

## Überflutungsflächenverlust und Hochwasserrisiko unter Berücksichtigung des Klimawandels

Institut für Wasserwirtschaft,  
Hydrologie und konstruktiven  
Wasserbau (IWHW)

Universität für Bodenkultur Wien



## **Projektleitung**

**Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Helmut Habersack**

## **Projektbearbeitung**

**Dipl.-Ing. Bernhard Schober**

**Daniel Haspel**

## **Mit Beiträgen aus den Diplomarbeiten von**

**Simon Ablinger**

**Stefan Lagler**

**Regina Nöscher**

**Florian Oder**

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Habersack, H., Schober, B., Haspel, D. (2014): Überflutungsflächenverlust und Hochwasserrisiko unter Berücksichtigung des Klimawandels. Endbericht von StartClim2013.B in StartClim2013: Anpassung an den Klimawandel in Österreich – Themenfeld Wasser, Auftraggeber: BMLFUW, BMWWF, ÖBF, Land Oberösterreich

Wien, im März 2014

StartClim2013.B

Teilprojekt von StartClim2013

Projektleitung von StartClim2013:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.startclim.at/>

StartClim2013 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWWF, der ÖBf und des Landes Oberösterreich gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>5</b>
<b>Abstract 5</b>	
<b>B-1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>B-2 Zielsetzung</b>	<b>8</b>
<b>B-3 Methodik</b>	<b>9</b>
<b>B-3.1 FEM-Methode</b>	<b>9</b>
<b>B-3.2 GIS-Analyse (Methodik für Teilziel 1)</b>	<b>10</b>
<i>B-3.2.1 Räumliche Abgrenzung</i>	<i>10</i>
<i>B-3.2.2 Landnutzungsklassen</i>	<i>10</i>
<b>B-3.3 Hydrodynamisch-numerische Modellierung (Methodik für Teilziel 2)</b>	<b>10</b>
<i>B-3.3.1 Historische Szenarien</i>	<i>10</i>
<i>B-3.3.2 Zukünftige Szenarien</i>	<i>11</i>
<b>B-4 Projektgebiete</b>	<b>12</b>
<b>B-4.1 Inn (Tirol)</b>	<b>12</b>
<b>B-4.2 Ill (Vorarlberg)</b>	<b>13</b>
<b>B-4.3 Raab (Steiermark / Burgenland)</b>	<b>13</b>
<b>B-4.4 Lavant (Kärnten)</b>	<b>14</b>
<b>B-4.5 Krems (Oberösterreich)</b>	<b>15</b>
<b>B-5 Verwendete Daten</b>	<b>16</b>
<b>B-5.1 GIS-Daten</b>	<b>16</b>
<b>B-5.2 Hydro-dynamische 2D-Modelle</b>	<b>16</b>
<b>B-5.3 Hydrologische Daten</b>	<b>16</b>
<b>B-6 Ergebnisse</b>	<b>17</b>

<b>B-6.1</b>	<b>Teilziel 1 – historische GIS-Analyse</b>	<b>17</b>
	<i>B-6.1.1 Inn</i>	17
	<i>B-6.1.2 Raab</i>	24
	<i>B-6.1.3 Krems</i>	28
<b>B-6.2</b>	<b>Teilziel 2 – Szenarienanalyse mit hydrodynamisch-numerischer Modellierung</b>	<b>32</b>
	<i>B-6.2.1 Inn</i>	32
	<i>B-6.2.2 Krems</i>	40
	<i>B-6.2.3 Raab</i>	44
	<i>B-6.2.4 Lavant</i>	45
<b>B-7</b>	<b>Schlussfolgerungen / Empfehlungen</b>	<b>47</b>
<b>B-7.1</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>48</b>
<b>B-7.2</b>	<b>Ausblick und Verlinkung zu Teilprojekt StartClim2013.D</b>	<b>48</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>49</b>
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>50</b>

## Kurzfassung

Die durch Hochwasser verursachten Schäden sind in Österreich und Europa in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Dies ist einerseits bedingt durch die Veränderungen in den Einzugsgebieten und Tälern (z.B. Verlust von Überflutungsräumen), welche das Hochwasserrisiko flussab verschärfen, andererseits durch die Zunahme an höherwertigen Nutzungen auf potenziell hochwassergefährdeten Flächen. Daher fordern die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel und die EU-Hochwasserrichtlinie, dass im Rahmen eines integrierten Hochwasserrisiko-Managements bestehende Überflutungsflächen erhalten und verloren gegangene Überflutungsflächen wiederhergestellt werden sollen.

Das Ziel dieses Projektes bestand in der Darstellung der Auswirkungen von Überflutungsflächenverlusten auf die Hochwassersituation. Die Auswertung aktueller und historischer Luftbilder zeigte in den letzten 60 Jahren für eine Fallstudie am Tiroler Inn eine deutliche Verschiebung von hochwasserverträglichen Nutzungen (Grünland) zu hochwassersensiblen Nutzungen (Siedlungs-, Industrie- & Gewerbe-, Sonder- und Verkehrsflächen), die jetzt bereits ein Drittel der Fläche einnehmen. Wegen der höherwertigen Nutzung wurden Hochwasserschutzdämme errichtet, die das Land vom Fluss abtrennen. Diese beiden Umstände führen zusammen zu einer Vergrößerung des Hochwasserrisikos – nicht nur lokal für die Anrainergemeinden, sondern auch großräumig für weiter flussabliegende Gebiete. Natürliche Überflutungsflächen mit hochwasserangepassten Nutzungen als Puffer zur Abminderung von Extremereignissen erhöhen das Risikopotenzial hingegen nicht. In Hinblick auf die durch den Klimawandel zeitweise erhöhten Abflüsse ist daher wichtig, zusätzliche potenzielle Überflutungsflächen freizuhalten bzw. wiederzugewinnen und in ein integriertes Hochwassermanagement einzubinden.

## Abstract

Damages caused by floods drastically increased in Austria and across Europe during the last decades. This is caused on the one hand by changes in the catchments and valleys, which increased flood risk downstream (e.g. the loss of floodplains) and on the other hand by an increase of high valuable land uses on flood prone areas. Therefore, the Austrian Strategy for Adaptation to Climate Change as well as the EU Floods Directive demand the preservation and restoration of floodplains in the context of an integrated flood risk management.

The aim of this project consisted in the examination of floodplain losses on flood risk. The analysis of recent and historic aerial photos of the last 60 years at the Tyrolean Inn showed a strong shift from flood adapted land uses (grass land) to flood sensitive land uses (settlements, industry & commerce, special and transportation areas) which cover already one third of the whole valley. In order to protect these higher valuable land uses, flood protection dykes have been constructed which separate the river from the adjacent land. In total, this led to increasing flood risk – not only locally for nearby residents but also for downstream settlements. Contrarily, flood adapted floodplains do not increase flood risk. Considering potential adverse effects of climate change, it is recommended to preserve or even reconnect potential floodplains and to include them into an integrated flood risk management.

## B-1 Einleitung

Die Forderung „Flüsse brauchen Raum“ ist nicht neu, wurde sie bereits seit den extremen Hochwässern 1965/66 aufgestellt. Die teils enormen Schäden der Hochwässer in den letzten Jahren unterstützten diese Forderung aufs Neue (Habersack et al., 2009, Habersack et al., 2004). In der Praxis zeigte sich demgegenüber aber ein weiter fortschreitender Flächenverbrauch (Abb. B- 1). Der tägliche Verbrauch für Siedlungs- und Verkehrstätigkeit liegt bei 10 Hektar und der Gesamtflächenverbrauch (inkl. Sportflächen, Abbauflächen, usw.) liegt bei knapp 24 Hektar (Durchschnitt der 3 Jahres-Periode 2008–2010 (Umweltbundesamt, 2010)). Dabei sind insbesondere Überflutungsflächen betroffen (Abb. B- 2), da dort gute Erschließungsmöglichkeiten, Verkehrsanbindung und günstige Preise vorherrschen.

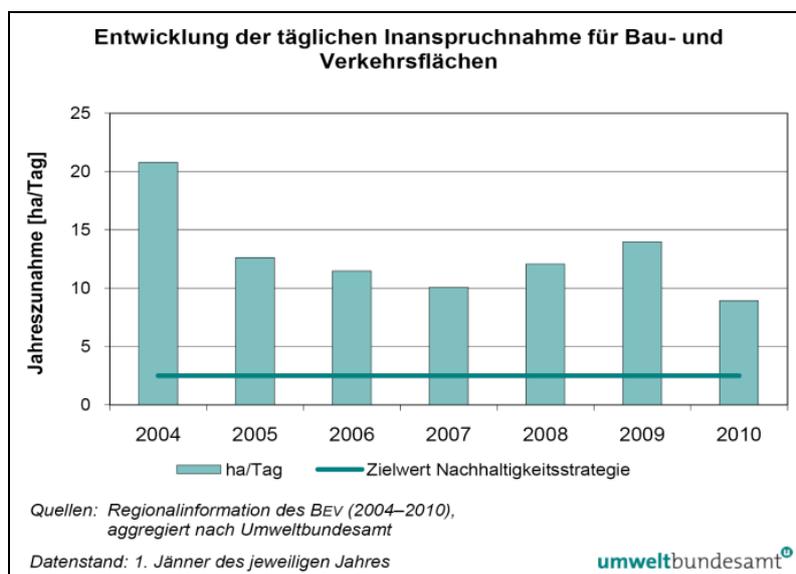


Abb. B- 1: Flächenverbrauch in Österreich (Umweltbundesamt, 2010)

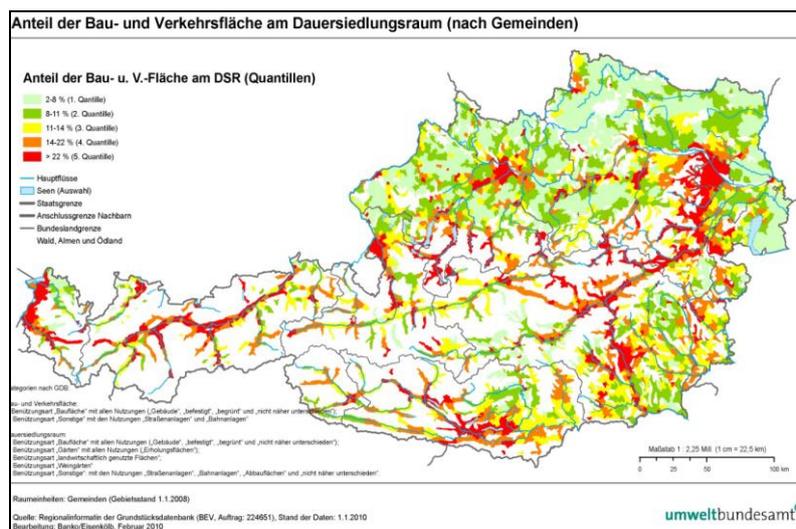
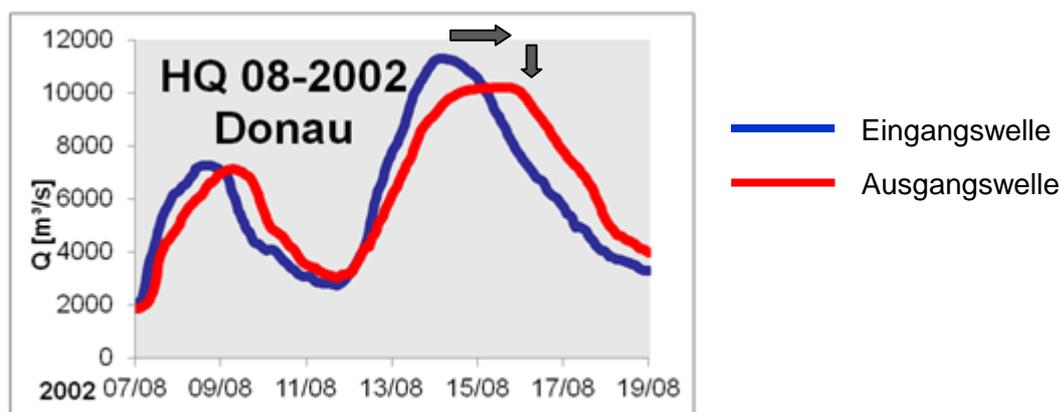


Abb. B- 2: Räumliche Verteilung des Flächenverbrauchs in Österreich (Umweltbundesamt, 2010)

Die natürlichen Überflutungsflächen entlang von Fließgewässern haben (neben ökologischen und landschaftsästhetischen Aspekten) jedoch direkten Einfluss auf das Hochwasserrisiko.

