

Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau



Grundlagen für die Implementierung eines Retentionraumkatasters

Erstellen eines Verfahrens zur Bewertung des
Retentionsvermögens von Überschwemmungsflächen am
Beispiel der Großen Rodl

**Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur**

eingereicht von:
Wesemann, Johannes

Betreuer: Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hans-Peter Nachtnebel

Matrikelnummer 0740147

12 Juni 2013

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die mich beim Verfassen der Arbeit und während des Studiums begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter Nachtnebel für die Anleitung und Betreuung meiner Masterarbeit. Des Weiteren möchte ich mich bei den Kollegen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbaus, allen voran DI Benjamin Apperl, für die Unterstützung bedanken.

Bei meinen Freunden und Studienkollegen möchte ich mich sehr herzlich bedanken. Sie haben mir nicht nur bei fachlichen und sprachlichen Problemen geholfen, sondern mich auch nicht die schönen Dinge des Lebens vergessen lassen.

Vor allem möchte ich jedoch meinen Eltern und meiner Familie danken. Ihr habt mich immer in meinen Plänen unterstützt und mir das Studium erst ermöglicht. Vielen Dank dafür!

Ich danke auch meiner Freundin, die mich die letzten Jahre so toll begleitet hat und mir immer Kraft und Motivation geschenkt hat. Danke für deine Unterstützung!

Kurzfassung

In der EU-Hochwasserrichtlinie wird die Freihaltung und Ausweisung von natürlichen Überschwemmungsgebieten als Hochwasserretentionsräume gefordert. Diese sollten sowohl hydraulisch wirksam als auch bebauungsfrei sein, um einen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten zu können. In der hier vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren entwickelt, welches diese zwei Aspekte genauer untersucht und eine Bewertung von Retentionsräumen ermöglicht. Dieses Verfahren soll möglichst transparent und mit bereits vorhandenen Daten durchführbar sein.

Für das Einzugsgebiet der Großen Rodl in Oberösterreich wird für jeden Flussabschnitt die Speicherkonstante auf Basis des Kalinin-Miljukov-Verfahrens berechnet. Dieser Parameter kann als Hinweis für die Retentionseigenschaften des Flussabschnittes gesehen und unabhängig von einer Bemessungswelle ermittelt werden. Hierzu werden Abflussdaten, Überflutungstiefen und das Geländemodell des HORA-Systems verwendet. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse wird die Überflutung der Umgebung bei einem weiteren Anstieg des Wasserspiegels, über den simulierten Wasserstand hinaus, überprüft.

Die Ergebnisse werden in drei Kategorien eingeteilt: kaum wirksame, wirksame und stark wirksame Retentionsflächen. Durch die Verschneidung der Überflutungsfläche mit der Landnutzung kann die Umsetzung als potentiell Hochwasserrückhaltegebiet überprüft werden. Die zusätzlich ermittelten Überschwemmungsgebiete zeigen die gefährdeten und nutzbaren Gebiete der Umgebung auf.

Abstract

The EU Flood Directive demands the maintenance and restoration of natural floodplains to retain floodwater. These areas should not only be free of buildings and infrastructure but also reduce the peak of flood waves to be suitable as flood protection. In this paper a method will be developed which examines these two aspects in order to analyse the effectiveness of retention areas. The procedure should be transparent and existing data should be used.

Based on the Kalinin-Miljukov-Method, for each river section of the Große Rodl catchment in Upper Austria the storage constant is going to be determined. This parameter can be seen as a benchmark for the retention capacity and can be calculated without a specific design wave. The HORA-System supplies runoff data, flood heights and a digital elevation model. The possible flooding of adjacent areas during a further rise of the water level is going to be examined with a sensitivity analysis.

The results are going to be divided in three categories: barely effective, effective and very effective retention areas. By combining the land use with the inundation areas the realization of the floodplains for flood reduction can be determined. The additional flood areas of the sensitivity analysis show the further usable space for flood retention.

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung und Motivation.....	1
2. Methodik	3
2.1. Definition Retention.....	3
2.2. Definition Retentionsraum.....	4
2.3. Methoden zur Berechnung der fließenden Retention	5
2.3.1. Hydraulische Verfahren.....	6
2.3.2. Hydrologische Verfahren.....	7
2.3.3. Das Kalinin-Miljukov-Verfahren (nach Rosemann und Vedral, 1970).....	8
2.4. Retentionsvermögen von Überflutungsflächen.....	13
2.4.1. Bestimmung der Länge der Speicher	14
2.4.2. Berechnung der Speicherkonstante	14
2.5. Berechnung der Wasserspiegellage für einen erhöhten Wasserstand	15
2.5.1. Umgebungsanalyse mit Ordinary Kriging	16
2.5.1.1. <i>Die Kriging-Verfahren</i>	17
2.5.1.2. <i>Interpolation</i>	18
2.5.1.3. <i>Beurteilung der Kriging-Interpolation</i>	18
2.5.2. Schrittweiser-Puffer-Verfahren.....	19
2.5.3. Untereinzugsgebietsverfahren.....	21
3. Ausgangsbasis und Fallstudie	23
3.1. Untersuchungsgebiet.....	23
3.2. Datenbasis.....	24
3.2.1. Digitales Geländemodell (DGM)	25
3.2.2. HORA - Daten	26
3.2.3. Gewässerverlauf (Grundriss).....	28
3.2.4. Pegelschlüssel Große Rodl.....	29
3.2.5. Gütebeurteilung der Eingangsdaten	30

3.3. Bestimmung der charakteristischen Länge im EZG der Rodl.....	31
3.4. Ermittlung des Retentionsvermögens.....	35
3.4.1. Aufbereitung der Daten und Preprocessing.....	35
3.4.2. Ermittlung der Speicher und deren Einzugsgebiete.....	37
3.4.3. Berechnung der Speicherkonstante K.....	38
3.5. Sensitivitätsanalyse.....	40
3.5.1. Kriging-Verfahren.....	40
3.5.2. Schrittweiser-Puffer-Verfahren.....	41
3.5.3. Untereinzugsgebietsverfahren.....	42
3.6. Schwierigkeiten bei der Anwendung.....	43
4. Ergebnisse und Folgerungen.....	47
4.1. Retentionsraumberechnung.....	47
4.2. Verwendung der Ergebnisse.....	50
4.3. Sensitivitätsanalyse.....	54
4.3.1. Ergebnisse.....	54
4.3.2. Verfahrensbewertung.....	56
4.3.3. Verbesserung der Retentionsraumbewertung mit dem Untereinzugsgebietsverfahren.....	59
5. Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen.....	62
5.1. Vorgangsweise zur Bewertung von Retentionsräumen.....	62
5.2. Anwendung mit alternativen Daten.....	63
5.3. Zusammenfassung und Diskussion des Verfahrens.....	63

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Zu- und Abflussganglinie bei fließender Retention (Quelle: Schraml, 2008)	4
Abb. 2	Gliederung der Verfahren zur Wellenablauf Berechnung (Quelle: Wackermann, 1980) .	6
Abb. 3	Abflussschleife und Wasserstandsganglinie eines Hochwasserereignisses (durchgezogen: Anstieg; gestrichelt: Abfall; strichpunktiert: stationärer Abfluss) (Quelle: Maniak, 2010)	10
Abb. 4	Chrakteristischer Abschnitt der Länge L mit Wasserspiegellagen (durchgezogen: Wasserspiegel bei Hochwasseranstieg; strichpunktiert: stationärer Abfluss) (Quelle: Maniak, 2010).....	11
Abb. 5	Untersuchungspunkt (rot) und benachbarte Punkte (grün)	19
Abb. 6	Darstellung des Untersuchungspunkt (rot), des Kreispuffers (gelb), der überfluteten Punkte (blau), der Wasseranschlagslinie (rote Linie) und der Umgebungspunkte (dunkelrot)	19
Abb. 7	Darstellung des Untersuchungspunkt (rot), des Ringpuffers (gelb), der überfluteten Punkte (blau), der Wasseranschlagslinie (rote Linie) und der Umgebungspunkte (dunkelrot)	21
Abb. 8	Randpunkte des Überflutungsgebiets (grüne Punkte) und deren zugehörige Teileinzugsgebiete (Farbige Flächen) für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebiets	22
Abb. 9	Eindrücke des Hochwassers im Einzugsgebiet der Rodl (Quellen: Pichler, 2010; Regionews, 2012; Meinbezirk.at, 2012; ORF OÖ, 2012)	24
Abb. 10	Darstellung des DGM mit Flusslauf und Lage des Untersuchungsgebiets in Österreich	26
Abb. 11	Überflutungstiefen und Gewässerverlauf in einem ausgewählten Bereich der Rodl.....	28
Abb. 12	Ausschnitt aus dem Flusslauf und den Überflutungsflächen im Einzugsgebiet	

der Rodl; die Durchflüsse (HQ30RegA) wurden vom HORA auf das Gewässernetz übertragen	28
Abb. 13 Lage der Pegelmessstellen an der Großen Rodl	29
Abb. 14 Schlüsselkurve Zettl an der Rodl / Große Rodl	30
Abb. 15 Schlüsselkurve Rottenegg / Große Rodl	30
Abb. 16 Flow Direction und Flow Accumulation in ArcGIS (Quelle: ArcHydro Tools Help) ...	36
Abb. 17 Von links nach rechts: Abflussdatentopologie (rote Linien) und Fließgewässernetz (blaue Linien); Fließgewässernetz und Flow Accumulation Grid; Flow Accumulation Grid und Batch Points	37
Abb. 18 Untereinzugsgebiete in einem Ausschnitt des EZG der Rodl	38
Abb. 19 Ausschnitte der Wasserspiegeldifferenzen beim Hochwasservergleich	39
Abb. 20 Überschwemmungsfläche HQ ₂₀₀ (graue Fläche) und Interpolierte Wasserspiegeloberfläche	40
Abb. 21 Pufferschichten, Wasseranschlagslinie und Randpunkte des Überflutungsgebiets	41
Abb. 22 HORA-Wasseranschlagslinie (rot), Überflutungs-Raster- Wasseranschlagslinie (grün), Randpunkte und Untereinzugsgebiete	43
Abb. 23 Darstellung von Fehlern bei der Erstellung der Einzugsgebiete. Das rote und das gelbe Einzugsgebiet gehen über die natürlichen Grenzen hinaus	44
Abb. 24 Darstellung der Inkonsistenz der Eingangsdaten. Die Wasserspiegelhöhe (blaue Beschriftung) liegt teilweise höher als die benachbarten, nicht überfluteten Geländepunkte. Schwarze Beschriftung: Höhenlage der Punkte (DGM-Wert)	45
Abb. 25 Ausschnitt des Mündungsbereichs aus dem HORA (links) und der Retentionsraumanalyse (rechts); die überschätzten Gebiete sind Orange dargestellt ...	48
Abb. 26 Darstellung der K-Werte der Großen Rodl nach der Einmündung des Eschlbach	49

Abb. 27 Darstellung der K-Werte des Ranitzbaches im Bereich Neußerling.....	49
Abb. 28 Darstellung der K-Werte im Ortsgebiet Zwettl an der Rodl; Blau: Große Rodl, Rot: Diestlbach, Grün: Schauerbach.....	50
Abb. 29 Bebaute Retentionsräume im Gemeindegebiet Walding und an der Donaumündung der Rodl.....	52
Abb. 30 Landnutzung, bebaute und unbebaute Retentionsräume im Bereich Neußerling.....	53
Abb. 31 Landnutzung, bebaute und unbebaute Retentionsräume im Ortsgebiet Zwettl an der Rodl.....	53
Abb. 32 Unterschiede der Verfahren der Sensitivitätsanalyse bei Senken und Gräben	55
Abb. 33 Unterschiede der Verfahren der Sensitivitätsanalyse bei Zuflüssen	55
Abb. 34 Darstellung ähnlicher Ergebnisse der Verfahren der Sensitivitätsanalyse beim Zusammenfluss Große Rodl - Eschenbach	56
Abb. 35 Darstellung ähnlicher Ergebnisse der Verfahren der Sensitivitätsanalyse.....	56
Abb. 36 Zuordnungsprobleme Schrittweiser-Puffer-Verfahren.....	58
Abb. 37 Überschwemmungsfläche bei einem HQ_{200} und Ergebnis des Untereinzugsgebietsverfahrens für das Ortsgebiet Walding.....	60
Abb. 38 Darstellung eines Gewässerabschnitts mit unbebauten, wirksamen Retentionsflächen und großer zusätzlicher Überflutungsfläche.....	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Mittlerer Fehler der Höhengenaugigkeit des DGM (Quelle: BEV, s.a.).....	25
Tab. 2	Berechnung des Gefälles für den Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl	31
Tab. 3	Berechnung der chrakteristischen Länge am Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl mit dem Gefälle des Abschnitt 1	33
Tab. 4	Berechnung der chrakteristischen Länge am Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl mit dem Gefälle des Abschnitt 2	34
Tab. 5	Berechnung des Gefälles für den Pegel Rottenegg / Große Rodl.....	34
Tab. 6	Berechnung der chrakteristischen Länge am Pegel Rottenegg / Große Rodl.....	35
Tab. 7	Ausschnitt aus der K-Wert Berechnung für HQ_{30} auf HQ_{100}	39
Tab. 8	Anzahl und Anteile der Retentionsräume jeder Kategorie für die drei Szenarien.....	48
Tab. 9	Anzahl und Anteile der unbebauten Retentionsräume jeder Kategorie für die drei Szenarien	51

1. Zielsetzung und Motivation

Beim Hochwasserschutz wird zwischen aktiven und passiven Maßnahmen unterschieden. Die meisten größeren Städte in Europa sind durch technische Maßnahmen wie z.B. Hochwasser-Deich, Entlastungsbecken, -gerinne oder mobilen Hochwasserschutz gesichert. Diese linearen Maßnahmen führen jedoch zu einem Verlust an Retentionsraum und tragen zu einer Beschleunigung von Hochwasserwellen und Erhöhung des Scheitelabflusses bei (Schraml, 2010).

In den letzten Jahren wurde deshalb vermehrt versucht, ein integriertes Hochwassermanagement umzusetzen. Neben den technischen beinhaltet dieses auch passive Maßnahmen, wie die Hochwasservorsorge, sowie die flussgebietsbezogene Betrachtung in der Risikoanalyse. Die EU-Hochwasserrichtlinie (EU-HWRL, 2007) definiert als ein Ziel die Freihaltung und Aufrechterhaltung von Retentionsräumen. Diese Flächenvorsorge kann einen wesentlichen Beitrag zum Hochwasserschutz leisten. Zum einen entsteht durch die Freihaltung kein zusätzliches Schadenspotential und zum anderen kann die abflussverzögernde Wirkung von Überschwemmungsflächen genutzt werden.

Um die Ausweisung von Retentionsräumen umsetzen zu können, fordern Neuhold und Nachtnebel (2010) die Einführung eines Retentionsraumkatasters. Dieser würde die Zusammenarbeit mit der Raumplanung wesentlich vereinfachen. Durch eine Abstimmung mit dem Flächenwidmungsplan und den örtlichen Entwicklungskonzepten kann eine langfristige Sicherung der natürlichen Rückhalteflächen gewährleistet werden.

Es stellt sich nun die Frage, welche Flächen in einen Retentionsraumkataster aufgenommen werden sollen. Hierbei ist primär wichtig, dass die Retentionsräume nicht bebaut sind bzw. keine schützenswerte Infrastruktur beinhalten. Des Weiteren sollten die Überschwemmungsgebiete möglichst wirksame Retentionseigenschaften aufweisen. Um eine Aussage über diese notwendigen

Eigenschaften treffen zu können, muss ein Parameter zur Bestimmung festgelegt werden.

In dieser Arbeit soll nun ein Verfahren erstellt werden, welches die Wirksamkeit von Rückhalteflächen untersucht und dadurch eine Bewertung von Überflutungsgebieten ermöglicht. Die Methodik soll dabei möglichst einfach und transparent sein, um die spätere Umsetzung für ganz Österreich gewährleisten zu können. Die Verfügbarkeit von Daten ist dabei besonders wichtig. Ferner soll mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse überprüft werden, welche zusätzlichen Gebiete bei einem weiteren Anstieg des Wasserspiegels überflutet werden.

Die Arbeit ist folgendermaßen gegliedert: Nachdem die Begriffe Retention und Retentionsräume genauer bestimmt wurden, sollen die verschiedenen Methoden zur Berechnung des Rückhaltevermögens vorgestellt werden. Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Kalinin-Miljukov-Verfahren, einem hydrologischen Verfahren zur Berechnung der fließenden Retention. Dieses liefert die Grundlage zur anschließenden Ermittlung der Speicherkonstante, einem Parameter, der die Retentionseigenschaften von Speichern repräsentiert. Als Eingangsdaten dienen dabei Werte aus der Hochwasserrisikozonierung Austria (HORA), welches neben Gelände- und Abflussdaten auch Informationen zu Überflutungsflächen und deren Wassertiefen liefert. Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit ist das Einzugsgebiet der Großen Rodl, einem Donauzubringer in Oberösterreich. Anhand der Ergebnisse wird anschließend ein Klassifikationsschema zur Retentionsraumbewertung erstellt und über die Landnutzung die Verbauung der Überschwemmungsgebiete untersucht.

Bei der Sensitivitätsanalyse wird das an die Überflutungsflächen der HORA-Daten angrenzende Gelände analysiert und der Versuch unternommen zu ermitteln, welche Bereiche bei einem weiteren Anstieg des Hochwassers überflutet werden. Dazu werden drei verschiedene Methoden entwickelt. Beim Kriging-Verfahren wird eine erhöhte Wasserspiegeloberfläche nach außen interpoliert und mit dem Gelände verschnitten. Das Schrittweiser-Puffer-Verfahren vergleicht direkt die Höhenlage der Wasserspiegeloberfläche mit den benachbarten Punkten. Mit dem Untereinzugsgebietsverfahren werden die Randpunkte des Wasserspiegels als Gebietsauslässe definiert und deren Einzugsgebiete ermittelt. Jeder Punkt dieser Gebiete wird dann mit der Höhenlage des zugehörigen Randpunktes verglichen. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren werden anschließend analysiert sowie deren Vor- und Nachteile dargelegt.

2. Methodik

In diesem Kapitel wird zunächst eine Definition von Retentionsräumen und deren Eigenschaften gegeben. Anschließend werden Methoden zur Berechnung der Retention von Hochwasserwellen erläutert. Das Kalinin-Miljukov-Verfahren wird dabei genauer beschrieben, da es in weiterer Folge zur Anwendung kommt. Im letzten Teil wird gezeigt, wie man bei der Ermittlung von zusätzlichen potentiellen Retentionsflächen mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse vorgehen kann.

2.1. Definition Retention

Die Retention einer Hochwasserwelle beschreibt im Allgemeinen die Dämpfung des Hochwasserscheitels und dessen zeitliche Verschiebung (Haider, 1994). Somit spiegeln die Retentionseigenschaften eines Gewässers sein Rückhaltevermögen wieder. Dieses kann als ein Maß für das in einer Gewässerstrecke gespeicherte Volumen in Abhängigkeit des Abflusses gesehen werden und entspricht der Speicherkonstante K (Bauer, 2004). Die DIN 4049-3 (1994) definiert Retention als „*Durchflussverzögerung infolge der Speicherwirkung natürlicher Gegebenheiten oder künstlicher Maßnahmen*“. Hierbei wird zwischen der natürlichen Retention in Seen und Speichern, der sogenannten stehenden Retention, und der in der Fließstrecke, der fließenden Retention, unterschieden.

Die stehende Retention beschreibt die Vorgänge, die bei einem Übertritt der Hochwasserwelle über die natürlichen Ufer des Gewässers und dem vorläufigen Rückhalt des Abflusses ablaufen. Die Fließgeschwindigkeiten sind in diesen Überflutungsgebieten minimal und können daher vernachlässigt werden (Gilli, 2010). Es kommt ausschließlich zu einer temporären Speicherung (Haider, 1994). Somit ist die stehende Retention die Grundlage für Hochwasserrückhaltebecken, welche diese Effekte nutzen. Die Dimensionierung erfolgt daher mit den gleichen Rechenmethoden

(vgl. Bollrich, 1992).

Unter der fließenden Retention versteht man die Retentionswirkung im Hauptgerinne und im Vorland, in welchem die Fließgeschwindigkeiten nicht vernachlässigbar sind (Gilli, 2010). Die Vorgänge sind hierbei Retentions- (Reibung und Ausuferung) und Translationsprozesse (Massenbewegung des Abflusses zwischen zwei Bezugspegeln) (Schraml, 2008). Die Berechnung des Abflusses von Hochwasserwellen in Gerinnen wird als Flood Routing bezeichnet. Als Berechnungsmodelle stehen hier hydraulische und hydrologische Verfahren zur Verfügung (Plate et al., 1977).

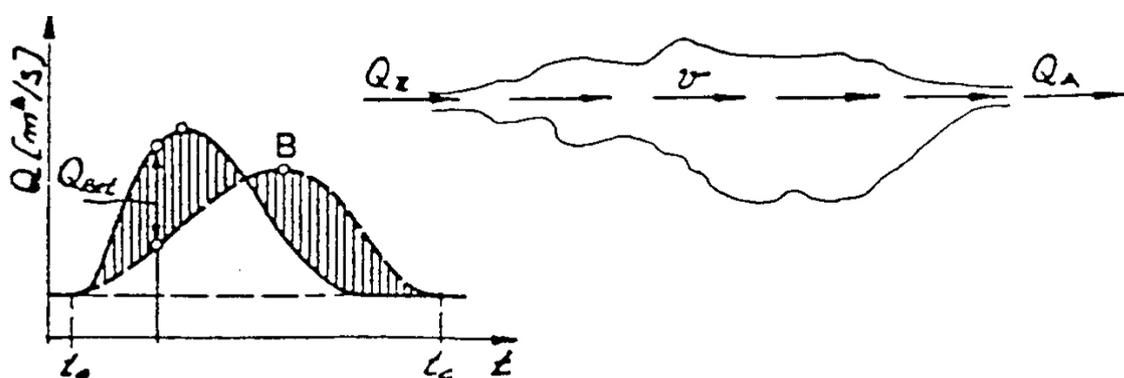


Abb. 1 Zu- und Abflussganglinie bei fließender Retention (Quelle: Schraml, 2008)

2.2. Definition Retentionsraum

Der Retentionsraum, in Englisch auch als „floodplain“ bezeichnet, ist der Bereich des Hauptgerinnes und des Vorlandes, der während eines Hochwassers überflutet wird und somit zur Retention beiträgt. Die Relevanz dieser Überflutungsflächen zur Minderung von Hochwasserwellen und somit auch des Hochwasserrisikos wird bei der Betrachtung der EU-Hochwasserrichtlinie deutlich. Hier wird gefordert, dass beim Erstellen von Hochwasserrisikomanagementplänen der *„Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz und Vorsorge liegen. Um den Flüssen mehr Raum zu geben, sollten in den Plänen, sofern möglich, der Erhalt und/oder die Wiederherstellung von Überschwemmungsgebieten sowie weitere Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung nachteiliger Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten berücksichtigt werden.“* (EU-HWRL, 2007)

Neuhold und Nachtnebel, 2010 definieren *„drei wesentliche Kriterien zur Ausweisung von wesentlichen bzw. nennenswerten Retentionsräumen, basierend auf allgemein zugänglichen Datengrundlagen [...]“*:

1. *Ein Retentionsraum kann als potentiell geeignet bezeichnet werden, wenn sich darin keine hochwertigen Nutzungen (Wohngebäude, Wirtschaftsstandorte, etc.) befinden.*
2. *Ein Retentionsraum kann als potentiell geeignet bezeichnet werden, wenn die Topographie auf hydraulische Wirksamkeit schließen lässt.*
3. *Ein Retentionsraum kann als wesentlich/nennenswert bezeichnet werden, wenn die Punkte 1 UND 2 erfüllt werden, und durch die Überflutung des Retentionsraumes eine Reduktion der Hochwasserspitze durch retentiertes Abflussvolumen, zu erwarten ist.“*

2.3. Methoden zur Berechnung der fließenden Retention

Der Hochwasserwellenablauf ist ein instationärer Vorgang. Dies bedeutet, dass sich die Fließgeschwindigkeit $v(t,x)$ bzw. der Durchfluss $Q=v \cdot A$ und der Wasserstand $h(t,x)$ mit der Zeit und dem Ort ändern (Plate et al., 1977; Gilli, 2010). Diese Wasserbewegung kann durch die *de Saint-Venant-Gleichungen* beschrieben werden (nach Plate et al., 1977):

Kontinuitätsgleichung:
$$\frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = Q_s \quad (2.1)$$

Energiegleichung:
$$\frac{\delta v}{\delta t} + v \cdot \frac{\delta v}{\delta x} + g \cdot \frac{\delta h}{\delta x} + I_E \cdot g = 0 \quad (2.2)$$

wobei

Q	Abfluss
x	Längsrichtung des Abflusses
A	Durchströmter Querschnitt
t	Zeit
Q_s	seitlicher Zufluss
v	Fließgeschwindigkeit
h	Wasserspiegelhöhe
I_E	Energieliniengefälle

Nach Plate et al. (1997) sind diese Grundgleichungen unter folgenden Annahmen gültig:

- Nur die Schwerkraft und Reibungskräfte wirken an der Gerinnewandung.
- Die Wandreibung wird als konstant und somit unabhängig vom Wasserstand angenommen.
- Gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung über den gesamten Querschnitt, vertikale und laterale Strömung werden daher vernachlässigt.
- Die Wellen sind Translationswellen (Transport von Masse und Energie).
- Annahme von Wasser als idealer Flüssigkeit, innere Reibung und Kompressibilität werden vernachlässigt.
- Die Neigung des Wasserspiegels ist vernachlässigbar klein.

Die *de Saint-Venant-Gleichungen* bilden die theoretische Basis, sowohl für die hydraulischen als auch für die hydrologischen Verfahren (Gutknecht, 2001). Eine Einteilung ist in Abb. 2 dargestellt.

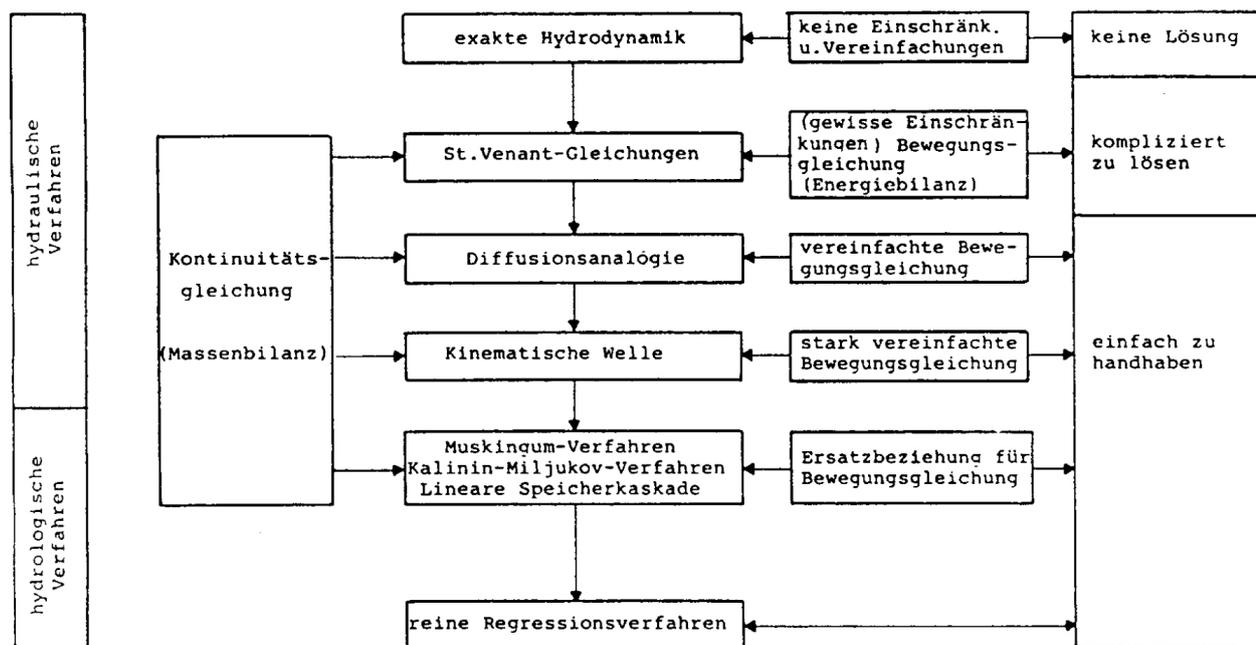


Abb. 2 Gliederung der Verfahren zur Wellenablauf Berechnung (Quelle: Wackermann, 1980)

2.3.1. Hydraulische Verfahren

Bei den hydraulischen Verfahren werden die physikalischen Grundgleichungen mit Hilfe von Vereinfachungen und numerischen Methoden gelöst. Als Beispiel sei das direkte Differenzenverfahren genannt. Der betrachtete Fließgewässerabschnitt wird hierbei in eine Folge von kleineren Rechenabschnitten unterteilt und die Differentialgleichungen auf Basis einer

geeigneten Diskretisierung nach Zeit und Weg numerisch gelöst. Die Lösung erfolgt mit Hilfe von expliziten und impliziten Differenzenschemata (Plate et al., 1977).

