

Leitfaden Wasserbauprojekte Thurgau

Vorgehen – Dimensionierung – Methodik



Impressum

Ausgabe

April 2024

Projektleitung

Kanton Thurgau, Departement für Bau und Umwelt (DBU)
Amt für Umwelt (AfU), Abteilung Wasserbau und Hydrometrie

Entstehung und Mitwirkung

Externe Projektbegleitung: Dr. Jürg Speerli
Mitwirkung durch: Fröhlich Wasserbau AG, NRP Ingenieure AG,
Wälli AG Ingenieure, Innoplan Bauingenieure AG, Holinger AG,
Ingenias AG, bhateam ingenieure ag

Gestaltung

Barbara Ziltener, Visuelle Gestaltung, Frauenfeld

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage	4
1.2	Ziele Leitfaden Wasserbauprojekte Thurgau	4
1.3	Zuständigkeit	4
2	Hochwasserschutzziele	4
2.1	Schutzziele gemäss kantonalem Richtplan	4
2.2	Differenzierung der Schutzziele	5
2.2.1	Fallbeispiel «geschlossene Siedlung»	6
2.3	Gefahrenstufen nach Gefahrenkarte	6
3	Grundlagen für Korrekionsprojekte	8
4	Hydrologie	8
4.1	Bruttoabflüsse	8
4.1.1	Plausibilisierung der verwendeten Datengrundlagen	9
4.1.2	Plausibilisierung der Bruttoabflüsse	9
4.1.3	Prüfung einer Beeinflussung durch Stauanlagen	10
4.2	Nettoabflüsse	11
4.3	Dimensionierungsabflüsse	11
5	Dimensionierung von Korrekionsprojekten	13
5.1	Gerinne und Abflusskapazität	13
5.1.1	Fallbeispiel «geschlossene Siedlung»	13
5.2	Freibord	13
5.2.1	Berechnung erforderliches Freibord f_e	14
5.2.2	Minimal und maximal erforderliches Freibord	15
5.3	Szenarienbildung	15
5.4	Rauhigkeitsbeiwerte nach Strickler	17
5.5	Überlastfall	17
5.6	Arbeitsablauf Dimensionierung Korrekionsprojekt	17
6	Umsetzung des Korrekionsprojektes in der Gefahrenkarte	19
6.1	Hydrologie	19
6.2	Freibord und Verkläusungsszenarien	19
6.3	Schwachstellenblätter	19
6.4	Umsetzung	19
7	Projektierung	19
8	Nutzungsvereinbarung und Projektbasis	21
9	Literaturverzeichnis	21
10	Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis	21
	Glossar	22

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Leitfaden **Wasserbauprojekte Thurgau** definiert minimale Standards in der Methodik und der Dimensionierung von Wasserbauprojekten (nachfolgend auch Korrektionsprojekte genannt). Diese gehen in der Regel mit einer Nachführung der Gefahrenkarte einher. Ziel dieses Leitfadens ist die Harmonisierung der Methodik von Korrektionsprojekten und Gefahrenkartierung in ihren Schnittstellen und Wirkungen. Damit soll sichergestellt werden, dass die in den Korrektionsprojekten projektierte Schutzwirkung in der Gefahrenkarte entsprechend abgebildet wird.

1.2 Ziele Leitfaden Wasserbauprojekte Thurgau

- Definition der zu verwendenden wasserbaulichen und hydrologischen Grundlagen
- Definition der relevanten Methoden und Berechnungsansätze für Korrektionsprojekte
- Harmonisierung der Dimensionierung von Korrektionsprojekten (Hochwasserschutz und Revitalisierung) sowie der Dimensionierung von Brücken und Durchlässen mit der Methodik der Gefahrenkartierung
- Synergien zwischen Korrektionsprojekten und Gefahrenkartierung werden realisiert und dadurch unnötige Kosten vermieden

1.3 Zuständigkeit

Gemäss Gesetz über den Wasserbau und den Schutz vor gravitativen Naturgefahren (WBSNG) obliegen Wasserbauprojekte an Flüssen dem Kanton und Wasserbauprojekte an Bächen der Gemeinde. Wasserbauprojekte sind vor der öffentlichen Auflage dem Kanton zur Vorprüfung einzureichen und bedürfen der Genehmigung durch den Kanton. Nach abgeschlossener Realisierung eines Wasserbauprojektes führt der Kanton die Gefahrenkarte nach.

In Abhängigkeit der Zuständigkeit sind die Gemeinden respektive der Kanton in der Pflicht, Wasserbauprojekte gemäss den Vorgaben des Handbuchs Programmvereinbarungen im Umweltbereich zu erarbeiten. Dabei sind die Erläuterungen zum Bereich Revitalisierung sowie der Erläuterungen zum Bereich Schutzbauten und Gefahrengrundlagen massgebend. Als Hilfestellung stellt das Amt für Umwelt auf der Homepage Berichtsvorlagen sowie Projektabläufe zur Verfügung.

2 Hochwasserschutzziele

2.1 Schutzziele gemäss kantonalem Richtplan

Ziel des Hochwasserschutzes ist die Schadensminderung respektive Schadensvermeidung. Bei hohem Schadenspotenzial wird das Schutzziel höher angesetzt als bei geringem Schadenspotenzial. In Anlehnung an dieses Prinzip wird das Schutzziel gemäss der Schutzzielmatrix der kantonalen Richtplanung nach den zu schützenden Werten festgelegt.

In der Richtplanung des Kantons Thurgau, Kapitel 1.11 Naturgefahren werden folgende Schutzziele für Hochwasserschutzmassnahmen aufgrund der Objektkategorie sowie der Wiederkehrperioden (Jährlichkeiten) vorgegeben:

Objektkategorie	Wiederkehrperiode in Jahren					
	1 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	100 - 300	> 300
Naturlandschaften, Wald	kein besonderer Hochwasserschutz					
Wies- und Weideland	vollständiger Schutz	begrenzter Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz
Acker-, Gemüse- und Obstbau	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	begrenzter Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz
Einzelgebäude, lokale Infrastrukturen	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	begrenzter Schutz	fehlender Schutz	fehlender Schutz
geschlossene Siedlungen, Industrieanlagen	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	begrenzter Schutz	fehlender Schutz
Infrastrukturen von nationaler Bedeutung, Auto- und Eisenbahnen	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	vollständiger Schutz	begrenzter Schutz	fehlender Schutz
Sonderobjekte, Sonderrisiken	im Einzelfall bestimmen					

Schutzziel

- vollständiger Schutz gewährleistet, minimale Schäden
- begrenzter Schutz gewährleistet, Schäden treten ein
- fehlender Schutz, grosse Schäden

Abbildung 1: Schutzzielmatrix für Hochwasser

2.2 Differenzierung der Schutzziele

Die Schutzziele bei Korrektionsprojekten orientieren sich an den drei Schutzzielkategorien der kantonalen Richtplanung: vollständiger-, begrenzter- und fehlender Schutz. Im Bereich **vollständiger Schutz** sind die entsprechenden Jährlichkeiten gemäss Schutzzielmatrix als verbindliche Schutzziele gesetzt, während im Bereich **begrenzter Schutz** im Rahmen einer Abwägung und Beurteilung ein sinnvoller projektspezifischer Schutzbereich gewählt werden kann.