Freigehaltene bzw. wiederhergestellte Überflutungsflächen wirken sich im gesamten Einzugsgebiet positiv auf Scheitelabfluss (Abflussspitzen) und Laufzeit von Hochwasserwellen aus, was das Hochwasserrisiko flussab reduziert (Abb. B- 3). Lokal betrachtet bewirkt ihre Freihaltung zudem die Verringerung von Risikopotenzialen in den direkt angrenzenden Gebieten (Restrisiko), da einerseits hydraulische Parameter wie Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten und Sohlschubspannungen geringer gehalten werden und andererseits gefährdete Bereiche von höherwertigen Nutzungen freigehalten werden.



**Abb. B- 3:** Wellenverformung durch Überflutungsflächen, Donau 2002 (Habersack et al., 2004)

Der Erhalt bestehender bzw. die Wiederherstellung bereits verloren gegangener Überflutungsräume ist somit ein wichtiger Bestandteil eines integrierten Hochwasserrisiko-Managements, wie dies auch in der EU-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EU-Richtlinie, 2007/60/EG) gefordert wird und stellt eines der vorrangigen Ziele der österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (Lebensministerium, 2012) im Aktivitätsfeld „Schutz vor Naturgefahren“ dar.

Um die Bemühungen für einen Erhalt bzw. eine Wiederherstellung von Überflutungsräumen unter objektiven Kriterien durchführen zu können, wurde im Rahmen des Era-Net CRUE Forschungsprojektes „Flood risk reduction by PReserving and restOring river Floodplains – PRO\_Floodplain“ eine Methode zur Evaluierung von Überflutungsräumen entwickelt (Habersack et al., 2008). Diese „Floodplain Evaluation Matrix“ FEM ermöglicht es, verschiedene Überflutungsräume aber auch verschiedene Szenarien hinsichtlich ihrer Wirkung miteinander zu vergleichen und eine Bewertung und Prioritätenreihung innerhalb eines Flusseinzugsgebietes oder einer Flussstrecke vorzunehmen. Bei den bisherigen Untersuchungen mit der FEM-Methode wurde bislang vorrangig der IST-Zustand der derzeitigen Überflutungsflächen bewertet. Die zusätzliche Betrachtung von historischen und zukünftigen Szenarien mithilfe dieser Methodik kann aber weitere wichtige Informationen in Bezug auf die Bewertung von Hochwasserrisiken liefern.

## B-2 Zielsetzung

Das Hauptziel des Projektes besteht in der Darstellung der Auswirkungen von Überflutungsflächenverlusten entlang von Flussläufen auf die Hochwassersituation. Hierbei wird ermittelt, wie sich die Hochwassersituation und das Schadensausmaß ändern würden, wenn man den Flüssen mehr Raum geben würde. Die Berücksichtigung von verschiedenen Szenarien (Annahmen über erhöhte oder öfters eintretende Hochwässer) soll zeigen, welche Überflutungsräume bzw. Managementstrategien in Hinblick auf den Klimawandel besonders effektiv sind.

Da auf Überflutungsflächen eine Vielzahl von Nutzungsansprüchen vorherrscht (Hochwasserschutz, Ökologie, Landwirtschaft, Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung,...) soll räumlich differenziert aufgezeigt werden, welche Überflutungsflächen für den Hochwasserschutz von übergeordneter Bedeutung sind um ein gemeinsames Problemverständnis zu schaffen und eine Prioritätenreihung für die Flächenvorsorge zu ermöglichen. Die praktische Relevanz der Ergebnisse dieses Projektes besteht in der Erstellung einer fachlichen Grundlage für die maßgebenden Entscheidungsträger zur Lösung von Nutzungskonflikten auf Überflutungsflächen und zur Forcierung nachhaltiger Raumentwicklungsstrukturen.

Um diese Zielsetzungen zu erreichen, werden zwei Teilziele angestrebt:

**Teilziel 1:** Darstellung der historischen und prognostizierten Landnutzungsentwicklung (Änderungen in der Landnutzung und Flächenbewirtschaftung, Wegfall von Retentionsraum) auf Überflutungsflächen im Rahmen einer GIS-Analyse (historische und aktuelle Landnutzungsdaten). Die Veränderungen der Überflutungsflächen werden räumlich und zeitlich differenziert dargestellt und dienen als Basis für die Szenarienentwicklung in Teilziel 2.

**Teilziel 2:** Mittels hydrodynamisch-numerischer 2D-Modellierung werden die folgenden Szenarien in Bezug auf ihre Auswirkungen auf Hochwasserabfluss und Hochwasserrisiko untersucht:

- *historische Szenarien:* in wie weit hat sich die Hochwassersituation in den letzten 60 Jahren durch fortschreitenden Überflutungsflächenverlust verschlechtert? Welche Verbesserungen wären durch die Wiederanbindung verloren gegangener Überflutungsräume zu erwarten?
- *zukünftige Szenarien:* in wie weit wird sich die Hochwassersituation zukünftig verschlechtern, wenn der Überflutungsflächenverlust in der jetzigen Form fortschreitet? Welche Verschlechterungen ergeben sich im Falle von durch den Klimawandel bedingten höheren Abflussspitzen?

## B-3 Methodik

### B-3.1 FEM-Methode

Die Beurteilung von Überflutungsflächen stellt eine wichtige Grundlage für die Freihaltung bzw. Wiederherstellung ebensolcher Überflutungsräume sowie für die Erarbeitung von Managementstrategien dar, wie dies explizit in der Hochwasser-Richtlinie (EU-Richtlinie, 2007/60/EG) gefordert wird. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2008 im Rahmen des Era-Net-CRUE-Forschungsprojektes „PRO\_FLOODPLAIN“ der EU (Habersack et al., 2008) mit der Floodplain Evaluation Matrix (FEM) eine Methodik entwickelt, welche die wesentlichen Parameter zur Beurteilung von Überflutungsflächen beschreibt. Mithilfe dieser Parameter können Vergleiche zwischen verschiedenen historischen oder zukünftigen Szenarien durchgeführt werden.

Die FEM-Methode unterscheidet hierbei zwischen hydrologischen und hydraulischen Parametern (Abb. B- 4). Die hydrologischen Parameter Scheitelabminderung ( $\Delta Q$  in  $[m^3/s$  bzw.  $\%]$ ) und Scheitelverzögerung ( $\Delta t$  in  $[min$  bzw.  $h]$ ) beschreiben die großräumige Retentionswirkung der Überflutungsflächen, also die Dämpfung und Verzögerung einer Hochwasserwelle im Verlauf des Fließgewässers. Je besser die Überflutungsflächen wirken, desto größer sind auch die Scheitelabminderung und die Scheitelverzögerung. Die Scheitelabminderung ist für das Hochwasserrisiko insofern relevant, da sie die Höhe der Maximalwasserspiegellagen direkt beeinflusst und somit darüber entscheiden kann, ob eine strukturelle Schutzmaßnahme (wie ein Damm oder eine Mauer) im Hochwasserfall funktioniert oder überströmt wird. Die Scheitelverzögerung ist von Bedeutung, wenn es um Vorwarn- und Alarmierungszeiten geht (z.B. für Evakuierungen oder den Aufbau von mobilen Hochwasserschutzelementen).

Für die Beurteilung des kleinräumigen Hochwasserrisikos ist die Betrachtung hydraulischer Parameter erforderlich. Diese Parameter umfassen lokale Fließgrößen wie Wasserspiegellagen (WSP in  $[m]$ ), Fließgeschwindigkeiten ( $v$  in  $[m/s]$ ) oder Sohlschubspannungen ( $\tau$  in  $[N/m^2]$ ).

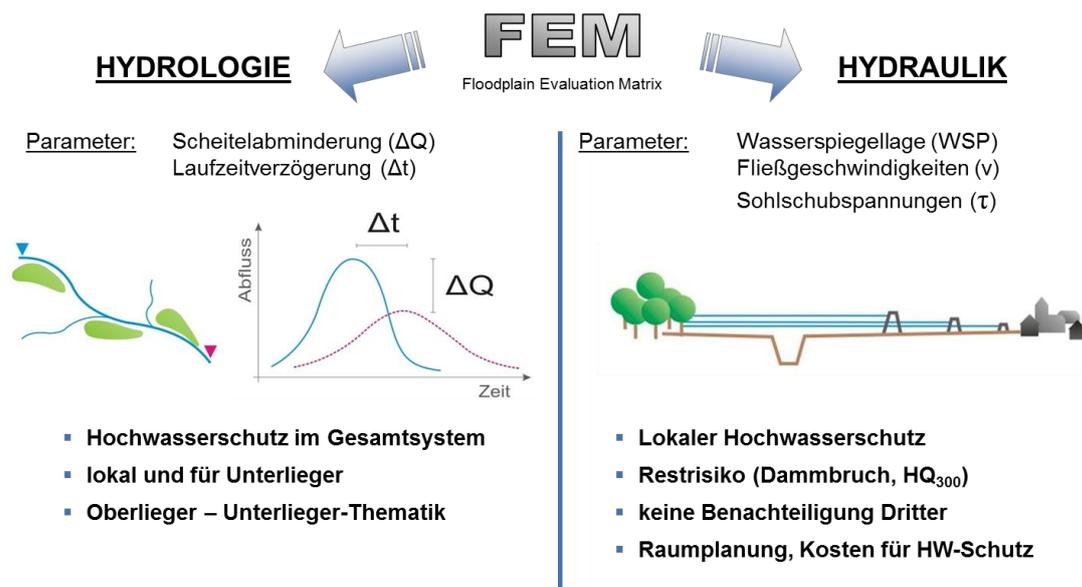


Abb. B- 4: Schematische Darstellung der Floodplain Evaluation Matrix (FEM)

### **B-3.2 GIS-Analyse (Methodik für Teilziel 1)**

Die GIS-Auswertung der Landnutzungsänderungen (Verschneidungen und Analyse der Datensets) sowie die räumlich und zeitlich differenzierte Darstellung der Landnutzungsänderungen und Flächenverluste auf den Überflutungsflächen (für die Zeitschritte 1950 – 1970 – 1990 und Heute) wurde mit ArcGIS® durchgeführt.