„Ein großer Vorteil der hydraulischen Verfahren ist die Kenntnis von Wasserstand und Durchfluß in jedem Querprofil zu jedem Zeitpunkt“ (Haider, 1994). Des Weiteren wird das Verfahren zwar auf eine einzige Welle des Gewässers geeicht, es können jedoch Vorhersagen für weitere, auch größere Hochwässer, vorgenommen werden. Bauliche Veränderungen des Systems, z.B. die Änderung der Gerinnegeometrie, können bei diesen Verfahren berücksichtigt werden (Plate et al., 1977).

Ein Nachteil ist der sehr hohe Bedarf an Daten. So werden zur räumlichen Diskretisierung alle Gerinnegeometrien und Rauigkeiten benötigt. Diese hohe räumliche Auflösung ist jedoch nur durch Laserscan Befliegungen gegeben. Diese stehen für viele Untersuchungsgebiete nicht zur Verfügung und die Durchführung ist sehr kostenintensiv. Zusätzlich sind zur Berechnung hydraulische Informationen wie Abflusskurven und Wasserstandsmarken von Hochwasserabläufen notwendig. Der Rechenaufwand ist aufgrund der Datenmenge und der Diskretisierungen wesentlich höher als bei den hydrologischen Verfahren (Gutknecht, 2001; Plate et al., 1977).

2.3.2. Hydrologische Verfahren

Haider (1994) ordnet die hydrologischen Verfahren unter anderem den Konzeptmodellen zu. Bei diesen wird die Energiegleichung nicht direkt herangezogen, sondern durch eine empirische Volumen-Abfluss-Beziehung ersetzt. Des Weiteren wird die Kontinuitätsgleichung über einen Gewässerabschnitt integriert, sodass man folgende Retentionsgleichung erhält:

$$Q_Z(t) - Q_A(t) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Diese Gleichung besagt, dass die Differenz des Zuflusses Q_Z und des Abflusses Q_A eine Speicheränderung $\frac{dV}{dt}$ in dem betrachteten Gewässerabschnitt nach sich zieht.

Die hydrologischen Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich durch die Annahmen über die Speicher-Abfluss-Beziehung $V=f(Q)$, welche den Zusammenhang zwischen dem Abfluss aus dem Fließgewässerabschnitt und dem darin gespeicherten Volumen herstellt. Nach Bauer (2004) beschreibt diese Bestimmungsgleichung die Retentionseigenschaften des Gewässers. Der instationäre Vorgang des Wasserabflusses, also unterschiedliche Abflüsse bei gleichen

Wasserständen (siehe auch Kapitel 2.3.3), wird meist durch vereinfachende Annahmen und geeignete Wahl von Bezugsgrößen in eine annähernd eindeutige Beziehung umgewandelt (Gutknecht, 2001).

Folgende Verfahren werden häufig angewendet:

- Muskingum-Verfahren
- Kalinin-Miljukov Verfahren
- Allgemeines lineares Modell
- Diffusionsanalogie (Plate et al., 1977)

Durch ihre vereinfachenden Annahmen und die geringe Anzahl verwendeter Parameter sind die hydrologischen Verfahren in ihrem Rechenaufwand wesentlich geringer als die hydraulischen (Haider, 1994; Plate et al., 1977). Daher werden sie vorwiegend für Flusseinzugsgebiete verwendet.

Die hydrologischen Verfahren und deren Parameter werden immer an den aktuellen Zustand des Flusses angepasst. Bei etwaigen Veränderungen des Gewässerlaufes oder der Profile können sie nicht übertragen werden, sondern müssen mit neuen Daten geschätzt werden (Plate et al., 1977).

2.3.3. Das Kalinin-Miljukov-Verfahren (nach Rosemann und Vedral, 1970)

Bei stationärer Strömung, also wenn sich der Abfluss Q im Betrachtungszeitraum nicht signifikant ändert, kann von einer eindeutigen Beziehung des Abflusses und des im Gerinne gespeicherten Volumens V ausgegangen werden. Die Beckeninhaltslinie wird durch

$$V = V(h) \tag{2.4}$$

beschrieben. Da der Abfluss Q aus dem Gewässerabschnitt mit

$$Q = Q(h) \tag{2.5}$$

ebenfalls vom Wasserstand abhängt kann der Abfluss in Abhängigkeit vom Volumen beschrieben werden:

$$Q = f(V) \tag{2.6}$$

Da es sich hierbei um eine lineare Beziehung handelt und die Ableitungen dQ/dV bzw. dV/dQ immer positiv sind, gilt für stationäre Abflüsse

$$dV = \tau \cdot dQ \quad (2.7)$$

τ kann in diesem Fall als die Zeit angesehen werden, die das Volumen V benötigt um bei stationärem Abfluss den betrachteten Flussabschnitt zu durchfließen. Sie entspricht somit der Speicherkonstante K , welche als die mittlere Aufenthaltszeit eines Wasserteilchens in einer Gewässerstrecke definiert ist (Bauer, 2004; Maniak, 2010).

Tritt nun in einem Fließgewässerabschnitt ein plötzlicher Abflusszuwachs ΔQ auf, erhöht sich auch das Volumen V um einen Betrag ΔV .

$$Q = Q + \Delta Q \quad (2.8)$$

$$V = V + \Delta V \quad (2.9)$$

Um die Zeit zu berechnen, die der Wellenablauf benötigt um den unteren Querschnitt zu erreichen, bzw. bis sich wieder stationäre Strömung einstellt, kann auch hier τ verwendet werden:

$$\tau = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (2.10)$$

Daraus folgt, dass τ auch als die Laufzeit des Hochwasserscheitels betrachtet werden kann. Dies entspricht jener Zeit, die zwischen Ein- und Austritt des Hochwasserscheitels in dem betrachteten Speicher vergeht.

Wie bereits erwähnt, tritt bei Hochwasserwellen instationärer Abfluss auf. Laut Bollrich (1992) bedeutet dies, dass sich die Geschwindigkeit v und somit der Durchfluss Q mit der Zeit verändert. Der Abfluss ist in diesem Fall nicht mehr nur vom gespeicherten Volumen abhängig, sondern auch vom Gefälle des Flussabschnitts:

$$Q = f(V, I) \quad (2.11)$$

Trägt man nun den Wasserstand h abhängig vom Durchfluss Q in einer Graphik ein, so lässt sich erkennen, dass h im Hochwasserfall nicht eindeutig einem bestimmten Q zuzuordnen ist. Vielmehr stellt sich hier eine sogenannte Abflussschleife ein.

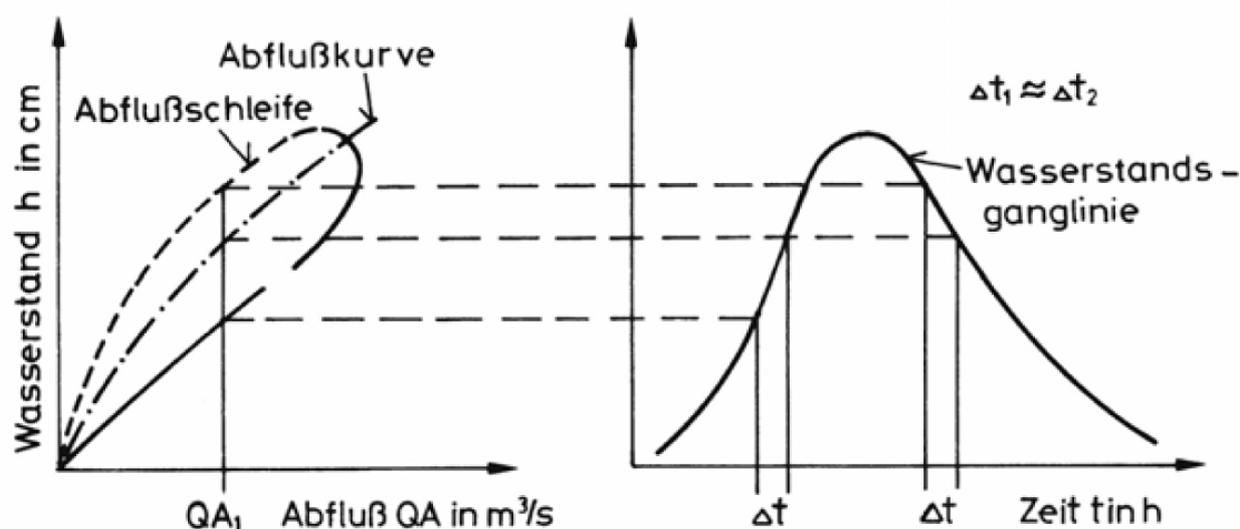


Abb. 3 Abflussschleife und Wasserstandsganglinie eines Hochwasserereignisses (durchgezogen: Anstieg; gestrichelt: Abfall; strichpunktiert: stationärer Abfluss) (Quelle: Maniak, 2010)

Ein beliebiger Abfluss Q_{A1} kann demnach bei drei verschiedenen Wasserständen auftreten: während des Anstiegs und des Rückgangs des Hochwassers und im Fall der stationären Strömung. Des Weiteren kann in Abb. 3 erkannt werden, dass die Wasserstände sowohl beim Anstieg als auch beim Rückgang des Hochwassers um ein bestimmtes Zeitintervall Δt vor dem Wasserstand bei stationärem Durchfluss auftreten. Wenn man nun den Abflüssen die um das Zeitintervall Δt später eintretenden Wasserstände zuordnet, erhält man einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Abfluss und Wasserstand. Das Zeitintervall Δt kann jedoch auch als eine Lauflänge l gesehen werden. Somit besteht diese eindeutige Beziehung auch zwischen dem um die Länge l stromauf betrachteten Wasserstand und dem gleichzeitig auftretenden Abfluss Q_{A1} (Maniak, 2010).

Roseman und Vedral (1970) beschreiben dies mit Hilfe von Abb. 4 wie folgt: „Ordnen wir den Abflüssen im Querschnitt r die Wasserstände im Querschnitt m zu, so umgehen wir die Abflussschleife und verwenden auch für den Fall der instationären Strömung eine eindeutige Abflusskurve $h = f(Q)$ “.

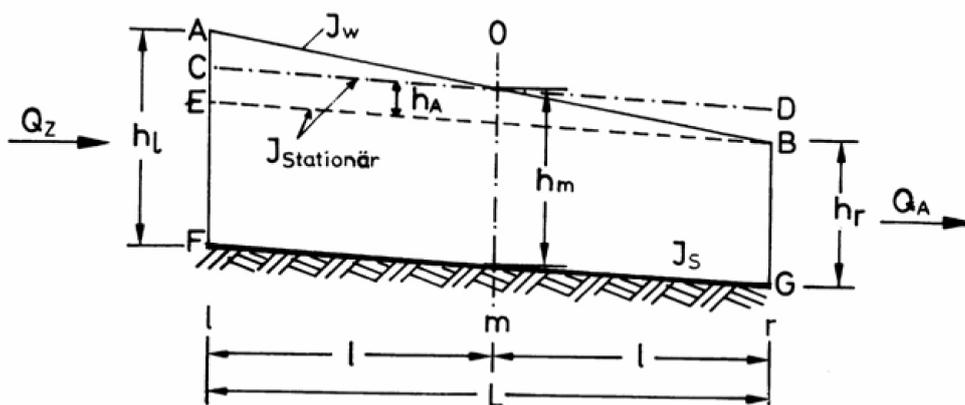


Abb. 4 Charakteristischer Abschnitt der Länge L mit Wasserspiegellagen (durchgezogen: Wasserspiegel bei Hochwasseranstieg; strichpunktiert: stationärer Abfluss) (Quelle: Maniak, 2010)

Das Kalinin-Miljukov-Verfahren geht also davon aus, dass eine eindeutige Beziehung zwischen dem Abfluss und dem in einem Flussabschnitt mit der sogenannten charakteristischen Länge L gespeicherten Volumen auch für den instationären Fall angenommen werden kann. Dadurch ist es möglich, den gesamten Flusslauf als eine Folge von n hintereinander geschalteten Speichern mit der Länge L zu betrachten (Rosemann und Vedral, 1970; Plate et al., 1977).

In einem charakteristischen Abschnitt L ist demnach das gespeicherte Volumen bei stationärer und instationärer Strömung gleich. Zur Berechnung der charakteristischen Länge wird nun vorausgesetzt, dass das Energieliniengefälle I_E parallel zum Wasserspiegel, welcher als linear angenommen wird, verläuft. Der Anstieg des Wasserspiegels bei einer Hochwasserwelle beträgt $dh = -l \, dI$, sodass sich für das totale Differential von Q ergibt:

$$dQ = \frac{-\delta Q}{\delta h} \cdot l \cdot dI + \frac{\delta Q}{\delta J} \cdot dI = 0 \tag{2.12}$$

Für den quasistationären Fall, der hier vorliegt, kann der Abfluss Q mit der erweiterten Manning-Strickler Formel berechnet werden:

$$Q_{st} = k_{st} \cdot F \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I_w^{\frac{1}{2}} = c \cdot I_w^{\frac{1}{2}} \tag{2.13}$$

wobei:

- Q_{st} Durchfluss [m^3/s]
- k_{st} Rauigkeitswert nach Manning-Strickler [$m^{1/3}$]
- F Fließquerschnitt [m^2]

R	Hydraulischer Radius [m] (entspricht dem Quotienten aus Fließfläche A und dem benetzten Umfang l_u , nach Bollrich (1992))
I_{st}	Wasserspiegelgefälle, stationär
c	Parameter

In dem man für $dI = I_w - I_{Stationär}$ und für $dQ = 0,5 \cdot c \cdot I_{st}^{-0,5} \cdot dI$ setzt, erhält man:

$$L = 2 \cdot l = \frac{Q_{st} \cdot dh_{st}}{J_{st} \cdot dQ_{st}} \quad (2.14)$$

(Maniak, 2010; Rosemann und Vedral, 1970)

Mit dieser Gleichung kann nun die charakteristische Länge mit ausschließlich stationären Größen berechnet werden. Der Quotient dh/dQ entspricht hierbei der Steigung der Wasserstands-Abfluss-Beziehung. Da diese nicht über den gesamten Abflussquerschnitt konstant ist, wird hier von einem Mittelwert ausgegangen. Die Anzahl der Speicher n ist wie bei einer einfachen Speicherkaskade das Verhältnis der Gesamtlänge des Flusses L_{ges} zur charakteristischen Länge L (Plate et al., 1977).

Die Retentionskonstante K „kann als Steigungsmaß der Beziehung $S = f(Q_A)$ eines charakteristischen Abschnitts und aus deren graphischer Darstellung (Volumenkurve) ermittelt werden“ (Maniak, 2010). Die allgemeine Berechnung erfolgt mit der einfachen Speicherformel:

$$K = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (2.15)$$

Verändern sich die Überschwemmungsgebiete nicht zu stark, kann einem Wasserstand h eine zugehörige Wasserspiegelbreite B_m zugeordnet werden, sodass sich die Volumenänderung ΔV durch $\Delta V = L \cdot B_m \cdot dh$ ergibt. Daraus folgt für die Berechnung von K :

$$K = L \cdot B_m \cdot \frac{dh}{dQ} \quad (\text{Maniak, 2010}) \quad (2.16)$$

Grundlage für die Arbeitsgleichungen zur Berechnung des Hochwasserwellenablaufs sind wieder die integrierte Kontinuitätsgleichung und die eindeutige Volumen-Abfluss-Beziehung:

$$Q_Z - Q_A = \frac{dV}{dt} \quad (2.17)$$

$$Q_A = K \cdot V \quad (2.18)$$

Nach weiteren Umformungen und Vereinfachungen, zu denen die Annahme eines prismatischen Gerinnes gehört, erhält man für die Arbeitsgleichungen des Kalinin-Miljukov-Verfahrens:

$$Q_A(t + \Delta t) = c_1 \cdot (Q_Z(t + \Delta t) + Q_Z(t)) + c_2 \cdot Q_A(t) \quad (2.19)$$

mit
$$c_1 = \frac{\Delta t}{2K + \Delta t} \quad (2.20)$$

$$c_2 = \frac{2K - \Delta t}{2K + \Delta t} \quad (\text{Schraml, 2008}) \quad (2.21)$$

Da in dieser Arbeit nur die Betrachtung der einzelnen Speicher und deren Retentionsvermögen im Vordergrund steht, sei an dieser Stelle auf Rosemann und Vedral (1970) verwiesen. In deren Veröffentlichung finden sich Lösungsverfahren und Berechnungsbeispiele zur Ermittlung des Ablaufes von Hochwasserwellen sowie deren Vor- und Nachteile.

Der wesentliche Vorteil des Kalinin-Miljukov-Verfahrens gegenüber anderen hydrologischen Ansätzen ist die Anwendbarkeit auch ohne explizite Messungen, da die Parameter L und K aus der Gerinnegeometrie ermittelt werden können (Schraml, 2008). Im Vergleich zu hydraulischen Verfahren ist der Arbeitsaufwand wesentlich geringer und flussbauliche Veränderungen können bis zu einem gewissen Grad beachtet werden (Plate et al., 1977).

2.4. Retentionsvermögen von Überflutungsflächen

Ziel des hier entwickelten Verfahrens ist es, die Retentionseigenschaften des Gewässers mit möglichst geringem Daten- und Arbeitsaufwand zu ermitteln. Da die Berechnung der Hochwasserscheitelreduzierung aufwendig ist, werden die Retentionseigenschaften des Gewässers mit Hilfe der Speicherkonstante K quantifiziert. Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert, stellt diese das Verhältnis des in einer Gewässerstrecke gespeicherten Volumens zu dem dazugehörigen Abfluss dar. Bauer (2004) erklärt dazu, dass *„Je größer die Speicherkonstante ist, desto mehr Volumen wird bei der Erhöhung des Abflusses gespeichert“*. Daraus folgt, dass ein hoher K-Wert in einem Gewässerabschnitt ein hohes Rückhaltevermögen repräsentiert und dort folglich eine nennenswerte Scheitelreduzierung zu erwarten ist (Bauer, 2004). Der Vorteil ist, dass der K-Wert unabhängig von einer Bemessungswelle berechnet werden kann.

In dieser Arbeit werden die Speicherkonstanten in jedem Gewässerbereich für verschiedene Abflüsse ermittelt, sodass aufgezeigt werden kann, in welchen Gewässerabschnitten für den jeweiligen Abfluss die größte Retentionswirkung auftritt.

In den folgenden Kapiteln soll dargestellt werden, wie die Retentionseigenschaften mit Hilfe des Geoinformationssystems ArcGIS der Firma ESRI ermittelt werden können.

2.4.1. Bestimmung der Länge der Speicher

Der Gewässerverlauf muss bei diesem Verfahren in gleich große Speicher unterteilt werden. Zur Bestimmung der Länge wird zunächst mit Gleichung (2.14) die charakteristische Länge L_i für verschiedene Q-h-Wertepaare der Schlüsselkurve vorhandener Bezugspegel berechnet. Die gemittelte charakteristische Länge für diese Gewässerabschnitte ergibt sich aus:

$$L_m = \frac{\sum L_i}{\text{Anzahl } L_i} \quad (2.22)$$

Für Flusseinzugsgebiete stehen meist jedoch nur eine geringe Anzahl an Schlüsselkurven zur Verfügung. Aus diesem Grund wird aus den ermittelten L_m ein Wert geschätzt, welcher für das gesamte Untersuchungsgebiet hinreichend genaue Ergebnisse liefern wird. Im Regelfall wird eine ganze Zahl im Größenbereich der kleinsten charakteristischen Länge L_m des Gewässers gewählt. Durch diese Annahme kann von einer eindeutigen Beziehung zwischen dem Abfluss und dem gespeicherten Volumen ausgegangen werden.

2.4.2. Berechnung der Speicherkonstante

Für die ermittelten Speicher müssen die Abflüsse von Hochwasserereignissen und die dazugehörigen Überflutungsflächen und -tiefen bekannt sein. In dem hier entwickelten Bewertungsverfahren wurden die Daten aus dem HORA-System verwendet, welche in Kapitel 3.2 noch genauer betrachtet werden. Grundsätzlich stehen die Werte für verschiedene Hochwässer (HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{200}) in jedem Zubringer und Gewässerabschnitt zur Verfügung. Die daraus folgenden Überflutungstiefen sind durch ein Raster gegeben. Für die Speicher wird nun bestimmt, welche Pixel des Überflutungstiefenrasters in diese entwässern. Dies erfolgt mit Hilfe von ArcGIS-Anwendungen, welche zuerst die Fließwege und anschließend die Einzugsgebiete der einzelnen Speicher ermitteln.

Durch Summation der Produkte aus Pixelgröße und Überflutungstiefe, erhält man für jeden Abschnitt das darin gespeicherte Volumen bei einem Hochwasser HQ_T .

Über die Gleichung

$$K_{T_1, T_2} = \frac{V_{T_2} - V_{T_1}}{HQ_{T_2} - HQ_{T_1}} \quad (\text{für } T_2 > T_1) \quad (2.23)$$

wird die Speicherkonstante K_{T_1, T_2} berechnet. Diese gibt an, wie sich das Retentionsvermögen des Speichers verändert, wenn der Durchfluss von einem HQ_{T_1} auf ein HQ_{T_2} ansteigt.

Als Ergebnis erhält man die Speicherkonstanten für jeden charakteristischen Abschnitt und die untersuchten Ereignisse. Wie bereits erwähnt, zeigt ein hoher Wert der Speicherkonstante K Flächen mit hohem Retentionsvermögen auf. Diese Bereiche tragen zur Verminderung von Hochwasserspitzen bei und sollten deshalb geschützt werden. Die Darstellung der Retentionseigenschaften in Karten hilft bei der Visualisierung wichtiger Überflutungsflächen. In der Folge kann man die gewonnene Information mit weiteren Daten, wie etwa Bebauungs- und Landnutzungsplänen, verschneiden. Mit Hilfe einer Klassifizierung der K -Werte können somit die tatsächlich nutzbaren, bebauungsfreien, natürlichen Retentionsflächen bewertet werden.

2.5. Berechnung der Wasserspiegellage für einen erhöhten Wasserstand

Mit dem HORA-System wurden zum ersten Mal Überflutungsflächen und -tiefen für alle Gewässer der ÖK500 simuliert und ausgewiesen. Dies erfolgte durch hydraulische Modellierung für zuvor bestimmte HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{200} . Wie jedoch die Ereignisse der letzten Jahre gezeigt haben, kann es vereinzelt zu wesentlich höheren Abflüssen mit einer größeren Jährlichkeit kommen (Godina et al., 2004; Angelmaier, 2006). Schimon et al., (2011) kommen in „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ zu dem Ergebnis, dass „in den letzten 30 Jahren [...] in etwa 20% der Einzugsgebiete in Österreich die Hochwässer zugenommen“ haben. Des Weiteren wird in dieser Studie eine mögliche Zunahme der Saisonalität von Hochwässern beschrieben. Diese Tendenzen müssen bei der Raumplanung in Zukunft stärker berücksichtigt werden. Bei Einzelvorhaben und bei Gefahrenzonenplänen ist dies im Zuge der Modellierung möglich. Für die Betrachtung eines gesamten Flusseinzugsgebiets ist die Modellierung jedoch sehr aufwendig und somit mit erhöhten Kosten verbunden. Für die Renaturierung und den Erhalt von natürlichen Retentionsflächen, wie es die EU-HWRL (2007) fordert, ist eine ganzheitliche Betrachtung jedoch unabdingbar.

Im Zuge dieser Arbeit wird mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse versucht, Flächen zu ermitteln, die bei einem Anstieg des Wasserspiegels über den Wert des HQ_{200} überflutet werden. Dabei geht es nicht um eine exakte hydraulische Modellierung, sondern eine Betrachtung der topographischen Daten. Aus den HORA-Daten ist die Lage des Hochwasserstandes für jeden überfluteten Punkt des Geländerrasters bekannt. Es wird nun davon ausgegangen, dass lokal ein horizontaler Wasserspiegel vorliegt, was näherungsweise für nichtgestaute Überflutungsglächen gilt.

Alle drei hier entwickelten Verfahren analysieren die nicht überfluteten Punkte der Umgebung. Dazu wird ein Randpunkt $P_i(x_i, y_i, z_i)$ gewählt und die erhöhte Wassertiefe Δh zum z-Wert addiert. Für diesen Punkt P_i werden alle Punkte $P_{k,i}$ gesucht, welche in der Umgebung r liegen und deren z_k kleiner als $z_i + \Delta h$ ist. Man legt also ein Distanz- und ein Höhenkriterium fest und untersucht, welche Punkte diese erfüllen. Dies sei anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht:

Gegeben sei der Randpunkt $P_i(x_i, y_i, z_i)$ der Überflutungsfläche mit der Höhenlage des Wasserspiegels 250,0m über Normal Null. Vereinfacht wird nun angenommen, dass der Wasserspiegel im erhöhten Hochwasserfall um 50cm steigt. Die Verfahren suchen dann die Punkte $P_k(x_k, y_k, z_k)$, welche in der näheren Umgebung r (z.B. 200m) liegen und deren Höhenlage maximal 250,5 m über Normal Null beträgt. Unter Vernachlässigung hydraulischer Fließvorgänge kann angenommen werden, dass diese Punkte beim Anstieg des Wasserstandes überflutet werden. Diese Analyse wird nun für alle Randpunkte P durchgeführt, sodass man als Ergebnis die Überflutungsfläche entlang eines Gewässers bei einem Wasseranstieg von 50cm erhält.

In den folgenden Kapiteln werden drei Varianten erläutert, mit denen diese Abschätzung der Umgebung vorgenommen werden kann. Das erste Verfahren verwendet eine Interpolation der erhöhten Wasserspiegelfläche und verschneidet diese mit dem Gelände. Das zweite analysiert schrittweise die Umgebung der Randpunkte und ermittelt die benachbarten Punkte, welche dem Höhenkriterium entsprechen. Bei der dritten Variante werden für jeden Randpunkt Entwässerungsgebiete des Geländes mit Hilfe von GIS zugewiesen und anschließend in Hinblick auf das Höhenkriterium untersucht.

2.5.1. Umgebungsanalyse mit Ordinary Kriging

Um die Sensitivitätsanalyse durchzuführen wird bei diesem Verfahren die Wasserspiegelfläche, welche als Raster vorliegt, weiter nach außen extrapoliert. Anschließend wird die neu geschaffene Wasseroberfläche um das Höhenkriterium erhöht. Verschneidet man sie nun wieder mit dem Gelände wird die neue Wasseranslagslinie gebildet und man erhält die bei einem Anstieg des

Hochwassers überfluteten Punkte.

Die neue Überflutungsfläche ist zwar nicht hydraulisch korrekt, aber je nach Wahl des Interpolationsverfahrens können für eine Sensitivitätsanalyse hinreichend genaue Ergebnisse erzielt werden. In diesem Fall wurde Ordinary Kriging zur räumlichen Interpolation gewählt, welches in Folge genauer erklärt wird.

2.5.1.1. Die Kriging-Verfahren

Kriging-Verfahren sind eine Gruppe von räumlichen Interpolationsverfahren, die nach dem südafrikanischen Geomathematiker Krige benannt sind und 1963 von Matheron erstmals definiert wurden. Es „*ist ein lineares Schätzverfahren, mit dem der Variablenwert am Schätzpunkt aus dem gewichteten Mittel der umliegenden Messwerte berechnet wird*“ (Bucher, 1994). Dazu wird die räumliche Struktur der Variable berücksichtigt, sodass die Gewichte der Messwerte möglichst optimal geschätzt werden können.

Die Kriging-Verfahren zählen zu den geostatistischen Interpolationsverfahren. Bei diesen erhält man nicht nur eine Aussage über den Schätzwert selbst, sondern auch über die Schätzvarianz und somit den Schätzfehler („Best Linear Unbiased Estimator - BLUE“) (Journel und Huijbregts, 1978). In der Folge werden die Grundzüge des einfachen Kriging, bzw. Ordinary Kriging, erklärt, wobei der Begriff Kriging in diesem Fall synonym für Ordinary Kriging verwendet wird.

Um einen Wert mit Hilfe des Kriging-Verfahrens schätzen zu können, muss die räumliche Struktur der regionalisierten Variablen bekannt sein. Die räumliche Abhängigkeit muss deshalb zuerst quantifiziert werden. Alle Messwerte, sowie die gesuchte Größe, werden hierbei als Ergebnisse von stationären Zufallsfunktionen angesehen. Voraussetzung dafür ist die Annahme einer Stationarität 1. Ordnung, heißt in diesem Fall, dass die Mittelwerte etwa gleich groß sein sollen und somit der mittlere Fehler möglichst gegen 0 geht. Auch die Varianz ist nicht von der Lage der Messwerte abhängig, sondern von deren Abstand zueinander. Es gelten daher folgende Annahmen (Bucher, 1994):

$$E(Z(x)) = m \tag{2.24}$$

$$E[(Z(x+h) - m) \cdot (Z(x) - m)] = K(h) \tag{2.25}$$

Und für $h = 0$:

$$E[(Z(x) - m)^2] = \text{Var}(Z(x)) = K(0) \quad (2.26)$$

wobei:

E	Erwartungswert
m	Mittelwert
h	Distanz
Z(x)	Zufallsfunktion
K(h)	Kovarianz von h

2.5.1.2. Interpolation

Die räumliche Struktur der Daten wird mit Hilfe von Semivariogrammen, oftmals nur als Variogramm bezeichnet, bestimmt. Hierfür wird zunächst ein empirisches Variogramm der Messwerte erstellt und anschließend eine stetige Funktion, ein sogenanntes theoretisches Variogramm angepasst. Für eine genaue Beschreibung der Vorgehensweise sei hier auf Journel und Huijbregts, 1978 sowie die Anwendung bei Bucher, 1994 verwiesen.