Vollständiger Schutz

Im Bereich vollständiger Schutz ist für ein Korrektionsprojekt die Erfüllung des Schutzes hinsichtlich der objektspezifischen Wiederkehrperioden verpflichtend. Es gilt, mit baulichen Massnahmen das Schutzziel der entsprechenden Objektkategorie gemäss Schutzzielmatrix vollständig zu erfüllen.

Begrenzter Schutz

Der Bereich begrenzter Schutz bietet einen Beurteilungs- und Handlungsspielraum. Hier gilt es, unter Berücksichtigung der Sensitivität der Schutzobjekte für ein Projekt ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Risikoreduktion, Kosten, Nutzungsansprüchen und Verhältnismässigkeit des baulichen Eingriffes festzulegen. Verbleibende Gefahrenzonen mit eventueller Nutzungsbeschränkung bei bauli-

cher Tätigkeit sowie Auflagen zum Objektschutz müssen ebenfalls in der Beurteilung berücksichtigt werden.

Fehlender Schutz

Im Bereich fehlender Schutz sind bauliche Massnahmen aus ökonomischer, ökologischer oder anderen Gründen nicht tragbar. Das Risikomanagement erfolgt hier mit Massnahmen wie der kommunalen Notfallplanung, Objektschutzmassnahmen oder Versicherungslösungen.

2.2.1 Fallbeispiel «geschlossene Siedlung»

Vollständiger Schutz: Im geschlossenen Siedlungsbereich ist mittels baulichen Massnahmen ein vollständiger Schutz bis HQ₁₀₀ zu gewährleisten.

Begrenzter Schutz: Im Bereich zwischen HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ erfolgt eine risikobasierte Beurteilung und Abwägung der Massnahmen für einen begrenzten Schutz. Die Beurteilung berücksichtigt die Sensitivität der betroffenen Bauten und Infrastrukturen. Im Bereich des begrenzten Schutzes können entsprechende Gefahrenzonen in der nachgeführten Gefahrenkarte weiterbestehen. Diese können in der Folge zu Nutzungseinschränkungen führen und es muss mit der Verpflichtung zum Objektschutz gerechnet werden.

- Im Rahmen eines Korrektionsprojektes werden die Jährlichkeiten für die Schutzziele **vollständiger Schutz** und **begrenzter Schutz** festgelegt sowie im Technischen Bericht festgehalten und begründet.
- Die definierten Bereiche des **vollständigen-** und des **begrenzten Schutzes** bilden die Grundlage für die Dimensionierung der Massnahmen des Korrektionsprojektes.
- Die raumplanerischen Konsequenzen sind bei allen Festlegungen zu berücksichtigen (Gefahrenkarte und überlagernde Gefahrenzone in der Nutzungsplanung).

2.3 Gefahrenstufen nach Gefahrenkarte

Die Gefahrenkarten werden durch den Kanton erstellt. Die Nachführung erfolgt bedarfsorientiert und wird durch das Amt für Umwelt koordiniert. Die Gefahrenstufen der Gefahrenkarte sind ein Ergebnis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit.

In Abhängigkeit der verbleibenden Gefährdung nach der Umsetzung eines Korrektionsprojektes können Gefahrenzonen mit einer entsprechenden raumplanerischen Bedeutung bestehen bleiben.

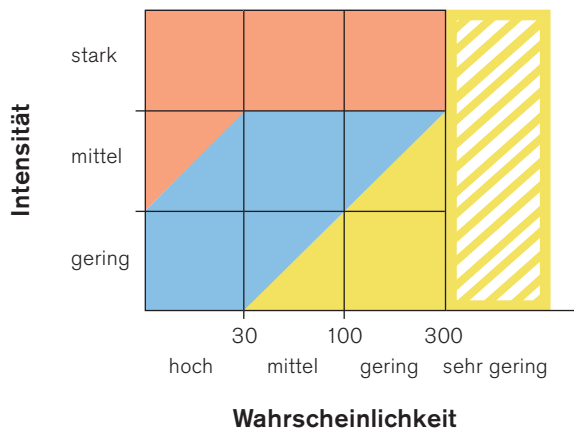


Abbildung 2: Gefahrenstufen der Gefahrenkarte

Rot: erhebliche Gefährdung

- Personen sind sowohl innerhalb als auch ausserhalb von Gebäuden gefährdet.
- Mit der plötzlichen Zerstörung von Gebäuden ist zu rechnen.
- **Verbotsbereich:** Keine Ausscheidung neuer Bauzonen; Rückzonung bzw. Auszonung nicht überbauter Bauzonen; keine Errichtung oder Erweiterung von Bauten und Anlagen; Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten; Wiederaufbau zerstörter Bauten nur in Ausnahmefällen und nur mit Auflagen; Umbauten und Zweckänderungen nur mit Auflagen zur Risikoverminderung

Blau: mittlere Gefährdung

- Personen sind innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, jedoch ausserhalb davon.
- Mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen, jedoch sind plötzliche Gebäudezerstörungen in diesem Gebiet nicht zu erwarten, falls gewisse Auflagen bezüglich Bauweise beachtet werden.
- **Gebotsbereich:** Ausscheidung neuer Bauzonen nur nach Prüfung von Alternativen und Vornahme einer Interessenabwägung; Baubewilligungen nur mit Auflagen; keine Erstellung von sensiblen Objekten; Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten

Gelb: geringe Gefährdung; gelb-weiss schraffiert: Restgefährdung

- Personen sind kaum gefährdet.
- Mit geringen Schäden an Gebäuden bzw. mit Behinderungen ist zu rechnen, zudem können erhebliche Sachschäden in Gebäuden auftreten.
- **Hinweisbereich:** Hinweis auf die Gefahrensituation; Empfehlungen für bestehende Bauten; Erwägung von Auflagen für Neubauten (z. B. verstärkte bergseitige Wände gegen Lawinendruck), sensiblen Nutzungen oder grösseren Überbauungen/grossem Schadenpotenzial

Abbildung 3: Gefahrenstufen der Gefahrenkarte, BAFU (2013)

3 Grundlagen für Korrektionsprojekte

Die Vorlagen des Amtes für Umwelt für den **Technischen Bericht Hochwasserschutz** und den **Technischen Bericht Revitalisierung** beinhalten ein Kapitel Situationsanalyse und dienen als Checkliste für die zu behandelnden Themenbereiche.