#### **B-3.2.1 Räumliche Abgrenzung**

Die Veränderungen der Landnutzung wurden in den folgenden vier Bereichen ermittelt: in den HORA-Bereichen (Hochwasserrisikozonierung Österreich (Merz et al., 2008, Stiefelmeyer and Hlatky, 2008)) für HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>200-300</sub> und im gesamten potenziellen Talraum (jener Bereich, der unter natürlichen Verhältnissen über lange Zeiträume theoretisch vom Fluss beansprucht werden könnte).

#### **B-3.2.2 Landnutzungsklassen**

Die Landnutzung wurde in 7 Klassen unterteilt, welche einerseits für die Zuweisung von Rauigkeitsbeiwerten in den hydrodynamisch-numerischen Modellen, andererseits als Grundlage für den Verlust von Retentionsvolumina herangezogen wurden:

Siedlung	}	versiegelt, tw. mit Schutzbedürfnis
Industrie & Gewerbe		
Verkehrsflächen		
Sonderflächen		
Grünland / Acker	}	nicht versiegelt, kein Schutzbedürfnis
Wald		
Gewässer		

[Anmerkung: die Kategorie „Sonderflächen“ ist in jedem Bundesland (Raumordnungsgesetz) etwas unterschiedlich definiert. I.d.R. sind damit aber Flächen wie Mülldeponien, Kläranlagen, Bergbauabbaugebiete etc. gemeint, die keiner anderen Kategorie eindeutig zuzuordnen sind.]

### **B-3.3 Hydrodynamisch-numerische Modellierung (Methodik für Teilziel 2)**

Die Berechnung der für die FEM-Methode essentiellen hydrologischen und hydraulischen Parameter erfolgte mittels hydrodynamisch-numerischer Modellierung. Da bei der vorliegenden Problemstellung Retentionseffekte untersucht werden und Ausuferungen sowie komplexe Strömungsverhältnisse zu erwarten sind, wurden instationäre 2-D Modelle angewendet (Habersack et al., 2007). Als Software kam das Programm Hydro\_As-2D von Dr. M. NUJIC zur Anwendung (Nujic, 1999). Dieses ist ein reines Berechnungsmodul und benötigt die Software SMS (Surface Water Modelling System (SMS8, 2003)) als Pre- und Postprocessing Modul.

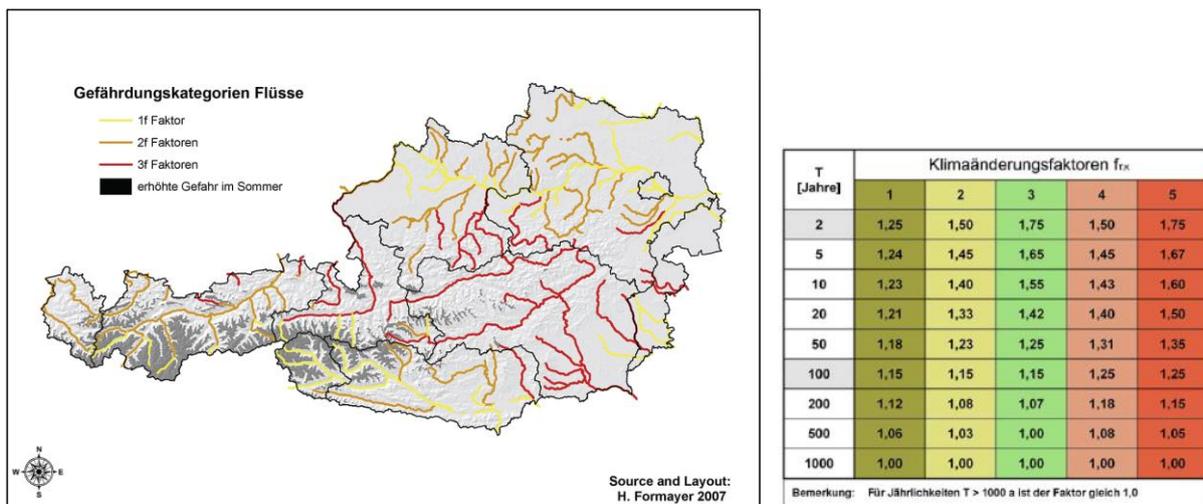
#### **B-3.3.1 Historische Szenarien**

Die Modelle für die historischen Szenarien wurden aufgrund der GIS-Auswertungen erstellt. Bei der Bearbeitung der Modelle wurden durch Anpassung der Rauigkeiten (gemäß der jeweiligen Landnutzung) und der hydraulischen Strukturen (z.B. Einebnen von dammartigen

Strukturen in vergangenen Zeitschritten) nur Veränderungen auf den Überflutungsflächen berücksichtigt. Veränderungen im Flussschlauch (Sohllagen, Einbauten wie Brücken und Kraftwerke, Veränderungen im Uferbereich) werden hier nicht betrachtet – die Szenarien stellen somit keine tatsächliche gesamtheitliche Abbildung des historischen Zustandes dar, sondern dienen nur der Quantifizierung der Veränderungen auf den Überflutungsflächen.

### B-3.3.2 Zukünftige Szenarien

Für die zukünftigen Szenarien wurde einerseits die Landnutzungsveränderung auf Basis einer Trendabschätzung in die Zukunft (in das Jahr 2030) projiziert. Zum anderen wurden die Hochwasserwellen basierend auf bisherigen Untersuchungen (Formayer et al., 2009, IPCC, 2007, IPCC, 2012, KLIWA, 2006) angepasst. Je nach Risiko-Exposition (Abb. B- 5) wurden die Hochwasserabflüsse um 15% (Ill, Inn, Krems, Raab) bzw. 25% (Lavant) erhöht.



**Abb. B- 5:** Links: Hochwasserrisiko durch den Klimawandel für Österreich (Formayer et al., 2009); Rechts: Klimaänderungsfaktoren für Süddeutschland (KLIWA, 2006)

## B-4 Projektgebiete

Bei der Auswahl der Untersuchungsgewässer wurde darauf Bedacht genommen, dass für die Untersuchungen eine ausreichend variable Datenbasis vorliegt, die das gesamte Spektrum österreichischer Flüsse mittlerer Größe gut abdeckt. Die ausgewählten Flüsse stellen hinsichtlich der hydromorphologischen Randbedingungen (Gefällsverhältnisse, Einzugsgebietsgröße, Vorlandtopographie, Abflussverhältnisse etc.) einen repräsentativen Querschnitt aus verschiedenen großen österreichischen Fließgewässern dar.

Weitere Grundvoraussetzungen waren das Vorhandensein von kalibrierten hydrodynamisch-numerischen 2D-Modellen und von (historischen) GIS-Daten.

Nach Rücksprache mit dem Lebensministerium und den interessierten Bundesländern wurden folgende 5 Flüsse als Untersuchungsgewässer ausgewählt (Abb. B- 6): Inn (Tirol), Ill (Vorarlberg), Raab (Steiermark, Burgenland), Lavant (Kärnten) und Krems (Oberösterreich). Die vier erstgenannten stellen mittelgroße bis große Flüsse mit einem Einzugsgebiet >500 km<sup>2</sup> dar. Die oberösterreichische Krems repräsentiert mit einem Einzugsgebiet von 365 km<sup>2</sup> einen etwas kleineren Fluss (HAÖ, 2007, HJB, 2008, Hydroconsult, 2011, Muhar et al., 2004, Werner Consult, 2009, Wimmer et al., 2007).

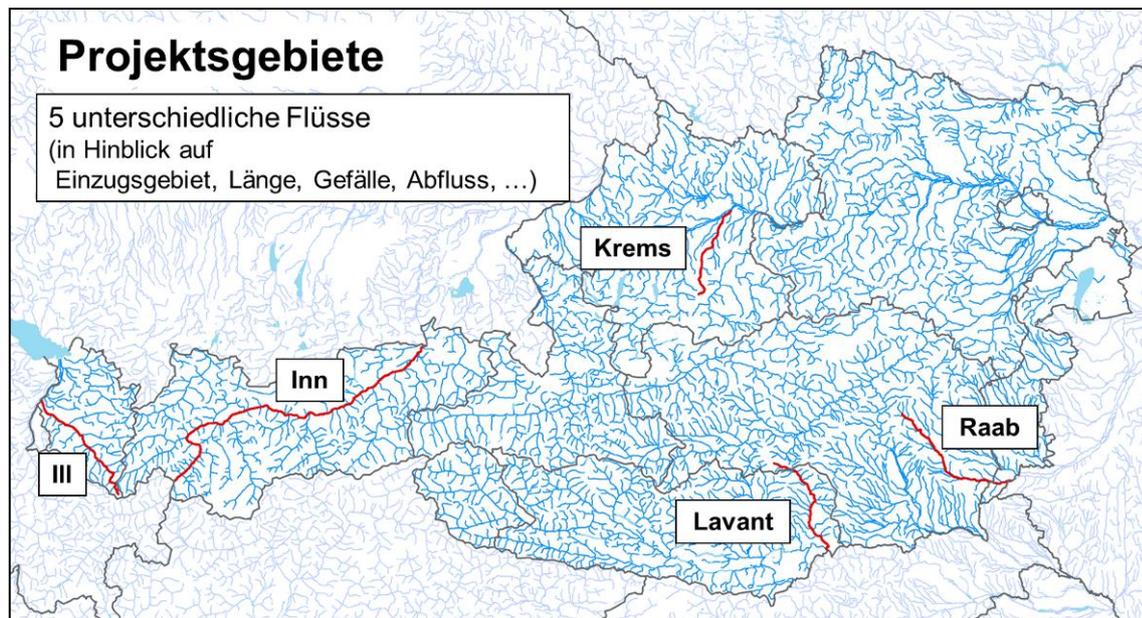


Abb. B- 6: Überblick über die Untersuchungsgewässer (HAÖ, 2007)

### B-4.1 Inn (Tirol)

Flusslänge (bis Kirchbichl): ca. 200 km

EZG: 9310 km<sup>2</sup>

MQ: 292 m<sup>3</sup>/s (Pegel Kirchbichl)

HQ (1971-2007): 2454 m<sup>3</sup>/s

Kurzbeschreibung: Der Inn ist ein rechter, 517 km langer Nebenfluss der Donau in der Schweiz, in Österreich und Deutschland. Bei einer Gesamtlänge von über 500 Kilometern ist der Inn einer der längsten und mächtigsten Alpenflüsse. Die potenzielle Linienführung ist vorwiegend furkierend, gewunden und pendelnd, abschnittsweise gestreckt. Nahezu zwei Drittel seines Flusslaufes befinden sich in den Alpen (vorwiegend Sohlental bzw. Sohlenkerbtal). Das Untersuchungsgebiet gliedert sich in den Oberen, Mittleren und Unteren Inn (Abb. B- 7).