Die Interpolation erfolgt bei dieser Untersuchung direkt im GIS-Programm. Die extrapolierte Überflutungsfläche kann nun mit dem Gelände verschnitten werden, sodass die neue Wasseranschlagslinie entsteht. Zur Darstellung der zusätzlichen Überflutungspotentiale wird die Differenz der neuen und der alten Überschwemmungsfläche gebildet. Die Darstellung kann mittels Flächen oder als Punktwolke geschehen.

2.5.1.3. Beurteilung der Kriging-Interpolation

Wie bereits erwähnt, wird beim Ordinary Kriging eine schwache Stationarität (Stationarität 2. Ordnung) vorausgesetzt, somit sollte der Erwartungswert im Untersuchungsgebiet konstant sein. Grundsätzlich ist dies im Fall der interpolierten Wasserspiegeloberfläche nicht gegeben, da diese ein natürliches Gefälle aufweist. Dies bedeutet, dass hier ein Trend vorliegt und das Verfahren in den Teilgebieten zu systematischen Fehleinschätzungen führen kann (Bucher, 1994). Die Anwendung von External Drift Kriging wäre hier sinnvoll.

Für die Anwendung von Ordinary Kriging steht in ArcGIS jedoch ein sehr einfaches Tool zur Verfügung. Die Interpolation wird daher trotz der Einschränkungen verwendet, da somit eine schnelle Abschätzung der zusätzlichen Überflutungsfläche möglich ist.

2.5.2. Schrittweiser-Puffer-Verfahren

Bei diesem Verfahren wird von den Randpunkten der HQ_{200} -Überflutungsfläche ausgegangen und deren benachbarte Punkte mit Hilfe einer Umgebungsanalyse untersucht. Die Punkte sind aus einem Raster mit der Pixelgröße 10m erstellt. Jeder Punkt hat demnach acht benachbarte Punkte (Abb. 5), die teilweise im Überflutungsgebiet liegen und teilweise außerhalb.

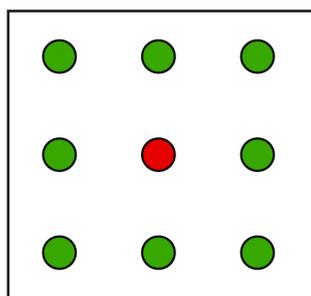


Abb. 5 Untersuchungspunkt (rot) und benachbarte Punkte (grün)

Im ersten Schritt dieses Verfahrens werden nur die überfluteten Punkte in unmittelbarer Nähe untersucht. Um diese auszuwählen wird um jeden Randpunkt ein Kreispuffer mit dem Radius des größten Abstandes, welcher der schrägen Seite entspricht, gelegt. Dieser lässt sich mit Hilfe des Satz von Pythagoras berechnen:

$$r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (2.27)$$

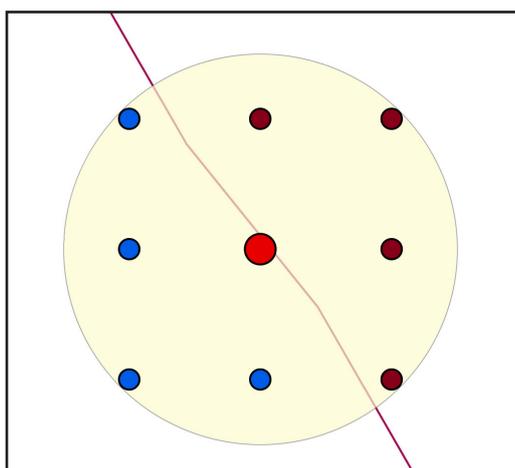


Abb. 6 Darstellung des Untersuchungspunkt (rot), des Kreispuffers (gelb), der überfluteten Punkte (blau), der Wasseranschlagslinie (rote Linie) und der Umgebungspunkte (dunkelrot)

Die selektierten Punkte werden dann auf das Höhenkriterium mit Hilfe eines erstellten Abfrage-Programms untersucht. Dieses geht wie in Kapitel 2.5 vor. Zuerst werden die Differenzen Δx und Δy zwischen dem Randpunkt P_i und den Umgebungspunkten P_k gebildet und alle Punkte

ausgewählt, welche dem Distanzkriterium entsprechen. Das Distanzkriterium selber wird mit dem Pufferradius festgelegt. Anschließend wird die Differenz Δz der Höhenlage z des Punktes P_k und des Wasserspiegels am Punkt P_i gebildet. Ist dieser Wert kleiner als das Höhenkriterium, so wird der Punkt P_k in die Ergebnistabelle aufgenommen.

Das Abfrage-Programm „Sensitivitätsanalyse32.exe“ ist wie folgt aufgebaut:

4. Festlegung des Höhenkriteriums (value1) und des Distanzkriteriums (value2)
5. Einlesen der Tabelle der Randpunkte „hq200“
6. Einlesen der Tabelle der Umgebungspunkte „Umgebung“
7. Berechnung der Kriteriumswerte:
 - $\text{deltaX} = \text{hq200.PointX} - \text{Umgebung.PointX}$
 - $\text{deltaY} = \text{hq200.PointY} - \text{Umgebung.PointY}$
 - $\text{deltaZ} = \text{Umgebung.GridCode} - \text{hq200.GridCode}$
 - $\text{entfernung} = \text{Wurzel}(\text{deltaX}^2 + \text{deltaY}^2)$
8. Falls die berechneten Werte unter den vorgegebenen liegen wird der Eintrag in die Tabelle „Ergebnis“ übernommen ($\text{deltaZ} < \text{value1} \ \&\& \ \text{entfernung} < \text{value2}$)

Alle Punkte, die dabei nicht dem Höhenkriterium entsprechen, werden für die weitere Untersuchung ausgeschlossen. Dies ist wichtig, da sie beim nächsten Schritt, der Erhöhung des Untersuchungsradius, mit Punkten flussauf verglichen werden und somit zu einer Verzerrung des Ergebnisses führen würden.

Der Puffer wird nun um eine Pixelbreite, in diesem Fall um 10 Meter erweitert. Um die Datenmenge zu Verringern, werden die bereits untersuchten Punkte ausgeschlossen. Dazu wird von dem nächsten Puffer der vorherige abgezogen, sodass aus dem Kreis ein Ring entsteht (Abb. 7). Somit werden nur die Punkte im Bereich $[r1;r2]$ selektiert und bei der Untersuchung mit dem Programm verwendet.

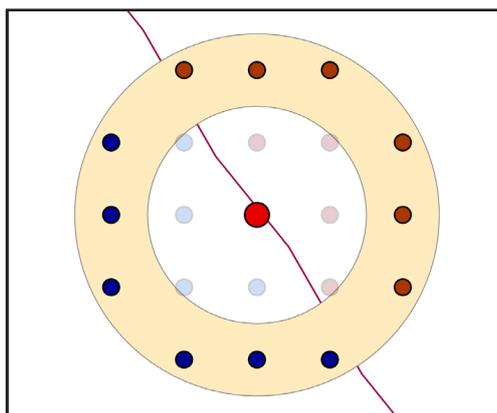


Abb. 7 Darstellung des Untersuchungspunkt (rot), des Ringpuffers (gelb), der überfluteten Punkte (blau), der Wasseranschlagslinie (rote Linie) und der Umgebungspunkte (dunkelrot)

Das Ergebnis ist eine Tabelle deren Punkte einen Abstand zwischen r_1 und r_2 vom Randpunkt haben und dem Höhenkriterium entsprechen. Diese Tabelle kann nun mit der ersten Ergebnistabelle verbunden werden.

In weiterer Folge wird der Puffer schrittweise erhöht und das beschriebene Prozedere ausgeführt bis die gewünschte maximale Untersuchungsdistanz erreicht ist. Bei der Anwendung dieses Verfahrens im ArcGIS wird zwar um jeden Punkt ein eigener Pufferkreis gebildet, jedoch werden diese im Programm gleich miteinander verschnitten, sodass Pufferbereiche parallel zur Wasseranschlagslinie entstehen. So kann die Untersuchung des Höhenkriteriums für alle Punkte gleichzeitig erfolgen. Die Ergebnisse liegen als Tabellen vor. Sie können in das GIS-Programm eingelesen und als Punktwolke oder Fläche dargestellt werden.

2.5.3. Untereinzugsgebietsverfahren

Schon bei der Berechnung der Speicherkonstanten wird mit einem GIS-Tool zur Bestimmung der Untereinzugsgebiete gearbeitet, um die überfluteten Pixel dem jeweiligen Speicher zuzuordnen. Auch bei diesem Verfahren der Sensitivitätsanalyse wird darauf zurückgegriffen, allerdings wird hier das nicht überflutete Gelände untersucht. Als Gebietsauslass wird in diesem Fall der Randpunkt der Überflutungsfläche definiert und alle Punkte des Geländes ermittelt, welche zu diesem Punkt hin entwässern. Dazu ermittelt das Programm zuerst die Fließrichtung von jeder Zelle zur jeweiligen Nachbarzelle mit der steilsten Neigung. Anschließend wird der Fließweg des Wassers verbunden und somit die Teileinzugsgebiete, wie in Abb. 8 dargestellt, definiert.

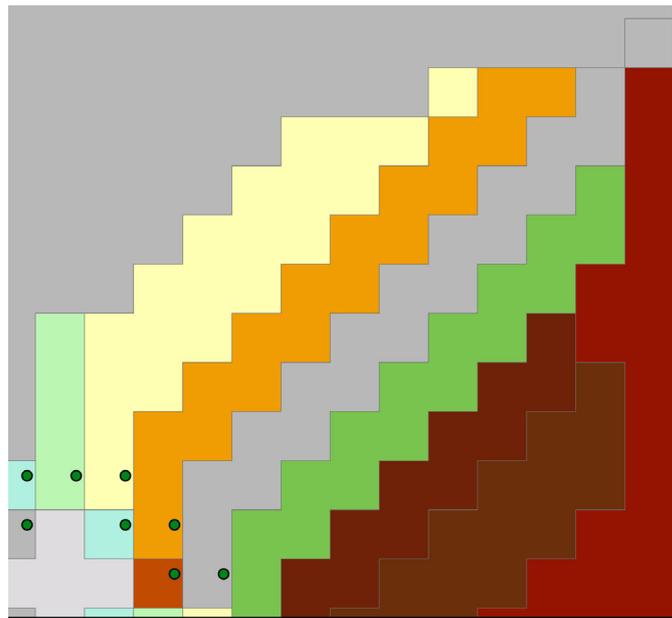


Abb. 8 Randpunkte des Überflutungsgebiets (grüne Punkte) und deren zugehörige Teileinzugsgebiete (Farbige Flächen) für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebiets

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Punkte des Teileinzugsgebiets bei einem Wasserspiegelanstieg auch vom Gebietsauslass her überflutet werden. Wie bei den vorherigen Verfahren werden auch hier Einflüsse der Strömung vernachlässigt. Vereinfacht lässt sich sagen, dass sich der Wasserspiegel auch im gesamten Teileinzugsgebiet des untersuchten Punktes einstellt, wenn der Wasserspiegel im Randpunkt von 250,0m über Normal Null auf 250,5m über Normal Null ansteigt. Liegt der Geländepunkt unter dieser neuen Wasserspiegellage, wird er überflutet; liegt er darüber, befindet er sich außerhalb der neuen Überflutungsfläche. Diese lässt sich durch Verbinden der überfluteten Punkte darstellen.

3. Ausgangsbasis und Fallstudie

Für das Einzugsgebiet der Rodl in Oberösterreich wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Retentionswirkung von Überflutungsflächen genauer erläutert. Es wird dabei zuerst die Datengrundlage und deren Qualität betrachtet, bevor die einzelnen Schritte zur Berechnung der Speicherkonstante in ArcGIS dargelegt werden. Anschließend wird die Umsetzung der Verfahren der Sensitivitätsanalyse für das Einzugsgebiet gezeigt.

3.1. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet der Fallstudie ist die Rodl in Oberösterreich. Die Große Rodl, der Hauptarm, entspringt am Sternstein, einem Berg der Böhmisches Masse nördlich von Bad Leonfelden im Bezirk Urfahr-Umgebung. Im weiteren Verlauf kommen mehrere kleine Zubringer hinzu. In Rottenegg, einem Ortsteil der Gemeinde Sankt Gotthard im Mühlkreis, fließt sie mit der kleinen Rodl zusammen, bevor sie westlich von Ottensheim in die Donau mündet.

Während des großen Donauhochwassers im August 2002 gab es auch im Einzugsgebiet der Großen Rodl Extremniederschläge mit bis zu 240mm Niederschlag in 24 Stunden. Dies ließ den Wasserspiegel mehrerer Bäche und Flüsse drastisch ansteigen. In weiterer Folge kam es zu 2 Hochwasserwellen am 08. und am 12. August, die unter anderem im Gemeindegebiet Walding immensen Schaden (8,4 Mio €) anrichteten (Ansober, 2012a). In Abb. 9 werden Bilder des Ereignisses 2002 gezeigt.



Abb. 9 Eindrücke des Hochwassers im Einzugsgebiet der Rodl (Quellen: Pichler, 2010; Regionews, 2012; Meinbezirk.at, 2012; ORF OÖ, 2012)

Bereits kurz nach diesem Ereignis wurde mit der Planung und der Umsetzung von weitreichenden Hochwasserschutzmaßnahmen mit einem Gesamtaufwand von 5,71 Mio. € begonnen (Anschober, 2012a). Es wurden sowohl Gerinneaufweitungen durchgeführt als auch Dammelemente installiert (Anschober, 2012b).

Das Ausmaß und die Schäden der Katastrophe, sowie die Aufbringungen zur Erhöhung des Hochwasserschutzes verdeutlichen wie wichtig der Hochwasserschutz ist. Durch angepasste Landnutzung, Flächenwidmungspläne und Retentionsraumkataster können natürliche Überschwemmungsgebiete als Retentionsräume genutzt werden (Neuhold, 2012). Die Ermittlung der Wirksamkeit der Überflutungsflächen zur Hochwasserretention wird mit den entwickelten Werkzeugen für das Einzugsgebiet der Rodl durchgeführt.

3.2. Datenbasis

Wie in Kapitel 2.3.3 dargelegt, werden für die Berechnung der Speicherkonstante K mit dem Kalinin-Miljukov-Verfahren folgende Informationen benötigt::

- Einzugsgebiet mit exaktem Gewässerverlauf
- Digitales Geländemodell
- Schlüsselkurven von Bezugspegeln
- Durchflüsse für jeden Gewässerabschnitt
- Volumensänderungen für die verschiedenen Hochwasserabflüsse

Der Großteil dieser Daten kann aus dem HORA-System des Lebensministeriums entnommen werden. Zusätzlich stehen Pegelschlüssel zweier Pegelmessstellen im Bereich der Großen Rodl, sowie der digitale Flusslauf der ÖK50 des BEV zur Verfügung.

3.2.1. Digitales Geländemodell (DGM)

Das DGM liegt in einer Auflösung von 10 x 10 Metern für das gesamte Einzugsgebiet der Rodl vor. Die Daten wurden im Zuge des Projektes „Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten“ vom Land Oberösterreich zur Verfügung gestellt. Es handelt sich hierbei um das digitale Geländemodell des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesens (BEV), welches über die Datenerfassung folgendes erläutert:

„Die Messungen werden in einem fixen Raster von 50 Metern aus Farbbildern mit einem mittleren Maßstab von 1:15 000 durchgeführt. Zusätzlich werden die Höhendaten durch markante Geländestrukturen verdichtet. Aus den Originalmessungen des digitalen Geländehöhenmodells wird der Raster durch ein mehrstufiges Interpolationsverfahren, unter Beibehaltung der Strukturinformation, auf 10 Meter durch Interpolation verdichtet.“ (BEV, s.a.)

Die Höhengenaugigkeit ist von verschiedenen Faktoren wie Bodenbedeckung und Erfassungsmethode abhängig. Die mittleren Fehler sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1 Mittlerer Fehler der Höhengenaugigkeit des DGM (Quelle: BEV, s.a.)

Bodenbedeckung (Geländeform)	alte Profilmessungen	neue Rastermessung mit Strukturinformationen
Siedlungsgebiete, Agrarflächen, versiegelte Flächen, Gewässer, etc.	±2 m - ±5 m	±1 m
Ödland, Gletscher	±5 m - ±10 m	±5 m
Wald, Hochgebirge (Fels)	±10 m - ±25 m	±10 m

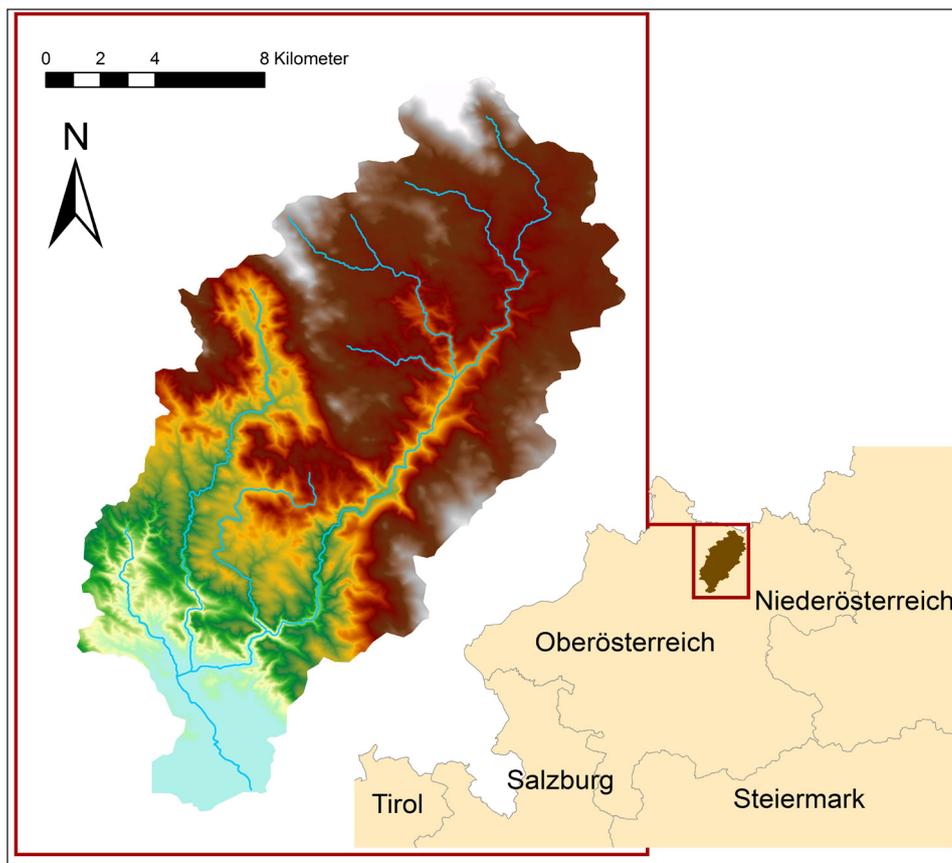


Abb. 10 Darstellung des DGM mit Flusslauf und Lage des Untersuchungsgebiets in Österreich

3.2.2. HORA - Daten

HORA steht für HOchwasser Risiko zonierung Austria und bezeichnet ein vom Lebensministerium und dem Verband der Versicherungsunternehmen Österreich (VVO) entwickeltes GIS-Programm zur Darstellung von Hochwässern und Naturgefahren. Es entstand durch eine Public Private Partnership in Folge des Hochwassers 2002 und wurde erstmals am 01.06.2006 implementiert. Die Informationen dienen hauptsächlich zur Aufklärung und Bewusstseinsbildung für Naturgefahren in der Bevölkerung und sind aus diesem Grund auch unter <http://www.hochwasserrisiko.at/> frei zugänglich. Weitere Ziele, welche auch im Synthesebericht Floodrisk I (Habersack et al., 2004) definiert wurden, sind das Aufzeigen der Grenzen des Schutzes und der Verantwortung der Beteiligten, die Anpassung der Nutzung gefährdeter Räume, sowie die Förderung der Zusammenarbeit zwischen Staat, Versicherungen und Privaten.

Das Hauptziel des Projektes HORA war die Berechnung und Darstellung von Überschwemmungsgebieten für Hochwässer mit niedriger (HQ_{200}), mittlerer (HQ_{100}) und hoher (HQ_{30}) Wahrscheinlichkeit. Diese Daten wurden für die ca. 26.000km², des im Maßstab 1:500.000

erfassten, österreichischen Flussnetz (ÖK500) ermittelt (BMLFUW, 2011).

Zuerst wurden hierfür Abflüsse der verschiedenen Hochwässer an den Pegeln ermittelt und anschließend auf das gesamte Flussnetz übertragen. Durch Berücksichtigung bereits vorhandener Untersuchungen, Verwendung verschiedener Regionalisierungsverfahren und zusätzlicher manueller Einschätzung von Sachbearbeitern konnten gute und einheitliche Ergebnisse erzielt werden (BMLFUW, 2011).

Die tatsächliche Berechnung der Überflutungstiefen erfolgte mit Hilfe einer hydraulischen Modellierung. Dazu wurden in regelmäßigen Abständen Querprofile aus dem DGM erzeugt. Anschließend sind die Wasserspiegellagen in Abhängigkeit von Talprofil, Längsgefälle und Rauigkeitsbeiwert flussabschnittsweise berechnet worden. Durch Übertragen der Wasserspiegellagen in das DGM wurde die Überschwemmungsfläche ermittelt (Hlatky und Stiefelmeyer, 2008).

Folgende Daten wurden vom BMFLUW bereitgestellt und für die Untersuchungen verwendet:

Hochwasserabflüsse:

Für alle Knoten des Gewässernetzes, also für Punkte, in denen sich der Abfluss aufgrund von Zuflüssen ändert, wurden bei der Erstellung von HORA die Durchflüsse für die untersuchten Hochwässer HQ_{30} , HQ_{100} und HQ_{200} ermittelt. Für Pegelstellen sind diese aus den vorhandenen Messdaten berechnet worden, für Knoten ohne Pegel wurden die Eingangswerte regionalisiert und daraufhin für die Knoten geschätzt. Für die Retentionsanalyse der Rodl wurden jeweils die Abflüsse am Anfang jedes Gewässerabschnittes verwendet („HQRegA“).

Überflutungsflächen:

Als Polygone dargestellt, sind diese für alle Hochwässer vorhanden. Sie zeigen die exakte Lage der modellierten Wasseranschlagslinie bei einem entsprechenden Abfluss.

Überflutungstiefen:

Diese liegen als Raster der Wassertiefen in Dezimeter für die berechneten Hochwässer vor. Die Rastergröße ist mit 10 x 10 Metern die gleiche wie die des Geländemodells.

Bei diesen Rastern ist der Wert 0 durch den Wert 255 ersetzt, um eine graphische Darstellung zu erleichtern. Für die weitere Verwendung ist dies jedoch hinderlich, sodass durch eine neue Klassifizierung die Überflutungstiefe 0 wieder als solche definiert wird (Abb. 11).

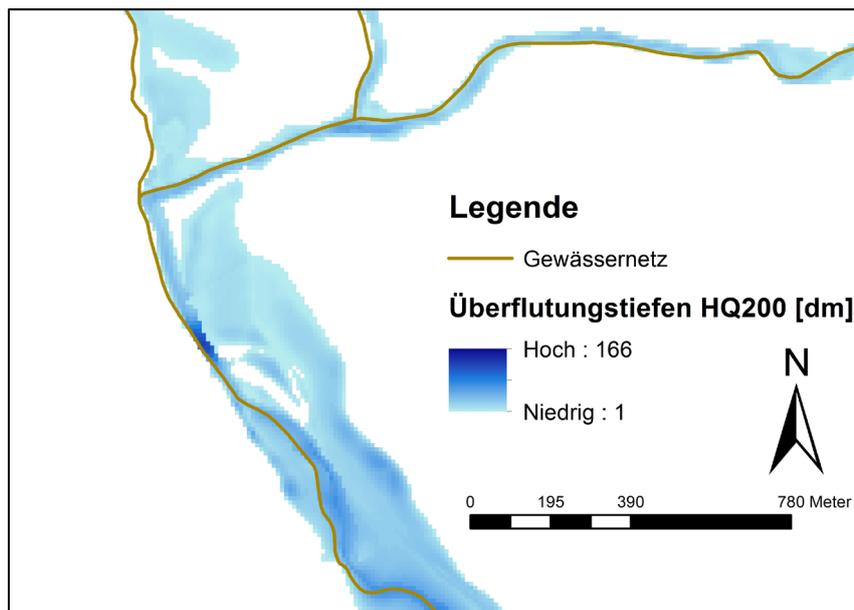


Abb. 11 Überflutungstiefen und Gewässerverlauf in einem ausgewählten Bereich der Rodl

3.2.3. Gewässerverlauf (Grundriss)

Der Flusslauf liegt mit einer Lagegenauigkeit im Maßstab 1:50.000 (ÖK50) vor. Die Flusssichte, welche angibt welche Flüsse dargestellt werden, entspricht der ÖK500. Diese Daten wurden ebenfalls vom BMLFUW bereitgestellt.