4 Hydrologie

Der Kanton stellt auf der Basis einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung flächendeckend statistische Bruttoabflüsse für alle Fliessgewässer zur Verfügung. Die entsprechenden Daten sind unter map.geo.tg.ch (Karte: Hydropunkte Bruttoabflüsse) zu finden. Die Niederschlag-Abfluss-Modellierung berücksichtigt den Einfluss von natürlichen Retentionsräumen wie Senken und stehenden Gewässer indirekt durch eine Reduktion der Fliessgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Topografie. Dabei wird davon ausgegangen, dass das modellierte Niederschlagsereignis auf einen schon gesättigten Boden trifft und schon mit Beginn des modellierten Niederschlagsereignisses eine Fliessbewegung entsteht. Die Niederschlag-Abfluss-Modellierung ist folglich generell konservativ.

Generell sind alle Projekte, welche Fliessgewässer tangieren (z.B. Wasserbauprojekte, Brücken, Durchlässe, Nachführung der Gefahrenkarte), auf Bruttoabflüsse zu dimensionieren. Dementsprechend sind die Werte der Bruttoabflüsse grundsätzlich als verbindlich zu betrachten.

4.1 Bruttoabflüsse

Mit Bruttoabflüssen wird deshalb gerechnet, weil davon ausgegangen werden muss, dass Wasseraustritte im Oberlauf durch bestehende Schwachstellen im Laufe der Jahre aufgehoben werden (z. B. durch Hochwasserschutzprojekte, landwirtschaftliche Terrainveränderungen, Neubau von Durchlässen bei Strassenprojekten etc.).

Im Rahmen eines Korrektionsprojektes hat im Technischen Bericht eine Plausibilisierung der relevanten Hydropunkte Bruttoabflüsse gemäss Kapitel 4.1.1 bis 4.1.3 zu erfolgen. Ergeben sich Unstimmigkeiten bei der Plausibilisierung, müssen diese mit dem Amt für Umwelt besprochen werden.

Zur Plausibilisierung der Bruttoabflüsse kann das QGIS-Projekt «Geodaten Plausibilisierung Hydropunkte» mit den dazu notwendigen Grundlagen auf der Homepage des Amtes für Umwelt bezogen werden.

4.1.1 Plausibilisierung der verwendeten Datengrundlagen

1) Einzugsgebietsgrenzen

Auswahl des zum relevanten Hydropunkt gehörenden Einzugsgebiets und Überprüfung des Verlaufs der Einzugsgebietsgrenze im Gelände und/oder im GIS.

2) Veränderung der Hochwasserspitzen entlang des Gerinnes

Eine Plausibilisierung der Hochwasserspitzen an den Hydropunkten kann durch einen Vergleich der Ganglinien mehrerer aufeinanderfolgender Hydropunkte entlang des Gerinnes erfolgen.

In Fliessrichtung ist grundsätzlich eine Zunahme der Hochwasserspitzen zu erwarten. Ausnahme sind Gerinnestrecken mit Versickerungsverlusten in den Untergrund. Im Niederschlag-Abfluss-Modell für den Kanton Thurgau wurden Versickerungen einzig an der Thur, der Sitter und der Murg berücksichtigt.

Typischerweise tritt nach dem Zusammenfluss von Gerinnen ein sprunghafter Anstieg der Hochwasserspitze auf. Es muss berücksichtigt werden, dass mit zunehmender Einzugsgebietsfläche die massgebende Niederschlagsdauer ändern kann. So kann z.B. im Oberlauf ein 1 h Niederschlagsereignis und im Unterlauf ein 2 h Ereignis zur grössten Hochwasserspitze führen. Eine Änderung der massgebenden Dauer des Niederschlagsereignisses betrifft grundsätzlich alle Hydropunkte entlang eines Gerinnes, speziell aber Hydropunkte nach einem Zusammenfluss und unterhalb von Stauanlagen. Die massgebende Hochwasserspitze nach einem Zusammenfluss zweier Gerinne ist nicht zwingend gleich der Summe der beiden Hochwasserganglinien vor dem Zusammenfluss.

4.1.2 Plausibilisierung der Bruttoabflüsse

In Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU, Faktenblatt zur neuen HADES-Tafel Extreme Punktniederschläge B04, Mai 2023) sollen für Korrektionsprojekte jeweils die aktuellsten Datengrundlagen und Methoden verwendet werden. Die Verwendung alter Hochwasserspitzen aus früheren Studien ist nicht zielführend. Die Plausibilisierung der Bruttoabflüsse soll daher vorzugweise anhand der spezifischen Abflüsse erfolgen.

1) Vergleich mit hydrologisch ähnlichen Einzugsgebieten

Die spezifischen Abflüsse können mit Erfahrungswerten aus anderen, hydrologisch ähnlichen Einzugsgebieten verglichen werden.

2) Einordnung in die nähere Umgebung

Die spezifischen Abflüsse des relevanten Hydropunktes können mit den spezifischen Abflüssen der Hydropunkte der näheren Umgebung verglichen werden. Dadurch kann abgeschätzt werden, ob sich die spezifischen Abflüsse am relevanten Hydropunkt eher im unteren, mittleren oder oberen Bereich einordnen. Voraussetzung dafür ist eine räumliche Nähe und eine hydrologische Ähnlichkeit (Niederschlag, Versiegelung, Bodenbedeckung, Topografie, etc.) zwischen dem relevanten Hydropunkt und der betrachteten Umgebung.

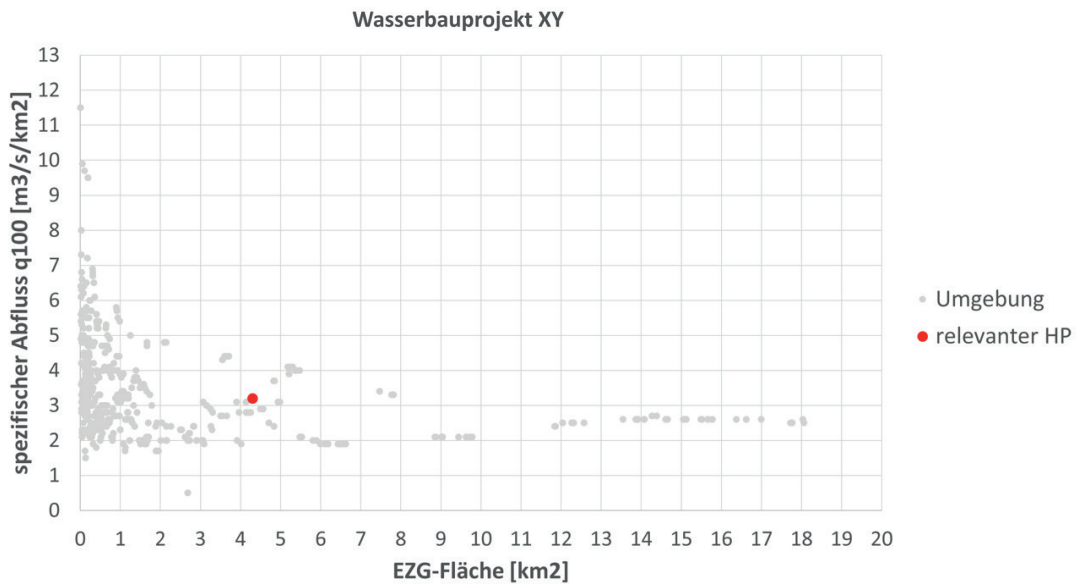


Abbildung 4: Beispielhafte Einordnung eines Hydropunktes in Punkte der näheren Umgebung