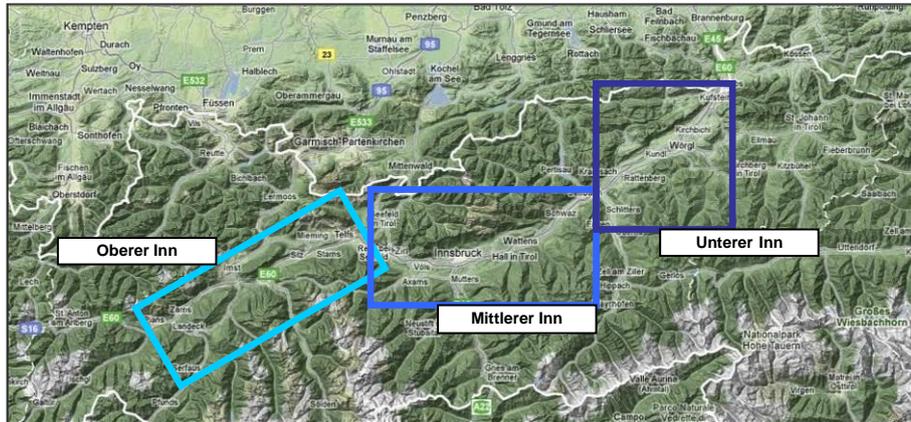


Abb. B- 7: Untersuchungsgebiet Inn

**B-4.2 III (Vorarlberg)**

Flusslänge (gesamt): 72 km

EZG: 1281 km<sup>2</sup>

MQ: 65,6 m<sup>3</sup>/s (Pegel Gisingen)

HQ (1971-2007): 689 m<sup>3</sup>/s

Kurzbeschreibung: Die III bildet den Hauptabfluss des südöstlichen Vorarlbergs mit Fließrichtung von Süd-Osten nach Nordwesten. Sie entspringt dem Vermunt- und Ochsentaler Gletscher auf ca. 2.400 m Höhe, durchfließt die Täler des Montafon und des Wallgau und mündet nach ca. 458 km Lauflänge bei Feldkirch am rechten Ufer in den Rhein. Das Einzugsgebiet der III umfasst 1.281 km<sup>2</sup>. Zahlreiche Seitengewässer münden in die III. Die größten Zubringer stellen Samina, Galina, Lutz, Meng, Alvier, Galgentobel, Litz und Alfenz dar. Die gegenständliche Studie befasst sich hauptsächlich mit der Mittleren III (Abb. B- 8).

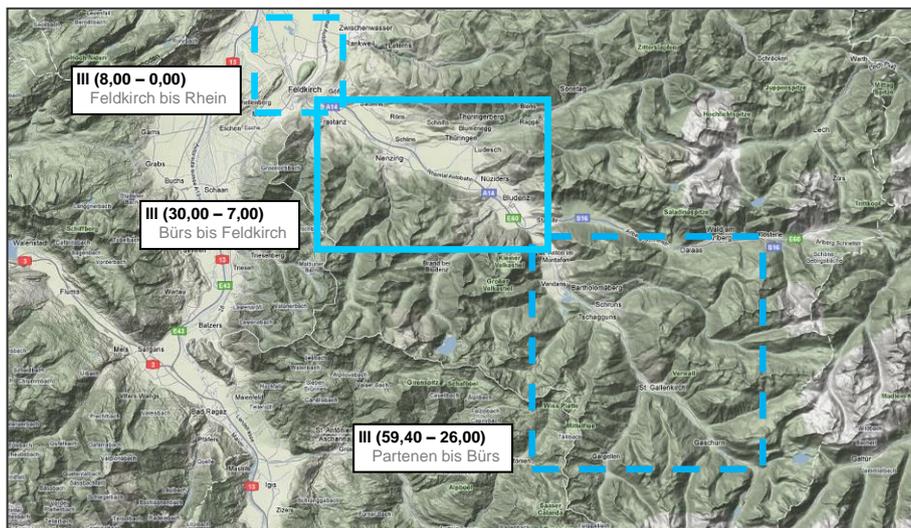


Abb. B- 8: Untersuchungsgebiet III

**B-4.3 Raab (Steiermark / Burgenland)**

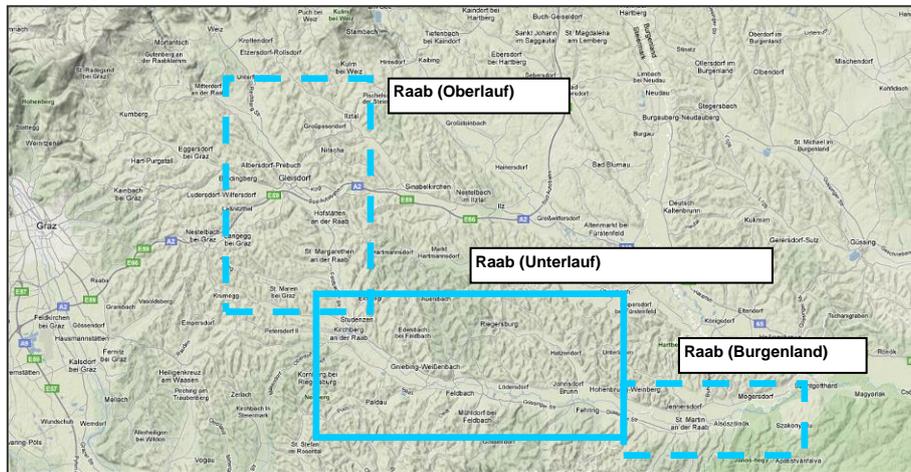
Flusslänge (gesamt): 250 km

EZG: 986,5 km<sup>2</sup>

MQ: 5,04 m<sup>3</sup>/s (Pegel Neumarkt)

HHQ (seit 1991): 226 m<sup>3</sup>/s

**Kurzbeschreibung:** Die Raab ist ein rechtsufriger Zufluss zur Donau mit einer Gesamtlänge von 250 km. Sie verläuft durch Österreich und Ungarn und nimmt an wichtigen Zubringern die Lafnitz, die Pinka und die Güns auf. Die gegenständliche Studie befasst sich mit dem steirischen Unterlauf Raab von Studenzen bis Hohenbrugg (Abb. B- 9).



**Abb. B- 9:** Untersuchungsgebiet Raab

#### B-4.4 Lavant (Kärnten)

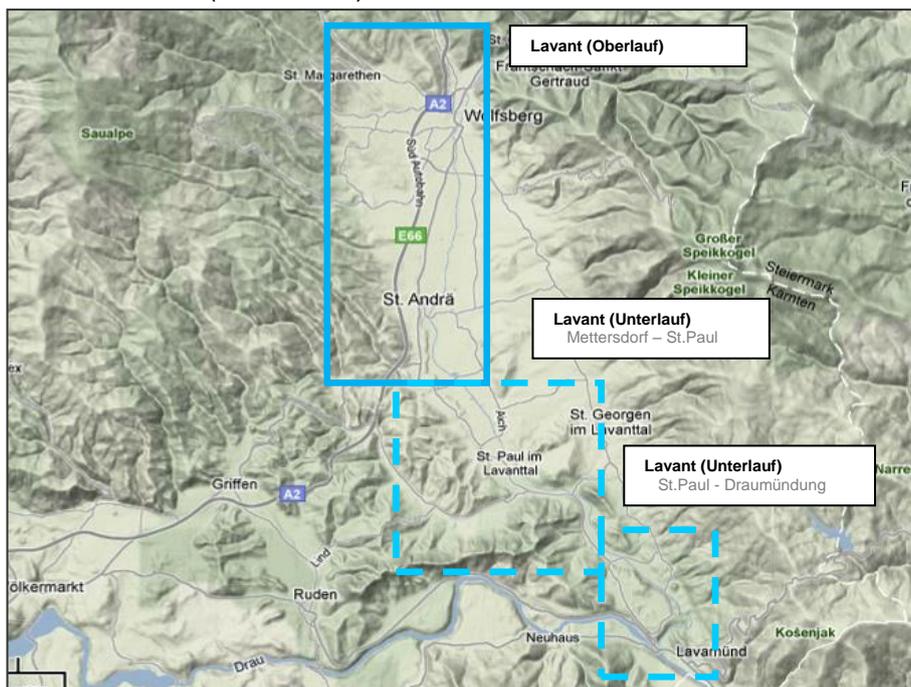
**Flusslänge (gesamt):** 64 km

**EZG:** 954,5 km<sup>2</sup>

**MQ:** 7,9 m<sup>3</sup>/s (Pegel Krottendorf)

**HHQ (seit 1951):** 235 m<sup>3</sup>/s

**Kurzbeschreibung:** Die Lavant ist ein linker Nebenfluss der Drau. Der Ursprung des Flusses liegt unterhalb des steirischen Zirbitzkogels in den Seetaler Alpen auf ca. 2170 m Höhe (Lavantsee). Nach 11,2 km erreicht sie Kärnten. Die gegenständliche Studie befasst sich mit der Oberen Lavant (Abb. B- 10).



**Abb. B- 10:** Untersuchungsgebiet Lavant

## B-4.5 Krems (Oberösterreich)

Flusslänge (gesamt): 60 km

EZG: 365,3 km<sup>2</sup> (Pegel Kremsdorf)

MQ: 5,21 m<sup>3</sup>/s (Pegel Kremsdorf)

HHQ (seit 1966): 274 m<sup>3</sup>/s

Kurzbeschreibung: Die Krems ist ein Nebenfluss der Traun und mündet in diese südlich von Linz. Sie entspringt am Fuße der Kremsmauer in Micheldorf, fließt im Traunviertel nordwärts durch das oberösterreichische Alpenvorland und mündet südlich von Linz, nahe dem Stadtteil Ebelsberg, in die Traun. Die gegenständliche Studie befasst sich mit der Unteren Krems (Abb. B- 11).

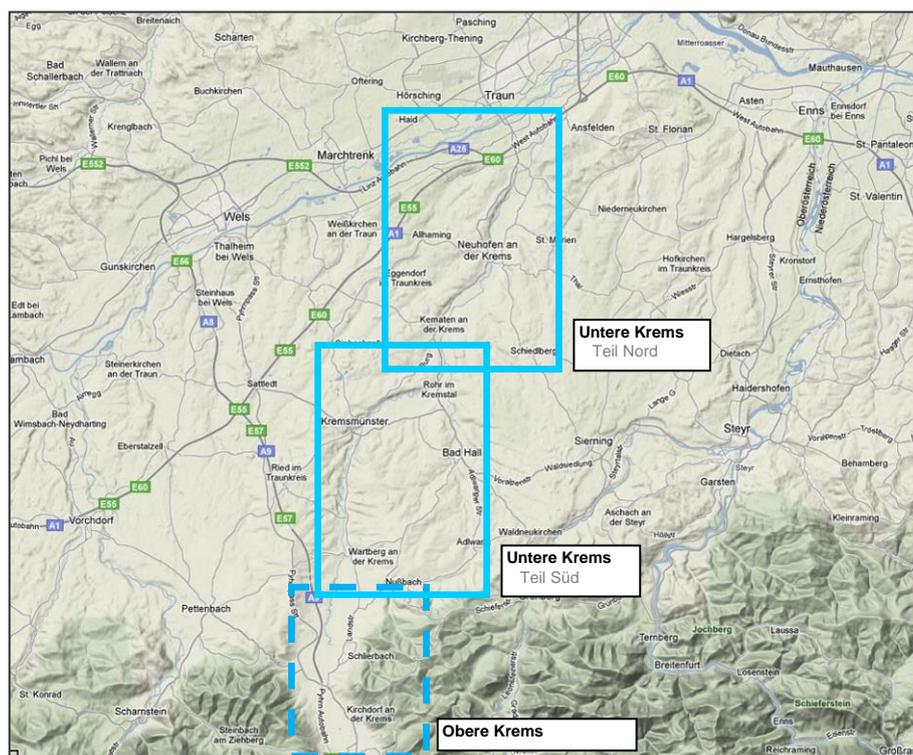


Abb. B- 11: Untersuchungsgebiet Krems

## B-5 Verwendete Daten

### B-5.1 GIS-Daten

Für die Analyse der historischen Entwicklung auf den Überflutungsflächen wurden seitens der GIS-Abteilungen der Bundesländer (TIRIS, KAGIS, DORIS, GIS-Stmk, VOGIS) die Katasterpläne, Flächenwidmungspläne, Gewässernetze und Flussachsen sowie die aktuellen Luftbilder zur Verfügung gestellt. Die historischen Luftbilder für die Zeitschritte 1950, 1970 und 1990 wurden zum Teil von den Bundesländern, zum Teil vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) bezogen.

