfalls aus dem Wellenlauf h_{Au} , dem Windstau h_{Wi} und erforderlichenfalls dem Eisstau h_{Ei} . Bezüglich des Windes ist eine größere jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit der Bemessungsgeschwindigkeit als jene des Hochwasserbemessungsfalls 1 anzusetzen. Die Windexponiertheit des betrachteten Standorts und das möglicherweise gleichzeitige Auftreten seltener Ereignisse müssen berücksichtigt werden. Ein Sicherheitszuschlag h_{Si} ist hinzukommend miteinzubeziehen, wenn dies aufgrund verbleibender Gefahren und Risiken als notwendig erscheint. Die Größenordnung dieses Sicherheitszuschlags steht in Abhängigkeit zum Typ des Absperrbauwerks.²⁸

Gründe für einen Verzicht des Sicherheitszuschlags sind:

- Eine dauerhafte Überströmung des Absperrbauwerks ist ohne Beeinträchtigungen möglich.
- Das verbleibende Risiko durch eine dauerhafte Überströmung ist akzeptabel.
- Unsicherheiten und verbleibende Risiken wurden bereits ausreichend beachtet.²⁹

Für ein Trockenbecken ergibt sich nach ebd., S. 22 folgende Formel:

$$f_2 = h_{Wi2} + h_{Au2} + h_{Si} \quad (5.5)$$

²⁷Vgl.DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 12

²⁸Vgl.ebd., S. 12–13

²⁹Vgl.ebd., S. 13

Auch für den Freibord f_2 gilt bezüglich eines Dauerstaubeckens dieselbe Annahme für die Belastungen resultierend aus Wind und Eisstau wie für den Freibord f_1 . Daraus resultieren nach ebd., S. 21 folgende zwei Formeln:

$$f_{2Wind} = h_{Wi2} + h_{Au2} + h_{Si} \quad (5.6)$$

$$f_{2Eis} = h_{Ei} + h_{Si} \quad (5.7)$$

Mit dem größeren Maß ist weiter zu rechnen.

5.3.2 Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss

Ein Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss muss ebenfalls ein Freibord besitzen. Ist ein außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum vorgesehen, muss eine Hochwasserentlastungsanlage mit eingeplant werden. Die Bemessung des Freibords erfolgt anschließend wie die Bemessung für Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss mit den Hochwasserbemessungsfällen 1 und 2. Das Freibordmaß wird zu dem Hochwasserstauziel Z_H addiert. Wird auf eine Hochwasserentlastungsanlage verzichtet, darf die Anlage keinen außergewöhnlichen Rückhalteraum aufweisen. Das Freibordmaß wird hier zu dem Vollstau Z_V addiert.³⁰

³⁰Vgl.LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 22–23

Kapitel 6

Absperrbauwerk

Das Absperrbauwerk ist laut Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014 folgendermaßen definiert:

„Querwerk, das den Stauraum des Hochwasserrückhaltebeckens unterwasserseitig begrenzt. Es kann in Form eines Dammes, einer Betonmauer oder einer Kombination aus beiden ausgeführt werden.“¹

Es wird also eine grundsätzliche Unterscheidung in Staudämme und Staumauern vorgenommen, wobei auch Kombinationsbauwerke zum Einsatz kommen können. In welcher Form das Absperrbauwerk letztendlich ausgeführt wird, ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Dazu gehören u.a. die vorherrschende Geologie bzw. Untergrundbeschaffenheit, die Baukosten, die Verfügbarkeit und Eignung der Materialien, die Höhe des Absperrbauwerks, gewässerökologische Aspekte und das Landschaftsbild.²

Essentiell bei allen Bauwerkstypen ist der dichte und standfeste Anschluss an den Untergrund. Auch die Anschlüsse an den Flanken sind zu berücksichtigen. Das Bauwerk und der Untergrund sollen ein gemeinsames Tragwerk darstellen.³

6.1 Staudämme

Dämme können bezüglich ihres Querschnitts in Zonen eingeteilt werden. Dazu gehören der Stützkörper, die Dichtung, der Filter sowie die Drainage (siehe Abb. 27).⁴

Sie können im Gegensatz zu Staumauern besser in das Landschaftsbild integriert werden und stellen geringere Ansprüche an den Untergrund dar. Aufgrund der flacheren Neigung ist der Platzbedarf jedoch größer, wodurch Stauvolumen verloren geht. Weitere Nachteile sind die notwendige Dunkelstrecke des relativ langen Grundablasses, die teurere Hochwasserentlastungsanlage und die Empfindlichkeit des Damms gegenüber Überströmen und Sickerwasser.⁵

¹Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 2

²Vgl. ebd., S. 68

³Vgl. ebd., S. 69

⁴Vgl. ebd., S. 70

⁵Vgl. ebd., S. 69

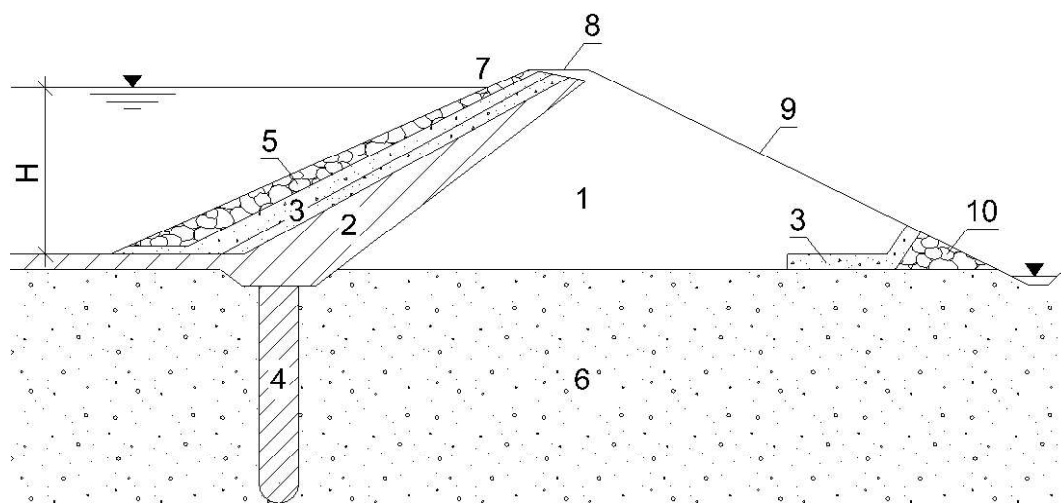


Abb. 27: Zonen eines Damms

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 70

Legende zu Abb.27:

- | | | | |
|---|-----------------------|----|--------------------------|
| 1 | Stützkörper | 6 | durchlässiger Untergrund |
| 2 | mineralische Dichtung | 7 | Freibord |
| 3 | Filter | 8 | Dammkrone |
| 4 | Untergrundabdichtung | 9 | luftseitige Böschung |
| 5 | Schutzschicht | 10 | Drainagekeil |

Für die Bemessung ist ein kurzfristiger Einstau eines Hochwasserereignisses anzusetzen, wobei die Einstaudauer je nach hydrologischen Randbedingungen länger als die Dauer des Hochwasserereignisses ausfallen kann. Dies hat Auswirkungen auf die Standsicherheit und Durchsickerungen.⁶

Werden Längsdämme von Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss betrachtet, sind spezifische Anforderungen zu beachten. Dazu gehören beispielsweise eine Wasserlast auf beiden Seiten und angreifende Kräfte infolge der Strömung.⁷

Die Standsicherheit und Dichtfunktion des Damms sind direkt miteinander verbunden. Es müssen nicht nur der Dammkörper selbst, sondern auch die an den Untergrund angrenzenden Flächen dicht sein. Die jeweilig erforderliche Tiefe der Dichtung ist von Fall zu Fall gesondert zu ermitteln. Die Dichtigkeit des Damms kann durch einen homogenen Dammkörper, eine mineralische Zonierung, eine Innendichtung oder eine Außendichtung erreicht werden. Um Kontrollen durchführen zu können, sind Drainagen und Kontrollschächte einzuplanen.⁸

⁶Vgl.ebd., S. 71

⁷Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 25

⁸Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 72

Die Dammkronenbreite richtet sich nach dem späterem Verwendungszweck. Sie kann als reiner Wartungsweg sowie auch als öffentliche Straße genutzt werden, wobei das Quergefälle und die Entwässerung an den Aufbau des Damms anzupassen sind. Die Befahrbarkeit von schweren Fahrzeugen sollte allerdings gegeben sein. Luftseitige Wege längs des Dammfußes zur Überwachung und Wartung sind zu empfehlen. Eine mögliche Beeinflussung des Grundwassers durch den Damm ist zu berücksichtigen und zu minimieren. Erfolgt eine Veränderung der Grundwasserhältnisse, kann dies die im Absperrbauwerk auftretenden Setzungen beeinträchtigen.⁹

6.1.1 Homogene Dämme

Das für homogene Dämme (siehe Abb. 28) verwendete Material besteht grundsätzlich aus nur einem Erdstoff, der für diese Anwendung geeignet sein muss. Ausschlaggebende Kriterien sind eine minimale Wasserdurchlässigkeit und eine hohe Lagerungsdichte. Aufgrund dessen sind bindige Böden wie schluffige Kiese, schluffige Sande, Schluffe und Tone zu verwenden, welche im Allgemeinen eine geringe Scherfestigkeit aufweisen. Dies bedingt eine Ausbildung von flachen Dammböschungen. Um einen Grundbruch zu vermeiden, ist luftseitig ein filterfester Dränkörper vorzusehen.¹⁰ Homogene Dämme werden bevorzugt als niedrige Dämme und bei guten Untergrundverhältnissen eingesetzt.¹¹

6.1.2 Zonendämme

Zonendämme weisen einen Stützkörper aus körnigem Material auf, welcher mit einem Dichtungselement ausgestattet sein muss, um das hydraulische Potenzial abbauen zu können. Auch hier wird meist luftseitig ein filterfester Dränkörper angebracht, der aus einem durchlässigen Stoff wie beispielsweise Kies besteht. Das Dichtungselement wird entweder wasserseitig an der Oberfläche, sprich ein Zonendamm mit Oberflächendichtung, oder innen, sprich ein Zonendamm mit Innendichtung, angeordnet (siehe Abb. 28).¹²

Oberflächenabdichtungen können flächig als Folien, Tondichtungsmatten u.ä. oder als eine Schicht aus bindigem Erdbaumaterial hergestellt werden.¹³ Sie müssen widerstandsfähig gegenüber Witterungseinflüssen, mechanischen Beanspruchungen und chemischen Angriffen durch Wasser im Falle eines Einstaus sein.¹⁴ Sie haben den Vorteil, den Stützkörper möglichst frei von Sickerwasser zu halten, sind aber empfindlicher gegenüber Schäden. Sie werden anschließend an die Dammschüttung eingebracht, wodurch eine gute Verdichtung erzielt werden kann, da der Einbau nicht gestört wird.¹⁵

⁹Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 24–25

¹⁰Vgl. ebd., S. 24

¹¹Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 73

¹²Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 24

¹³Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 75

¹⁴Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 24

¹⁵Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 24

Innendichtungen können u.a. in Form von Schlitz-, Spund-, Schmal-, Beton- oder Injektionswänden ausgeführt werden. Ihre Lage im Dammquerschnitt ist entweder mittig oder exzentrisch. Die Herstellung kann abhängig vom gewählten Material vor, gleichzeitig oder nach Beendigung der Dammerrichtung erfolgen. Die Vorteile einer Innendichtung sind ihre - in Abhängigkeit zum Herstellungsverfahren - große Einbindetiefe in den Untergrund und die geringen erforderlichen Dichtungsflächen. Es ist jedoch bei der Ausführung einer Schmalwand auf eine etwaige Entmischung des Dichtungsmaterials zu achten.¹⁶

Im Vergleich zu den homogenen Dämmen besitzen Zonendämme den Vorteil, dass der Stützkörper aus körnigem Erdmaterial bestehen kann, welches eine geringere Wasserempfindlichkeit aufweist. Zusätzlich kann aufgrund der leichteren Handhabung eine größere Einbauleistung erreicht werden. Außerdem können die Böschungen steiler ausgeführt werden, da das verwendete Erdmaterial eine größere Scherfestigkeit aufweist. Das Volumen des Damms wird dadurch verringert.¹⁷

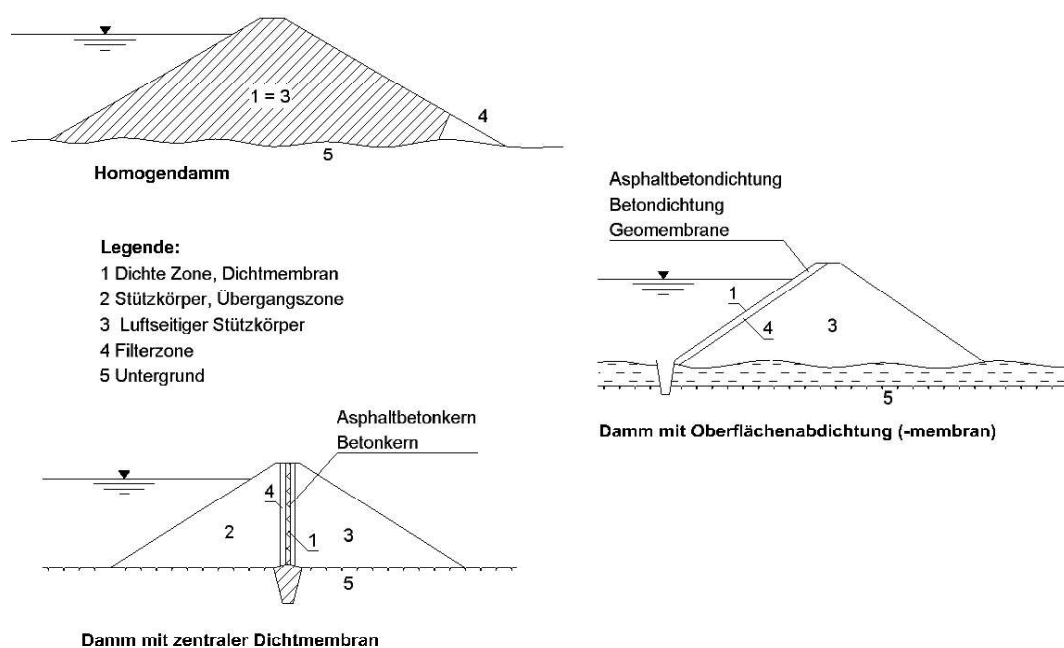


Abb. 28: Dämme mit unterschiedlichen Abdichtungen

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 71

6.1.3 Bewuchs auf Dämmen

Die Standsicherheit des Damms sowie die Dammunterhaltung können durch Bewuchs negativ beeinflusst werden. Mögliche Auswirkungen sind nachfolgend aufgelistet:

- Schwächung des Dammquerschnitts durch Sturmholz.
- Begünstigung des Einnistens von Wühltieren, welche durch gegrabene Gänge bevorzugte Sickerwege bei einer Durchströmung ausbilden.
- Erschwerung der visuellen Kontrollen des Dammbauwerks.¹⁸

¹⁶Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 74

¹⁷Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 24

¹⁸Vgl. ebd., S. 25

Bäume dürfen nicht an Böschungen und in Kronen- und Dränbereichen gepflanzt werden. Der statisch erforderliche Dammquerschnitt muss frei von Wurzeln sein. Der Oberboden hat also eine ausreichende Dicke aufzuweisen, um eine Durchwurzelung aufnehmen zu können.¹⁹ Eine regelmäßige Pflege des Bewuchses ist unerlässlich, um die Funktionsfähigkeit des Damms zu erhalten. Sind Wurzeln bis in den statisch erforderlichen Dammquerschnitt eingedrungen, müssen diese entfernt und die dadurch entstandenen Löcher ordnungsgemäß verfüllt werden.²⁰

6.1.4 Massivbauwerke in Dämmen

Die Anzahl der Massivbauwerke in Dämmen ist weitestgehend zu reduzieren. Es besteht ein erhöhtes Schadensrisiko aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeiten beider Bauwerke, da durch Setzungsdifferenzen bevorzugte Sickerwege entstehen können. Auch durchdringende Bauwerke wie z.B. Leitungen können einen ungünstigen Einfluss auf die Dichtung des Damms darstellen.²¹

Kommt es zu einer Durchströmung des Damms, besteht die Gefahr einer Fugenerosion an der Grenzfläche des Massivbauwerks und des Dammkörpers. Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um dieses Risiko zu minimieren. Darunter gehören u.a. der Einbau von aufquellenden Mitteln, eine Neigung der Außenwände des Massivbauwerks sowie das Anschließen von Dichtungsbahnen mit Bewegungsschlaufen.²²

6.2 Staumauern

Staumauern können u.a. als Gewichtsstaumauern, Bogenstaumauern, Winkelstützmauern und Kombinationen aus diesen ausgebildet werden. Welche Art von Staumauer schlussendlich umgesetzt wird, hängt maßgeblich von den geologischen Randbedingungen und der Talform ab. Bezüglich der Bemessung ist der Auftrieb zufolge wasser- und luftseitigen Einstaus besonders zu beachten.²³

Alle Dichtungen und Dränsysteme müssen jederzeit kontrollierbar sein. Ein evtl. anfallendes Sickerwasser muss abgeleitet werden können, um unkontrollierte Wasserdrücke und Sickerströmungen zu vermeiden.²⁴

Im Allgemeinen weisen Staumauern im Vergleich zu Staudämmen einen geringeren Platzbedarf und Dunkelstrecken der Grundablässe auf. Die Errichtungskosten sind jedoch höher und auch die Einbindung in das Landschaftsbild ist meist suboptimal.²⁵

¹⁹Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 20

²⁰Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 25

²¹Vgl. ebd., S. 25–26

²²Vgl. ebd., S. 26

²³Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 22

²⁴Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 28

²⁵Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 69

6.2.1 Gewichtsstaumauern

Gewichtsstaumauern wirken dem Wasserdruck durch ihr hohes Eigengewicht entgegen und benötigen eine genügende Tragfähigkeit der Widerlager an den Talhängen. Sie sind vor allem für breite Täler mit flachen Hängen zu empfehlen.²⁶ Als Baumaterial wird vorwiegend Massenbeton verwendet. Auch Walzbeton kann eingesetzt werden.²⁷

6.2.2 Bogenstaumauern

Bogenstaumauern weisen eine Bogentragwirkung auf und sind im Grundriss gegen die Fließrichtung gewölbt. Die erforderliche Krümmung wird an die Talform und den Untergrund angepasst. Die Tragwirkung und Wirtschaftlichkeit spielen hierbei ebenfalls eine Rolle.²⁸ Sie finden vorrangig Anwendung in engen Tälern mit ausreichend tragfähigen Flanken.²⁹

6.2.3 Winkelstützmauern

Winkelstützmauern bestehen aus Stahlbeton und stellen ein ebenes Flächentragwerk dar, welches eine horizontale und vertikale Platte beinhaltet. Falls erforderlich kann eine ergänzende Aussteifung durch Querrippen erfolgen. Ein Großteil der Lasten wird bei diesem Tragsystem in die Sohle eingeleitet.³⁰

Ein besonderes Merkmal dieser Staumauerart ist der schlanken Querschnitt. Winkelstützmauern weisen außerdem größere Aufstandsflächen der Bodenplatte als beispielsweise Gewichtsstaumauern auf, woraus eine geringere Bodenpressung resultiert.³¹

Am - im Einstaufall - wasserseitigen Mauerfuß ist eine horizontale Dichtzone zu empfehlen, um mögliche Sickerströmungen zu reduzieren. Vertikale Dichtwände sind aufgrund der Störung evtl. vorhandener Grundwasserkörper zu vermeiden.

6.3 Kombinationsbauwerke

Zu den Kombinationsbauwerken zählen Staudämme, die im Zentrum ein massives Bauwerk aufweisen, welches alle Betriebseinrichtungen wie Grundablass, Betriebsauslass und Hochwasserentlastungsanlage beinhaltet sowie die Kombination unterschiedlicher Staumauerbauarten. Essentiell ist hierbei das Zusammenwirken aller Bauteile. Es werden die Vorteile der unterschiedlichen Typen verbunden, jedoch sind die Kosten für diese Art von Absperrbauwerk meist am höchsten.³²

²⁶Vgl.DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07a, S. 22

²⁷Vgl.DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 29–30

²⁸Vgl.ebd., S. 28

²⁹Vgl.Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014, S. 80

³⁰Vgl.ebd., S. 81

³¹Vgl.ebd., S. 81

³²Vgl.ebd., S. 69

Kapitel 7

Einlaufbauwerk für HRB im Nebenschluss

Wie bereits in Kapitel 2.4 erwähnt, können Einlaufbauwerke gesteuert oder ungesteuert betrieben werden (siehe Abb. 29). Je nach gewählter Betriebsform muss dieses Bauwerk unterschiedliche Anlagenteile aufweisen. Ein gesteuertes Einlaufbauwerk benötigt ein bewegliches Bauteil zur Regulierung der maximalen Restwassermenge, wohingegen ein ungesteuertes Einlaufbauwerk diese Aufgabe mit einem starren Bauteil erfüllen soll.