4.1.3 Prüfung einer Beeinflussung durch Stauanlagen

Im Oberlauf des relevanten Hydropunktes liegende Stauanlagen führen zu einer Dämpfung der Hochwasserganglinie. Die Wirkung von Stauanlagen wurde im Niederschlag-Abfluss-Modell mittels hydraulischer Berechnungen berücksichtigt.

Falls der relevante Hydropunkt potenziell durch eine oder mehrere Stauanlagen beeinflusst wird, muss deren Einfluss anhand der folgenden Punkte überprüft und plausibilisiert werden.

1) Lage etwaiger Stauanlagen im Oberlauf

Bestimmung der Lage und der Entfernung der Stauanlagen zum relevanten Hydropunkt.

2) Wirkung der Stauanlage

Durch einen Vergleich der Abflussganglinie unmittelbar oberhalb und unmittelbar unterhalb der Stauanlage kann die Wirkung der Stauanlage beurteilt werden. Zusätzlich soll überprüft werden, ob bereits Einschränkungen der Güte der modellierten Abflussganglinie der Stauanlage bekannt sind.

3) Einfluss auf die Hochwasserspitze am relevanten Hydropunkt

Durch einen Vergleich der Abflussganglinie unmittelbar unterhalb der Stauanlage mit der Abflussganglinie am relevanten Hydropunkt lässt sich die Beeinflussung der Hochwasserspitze durch die Stauanlage abschätzen. Sind sich die beiden Ganglinien sehr ähnlich, ist die Beeinflussung durch die Stauanlage gross. Unterschiede zwischen den beiden Ganglinien deuten auf einen Einfluss des Zwischeneinzugsgebietes zwischen der Stauanlage und dem relevanten Hydropunkt hin.

4.2 Nettoabflüsse

In begründeten Einzelfällen können auf Basis der plausibilisierten Bruttoabflüsse Nettoabflüsse hergeleitet und festgelegt werden. Dies hat in Absprache mit dem Amt für Umwelt zu erfolgen und muss die Beurteilung des vollständigen Einzugsgebietes beinhalten. Insbesondere folgende Gründe können in Einzelfällen zu einer Festlegung von Nettoabflüssen führen:

- Zwingende Schwachstellen wie Eindolungen, Brücken, Durchlässe etc., welche für immer bestehen bleiben müssen
- Künstlichen Retentionen durch Hochwasserrückhaltebecken
- Grössere und flachere Einzugsgebiete, wenn austretendes Wasser nicht mehr in den Unterlauf des Gewässers gelangen kann

Für die Bestimmung von Nettoabflüssen ist eine hydrologische Detailstudie notwendig. Der Perimeter ist zusammen mit dem Amt für Umwelt festzulegen in Abhängigkeit der Auswirkungen auf den Unterlauf.

Mittels planerischer (öffentliche Auflage) und grundeigentümerverbindlicher Festsetzung (Dienstbarkeit etc.) ist sicherzustellen, dass die berücksichtigten natürlichen und künstlichen Retentionsräume langfristig zur Verfügung stehen und nicht durch zukünftige bauliche Massnahmen (Behebung von Schwachstellen, Terrainanpassungen etc.) verloren gehen.

4.3 Dimensionierungsabflüsse

Die projektspezifischen Dimensionierungsabflüsse können entweder auf Grundlage der Bruttoabflüsse oder der Nettoabflüsse festgelegt werden. Die Zuständigkeit für die Festlegung der Dimensionierungsabflüsse für Flusskorrekturen liegt beim Kanton und für Bachkorrekturen bei der jeweiligen Gemeinde.

Mit der Genehmigung eines Korrektionsprojektes durch den Kanton werden die verwendeten Dimensionierungsabflüsse verbindlich festgelegt und durch das Amt für Umwelt inkl. der dazugehörigen Herleitung unter map.geo.tg.ch (Karte: Hydropunkte Dimensionierungsabflüsse) öffentlich zugänglich gemacht. Die festgelegten Abflüsse sind dann für Nachfolgeprojekte, wie beispielsweise die Nachführung der Gefahrenkarte, verbindlich. Die planerische und grundeigentümerverbindliche Festsetzung stellt die langfristige Verfügbarkeit der berücksichtigten natürlichen und künstlichen Retentionsräume sicher.