### B-5.2 Hydro-dynamische 2D-Modelle

Für die Modellierung der Hochwasserabflüsse wurde auf bestehende, kalibrierte Modelle aus Abflussuntersuchungen der Länder zurückgegriffen. Tab. B- 1 gibt einen Überblick über die Modellgebiete, die Modellersteller und die Erstellungsjahre.

**Tab. B- 1:** Überblick über die verwendeten 2D-Modelle

Modellbezeichnung	Flusskilometer (von bis)	Ersteller	Jahr
Oberer Inn	410,70 – 329,00	Werner Consult	2011
Mittlerer Inn	329,00 – 255,50	Geoconsult	2012
Unterer Inn	255,35 – 220,20	Hydroconsult	2011
III	59,40 – 0,00	Werner Consult	2009
Raab Unterlauf	51,50 – 19,00	HydroConsult / Plan.T	2004
Lavant Oberlauf	35,00 – 17,00	Hydrosim DI Terneak	2010
Untere Krems	45,50 - 5,40	Ingenieurbüro Günter Humer GmbH	2006

### B-5.3 Hydrologische Daten

Die für die Modellierung benötigten hydrologischen Daten (Eingangswellen zu Modellbeginn; stationäre Abflüsse für die bedeutenden Zubringer) wurden aus den jeweiligen Abflussuntersuchungen der Flüsse entnommen bzw. nach Rücksprache mit den hydrographischen Landesdiensten aus aufgezeichneten Hochwasserereignissen erstellt. Die verwendeten (synthetischen) Wellenformen sind anhand realer aufgezeichneter Hochwasserwellen erstellt worden und spiegeln somit das natürliche Spektrum möglicher Hochwasserwellen wieder.

## B-6 Ergebnisse

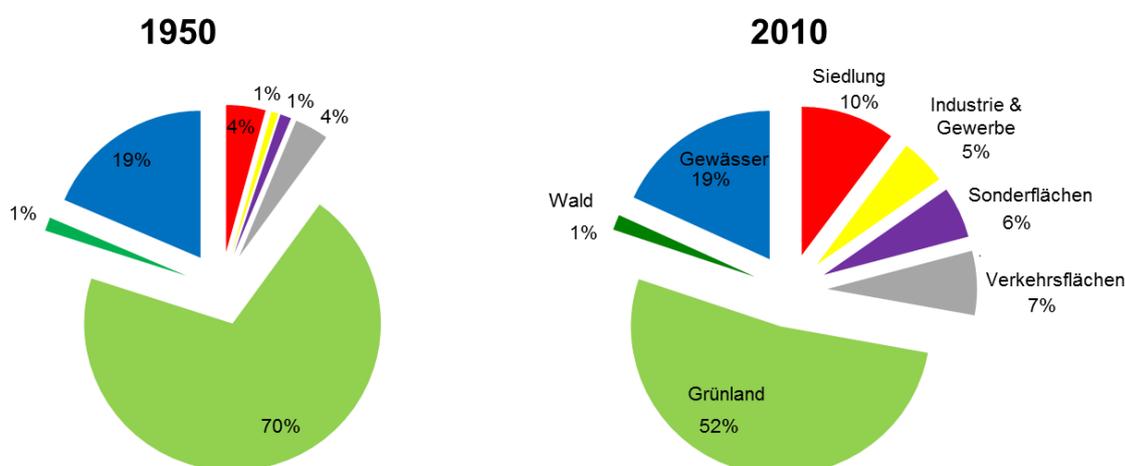
### B-6.1 Teilziel 1 – historische GIS-Analyse

Im Folgenden wird die historische Entwicklung von 1950 bis 2010 für die Untersuchungsgebiete Inn, Raab und öö. Krems im Detail dargestellt. Für diese Gebiete waren sowohl die aktuellen Landnutzungsdaten als auch die historischen Luftbilder flächendeckend verfügbar.

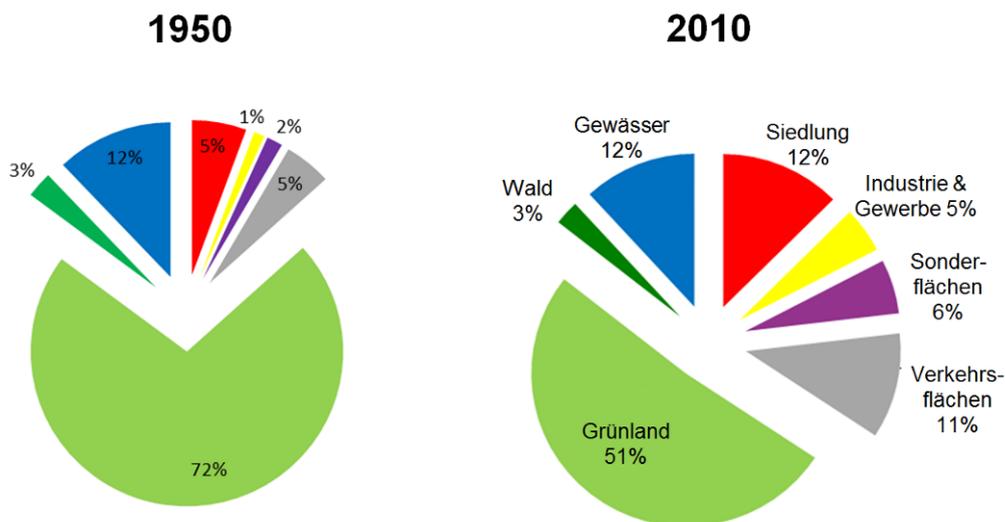
#### B-6.1.1 Inn

Abb. B- 12 und Abb. B- 13 zeigen die prozentuelle Veränderung der Landnutzung für die Bereiche HORA HQ<sub>100</sub> und den gesamten potenziellen Talraum für die Jahre 1950 und 2010. Tab. B- 2 präsentiert diese Veränderungen in Tabellenform. Bezogen auf den gesamten Talraum kam es zwischen 1950 und 2010 zu einem Verlust von 21 % des Grünlandes. Der Anteil schutzbedürftiger Flächen (Siedlung, Industrie & Gewerbe, Sonder- und Verkehrsflächen) wuchs auf 34 % an.

Die Entwicklung in 20-Jahren-Schritten ist in Abb. B- 14 und Abb. B- 15 für die jeweiligen Landnutzungsklassen dargestellt und in den Tab. B- 3 und Tab. B- 4 aufgelistet. Die Tabellen enthalten zudem ein Zukunftsszenarium, welches davon ausgeht, dass derzeit als Bauland gewidmete, aber noch nicht bebaute Flächen auch bebaut werden.



**Abb. B- 12:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010, HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich



**Abb. B- 13:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010, gesamt Talraum

**Tab. B- 2:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010

HORA HQ <sub>100</sub>	1950		2010	
Gesamte Fläche	106,53 km <sup>2</sup>	100 %	106,53 km <sup>2</sup>	100 %
Siedlung	4,59 km <sup>2</sup>	4 %	10,89 km <sup>2</sup>	10 %
Siedlung, Industrie, Gewerbe, Sonder- & Verkehrsflächen	10,64 km <sup>2</sup>	10 %	29,69 km <sup>2</sup>	28 %
Grünland	74,55 km <sup>2</sup>	70 %	55,71 km <sup>2</sup>	52 %
<b>Gesamter Talraum</b>	<b>1950</b>		<b>2010</b>	
Gesamte Fläche	173,65 km <sup>2</sup>	100 %	173,65 km <sup>2</sup>	100 %
Siedlung	9,78 km <sup>2</sup>	5 %	21,80 km <sup>2</sup>	12 %
Siedlung, Industrie, Gewerbe, Sonder- und Verkehrsflächen	23,05 km <sup>2</sup>	13 %	59,42 km <sup>2</sup>	34 %
Grünland	124,66 km <sup>2</sup>	72 %	88,93 km <sup>2</sup>	51 %