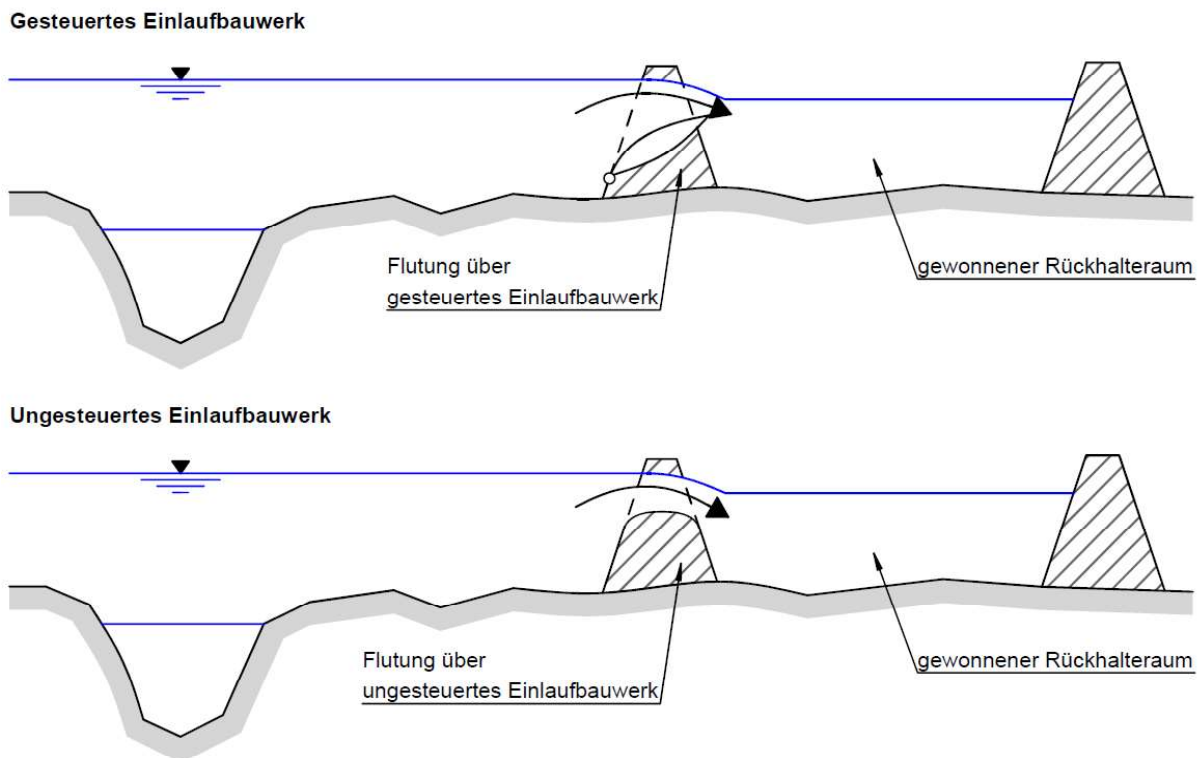


Abb. 29: Schemaskizze eines gesteuerten und ungesteuerten Einlaufbauwerks

Quelle: In Anlehnung an Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie o.D.

7.1 Gesteuertes Einlaufbauwerk

Durch ein regelbares Einlaufbauwerk kann der Zeitpunkt der Überflutung sowie die Rückhaltmenge und evtl. auch die Höhe der Überflutung gesteuert werden.¹

7.1.1 Schütze

Schütze zählen zu den beweglichen Wehren. Sie besitzen wie feste Wehre einen Wehrkörper, bestehend aus einer Wehrschwelle und einem Tosbecken. Im Falle eines gänzlich offenen Schützes entsprechen sie quasi einem festen Wehr. Es ist unzulässig ein Einlaufbauwerk mit nur einem Schütz auszustatten, da im Versagensfall keine Sicherheit gegeben ist. Deshalb sind mehrere Schütze anzuordnen, deren Trennung durch Wehrpfeiler erfolgt.²

Schütze können u.a. durch ihre Schließ- und Öffnungsmechanik (z.B. Hub- oder Drehbewegung) oder ihre Unter- oder Überströmbarkeit unterschieden werden.³ Für das Einlaufbauwerk können beispielsweise Hubschütze, Segmentschütze, Klappen oder Hubschütze mit aufgesetzter Klappe eingesetzt werden.

Für Hubschütze kommen entweder Gleit- oder Rollschütze zum Einsatz. Rollschützen werden dann ausgeführt, wenn bei großen Gleitschützen die Antriebskraft infolge Gleitreibung zu hoch wird. Sie werden in Form eines auf Schienen rollenden Wagens ausgebildet.⁴

Der Antrieb von Segmentschützenwehren kann beispielsweise über hydraulische Pressen erfolgen. Für eine Trockenlegung infolge von Wartungsarbeiten werden Dammbalken in ober- und unterwasserseitig vorgesehene Nuten eingeschoben.⁵

Klappenschützwehren sind drehbar auf der Wehrschwelle gelagert. Die Bewegung wird durch eine hydraulische Presse oder ein Windwerk induziert.⁶

Schütze werden hauptsächlich aus Stahl hergestellt. Ein ausreichender Korrosionsschutz ist hierbei auf jeden Fall zu berücksichtigen. Durch Leckagen verursachte Wasserverluste sollten weitestgehend vermieden werden, da sie zu einer Verschmutzung und Vereisung der Schütze führen können.⁷

¹Vgl.Homagk 2007, S. 17

²Vgl.Patt und Gonsowski 2011, S. 132

³Vgl.ebd., S. 133

⁴Vgl.ebd., S. 138

⁵Vgl.ebd., S. 139

⁶Vgl.ebd., S. 142

⁷Vgl.ebd., S. 143

7.1.2 Einlaufrechen und Tauchwand

Da die Flächen von Hochwasserrückhaltebecken meist eine landwirtschaftliche Nutzung aufweisen, ist die Abwehr von Geschwemmel und Geschiebe ein wichtiger Aspekt. Zu diesem Zweck werden Rechen und Tauchwände eingesetzt.

Einlaufrechen:

Die Spaltweite eines Rechens, sprich der lichte Abstand zwischen den Rechenstäben, ist abhängig vom abzuhaltenden Geschwemmel. Es wird zwischen Grob- und Feinrechen unterschieden, wobei ein Grobrechen eine Spaltweite von 100 bis 300 mm und ein Feinrechen eine Spaltweite von 5 bis 50 mm aufweist. Da ein Rechen ein Hindernis hinsichtlich der Strömung darstellt, müssen Rechenverluste berücksichtigt werden. Fällt eine große Menge an Geschwemmel an, besteht auch die Gefahr einer Verklausung.⁸ Horizontalrechen sollten gegenüber Vertikalrechen bevorzugt werden.

Eine Reinigung kann bei kleinen Rechen durch Herausnehmen von diesem erfolgen. Ab einer bestimmten Rechengröße werden Rechenreinigungsmaschinen eingesetzt oder das angesammelte Rechengut von Hand geborgen.⁹

Tauchwand:

Um an der Wasseroberfläche treibendes Geschwemmel und Eis vom Einlauf fernzuhalten, kann eine Tauchwand im Einlaufbereich angeordnet werden. Die Unterkante der Tauchwand muss hierbei so tief liegen, dass das Treibgut nicht unter der Wand eingesogen, sondern vor dieser zurückgehalten wird. Es kann zwischen festen und beweglichen Tauchwänden unterschieden werden. Bewegliche Tauchwände beruhen auf dem Prinzip der Schwimmkörper und befinden sich zum Teil unter Wasser. Sie können sich, im Gegensatz zu festen Tauchwänden, an die schwankenden Wasserstände anpassen und dadurch einen besseren Treibgutrückhalt erzielen. Um die Funktionsfähigkeit sicherzustellen, muss auf eine strömungsgünstige Anordnung geachtet werden.¹⁰

7.2 Ungesteuertes Einlaufbauwerk

Der Retentionsraum wird überflutet, wenn die Höhe des Einlaufbauwerks überschritten wird. Das Ausmaß des Abflusses im Fluss und die verfügbare Retentionsfläche bestimmen als alleinige Faktoren die Überflutungshöhe.¹¹

⁸Vgl.Patt und Gonsowski 2011, S. 214–215

⁹Vgl.ebd., S. 218

¹⁰Vgl.Giesecke, Mosonyi und Heimerl 2009, S. 180

¹¹Vgl.Homagk 2007, S. 16–17

7.2.1 Streichwehr

Massiv oder als überströmbarer Damm ausgebildete Streichwehre kommen für ungesteuerte Einlaufbauwerke zum Einsatz. Sie sind als parallel oder schräg zur Fließrichtung angeordnete, seitliche Überläufe ausgeführt, wie in Abb. 30 dargestellt. Eine gute Trennung der Abflüsse ist abhängig von den Abmessungen des Streichwehrs, welche so gewählt werden sollen, dass sich diese einstellen kann.¹² Die Wasserentnahme über ein Streichwehr erfolgt sobald der Wasserspiegel über der Wehrhöhe liegt.¹³

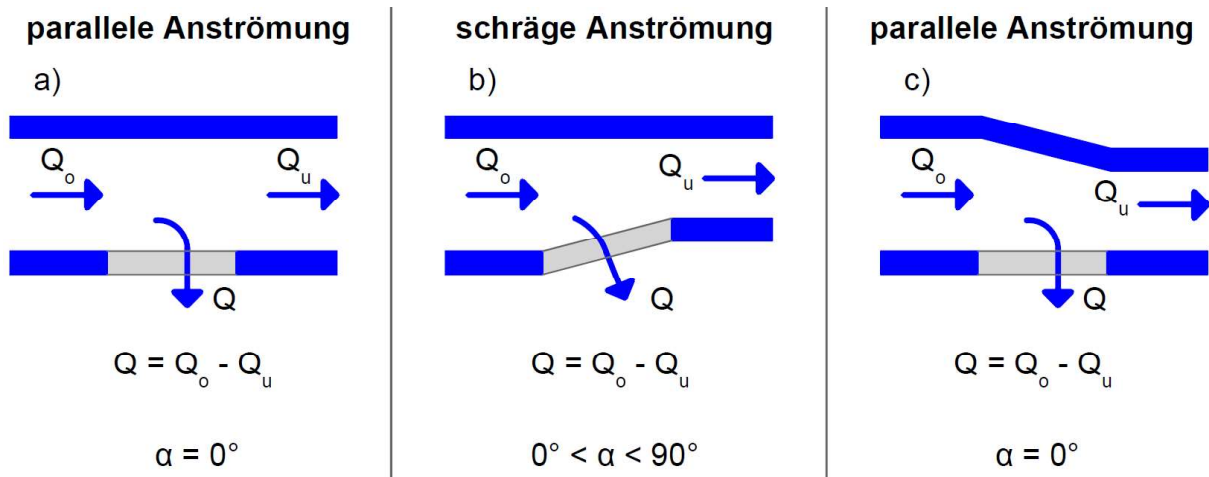


Abb. 30: Lage eines Streichwehrs a) gerades Streichwehr, b)c) schiefes Streichwehr

Quelle: In Anlehnung an Ing.Büro R. Mach o.D.

Der über das Streichwehr entnommene Abfluss Q (siehe Abb. 31) kann für einen durchgehend strömenden Abfluss längs des Überfalls mit folgender Überfallformel nach Patt und Gonsowski 2011, S. 128 ermittelt werden.

$$Q = \frac{2}{3} \mu \kappa L \sqrt{2g} h_m^{\frac{3}{2}} \quad (7.1)$$

Q ... Abfluss in m^3/s

μ ... Überfallbeiwert

κ ... Abminderungsfaktor ($\kappa=0,95$ für einen prismatischen Kanal)

L ... Streichwehrlänge in m

h_m ... mittlere Überfallhöhe $h_m=(h_o+h_u)/2$ in m

¹²Vgl.Patt und Gonsowski 2011, S. 128

¹³Vgl.Patt und Jüpner 2013, S. 145

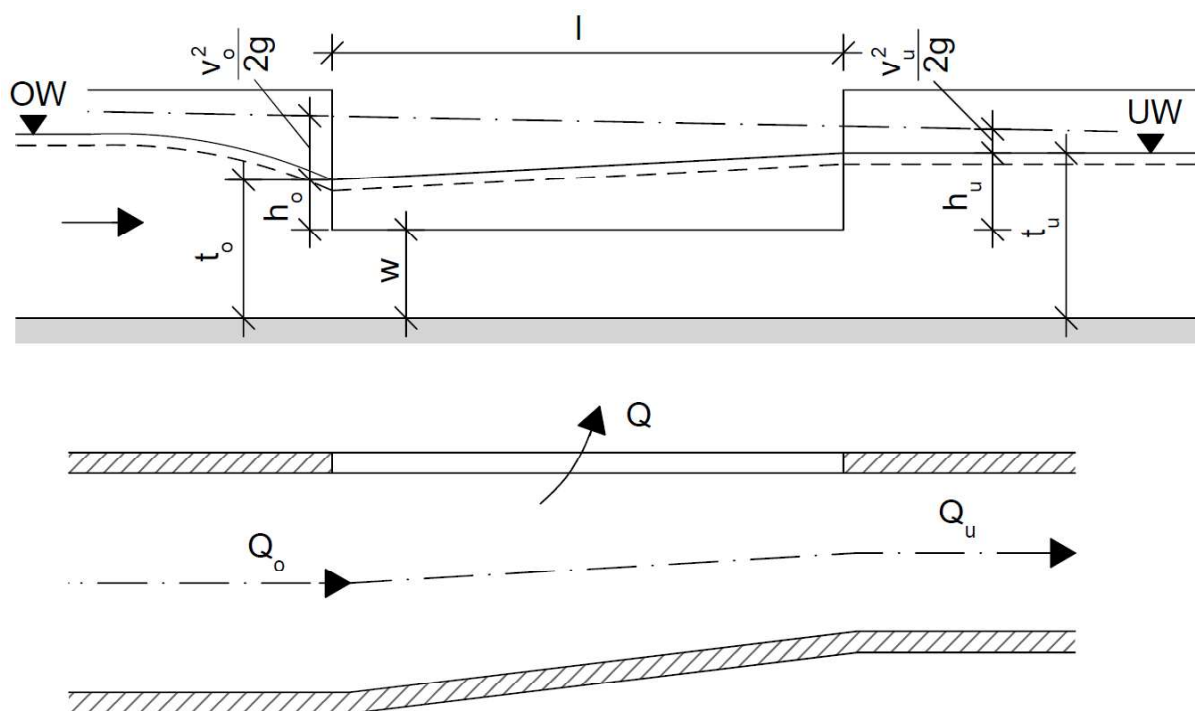


Abb. 31: Schematische Darstellung eines Streichwehres
Quelle: In Anlehnung an Nachtnebel u. a. 2008, S. 3.35

7.2.2 Ausführungsbeispiel Gemeinde Thalgau, Salzburg

Eine kontrollierte Wasserabgabe in ein Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss sollte über ein Streichwehr, kombiniert mit einem Regulierungsbauwerk, im Rahmen eines integrierten Hochwasserschutzes erfolgen, ohne den Einsatz von beweglichen Teilen bzw. Verschlüssen. Das Ziel war eine festgelegte Restwassermenge unterwasserseitig des Entnahmebauwerks im Brunnach einzuhalten. Durch einen Modellversuch (siehe Abb. 32) am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz wurde das zu errichtende Bauwerk gestalterisch optimiert.¹⁴

Wird von einem sechsständigen Regen einer hundertjährigen Hochwasserspitze ausgegangen, beträgt der Abfluss im Brunnach $52 \text{ m}^3/\text{s}$. Eine Reduktion der Ausbauwassermenge auf $32 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde angestrebt. Die zusätzliche Berücksichtigung eines Freibords war aufgrund örtlicher Gegebenheiten nicht möglich. Ein hydraulischer Modellversuch im Maßstab 1:20 und ohne Überhöhung sollte Aufschluss über die erforderliche Ausbildung des Wehres geben, wie beispielsweise die Form und Länge des Streichwehres und Art und Abmessung des Regulierungsbauwerks. Dieses wurde nach dem Froude'schen Ähnlichkeitskriterium ausgelegt, welches ein gleiches Trägheits- und Schwerkraftverhältnis in Natur und Modell erfordert. Der Zufluss im Modell wurde mit $60 \text{ m}^3/\text{s}$ festgesetzt, um eine zusätzliche Sicherheit zu erhalten. Die maximale Restwassermenge in der Brunnach sollte $18 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht überschreiten. Die geforderten $32 \text{ m}^3/\text{s}$ im Ortsgebiet ergeben sich aus diesem Abfluss und weiteren Zuflüssen unterwasserseitig des Entnahmebauwerks. Es müssen also $42 \text{ m}^3/\text{s}$ über das Streichwehr entnommen werden, um das Ziel zu erreichen.¹⁵

¹⁴Vgl. Schneider u. a. 2016, S. 406

¹⁵Vgl. ebd., S. 408–409



Abb. 32: Hydraulischer Modellversuch (Streichwehr mit Regulierungsbauwerk)
Quelle: Schneider u. a. 2016, S. 410

Ergebnis war ein Streichwehr mit einer Länge von 46 m und ein Regulierungsbauwerk, das aus zwei nacheinander und rechtwinklig zur Hauptfließrichtung angeordneten Durchlässen besteht. Der erforderliche Abstand zwischen den Durchlässen und deren Abmessungen wurden im Versuch ermittelt. Sie bewirken einen Einstau beider Durchlässe, wodurch eine Drosselung des ersten Durchlasses entsteht. Die Wirkung dieser Ausführungsweise ist in Abb. 33 ersichtlich. Ein Einstau der Durchlässe ist erst ab einem Abfluss von $16 \text{ m}^3/\text{s}$ gegeben. Wird dieser Wert überschritten, beginnt die Entnahme über das Streichwehr.¹⁶

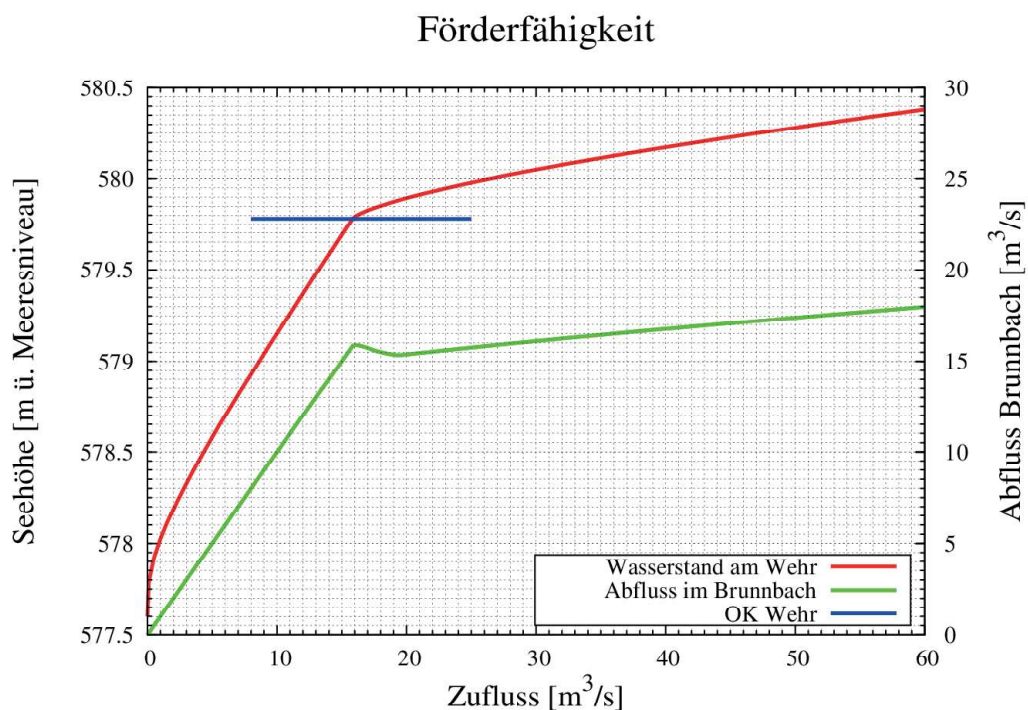


Abb. 33: Ergebnisse des Ausführungsvorschlags
Quelle: Schneider u. a. 2016, S. 411

¹⁶Vgl.ebd., S. 410–411

Kapitel 8

Auslassbauwerk

Das Auslassbauwerk beinhaltet den Grundablass und Betriebsauslass, welcher durch seine bauliche Gestaltung eine Anfälligkeit gegenüber Verklausungen und Einlaufwirbel vermeiden soll. Ein Rechen im Einlaufbereich kann ebenfalls Abhilfe gegen eine Verlegung des Abflussquerschnitts schaffen. Werden bewegliche Verschlüsse eingesetzt, muss auf eine gute Zugänglichkeit für Inspektionen sowie Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten geachtet werden. Ein hohes Maß an Betriebssicherheit muss gegeben sein, weswegen Betriebsverschlüsse einer doppelten Auslegung bedürfen. Dies geschieht entweder durch einen parallel geschalteten, zweiten Verschluss oder durch einen Bypass.¹

8.1 Grundablass und Betriebsauslass

Ein Betriebsauslass wird herangezogen, um einen begrenzten Teil des Hochwassers gezielt abzuführen, welcher als Regelabfluss bezeichnet wird. Bei diesem Abfluss ist die (n-1)-Regel einzuhalten. Für sehr kleine und kleine Rückhaltebecken kann auf die zweite Öffnung verzichtet werden.²

Der Grundablass stellt ein Entnahmebauwerk dar und kann bewegliche Verschlüsse aufweisen. Wird ein Dauerstaubecken ausgeführt, dient er zur Entleerung. Bei Trockenbecken ist er auf demselben Niveau wie die Gewässersohle angeordnet und kann zugleich als Betriebsauslass verwendet werden. Luftseitig der Verschlüsse ist der Regelabfluss als Freispiegelabfluss zu führen.³

Zu den grundsätzlichen Aufgaben von Grundablässen zählen u.a. die Beckenraumentleerung, eine Vorabsenkung im Hochwasserfall, die Geschiebeabfuhr aus dem Beckenraum, eine Pflichtwasserabgabe und die Einflussnahme auf einen unkontrollierten Aufstau.⁴

Eine Unterteilung des Grundablasses in folgende Bauteile kann erfolgen:

- Einlaufbauwerk mit Rechen
Dieses Bauwerk soll das Wasser sammeln und in den Durchlass leiten. Eine hydraulisch günstige Ausbildung ist zu empfehlen.