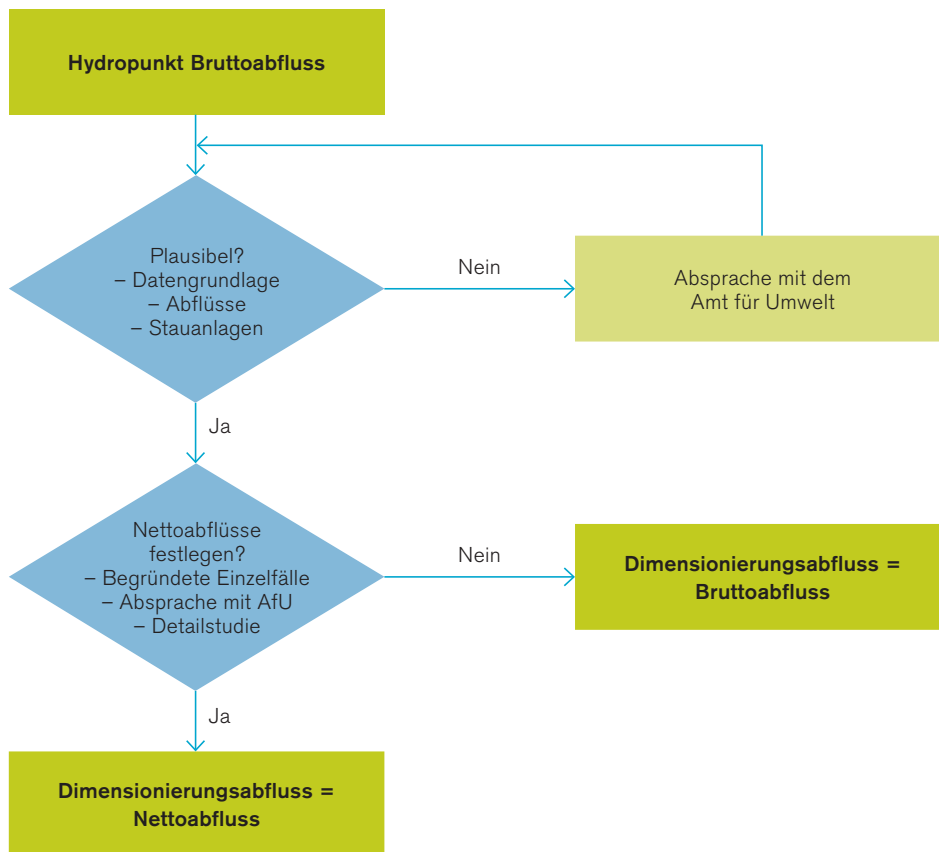


Abbildung 5: Genereller Prozess Festlegung Dimensionierungsabfluss

5 Dimensionierung von Korrektionsprojekten

5.1 Gerinne und Abflusskapazität

Die Dimensionierung eines Fliessgewässers orientiert sich am festgelegten Schutzziel (siehe Kap. 2.1). Die entsprechenden Dimensionierungsabflüsse sind unter map.geo.tg.ch (Karte: Hydropunkte Dimensionierungsabflüsse) abrufbar. Gemäss der Schutzzielmatrix ergeben sich zwei Dimensionierungsbereiche:

Vollständiger Schutz Dimensionierungsabfluss HQ_x	WSP + Freibord f_e (gesamtes Gerinne inkl. Schwachstelle)
Begrenzter Schutz Dimensionierungsabfluss HQ_x	WSP + (Freibord f_e) (nur Schwachstelle)

Im Bereich des **vollständigen Schutzes** muss zum errechneten Wasserspiegel (WSP) des Dimensionierungsabflusses über das gesamte Gerinne (inkl. Schwachstellen) ein Freibordzuschlag gemäss Berechnungsmethode KOHS erfolgen. Im Bereich des **begrenzten Schutzes** ist der Freibordzuschlag nach KOHS ausschliesslich bei Schwachstellen (Brücken, Durchlässe etc.) zu berücksichtigen.

Abweichungen von diesen hydraulischen Minimalanforderungen zur Dimensionierung sind nur in begründeten Ausnahmefällen und in Absprache mit dem Amt für Umwelt zulässig.

5.1.1 Fallbeispiel «geschlossene Siedlung»

Die Schutzzielmatrix der kantonalen Richtplanung gibt für die Objektkategorie «geschlossene Siedlung» einen vollständigen Schutz bis HQ_{100} sowie einen begrenzten Schutz bis HQ_{300} vor.

Vollständiger Schutz: Das Gerinne und die Schwachstellen (Brücken, Durchlässe etc.) sind so auszulegen, dass bis zu einem Wasserspiegel eines HQ_{100} inkl. Freibord f_e keine Ausuferungen eintreten. Der Nachweis hat mit einer Staukurvenberechnung zu erfolgen (siehe Kap. 7).

Begrenzter Schutz: Das Gerinne ist so auszulegen, dass bis HQ_{300} (bordvoll) keine Ausuferungen eintreten. Im Bereich des offenen Gerinnes ist kein Freibord zu berücksichtigen. Bei Schwachstellen (Brücken, Durchlässe, etc.) ist ein Freibord f_e zu berücksichtigen. Der Nachweis hat mit einer Staukurvenberechnung zu erfolgen (siehe Kap. 5).

Verbleibende Ausuferungen führen in der Gefahrenkarte sowie in der Nutzungsplanung zu Gefahrenzonen mit entsprechenden Einschränkungen und Auflagen.

5.2 Freibord

Im Bereich des offenen Gerinnes bezeichnet das Freibord den senkrechten Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Oberkante des Ufers oder eines Bauwerks. Bei Schwachstellen (Brücken, Durchlässe, etc.) ist der senkrechte Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Bauwerksunterkante zu betrachten.

Bei Durchlässen ist das Freibord im Einlaufquerschnitt und gegebenenfalls bei nachfolgenden Querschnitten einzuhalten. In den übrigen Abschnitten ist eine maximale Füllhöhe anzustreben, bei welcher das Zuschlagen verhindert wird.

5.2.1 Berechnung erforderliches Freibord f_e

Das erforderliche Freibord bei Fliessgewässern wird im Kanton Thurgau gemäss der Empfehlung der Kommission Hochwasserschutz KOHS «Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen» (KOHS, 2013) bestimmt.

$$f_e = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2} = \sqrt{((0.06 + 0.06 * h)^2 + \sigma_{wz}^2) + \left(\frac{v^2}{2g}\right)^2 + f_t^2}$$

Teilfreibord																
Unschärfe in der Abflussrechnung																
h: Abflusstiefe [m]																
Unschärfe der massgeblichen Sohlenlage																
Gemäss KOHS dürften plausible Werte für σ_{wz} zwischen 0.1 m (grösserer Talfluss) und 1.0 m (Wildbach) liegen. Bei stabiler Sohle gilt $\sigma_{wz} = 0$.																
Wellenbildung und Rückstau bei Hindernissen																
v: mittlere Fliessgeschwindigkeit g: Erdbeschleunigung																
Für Treibholz zusätzlich benötigter Abflussquerschnitt unter Brücken																
Das Teilfreibord f_t liegt nach KOHS zwischen 0.3 - 1m:																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Brücke mit glatter Untersicht</th> <th>Brücke mit rauher Untersicht</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Schwemmh Holz mit geringen Abmessungen (nur Äste)</td> <td>0.3 m</td> <td>0.5 m</td> </tr> <tr> <td>Einzeln angeschwemmte Baumstämme</td> <td>0.5 m</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Wurzelstöcke</td> <td>1.0 m</td> <td>1.0 m</td> </tr> <tr> <td>Schwemmh Holz als Teppich angeschwemmt</td> <td>1.0 m</td> <td>1.0 m</td> </tr> </tbody> </table>		Brücke mit glatter Untersicht	Brücke mit rauher Untersicht	Schwemmh Holz mit geringen Abmessungen (nur Äste)	0.3 m	0.5 m	Einzeln angeschwemmte Baumstämme	0.5 m	1.0 m	Wurzelstöcke	1.0 m	1.0 m	Schwemmh Holz als Teppich angeschwemmt	1.0 m	1.0 m
	Brücke mit glatter Untersicht	Brücke mit rauher Untersicht														
Schwemmh Holz mit geringen Abmessungen (nur Äste)	0.3 m	0.5 m														
Einzeln angeschwemmte Baumstämme	0.5 m	1.0 m														
Wurzelstöcke	1.0 m	1.0 m														
Schwemmh Holz als Teppich angeschwemmt	1.0 m	1.0 m														

Formel 1: Freibordberechnung gemäss KOHS (2013). Darstellung in Anlehnung an Merkblatt Freibord – Handhabung im Kanton Luzern

Tabelle 1: Minimales und maximales Freibord, KOHS (2013)

Teil-Freibord	Kriterium für die Anwendung
f_w	In allen Gewässerabschnitten.
f_v	In Brückenquerschnitten oder bei Eindolungen. Auf Strecken mit Hochwasserschutzdämmen oder -mauern, die nicht überströmsicher ausgebildet sind. Auf Strecken, bei denen der Rückstau an einem Abflusshindernis dazu führen kann, dass Wasser kontinuierlich austreten kann. Auf einem Schwemmkegel. In gepflasterten Wildbachschalen.
f_t	In Brückenquerschnitten oder Eindolungen, wo Treibgut eine Rolle spielen kann.