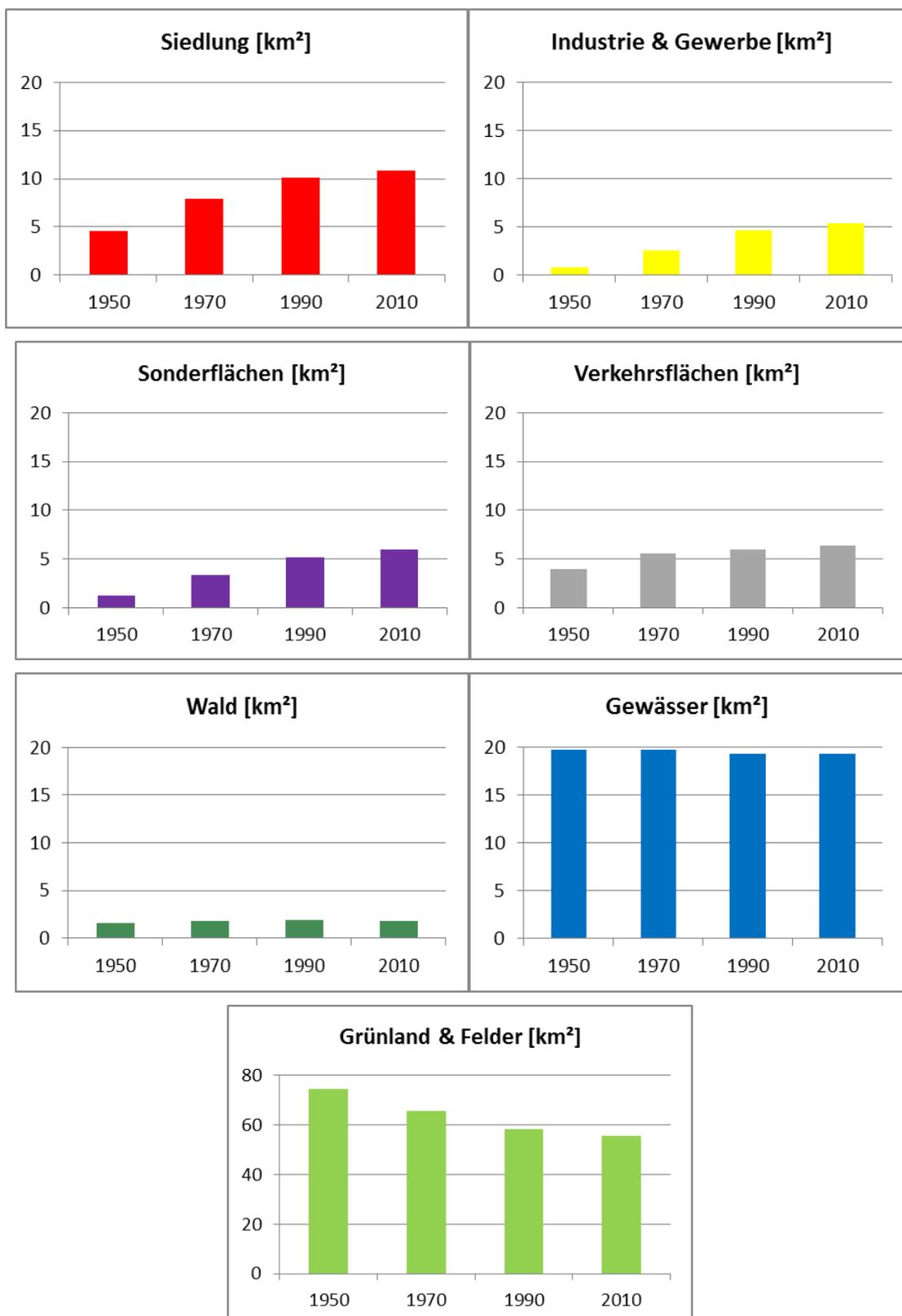
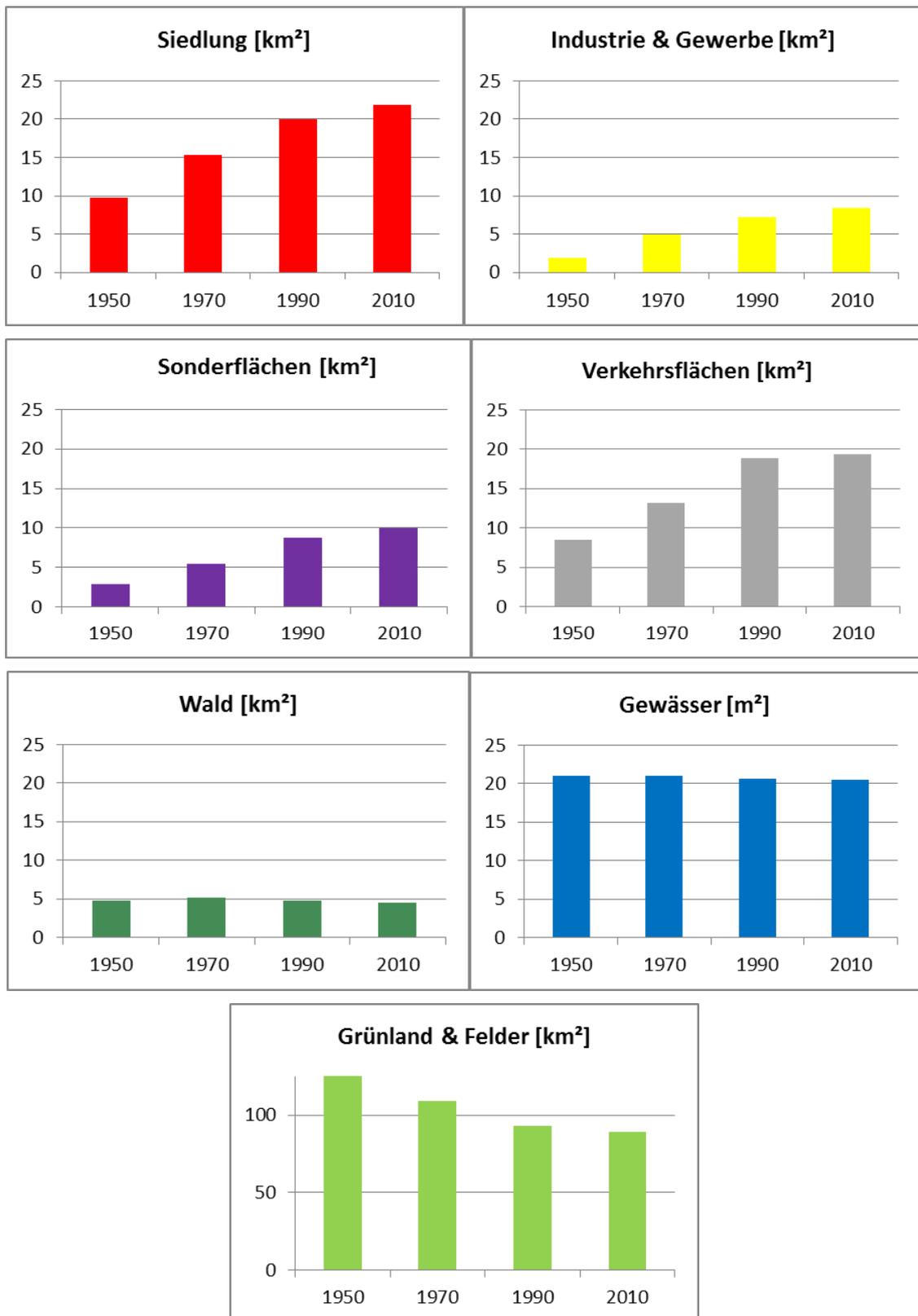


Abb. B- 14: Landnutzung entlang des Tiroler Inns in den letzten 60 Jahren, HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich



**Abb. B- 15:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns in den letzten 60 Jahren, gesamter Talraum

**Tab. B- 3:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns, HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich

	1950		1970		1990		2010		Zukunft	
	[km <sup>2</sup> ]	[%]								
<b>Gesamtfläche</b>	106,54	100,00	106,54	100,00	106,54	100,00	106,54	100,00	106,54	100,00
<b>Siedlung</b>	4,59	4,31	7,88	7,40	10,06	9,44	10,89	10,22	11,67	10,95
<b>Industrie &amp; Gewerbe</b>	0,82	0,77	2,54	2,38	4,58	4,30	5,40	5,07	6,27	5,89
<b>Sonderflächen</b>	1,29	1,21	3,35	3,14	5,20	4,88	5,96	5,59	5,96	5,59
<b>Verkehrsflächen</b>	3,94	3,70	5,61	5,27	7,34	6,89	7,44	6,98	7,44	6,98
<b>Grünland &amp; Felder</b>	74,55	69,97	65,70	61,67	58,20	54,63	55,71	52,29	54,06	50,73
<b>Wald</b>	1,58	1,48	1,78	1,67	1,90	1,78	1,80	1,69	1,80	1,68
<b>Wasser</b>	19,77	18,56	19,68	18,47	19,26	18,08	19,34	18,15	19,34	18,17

**Tab. B- 4:** Landnutzung entlang des Tiroler Inns, gesamter Talraum

	1950		1970		1990		2010		Zukunft	
	[km <sup>2</sup> ]	[%]								
<b>Gesamtfläche</b>	173,38	100,00	173,38	100,00	173,38	100,00	173,38	100,00	173,38	100,00
<b>Siedlung</b>	9,78	5,64	15,39	8,88	20,04	11,56	21,80	12,57	23,72	13,68
<b>Industrie &amp; Gewerbe</b>	1,95	1,12	4,09	2,36	7,23	4,17	8,36	4,82	9,43	5,44
<b>Sonderflächen</b>	2,85	1,64	5,52	3,18	8,78	5,06	9,95	5,74	9,95	5,74
<b>Verkehrsflächen</b>	8,47	4,89	13,21	7,62	18,96	10,94	19,32	11,14	19,32	11,14
<b>Grünland &amp; Felder</b>	124,66	71,90	109,09	62,92	93,07	53,68	88,93	51,29	85,94	49,57
<b>Wald</b>	4,69	2,71	5,12	2,95	4,73	2,73	4,46	2,57	4,46	2,57
<b>Wasser</b>	20,98	12,10	20,96	12,09	20,57	11,86	20,56	11,86	20,56	11,86

Am Beispiel Innsbruck wird im Folgenden (Abb. B- 16) diese Entwicklung anhand des Zuwachses an Siedlungsfläche illustriert. Der stärkste Anstieg fand zwischen 1950 und 1970 statt. Danach kommt es zu einer Verringerung der Zuwachsrates, dennoch geht das Wachstum weiter. Die Verringerung mag zum einen auf eine verbesserte Raumplanung, zum anderen jedoch sicher auf die steigende Flächenknappheit zurückzuführen sein.

Die Abb. B- 17 zeigt die Landnutzungsentwicklung entlang des Längenschnitts des Inns für 1950 und 2010. Die „Spitze“ bei Flusskilometer 300 zeigt Innsbruck, aber auch in allen anderen Bereichen ist der deutliche Zuwachs an versiegelter Fläche zu erkennen. In Abb. B- 18 ist der Zuwachs der versiegelten Flächen (Siedlung, Industrie & Gewerbe, Sonder- und Verkehrsflächen) im gesamten Talraum für die Zeitschritte 1950, 1970, 1990 und 2010 dargestellt. Die Zuwächse bei diesen Flächen gingen vollends zu Lasten von Grünland, welches im selben Maße abnahm und daher mittelfristig als Retentionsraum verloren ging.

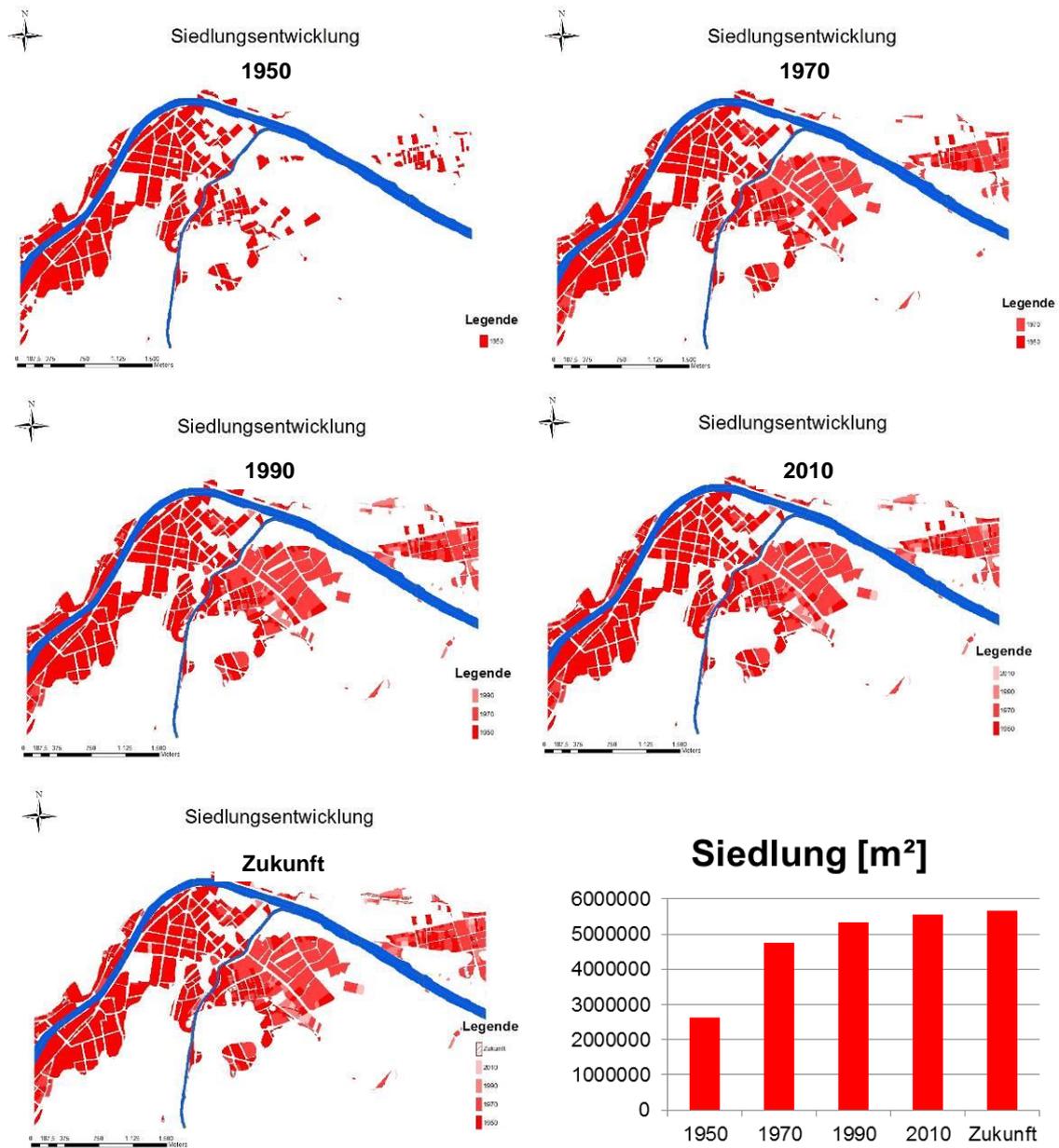


Abb. B- 16: Siedlungsentwicklung im Bereich Innsbruck (Fkm 305-285)