¹Vgl. Muth 1992, S. 161

²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 9

³Vgl. ebd., S. 9

⁴Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 3

- Gesteuerter/ungesteuerter Drossel- oder Verschlussbereich
Eine Versperrung ist vorzusehen, um den Zugang für unbefugte Personen zu verhindern. Ist ein Verschluss vorgesehen, erfolgt die Dimensionierung des Durchlassquerschnitts meist auf Grundlage des Bauhochwassers. Durch die Drossel ist eine Einstellung auf die Ausbauwassermenge möglich. Eine Anordnung der Verschlüsse ist luftseitig, mittig oder wasserseitig durchführbar. Grundablässe ohne Drossel sind für kleine Hochwasserrückhaltebecken denkbar. Es ist auf die Längsbiegung, Setzung, Verformung, Querschnittsänderung, Sanierung und Dichtung zu achten.
- Durchlass
Relativ freie Wahl der Querschnittsform. Bei größeren Längen ist eine Begehbarkeit sicherzustellen. Hinsichtlich der Abflussleistung stellen sie oft Schwachstellen dar.
- Auslaufbauwerk mit Energieumwandlung
In Dauer und Häufigkeit erfährt dieser Energieumwandlungsbereich eine größere Beanspruchung als jener der an eine Hochwasserentlastungsanlage anschließt. Gegenschwellen oder Störkörper können angeordnet werden.⁵

Für die Bemessung ist ein Bemessungsabfluss zu ermitteln. Für kleine Abflüsse ist auf die Gefahr von Ablagerungen und Nichteinhaltung der ökologischen Mindestwassertiefen zu achten. Bezüglich der hydraulischen Bemessung ist die Leistungsfähigkeit nachzuweisen. Auch unterschiedliche Betriebsfälle sind zu berücksichtigen. Der Grundablass muss während der Bauphase, bei Nieder- und Mittelwasser und im Hochwasserfall Wasser abführen können. Aus dem Unterwasser soll sich möglichst kein Rückstau ergeben. Bezüglich der Dimensionierung des Auslasses sind die Entleerungszeit und das Abflussvermögen des Unterwassers ausschlaggebend.⁶

8.1.1 Arten von Grundablässen

Auslässe bei Trockenbecken:

Der Grundablass ist auf Höhe der Gewässersohle angeordnet und meist mit einem beweglichen Verschluss ausgestattet. Die aquatische Durchgängigkeit ist im Allgemeinen durch die Ausführung einer naturähnlichen Sohle sichergestellt. Die gleichzeitige Verwendung als Betriebsauslass ist möglich. Mittlere und große Becken benötigen aufgrund der (n-1)-Regel eine zusätzliche Öffnung, die beispielsweise in Form eines Bypasses ausgeführt werden kann.⁷ Anwendung finden sie in Trockenbecken im Haupt- und Nebenschluss.

Mönchartige Bauwerke:

Mönchartige Bauwerke (siehe Abb. 34) kombinieren Grund- und Betriebsauslass und werden für Dauerstaubecken eingesetzt. Das Schachtbauwerk weist an der Basis der Stauwand die Grundablassöffnung mit Verschluss auf. Der Betriebsauslass ist am Einlauf der Auslaufseite angeordnet. Über einen voreingestellten Betriebsverschluss wird die maximale Regelabgabe unter Berücksichtigung der angestrebten Vorentlastung eingehalten.⁸ Sie sind nicht geeignet für Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss.

⁵Vgl. ebd., S. 4–7

⁶Vgl. ebd., S. 10–11

⁷Vgl. ebd., S. 10

⁸Vgl. Muth 1992, S. 146

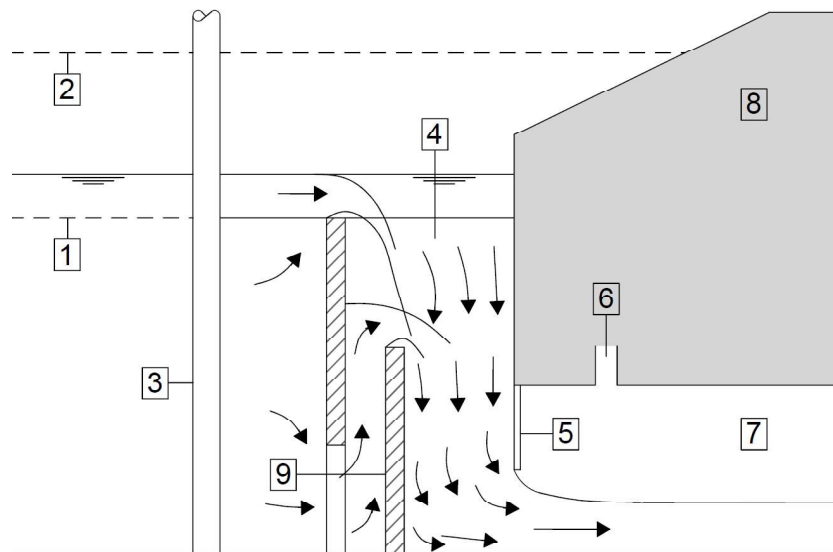


Abb. 34: Mönchartiges Bauwerke

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 10

Legende zu Abb.34:

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|------------|
| 1 | Stauziel Hochwasserentlastung | 6 | Belüftung |
| 2 | Maximalstau | 7 | Stollen |
| 3 | Vertikalstab | 8 | Dammkrone |
| 4 | Fallschacht | 9 | Mönchswand |
| 5 | Stauplatte | | |

Kombinierte Bauwerke:

Ein kombiniertes Bauwerk beinhaltet sowohl den Grundablass als auch die Hochwasserentlastungsanlage. Es ist auf eine gegenseitige hydraulische Beeinflussung zu achten. Beide Anlagenteile sind jedenfalls getrennt hydraulisch zu berechnen.⁹ Sie können für Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss eingesetzt werden.

Rohrauslass:

Der verstellbare Verschluss kann für die Regelabgabe im Normalbetrieb und die Entleerung des Beckens herangezogen werden. Es ist zu beachten, dass, falls der Wasserspiegel bei Dauerstaubecken durch die Verschlüsse gehalten wird, die beweglichen Teile einer Dauerbelastung ausgesetzt sind. Der steuerbare Betriebsauslass kann als Bypass ausgeführt werden, wenn für die Regelabgabe im Vergleich zu dem Grundablass nur ein verhältnismäßig kleiner Querschnitt erforderlich ist. Ein Schema eines Rohrauslasses ist in Abb. 35 dargestellt.¹⁰ Einsatz finden sie in Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss.

⁹Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 10

¹⁰Vgl. Muth 1992, S. 146

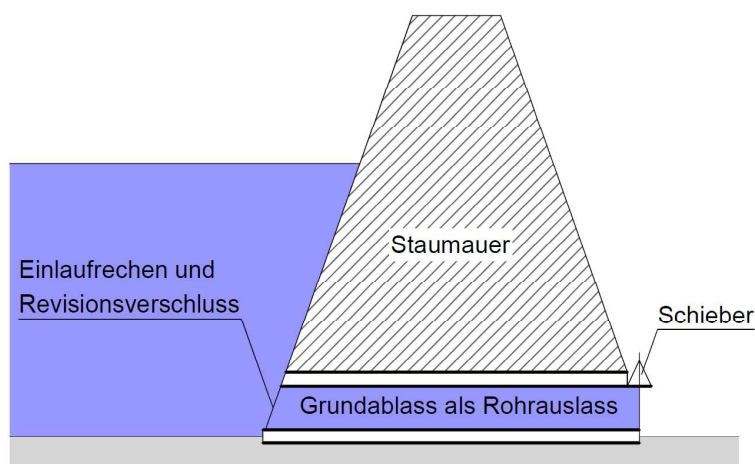


Abb. 35: Schema eines Rohrauslasses

Quelle: In Anlehnung an LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 28

8.1.2 Ungesteuerter Grundablass

Ein ungesteuerter Durchlass stellt die einfachste Form eines Grundablasses dar. Er besitzt entweder einen unveränderbaren Querschnitt oder eine Möglichkeit zur Nachjustierung mittels einer Drossel. Ist Letztere vorhanden, besteht die Möglichkeit den Querschnitt nachträglich auf die maximale Abgabemenge einzustellen. Eine Drosselschütz ist für kleinere Hochwasserrückhaltebecken zu empfehlen, da höchstens soviel abfließen kann, wie es für den Unterlauf verträglich ist. Pegelmessungen sind für eine Kontrolle während des Betriebs notwendig.¹¹

Die Vorteile eines ungesteuerten Grundablasses liegen in den niedrigeren Wartungs- und Errichtungskosten sowie der geringeren Störungsanfälligkeit während des Betriebs. Auch eine Nachjustierung ist mittels Drossel einfach möglich. Andererseits kann durch sie das Beckenvolumen schlechter ausgenutzt werden und auch eine Anpassung an die auftretende Hochwasserwelle ist nicht möglich.¹²

Der Grundablass kann u.a. die Querschnittsform eines Rechtecks oder Rohrs aufweisen. Eine feste Drosselung ist durch eine Tauchwand oder Sperrendole möglich. Soll eine veränderbare Drosselung ausgeführt werden, können beispielsweise Drosselblenden, Dammbalken oder Schütze ausgeführt werden.¹³

8.1.3 Gesteuerter Grundablass

Bewegliche Verschlüsse steuern den Abfluss aus dem Rückhaltebecken. Für die Planung sind Informationen über die gesamte Abflusssituation des Einzugsgebiets erforderlich, wofür Messungen durchgeführt werden müssen.¹⁴

¹¹Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 13

¹²Vgl. ebd., S. 13

¹³Vgl. ebd., S. 13

¹⁴Vgl. ebd., S. 14

Zu den Vorteilen gesteuerter Grundablässe gehören die bessere Ausnutzung des Retentionsraums, eine gleichmäßige Abgabe, die dem kritischen Durchfluss im Unterlauf entspricht sowie die Möglichkeit einer Optimierung der Steuerung von Beckensystemen über eine Zentrale. Zudem treten durch eine adaptive Steuerung kleinere Hochwasserspitzen auf, falls der Beckeninhalt überschritten wird. Stehen Vorhersagen durch Niederschlags-Abflussmessstellen zur Verfügung, ist ein bestmöglicher Betrieb erreichbar - besonders hinsichtlich Beckensystemen. Bezüglich der Auslegung kann das erforderliche Beckenvolumen direkt aus der n-jährlichen Einhüllenden (Füllenlinie und maximal zulässige Abgabe $Q_{ab,max}$) berechnet werden. Auch der Geschiebetransport kann bis zum Freispiegeldurchfluss $Q_{ab,max}$ stattfinden. Die Ausführung eines Ökodurchlasses ist denkbar. Dem gegenüber stehen Nachteile, wie etwa die höheren Kosten bezüglich der Planung, des Baus und Betriebs, die größeren Forderungen an die Wartung, Pflege und Instandhaltung sowie die Notwendigkeit von komplexen Modellen zur Systemoptimierung und die erforderliche Vorhersage.¹⁵

Volle Rohr- bzw. Kanalquerschnitte können über Gleit- oder Rollschütze, Segmentverschlüsse oder Wehrklappen gesteuert werden. Für einen Rohrquerschnittsteil kommen u.a. Drosselklappen, Ringschieber/Ringkolbenschieber oder Kegelstrahlschieber zum Einsatz. Diese sind allerdings verklausungsanfälliger.¹⁶

Kleine Hochwasserrückhaltebecken, die einen gesteuerten Grundablass aufweisen, müssen den Hochwasserabfluss an den Unterlauf auf eine vorher festgesetzte Regelabgabe beschränken können. Die Steuerung richtet sich hier nach den Wasserspiegeln des Unterwassers bzw. nach dem Niederschlag und der Ganglinie des oberen Einzugsgebiets. Handelt es sich um einen Volleinstau muss durch eine entsprechende Regelung des Grundablasses der maximale Wasserstand im Becken eingehalten werden. Wenn nötig muss die Hochwasserentlastungsanlage anspringen. Im Gegensatz dazu ist es auch möglich, die Steuerung über ein Prognosemodell laufen zu lassen. Diese Methode ist am effektivsten, stellt jedoch auch die komplizierteste und aufwendigste Möglichkeit dar. Für die Erstellung einer Prognose des Hochwasserwellenablaufs werden Niederschlagsmessstationen und Abflusspegel sowie ein Niederschlag-Abfluss-Modell benötigt. Für Beckensysteme wird diese Steuerungsstrategie bevorzugt eingesetzt.¹⁷

Die Steuerung selbst kann manuell oder automatisch erfolgen, wobei von einer alleinigen manuellen Steuerung aufgrund der Fehlbedienungsgefahr abzuraten ist. Eine automatische Steuerung wird entweder in Abhängigkeit vom Wasserstand oder durch Einsatz eines Regelorgans mit Antrieb durchgeführt, wobei Erstere die einfachere Variante darstellt. Für diese werden oftmals Schwimmer eingesetzt. Es können aber auch Fallklappen, Schwingklappen und Wirbeldrosseln Anwendung finden. Das Regelorgan schließt sich hierbei automatisch mit steigendem Wasserspiegel. Ein Regelorgan mit Antrieb hingegen wird entweder pneumatisch, elektrisch, hydraulisch oder aus einer Kombination von diesen angetrieben. Wird auf einen konstanten Abfluss geregelt, werden laufende Stauspiegel- und Abflussmessungen benötigt.¹⁸

¹⁵Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 14

¹⁶Vgl. ebd., S. 5–6

¹⁷Vgl. ebd., S. 14–15

¹⁸Vgl. ebd., S. 15–17

8.2 Bypass

Laut DIN 19700-12 sollen mittlere und große Hochwasserrückhaltebecken aus Gründen der Betriebssicherheit mit einem Bypass im Verschlussbereich ausgestattet werden, um die (n-1)-Regel bezüglich der Betriebsauslässe einzuhalten. Der Bypass kann entweder als Umgehungsleitung um das Verschlussorgan oder als zusätzliche Öffnung mit eigenem Verschluss ausgeführt werden, wobei der Einlauf einen ausreichenden Abstand zum Grundablass aufzuweisen hat und durch ein Gitter abzudecken ist. Ein Energieumwandlungsbereich ist entweder in Form eines Tosbeckens oder durch die Einmündung in den Grundablass einzuplanen. Bypässe sind grundsätzlich geschlossen und werden nur im Notfall geöffnet. Eine einfache Bedienung und gute Zugänglichkeit sollen gegeben sein.¹⁹

Die Förderfähigkeit ist abhängig von der geforderten Entleerungszeit bzw. von den Verhältnissen des Unterwassers. Die Regelabgabe darf aber nicht überschritten werden. Aus diesem Grund ist die zeitgleiche Öffnung von Bypass und Grundablass nicht erlaubt. Ist ein ausreichender Abstand - hinsichtlich einer Verklausung - zwischen Bypass und Grundablass unmöglich, wird es empfohlen, bei Vorhandensein von kleinen Grundablassquerschnitten zwei Bypässe, wenn möglich in unterschiedlichen Höhen, anzuordnen.²⁰

Ein Bypass kann in Form eines kombinierten Auslasses oder als getrennter Rohrdurchlass ausgeführt werden (siehe Abb. 36). Ersterer weist nur im ersten Teil eine getrennt geführte Rohrleitung auf und mündet in den Grundablass. Der Verschluss ist im Einlaufbereich oder Einmündungsbereich in den Grundablass angeordnet. Die Bedienung sitzt an der Dammkrone, welche lange Vorrichtungen zum Verschluss benötigt. Ein weiterer Nachteil ist die Nähe des Grundablass- und Bypasseinlaufs hinsichtlich der Verklausungsgefahr. Andererseits werden häufig nur kurze Leitungen benötigt. Der getrennte Rohrdurchlass wird meist parallel zum Grundablass geführt, falls als Absperrbauwerk Dämme vorgesehen sind. Für Betonmauern sind hingegen auch andere Rohrführungsvarianten möglich. Der Verschluss ist im Allgemeinen luftseitig situiert und kann im gleichen Schieberhaus wie der Grundablassverschluss angeordnet sein. Dadurch erhält man eine bessere Zugänglichkeit, als sie bei kombinierten Auslässen gegeben ist. Andererseits sind die Kosten für die zweite Rohrleitungsführung vergleichsweise hoch. Sind die Bypassleitungen durchgehend geöffnet, besteht auch die Gefahr einer Verlandung bzw. Versandung.²¹

¹⁹Vgl. ebd., S. 20

²⁰Vgl. ebd., S. 20

²¹Vgl. ebd., S. 21

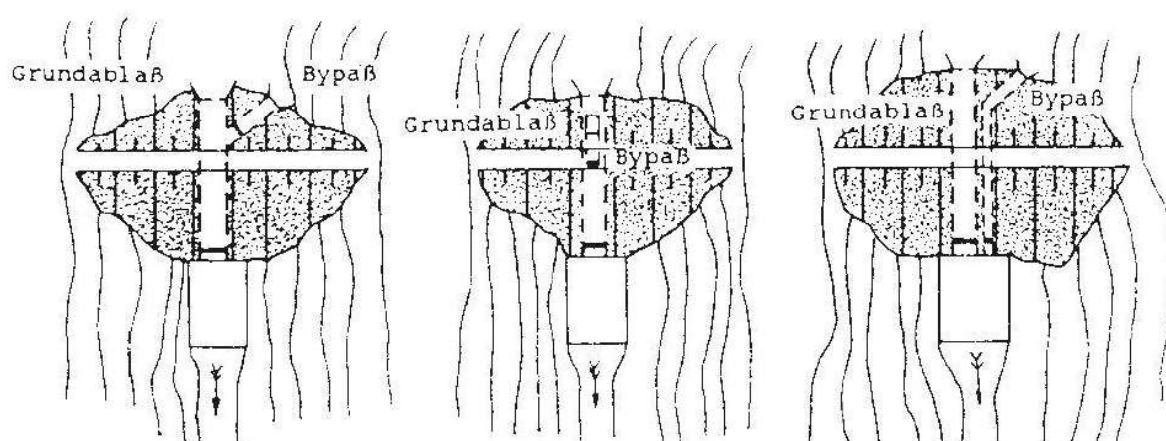


Abb. 36: Anordnung des Bypasses bei Dämmen als Absperrbauwerk

Quelle: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 21

8.3 Energieumwandlung

Eine Energieumwandlungsanlage ist im Auslauf des Grundablasses und Betriebsauslasses vorzusehen. Ziel ist es, den schießenden in einen strömenden Abfluss zu überführen, um kinetische Energie zu dissipieren. Die Bemessung erfolgt mit dem Ziel, alle Abflüsse bis Hochwasserbemessungsfall 1 (siehe Kapitel 5.2.1) schadlos abzuführen. Bezüglich des Hochwasserbemessungsfall 2 (siehe Kapitel 5.2.2) muss die Tragsicherheit des Absperrbauwerks gewährleistet sein. Kann eine schadlose Umwandlung der überschüssigen Energie, beispielsweise in zugelassenen Kolken oder einem ständigen Rückstau erfolgen, darf die Ausführung einer Energieumwandlungsanlage entfallen.²²