Tabelle 2: Kriterien für die Anwendung der Teilfreiborde gemäss KOHS (2013)

Hinweis: Das Freibord der Thur beträgt fix 1.2 m und wurde mit dem Konzept Thur3 festgelegt.

5.2.2 Minimal und maximal erforderliches Freibord

Das rechnerisch ermittelte erforderliche Freibord wird auf Dezimeter gerundet und nach oben und unten begrenzt.

Minimales bzw. maximales Freibord	$0.3\text{ m} < f_e < 1.5\text{ m}$
-----------------------------------	-------------------------------------

Mit der unteren Grenze $f_{\min} = 0.3\text{ m}$ wird dem mittleren Fehler der berechneten Abflusstiefe bei kleinen langsam fliessenden Gewässern ein höheres Gewicht beigemessen. Mit der oberen Grenze $f_{\max} = 1.5\text{ m}$ wird verhindert, dass das erforderliche Freibord bei hohen Fliessgeschwindigkeiten zu gross wird.

Das erforderliche Freibord wird querschnittsweise berechnet und abschnittsweise vereinheitlicht.

Im Technischen Bericht des Korrektionsprojektes sind die Annahmen und Berechnungen zum Freibord zu dokumentieren. Für jede Schwachstelle (Brücke, Durchlass, Eindolung, Verengung, Dämme und weitere Spezialfälle) ist ein Szenarienblatt gemäss Vorlage AfU TG (Gemäss Anhang A) zu erstellen.

5.3 Szenarienbildung

Wird das erforderliche Freibord f_e nach KOHS an Schwachstellen wie Brücken, Durchlässen, Eindolungen etc. unterschritten, sind statt des erforderlichen Freibords f_e Verkläusungsszenarien zu berücksichtigen.

Freibord eingehalten	$f > f_e$	keine Verkläusungsszenarien
Freibord unterschritten	$f < f_e$	Verkläusungsszenarien gem. Tabelle 4

Tabelle 3: Bedingungen für die Bildung von Verkläusungsszenarien

Typ Gewässer	Typ Schwachstelle	Durchmesser Querschnitt d_{hy}	Verminderung des Abflussquerschnitts infolge Verklausung		
			Szenario HQ30	Szenario HQ100	Szenario HQ300
Zufluss aus Waldeinzugsgebieten bzw. Zufluss mit bestockten Ufern und Zuflüsse, aus Gebieten, welche die Verklausungsgefahr begünstigen (Gärten, Siedlungen etc.)	Sehr kleine Brücken, Durchlässe, Eindolungen	$\leq 0,5$ m	50 %	75 %	100 %
	kleine Brücken, Durchlässe, Eindolungen	0,5 – 1,2 m	25 %	50 %	100 %
	Mittelgrosse Brücken, Durchlässe, Eindolungen	> 1,2 m – 2,5 m	0 % – 25 %	0 % – 50 %	0 % – 100 %
	Grosse Brücken, Durchlässe, Eindolungen	> 2,5 m	0 %	0 % – 25 %	0 % – 50 %

Tabelle 4: Kriterien zur Verminderung des Abflussquerschnitts infolge Verklausung

d_{hy} = hydraulisch äquivalenter Durchmesser
 Rechteckförmig Querschnitte: $d_{hy} = 2BH/(B+H)$
 Kreisförmige Querschnitte: $d_{hy} = d$

B = lichte Breite der Öffnung
 H = lichte Höhe der Öffnung
 A = Querschnittsfläche der Öffnung

Bei der Festlegung der Verklausungsszenarien sind u. a. folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Schwemmholz
- Geschiebeaufkommen
- Treibgut aus Siedlungsgebieten
- Rückhaltebauwerke: Holz- und Geschiebefänge, Feinrechen
- Wechsel der Geometrie innerhalb und in der Nähe des Bauwerkes: Starke Richtungswechsel, Wechsel des Abflussquerschnittes, Gefällswechsel, Wechsel des Fliesszustandes
- Hydraulisch ungünstige Elemente wie Pfeiler, Stützen, Widerlager und Leitungen im Hochwasserprofil

Die gutachterliche Bestimmung des Verklausungsgrades erfolgt in Schritten von 25 %. Bei Vorliegen von wirksamen Rückhaltebauwerken wie Holzrechen und Geschiebefängen kann der Verklausungsgrad aus Tabelle 4 entsprechend reduziert werden. Konstruktiv ungünstige Elemente, wie beispielsweise Leitungen im Abflussquerschnitt, erhöhen den Verklausungsgrad aus Tabelle 4.

Die Verklausungsszenarien werden im Rahmen des Vorprojekts und/oder des Bauprojektes anhand der Szenarienblätter durch das Amt für Umwelt geprüft.

Die Verklausungsszenarien sind für jede Schwachstelle zu dokumentieren (Schwachstellenblatt).

Im Rahmen der Erarbeitung der Gefahrenkarte werden die im Korrektionsprojekt festgelegten Verklausungsszenarien verwendet.

Wurde ein Verklausungsszenario mit entsprechender Abflussminderung (Querschnitt) festgelegt, muss der Aufstau im Oberwasser der Schwachstelle mit einer Staukurvenberechnung (1D-Modellierung) nachgewiesen werden. Falls es zu einem Wasseraustritt aus dem Gerinne kommt, muss mit einer 2D-Modellierung die Überflutung ausserhalb des Gerinnes aufgezeigt werden.

5.4 Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler

Die Wahl der Rauigkeitsbeiwerte hat einen starken Einfluss auf die Abflusskapazität eines Gerinnes. Es ist deshalb von Bedeutung, dass im Rahmen der Erarbeitung der Gefahrenkarte identische Rauigkeitsbeiwerte verwendet werden wie im Korrektionsprojekt.