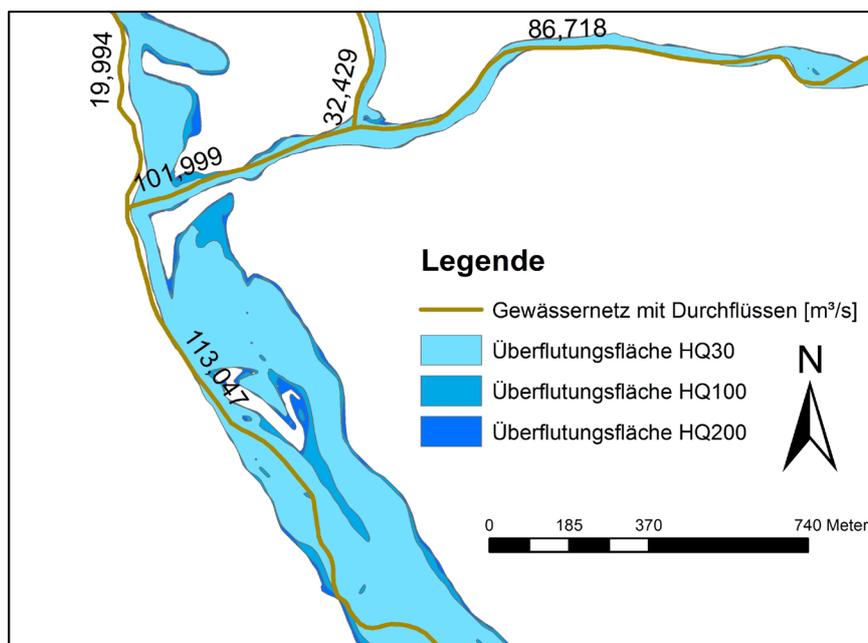


Abb. 12 Ausschnitt aus dem Flusslauf und den Überflutungsflächen im Einzugsgebiet der Rodl; die Durchflüsse (HQ30RegA) wurden vom HORA auf das Gewässernetz übertragen

3.2.4. Pegelschlüssel Große Rodl

Zur Berechnung der charakteristischen Länge werden Wasserstands-Abfluss-Beziehungen des Flusses benötigt (siehe Gleichung (2.14)). An der Großen Rodl befinden sich zwei Pegelmessstellen des Hydrographischen Dienstes Oberösterreichs (Abb. 13):

- Rottenegg
- Zwettl an der Rodl

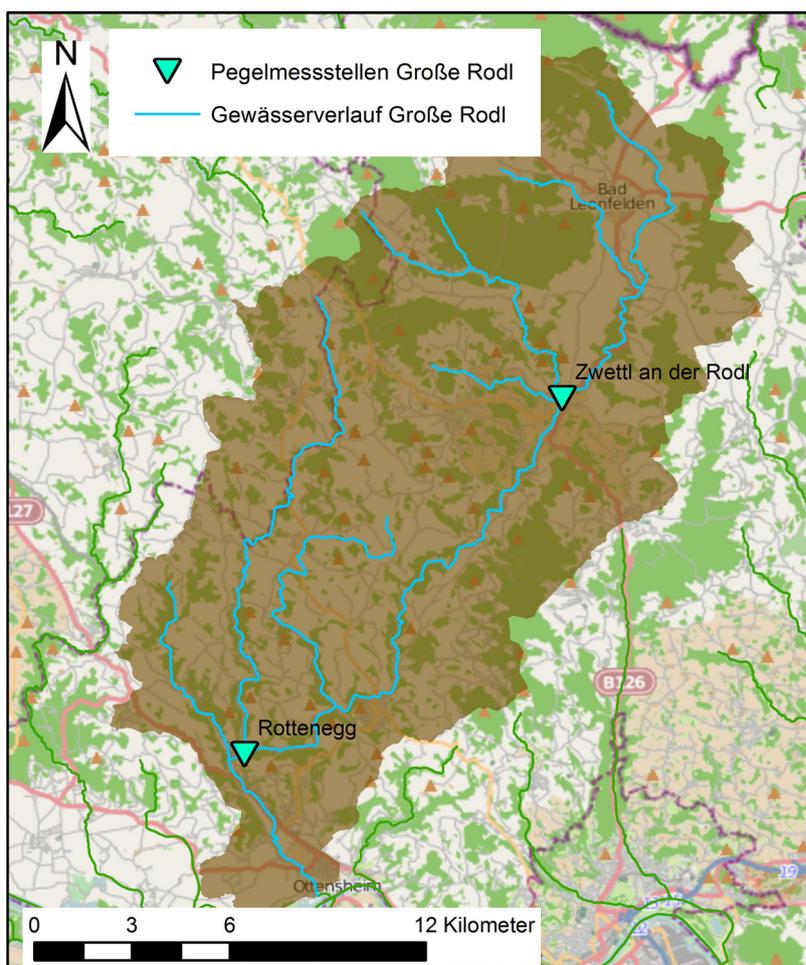


Abb. 13 Lage der Pegelmessstellen an der Großen Rodl

Abb. 14 und Abb. 15 zeigen die graphische Darstellung der Schlüsselkurven der Messpegel, welche in tabellarischer Form bereit gestellt wurden (Anhang 1 und Anhang 2):

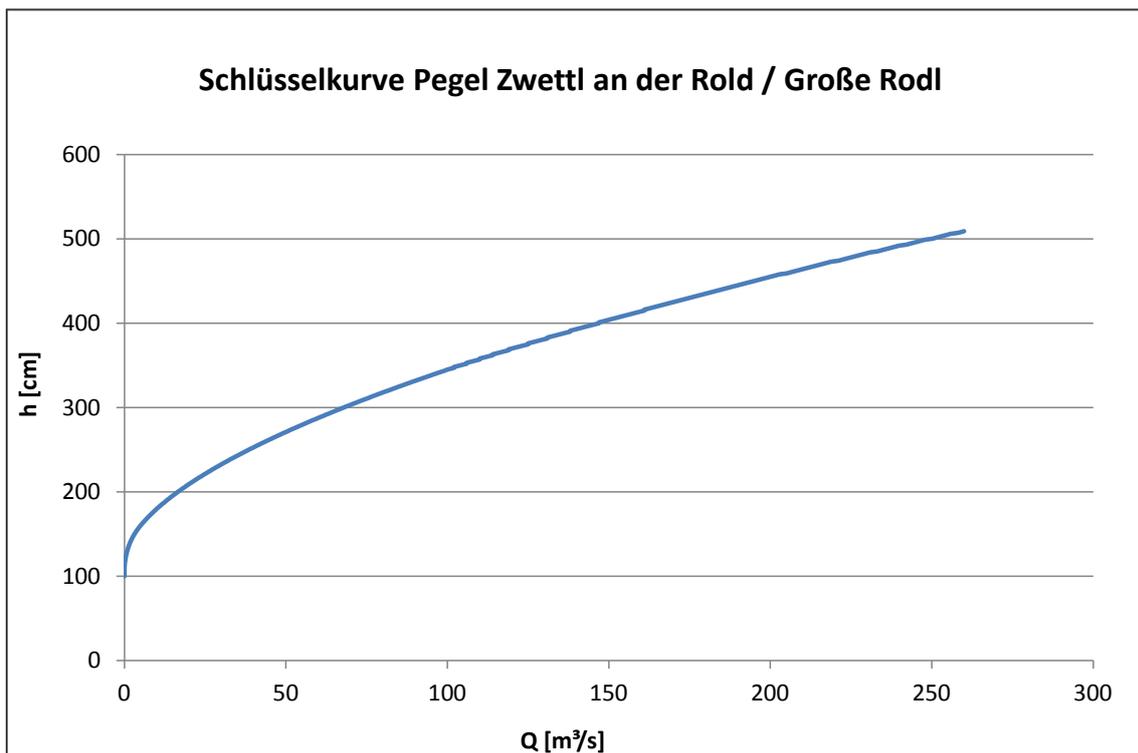


Abb. 14 Schlüsselkurve Zettl an der Rodl / Große Rodl

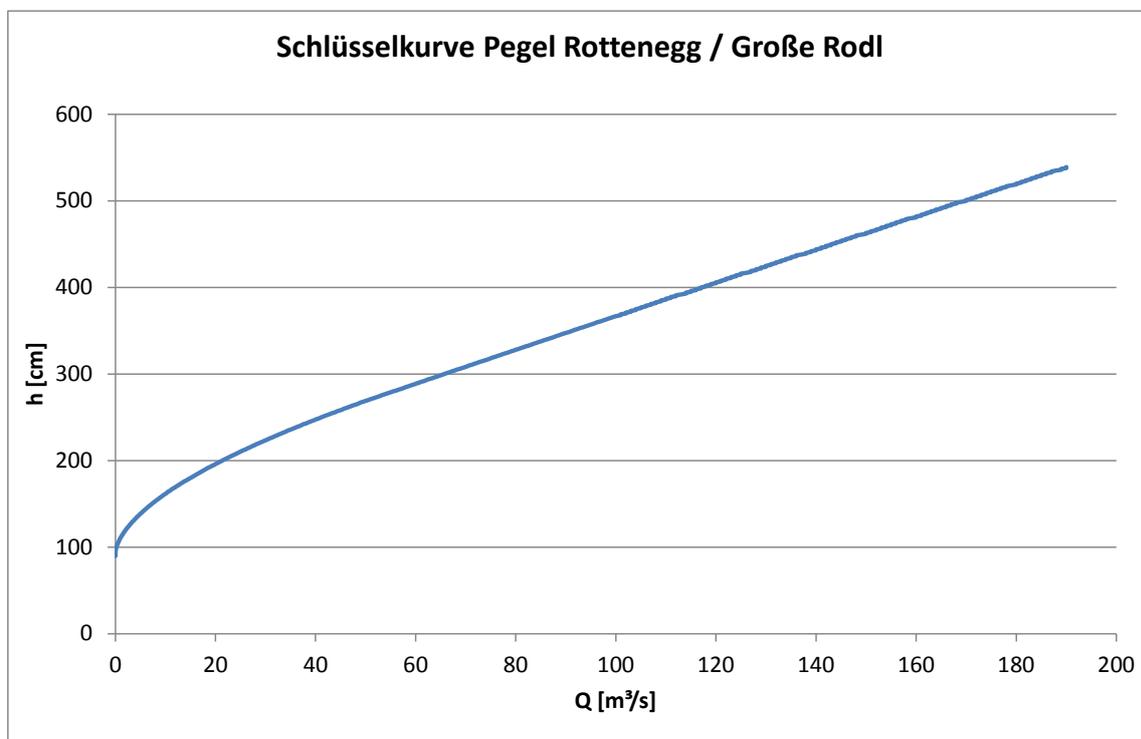


Abb. 15 Schlüsselkurve Rottenegg / Große Rodl

3.2.5. Gütebeurteilung der Eingangsdaten

Die Unsicherheiten bei der Erstellung des HORA-Systems sind ausführlich durch das BMLFUW (2011) beschrieben. Folgende Einschränkungen der HORA-Daten sind auch für die Untersuchung in diesem Projekt hervorzuheben:

- Die Genauigkeit der Hochwasserabflusswerte sind nicht als Bemessungswerte für lokale Fragestellungen geeignet, da beim HORA großmaßstäbliche Betrachtungen im Vordergrund stehen. Es wurden die wahrscheinlichsten Werte berechnet.
- Da die hydraulischen Berechnungen für ganz Österreich durchgeführt wurden, mussten verschiedene Automatismen verwendet werden um den Zeit- und Kostenaufwand einzuschränken. Die Genauigkeit, die sonst bei hydraulischen Modellierungen vorliegt, wird daher nicht erreicht.
- Die Genauigkeit des DGM ist durch die Rasterauflösung von 10 x 10 m eingeschränkt. Die Topographie des Flusslaufes konnte nur teilweise erfasst werden.
- „Die Wirkung vorhandener Hochwasserschutzeinrichtungen wurde bei der Berechnung (in der Regel) nicht erfasst, obwohl diese im Einzelfall die Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete stark beeinflussen können“ (BMLFUW, 2011).
- Die Berechnung der Wasserspiegellagen wurde eindimensional durchgeführt, die Geschwindigkeitskomponenten quer zur Fließrichtung wurden demnach vernachlässigt.

3.3. Bestimmung der charakteristischen Länge im EZG der Rodl

Die Flussgebietsgrenzen, der Gewässerverlauf und das Digitale Geländemodell (DGM) sind für das Untersuchungsgebiet in das GIS-Programm zu importieren. Mit diesen Daten kann nun für die Gewässerabschnitte der Bezugspegel das Gefälle I bestimmt werden, welches zur Berechnung der charakteristischen Länge mit Gleichung (2.14) benötigt wird. Hierzu wird zuerst im Bereich der Messstellen für zwei Punkte des Flusses die Höhelänge aus dem GIS extrahiert. Der Höhenunterschied wird anschließend durch die Länge des Flusslaufes zwischen den zwei Punkten dividiert, sodass man das Gefälle erhält.

Für den Pegel Zwettl an der Rodl werden zwei unterschiedlich lange Abschnitte L mit der Anfangshöhe H_0 und der Endhöhe H_u aus dem GIS extrahiert und das Gefälle I berechnet. Dadurch soll die Sensitivität der charakteristischen Länge bezüglich des Gefälles untersucht werden.

Tab. 2 Berechnung des Gefälles für den Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl

Abschnitt 1:	L =	483,6	m	I = 0,68%
	Ho =	614,2	m ü.NN	
	Hu =	610,9	m ü.NN	
Abschnitt 2:	L =	4210	m	I = 1,10%
	Ho =	657,3	m ü.NN	
	Hu =	610,9	m ü.NN	

Bei der Berechnung der charakteristischen Längen zu jedem Durchfluss Q wird wie im Berechnungsbeispiel in Rosemann und Vedral (1970) vorgegangen. Die Ergebnisse für die zwei Gefällevarianten am Pegel Zwettl sind in Tab. 3 und Tab. 4 dargestellt.

Tab. 3 Berechnung der charakteristischen Länge am Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl mit dem Gefälle des Abschnitt 1

Q [m³/s]	h [cm]	I	Qst,M	ΔQst	Δhst [m]	Qst,m/J [10³ m³/s]	Δhst/ΔQst	Li [m]
5	160,2	0,68%						
			7,5	5	0,2	1,1	0,0396	43,72
10	180,0	0,68%	15	10	0,3	2,2	0,0293	64,52
20	209,3	0,68%	30	20	0,4	4,4	0,0218	96,07
40	252,8	0,68%	50	20	0,3	7,4	0,0174	128,19
60	287,7	0,68%	70	20	0,3	10,3	0,0151	155,39
80	317,9	0,68%	90	20	0,3	13,2	0,0136	179,62
100	345,0	0,68%	110	20	0,3	16,2	0,0125	202,21
120	370,0	0,68%	130	20	0,2	19,1	0,0115	219,85
140	393,0	0,68%	150	20	0,2	22,1	0,0105	231,62
160	414,0	0,68%	170	20	0,2	25,0	0,0105	262,50
180	435,0	0,68%	190	20	0,2	27,9	0,0100	279,41
200	455,0	0,68%	210	20	0,2	30,9	0,0093	285,66
220	473,5	0,68%	230	20	0,2	33,8	0,0093	312,87
240	492,0	0,68%	250	20	0,2	36,8	0,0085	312,50
260	509,0	0,68%						
							Lm =	198,15 m

Tab. 4 Berechnung der charakteristischen Länge am Pegel Zwettl an der Rodl / Große Rodl mit dem Gefälle des Abschnitt 2

Q [m³/s]	h [cm]	I	Qst,M	ΔQst	Δhst [m]	Qst,m/J [10³ m³/s]	Δhst/ΔQst	Li [m]
5	160,2	1,10%	7,5	5	0,2	0,7	0,0396	27,02
10	180,0	1,10%	15	10	0,3	1,4	0,0293	39,89
20	209,3	1,10%	30	20	0,4	2,7	0,0218	59,39
40	252,8	1,10%	50	20	0,3	4,5	0,0174	79,24
60	287,7	1,10%	70	20	0,3	6,4	0,0151	96,06
80	317,9	1,10%	90	20	0,3	8,2	0,0136	111,04
100	345,0	1,10%	110	20	0,3	10,0	0,0125	125,00
120	370,0	1,10%	130	20	0,2	11,8	0,0115	135,91
140	393,0	1,10%	150	20	0,2	13,6	0,0105	143,18
160	414,0	1,10%	170	20	0,2	15,5	0,0105	162,27
180	435,0	1,10%	190	20	0,2	17,3	0,0100	172,73
200	455,0	1,10%	210	20	0,2	19,1	0,0093	176,59
220	473,5	1,10%	230	20	0,2	20,9	0,0093	193,41
240	492,0	1,10%	250	20	0,2	22,7	0,0085	193,18
260	509,0	1,10%						
							Lm =	122,49 m

Im Bereich des Pegels Rottenegg ergibt die Variation der Abschnitte durchgehend Gefälle in der Größenordnung des in Tab. 5 dargestellten Wertes. Aus diesem Grund wird die Berechnung der charakteristischen Länge nur für dieses Gefälle durchgeführt (Tab. 6).

Tab. 5 Berechnung des Gefälles für den Pegel Rottenegg / Große Rodl

L =	701 m	
Ho =	274,0 m ü.NN	I = 0,64%
Hu =	269,5 m ü.NN	

Tab. 6 Berechnung der charakteristischen Länge am Pegel Rottenegg / Große Rodl

Q [m ³ /s]	h [cm]	I	Qst,M	ΔQst	Δhst [m]	Qst,m/J [10 ³ m ³ /s]	Δhst/ΔQst	Li [m]
5	138,6	0,64%	7,5	5	0,2	1,2	0,0461	54,01
10	161,7	0,64%	15	10	0,3	2,3	0,0343	80,50
20	196,0	0,64%	30	20	0,5	4,7	0,0258	120,70
40	247,5	0,64%	50	20	0,4	7,8	0,0207	161,33
60	288,8	0,64%	70	20	0,4	10,9	0,0196	214,38
80	328,0	0,64%	90	20	0,4	14,1	0,0195	274,22
100	367,0	0,64%	110	20	0,4	17,2	0,0195	335,16
120	406,0	0,64%	130	20	0,4	20,3	0,0190	385,94
140	444,0	0,64%	150	20	0,4	23,4	0,0190	445,31
160	482,0	0,64%	170	20	0,4	26,6	0,0190	504,69
180	520,0	0,64%	185	10	0,2	28,9	0,0190	549,22
190	539,0	0,64%						
Lm =								284,13 m

Anhand der berechneten Daten wird ersichtlich, dass auch bei größerem Gefälle (Abschnitt 2 Zwettl) die charakteristische Länge größer 100 Meter ist. Um der Einfachheit willen wird L daher mit 100m gewählt und die Gewässerabschnitte werden in Teilabschnitte mit dieser Länge unterteilt. Bei Zusammenflüssen bleibt ein Restabschnitt übrig. Da dieser jedoch unter 100m lang ist, entsteht kein Problem für das weitere Vorgehen.

3.4. Ermittlung des Retentionsvermögens

Zur Berechnung der Speicherkonstante als Parameter des Retentionsvermögens werden, nach Aufbereitung aller Daten, die Einzelspeicher gebildet. Anschließend erfolgt die Zuordnung der Überflutungsdaten und die Berechnung des K-Wert. In Anhang 3 sind alle ArcGIS Befehle und die einzelnen Eingangsparameter angeführt.

3.4.1. Aufbereitung der Daten und Preprocessing

Das Gewässernetz liegt vorerst nur als zweidimensionales Objekt vor. Die Einstellungen müssen deshalb so verändert werden, dass eine Zuordnung von Höhendaten, sogenannte Z-Werte, möglich

ist. Anschließend können die Informationen des DGMs im GIS auf den Flusslauf übertragen werden, sodass man ein dreidimensionales Objekt erhält.

Die Hochwasserabflüsse liegen in Form eines sehr vereinfachten und ungenauen Flussnetzes vor. Um die Daten auf das tatsächliche Fließgewässernetz zu übertragen, sind die End- und Anfangspunkte der HORA-Topologie den Knoten des Flusslaufes anzupassen. Da es für diese Zuordnung keinen zufriedenstellenden Befehl gibt, muss die Bearbeitung für jeden Punkt einzeln durchgeführt werden. Es kann anschließend eine räumliche Verbindung der Daten durchgeführt und somit die Abflussdaten in die Attribut-Tabelle des Gewässernetzes übernommen werden.

Laut Djokic (2008) müssen räumlichen Daten zur Verwendung für hydrologische Untersuchungen zuerst einem sogenannten „Preprocessing“ unterworfen werden. Dabei werden ein hydrologisch korrektes DGM sowie Fließrichtungs- und Abflussakkumulationsraster erstellt. Im ArcGIS steht hierfür das Zusatzpaket „ArcHydro Tools“ zur Verfügung, dessen Hilfeverzeichnis auch eine genaue Beschreibung der Werkzeuge beinhaltet. Bei der Untersuchung in diesem Projekt wird wie folgt vorgegangen:

1. **DEM Reconditioning** (Anpassung des DGM an den Flussverlauf, wodurch eine eindeutige Fließrichtung gewährleistet wird)
2. **Fill Sinks** (Entfernung aller Senken im Untersuchungsgebiet)
3. **Flow Direction** (Berechnung der Fließrichtung jeder Zelle)
4. **Flow Accumulation** (Aufsummierung der Zellen flussauf jeder Zelle, sodass der Fließweg erkennbar wird)

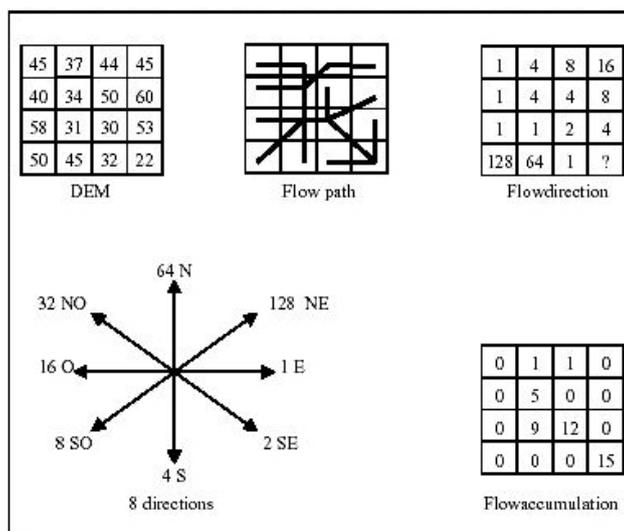


Abb. 16 Flow Direction und Flow Accumulation in ArcGIS (Quelle: ArcHydro Tools Help)

Um die charakteristischen Abschnitte zu generieren und anschließend deren Einzugsgebiete zu bestimmen, werden Punkte in Abständen von 100 Metern entlang der Gewässerabschnitte erstellt. Hierzu wird eine neue Feature-Class im GIS erzeugt und im Bearbeitungsmodus das Werkzeug „Punkte konstruieren“ verwendet.

Zusätzlich werden am Ende jedes Gewässerabschnittes Punkte benötigt. Diese können nicht die Knotenpunkte bei den Zusammenflüssen sein, da sonst keine eindeutige Zuordnung möglich ist. Deshalb werden Punkte zwischen 10 und 25 Metern flussauf der Knoten konstruiert und verwendet. Beide Punktelayer werden zusammengefasst und müssen in der Mitte der Pixel des Flow Accumulation Rasters liegen.

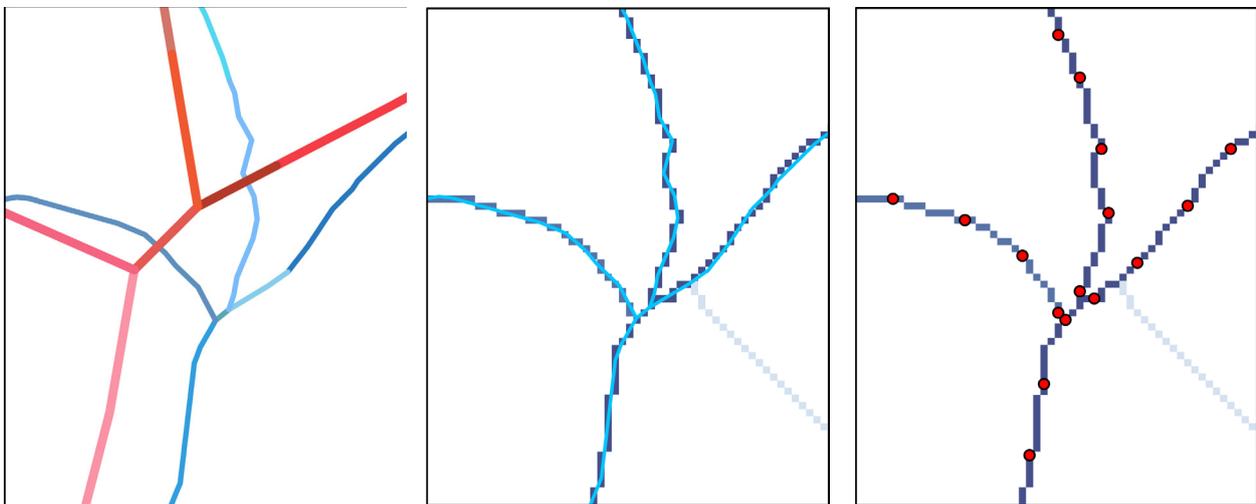


Abb. 17 Von links nach rechts: Abflussdatentopologie (rote Linien) und Fließgewässernetz (blaue Linien); Fließgewässernetz und Flow Accumulation Grid; Flow Accumulation Grid und Batch Points

3.4.2. Ermittlung der Speicher und deren Einzugsgebiete

Die neu erstellten Punkte werden als sogenannte Batch Points festgelegt, sodass sie als Gebietsauslässe von Einzugsgebieten definiert sind. Mit dem Werkzeug „Batch Subwatershed Delineation“ wird nun jeder Punkt des Rasters einem Batch Point zugewiesen, zu welchem er entwässert. Dadurch entstehen die verschiedenen Teileinzugsgebiete, welche die Speicher zur K-Wert Berechnung darstellen. Für das Einzugsgebiet der Rodl liegen nun 1043 Einzelspeicher vor, die mit den Abflussdaten in den jeweiligen Bereichen verknüpft sind. Jeder Speicher hat eine Identifikationsnummer, die sogenannte „HydroID“.

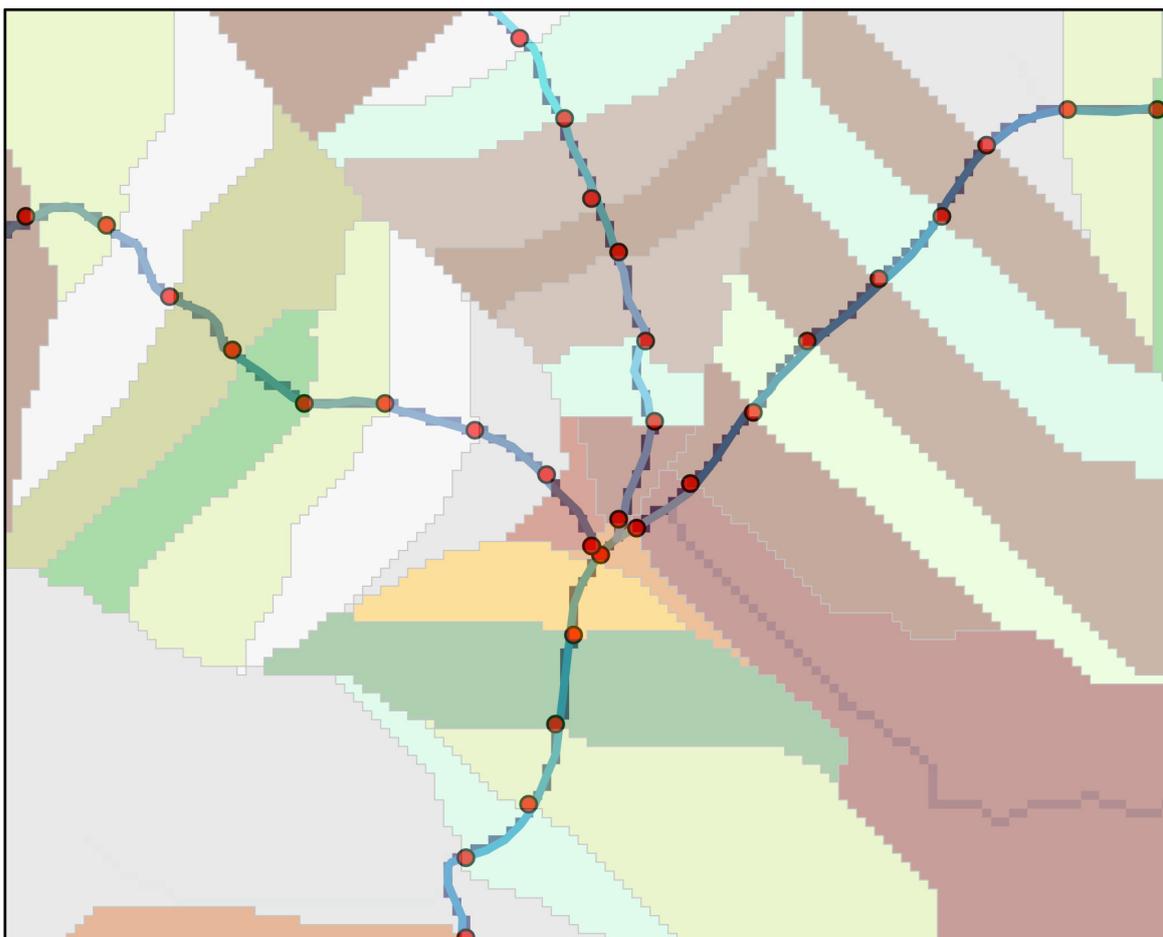


Abb. 18 Untereinzugsgebiete in einem Ausschnitt des EZG der Rodl

3.4.3. Berechnung der Speicherkonstante K

Zur Berechnung des Retentionsvermögens wird der Zuwachs des überschwemmten Volumens bei einem Anstieg des Abflusses benötigt. Durch Subtraktion der Rasterwerte der Überflutungstiefen erhält man die Veränderung der Wassertiefe bei den verschiedenen Hochwässern. Für jedes Pixel ist dann der Anstieg des Wasserspiegels Δh bei einem Anstieg von einem HQ_{30} auf ein HQ_{100} , einem HQ_{30} auf ein HQ_{200} und einem HQ_{100} auf ein HQ_{200} gegeben. Negative Werte, die aufgrund von Fehlern in den Eingangsdaten entstehen können, werden gleich Null gesetzt. Durch Umwandlung der $10 \times 10\text{m}$ Pixel in Punkte können diese mit den Untereinzugsgebieten verknüpft und als Tabelle exportiert werden.

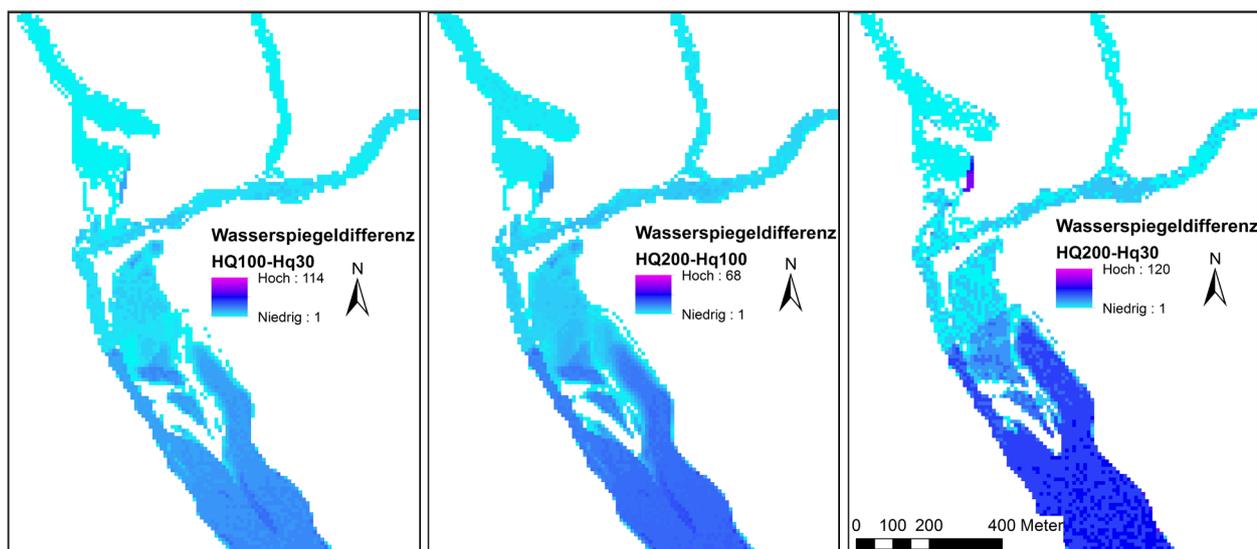


Abb. 19 Ausschnitte der Wasserspiegeldifferenzen beim Hochwasservergleich

In Excel kann nun die Summe der Wasserspiegeldifferenzen in jedem Teilgebiet berechnet werden. Multipliziert man diese mit der Fläche eines Pixels, erhält man den gesuchten Anstieg des Volumens. Indem man dieses durch den Anstieg des Hochwassers dividiert, bekommt man die gesuchte Speicherkonstante K für das Untereinzugsgebiet.