Häufig kommt ein Sturzbett, eine Steinschüttung oder ein Kolk zur Anwendung. Die Energieumwandlungsanlage des Grundablasses kann auch gleichzeitig für die Hochwasserentlastungsanlage herangezogen werden.²³

8.4 Ökologische Durchgängigkeit

Im Allgemeinen ist bezüglich der ökologischen Durchgängigkeit die Erhaltung der aquatischen und terrestrischen Durchgängigkeit zu berücksichtigen. Wird diese nicht beachtet, können Hochwasserrückhaltebecken ökologische Beeinträchtigungen hervorrufen. Dazu gehören folgende Punkte:

- Zerstörung bedeutender Standorte für Gewässerfauna und -flora
- Eingeschränkte oder unterbrochene Wanderung in den Gewässern
- Schädigung artenreicher und gewässertypischer Lebensgemeinschaften
- Beeinträchtigung natürlicher Fließgewässer²⁴

²²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 46

²³Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 10

²⁴Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 22

Die Einhaltung der ökologischen Durchgängigkeit von Fließgewässern ist in der EU-Wasser-rahmenrichtlinie (EU-WRRL, RL 2000/60/EG) sowie im österreichischen Wasserrechtsgesetz festgelegt.²⁵

8.4.1 Ökologische Gestaltung von Durchlässen

Die Länge von Durchlässen sollte 50 m nicht überschreiten, um die Anzahl der gelungenen Passagen nicht zu stark zu reduzieren. Außerdem wird somit auch auf schwimmschwache Arten Rücksicht genommen. Der Querschnitt soll so groß wie möglich dimensioniert werden.²⁶

Im Hinblick auf die Lichtverhältnisse sind anstatt von Durchlässen lichte Brückenbauwerke bezüglich der ökologischen Funktionen und Besiedlungsqualität vorteilhaft. Grundsätzlich sind offene Dammbauwerke, die eine große Durchlassöffnung aufweisen, vorzuziehen. Der Einsatz von Beton sollte weitestgehend vermieden werden.²⁷

Die Sohle ist vorzugsweise mit einem durchgehenden, natürlichen Substrat auszukleiden, um die Passierbarkeit zu verbessern. Weist ein bestehendes Becken im Durchlassbereich eine glatte Sohle auf, sind Querriegeln vorzusehen. Eine einheitliche Gestaltung des Querprofils soll vermieden werden, um an verschiedenen Durchlassbereichen variable Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen zu erhalten.²⁸

Im Durchlass sollen Sohlabstürze und glatte Sohlschwellen sowie überdimensionierte Energieumwandlungsmulden nicht ausgeführt werden, da sie die Passierbarkeit negativ beeinflussen können. Die Absturzhöhe darf 0,2 m nicht überschreiten. Stehendes Wasser im Tosbecken ist zu vermeiden.²⁹

Bezüglich der Strömungsgeschwindigkeit sollte der Maximalwert von 0,5 m/s eingehalten werden. Die Wassertiefe ist vor allem in Forellenregionen von Bedeutung. Bachforellen stellen nur eine geringe Anforderung dar, da sie bei einer Fließtiefe von 0,07 m bereits nachgewiesen wurden. Es ist jedoch fallspezifisch zu prüfen, ob die Einhaltung einer Mindestwassertiefe notwendig ist.³⁰

Es ist aus ökologischer Sicht eine lockere Bepflanzung der Leitstrukturen zu empfehlen. Aus technischer Sicht sollte aus Gründen der Sicherheit auf eine Bepflanzung des Grundablasses und dessen Einlaufbereichs verzichtet werden.³¹

²⁵Vgl. ebd., S. 22

²⁶Vgl. ebd., S. 22

²⁷Vgl. ebd., S. 22–23

²⁸Vgl. ebd., S. 23

²⁹Vgl. ebd., S. 23

³⁰Vgl. ebd., S. 23–24

³¹Vgl. ebd., S. 24

8.4.2 Bauweisen

Offene Bauweise:

Durch die Anordnung zweier Flügelwände wird der Damm entlang der gesamten Breite geteilt, dazwischen findet ein offener Durchfluss statt. Das Fließgewässer selbst kann durch eine Sperrwand mit Schiebereinrichtungen unterbrochen werden. Eine mögliche Anordnung von amphibischen Bereichen ist links und rechts des Gewässers möglich. Um die aquatische Durchgängigkeit durchgehend zu gewährleisten, sollten die verwendeten Sohlenstrukturen auch unter dem Schieber durchgezogen werden. Ein vollständiges Schließen des Schiebers ist dann jedoch nicht möglich. Eine Aufweitung der Flügelwände wird empfohlen. Ein Schema einer offenen Bauweise ist in Abb. 37 dargestellt.³²

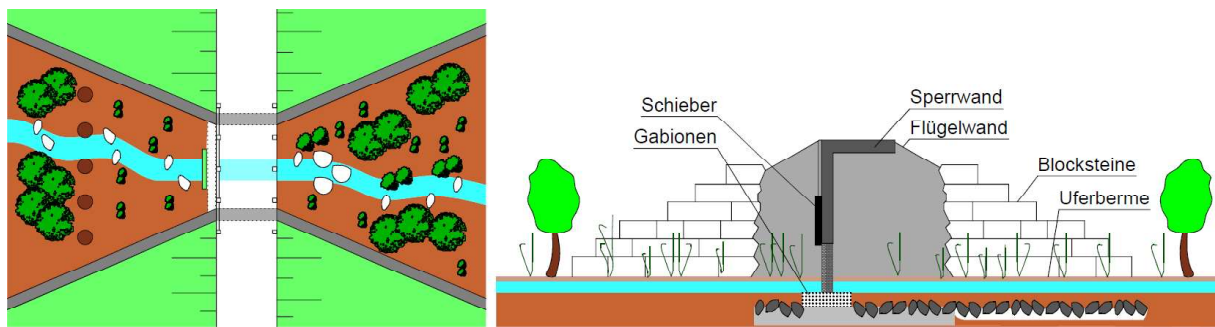


Abb. 37: Grundriss und Längsschnitt eines Damms in offener Bauweise

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 24

Teiloffene Bauweise:

Weist der Damm eine Höhe von mehr als 5 m auf, wird eine Einbindung des Durchlasses in die Landschaft schwierig, da die Betonsichtflächen ein relativ großes Ausmaß annehmen. Eine Lösung wäre die Ausführung einer teiloffenen Bauweise. Das Durchlassbauwerk besteht aus einem, in einen Zu- und Ablaufbereich eingeteilten Schieberschacht, der bis zur Dammkrone reicht und zwei verdolten Bachstrecken, die unter dem Damm verlaufen. Ein Lichteinfall ist über den Schieberschacht möglich. Ein Schema einer teiloffenen Bauweise ist in Abb. 38 dargestellt.³³

³²Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 24

³³Vgl. ebd., S. 24–25



Abb. 38: Grundriss und Längsschnitt eines Damms in teiloffener Bauweise

Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 25

Sperrwand mit Regelungsorganen

Es ist ein Betriebsschieber vorgesehen, der lediglich die aquatische Durchgängigkeit sicherstellt. Ist das Hochwasserrückhaltebecken in Betrieb, erfolgt die Steuerung durch einen Schieber nach einem Betriebsplan. Andernfalls ist er geöffnet. Wird auf einen Schieber verzichtet, muss auf die Durchflussleistungsfähigkeit bei der Schiebereinstellung des Betriebsschiebers geachtet werden. Sind zwei Schieber vorhanden, wird einer im aquatischen Bereich - auch Ökoschieber genannt - und der andere im Uferbermenbereich als Betriebsauslass angeordnet (siehe Abb. 39). Bei kleinen Hochwasserereignissen verbleibt der Ökoschieber offen, bei höheren Abflüssen wird er geschlossen, um eine Austragung des Sohls substrats zu vermeiden. Erfolgt ein Einstau wird über den Betriebsauslass der Regelabfluss abgeführt.³⁴

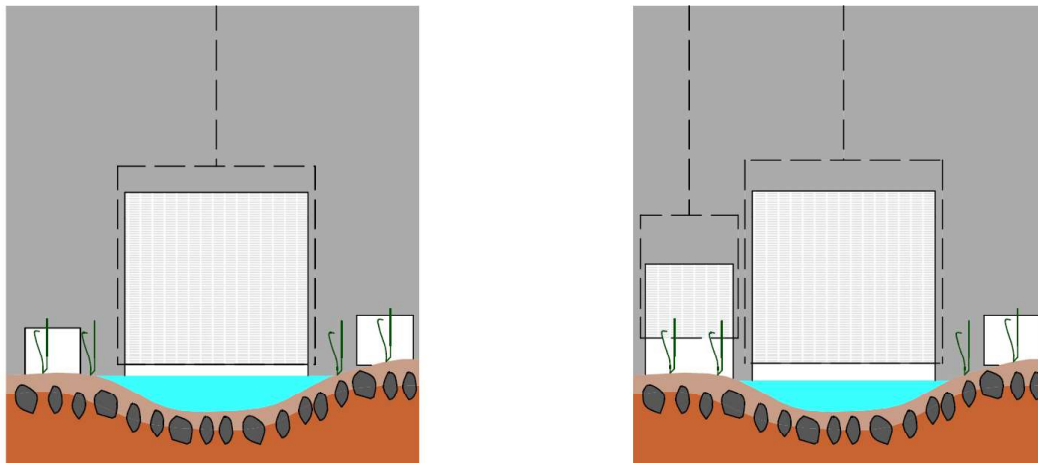


Abb. 39: Links: ein Regelschieber, 2 Öffnungen im amphibischen Bereich; Rechts: 2 Schieber
Quelle: In Anlehnung an Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 26

³⁴Vgl. ebd., S. 25

Betriebsauslass und Ökogerinne

Durch eine Trennwand erfolgt die Aufteilung des Durchlasses in einen Betriebsauslass und ein Ökogerinne (siehe Abb. 40). Dadurch sollen bei großen Regelabflüssen hohe Fließgeschwindigkeiten und damit auch die Austragung von Sohlsubstrat aus dem Ökogerinne vermieden werden. Tritt ein Hochwasser auf, wird das Ökogerinne durch den Schieber versperrt, sodass der Regelabfluss nur durch den Betriebsauslass abgeführt wird. Im Fall eines extremen Hochwassers kann das Ökogerinne auch zur Hochwasserentlastung herangezogen werden.³⁵



Abb. 40: Links: Einlauf; Rechts: Auslaufbauwerk

Quelle: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 26

8.5 Geschiebeführung

Der Geschiebetransport soll - wenn möglich - bei Normalwasser nicht unterbrochen werden. Eine Erhaltung des Geschiebegleichgewichts ist anzustreben. Im Oberlauf wird das Grobgeschiebe durch die Anordnung von geeigneten Anlagen zurückgehalten, während das Feingeschiebe durch Hochwasserrückhaltebecken durchgelassen werden soll.³⁶

Um die Transportprozesse zumindest in einem gewissen Maß sicherzustellen, können folgende technische Lösungen zur Anwendung kommen:

- Grundablass mit automatischer Steuerung auf Grundlage einer Niederschlags-Abfluss-Prognose und Gebietswasserbilanzierung
- Optimierter, hoher Freispiegelabfluss mit möglichst langer Dauer und ohne größeren Aufstau bei ungesteuerten Grundablässen, um zumindest bei kleineren Hochwasserereignissen einen freien Feststofftransport zu ermöglichen
- Abfuhrfähigkeit des Vorfluters im Bereich des Rückstaus gemäß höchstem Freispiegelabfluss im Grundablass sicherstellen
- Geschiebetrieb im Einlaufbereich des Hochwasserrückhaltebeckens und des Grundablasses nicht behindern

³⁵Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 26

³⁶Vgl. ebd., S. 28

- Sohle des Durchlasses angemessen ausbilden
- Rechenanlage von der Sohle abheben³⁷

Eine vollkommene Erhaltung des Geschiebebetriebs bei Hochwasserrückhaltebecken ist jedoch nicht möglich. Eine Verklausung sowie die Beeinträchtigung der Hochwasserentlastungsanlage durch Geschiebe darf nicht auftreten. Aufgrund dessen ist es zielführend, Ausschotterungsbecken bzw. Geschieberückhaltesperren kombiniert mit Wildholzrechen auszuführen und im Oberlauf die geschiebeführenden Zubringer mittels Rückhaltesperren zu erfassen. Außerdem können Geschiebeherde, die bereits bekannt sind, gesichert werden. Die Pflasterung von der Gewässersohle und dem Einlauf- und Energieumwandlungsbereich als Erosionsschutz ist ebenfalls zu empfehlen.³⁸

8.6 Rechen

Um eine Verklausung des Grundablasselinlaufs zu verhindern, werden Rechenanlagen eingesetzt (siehe Abb. 41). Die Bemessung sowie Gestaltung der Rechen ist abhängig von der Charakteristik des jeweiligen Einzugsgebiets und unterliegt statischen Prinzipien. Die Auslegung erfolgt anhand des größten erreichbaren hydrostatischen Drucks, da die Gefahr einer vollkommenen Verlegung des Rechens besteht.³⁹



Abb. 41: Verklauste Einlaufrechen

Quelle: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 33

³⁷Vgl. ebd., S. 28

³⁸Vgl. ebd., S. 28–29

³⁹Vgl. ebd., S. 30

8.6.1 Einlaufrechen

Liegt ein bewaldetes Einzugsgebiet oder ein Wildbach vor, ist ein massiver Stahlrechen auszuführen. Dadurch soll die Verlegung durch Wildholz, Geschiebe und Geschwemmsel vermieden werden. Um den Geschiebebetrieb und Durchfluss so lang wie möglich zu gewährleisten, wird ein schräger Wildholzrechen angeordnet, um ein Aufgleiten des Holzes zu bewirken. Es besteht jedoch die Gefahr eines anschließenden Absinkens, woraus eine Verlegung des Rechens resultieren würde. Um diesem Vorgang entgegenzuwirken, werden gebrochene Rechentypen mit langem, horizontalem Abschnitt ausgeführt (siehe Abb. 42).⁴⁰



Abb. 42: Gebrochener Rechen

Quelle: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 30

Die erste Rechenfläche weist eine sehr flache Neigung auf ($< 1:3$), wodurch ein Aufgleiten des anfallenden Holzes während der ersten Hochwasserwelle bewirkt wird. Sinkt anschließend der Wasserstand, wird das Schwemmgut auf der horizontalen Fläche abgelagert, wodurch eine Verlegung des Sohlbereichs verhindert wird. Um gewährleisten zu können, dass Feingeschiebe den Durchlass passieren kann, soll der Sohlrechen nach unten hin offen sein und einen entsprechenden Abstand zur Sohle einhalten.⁴¹

Der lichte Stababstand des Rechens ist abhängig von dem Drosselquerschnitt, dem Wildholz-anfall, der Art, Größe und Menge des Geschiebes und der Personensicherheit. Empfohlen wird für Grundablässe mit Trockenbecken bzw. kleinem Drosselquerschnitt ein lichter Stababstand zwischen 100 und 120 mm. Liegt ein großer Drosselquerschnitt vor, kann der Abstand auf etwa 250 bis 300 mm vergrößert werden. Eine Abstimmung auf den lichten Durchgang der Auslässe soll durchgeführt werden und eine nachträgliche Anpassung der Stababstände möglich sein. Anzustreben sind besonders breite, bis zur Überlaufkrone reichende Rechenflächen, um selbst bei einer Teilverkläuserung einen möglichst lang anhaltenden Abfluss zu ermöglichen.⁴²

⁴⁰Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 30

⁴¹Vgl. ebd., S. 31

⁴²Vgl. ebd., S. 31, 45

8.6.2 Vorgelagerter Pfahlrechen

Kann der Wildholzanfall mit einem Grobrechen an der Stauwurzel nur schwer abgewehrt werden, kommen Pfahlrechen zum Einsatz, die dem Einlauf vorgelagert sind. Um eine große Anströmfläche zu erzeugen, wird dieser halbkreisförmig angeordnet (siehe Abb. 43). Die für diesen Rechen verwendbaren Materialien sind Beton, Stahl und Holz.⁴³

Durch die Ausführung eines vorgelagerten Pfahlrechens entstehen jedoch Nachteile, wie etwa ein Aufstau beim Verlegen des Rechens, eine verminderte Abflussleistung durch den Fließwechsel vor dem Einlaufrechen sowie die Gefahr des Mitreißens des Wildholzes beim Überströmen der Pfähle. Außerdem muss die erforderliche massive Sicherung im Einflusbereich des Rechens und die Wandbarriere für Fische bei einer Verlegung berücksichtigt werden.⁴⁴



Abb. 43: Vorgelagerte Pfahlrechen

Quelle: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, S. 32

8.6.3 Wartung und Instandhaltung

Eine Elementbauweise wird herangezogen, um den Bereich nach dem Rechen räumen und warten zu können. Sie bestehen aus mehreren, abhebbaren Segmenten, um die Manipulation beim Bau und der Räumung zu vereinfachen. Es ist von Vorteil in der Planung Zufahrtswege zu berücksichtigen, um einen Zugang für die Räumfahrzeuge zu schaffen.⁴⁵

⁴³Vgl. ebd., S. 32

⁴⁴Vgl. ebd., S. 32

⁴⁵Vgl. ebd., S. 32

Kapitel 9

Hochwasserentlastungsanlage

Hochwasserentlastungsanlagen setzen sich aus einem Einlauf- und Fortleitungsbauwerk sowie einer anschließenden Energieumwandlungsanlage zusammen. Das Fortleitungsbauwerk hat die Aufgabe, das Wasser in das Unterwasser zu leiten, welches durch die gegebene Höhendifferenz eine Beschleunigung erfährt.¹

Die Entlastungsanlagen beeinflussen durch ihre hydraulische Abflussleistung maßgeblich die Sicherheit des Absperrbauwerks. Ihre Aufgabe ist die sichere Ableitung von extremen Hochwasserereignissen (HWBF 1).² Eine hydraulisch einwandfreie Funktionalität in allen Lastfällen muss während der Planung und Bemessung berücksichtigt werden. Außerdem sind Maßnahmen zu setzen, um eine Verklausung der Abflussquerschnitte zu verhindern.³

Die Betriebsbereitschaft von Hochwasserentlastungsanlagen sowie die Beweglichkeit der vorhandenen Verschlüsse muss in jedem Fall gegeben sein. Unbefugten sollen die Bedienungseinrichtungen unzugänglich gemacht werden, wohingegen Befugten ein leichter Zugang zu gewährleisten ist. Kommen bewegliche Verschlüsse zum Einsatz, sind im Allgemeinen zwei Öffnungen auszuführen, deren Verschlüsse getrennt voneinander bedienbar sein sollen ((n-1)-Regel). Die Möglichkeit eines manuellen Betriebs ist ebenfalls vorgeschrieben.⁴

Wird das BHQ_2 überschritten, ist das Restrisiko erforderlichenfalls unter Berücksichtigung des PMF (probable maximum flood) zu beurteilen. Es sind gegebenenfalls organisatorische und/oder technische Maßnahmen zu setzen, um dieses zu minimieren. Dazu gehört beispielsweise die Ausführung einer Notenlastung.⁵

Bezüglich Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss ist nur dann eine Hochwasserentlastungsanlage vorzusehen, wenn ein außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum angesetzt ist. Sie ist notwendig, wenn das Rückhaltebecken einen Zufluss aus dem Gewässer erhält, der größer ist als das Bemessungshochwasser BHQ_3 und somit den Freibord beansprucht.⁶ Es darf in Seitengewässer entlastet werden.⁷