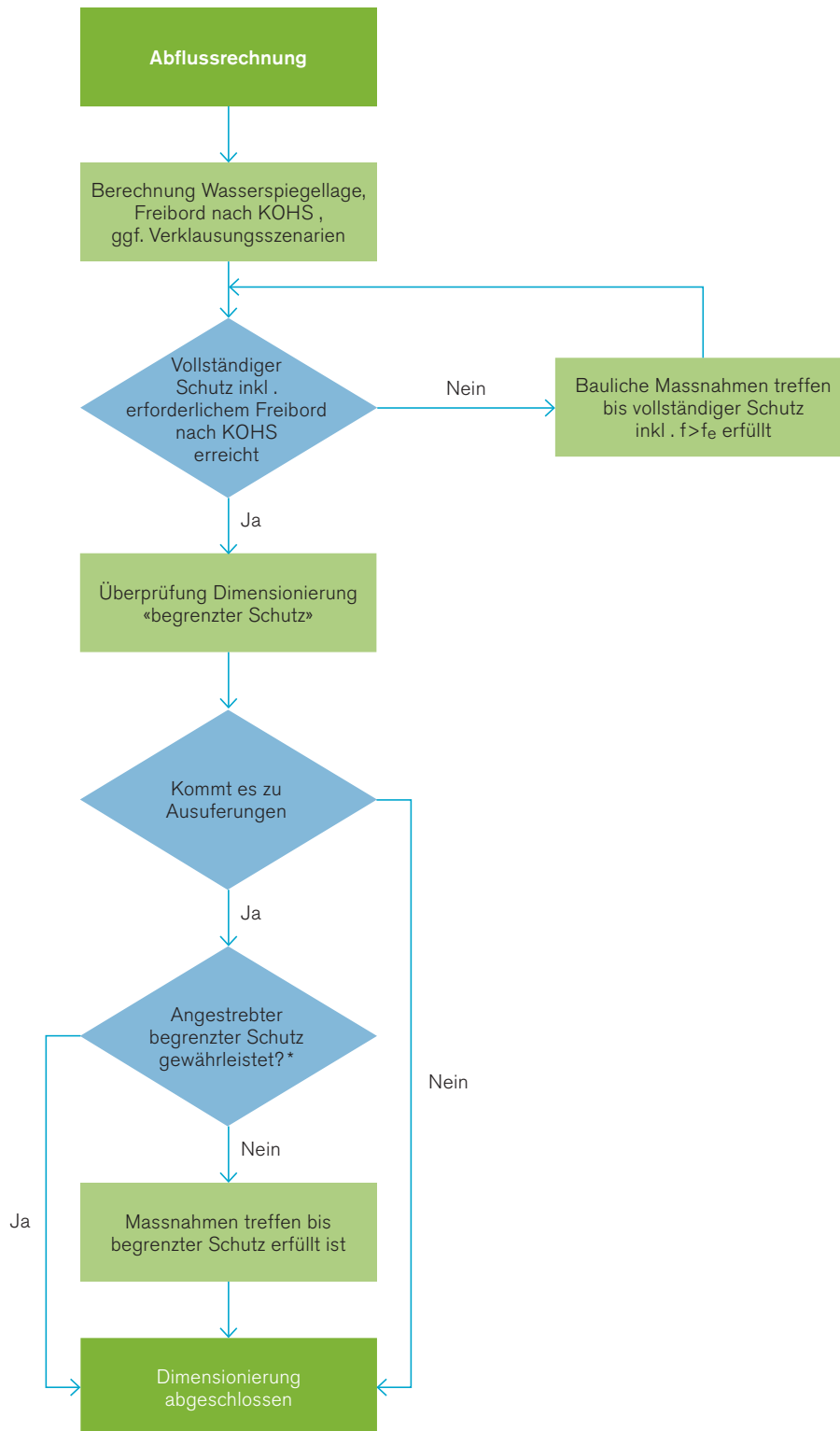
Im Technischen Bericht des Korrektionsprojektes sind die verwendeten Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler zu dokumentieren.

5.5 Überlastfall

Da neben den Dimensionierungsabflüssen auch mit selteneren Hochwasserereignissen (> HQ300) gerechnet werden muss, ist zusätzlich das Verhalten des Korrektionsprojektes im sogenannten Überlastfall abzuklären. Die geplanten Massnahmen sollen dabei nicht kollapsartig versagen und zu einem unkontrollierten, sprunghaften Anwachsen der Schäden führen. Dieses Risiko kann durch robust ausgelegte Schutzbauten verringert werden, die im Überlastfall gutmütig reagieren. Das Risiko im Überlastfall kann zudem durch planerische Massnahmen (Abflusskorridore) oder organisatorische Massnahmen (Notfallplanung) weiter reduziert werden.

5.6 Arbeitsablauf Dimensionierung Korrektionsprojekt

Abbildung 6 zeigt die erforderlichen Schritte für die Dimensionierung eines Korrektionsprojektes. Grössere und komplexere Korrektionsprojekte sind bezüglich Koordination mit der Nachführung der Gefahrenkarte mit dem Amt für Umwelt zu besprechen.



* Überprüfung mittels 2D-Modellierung

Abbildung 6: Vorgehen bei der Dimensionierung eines Korrektionsprojektes

6 Umsetzung des Korrektionsprojektes in der Gefahrenkarte

Bei Korrektionsprojekten, die keine Ausuferung aufweisen und die Vorgaben hinsichtlich erforderlichem Freibord erfüllen, erfolgt im Rahmen der Gefahrenkartennachführung keine erneute hydraulische Modellierung. Im Rahmen der Gefahrenkartierung wird lediglich eine Plausibilisierung durchgeführt.

Bei Gerinneausuferungen wird eine 2D-Modellierung durchgeführt, um die entsprechenden Überflutungsflächen zu generieren.

6.1 Hydrologie

Die Gefahrenkarte basiert auf den Dimensionierungsabflüssen HQ30, HQ100 und HQ300.

6.2 Freibord und Verklausungsszenarien

Mit Ausnahme der Schwachstellen werden in der Gefahrkarte keine Zuschläge für Freiborde respektive Verklausungsszenarien berücksichtigt.

6.3 Schwachstellenblätter

Die Schwachstellenblätter haben für die Korrektionsprojekte wie auch für die Gefahrenkarte Gültigkeit. Die Gefahrenkarte übernimmt die Schwachstellenblätter des Korrektionsprojektes – es erfolgt keine Neubeurteilung der Szenarien im Rahmen der Gefahrenkartierung. Schwachstellen ausserhalb Perimeter Korrektionsprojekt werden hingegen im Rahmen der Gefahrenkartierung beurteilt. Das Vorgehen der gutachterlichen Beurteilung ist im Kapitel 5.3 definiert.

7 Projektierung

Wasserbauprojekte stehen in Wechselwirkung mit Projekten des Siedlungs- und Strassenbaus, der Siedlungsentwässerung und anderen Infrastrukturobjekten. Wasserbauprojekte haben zudem eine direkte Auswirkung auf die Raum- und Nutzungsplanung und sind in der Regel mit hohen Kosten verbunden.