Tab. 7 Ausschnitt aus der K-Wert Berechnung für HQ_{30} auf HQ_{100}

HydroID	Summe von grid_code	HQ30REGA	HQ100REGA	ΔHQ	k_Wert
10506	58572	107,35	141,786	34,436	17008,9
10507	516	101,889	134,075	32,186	160,3
10508	48	8,072	11,138	3,066	156,6
10509	24	101,974	134,189	32,215	7,4
10510	67	87,121	115,326	28,205	23,8
10511	57	5,278	6,721	1,443	395,0
10512	67	78,342	106,901	28,559	23,5
10513	58	1,308	1,685	0,377	1538,5
10514	101	78,342	106,901	28,559	35,4
10515	158	5,026	6,47	1,444	1094,2
10516	166	53,83	73,673	19,843	83,7
10517	298	37,048	50,285	13,237	225,1
10518	377	41,148	56,808	15,66	240,7
10519	671	16,7	22,646	5,946	1128,5
10520	31	6,291	8,73	2,439	127,1
10521	94	10,364	14,312	3,948	238,1
10522	29	1,58	2,123	0,543	534,1
10523	29	5,874	8,009	2,135	135,8

3.5. Sensitivitätsanalyse

Als Grundlage für alle drei Verfahren der Sensitivitätsanalyse dient die Lage der Wasserspiegeloberfläche. Diese muss zunächst durch Addition der Wassertiefen zu den DGM-Werten gebildet werden. Wie bei allen weiteren Schritten auch, ist hierbei darauf zu achten, dass die Verarbeitungsausdehnung dem DGM des Einzugsgebiets entspricht. Somit wird eine Verschiebung des Rasters vermieden.

3.5.1. Kriging-Verfahren

Trotz der Einschränkungen (siehe Kapitel 2.5.1.3) wird zuerst die Wasserspiegeloberfläche weiter nach außen interpoliert. Hierfür wird das ArcGIS Werkzeug „Ordinary Kriging“ mit einer sphärischen Anpassung des Semivariogramm-Modells gewählt. Die Interpolationsweite beträgt 300m und es werden sechs Eingabereferenzpunkte gewählt. Die Anpassung des Variogramms erfolgt dabei durch das Programm selbst und wird nicht ausgegeben. Man erhält in der Folge ein Raster der interpolierten Fläche für den gesamten Flusslauf (Abb. 20).

Nun folgt die Erhöhung des interpolierten Rasters um den Anstieg des Wasserspiegels, also um 50 cm. Anschließend wird der DGM-Raster abgezogen. Als Ergebnis erhält man einen Raster, bei dem die positiven Werte die neue Überflutungsfläche und die negativen den nicht überfluteten Bereich darstellen. Durch Umwandlung des Rasters erhält man ein Polygon der neuen Fläche, von der man die ursprüngliche HQ_{200} -Fläche abziehen kann und anschließend das zusätzliche Überflutungsgebiet erhält.

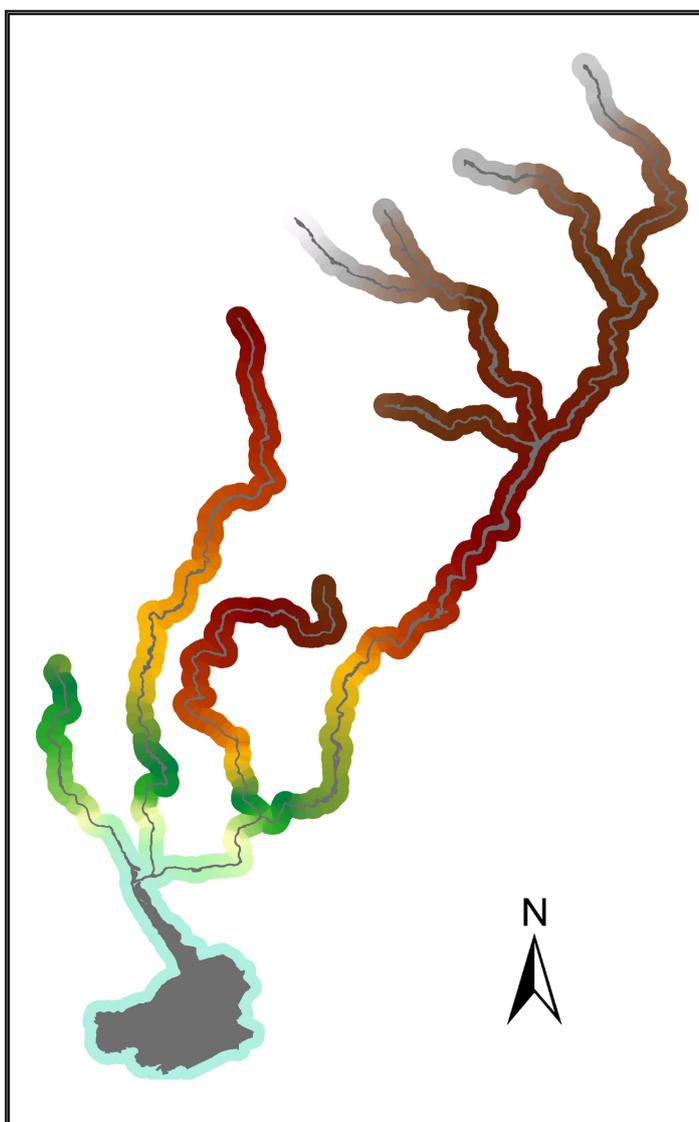


Abb. 20 Überschwemmungsfläche HQ_{200} (graue Fläche) und Interpolierte Wasserspiegeloberfläche

3.5.2. Schrittweiser-Puffer-Verfahren

Der erste Schritt dieses Verfahrens ist die Bestimmung der Randpunkte des Überflutungsgebiets. Hierzu wird das DGM in einen Punkt-Layer umgewandelt und die Wasseranschlagslinie, also die exakte Begrenzung der HQ_{200} -Überflutungsfläche eingelesen. Mit Hilfe eines Puffers werden nun die Punkte der Überflutungsfläche ausgewählt, welche den kürzesten Abstand zur Wasseranschlagslinie aufweisen.

Nun erfolgt die Bildung der Pufferschichten. Für das Werkzeug „Puffer“ sind die Randpunkte immer das Eingabe-Feature, der Dissolve-Typ wird auf „All“ gestellt. Dadurch entsteht ein durchgehendes Pufferelement und keine Einzelteile. Bei der ersten Durchführung beträgt die Pufferdistanz 15m. Anschließend wird der Puffer um jeweils 10m erhöht, ab 105m um 20m und nach 205m noch zwei Puffer im Abstand 250m und 300m zur Überschwemmungsfläche gebildet. Durch diese Abstufung wird der Bereich nahe der Wasseranschlagslinie sehr genau untersucht und trotzdem eine Beschleunigung der Berechnungen in den äußeren Bereichen erreicht. Zur Erzeugung der tatsächlichen Pufferschichten werden nun die Einzelpuffer voneinander abgezogen, sodass man eine Schichtung wie in Abb. 21 erhält. Die Abstufung und Größe der Puffer ist hier deutlich zu erkennen.

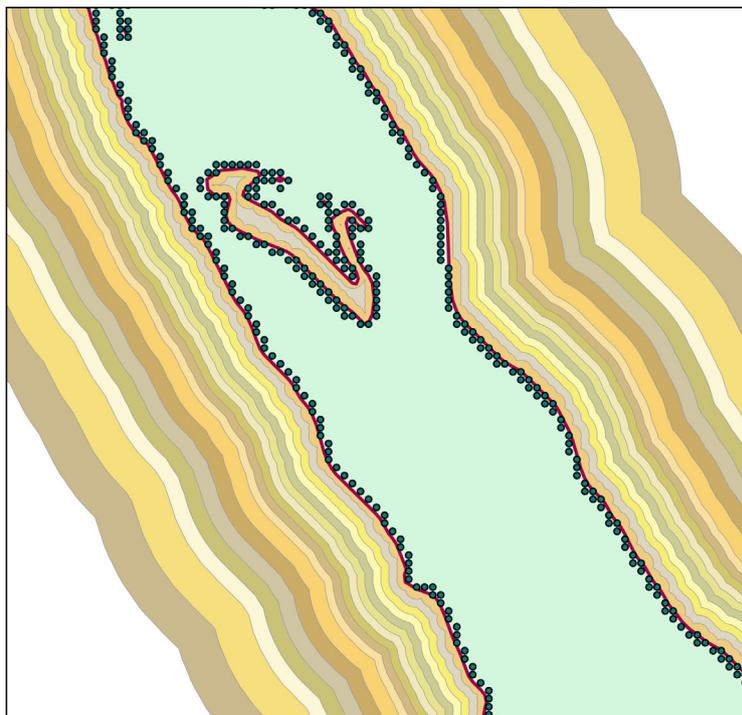


Abb. 21 Pufferschichten, Wasseranschlagslinie und Randpunkte des Überflutungsgebiets

Mit den Puffern werden die Umgebungspunkte im jeweiligen Abschnitt selektiert und als Tabellen exportiert, damit sie mit dem Abfrageprogramm „Sensitivitätsanalyse32.exe“ untersucht werden können. Dieser Befehl analysiert nun, welche Punkte im Abstand des Puffers eine Höhendifferenz kleiner 0,5m zur zugehörigen Wasserspiegeloberfläche aufweisen. Der Befehl hat drei Eingangsparameter: die zu verwendende Datenbank, das Höhenkriterium deltaZ und die Untersuchungsentfernung. Für jeden Pufferbereich wird eine eigene Datenbank erstellt. DeltaZ ist für alle Durchgänge gleich und der Abstand ist die jeweilige Pufferweite. Die Ergebnistabellen werden in ArcGIS zurück importiert und anschließend zu einer Punktwolke und einem Polygon zusammengesetzt.

3.5.3. Untereinzugsgebietsverfahren

Bei diesem Verfahren muss ebenfalls mit einem Preprocessing begonnen werden. Zuerst werden für das DGM alle Senken beseitigt („Fill Sinks“) und anschließend der Fließrichtungsraster erstellt („Flow Direction“). Des Weiteren wird der bereits bestehende HQ₂₀₀-Wasserspiegelhöhen-Layer benötigt.

Für das weitere Vorgehen sind in ArcGIS zwei Modelle im ModelBuilder erstellt worden. Diese Werkzeuge sind eine Abfolge von Workflows bzw. Befehlen bei denen jeweils die Ergebnisse der vorherigen Schritte weiter verarbeitet werden. Somit ist die Abfolge der Befehle festgelegt und die gesamte Verarbeitung kann nach Bestimmung des Ausgabeverzeichnis mit einem Klick gestartet und durchgeführt werden.

Das Modell „RasterRandpunkte_UEZG“ (Anhang 4) erstellt zuerst ein Polygon des Überflutungsrasters und die zugehörige Wasseranslagslinie. Diese weicht von der HORA-Anschlagslinie ab, da die Rasterauflösung gröber als die hydraulische Modellierung ist. Sie wird jedoch zur einwandfreien Berechnung benötigt. Anschließend wird vom Modell ein 15m Puffer um die Anschlagslinie gelegt und die Randpunkte extrahiert. Für diese Punkte wird mit dem Befehl „Watershed“ das Einzugsgebiet als Raster ermittelt und in der Folge in ein Polygon, das als Attribut die PunktID der Randpunkte enthält, umgewandelt.

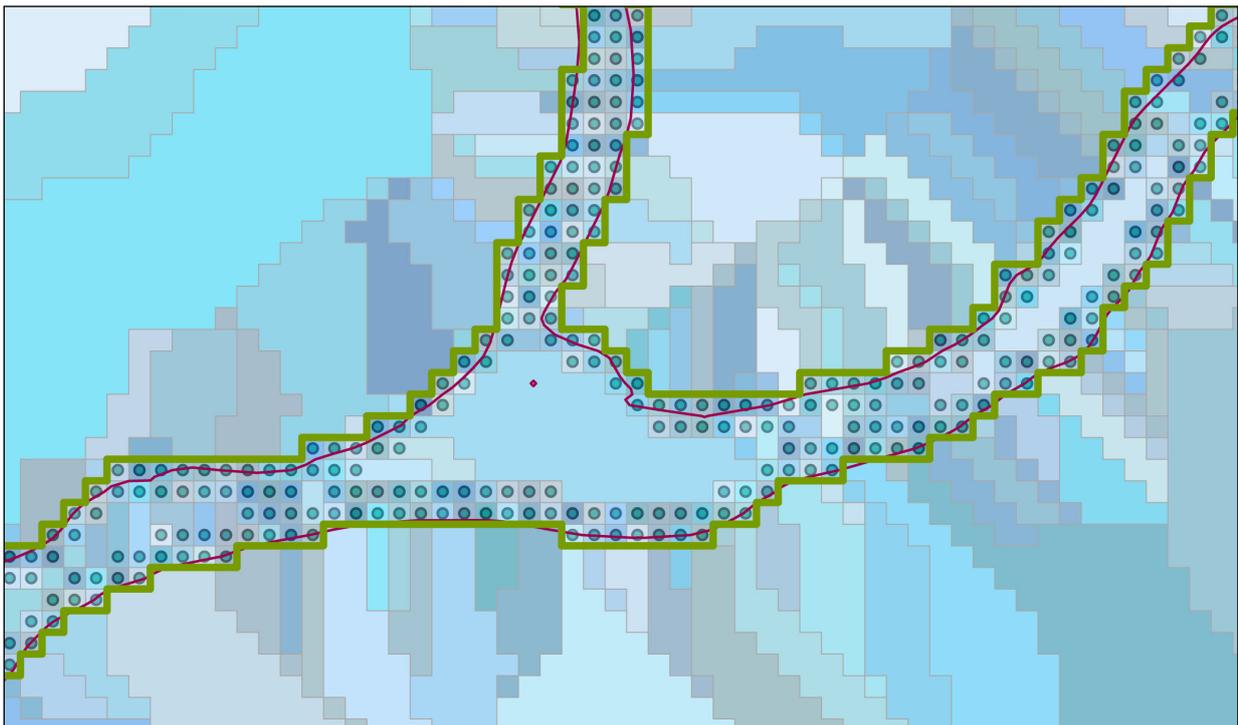


Abb. 22 HORA-Wasseranschlagslinie (rot), Überflutungs-Raster-Wasseranschlagslinie (grün), Randpunkte und Untereinzugsgebiete

Die Untersuchung der Punkte der Teileinzugsgebiete wird mit dem Modell „UEZG_Analyse_Gesamt“ (Anhang 5) durchgeführt. Dieses extrahiert zuerst alle DGM Punkte, welche in einem Abstand bis 300m um die Überflutungsfläche liegen, um den Datenaufwand zu verringern. Nun werden diese Punkte mit den UEZG-Polygonen verschnitten und anschließend mit den Randpunktdaten verbunden, sodass die Attribut-Tabellen miteinander verknüpft werden. So liegen für jeden Punkt seine Höhe und die Höhe des zugehörigen Wasserspiegels vor. Damit kann die Differenz Delta H gebildet werden. Nach einer weiteren Umwandlung wird der DeltaH-Raster neu klassifiziert, wodurch als Ergebnis alle Punkte mit einer maximalen Höhendifferenz von 50cm ausgegeben werden. Diese entsprechen den zusätzlichen Überschwemmungsflächen bei einem Anstieg des Durchflusses.

3.6. Schwierigkeiten bei der Anwendung

Wie bereits in Abb. 11 und Abb. 12 ersichtlich, liegt der Flusslauf teilweise außerhalb der modellierten Überflutungsflächen. Auch stimmt die Lage der Knotenpunkte aus dem HORA mit denen des verwendeten Gewässernetzes nicht exakt überein. Grundsätzlich kann diese Unregelmäßigkeit durch die Umwandlung verschiedener Projektionen entstehen. In diesem Fall stammen die Daten aus zwei verschiedenen Informationsquellen und können daher

unterschiedlichen Anpassungen unterliegen. Da während des Geoprocessing ein exakter Flusslauf als Linien-Feature notwendig ist, wird trotz dieses Fehlers mit den Daten gearbeitet. Die Knotenpunkte können manuell angepasst werden. Während der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass die Unregelmäßigkeit des Flusslaufes kaum ins Gewicht fällt. Die Überflutungsflächen werden größtenteils auch so dem passenden Gewässerverlauf zugeordnet, auch wenn dieser nicht innerhalb der Überschwemmungsgebiete liegt.

Einen großen Einfluss auf die Ergebnisse hat die Qualität des Geländemodells. Wie bereits erwähnt, liegt die Höhengenaugigkeit im Meterbereich und vor allem in bewachsenen Uferbereichen sowie im Flusslauf können starke Abweichungen zur Natur auftreten. Vetter et al. (2009) erwähnen in diesem Zusammenhang, dass „*die Modifikation eines 10m DGM durch ein interpoliertes Flusssohlenmodell [...] die Genauigkeit der Hochwassermodellierung auf 10m DGM wesentlich steigern*“ kann. Auch durch die Interpolation vom 50m zum 10m Raster kann eine überschätzte Genauigkeit entstehen. Bei der Generierung der Einzugsgebiete kann es dadurch zu Fehlern kommen.

Die bereits erwähnten Probleme führen dazu, dass in manchen Bereichen, und vor allem bei Zusammenflüssen, hydraulisch nicht korrekte Einzugsgebiete entstehen können. Abb. 23 zeigt zwei Einzugsgebiete, bei denen nicht die ganze Fläche zusammenhängend ist. Die ermittelten Fließwege stimmen in diesen Bereichen nicht mit den HORA-Daten überein. Durch Anpassung der Eingangsparameter beim Geoprocessing konnte dieser Fehler zwar minimiert, jedoch nicht ganz beseitigt werden.

Auch die Lage der Rasterpunkte des Geländemodells zu denen der Überflutungsfläche stimmt nicht exakt überein. Das Geländemodell ist vom BEV erstellt worden und das Raster der Überflutungstiefen entstand bei der hydraulischen Modellierung der HORA-Daten.

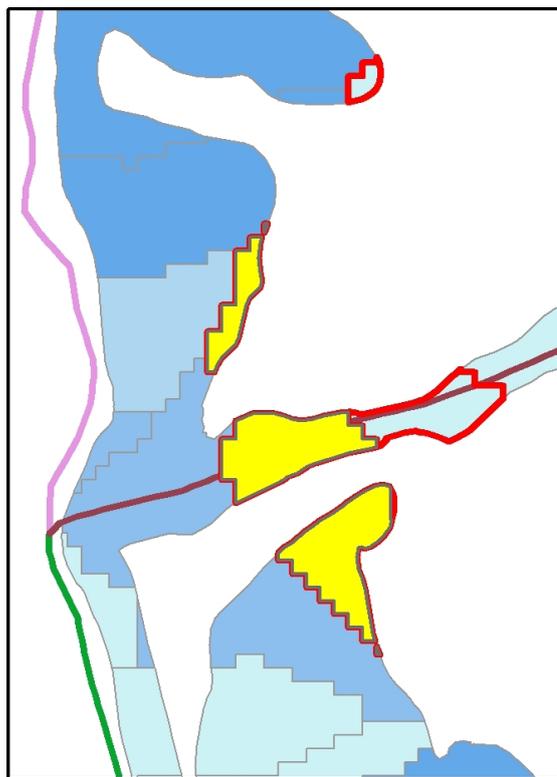


Abb. 23 Darstellung von Fehlern bei der Erstellung der Einzugsgebiete. Das rote und das gelbe Einzugsgebiet gehen über die natürlichen Grenzen hinaus

Aus diesem Grund ist es möglich, dass die Raster nicht deckungsgleich sind. Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass die Lage des DGM-Rasters als Ausgangslage dient, um den Fehler zu minimieren.

Durch Addition der Überflutungstiefen zu den Punkten des Geländemodells erhält man die Höhenlage des Wasserspiegels. Bei einer exakten hydraulischen Modellierung sollten diese bei den Randpunkten annäherungsweise der Höhe des nächstgelegenen, nicht überfluteten Geländepunktes entsprechen. Bei einer genauen Überprüfung der Eingangsdaten kann jedoch festgestellt werden, dass dies nicht immer der Fall ist. Wie in Abb. 24 ersichtlich, ist die Lage der Geländepunkte in diesem Bereich sehr ähnlich, doch bei einem Vergleich mit der Wasserspiegelhöhe zeigt sich, dass diese um knapp 30 cm höher liegt als der benachbarte Punkt. Besonders eklatant ist dieser Fehler im violett markierten Bereich, bei welchem ein benachbarter Punkt über 20 cm tiefer als der Geländepunkt und 30 cm tiefer als der Wasserspiegel liegt und trotzdem nicht überflutet wird. Die Neigung des Geländes und die Abflussrichtung stimmen hier nicht überein. Willems (2006) erwähnt zwar, dass die Lage der Profile aufgrund der Ungenauigkeiten des Höhenmodells verschoben werden mussten, doch konnte anscheinend keine einwandfreie Wasseranschlagslinie modelliert werden.

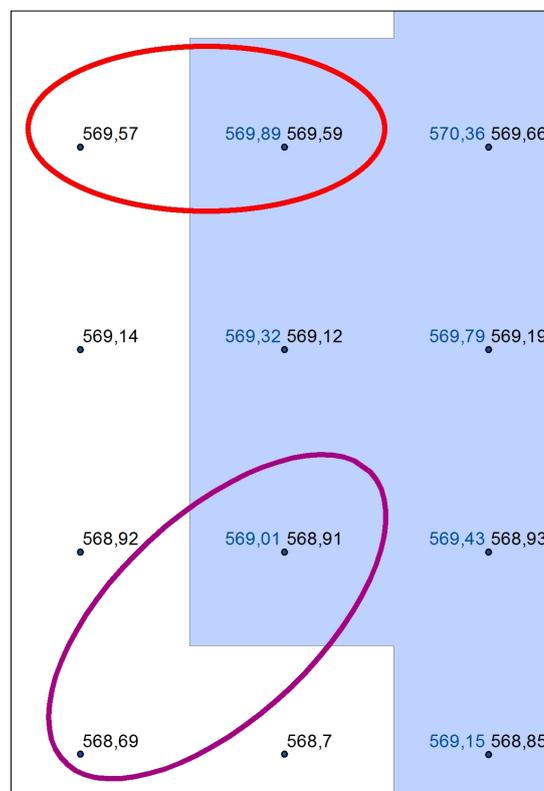


Abb. 24 Darstellung der Inkonsistenz der Eingangsdaten. Die Wasserspiegelhöhe (blaue Beschriftung) liegt teilweise höher als die benachbarten, nicht überfluteten Geländepunkte. Schwarze Beschriftung: Höhenlage der Punkte (DGM-Wert)

Während des Vergleiches der Überflutungstiefen der verschiedenen Hochwässer ist festgestellt worden, dass die Werte der Wassertiefe bei einem HQ_{200} teilweise unter denen eines HQ_{100} oder HQ_{30} liegen. Dies würde bedeuten, dass bei einem Anstieg des Hochwassers die Höhe des Wasserstandes sinkt. Da dieser Umstand in der Natur nicht vorkommt, handelt es sich hier um Fehler in der hydraulischen Berechnung. Bei der Bildung der Differenzenkarte in Kapitel 3.4.3 wird diesen Rasterpunkten der Wert 0 zugewiesen. Es wird also in diesen Bereichen angenommen, dass bei jedem Abfluss die gleiche Wassertiefe auftritt.

4. Ergebnisse und Folgerungen

Die Ergebnisse der Retentionsraumberechnung und der Verfahren der Sensitivitätsanalyse werden in diesem Kapitel dargelegt. Dabei werden die Speicher zuerst anhand der K-Werte in Kategorien eingeteilt und anschließend mit der Landnutzung verschnitten, um unverbaute Abschnitte zu extrahieren. Die zusätzlichen Überflutungsflächen der Sensitivitätsanalyse werden anschließend verglichen und deren Genauigkeit überprüft. Die Ergebnisse des Untereinzugsgebietsverfahrens, welches sich als das exakteste herausstellte, werden auch auf den Verbauungsgrad hin untersucht.

4.1. Retentionsraumberechnung

Die Ergebnisse der K-Wert Berechnung sind für das Einzugsgebiet der Rodl in 3 Kategorien unterteilt:

- Kaum wirksame Retentionsflächen: K-Werte bis 500
- Wirksame Retentionsflächen: K-Werte zwischen 500 und 1000
- Stark wirksame Retentionsflächen: K-Werte über 1000

Die Klassengrenzen sind in ArcGIS mit der Klassifizierungsmethode „Natürliche Unterbrechungen (Jenks)“ erstellt und auf ganzzahlige Werte gerundet worden. Basis dieser Klassifizierung ist der Algorithmus der natürlichen Unterbrechungen von Jenks. Bei diesem werden die Grenzen so gewählt, dass ähnliche Werte möglichst gut gruppiert und die Unterschiede zwischen den Klassen maximiert werden (ESRI, 2011). Die Beurteilung der Wirksamkeit der Retentionsflächen erfolgt daher immer in Bezug zu anderen Überschwemmungsflächen und ist daher eine relative Bewertung.

Hierbei ist anzumerken, dass sich im Bereich der Einmündung der Rodl in die Donau die Überflutungsflächen überlagern. Die Überschwemmungsflächen liegen hier nicht für jeden Fluss einzeln vor, sondern sind zusammengeführt. Dadurch werden fälschlicherweise die Daten der Donau der Rodl zugeordnet, sodass unrealistisch hohe Speicherkonstanten entstehen. Diese Flächen sind bei der Betrachtung auszuschließen bzw. gesondert zu behandeln.

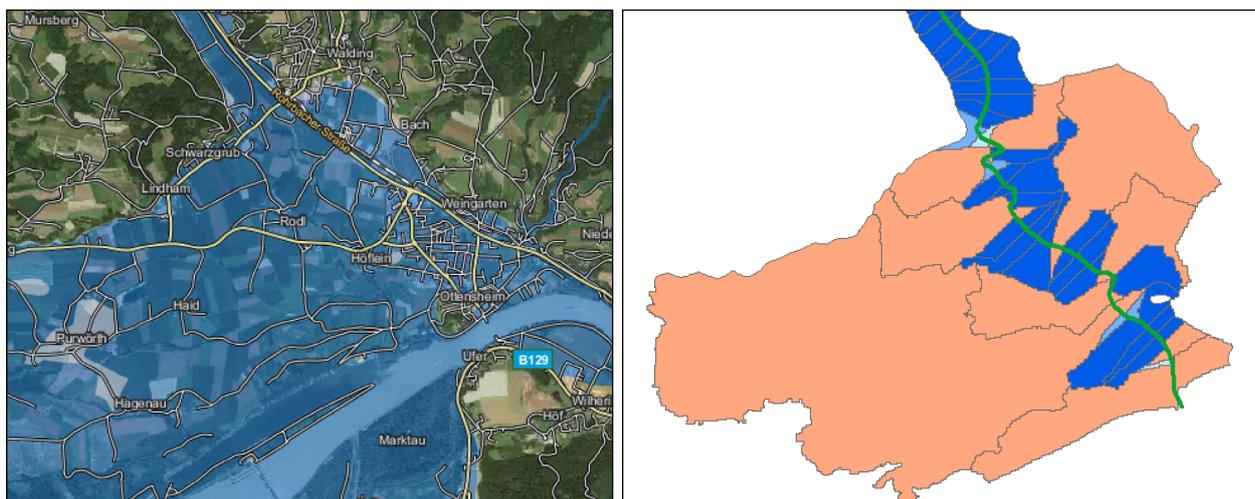


Abb. 25 Ausschnitt des Mündungsbereichs aus dem HORA (links) und der Retentionsraumanalyse (rechts); die überschätzten Gebiete sind Orange dargestellt

Tab. 8 zeigt die Anzahl der Speicher jeder Kategorie, die bei der jeweiligen Veränderung des Hochwassers aktiviert werden. Es ist zu erkennen, dass bei einem Anstieg des Hochwassers von einem HQ_{100} auf ein HQ_{200} deutlich mehr Überschwemmungsflächen ein starkes Retentionsvermögen aufweisen als in den anderen zwei Varianten. Grundsätzlich sind es auch diese Flächen, die als Überschwemmungsgebiete erhalten oder reaktiviert werden sollten.

Tab. 8 Anzahl und Anteile der Retentionsräume jeder Kategorie für die drei Szenarien

	HQ30 - HQ100		HQ100 - HQ200		HQ30 - HQ200	
Kaum wirksam	825	79,1%	785	75,3%	812	77,9%
Wirksam	141	13,5%	130	12,5%	140	13,4%
Stark wirksam	77	7,4%	128	12,3%	91	8,7%
Gesamt	1043	100,0%	1043	100,0%	1043	100,0%

In den folgenden Abbildungen sind nun die Veränderungen des Retentionspotentials für ausgewählte Bereiche dargestellt. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf Flächen mit wirksamen und stark wirksamen Retentionseigenschaften. Die Teileinzugsgebiete wurden dabei mit der jeweiligen Wasseranslagslinie verschnitten und die K-Werte farblich abgestuft.