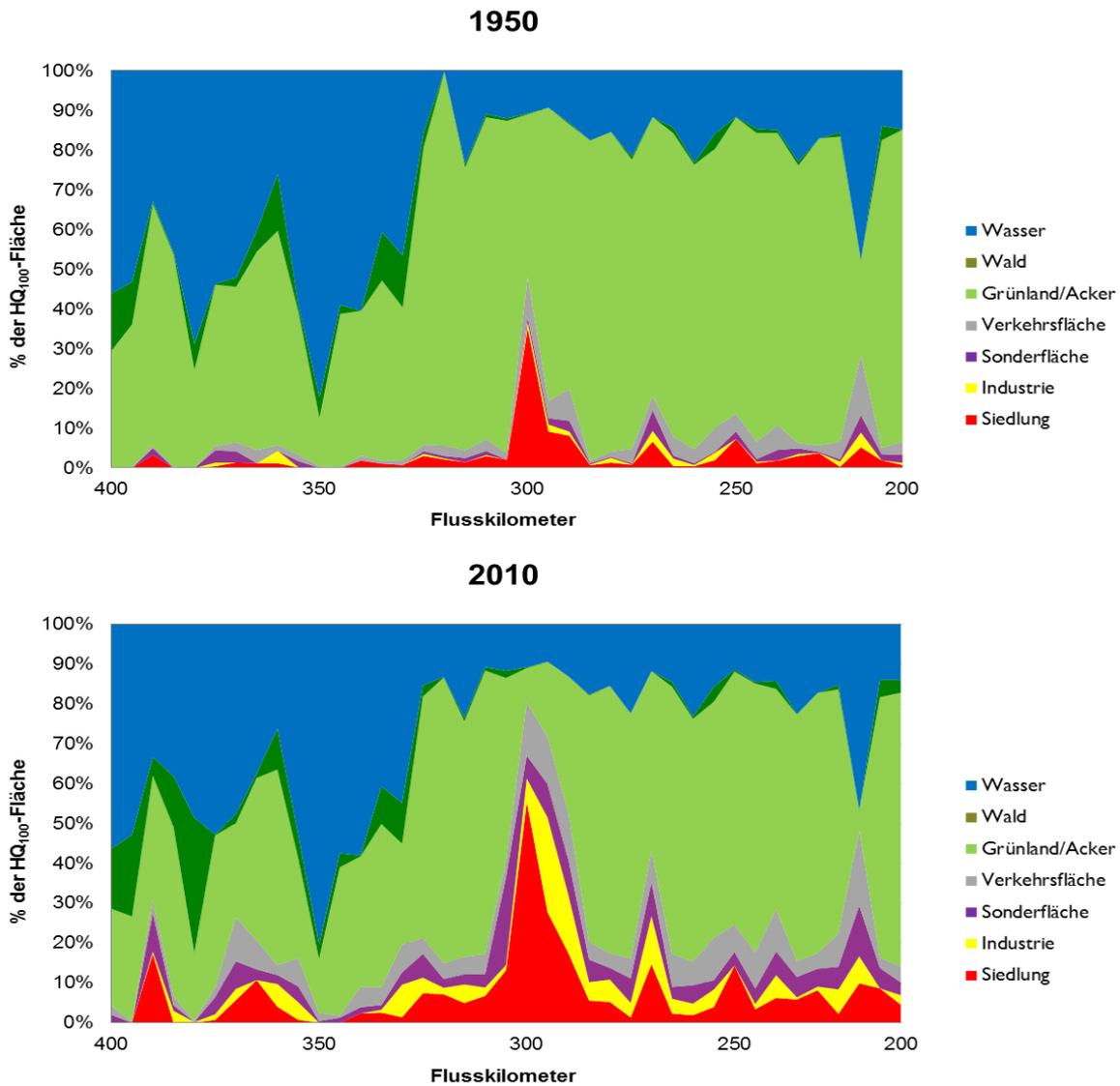


Abb. B- 17: Landnutzung entlang des Inns; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich)

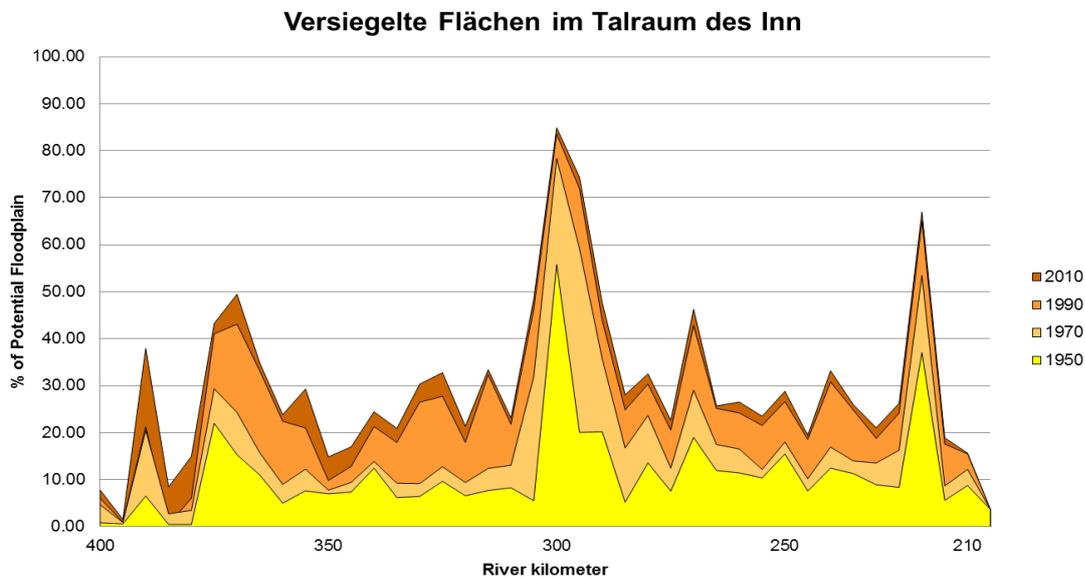
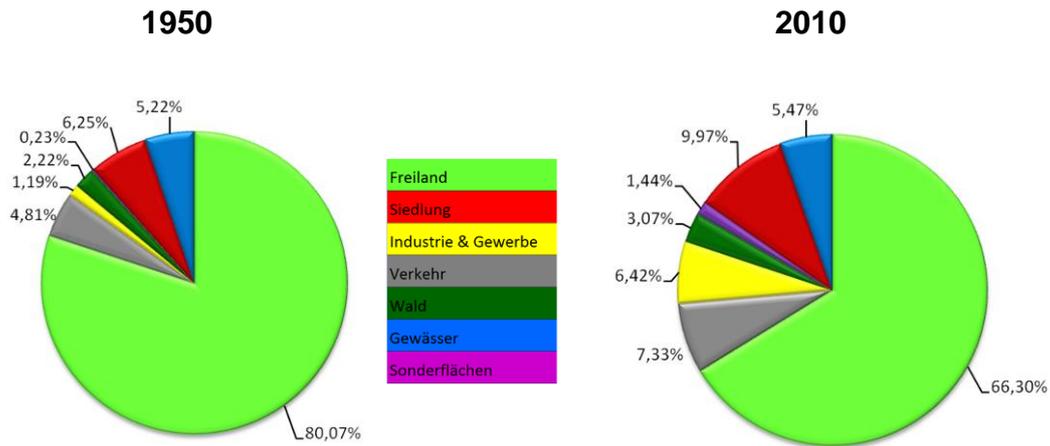


Abb. B- 18: Versiegelte Flächen entlang des Inns für 1950 bis 2010 (gesamter Talraum)

**B-6.1.2 Raab**

Auch an der Raab ist ein deutlicher Anstieg der versiegelten (schützenswerten) Flächen erkennbar. Während 1950 noch 80 % des gesamten Talraums als Grünland genutzt wurden, sank dieser Wert auf 66 % im Jahr 2010 (Abb. B- 19). Im selben Maße, wie Grünland verloren ging (-14 %), stiegen die Werte für Siedlungs-, Industrie- & Gewerbe-, Verkehrs- und Sonderflächen an. Tab. B- 5 gibt für die vier untersuchten Zeitschritte die Absolut- und Prozentwerte der jeweiligen Landnutzung an.



**Abb. B- 19:** Landnutzung entlang der Raab 1950 und 2010, gesamter Talraum

**Tab. B- 5:** Landnutzung entlang der Raab, gesamter Talraum

Talraum Raab														
Zeitschritt	Freiland		Siedlung		Industrie		Verkehr		Wald		Gewässer		Sondernutzung	
	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]
1950	40,27	80,07	3,14	6,25	0,59	1,19	2,42	4,81	1,11	2,22	2,62	5,22	0,11	0,23
1970	37,94	75,44	4,03	8,03	1,30	2,59	2,88	5,74	1,31	2,61	2,58	5,13	0,23	0,47
1990	34,34	68,29	4,75	9,46	2,90	5,78	3,64	7,24	1,39	2,78	2,63	5,23	0,61	1,22
2010	33,34	66,30	5,01	9,97	3,22	6,42	3,68	7,33	1,54	3,07	2,74	5,47	0,72	1,44

Abb. B- 20 zeigt grafisch wie sich die Landnutzung im potenziellen Talraum in den letzten 60 Jahren verändert hat. Besonders zwischen den Jahren 1970 und 1990 zeigten Industrie- & Gewerbeflächen sowie Sonderflächen einen deutlichen Anstieg. Betrachtet man den Zeitabschnitt 1990 bis 2010 so zeigen alle schützenswerten Landnutzungen (Siedlung, Industrie- & Gewerbe, Sonderflächen, Verkehrsflächen) einen verlangsamten Anstieg. Dennoch schreitet der Flächenverbrauch (wenn auch verlangsamt) fort.

Abb. B- 21 zeigt die Landnutzungsentwicklung zwischen 1950 und 2010 im Längsverlauf der Raab. Die größten Zuwächse an bebauten Flächen sind in den größeren Ortschaften zu verzeichnen. Im Bereich Feldbach sind z.B. mittlerweile knapp 40 % des Talraums verbaut.