¹Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 20

²Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 32

³Vgl. Muth 1992, S. 144

⁴Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 33

⁵Vgl. ebd., S. 33

⁶Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 6

⁷Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 34

9.1 Überlastbarkeit

Der Begriff Überlastbarkeit bezieht sich auf die Abflussleistung. Grundsätzlich erfolgt eine Unterscheidung zwischen hydraulisch nicht überlastbare und überlastbare Bauwerke, wobei Letztere auch bei höheren Bemessungszuflüssen als BHQ_1 bezüglich des Abflusses noch einen vollkommenen Überfall aufweisen (siehe Abb. 44). Dies hat eine beachtliche Steigerung der Abflussleistung zur Folge, jedoch ist die Belastbarkeit der nachfolgenden Bauwerksteile zu berücksichtigen.⁸

Als überlastbar sind also jene Anlagen zu bezeichnen, deren Wasserstand im Stauraum im ganzen Abflussbereich in Abhängigkeit zur Größe, Form und Höhenlage des Einlaufquerschnitts steht. Die Kontrolle der Abflussleistung erfolgt lediglich über den Einlaufquerschnitt. Der Bemessungsabfluss am Einlaufbauwerk ist nicht rückgestaut. Bei nicht überlastbaren Anlagen wird hingegen spätestens bei Erreichen des Bemessungsabflusses der Wasserstand im Stauraum von dem Energieverlust, der durch die Durchströmung der Entlastungsanlage hervorgerufen wird, bestimmt. Im Allgemeinen kontrolliert hier das Gesamtbauwerk die Abflussleistung. Der Bemessungsabfluss am Einlaufbauwerk ist rückgestaut. Grundsätzlich ist überlastbaren Hochwasserentlastungsanlagen der Vorzug zu geben, da sie eine höhere Sicherheit bezüglich des Absperrbauwerks gewährleisten.⁹

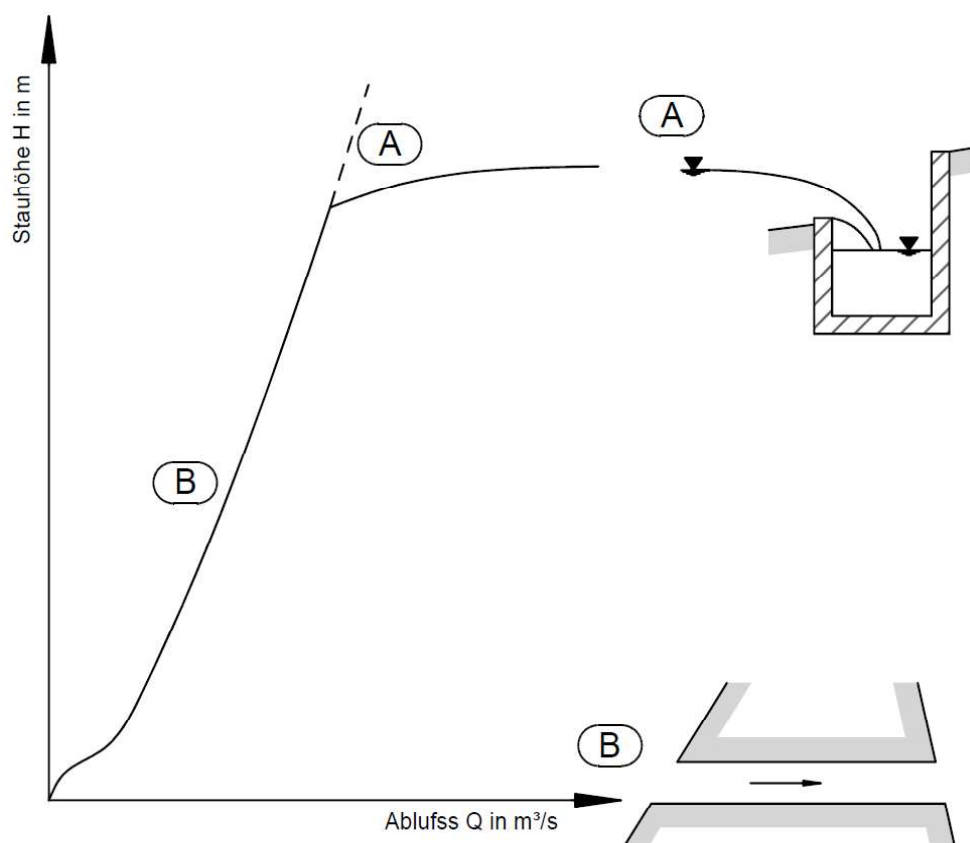


Abb. 44: Freisiegelabfluss (überlastbar, System A), Druckabfluss (nicht überlastbar, System B)

Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 144

⁸Vgl. ebd., S. 32

⁹Vgl. Muth 1992, S. 143–144

9.2 Arten von Hochwasserentlastungsanlagen

Als Hochwasserentlastungsanlagen können nach DIN 19700-11 u.a. folgende Ausführungsvarianten zum Einsatz kommen:

- Feste Überfälle ohne Verschlüsse
- Überfälle mit aufgesetzten beweglichen Verschlüssen
Ein Öffnen des Verschlusses allein durch den Wasserdruck ist bei Versagen des Antriebs möglich. Besondere Vorkehrungen, um dies zu verhindern, sind notwendig. Eine einwandfreie Bedienung muss dennoch gegeben sein.
- Heber
Weisen eine größere Abflussleistung als Überfälle auf, sind jedoch hydraulisch nicht überlastbar und verklausungsempfindlich. Schlagartige Beaufschlagung des Unterwassers mit einem hohen Abfluss.¹⁰
- Unterhalb des Stauziels liegende, verschließbare Öffnungen in verschiedenen Höhen
Es sind mindestens zwei hintereinanderliegende Verschlüsse vorzusehen.
- überströmbare Mauer- und Dammbereiche
Die Dammkörper sind gegen die bei einer Überströmung auftretende Erosionswirkung zu schützen. Das Deckwerk muss gegenüber Erosion und Abgleiten stabil sein.¹¹
- Notentlastungen
Zur Minimierung des Restrisikos infolge eines Überströmens des Absperrbauwerks. Es handelt sich hierbei um Öffnungen, die im Notfall selbstständig geöffnet werden oder durch Noteingriffe weitere Abflussquerschnitte freigeben. Dazu gehören beispielsweise Reißdämme und spezielle Zwischen- oder Tiefauslässe.¹²

Das Einlaufbauwerk kann je nach Ausführungsvariante entweder am Absperrbauwerk, am Talhang oder im Beckenraum angeordnet sein.¹³ Es ist auf die Einhaltung einer störungsfreien Zu- und Einströmung sowie die Vermeidung einer Verlegung der Einlaufquerschnitte zu achten.¹⁴

Liegt ein schießender Abfluss vor, bedingt jede Änderung der Abflussquerschnitte in Form und Größe sowie auch der Fließrichtung Tiefenänderungen des Abflusses in Form von stehenden Wellen. Um den schießenden Abfluss beherrschen zu können und eine Glättung des Wasserspiegels zu erzielen, soll das Einlauf- und Übergabebauwerk strömungsgünstig ausgebildet werden. Die Geschwindigkeit und Tiefe des Abflusses sollen im Eintrittsbereich der Schussrinne gleichmäßig über den Abflussquerschnitt verteilt sein. Der Abfluss selbst soll in diesem Bereich parallel zur Längsachse der Schussrinne ausgerichtet sein. Im Entlastungsbauwerk ist ein Wechsel vom schießenden Freispiegelabfluss zu einem Druckabfluss möglichst zu verhindern.¹⁵

Hochwasserentlastungsanlagen können als eigenständige Bauwerke oder als Kombination mit den Entnahmeanlagen errichtet werden. Alle Bestandteile wie Einlauf, Überfall, Gerinne, usw. sind hydraulisch einwandfrei aufeinander abzustimmen.¹⁶

¹⁰Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 33

¹¹Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 10

¹²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 43–44

¹³Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 21

¹⁴Vgl. Muth 1992, S. 148

¹⁵Vgl. ebd., S. 148

¹⁶Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07b, S. 43

9.2.1 Systeme mit Freispiegelabfluss

Weist eine Hochwasserentlastungsanlage einen freien Überlauf und einen durchgehenden Freispiegelabfluss im ganzen Abflussbereich in allen Abflussquerschnitten - auch bei größeren Abflüssen als den Bemessungsabfluss - auf, können sie grundsätzlich als überlastbar eingestuft werden. Das bedeutet, dass bereits eine geringe Überschreitung des Wasserspiegels über das außergewöhnliche Stauziel hinaus eine verhältnismäßig hohe Steigerung des Abflusses bedingt (siehe Abb. 44). Weisen die Anlagen einen offenen Querschnitt auf, sind sie immer überlastbar, geschlossene Querschnitte hingegen sind nur überlastbar, wenn ein bestimmter Teilfüllungsgrad nicht überschritten wird. Zusätzlich muss der schießende Abfluss voll belüftet sein.¹⁷

Nachfolgend sind die wichtigsten überlastbaren Grundsysteme aufgelistet:

- Stirnentlastung (siehe Abb. 45)
Der Abfluss wird in einem Gerinne über einen Damm und/oder Bauwerk nach Unterwasser geleitet. Die Abführung des Wassers kann über eine Schussrinne oder als freier Überfall erfolgen.
- Dammscharte (siehe Abb. 45) und überströmbarer Damm
Die Dammscharte führt den Abfluss über einen abgesenkten Bereich der Dammkrone, der überströmbare Damm hingegen über die ganze Dammbreite ab.



Abb. 45: Links: Stirnentlastung; Rechts: Dammscharte
Quelle: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 21, 24

- Hangseitenentlastung
Ein an einer Talflanke angeordneter, oft mit fester Überlaufschwelle versehener Sammeltrug mit anschließendem Fortleitungsbauwerk, meist als geschlossene Schussrinne ausgebildet, bilden die Hangseitenentlastung.
- Flutmulde
Flutmulden sind rinnenförmige Vertiefungen abseits von Absperrbauwerken. Der Einlauf erfolgt über eine Geländemulde oder Überlaufschwelle.

¹⁷Vgl. Muth 1992, S. 145

- Schachtentlastungen (i.d.R. überlastbar ausgelegt)
Sie setzen sich aus einem Einlaufbauwerk mit Überfallkrone, einem Fallschacht, Einrichtungen für die Belüftung, einem Krümmer, einem Ablaufstollen und einem Übergabebauwerk zusammen. Das Einlaufbauwerk wird am Absperrbauwerk oder im Beckenraum angeordnet. Nahezu die gesamte Höhendifferenz zwischen dem Wasserspiegel im Becken und dem Unterwasser wird über einen vertikalen Fallschacht bewältigt. Im Vergleich zu anderen Entlastungsanlagen sind sie sehr aufwendig und nur bedingt überlastbar. Eine Steigerung der Abflussleistung nach einer Vollenfüllung des Ablaufstollens ist mit steigendem Beckenwasserstand nur noch minimal möglich.¹⁸

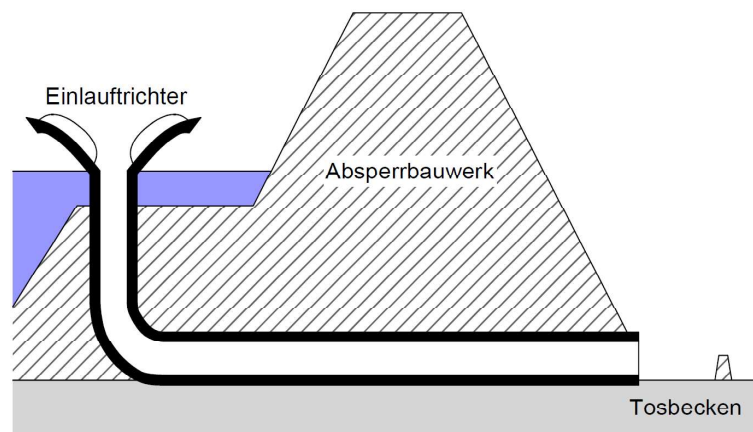


Abb. 46: Schema einer Schachtentlastung mit Einlauftrichter

Quelle: In Anlehnung an LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 26

9.2.2 Systeme mit Druckabfluss

Existieren bei Abflüssen, welche auch kleiner als der Bemessungsabfluss sein können, vollgefüllte Querschnitte mit Druckabfluss (abschnittsweise oder durchgehend) spricht man von einem System mit Druckabfluss. Sie sind nicht überlastbar, da sie über keine hydraulischen Abflussreserven verfügen, auch wenn der Beckenwasserspiegel stark ansteigen würde. In den Bereichen wo der Übergang von Freispiegelabfluss zu Druckabfluss stattfindet, liegen instabile Abflussverhältnisse vor, welche hydrodynamische Bauwerksbelastungen hervorrufen.¹⁹

Nachfolgend sind die wichtigsten nicht überlastbaren Grundsysteme aufgelistet:

- Heberentlastung (siehe Abb. 47)
Diese Anlage weist kleine Fließquerschnitte auf. Der Einlaufbereich soll deshalb durch die Anordnung eines Rechens vor einer Verlegung geschützt werden. Die Abflussleistung ist fast konstant und unabhängig vom Beckenwasserspiegel. Die Problematik ist die sofortige Entlastung durch die volle Abflussleistung und die dadurch entstehende Flutwelle im Unterwasser.

¹⁸Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 21–27

¹⁹Vgl. Muth 1992, S. 145

- Druckrohrentlastung
Eine vollgefüllte Rohrleitung, die unter Druck steht, führt den Abfluss ab. Die Ausführung erfolgt meist als Kombinationsbauwerk mit dem Grundablass. Sie wird nur selten ausgeführt, da die Sicherstellung der Betriebssicherheit hinsichtlich der Verschlüsse einen großen Aufwand erfordert und die Anlage nicht überlastbar ist.
- Schachtentlastung (in Ausnahmefällen als Drucksystem ausgelegt)²⁰

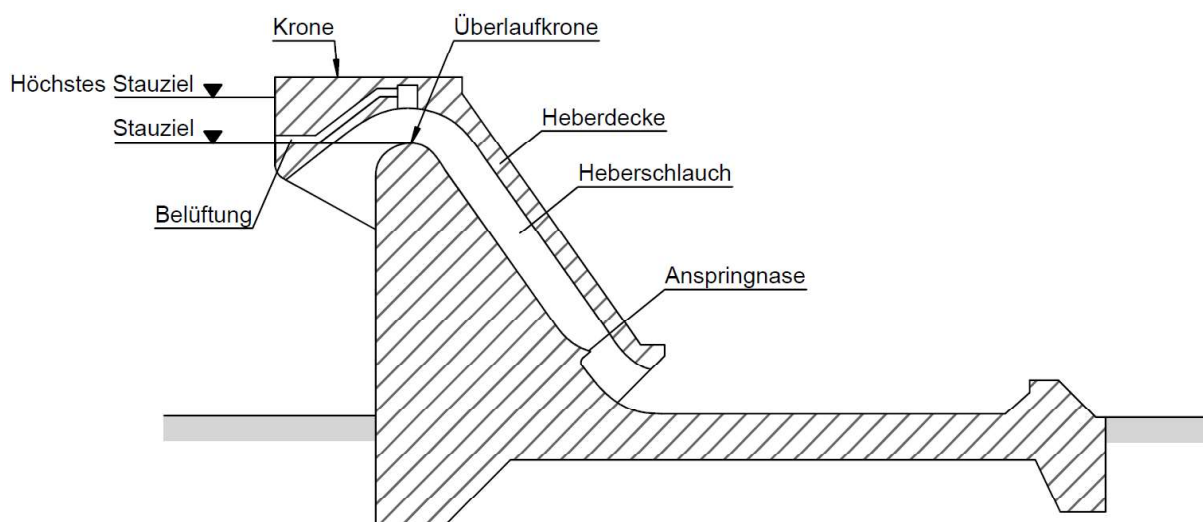


Abb. 47: Heberentlastung
Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 157

9.3 Energieumwandlung

Zum Zwecke der Energieumwandlung des Überfalls ist gegebenenfalls eine Energieumwandlungsanlage vorzusehen. Die grundlegenden Aspekte wurden bereits in Kapitel 8.3 erwähnt.

Als besondere Bauform ist hier noch das Gegenstromtosbecken angeführt. Das Bauwerk ist nach oben hin geschlossen. In dieses schießt das Wasser (in Abb. 48 mit 1 gekennzeichnet) ein und wird durch einen Strahlteiler in Dreiecksform (in Abb. 48 mit 2 gekennzeichnet) geteilt. Beide Teilströme treffen anschließend im Umlenkbauwerk (in Abb. 48 mit 3 gekennzeichnet) aufeinander. Eine Vergleichmäßigung des Abflusses wird zusätzlich durch Bodenschwellen (in Abb. 48 mit 4 gekennzeichnet), die vor dem Auslassbereich (in Abb. 48 mit 5 gekennzeichnet) angeordnet sind, erreicht.²¹

²⁰Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 21–27

²¹Vgl. ebd., S. 37

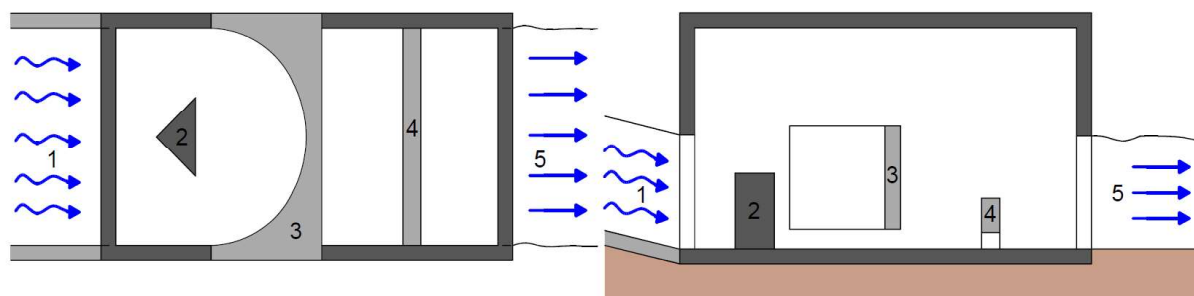


Abb. 48: Draufsicht und Schnitt durch ein Gegenstromtosbecken

Quelle: In Anlehnung an LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 37

Vorteil dieser Tosbeckenart ist, dass es zu keiner Bildung einer stehenden Welle bzw. Entstehung eines Wechselsprungs kommt. Dies bedeutet dieselbe Effizienz für verschiedene Wassermengen.²²

²²Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008, S. 37

Kapitel 10

Steuerungseinrichtungen

Um Hochwasserrückhaltebecken bestmöglich steuern zu können, werden zuverlässige Informationen über die jeweiligen Hochwasserereignisse benötigt. Zu den messtechnischen Mindestanforderungen gehören u.a. Messungen des Stauspiegels (in m+NN), des Abflusses aus dem Becken (in m³/s) und der Regelarmaturenstellung (in % der Öffnungsfläche). Es ist ausreichend die Messungen nur in Betriebszeiten zu dokumentieren, da der Retentionsraum vergleichsweise nur kurz in Anspruch genommen wird.¹

DIN 19700-12 gibt folgende regelmäßige Messungen und Kontrollen als Mindestanforderung an:

- Bestimmung der Lage und Höhe des Absperrbauwerks
- Beobachtung des Sickerwassers
- Beobachtung des Grundwassers luftseitig des Absperrbauwerks
- Zustand aller Bauteile sowie der Ufer, des Beckenbereichs und des Dauerstaus besonders hinsichtlich evtl. Wasseraustritts und Wühltierbefalls
- Zustand und Funktionsfähigkeit der Messeinrichtungen, Schalteinrichtungen und aller maschinellen Teile²

Im Allgemeinen sind die Wasserstände und Abflüsse sowie bei Bedarf auch die Grundwasserstände zu messen. Liegt ein Dauerstaubecken vor, ist zusätzlich eine Messung des Sickerwasseranfalls von Vorteil. Erfolgt bei mittleren und großen Trockenbecken eine Fassung des Sickerwassers, sollte dieses ebenfalls gemessen werden.³

Messungen und Kontrollen bei ungesteuerten Einzelbecken:

Bezüglich sehr kleiner Hochwasserrückhaltebecken sind visuelle Kontrollen ausreichend, auf Messeinrichtungen darf verzichtet werden. Ein Lattenpegel im Staubereich sowie eine Stellungsanzeige des Schiebers sind aber mindestens erforderlich. Handelt es sich um kleine und mittlere Hochwasserrückhaltebecken, sind ein Lattenpegel im Staubereich, ein automatischer Registrierpegel als Beckenpegel und ein registrierender Abflusspegel notwendig. Außerdem muss die Gebrauchstauglichkeit sowie die Funktionsfähigkeit aller maschinellen Teile und elektrischen Ausstattungen regelmäßig geprüft werden. Empfohlen wird zusätzlich eine Messung des Niederschlags an einer repräsentativen Stelle des Einzugsgebiets oder bei der Stauanlage. Eine Störmeldeeinrichtung ist zu empfehlen.⁴

¹Vgl. Muth 1992, S. 172, 175

²Vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2004-07c, S. 12

³Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 38–39

⁴Vgl. ebd., S. 46

Messungen und Kontrollen bei gesteuerten Hochwasserrückhaltebecken:

Im Staubereich sowie im Unterwasser der Stauanlage sind Lattenpegel anzubringen. Der Becken- und Abflusspegel sind als automatische Registrierpegel auszubilden. Eine Stellungsanzeige der Verschlussorgane ist an den Antrieben zu installieren. Zusätzlich sind ein Niederschlagsmessgerät, eine Störmeldeeinrichtung und eine regelmäßige Prüfung der Gebrauchstauglichkeit sowie der Funktionsfähigkeit aller maschinellen Teile und elektrischen Ausstattungen erforderlich. Ist eine adaptive Steuerung in Abhängigkeit des Zuflusses vorgesehen, ist die Anordnung eines Zuflusspegels notwendig. Dieser sollte allerdings nicht im Rückstaubereich bei Vollstau angeordnet sein.⁵

Zusätzliche Ausstattung bei Beckensystemen:

Soll die Steuerung mehrerer Becken aufeinander abgestimmt werden, müssen die Stauspiegel, Abflusspegel und Zuflusspegel - falls vorhanden - an eine Zentrale gemeldet werden. Zusätzlich wird die Anordnung von ergänzenden Abflusspegeln an Gewässerstellen im Unterlauf, die durch Überflutungen gefährdet sind und an wesentlichen einmündenden Zuflüssen, die unterstrom des Rückhaltebeckens liegen, empfohlen.⁶

10.1 Wasserstandsmessung

Eine Wasserstandsmessung kann für oberirdisches sowie unterirdisches Wasser durchgeführt werden.⁷

10.1.1 Wasserstände von Oberflächenwasser

Für die Wasserstandsmessung von Oberflächenwasser werden sogenannte Pegelstationen eingesetzt. Für die Ausstattung stehen unterschiedliche Pegel zur Verfügung, welche mit einer eigenständigen Registrierung ausgerüstet sein können. Die Bestimmung der exakten Höhen erfolgt mittels Nivellement.⁸

Zu den unterschiedlichen Pegelarten gehören u.a.:

- Lattenpegel
Sie bestehen aus Messlatten mit bekanntem Nullpunkt, welche aus Metall gefertigt sind und eine Zentimeterteilung besitzen. Die Ablesung wird zu festgelegten Zeiten manuell durchgeführt (periodisch). Sie können sowohl lotrecht als auch schräg ausgeführt werden.
- Schwimmerpegel
Diese Pegel messen kontinuierlich den Wasserstand, da eine Übertragung jeglicher Veränderung des Schwimmers auf ein geeichtes Registriergerät erfolgt.