Abb. 26 zeigt die K-Werte im Gemeindegebiet Walding flussab von Rottenegg. Die Überschwemmungsflächen sind in diesem Bereich sehr breit, weshalb es vor allem im unteren Bereich zu einer starken Retentionswirkung kommt. Fast alle Werte der charakteristischen Abschnitte liegen bei den verschiedenen Anstiegen in derselben Kategorie. Die Abhängigkeit der Retentionswirkung von der Größe des Ereignisses ist daher gering.

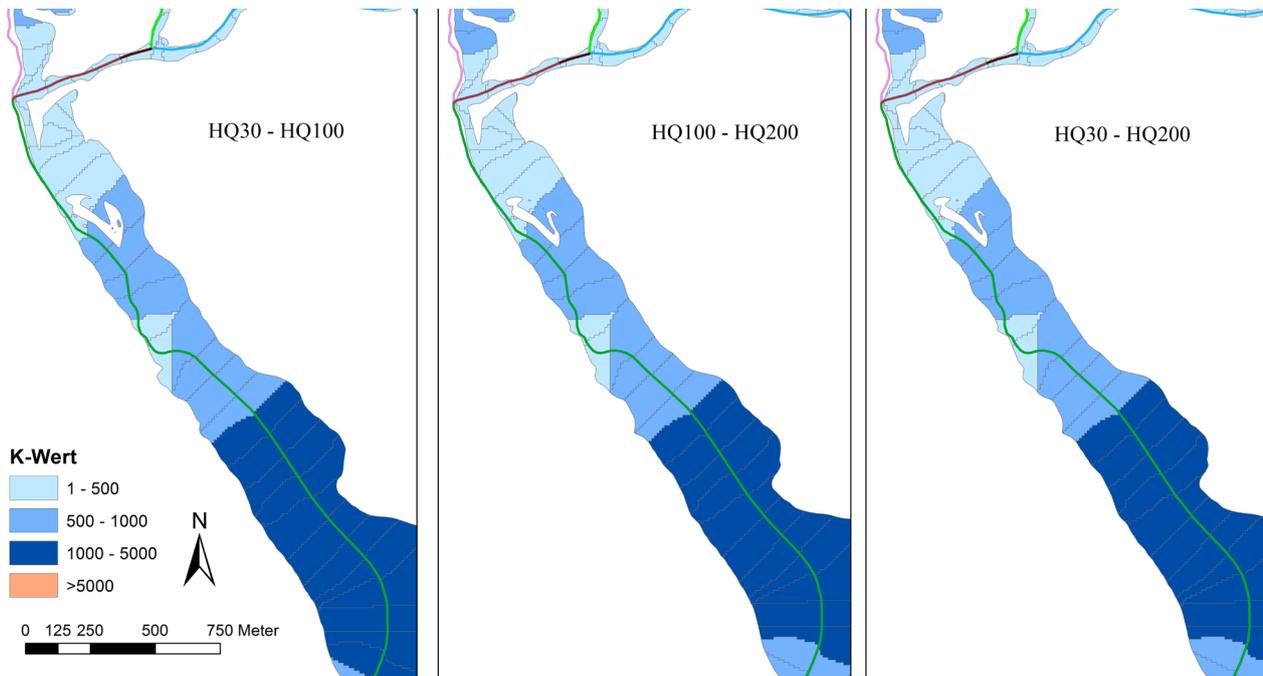


Abb. 26 Darstellung der K-Werte der Großen Rodl nach der Einmündung des Eschlbach

Für den Ranitzbach wurden in der Nähe der Ortschaft Neußerling in der Gemeinde Herzogsdorf durchgehend gute Retentionseigenschaften ermittelt. Wie in Abb. 27 ersichtlich, wurden für den gesamten Bereich K-Werte über 500 berechnet. Des Weiteren wird bei einem Anstieg des Abflusses von einem HQ_{100} auf ein HQ_{200} die Wirksamkeit in einigen Abschnitten zusätzlich erhöht.

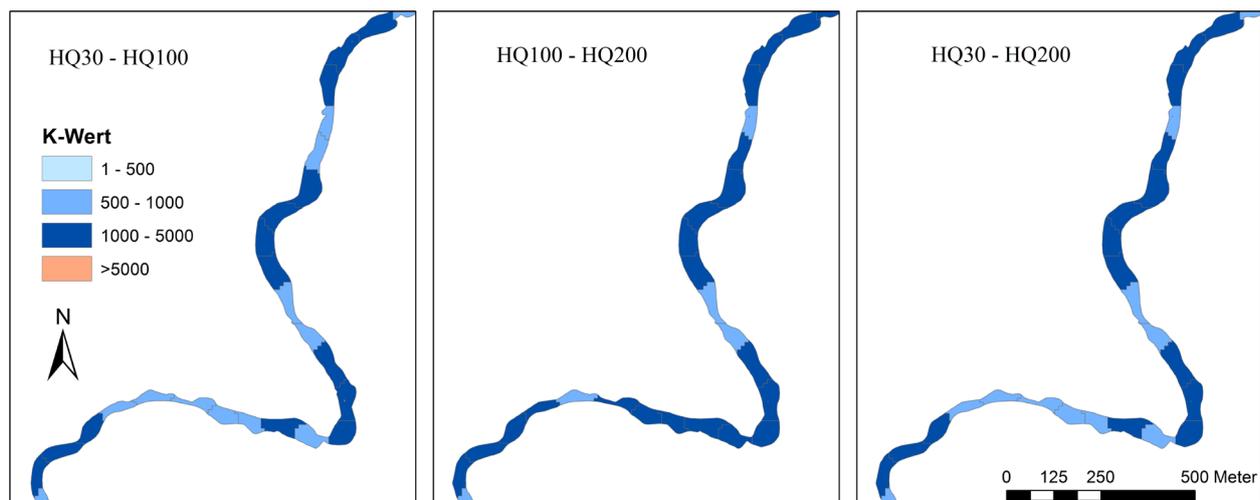


Abb. 27 Darstellung der K-Werte des Ranitzbaches im Bereich Neußerling

Ganz anders ist die Situation im Ortsgebiet Zwetl an der Rodl. Hier ist die Retentionswirkung zwischen HQ_{30} und HQ_{100} am größten. Vor allem beim Schauerbach (westlicher Zubringer) und beim Diestlbach (nördlicher Zubringer) werden hohe K-Werte erhalten (Abb. 28). Es muss hier jedoch auch darauf geachtet werden, dass es aufgrund der Zusammenflüsse zu Rückstauungen kommen kann. Es wurde zwar für jeden Abschnitt das Einzugsgebiet anhand des DGM bestimmt, von welchem Gewässer die Überschwemmungen tatsächlich verursacht werden kann jedoch nicht genau gesagt werden. Diesen Umstand gilt es auch bei anderen Zusammenflüssen zu beachten.

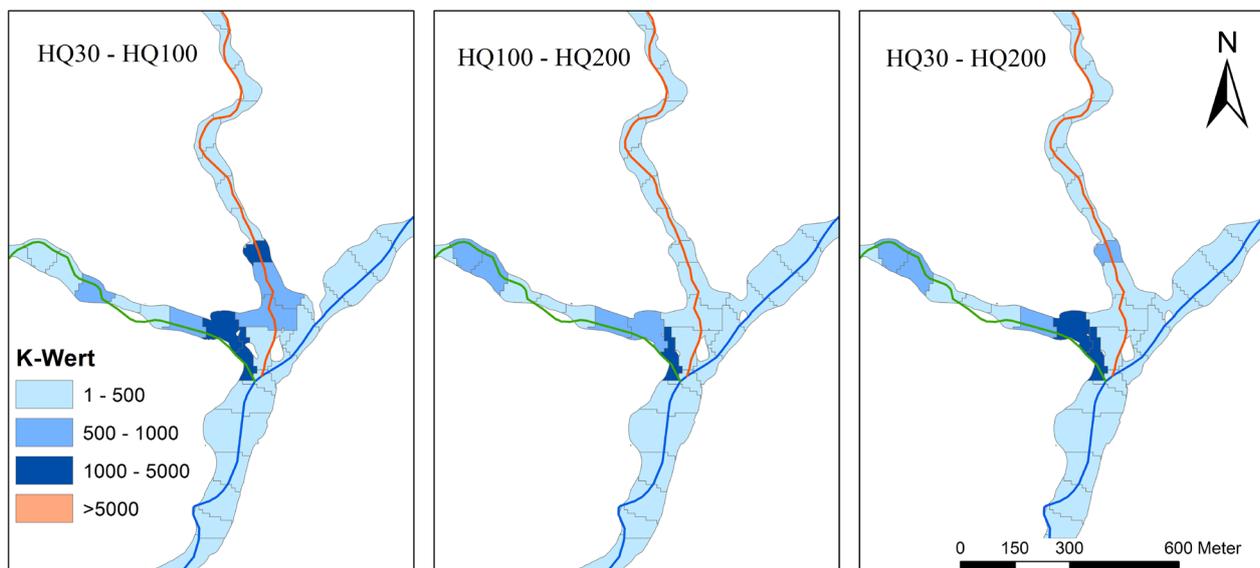


Abb. 28 Darstellung der K-Werte im Ortsgebiet Zwetl an der Rodl; Blau: Große Rodl, Rot: Diestlbach, Grün: Schauerbach

4.2. Verwendung der Ergebnisse

Über die Speicherkonstante kann demnach eine Aussage über die Retentionswirkung der Überschwemmungsflächen getroffen werden. Für eine Beurteilung, ob eine Gewässerstrecke tatsächlich zum Hochwasserrückhalt verwendet werden kann, sind jedoch weitere Faktoren wichtig. Zum Einen müssen bereits existierende Hochwasserschutzmaßnahmen, die im HORA nicht einbezogen wurden, berücksichtigt werden. Des Weiteren ist, wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, die Landnutzung im Bereich der Überschwemmungen zu beachten. Bebaute Flächen wie Betriebsgelände oder Gebäude und Infrastruktur wie Straßen oder Eisenbahntrassen sind von Hochwässern freizuhalten. Landwirtschaftlich genutzte Flächen, sowie Wälder und Wiesen sind jedoch als nicht schützenswert anzusehen. Überflutungsflächen in diesen Bereichen, die ein wirksames Retentionsvermögen aufweisen, können daher als natürliche Hochwasserrückhalteflächen ausgewiesen werden.

Für das Einzugsgebiet der Rodl ist die Landnutzung im Kataster aufgenommen. Als bebauten bzw. schützenswertes Gebiet werden festgelegt:

- Bahnanlagen
- Bauflächen befestigt/ begrünt
- Gebäude/ Gärten
- Lagerplätze
- Straßenanlagen
- Technische Ver-/ Entsorgungsanlagen
- Abbauflächen

Bei der Bewertung werden Überflutungsflächen, in welchen eine dieser Landnutzungen vorhanden ist, komplett ausgeschlossen. Dies gilt auch für Überschwemmungsgebiete, die z.B. nur von einer Straße gequert werden.

Die Zahl der möglichen Retentionsflächen reduziert sich auf folgende Werte:

Tab. 9 Anzahl und Anteile der unbebauten Retentionsräume jeder Kategorie für die drei Szenarien

	HQ30 - HQ100		HQ100 - HQ200		HQ30 - HQ200	
Kaum wirksam	505	82,7%	486	78,0%	503	80,7%
Wirksam	82	13,4%	80	12,8%	86	13,8%
Stark wirksam	24	3,9%	57	9,1%	34	5,5%
Gesamt	611	100%	623	100,0%	623	100,0%

Vor allem im Unterlauf der Rodl im Gemeindegebiet Walding und vor der Donaumündung sind fast alle Überflutungsflächen bebaut (Abb. 29). Die Nutzung dieser Retentionsräume ist daher von vornherein auszuschließen. Auch wurde in diesem Bereich in den letzten Jahren der Hochwasserschutz erweitert, sodass keine Aussage über die tatsächliche Überschwemmungsfläche getroffen werden kann.

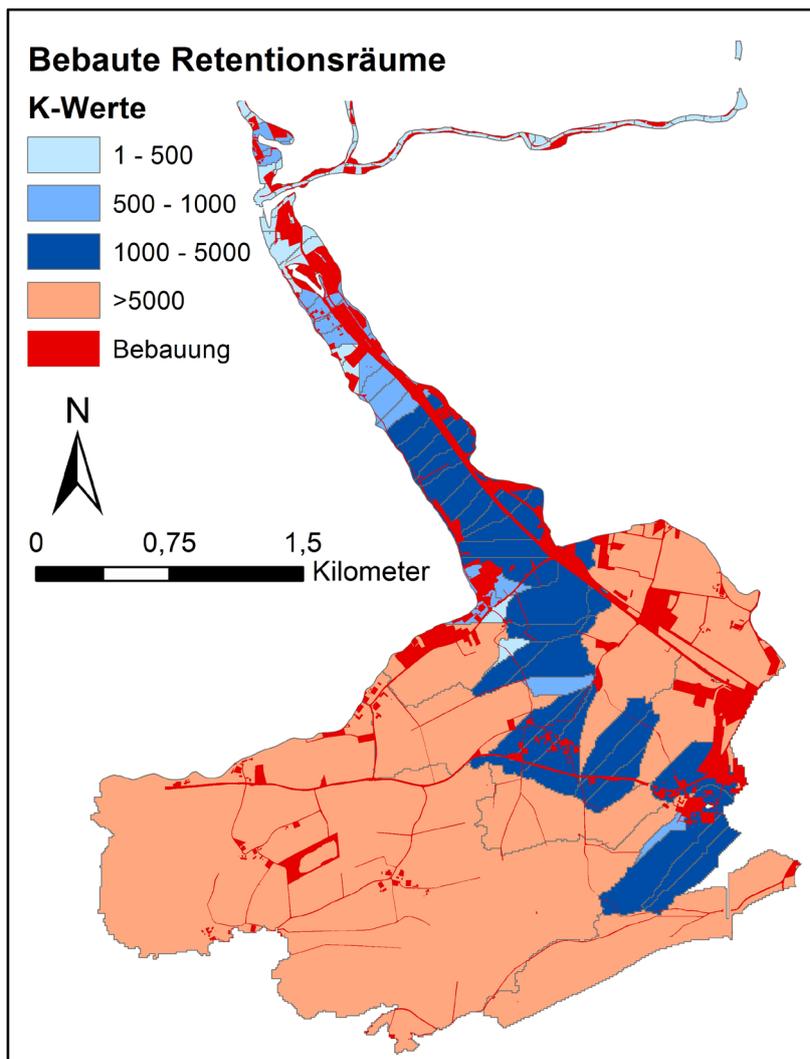


Abb. 29 Bebaute Retentionsräume im Gemeindegebiet Walding und an der Donaumündung der Rodl

Bei der Untersuchung der wirksamen Retentionsflächen des Ranitzbaches aus Abb. 27 kann man erkennen, dass trotz gewisser Ausnahmen mehrere Rückhalteflächen unbebaut sind. In Abb. 30 sind die Überflutungsgebiete, in welchen Gebäude und Straßen liegen, gelb hinterlegt, um mögliche Retentionsflächen (blaue Abstufung) hervorzuheben. Gerade im südlichen Abschnitt kann sind mehrere Gebiete mit stark wirksamen Retentionsflächen zu erkennen. Nach einer positiven Prüfung vor Ort können diese Bereiche als schützenswerte Überschwemmungsgebiete ausgewiesen werden.



Abb. 30 Landnutzung, bebaute und unbebaute Retentionsräume im Bereich Neußerling

Im Ortsgebiet Zwettl an der Rodl, in welchem die Flüsse direkt durch die Ortschaft fließen, liegen sämtliche Überflutungsflächen in bebauten Gebieten. Einzig am Diestlbach, nördlich der Gemeinde, liegen kaum wirksame Retentionsräume. Demnach ist hier kein natürlicher Hochwasserrückhalt möglich.

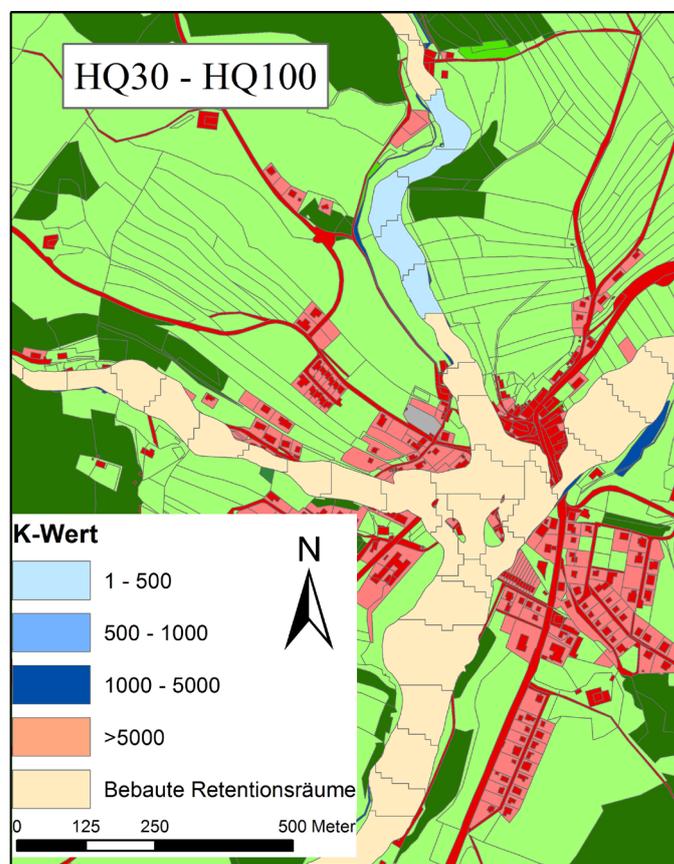


Abb. 31 Landnutzung, bebaute und unbebaute Retentionsräume im Ortsgebiet Zwettl an der Rodl

4.3. Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse wurde mit den drei verschiedenen Verfahren durchgeführt, um verschiedene Berechnungsmöglichkeiten aufzuzeigen. In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der drei Varianten erläutert und anschließend die Vor- und Nachteile jedes Verfahrens diskutiert, sowie eine Empfehlung gegeben.

4.3.1. Ergebnisse

Bei einem HQ_{200} wird eine Fläche von 1.210,5 Hektar überflutet. Bei einem Hochwasseranstieg von 0,5 Meter zeigt sich, dass das Schrittweiser-Puffer-Verfahren mit 396,3 Hektar den größten Zuwachs aufweist. Der Wert des Kriging-Verfahren liegt mit 333,1 Hektar in einer ähnlichen Größenordnung. Mit 171,2 Hektar wird mit dem Untereinzugsgebietsverfahren der eindeutig geringste Zuwachs berechnet.

Einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat dabei die Erfassung von Senken und Gräben fern des Gewässerverlaufs. Wie in Abb. 32 ersichtlich, werden diese Flächen sowohl beim Schrittweiser-Puffer- als auch beim Kriging-Verfahren zur Überschwemmungsfläche hinzugerechnet, obwohl teilweise kein Anschluss an die HQ_{200} -Überflutungsgebiete vorliegt. Bei diesen beiden Verfahren werden nur die Höhenlagen der Punkte sowie der Wasserspiegeloberfläche verglichen. Fließwege und das Gefälle des Geländes werden nicht beachtet. Dies führt dazu, dass Senken wie z.B. Teiche als Retentionsräume des Flusslaufes ausgewiesen werden, obwohl kein Anschluss an das Gewässer besteht. Das Untereinzugsgebietsverfahren ist in diesem Fall exakter, da solche Fehler durch die Bestimmung der Fließwege und der Einzugsgebiete für jeden Randpunkt ausgeschlossen werden.

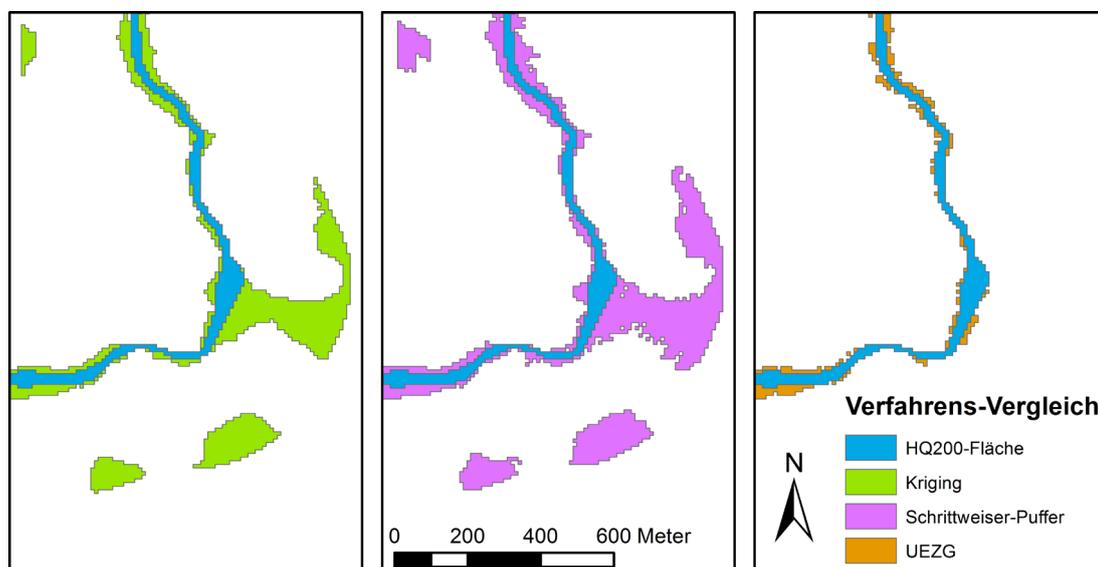


Abb. 32 Unterschiede der Verfahren der Sensitivitätsanalyse bei Senken und Gräben

Auch im Bereich von Bächen und Zuflüssen zur Rodl, die aufgrund ihrer geringen Größe beim HORA nicht beachtet wurden, zeigt sich, dass das UEZG-Verfahren die kleinste Schätzung darstellt. Mit dem Schrittweiser-Puffer-Verfahren werden auch hier die größten Flächen ermittelt, was den hohen Gesamtwert erklären kann (Abb. 33). Die falsche Zuordnung von Geländepunkten zur Wasserspiegeloberfläche, die auch in Abb. 36 aufgezeigt wird, ist hier ausschlaggebend.

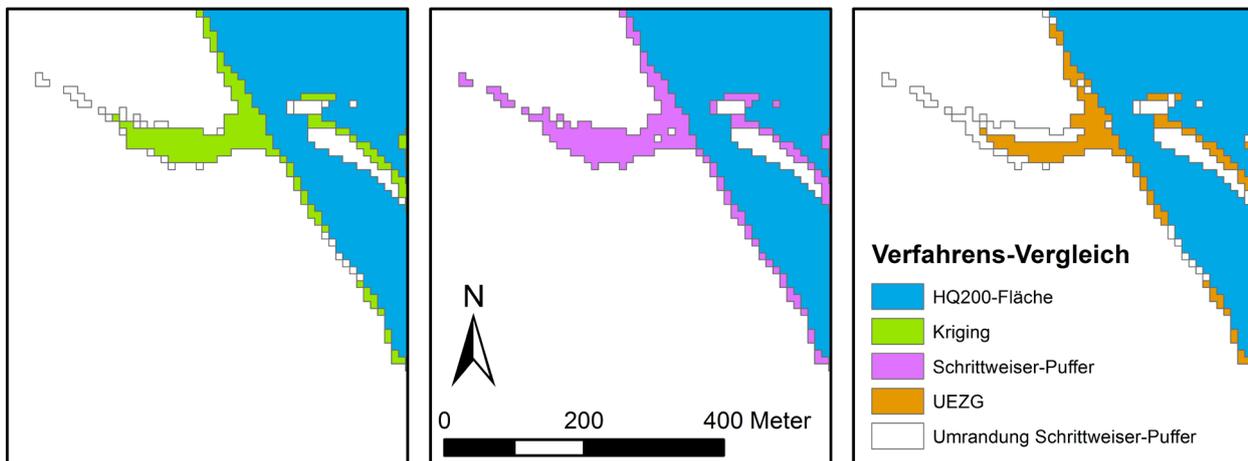


Abb. 33 Unterschiede der Verfahren der Sensitivitätsanalyse bei Zuflüssen

In einigen Bereichen, vor allem bei Inseln, im Randbereich der HQ₂₀₀-Flächen und bei Zusammenflüssen, liegt eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse vor. In diesen Gebieten kann demnach von einer tatsächlichen Überflutung bei einem Hochwasseranstieg ausgegangen werden. Abb. 34 und Abb. 35 zeigen Beispiele für diesen Fall.

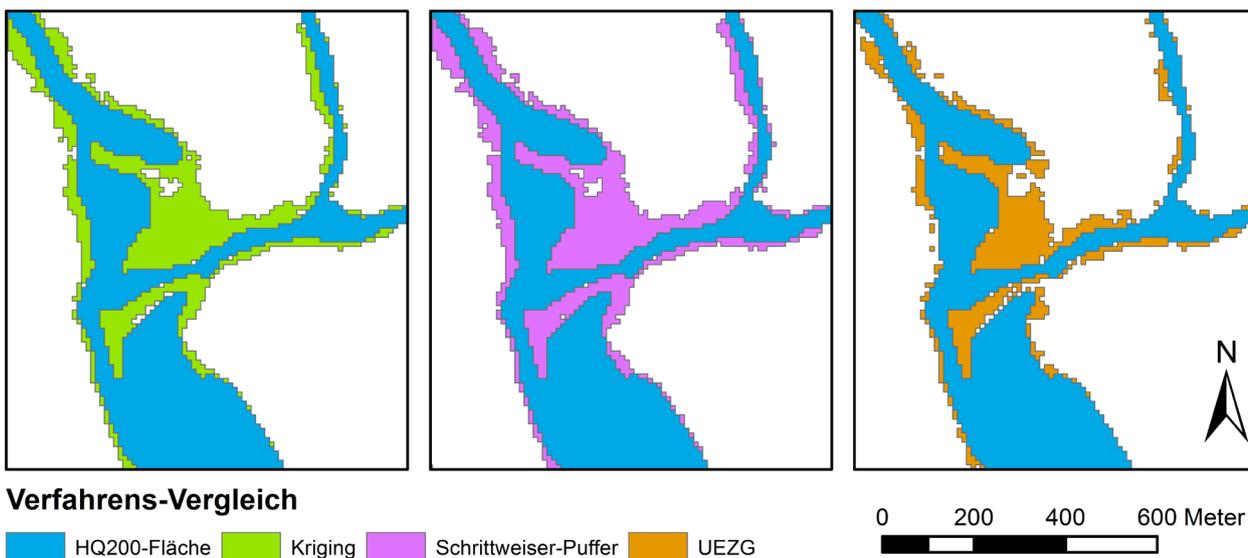


Abb. 34 Darstellung ähnlicher Ergebnisse der Verfahren der Sensitivitätsanalyse beim Zusammenfluss Große Rodl - Eschenbach

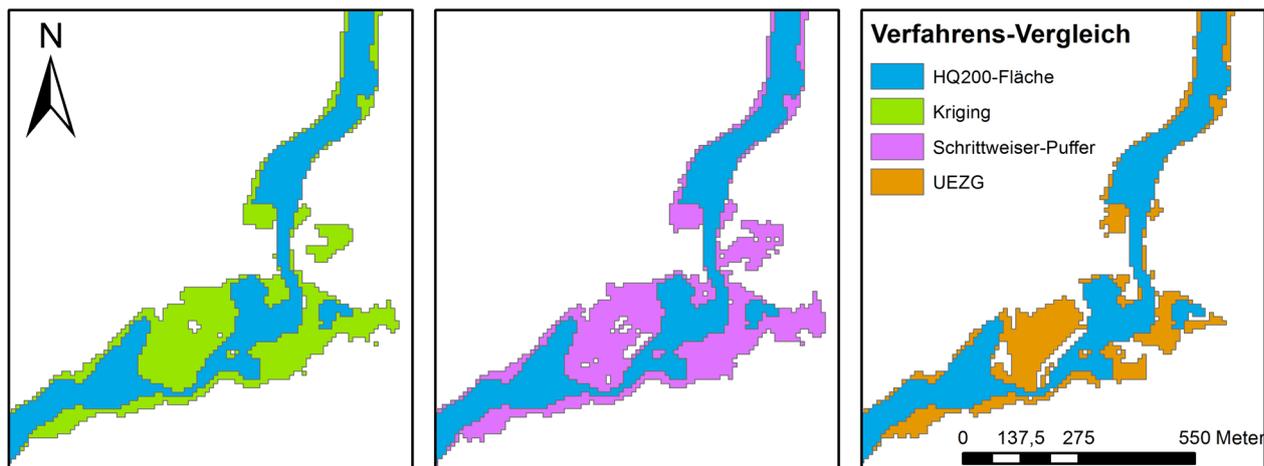


Abb. 35 Darstellung ähnlicher Ergebnisse der Verfahren der Sensitivitätsanalyse

4.3.2. Verfahrensbewertung

Kriging-Verfahren:

Das Kriging-Verfahren ist aufgrund der einfachen Anwendung der Interpolation mit ArcGIS das schnellste der drei Verfahren. Auch können Änderungen des Wasserspiegelanstiegs sehr leicht mit einbezogen und eine Neuberechnung durchgeführt werden.