Aufgrund der Komplexität von Wasserbauprojekten hat die exakte und zeitgemässe Vermessung vor Ort sowie der Einsatz von 3D-CAD Software eine zentrale Bedeutung. Für das Amt für Umwelt ist es zudem entscheidend, dass die Planung und Projektierung im Gesamtkontext erfolgt und möglichst Synergien zwischen Korrektionsprojekten und Nachführung der Gefahrenkarte realisiert und dadurch unnötige Kosten vermieden werden.

Bei numerischen 1D- und 2D-Modellierungen sind die verwendeten Programme inkl. Versionsnummer im Technischen Bericht zu benennen. Die für die Berechnung verwendeten äusseren und inneren Randbedingungen sind im Technischen Bericht zu dokumentieren. Alle relevanten Informationen wie Wasserspiegel, Freibordzuschlag, Verklausungszuschlag, Energielinie, Böschungskante etc. sind nachvollziehbar abzubilden.

Die DTM-Daten des ausgeführten Korrektionsprojektes sind dem Amt für Umwelt in den gängigen Formaten (shp, dxf, dwg, LandXML, usw.) abzugeben, damit diese für die Erstellung der Gefahrenkarte verwendet werden können.

Projektphase	Charakteristik	Planung minimal	Hydraulik minimal	Datengrundlage	Produkte
Vorstudie		Hand, GIS, CAD	Normalabfluss	GIS	
Vorprojekt	Variable Verhältnisse hinsichtlich Richtung, Längsgefälle, Querschnittsgeometrie und Rauigkeit	Hand, GIS, CAD	1D Hydraulik	GIS	Szenarienblätter Schwachstellen
Bauprojekt	ohne Gerinnenausuferung	3D-CAD *	1D Hydraulik	Swiss Alti3D Swiss Surface 3D Tachymeter, GPS RTK korrigiert	Szenarienblätter Schwachstellen
	mit Gerinnenausuferung, Retention, Oberflächenabfluss	3D-CAD	2D Hydraulik	Swiss Alti3D Swiss Surface 3D Tachymeter, GPS RTK korrigiert	Szenarienblätter Schwachstellen Fliesstiefen Fließgeschwindigkeiten
Gefahrenkarte	mit Gerinnenausuferung, Retention, Oberflächenabfluss	3D-CAD GIS	2D Hydraulik	Swiss Alti3D Swiss Surface 3D Tachymeter, GPS RTK korrigiert	Alle Daten gemäss Leitfaden GK

Tabelle 5: Minimaler Detaillierungsgrad eines Korrektionsprojektes

* Falls die DTM-Daten durch das Amt für Umwelt für die Nachführung der Gefahrenkarte nicht weiterverwendet werden, kann bei geringem Komplexitätsgrad auf ein 3D-CAD verzichtet werden. → Fallweise absprechen mit dem Amt für Umwelt

Für Bäche und Flüsse mit beweglicher Sohle und Geschiebetransport ist in einem ersten Schritt gutachterlich die Geschiebesituation zu betrachten. Falls Sohlenerosion, Auflandung und Geschiebetransport als wesentlich beurteilt werden, sind nach Absprache mit dem Amt für Umwelt entsprechende Geschiebemodellierungen durchzuführen. Im Technischen Bericht ist dies entsprechend zu dokumentieren.

8 Nutzungsvereinbarung und Projektbasis

Eine Nutzungsvereinbarung ist für alle Projekte zu erstellen. Diese ist in Umfang und Inhalt der Projektgrösse anzupassen.

Definition gemäss SIA 260

- Nutzungsvereinbarung
Beschreibung der Nutzungs- und Schutzziele der Bauherrschaft sowie der grundlegenden Bedingungen, Anforderungen und Vorschriften für die Projektierung, Ausführung und Nutzung des Bauwerks.
- Projektbasis
Fachbezogene Beschreibung der bauwerksspezifischen Umsetzung der Nutzungsvereinbarung.

9 Literaturverzeichnis

KOHS Kommission Hochwasserschutz (2013). *Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen*, Wasser Energie Luft, Heft 1, Baden, 2013.

Kanton Thurgau (2020). Kantonaler Richtplan (KRP), Stand Juni 2020.

10 Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis

Abbildung 1: Schutzzielmatrix für Hochwasser	5
Abbildung 2: Gefahrenstufen der Gefahrenkarte	7
Abbildung 3: Gefahrenstufen der Gefahrenkarte, BAFU (2013)	7
Abbildung 4: Beispielhafte Einordnung eines Hydropunktes in Punkte der näheren Umgebung	10
Abbildung 5: Genereller Prozess Festlegung Dimensionierungsabfluss	12
Abbildung 6: Vorgehen bei der Dimensionierung eines Korrektionsprojektes	18
Tabelle 1: Minimales und maximales Freibord, KOHS (2013)	14
Tabelle 2: Kriterien für die Anwendung der Teilfreiborde gemäss KOHS (2013)	14
Tabelle 3: Bedingungen für die Bildung von Verklausungsszenarien	15
Tabelle 4: Kriterien zur Verminderung der Abflusskapazität infolge Verklausung, AfU (2010)	16
Tabelle 5: Minimaler Detailierungsgrad eines Korrektionsprojektes	20
Formel 1: Freibordberechnung gemäss KOHS (2013). Darstellung in Anlehnung an Merkblatt Freibord – Handhabung im Kanton Luzern	14

Glossar

Natürliche Retention	Fließverzögerung ohne technische Massnahmen (z.B. durch Ausuferungen und Gerinneretention, Topografie, Stehende Gewässer, etc.)
Künstliche Retention	Fließverzögerung durch technische Bauwerke (z.B. Auswirkungen von Schwachstellen des Gerinnes, Rückhaltebecken, etc.)
Bruttoabflüsse	Durch hydrologisches Modell hergeleitete Reinwasserganglinien bestimmter Jährlichkeiten ohne Berücksichtigung von Schwachstellen, welche zu Wasseraustritten und entsprechender Retention führen.
Nettoabflüsse	Auf Basis der Bruttoabflüsse hergeleitete Reinwasserganglinien bestimmter Jährlichkeiten unter Berücksichtigung des Einflusses von natürlicher oder künstlicher Retention.
Dimensionierungsabflüsse	Projektspezifisch festgelegte Hochwasserabflüsse auf Grundlage der Brutto- oder Nettoabflüsse
WSP	Wasserspiegel
f_e	erforderliches Freibord
f	tatsächliches Freibord
f_w	Teil-Freibord aufgrund von Unschärfe in der Bestimmung der Wasserspiegellage
f_v	Teil-Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau
f_t	Teil-Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt für Treibgut
HQ _n	Bezeichnet ein Hochwasserereignis, das mit der Wahrscheinlichkeit von 1/n jedes Jahr erreicht wird.