⁵Vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2007, S. 46

⁶Vgl. ebd., S. 46

⁷Vgl. Patt und Gonsowski 2011, S. 22

⁸Vgl. ebd., S. 22

- Druckluftpegel
Der Luftdruck wird mittels einer Taucherglocke gemessen. Der Wasserstand wird über den Luftdruck im Tauchrohr, welcher dem Wasserdruck am Ende des Tauchrohrs entspricht, ermittelt. Der Einsatz eines Registriergeräts ist möglich. Sie sind insbesondere für Bereiche mit großen Wasserstandsschwankungen geeignet.
- Echolote
Durch sie kann berührungsfrei aus der Luft gemessen werden, indem die Laufzeit eines Schallsignals aufgezeichnet wird. Dieses Schallsignal stammt von einem Schallsensor. Die Laufzeit beinhaltet die Zeit, welche das Signal vom Sensor bis zum Wasserspiegel und wieder zurück benötigt. Rückschlüsse auf den Wasserstand können durch die bekannte Schallgeschwindigkeit der Luft geschlossen werden.⁹

10.1.2 Wasserstände von unterirdischem Wasser

Die Messung von Grundwasserständen erfolgt in Standrohren mittels:

- Brunnenpfeifen
Sie werden an ein Messband befestigt in das Standrohr abgelassen. Kommt die Pfeife mit dem Grundwasser in Kontakt, ist ein Pfeifsignal zu hören, da eine Verdrängung der Luft aus der Pfeife durch das Eintauchen in das Wasser stattfindet. Der Grundwasserspiegel kann dadurch in Abhängigkeit zur Oberkante des Standrohrs ermittelt werden.
- Kabellichtlote
Eine Signallampe, ein Kabel und eine Tauchelektrode bilden das Kabellichtlot. Die Signallampe leuchtet, wenn die Tauchelektrode das Grundwasser berührt. Zur Bestimmung der Höhe des Grundwasserspiegels wird das Kabel als Messband herangezogen.¹⁰

10.2 Abflussmessung

Im Folgenden wird lediglich auf die Abflussmessung in Fließgewässern eingegangen. Der Abfluss kann entweder durch eine Messung des Wasserstands, der Fließgeschwindigkeit oder von Tracerkonzentrationen ermittelt werden.¹¹

10.2.1 Abflussermittlung durch Wasserstandsmessung

Die Möglichkeiten zur Wasserstandsmessung wurden bereits in Kapitel 10.1 behandelt. Um daraus auf den Abfluss schließen zu können, wird eine Abflusskurve bzw. Pegelrelation benötigt. Abflusskurven stellen einen Zusammenhang zwischen den gemessenen Wasserständen und den jeweilig zugeordneten Abflüssen dar und beziehen sich auf einen bestimmten Querschnitt des Gewässers. Sie können durch hydraulische Berechnungen und Modellversuche sowie geeichten Messungen vor Ort ermittelt werden. Dazu gehören u.a. Venturikanäle und Messüberfälle, deren Einsatz jedoch für natürliche Gerinne nur schwer möglich ist. Liegt ein Normalabfluss in Kanälen bzw. Fließgewässern, die kanalisiert wurden vor, kann die Formel von Manning-Strickler verwendet werden, wobei die Schätzung des Rauheitsbeiwerts oft problematisch ist und zu unsicheren Ergebnissen führt.¹²

⁹Vgl. ebd., S. 22–23

¹⁰Vgl. ebd., S. 24

¹¹Vgl. ebd., S. 25

¹²Vgl. ebd., S. 25–27

Für Eichmessungen werden der Wasserstand und der Abfluss jeweils für unterschiedliche Abflüsse gemessen. Die Ergebnisse werden anschließend in ein Wasserstand-Abfluss-Diagramm eingetragen. Eine Inter- bzw. Extrapolation erfolgt daraufhin mittels empirischer Formeln. Eindeutige Pegelrelationen ergeben sich nur dann, wenn im Messquerschnitt kein Fließwechsel erfolgt, kein Einstau stattfindet und der Querschnitt unveränderlich ist und nicht durch Erosion oder Auflandung beeinflusst wird. Solche Messungen sind im Hochwasserfall schwierig, weshalb auf Grundlage kleinerer Abflüsse extrapoliert wird. Die Genauigkeit geht dadurch verloren.¹³

10.2.2 Abflussermittlung durch Fließgeschwindigkeitsmessung

Für diese Methode wird die Kontinuitätsgleichung laut Patt und Gonsowski 2011, S. 28 herangezogen:

$$Q = \int_F v \, dF \quad (10.1)$$

Demnach ist der Abfluss Q abhängig von der Fließgeschwindigkeit v und dem Abflussquerschnitt F . Es muss also die Fläche des Querschnitts bestimmt und die in diesem Querschnitt auftretende Fließgeschwindigkeit in unterschiedlichen Punkten gemessen werden, woraus ein Geschwindigkeitsprofil resultiert. Für die Messung werden meist Flügelmessungen und Ultraschallmessungen eingesetzt. Subsidiär können auch Schwimmer (Oberflächenschwimmer oder Doppelschwimmer) für die Geschwindigkeitsmessung herangezogen werden.¹⁴

Ein Messflügel besteht aus einem Propeller, welcher vertikal zum Messquerschnitt ausgerichtet und von der Strömung angetrieben wird.¹⁵ Durch folgende Beziehung nach ebd., S. 28 wird die Fließgeschwindigkeit v_i in Abhängigkeit von der Drehzahl n_i und unter Berücksichtigung zweier Gerätekonstanten a und b berechnet:

$$v_i = a + b n_i \quad (10.2)$$

Die Auswertung unter Anwendung der Kontinuitätsgleichung wird für jeden Messpunkt durchgeführt um das Geschwindigkeitsprofil zu erhalten. Voraussetzung dafür ist allerdings ein konstanter Abfluss während der Messung. Diese Bedingung kann aber meist während Hochwasserereignissen nicht eingehalten werden und ist deshalb bei der Auswertung der Messungen zu berücksichtigen. Unter Umständen müssen diese sogar verworfen werden. Die Geschwindigkeiten des Geschwindigkeitsprofils werden anschließend integriert und über die Wassertiefe dargestellt, woraus sich der spezifische Abfluss ergibt. Der Abfluss resultiert über die Aufsummierung der spezifischen Abflüsse über die Breite des Fließquerschnitts.¹⁶

Ultraschallmessungen werden für stark instationäre Abflüsse herangezogen, wie sie im Tidebereich oder zwischen kommunizierenden Seen auftreten. Es wird an gegenüberliegenden Ufern jeweils eine Station angeordnet. Aus der ersten Station wird ein Ultraschallimpuls gesendet, welcher von der Zweiten gemäß dem Dopplereffekt empfangen wird, woraus sich anschließend eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit ermitteln lässt. Das Ergebnis wird vor allem durch die Schallgeschwindigkeit des Wassers und somit von der Dichte des Wassers (Wassertemperatur) beeinflusst, weshalb gleichzeitig ein zweiter Ultraschallimpuls mit anderer Frequenz von der

¹³Vgl. Patt und Gonsowski 2011, S. 27

¹⁴Vgl. ebd., S. 28, 31

¹⁵Vgl. ebd., S. 28

¹⁶Vgl. ebd., S. 29

zweiten Station ausgesendet und der Ersten empfangen wird. Dadurch kann die Schallgeschwindigkeit des Wassers in der Berechnungsformel gestrichen werden.¹⁷

10.2.3 Abflussermittlung durch Messung von Tracerkonzentrationen

Dem Fließgewässer wird Salz oder Farbe beigemischt und daraufhin die entsprechende Konzentration gemessen. Dieser Vorgang kann als Salz- oder Farbverdünnungsverfahren bezeichnet werden.¹⁸

Wird Salz eingesetzt, ist die beigefügte Menge bekannt und durch die Zugabe eine Salzwolke erzeugt. Danach werden stromabwärts Wasserproben aus dem Fließgewässer entnommen und deren Salzkonzentration bestimmt. Dadurch kann auf den zeitlichen Durchgang der Wasserproben rückgeschlossen werden.¹⁹ Ist davon auszugehen, dass der Abfluss währenddessen stationär bleibt und die Salzkonzentration k im gesamten Messquerschnitt gleich ist, kann die Salzbilanz nach ebd., S. 32 herangezogen werden:

$$K = \int_T Q k dt = Q \int_T k dt \quad (10.3)$$

Andernfalls sind stationäre Verhältnisse durch die Zugabe des Salzes über längere Zeit und einer konstanten Injektion q der Konzentration k_0 zu schaffen.²⁰ Im Messquerschnitt stellt sich daraufhin eine konstante Salzkonzentration k_1 ein, für die folgende Salzbilanz nach ebd., S. 33 verwendet werden kann:

$$q k_0 = (Q + q) k_1 \quad (10.4)$$

Häufig wird für diese Vorgehensweise auch Farbe anstelle von Salz eingesetzt. Mit einem Kolorimeter wird die Farbverdünnung k_0/k_1 ermittelt.²¹

10.3 Möglichkeiten der Beckensteuerung

Die Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken ist so auszuführen, dass der festgelegte Hochwasserschutz unterhalb der Anlage eingehalten werden kann. Dafür wird eine meist konstant gehaltene Regelabgabe an den Unterlauf ermittelt, welche sich nach dessen Leistungsfähigkeit richtet. (siehe Abb. 49b). Seitens der Messung sind hierfür Stauspiegel- und Abflussmessungen aus dem Becken erforderlich, welche auch für die Dokumentation des Betriebs verwendet werden. Aufgrund der Variabilität von Hochwasserabläufen kann aber auch eine adaptive Steuerung zum Einsatz kommen. Hierbei wird die Abgabe an den Unterlauf an den Ablauf des Hochwasserereignisses angepasst, beispielsweise durch Beobachtung des Wasserstands im Stauraum und der Abflussverhältnisse im Unterlauf (siehe Abb. 49c). Hierfür werden zusätzlich Angaben bezüglich der Hochwassersituation im Einzugsgebiet in Form von weiteren hydrologischen und meteorologischen Messungen sowie Prognosemodelle benötigt. Vorgaben zur Steuerung sind im Allgemeinen in der Betriebsvorschrift zu finden.²²

¹⁷Vgl. ebd., S. 29–30

¹⁸Vgl. ebd., S. 32

¹⁹Vgl. ebd., S. 32

²⁰Vgl. ebd., S. 32

²¹Vgl. ebd., S. 33

²²Vgl. Muth 1992, S. 170–171

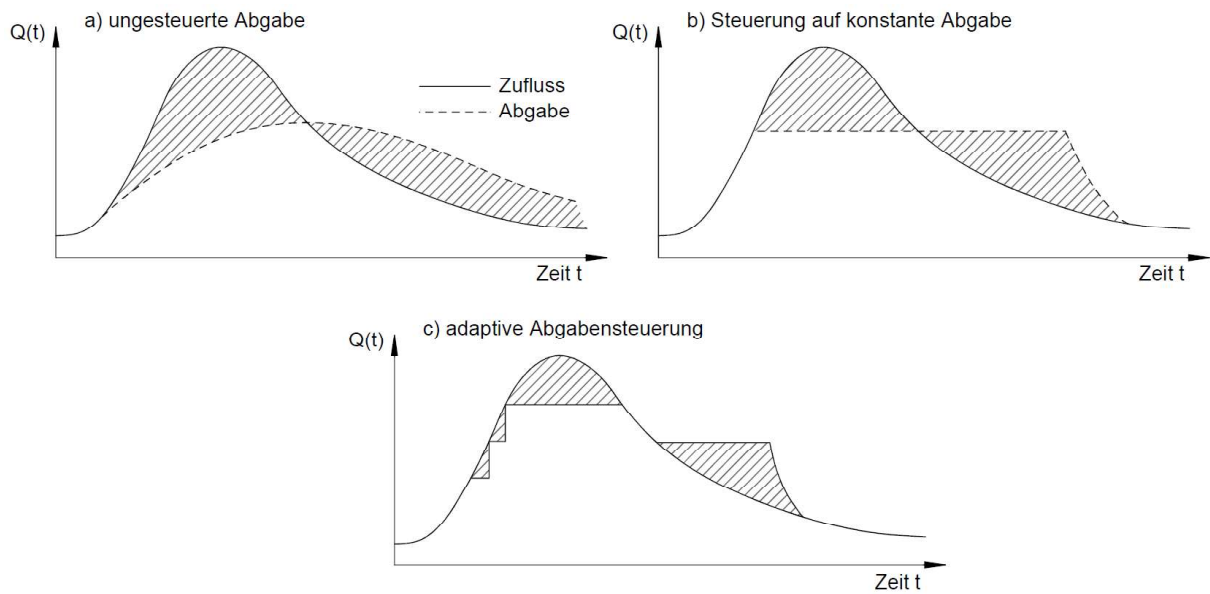


Abb. 49: Steuerung der Abgaben aus dem Hochwasserrückhaltebecken
 Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 171

Es sind im Zuge eines Hochwasserereignisses zwei Betriebsfälle möglich, diese sind der planmäßige und überplanmäßige Betrieb (siehe Abb. 50). Zu Ersterem gehören der Einstau sowie die Entleerung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteriums durch die Grundablässe bzw. Betriebsauslässe. Tritt ein höheres Hochwasser als das Bemessungshochwasser auf, setzt der überplanmäßige Betrieb ein, bei welchem der außergewöhnliche Hochwasserrückhalteraum und die Hochwasserentlastungsanlage herangezogen werden.²³

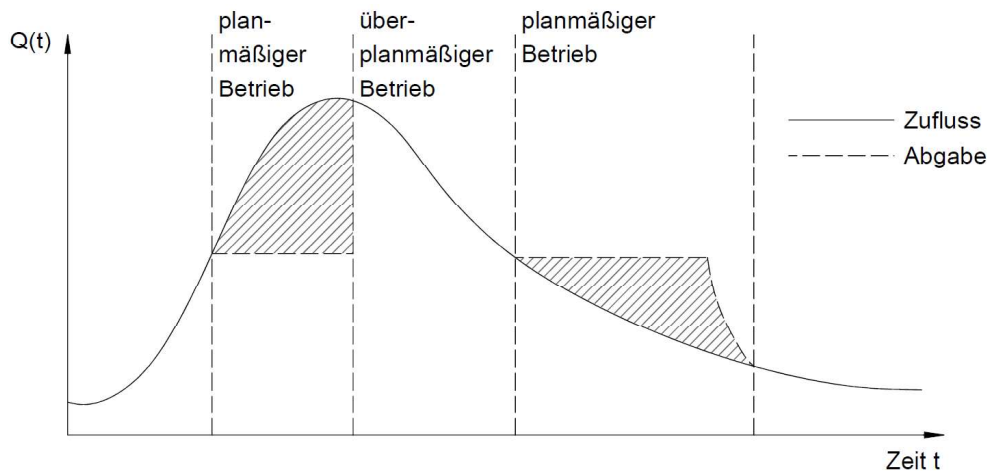


Abb. 50: Betriebsfälle während eines Hochwassers
 Quelle: In Anlehnung an Muth 1992, S. 171

²³Vgl. Muth 1992, S. 170

Kapitel 11

Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, Hochwasserrückhaltebecken im Hinblick auf die für die Planung wesentlichen Punkte - auf Basis von vorhandener Literatur - näher zu beleuchten. Sie umfasst die grundsätzlichen Unterscheidungsmerkmale verschiedener Typen von Hochwasserrückhaltebecken bis hin zu den einzelnen Bauwerksteilen und Steuerungseinrichtungen.

Hochwasserrückhaltebecken dienen dem Hochwasserschutz im Allgemeinen im Rahmen eines integralen Hochwasserschutzkonzeptes. Es wird im Hochwasserfall ein Teil der ankommenden Hochwasserwelle im Becken gespeichert und somit unterwasserseitig ein reduzierter Abfluss ausgeleitet. Ist das Hochwasserereignis vorüber, kann das Becken geleert werden. Dies geschieht entweder gesteuert oder ungesteuert.

Grundsätzlich erfolgt eine Klassifizierung der Hochwasserrückhaltebecken nach DIN 19700-12 hinsichtlich der Größe des Gesamtstauraums und der Höhe des Absperrbauwerks, wodurch ihnen Überschreitungswahrscheinlichkeiten bezüglich der Bemessungshochwasserzuflüsse zugeordnet werden können. Eine Abweichung von diesen Vorgaben ist abhängig vom Schutzbedürfnis der Unterlieger möglich.

Eine Unterscheidung von Hochwasserrückhaltebecken kann hinsichtlich ihrer Lage zum Gewässer (Haupt- und Nebenschluss), dem Befüllungszeitraum des Retentionsraumes (Trocken- und Dauerstaubecken) und der Steuerung (gesteuert und nicht gesteuert) erfolgen, wobei Dauerstaubecken heutzutage selten Anwendung finden.

Ein essentieller Aspekt während der Planung ist die Festlegung eines angemessenen Schutzziels und die Beurteilung des verbleibenden Restrisikos. Es ist zu beachten, dass ein absoluter Schutz aufgrund von Unsicherheiten bei der Ermittlung des Bemessungshochwasser sowie aus Gründen der Wirtschaftlichkeit niemals erreicht werden kann. Für die Berechnung des Bemessungshochwassers werden vor allem regionalhydrologische Verfahren wie Niederschlag-Abfluss-Modelle herangezogen. Durch diese können auch für unbeobachtete Gebiete synthetische Hochwasserganglinien ermittelt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass unabhängig vom gewählten Verfahren die Ergebnisse immer mit Unsicherheiten behaftet sind. Ein weiterer wesentlicher Punkt bezüglich der Ermittlung des Bemessungshochwassers ist die Beachtung der Niederschlagsdauer zusätzlich zur Wiederholungszeitspanne, um die Fülle einer Hochwasserwelle zu erhalten und damit das benötigte Retentionsvolumen.