Generell findet eine Überschätzung der Überschwemmungsgebiete statt, vorwiegend im Bereich von Zuflüssen und Senken. Durch die Interpolation und das Verschneiden der erhöhten Wasserspiegeloberfläche mit dem Gelände werden einige tiefer gelegene Flächen, welche weit ab vom Flusslauf liegen, als Überflutungsflächen ausgewiesen. Vor allem Senken, welche gar keinen Anschluss an das Fließgewässer haben, sollten daher ausgeschlossen werden.

Wie bereits erwähnt, ist die Anwendung des Kriging-Interpolationsverfahrens für die Anwendung bei Wasserspiegeloberflächen nur unter sehr vereinfachenden Annahmen möglich. Aus diesen Gründen kann es zu Verzerrung der Ergebnisse kommen. Das Verfahren ist daher nicht als optimal anzusehen und sollte wenn nur für eine erste Abschätzung verwendet werden.

Schrittweiser-Puffer-Verfahren:

Aufgrund der großen Anzahl an Daten (Pufferschichten und Punktlayer) und Wechseln zwischen ArcGIS und der Tabellenauswertung ist dieses Verfahren deutlich zeitintensiver als die anderen. Selbst durch Optimierung der Abläufe mit Modellen kann dies nicht behoben werden. Die Flexibilität bezüglich der Wasserstandsänderung ist dementsprechend eingeschränkt und nur mit einem erneuten Durchführen der Auswertung möglich.

Bei diesem Verfahren wird eindeutig die größte Überschwemmungsfläche berechnet. Hauptgrund hierfür ist der Vergleich des Randpunkts mit dem nächstliegenden Punkt der Umgebung. Vor allem bei parallel verlaufenden Gräben und Tälern werden Geländepunkte fälschlicherweise mit dem nächsten Randpunkt assoziiert. In Abb. 36 zeigt der gelbe Pfeil, welche Punkte miteinander verglichen werden, obwohl der Graben eindeutig nach Süden entwässert. Daher findet auch hier eine Überschätzung statt. Lediglich bei Punkten in direkter Nähe zur Wasseranslagslinie findet eine sehr genaue Einschätzung statt.

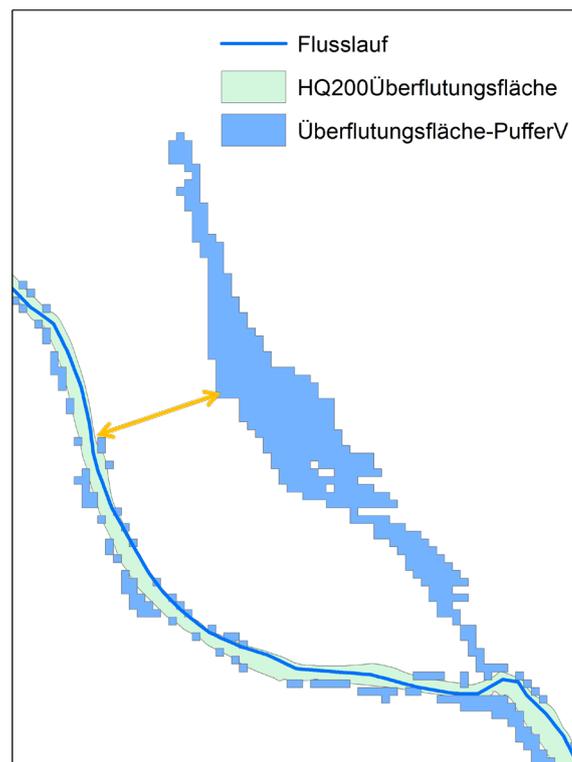


Abb. 36 Zuordnungsprobleme Schrittweiser-Puffer-Verfahren

Aufgrund des sehr hohen Zeitaufwandes und dem Überschätzen in vielen Bereichen kann dieses Verfahren nicht empfohlen werden.

Untereinzugsgebietsverfahren:

Durch die Erstellung der zwei Modelle kann ArcGIS die Berechnungen selbstständig im Hintergrund durchführen. Zwar ist es nicht so schnell wie das Kriging-Verfahren, die benötigte Zeit hält sich jedoch für das Untersuchungsgebiet in Grenzen. Nachdem die Einzugsgebiete und die Vergleichstabellen erstellt worden sind, lässt sich jede Wasserspiegeländerung sehr einfach untersuchen.

Aus hydrologischer Sicht liefert das Verfahren realitätsnahe Ergebnisse. Systemfehler, wie die falsche Zuordnung von Gräben, können ausgeschlossen werden. Es ist jedoch sehr anfällig gegenüber Fehlern in den Eingangsdaten. Wie in Abb. 24 gezeigt, liegen die Geländepunkte der HORA-Daten teilweise unterhalb der benachbarten Wasserspiegelhöhen. Die tatsächliche Fließrichtung entspricht dann nicht der im HORA hydraulisch modellierten. Die Einzugsgebiete werden demnach korrekt erstellt, die überfluteten Punkte würden jedoch zu einem anderen Auslass entwässern. Aufgrund dieser falschen Annahme wird der Geländepunkt bei einem Wasseranstieg als nicht überflutet gewertet. Die Überschwemmungsfläche wird demnach mit diesem Verfahren, aufgrund der Inkonsistenz der Eingangsdaten, zu klein eingeschätzt.

Trotz dieser Unterschätzung erzielt dieses Verfahren, bei relativ geringem Arbeitsaufwand, sehr gute Ergebnisse und ist somit das beste der drei Verfahren. Die weitere Auswertung erfolgt daher ausschließlich für das Untereinzugsgebietsverfahren.

4.3.3. Verbesserung der Retentionsraumbewertung mit dem Untereinzugsgebietsverfahren

Das Untereinzugsgebietsverfahren stellt weitere Informationen zur Bewertung der Retentionsräume zur Verfügung. So kann für interessante Retentionsräume eine Aussage getroffen werden, was bei einem zusätzlichen Anstieg des Hochwassers geschieht. Aufgrund der fehlenden Wassertiefen kann zwar die Veränderung des K-Wertes nicht bestimmt werden, eine große zusätzliche Überflutungsfläche lässt jedoch auf ein Ansteigen der Speicherkonstante schließen.

Des Weiteren können Flächen, die bei einem HQ_{200} in unbebautem Gebiet liegen, schon bei geringer Ausuferung Infrastruktur gefährden. Durch Verschneiden der Landnutzung mit den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse können solche Bereiche ermittelt werden. Die Bewertung von Überflutungsflächen als natürliche Retentionsräume wird dadurch erweitert und die Umsetzbarkeit genauer überprüft.

Beim Untereinzugsgebietsverfahren, welches zur Sensitivitätsanalyse empfehlenswert ist, liegen 96,0 Hektar der zusätzlichen Überflutungsfläche in unbebautem Gebiet. Die tatsächlich nutzbare Retentionsfläche hat sich demnach um 75,2 Hektar reduziert. Abb. 37 zeigt beispielhaft, dass diese Flächen größtenteils an bereits überflutete Bereiche angrenzen. Wie bereits erwähnt, ist vor allem bei Ortsgebieten die Vernachlässigung des technischen Hochwasserschutzes maßgeblich für diese übermäßige Überflutung.

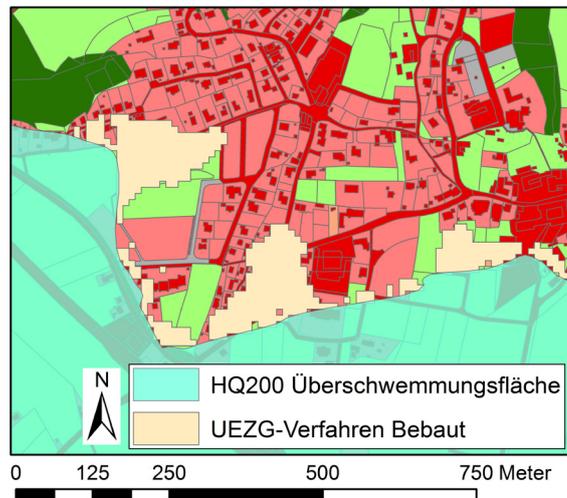


Abb. 37 Überschwemmungsfläche bei einem HQ₂₀₀ und Ergebnis des Untereinzugsgebietsverfahrens für das Ortsgebiet Walding

Befindet sich die zusätzliche unbebaute Überflutungsfläche entlang unbebauter, retentionswirksamer Speicher wie in Abb. 38, so kann der gesamte Gewässerabschnitt als hochwasserreduzierend angesehen werden. Mit den in diesem Projekt entwickelten Verfahren können diese Flächen relativ einfach und schnell ermittelt und somit als natürliche Retentionsräume ausgewiesen werden.

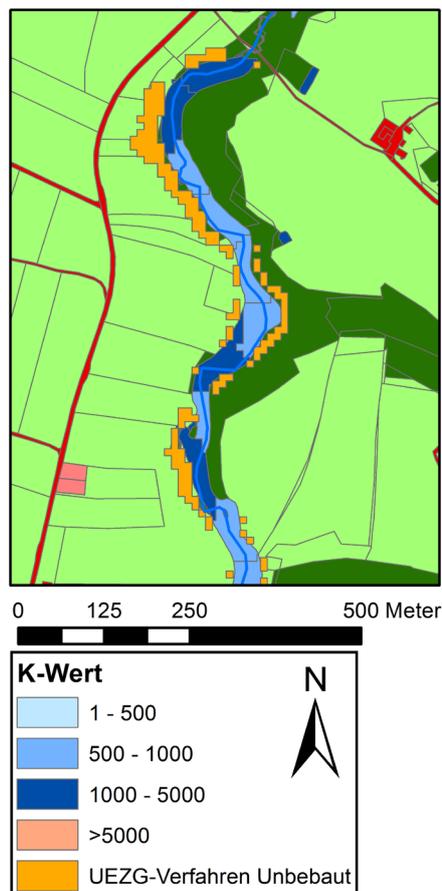


Abb. 38 Darstellung eines Gewässerabschnitts mit unbebauten, wirksamen Retentionsflächen und großer zusätzlicher Überflutungsfläche

5. Verallgemeinerungen und Schlussfolgerungen

Nach der Ausführung der Bearbeitungsschritte des gesamten Verfahrens wird die Durchführung und weitere Anwendung mit anderen Daten erläutert. Dabei wird zuerst auf die Datengenauigkeit eingegangen, bevor die Verwendung der Ergebnisse mit dem Kalinin-Miljukov-Verfahren angesprochen wird. Abschließend werden kurz die Vor- und Nachteile des Verfahrens diskutiert.

5.1. Vorgangsweise zur Bewertung von Retentionsräumen

Folgende Schritte müssen zur Analyse der Eingangsdaten und zur Bewertung der Retentionseigenschaften von Überflutungsflächen durchgeführt werden:

- Berechnung der charakteristischen Länge der Gewässerabschnitte und Wahl der Speicherlänge
- Preprocessing:
 - Aufbereitung des DGM und des exakten Flusslaufes
 - Ermittlung des Abflussverhaltens des Geländes
- Definition der Speicherauslässe und Ermittlung der Einzugsgebiete
- Erstellen der Differenzkarten der Wassertiefen
- Berechnung der Speicherkonstante
- Erstellen eines Klassifikationsschemas
- Überprüfung der Umsetzbarkeit der Überschwemmungsflächen als Rückhaltegebiete durch Verschneiden mit der Landnutzung
- Ermittlung der zusätzlichen Überflutungsflächen bei weiterem Anstieg des Hochwassers

- Berechnung der vorhandenen Wasserspiegelhöhen
 - Konstruktion der Randpunkte und deren Einzugsgebiete mit dem Modell „RasterRandpunkte_UEZG“
 - Analyse der Untereinzugsgebiete mit dem Modell „UEZG_Analyse_Gesamt“ für den gewählten Wasserspiegelanstieg
 - Überprüfung der Verbauung der zusätzlichen Überflutungsflächen
- Graphische Darstellung der Ergebnisse

5.2. Anwendung mit alternativen Daten

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Schritte sind für die Anwendung mit HORA-Daten entwickelt worden. Der Vorteil dieser Daten ist die Verfügbarkeit für ganz Österreich. Unter gewissen Voraussetzungen kann das Verfahren jedoch auch mit Daten anderer Quellen durchgeführt werden. So müssen zur Anwendung die in Kapitel 3.2 bereits erwähnten Daten wie Durchflüsse und Volumensänderungen, sowie Informationen zur Landnutzung bzw. zur Bebauung vorliegen. Entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis hat dabei die Genauigkeit der Eingangsdaten. Vor allem das DGM und die Überflutungstiefen der verschiedenen Durchflüsse sollten möglichst exakt vorhanden sein. Da die HORA-Daten diesbezüglich einige Mängel aufweisen, stellen sie eine qualitative Untergrenze dar. So wäre es interessant, wie sich die Retentionseigenschaften im Untersuchungsgebiet bei einer Durchführung mit einem 1 x 1 Meter Raster verändern würden.

Mit dem Kalinin-Miljukov-Verfahren wird grundsätzlich für Flussabschnitte der Ablauf von Hochwasserwellen berechnet. Mit den hier vorgestellten Schritten können die charakteristische Länge und die Speicherkonstante, zwei Eingangsparameter des Verfahrens, sehr exakt ermittelt werden. Zur Anwendung der Retentionsberechnung müssen lediglich die K-Werte jedes Speichers gemittelt werden. Anschließend kann die fließende Retention, wie in Rosemann und Vedral (1970) beschrieben, bestimmt werden.

5.3. Zusammenfassung und Diskussion des Verfahrens

Das bei dieser Arbeit entwickelte Verfahren bietet die Möglichkeit, relativ einfach das Retentionsverhalten von potentiellen Überflutungsflächen zu bestimmen. Durchgeführt wird die Untersuchung hauptsächlich mit den Programmen ArcGIS und Excel, zwei Standardprogrammen zur Bearbeitung von räumlichen und hydrologischen Daten. Es wurde dabei versucht, möglichst viele Schritte zu automatisieren, eine manuelle Durchführung einiger Arbeitsschritte, wie die

Anpassung der Knotenpunkte, lässt sich jedoch nicht vermeiden. Durch die Sensitivitätsanalyse kann zusätzlich eine Aussage über die Retentionswirkung des angrenzenden Geländes bei einem Anstieg des Wasserspiegels getroffen werden. Die Bewertung der Überflutungsflächen kann durch diese Verfahren weiter verbessert werden. Ob diese Flächen tatsächlich als naturnahe Hochwasserrückhalteräume ausgewiesen werden können, zeigt sich durch Verschneiden der Landnutzung mit den Überschwemmungsgebieten. Liegen diese in bebautem Gelände, so können sie von der Bewertung ausgeschlossen werden.

Die Eingangsdaten bei diesem Projekt wurden dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau bereits für frühere Untersuchungen von den verschiedenen Institutionen zur Verfügung gestellt. Die Herkunft aus unterschiedlichen Quellen führt dazu, dass einige Daten, wie der Flusslauf und das Geländemodell nicht exakt zusammen passen. Auch die Inkonsistenzen im HORA führen dazu, dass es bei verschiedenen Punkten des Verfahrens zu Fehlern kommt. Zum Beispiel beim Erstellen der Einzugsgebiete sind teilweise kleinere, hydraulisch nicht korrekte Zuordnungen entstanden (Abb. 23). Des Weiteren haben sich die Unregelmäßigkeiten der Wasserspiegeloberfläche negativ auf die Qualität der Sensitivitätsanalyse ausgewirkt. Vor allem beim Untereinzugsgebietsverfahren kam es trotz der passenden Methodik zu falschen Resultaten. Mit korrekten und genaueren Daten würde zwar der Rechenaufwand steigen, es kann jedoch auch eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse erwartet werden.

Bei der Entwicklung dieses Werkzeuges ging es darum, anhand der Überschwemmungsvolumina und der Hochwasserabflüsse die Flächen mit größtem Retentionsvermögen für gesamte Flusseinzugsgebiete zu ermitteln. Ein Vergleich von unterschiedlichen Untersuchungsgebieten ist nur bei der Wahl der gleichen Länge der Speicher möglich. Die Größe des Gesamteinzugsgebiets und dessen Abflussverhalten haben jedoch einen großen Einfluss auf die charakteristische Länge. Die Voraussetzungen aus Kapitel 2.4 müssen erfüllt sein, dass eine eindeutige Volumens-Abfluss-Beziehung aufgestellt werden kann.

Im Vergleich zu hydraulischen Modellierungen können mit dem hier entwickelte Verfahren die Retentionseigenschaften von Überflutungsgebieten ohne eine generierte oder gemessene Hochwasserwelle bestimmt werden. Die Umsetzung mit Daten aus dem HORA bietet zudem die Möglichkeit, die potentiellen Retentionsräume für alle Einzugsgebiete dieses Datensatzes zu ermitteln. Der Daten- und Rechenaufwand ist hierbei geringer als bei hydraulischen Modellierungen. Diese ist für eine genauere Betrachtung der Abflussverhältnisse in potentiellen Umsetzungsgebieten jedoch schon deshalb sinnvoll, weil beim HORA technische, sowie bauliche Hochwasserschutzmaßnahmen nicht berücksichtigt wurden.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION. [EU-HWRL] (2007): Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken
- ANGELMAIER, M. (2006): Kamptal: Hochwasserschutz als Gesamtkonzept. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 58, 11-12, 153 - 157
- ANSCHÖBER, R. (2012a): *Am Schauplatz: 10 Jahre nach der Hochwasserkatastrophe ist Walding, einer der am stärksten betroffenen Orte 2002, nun vollständig gesichert!* Linz: Landes Korrespondenz Medien Info
- ANSCHÖBER, R. (2012b): *Hochwasser - Schutzmassnahmen 2002 - 2012*. Verfügbar in: http://www.anschober.at/files/materialien/121/Hochwasserfolder_online.pdf [Abfrage am 08.04.2013]
- BAUER, C. (2004): Bestimmung der Retentionspotenziale naturnaher Maßnahmen in Gewässer und Aue mit hydraulischen Methoden. *Kasseler Wasserbau - Mitteilungen*, 16. Universität Kassel
- BOLLRICH, G. (1992): *Technische Hydromechanik 1*, Berlin/München: Verlag für Bauwesen
- BUCHER, B. (1994): Optimierung von Grundwasser-Meßnetzen mit Kriging-Verfahren. *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, 3. Universität Freiburg
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV] (s.a.): *Digitales Geländehöhenmodell - Höhenraster; Qualität*. Verfügbar in: http://www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,1572975&_dad=portal&_schema=PORTAL [Abgerufen am 11.04.2013]
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT [BMLFUW] (2011): *Weiterführende Information – Hochwasser; Begleitinfo zur Webseite <http://hora.gv.at>*. Verfügbar in: http://www.hora.gv.at/assets/eHORA/pdf/HORA_Hochwasser_Weiterfuehrende-Informationen_v3.pdf [Abgerufen am 08.04.2013]
- DIN 4049-3. (1992): DIN 4049 Teil 3 - Hydrologie, Begriffe zur quantitativen Hydrologie. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- DJOKIC, D. (2008): *Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools*. ArcGIS, ESRI

Verfügbar in: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=41c96fadd2bf49ff8851002042c0495f> [Abgerufen am 11.04.2013]

- ESRI (2011): *Klassifizieren von numerischen Feldern für abgestufte Symbologie*. ArcGIS 10 Desktop Help
- GILLI, S. (2010): Die Wirkung von Flussaufweitungen auf Hochwasserwellen - Parameterstudie einer Deichrückverlegung im Flussmittellauf. *Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen*, 43. TU Dresden
- GODINA, R., LALK, P., LORENZ, P., MÜLLER, G., WEILGUNI, V. (2004): *Die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 in Österreich*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - Abteilung VII/3
- GUTKNECHT, D. (2001): *Ingenieurhydrologie*. In: Lechner, K., Lühr, H.-P., Zanke, U.C.E. (Hrsg.) *Taschenbuch der Wasserwirtschaft* (S. 315-371). Berlin: Parey Buchverlag
- HABERSACK, H., BÜRCEL, J., PETRASCHKE, A. (2004): *Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – FloodRisk; Synthesebericht*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- HAIDER, S. (1994): Der Beitrag von Vorlandüberflutungen zur Verformung von Hochwasserwellen. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 128. ETH Zürich
- HLATKY, T., STIEFELMEYER, H. (2008): HORA - Hochwasser Risikozonierung Austria; PPP - on hazard zoning of Lebensministerium and VVO. *RisqUE conference „From past natural disasters to the challenge of climate change in Europe“* Paris, 26.-28.11.2008
- JOURNAL, A.G., HUIJBREGTS, CH.J. (1978): *Mining Geostatistics*. London: Academic Press, INC.
- MANIAK, U. (2010): *Hydrologie und Wasserwirtschaft - Eine Einführung für Ingenieure*. (6. neu bearbeitete Auflage). Berlin/Heidelberg: Springer Verlag
- Meinbezirk.at (2012): *Nach 2002-Flut ist Rodl sicher*, Verfügbar in: <http://www.meinbezirk.at/ottensheim/politik/nach-2002-flut-ist-rodل-sicher-d158712.html> [Abfrage am 07.04.2013]

- NEUHOLD, C. (2012): *Endbericht Schadenspotentialstudie - Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten: Berücksichtigung von Instrumenten der Raumordnung*. Linz: Amt der Oö. Landesregierung
- NEUHOLD, C., NACHTNEBEL H.P. (2010): *Modul III: Verallgemeinerung und Empfehlungen*. In: Nachtnebel, H.-P., Neuhold, C., Oberleitner, F., Schraml, C. (Hrsg.) *Umsetzungsstudie: Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten unter Berücksichtigung von Ortsentwicklungskonzepten und der EU-Hochwasserrichtlinie*. Linz: Amt der Oö. Landesregierung
- ORF Oberösterreich (2012): *Erinnerungen an das Jahrhundert-Hochwasser*, Verfügbar in : <http://ooe.orf.at/radio/stories/2544576/> [Abfrage am 07.04.2013]
- PICHLER, C. (2010): *Fotogalerie von Christian Pichler; Ottensheim - Große Rodl* Verfügbar in: <http://my.ottensheim.at/cp/photos/piwigo/picture.php?/1003/category/32> [Abfrage am 07.04.2013]
- PLATE, E. J., SCHULTZ, G. A., SEUS, G. J., WITTENBERG, H. (1977): *Ablauf von Hochwasserwellen in Gerinnen. Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser und Kulturbauwesen, 27*. Berlin: Verlag Paul Parey
- Regionews (2012): *Am Schauplatz Walding: 10 Jahre nach der Hochwasserkatastrophe*, Verfügbar in: http://www.regionews.at/newsdetail/Am_Schauplatz_Walding_10_Jahre_nach_der_Hochwasserkatastrophe-38610 [Abfrage am 07.04.2013]
- ROSEMANN, H.-J., VEDRAL, J. (1970): *Das Kalinin-Miljukov-Verfahren zur Berechnung des Ablaufs von Hochwasserwellen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, 6*. Unidruck München
- SCHIMON, W., SCHÖNER, W., BÖHM, R., HASLINGER, K., BLÖSCHL, G., KROISS, H., MERZ, R., BLASCHKE, A. P., VIGLIONE, A., PARAJAKA, J., SALINAS, J. L., DRABEK, U., LAAHA, G., KREUZINGER, N. (2011): *Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- SCHRAML, C. (2008): *Modul III - Summenwirkung*. In: Nachtnebel, H.-P., Müller, B., Neuhold, C., Oberleitner, F., Schraml, C. (Hrsg.) *Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten*. Linz: Amt der Oö. Landesregierung

- SCHRAML, C. (2010): *Modul II: Summation*. In: Nachtnebel, H.-P., Neuhold, C., Oberleitner, F., Schraml, C. (Hrsg.) *Umsetzungsstudie: Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten unter Berücksichtigung von Ortsentwicklungskonzepten und der EU-Hochwasserrichtlinie*. Linz: Amt der Oö. Landesregierung
- VETTER, M., JOCHEM, A., FRANKE, M., SCHÖBERL, F., WERTHMANN, M. (2009): Auswirkung der Geländemodellauflösung auf Hochwassermodellierungen. *Angewandte Geoinformatik 2009, Beiträge zum 21. AGIT-Symposium Salzburg, Austria*, 378-386. Heidelberg: Wichmann Verlag
- WACKERMANN, R. (1980): Wellenablauf mit Berücksichtigung von Sonderfällen. In: *Operationelle Wasserstands- und Abfluß- Vorhersagen*. Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser und Kulturbauwesen, 51. Berlin: Verlag Paul Parey

7. Anhang

Anhang 1: Pegelschlüssel Rottenegg / Große Rodl

Anhang 2: Pegelschlüssel Zwettl an der Rodl / Große Rodl

Anhang 3: ArcGIS Vorgangsweise Speicherberechnung

Anhang 4: Arbeitsschritte des Modells „RasterRandpunkte_UEZG“

Anhang 5: Arbeitsschritte des Modells „UEZG_Analyse_Gesamt“

Anhang 6: Darstellung der Speicherkonstanten $K_{30,100}$ für das Einzugsgebiet der Rodl (A2)

Anhang 7: Darstellung der Speicherkonstanten $K_{100,200}$ für das Einzugsgebiet der Rodl (A2)

Anhang 8: Darstellung der Speicherkonstanten $K_{30,200}$ für das Einzugsgebiet der Rodl (A2)

4 HD-OOE

Hydrographischer Dienst in Österreich

25.10.2012 07:16

PS.: 19 (2006)

WfürQ=0: 0

Rottenegg

Große Rodl

Pegelnullpunkt [m]: 271.83

HZBNr: 205088; HDNr: 3880; DBMSNr: 4001056

Einzugsgebiet [km²]:

orographisch: 227.4

wirksam: 227.4

W [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.031	0.058	0.090	0.129	0.172
100	0.221	0.275	0.333	0.396	0.464	0.535	0.611	0.691	0.775	0.863
110	0.955	1.05	1.15	1.25	1.36	1.47	1.58	1.70	1.82	1.94
120	2.07	2.20	2.33	2.47	2.61	2.75	2.90	3.05	3.20	3.36
130	3.51	3.67	3.84	4.01	4.18	4.35	4.53	4.70	4.89	5.07
140	5.26	5.45	5.64	5.84	6.03	6.23	6.44	6.64	6.85	7.06
150	7.28	7.50	7.72	7.94	8.16	8.39	8.62	8.85	9.09	9.32
160	9.56	9.81	10.1	10.3	10.5	10.8	11.1	11.3	11.6	11.9
170	12.1	12.4	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.7
180	15.0	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.1	17.4	17.7
190	18.0	18.3	18.7	19.0	19.3	19.7	20.0	20.3	20.7	21.0
200	21.3	21.7	22.0	22.4	22.7	23.1	23.4	23.8	24.1	24.5
210	24.9	25.2	25.6	26.0	26.3	26.7	27.1	27.5	27.9	28.2
220	28.6	29.0	29.4	29.8	30.2	30.6	31.0	31.4	31.8	32.2
230	32.6	33.0	33.4	33.8	34.2	34.6	35.1	35.5	35.9	36.3
240	36.8	37.2	37.6	38.1	38.5	38.9	39.4	39.8	40.2	40.7
250	41.1	41.6	42.0	42.5	42.9	43.4	43.9	44.3	44.8	45.3
260	45.7	46.2	46.7	47.1	47.6	48.1	48.6	49.0	49.5	50.0
270	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5	55.0
280	55.5	56.1	56.6	57.1	57.6	58.1	58.6	59.1	59.6	60.1
290	60.6	61.1	61.6	62.1	62.6	63.2	63.7	64.2	64.7	65.2
300	65.7	66.2	66.7	67.2	67.7	68.2	68.7	69.3	69.8	70.3
310	70.8	71.3	71.8	72.3	72.8	73.3	73.9	74.4	74.9	75.4
320	75.9	76.4	76.9	77.4	77.9	78.5	79.0	79.5	80.0	80.5
330	81.0	81.5	82.0	82.6	83.1	83.6	84.1	84.6	85.1	85.6
340	86.1	86.7	87.2	87.7	88.2	88.7	89.2	89.7	90.3	90.8
350	91.3	91.8	92.3	92.8	93.4	93.9	94.4	94.9	95.4	95.9
360	96.4	97.0	97.5	98.0	98.5	99.0	99.5	100	101	101
370	102	102	103	103	104	104	105	105	106	106
380	107	107	108	108	109	109	110	110	111	111
390	112	112	113	114	114	115	115	116	116	117
400	117	118	118	119	119	120	120	121	121	122
410	122	123	123	124	124	125	125	126	127	127
420	128	128	129	129	130	130	131	131	132	132
430	133	133	134	134	135	135	136	136	137	138
440	138	139	139	140	140	141	141	142	142	143
450	143	144	144	145	145	146	146	147	147	148
460	148	149	150	150	151	151	152	152	153	153
470	154	154	155	155	156	156	157	157	158	158
480	159	160	160	161	161	162	162	163	163	164
490	164	165	165	166	166	167	167	168	168	169
500	170	170	171	171	172	172	173	173	174	174
510	175	175	176	176	177	177	178	178	179	180
520	180	181	181	182	182	183	183	184	184	185
530	185	186	186	187	187	188	189	189	190	190