Bevor eine geplante Schutzmaßnahme umgesetzt werden kann, ist eine Prüfung der Wirtschaftlichkeit erforderlich. Dies bedeutet, dass die gesamten Kosten dieser Maßnahme nicht größer als der Nutzen sein sollen. Dabei ist nicht nur eine monetäre Bewertung sinnvoll sondern auch die Berücksichtigung sozioökonomischer Zuschläge, welche sich nicht oder nur schwer monetär beurteilen lassen.

Das Hochwasserrückhaltebecken selbst besteht aus dem Stauraum, dem Absperrbauwerk, dem Einlaufbauwerk - falls ein Rückhaltebecken im Nebenschluss vorliegt, dem Auslassbauwerk und der Hochwasserentlastungsanlage sowie einer anschließenden Energieumwandlungsanlage.

Der Stauraum gliedert sich in ein Freibord und einen gewöhnlichen und außergewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum. Liegt ein Dauerstaubecken vor, existiert zusätzlich ein Totraum und ein Dauerstauraum. Es existieren Bemessungsgrundlagen in Anlehnung an die Österreichische Staubeckenkommission sowie drei Bemessungsfälle nach DIN 19700, wobei sich die ersten beiden auf die Anlagensicherheit und der letzte auf den Hochwasserschutzgrad für die Unterlieger bezieht.

Das Absperrbauwerk soll den Stauraum unterwasserseitig begrenzen. Zur Ausführung kommen entweder Staudämme- oder mauern sowie auch Kombinationsbauwerke. Diese Wahl ist abhängig von diversen Faktoren (Geologie, Kosten usw.), wobei für alle Ausführungsvarianten ein dichter und standfester Anschluss an den anstehenden Untergrund von großer Bedeutung ist.

Ein Einlaufbauwerk wird nur im Falle eines Hochwasserrückhaltebeckens im Nebenschluss benötigt. Es kann gesteuert oder ungesteuert ausgeführt werden. Für eine Steuerung sind bewegliche Anlagenteile, wie beispielsweise Schütze, notwendig. Ihr Vorteil liegt in der besseren Ausnutzung des vorhandenen Retentionvolumens, allerdings sind sie i.d.R. teurer bezüglich der Errichtung und Wartung. Ungesteuerte Einlaufbauwerke können z.B. mit einem Streichwehr ausgestattet sein. Das Becken wird gefüllt, wenn der Wasserstand die Höhe des Einlaufbauwerks überschreitet.

Das Auslassbauwerk, bestehend aus einem Grundablass und Betriebsauslass, kann ebenfalls gesteuert oder ungesteuert errichtet werden. Aufgrund der Betriebssicherheit sind Betriebsverschlüsse entweder durch einen zweiten Verschluss oder einen Bypass doppelt auszuführen. Im ungesteuerten Fall ist der Querschnitt des Betriebsauslasses unveränderlich, kann aber bei Vorhandensein einer Drossel nachjustiert werden. Die Vorteile hierbei sind die geringeren Kosten und der geringere Wartungsaufwand. Gesteuerte Auslassbauwerke weisen bewegliche Verschlüsse auf. Durch sie kann das Becken besser ausgenutzt werden, die Kosten und der Wartungsaufwand sind jedoch höher.

Um ein Extremhochwasser sicher ableiten zu können, ist eine Hochwasserentlastungsanlage vorzusehen. Bewegliche Verschlüsse sind aus Gründen der Betriebssicherheit ebenfalls doppelt auszuführen. Um ein verbleibendes Restrisiko zu minimieren, kann eine Notentlastung angeordnet und/oder organisatorische Maßnahmen getroffen werden.

Einrichtungen für die Steuerung sind nötig, um einen bestmöglichen Betrieb der Hochwasserrückhaltebecken sicherstellen zu können. Mindestens erforderlich sind Staupegel- und Abflussmessungen sowie eine Messung der Regelarmaturenstellung. Grundwasserstände und der Sickerwasseranfall sind bei Bedarf zu erfassen.

Abbildungsverzeichnis

1	Gliederung der Arbeit	3
2	Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken	4
3	Hochwasserrückhaltebecken im Hauptschluss und im Nebenschluss	6
4	Trockenbecken und Dauerstaubecken	8
5	Stauräume und Stauziele	9
6	Wirkungsweise eines Hochwasserrückhaltebeckens bei gesteuertem und ungesteuertem Betrieb	11
7	Schema einer Hochwasserganglinie	12
8	Δt -Einheitsganglinie	26
9	Parameter der Einheitsganglinie	26
10	Schematische Darstellung der Betrachtungszeiträume bei (a) ereignisbezogener Modellierung und (b) Langzeitsimulation Modellierung	29
11	Niederschlagsstationen des Hydrographischen Dienstes in Österreich	31
12	Messstellen des Hydrographischen Dienstes für Oberflächengewässer	33
13	Modellgüte in Abhängigkeit von Datenverfügbarkeit und Modellkomplexität	35
14	Gang- und Fülllinienlinie	38
15	Ermittlung der n-jährlichen Rückhaltewirkungslinie als Einhüllende der Fülllinien für unterschiedliche Niederschlagsdauern T_N	39
16	Teilstrategien zur Zielerreichung	41
17	Systematik von Hochwasserschäden	42
18	Darstellung der Schadensentwicklungsfunktion über die Eintrittswahrscheinlichkeit	44
19	Darstellung der Schadensminderung durch Retentionsmaßnahmen	45
20	Gewichtung der sozioökonomischen Zuschläge im Verhältnis zur monetären Wirtschaftlichkeit	48
21	Links: HRB mit Dauerstau; Rechts: HRB Trockenbecken	50
22	Charakteristische Hochwasserganglinien	52
23	Normallastfall und außergewöhnlicher Lastfall	54
24	Anhaltswerte für die Wiederkehrzeit T_n in Baden-Württemberg	55
25	Wellenaufbau bei Staudämmen und Staumauern	56
26	Bestandteile des Freibords	57
27	Zonen eines Damms	61
28	Dämme mit unterschiedlichen Abdichtungen	63
29	Schemaskizze eines gesteuerten und ungesteuerten Einlaufbauwerks	66
30	Lage eines Streichwehrs a) gerades Streichwehr, b)c) schiefes Streichwehr	69
31	Schematische Darstellung eines Streichwehrs	70
32	Hydraulischer Modellversuch (Streichwehr mit Regulierungsbauwerk)	71
33	Ergebnisse des Ausführungsvorschlags	71

34	Mönchartiges Bauwerke	74
35	Schema eines Rohrauslasses	75
36	Anordnung des Bypasses bei Dämmen als Absperrbauwerk	78
37	Grundriss und Längsschnitt eines Damms in offener Bauweise	80
38	Grundriss und Längsschnitt eines Damms in teiloffener Bauweise	81
39	Links: ein Regelschieber, 2 Öffnungen im amphibischen Bereich; Rechts: 2 Schieber	81
40	Links: Einlauf; Rechts: Auslaufbauwerk	82
41	Verklauste Einlaufrechen	83
42	Gebrochener Rechen	84
43	Vorgelagerte Pfahlrechen	85
44	Freispiegelabfluss (überlastbar, System A), Druckabfluss (nicht überlastbar, System B)	87
45	Links: Stirnentlastung; Rechts: Dammscharte	89
46	Schema einer Schachtentlastung mit Einlauftrichter	90
47	Heberentlastung	91
48	Draufsicht und Schnitt durch ein Gegenstromtosbecken	92
49	Steuerung der Abgaben aus dem Hochwasserrückhaltebecken	98
50	Betriebsfälle während eines Hochwassers	98
51	Lageplan und Schnitte, HRB Auersbach	106
52	Schnitt durch Grundablass, HRB obere Lafnitz	107
53	Lageplan, HRB Feldgasse	108
54	Schnitte, HRB Feldgasse	109
55	Lageplan und Schnitte, HRB Deuchendorferbach	110
56	Lageplan und Schnitte, HRB Lindenbach	111
57	Lageplan und Schnitte, HRB Stambach	112
58	Lageplan und Schnitte, HRB Lichenbach	113
59	Lageplan und Schnitte, HRB Hunnesbach	114
60	Lageplan und Schnitte, HRB Lafnitz	115

Tabellenverzeichnis

2.1	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten für BHQ_1 und BHQ_2	5
2.2	Vor- und Nachteile von Hochwasserrückhaltebecken im Haupt- und Nebenschluss	7
2.3	Vor- und Nachteile von Dauerstaubecken und Trockenbecken	10
2.4	Vorteile gesteuerter und ungesteuerter Hochwasserrückhaltebecken	13
2.5	Nachteile gesteuerter und ungesteuerter Hochwasserrückhaltebecken	14
3.1	Erforderliche repräsentative Beobachtungsdauer für extremwertstatistische Analysen	19
3.2	Adaptionskoeffizient α	23
3.3	Adaptionskoeffizient α nach Müller, verändert	23
3.4	Anfangsverluste nach Lutz	25
3.5	Maximale Abflussbeiwerte nach Lutz	25
3.6	Unterscheidung deterministischer Modell nach ihrer Komplexität	34
4.1	Ablaufschema einer Nutzen-Kosten-Untersuchung	49

Literaturverzeichnis

- Austrian Standards Institute (2016-03). *ÖNORM B2400: Hydrologie - Hydrographische Begriffe und Zeichen*. Wien.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (o.D.). *Zurückhalten: Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken*. www.lfu.bayern.de/wasser/technischer_hochwasserschutz/zurueckhalten/index.htm. (Abgerufen am 27.02.2020).
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2011). *Hochwasserrückhaltebecken-Arbeitsbehelf Grundablässe. Gestaltung und Bemessung von Grundablassbauteilen*. Wien.
- (2014). *Leitfaden Hochwasserrückhaltebecken. Grundsätze für Planung, Bau und Betrieb bei der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs*. Wien.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2004-07a). *Stauanlagen - Teil 10: Gemeinsame Festlegungen*. Berlin: Beuth Verlag.
- (2004-07b). *Stauanlagen - Teil 11: Talsperren*. Berlin: Beuth Verlag.
- (2004-07c). *Stauanlagen - Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken*. Berlin: Beuth Verlag.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (o.D.). *Glossar - Erklärung von Fachbegriffen*. www.hochwasser.sachsen-anhalt.de/glossar/. (Abgerufen am 08.03.2020).
- Fischer, M. (2007). „Fachtagung: Flutpolder. Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss“. In: Kap. Hydrologische Bemessung von Flutpoldern, Steuerung und Wirkungsweise unter Berücksichtigung der Vorhersage, S. 127–139.
- Gattermayr, W. u. a. (2011). *Leitfaden. Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VII3 - Wasserhaushalt.
- Giesecke, J., E. Mosonyi und S. Heimerl (2009). *Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb*. Berlin: Springer (5. Auflage).
- Wasserverband Pulkau (o.D.). *Glossar*. www.hochwasserschutz-pulkautal.at/info/glossar.html. (Abgerufen am 16.11.2019).
- Göttle, A. (2007). „Fachtagung: Flutpolder. Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss“. In: Kap. Flutpolder als Mittel des Hochwasserschutzes in Bayern, S. 7–14.
- Haselsteiner, R. (2007). „Fachtagung: Flutpolder. Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss“. In: Kap. Normative Neuerungen der DIN 19700-12/2004 „Hochwasserrückhaltebecken“, S. 53–74.
- Hochwasserportal Hessen (o.D.). *Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren, Polder*. www.hochwasser-hessen.de/hochwasserportal-hessen/technischer-hochwasserschutz/hochwasserrueckhaltebecken-talsperren-polder.html. (Abgerufen am 16.11.2019).
- Homagk, P. (2007). „Fachtagung: Flutpolder. Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss“. In: Kap. Hochwasserschutzkonzept mit gesteuerten und ungesteuerten Retentionsmaßnahmen am Oberrhein, S. 15–27.
- Ing.Büro R. Mach (o.D.). *Streichwehre. Hinweise zu Lage und Aufbau*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.
- Kollersberger, M. (2009). *Hydrologische Modellierung für die Planung und Durchführung von erweiterten Hochwasserschutzmaßnahmen am Goiserer Weißenbach*. Wien: Universität für Bodenkultur.

- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2007). *Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken*. Baden-Württemberg.
- (2008). *Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren. Bauwerkstypen und Übersicht*. Karlsruhe.
- Merz, R., G. Blöschl und U. Piock-Ellena (1999). „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jahrgang 51“. In: Kap. Zur Anwendbarkeit des Gradex- Verfahrens in Österreich, Heft 11/12, S. 291–305.
- Muth, W. (1992). *Hochwasserrückhaltebecken: Planung, Bau und Betrieb*. Ehningen bei Böblingen: expert Verlag.
- Nachtnebel, H.P. u. a. (2008). *Studienblätter. Konstruktiver Wasserbau und Flußgebietsmanagement*. Wien: Universität für Bodenkultur.
- Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) (2019). *ÖWAV-Regelblatt 220. Niederschlag-Abfluss-Modellierung*. Wien.
- Patt, H. und P. Gonsowski (2011). *Wasserbau. Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen*. Berlin: Springer (7. Auflage).
- Patt, H. und R. Jüpner (2013). *Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz*. Berlin: Springer Vieweg (2. Auflage).
- Prenner, R. (o.D.). *Studienblätter Konstruktiver Wasserbau 2*. Wien: Technische Universität Wien. Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie Forschungsbereich Wasserbau.
- Schneider, J. u. a. (2016). „INTERPRAEVENT 2016 - Conference Proceedings“. In: Kap. Entwicklung eines Hochwasserentlastungsbauwerkes und Installation eines Monitoringsystems im Rahmen eines integralen Hochwasserschutzkonzeptes, S. 406–415.
- Strobl, T. und F. Zunic (2006). *Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen*. Berlin: Springer Vieweg.
- Tschernutter, P. (2007-07). „Aktuelle Bemessungsgrundsätze für Staudämme und Hochwasserschutzbauwerke - Standsicherheit, Über- und Durchströmsicherheit, Freibord, Restrisiko“. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Band 59, Heft 7-8*, S. 103–109.
- Zeisler, P. und W. Pflügner (2019). *Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg*. Wiesbaden und München.

Anhang

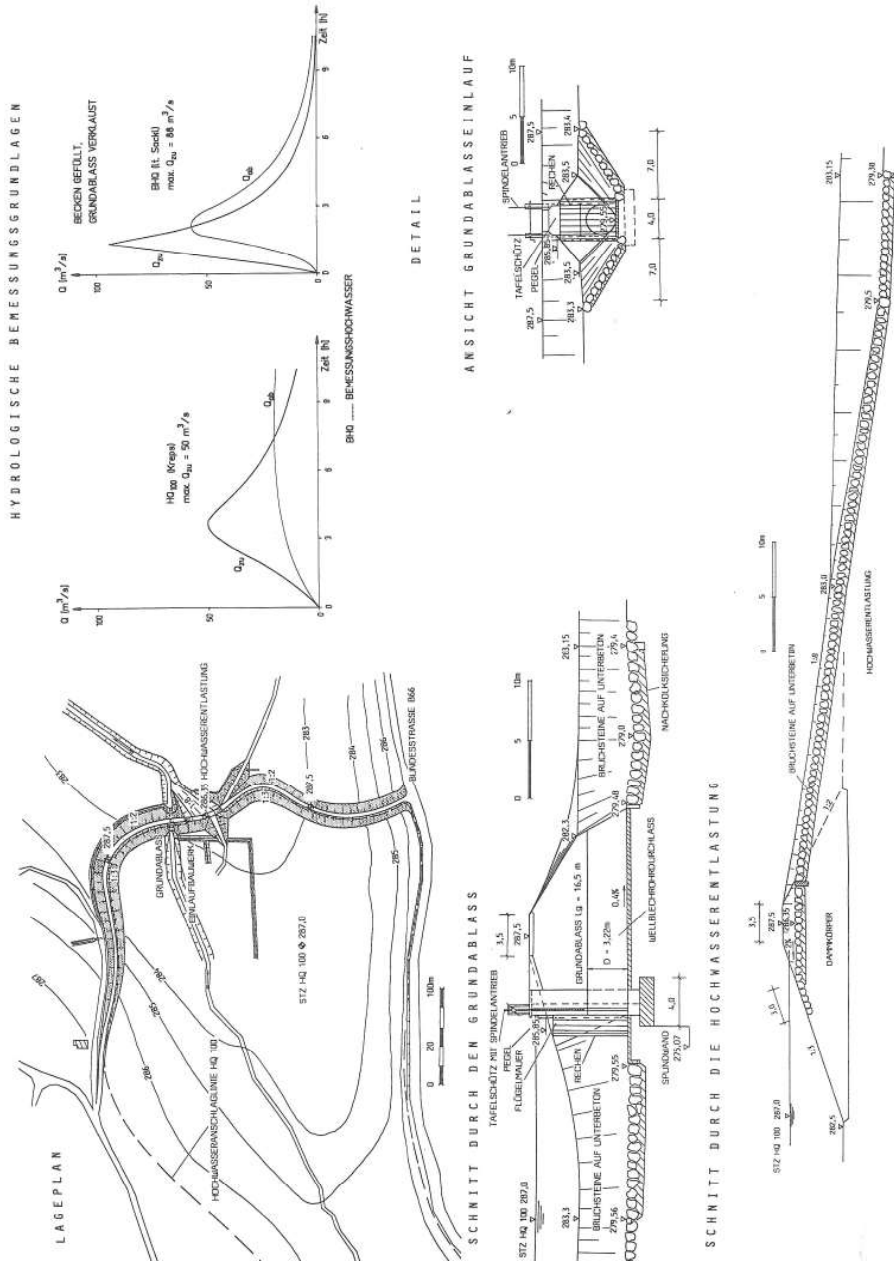


Abb. 51: Lageplan und Schnitte, HRB Auersbach
Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung

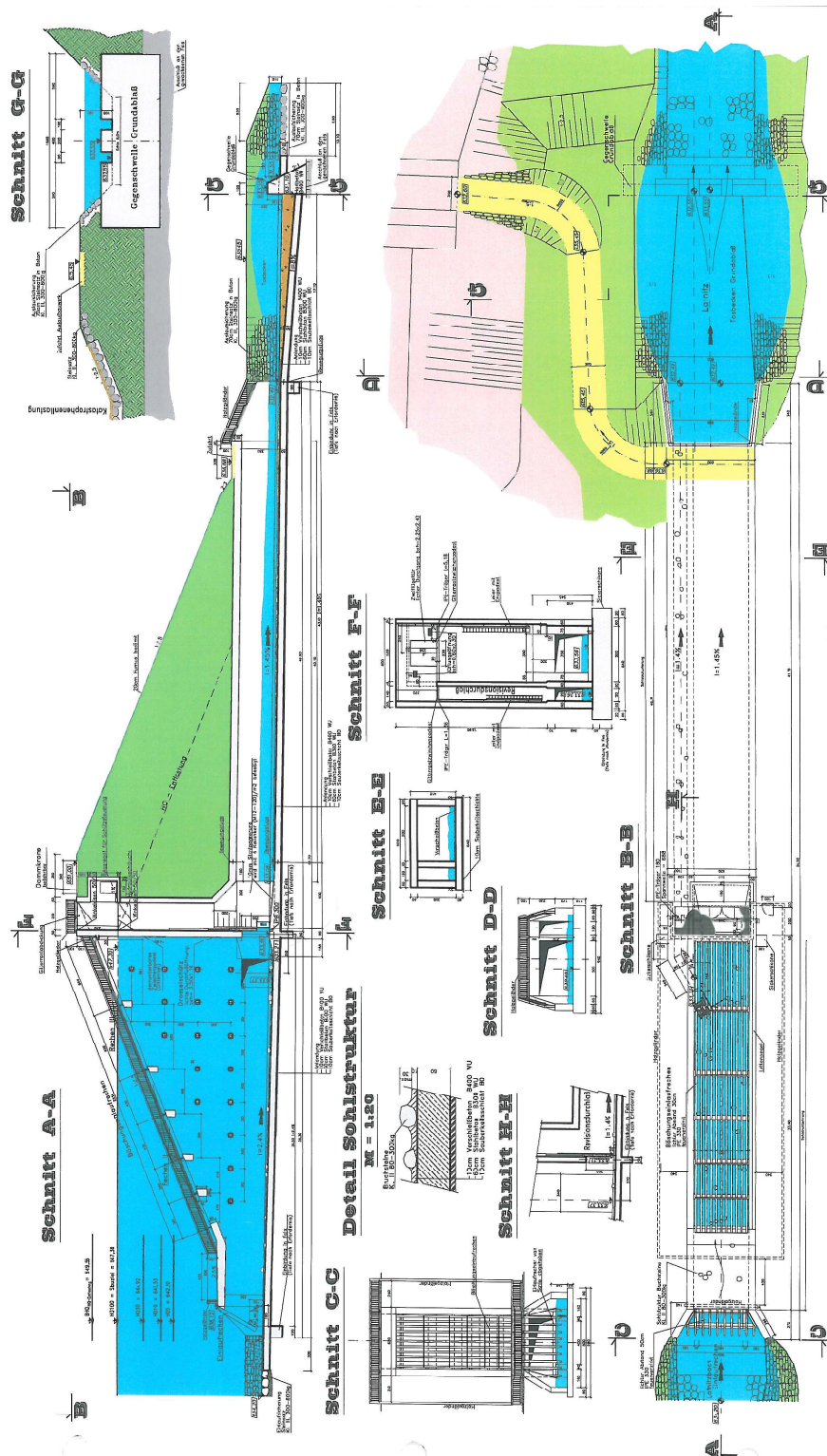


Abb. 52: Schnitt durch Grundablass, HRB obere Lafnitz
 Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, DI Robert Zach. Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft

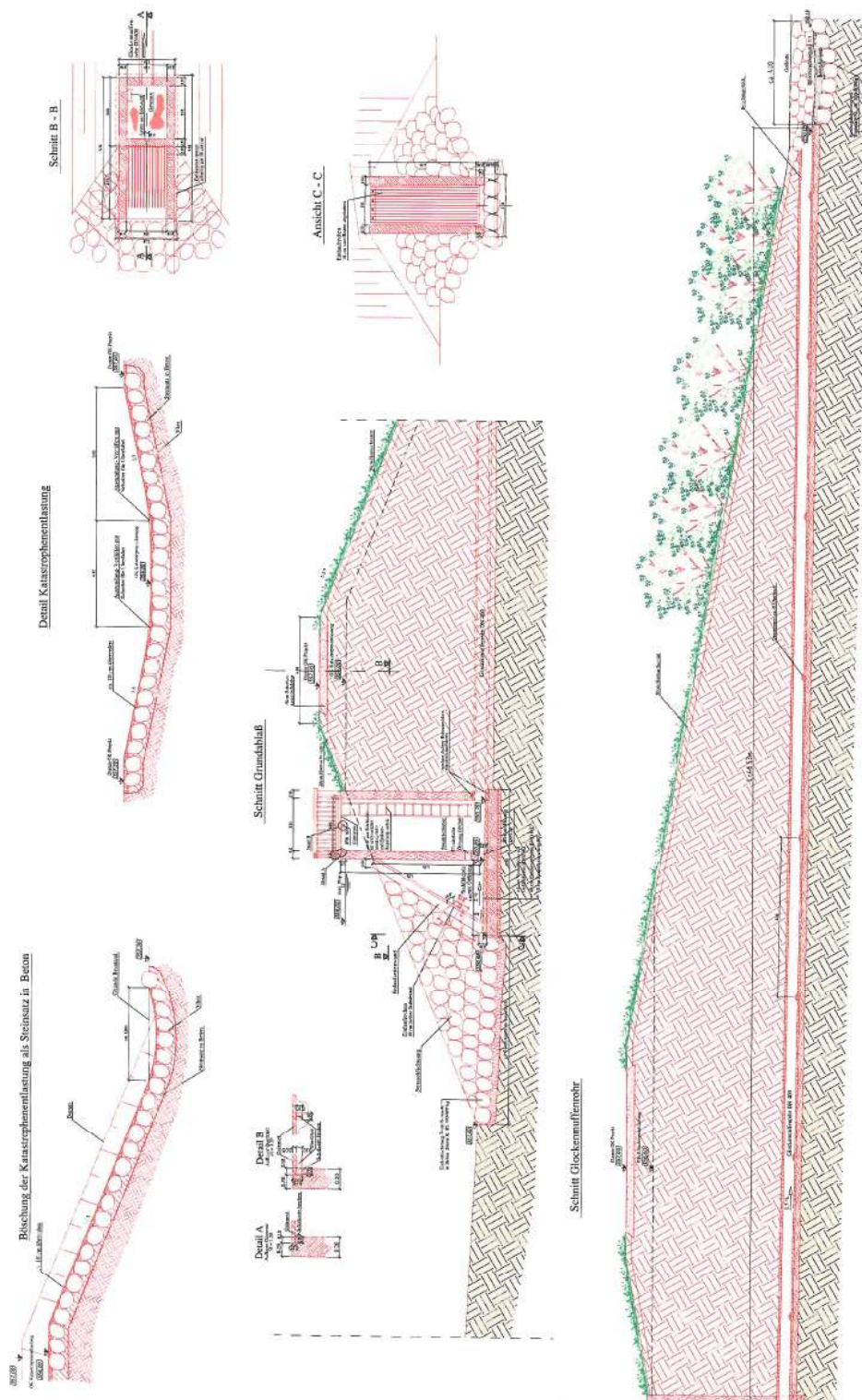


Abb. 54: Schnitte, HRB Feldgasse
Quelle: Stadt Gleisdorf, Ingenos Ziviltechniker GmbH

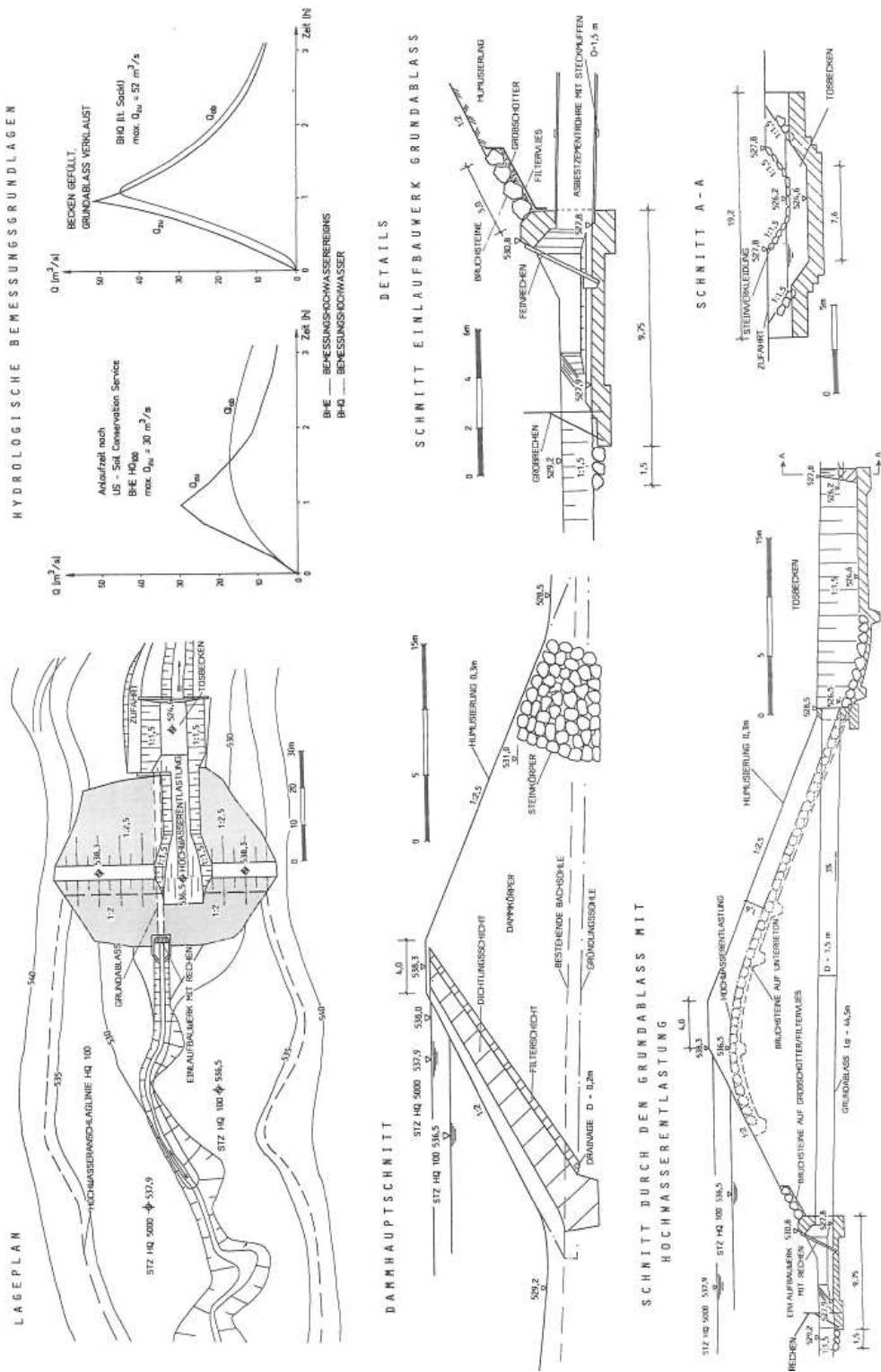


Abb. 55: Lageplan und Schnitte, HRB Deuchendorferbach
 Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung

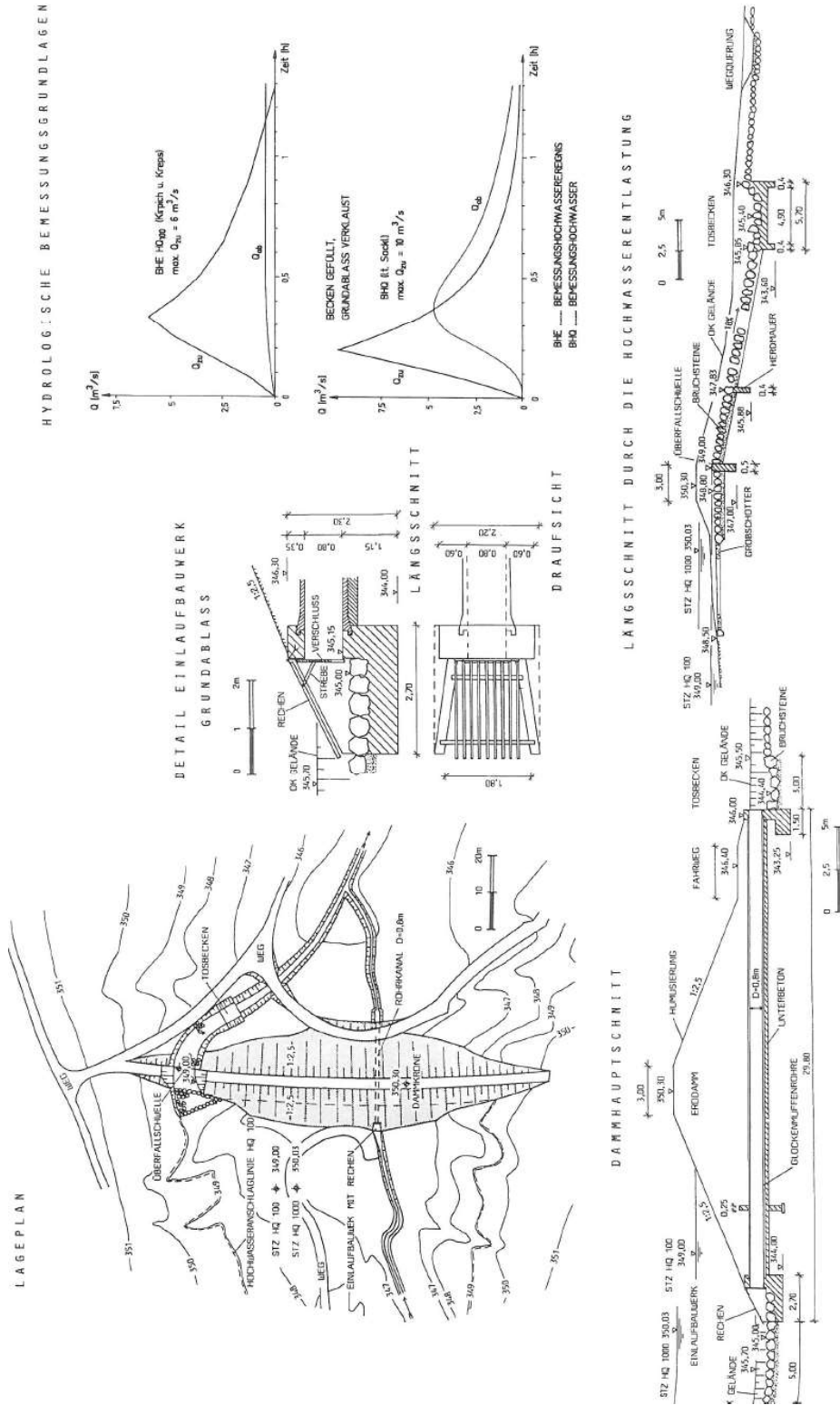


Abb. 56: Lageplan und Schnitte, HRB Lindenbach
Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung

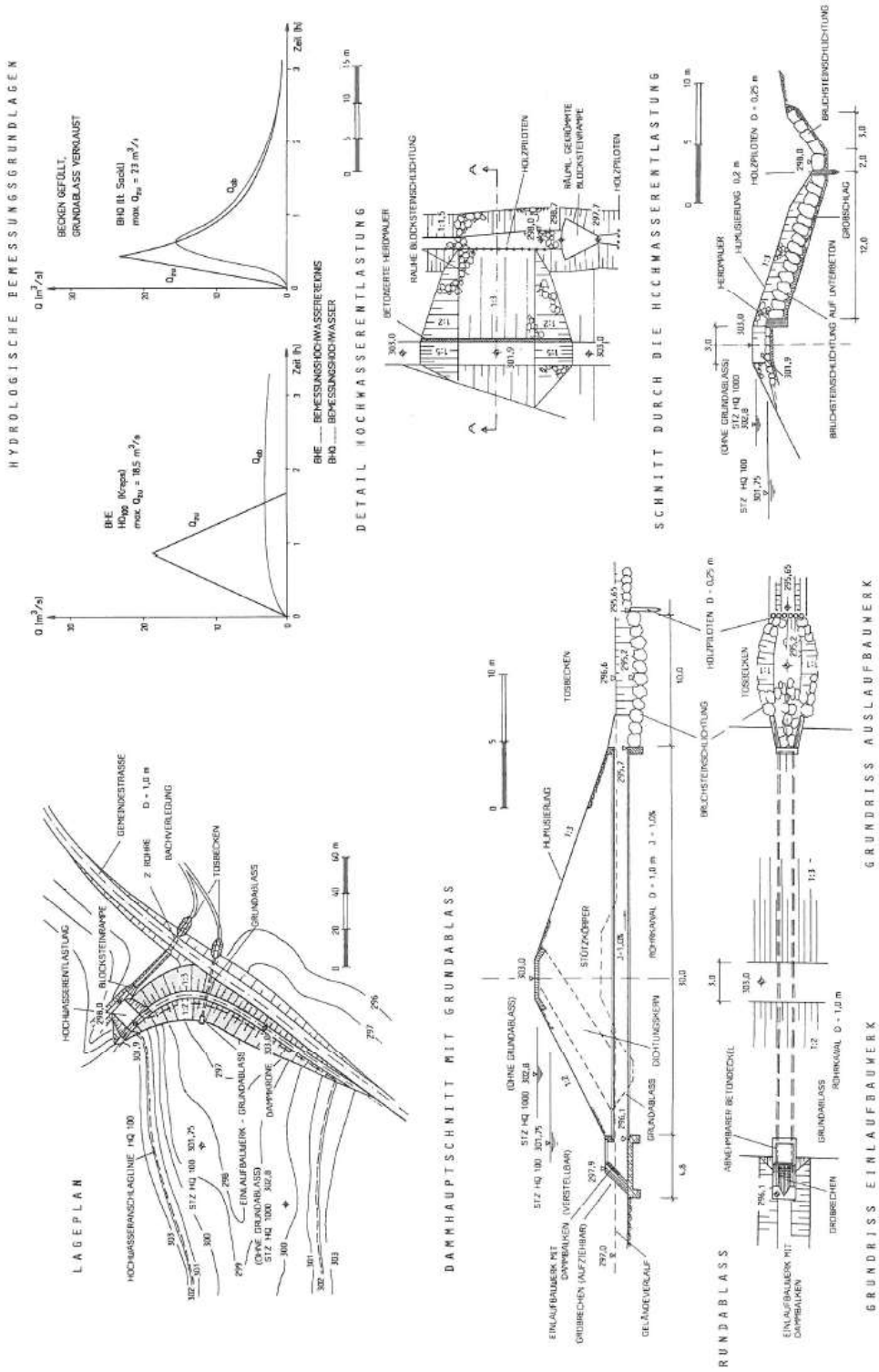


Abb. 58: Lageplan und Schnitte, HRB Lichenbach
Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung

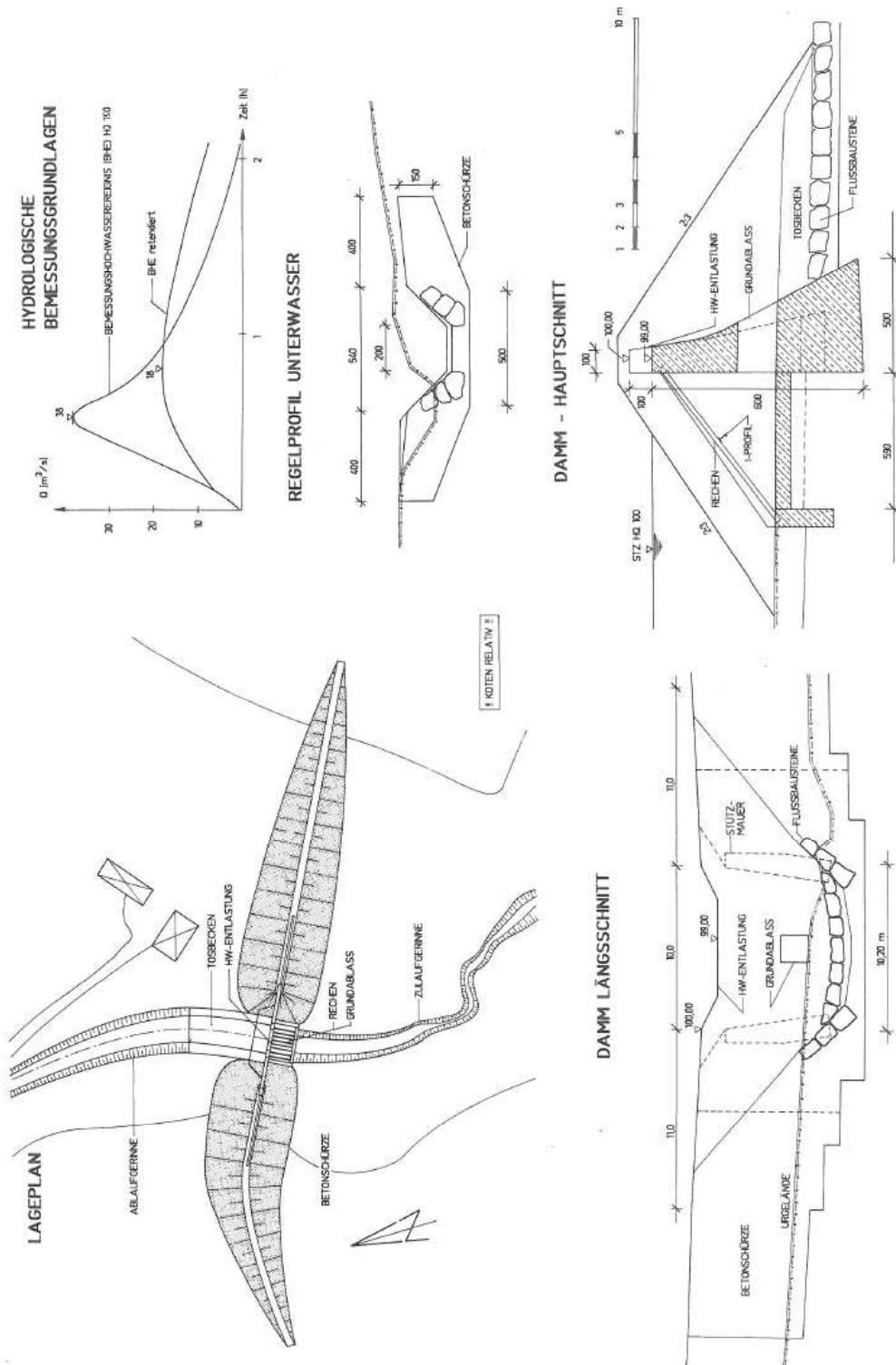


Abb. 59: Lageplan und Schnitte, HRB Hunnesbach
Quelle: Amt der Steiermärkischen Landesregierung