PS.: 13 (2009)

WfürQ=0: 0

Zwettl an der Rodl

Große Rodl

Pegelnulppunkt [m]: 610.27

HZBNr: 206656; HDNr: 3850; DBMSNr: 4001206

Einzugsgebiet [km²]:

orographisch: 60.0

wirksam: 60

W [cm]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.011
110	0.021	0.034	0.050	0.069	0.092	0.117	0.146	0.178	0.212	0.250
120	0.291	0.335	0.382	0.431	0.484	0.540	0.598	0.660	0.722	0.787
130	0.856	0.928	1.00	1.08	1.17	1.26	1.35	1.44	1.54	1.65
140	1.76	1.87	1.99	2.11	2.24	2.37	2.51	2.65	2.79	2.95
150	3.10	3.26	3.43	3.60	3.78	3.96	4.15	4.35	4.54	4.75
160	4.96	5.18	5.40	5.63	5.85	6.09	6.32	6.56	6.81	7.06
170	7.31	7.57	7.82	8.09	8.36	8.63	8.90	9.18	9.46	9.75
180	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.5	11.8	12.2	12.5	12.8
190	13.1	13.4	13.8	14.1	14.4	14.8	15.1	15.5	15.8	16.2
200	16.5	16.9	17.3	17.6	18.0	18.4	18.8	19.1	19.5	19.9
210	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.6	24.0
220	24.4	24.8	25.3	25.7	26.1	26.6	27.0	27.4	27.9	28.3
230	28.8	29.3	29.7	30.2	30.6	31.1	31.6	32.1	32.5	33.0
240	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0
250	38.5	39.0	39.6	40.1	40.6	41.1	41.7	42.2	42.7	43.3
260	43.8	44.4	44.9	45.5	46.0	46.6	47.1	47.7	48.3	48.8
270	49.4	50.0	50.6	51.1	51.7	52.3	52.9	53.5	54.1	54.7
280	55.3	55.9	56.5	57.1	57.7	58.3	59.0	59.6	60.2	60.8
290	61.5	62.1	62.7	63.4	64.0	64.6	65.3	65.9	66.6	67.2
300	67.9	68.5	69.2	69.9	70.5	71.2	71.9	72.5	73.2	73.9
310	74.6	75.3	76.0	76.6	77.3	78.0	78.7	79.4	80.1	80.8
320	81.6	82.3	83.0	83.7	84.4	85.1	85.9	86.6	87.3	88.1
330	88.8	89.5	90.3	91.0	91.8	92.5	93.3	94.0	94.8	95.5
340	96.3	97.0	97.8	98.6	99.4	100	101	102	102	103
350	104	105	106	106	107	108	109	110	110	111
360	112	113	114	114	115	116	117	118	119	119
370	120	121	122	123	124	125	125	126	127	128
380	129	130	131	131	132	133	134	135	136	137
390	138	138	139	140	141	142	143	144	145	146
400	147	147	148	149	150	151	152	153	154	155
410	156	157	158	159	160	161	161	162	163	164
420	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174
430	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184
440	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194
450	195	196	197	198	199	200	201	202	203	205
460	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215
470	216	217	218	219	221	222	223	224	225	226
480	227	228	229	230	231	233	234	235	236	237
490	238	239	240	242	243	244	245	246	247	248
500	250	251	252	253	254	255	256	258	259	260

Anhang 3: ArcGIS Vorgangsweise Speicherberechnung

Ermittlung der Untereinzugsgebiete

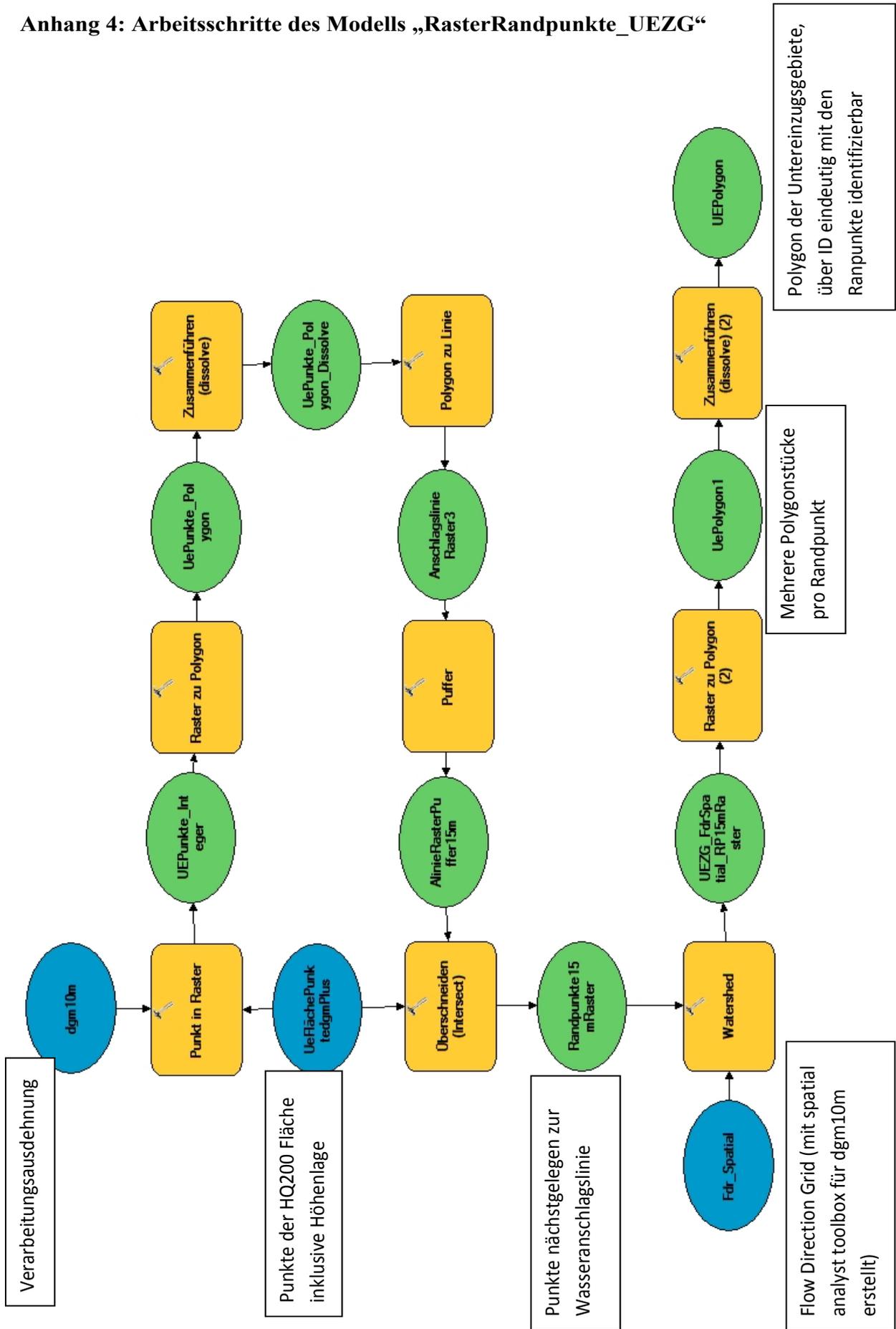
- Definition der Z-Komponente des DGM:
 - Im Projektionsfile „prj.adf“ muss der Parameter „zUnits“ auf eins eingestellt werden (siehe: <http://forums.arcgis.com/threads/34619-Level-DEM-Spatial-reference-does-not-have-z-unit>)
- Ausschneiden des Flusslaufes für das EZG:
 - Analysis Tools – Extrahieren – Ausschneiden für Digitales Fließgewässernetz
- Höhenzuweisung Flusslauf:
 - 3D – Analyst Tools – Oberflächenfunktionen – Shape interpolieren
- Ausschneiden der HORA-Abflussdaten für das EZG:
 - Analysis Tools – Extrahieren – Ausschneiden für Export_Output.shp
- Anpassen der Abflussdaten-Knoten an das Fließgewässernetz:
 - In einer Editiersitzung müssen alle Knoten der HORA-Daten verschoben werden (manuell)
- Übertragen der HORA-Informationen auf das Fließgewässernetz:
 - Analysis Tools – Overlay – Räumliche Verbindung [Join_One_to_one; Alle Ziel-Features beibehalten; Closest]
- Zusammenführen der Flussabschnitte mit gleichem Abfluss:
 - Data Management Tools – Generalisierung – Zusammenführen (dissolve) [Dissolve_Field: EDGEID; Multipart-Features erstellen]
- 100 Meter Punkte konstruieren:
 - Punkt Feature-Class erstellen, Bearbeitung starten, GW-Netz Linie auswählen, Editor – Punkte konstruieren – Abstand 100m
- Endpunkte definieren:
 - Data Management Tools – Features – Feature-Stützpunkte zu Punkten [END]
- Endpunkte 10 – 25 Meter flussauf verschieben:

- Punkt Feature Class bearbeiten – manuell verschieben
- Zusammenfügen der 100Meter Punkte und der Endpunkte:
 - Data Management Tools – Allgemein – Zusammenführen (merge)
- DEM Preprocessing:
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Terrain Preprocessing – DEM Manipulation – DEM Reconditioning [30; 20; 2000 ; Bestes Eingangsdaten, mittels Trial and Error ermittelt]
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Terrain Preprocessing – DEM Manipulation – Fill Sinks
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Terrain Preprocessing – Flow Direction
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Terrain Preprocessing – Flow Accumulation
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Terrain Preprocessing – Stream Definition [# of cells: 2000; um Abdeckung des gesamten Flusslaufes zu gewährleisten]
- Punkte liegen teilweise neben Stream-Raster -> Zuordnung:
 - Conversion Tools – von Raster – Raster zu Punkt [„Stream2000“]
 - Analysis Tools – Nachbarschaftsanalyse – Near [Eingabe-Feature: „UEZG-Punkte“; Near-Feature: „StreamPoint“]
 - Analysis Tools – Nachbarschaftsanalyse – Puffer [Eingabe-Feature: „UEZG-Punkte“; Abstand: Feld „Near_Dist“]
 - Analysis Tools – Overlay – Überschneiden (Intersect) [StreamPoint, UEZGPunkte_Puffer]
- Punkte als BatchPoints definieren:
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Watershed Processing – Data Management Watershed Delineation – im BatchPoint Dropdown-Menü den Punkt-Layer auswählen
- Ermittlung der Untereinzugsgebiete:
 - ArcHydro Tools Werkzeugleiste – Watershed Processing – Batch Subwatershed Delineation

Erstellen der Differenzenkarten und Zuordnung zu Untereinzugsgebieten

- Exportieren der TIFF-Dateien in die Geodatenbank (ArcKatalog)
- Definition des Raumbezugs der Raster: Projection: MGI Austria Lambert (ArcKatalog)
- Import der Raster in ArcMap und Ausschneiden auf EZG:
 - Data Management Tools – Raster – Raster Verarbeitung – Ausschneiden [Ausgabeausdehnung: EZG, Eingabe-Features als Geometrie zum Ausschneiden verwenden]
- Definition des Randwertes (255) als 0:
 - Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify [Input Raster auswählen – Tabelle „Eindeutig“ auswählen – Alle alten Werte bis auf 255 löschen – Neuer Wert für 255 = 0]
- Differenzenkarten:
 - Spatial Analyst Tools – Math – Minus [Input 1 > Input 2]
- Elimination negativer Werte und Null – Werte:
 - Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify [Input Raster auswählen – Tabelle „Eindeutig“ auswählen – Alle negativen Werte und 0 = NoData]
- Punktwolke der Differenzen erstellen:
 - Conversion Tools – Von Raster – Raster zu Punkt [Feld: Value]
- Zuordnung Überflutungstiefen – Untereinzugsgebiete:
 - Analysis Tools – Overlay – Überschneiden (Intersect) [Punktwolke mit UEZG]
- Tabelle Exportieren

Anhang 4: Arbeitsschritte des Modells „RasterRandpunkte_UEZG“



Verarbeitungsausdehnung

Punkte der HQ200 Fläche inklusive Höhenlage

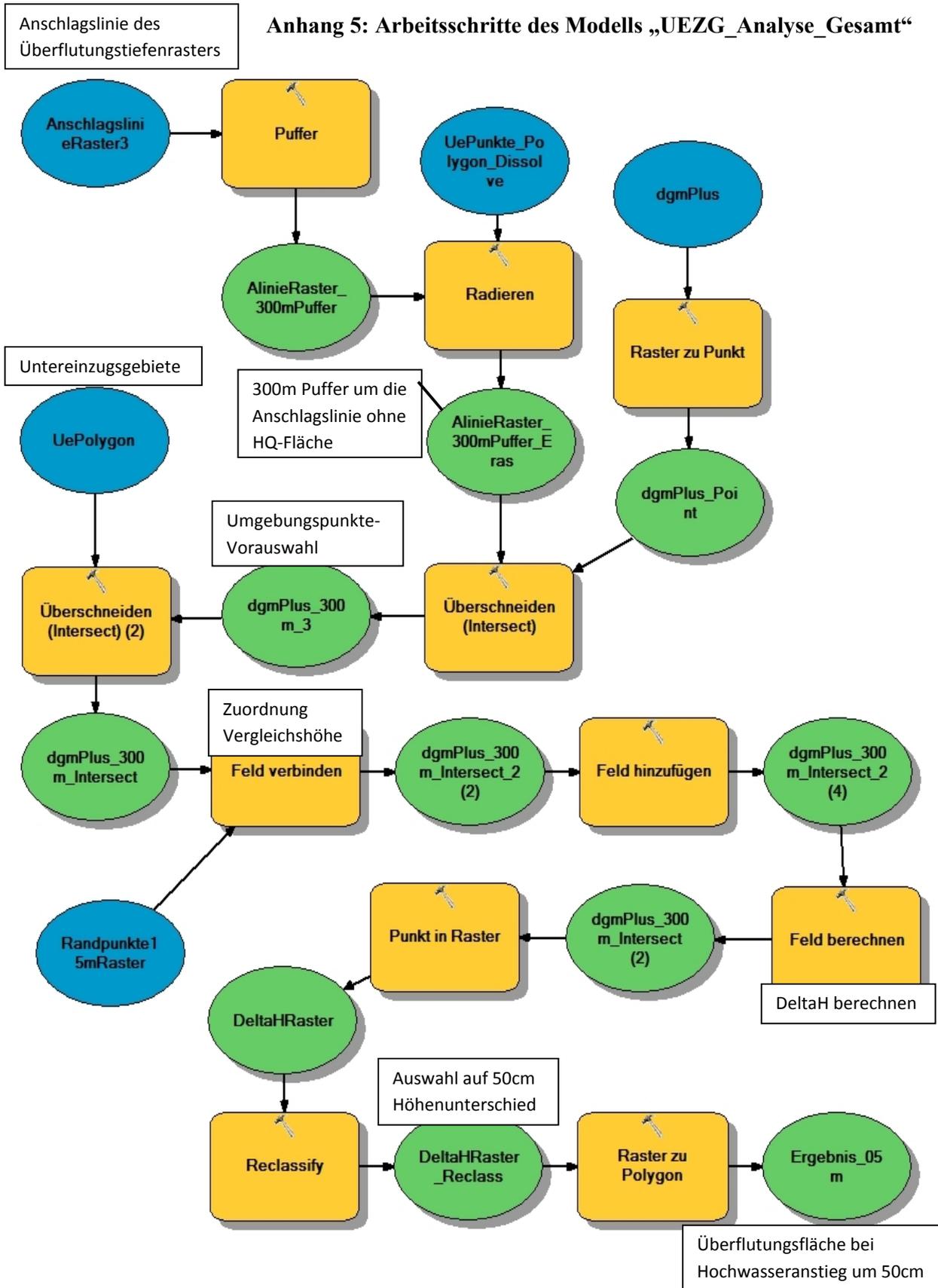
Punkte nächstgelegenen zur Wasseranschlagslinie

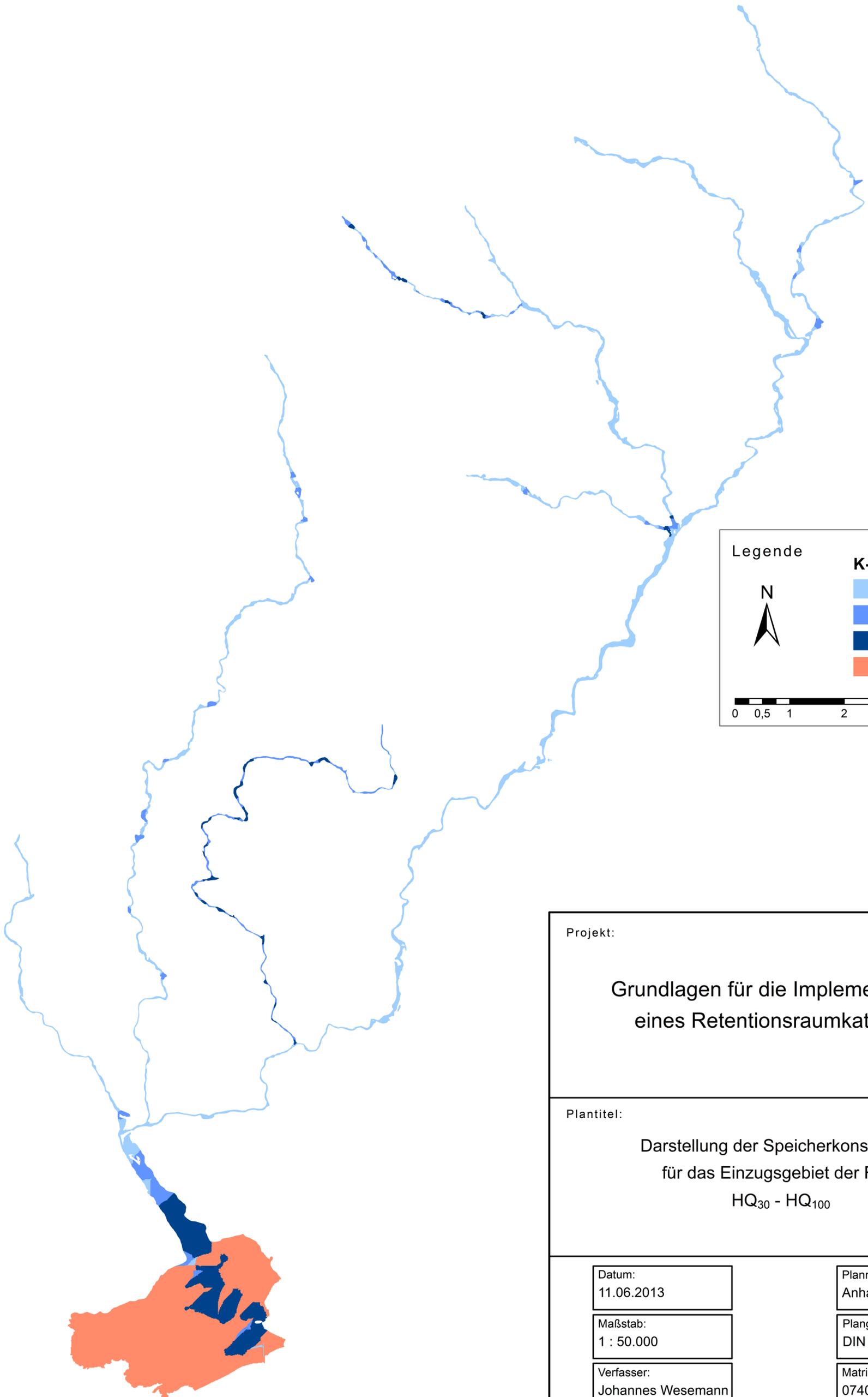
Flow Direction Grid (mit spatial analyst toolbox für dgm10m erstellt)

Mehrere Polygonstücke pro Randpunkt

Polygon der Untereinzugsgebiete, über ID eindeutig mit den Randpunkte identifizierbar

Anhang 5: Arbeitsschritte des Modells „UEZG_Analyse_Gesamt“





Legende

K-Wert

- 1 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 5000
- >5000

N

0 0,5 1 2 3 4 Kilometer

Projekt:

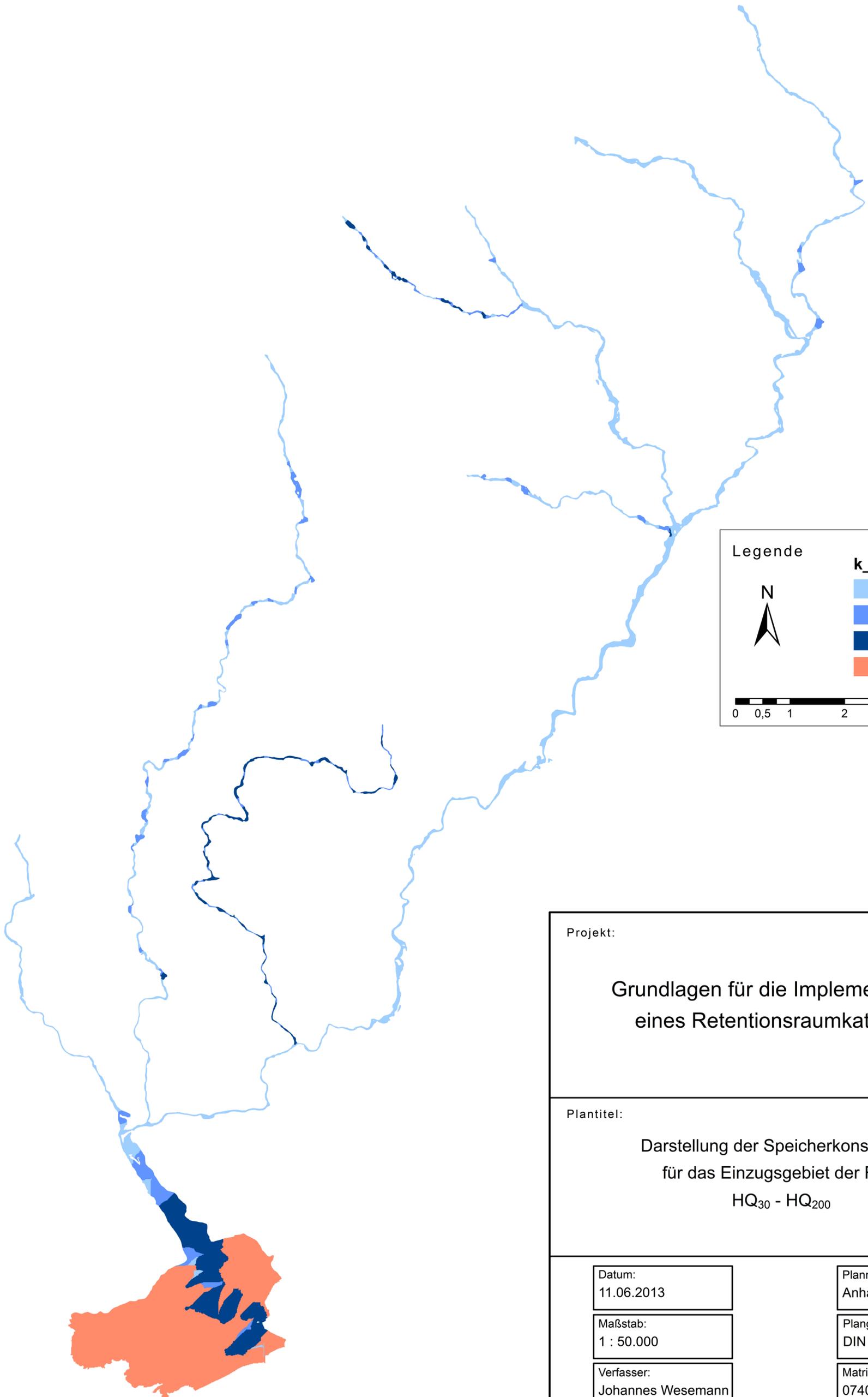
**Grundlagen für die Implementierung
eines Retentionsraumkatasters**

Plantitel:

Darstellung der Speicherkonstanten
für das Einzugsgebiet der Rodl
HQ₃₀ - HQ₁₀₀

Datum: 11.06.2013	Plannummer: Anhang 6
Maßstab: 1 : 50.000	Plangröße: DIN A2
Verfasser: Johannes Wesemann	Matrikelnummer: 0740147

UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN



Legende

k_Wert

- 1 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 5000
- >5000

N

0 0,5 1 2 3 4 Kilometer

Projekt:

Grundlagen für die Implementierung eines Retentionsraumkatasters

Plantitel:

Darstellung der Speicherkonstanten
für das Einzugsgebiet der Rodl
HQ₃₀ - HQ₂₀₀

Datum:
11.06.2013

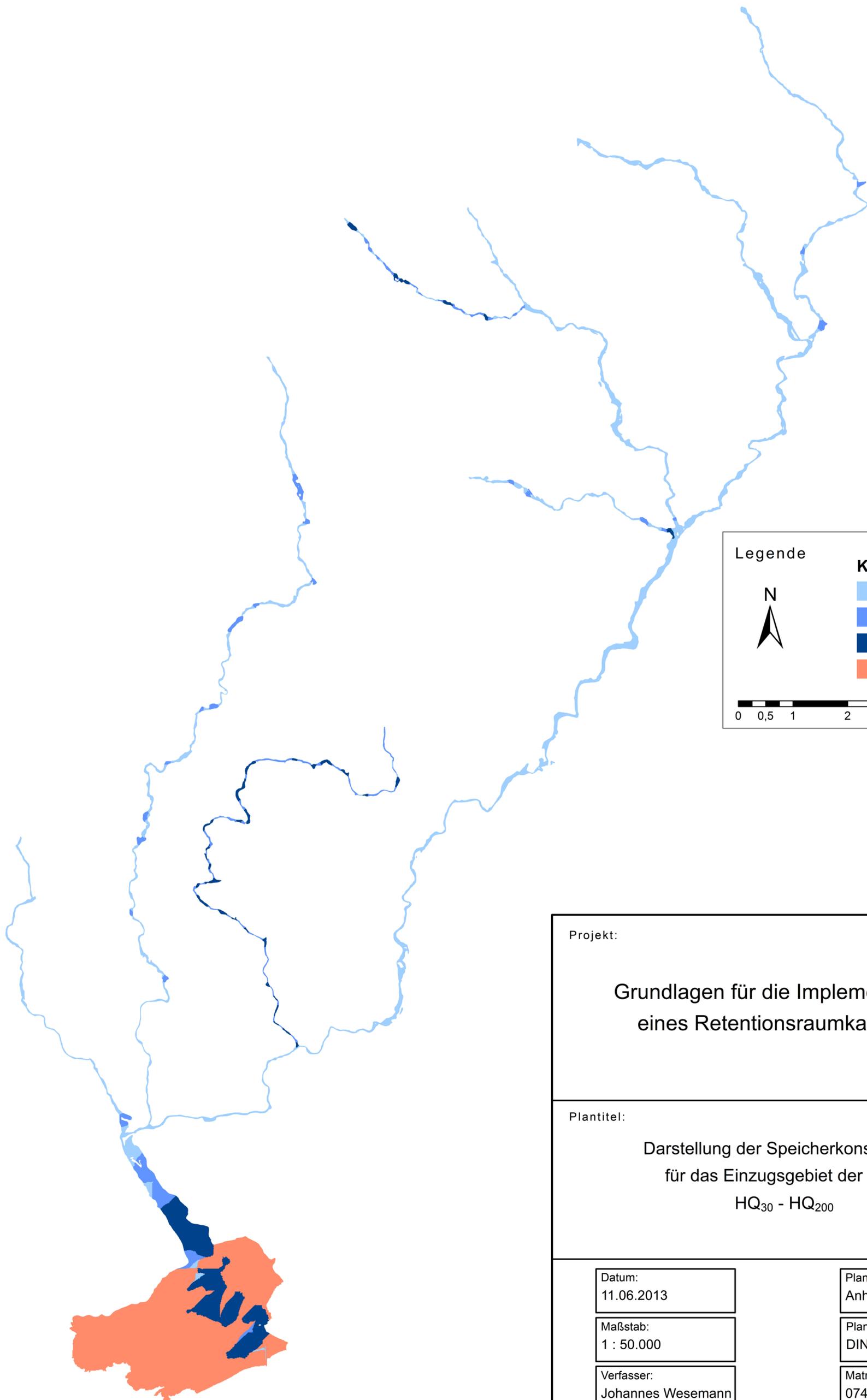
Plannummer:
Anhang 7

Maßstab:
1 : 50.000

Plangröße:
DIN A2

Verfasser:
Johannes Wesemann

Matrikelnummer:
0740147



Legende

K-Wert

- 1 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 5000
- >5000

N

0 0,5 1 2 3 4 Kilometer

Projekt:

Grundlagen für die Implementierung eines Retentionsraumkatasters

Plantitel:

Darstellung der Speicherkonstanten
für das Einzugsgebiet der Rodl
HQ₃₀ - HQ₂₀₀

Datum:
11.06.2013

Plannummer:
Anhang 8

Maßstab:
1 : 50.000

Plangröße:
DIN A2

Verfasser:
Johannes Wesemann

Matrikelnummer:
0740147

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Wien, 12.06.2013

Johannes Wesemann