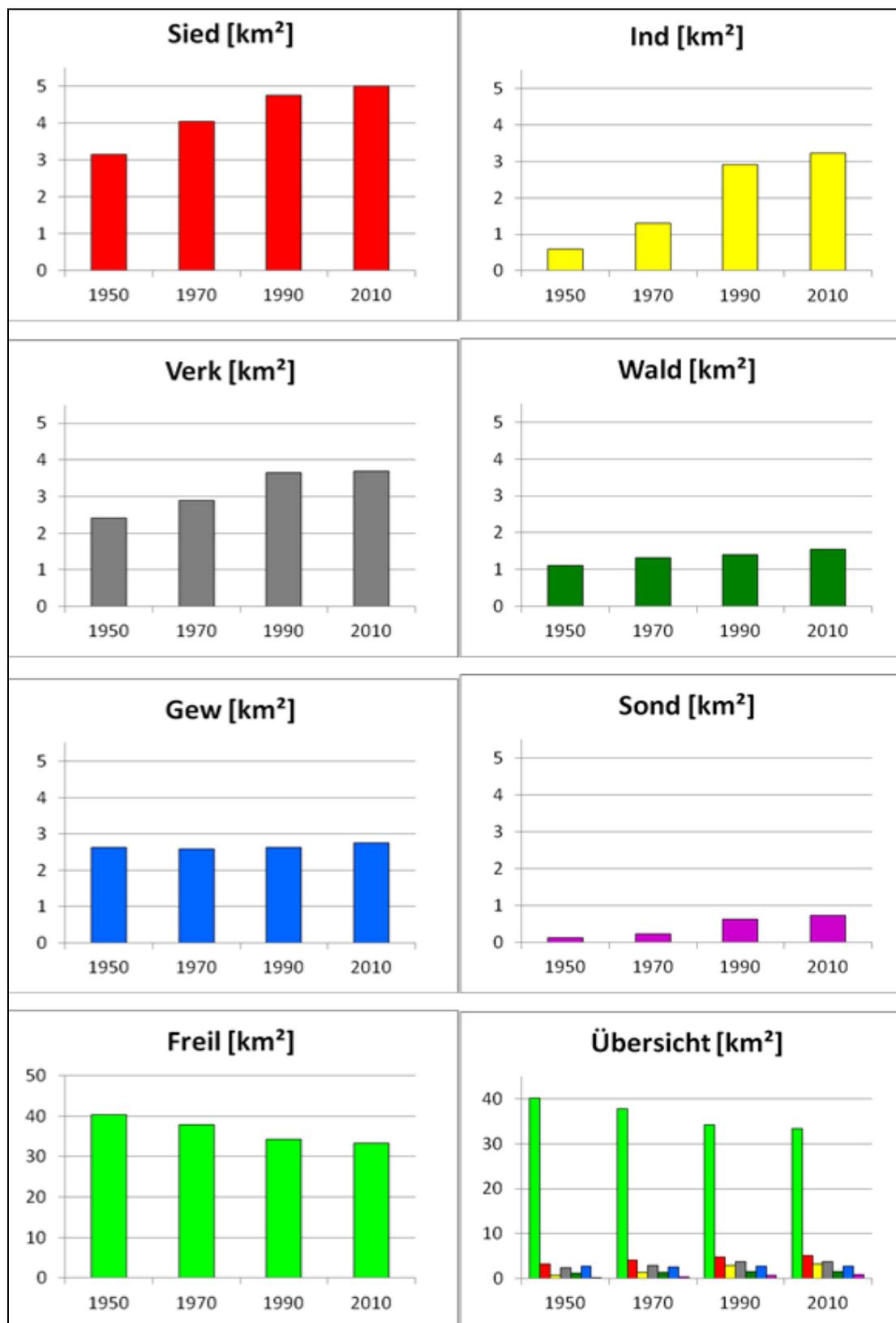
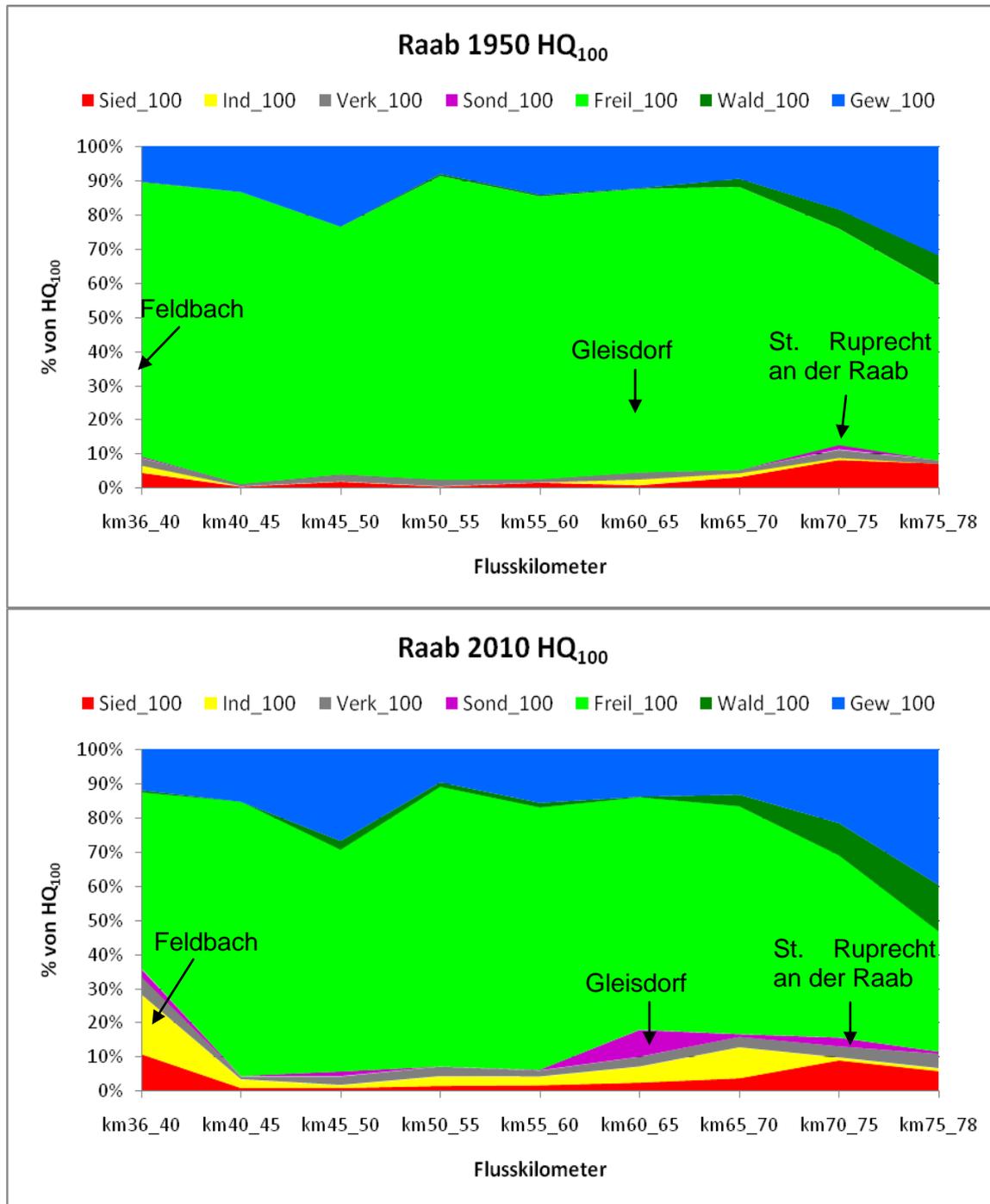


Abb. B- 20: Landnutzung entlang der Raab in den letzten 60 Jahren, gesamtter Talraum



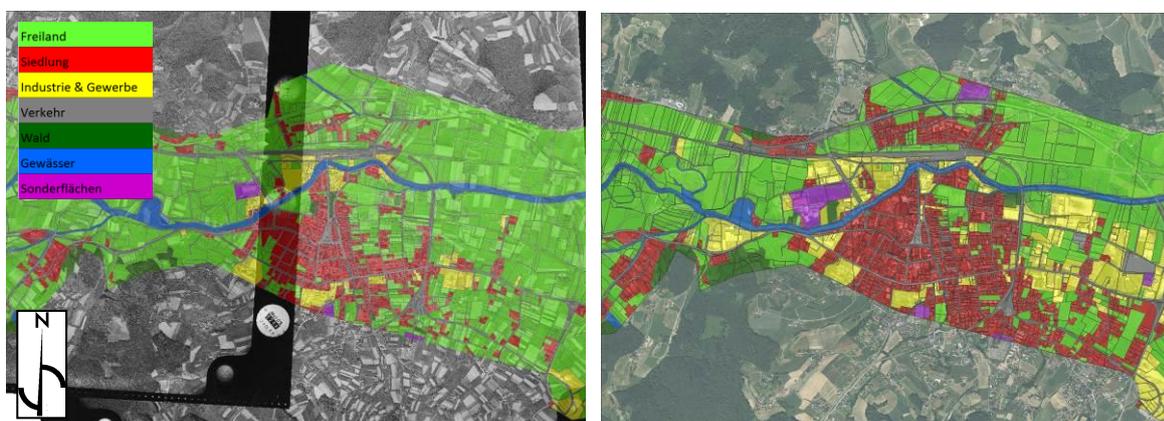
**Abb. B- 21:** Landnutzung entlang der Raab; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich)

Abb. B- 22 und Abb. B- 23 zeigen exemplarisch zwei Gemeinden entlang der Raab. Das Beispiel von Gleisdorf zeigt, wie neben Siedlungsflächen insbesondere Industrie- & Gewerbe- sowie Sonderflächen zunahm. Des Weiteren kann deutlich die errichtete Autobahn erkannt werden, welche durch ihre Dammlage zusätzlich Überflutungsflächen vom Fluss abtrennte.

Im Beispiel von Feldbach kann ebenfalls deutlich gesehen werden, wie sich Siedlungs- und Industrie- & Gewerbeflächen in den letzten 60 Jahren vergrößert haben. Für das Hochwasserrisiko als besonders problematisch anzusehen sind vor allem die flussnahen Erweiterungsgebiete.



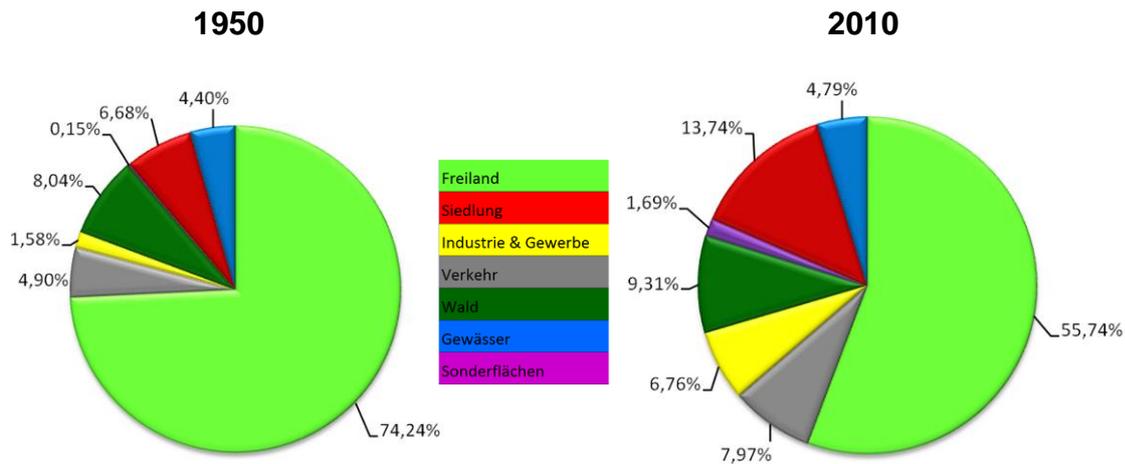
**Abb. B- 22:** Stadtgemeinde Gleisdorf im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts



**Abb. B- 23:** Stadtgemeinde Feldbach im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts

**B-6.1.3 Kreams**

Die Kreams zeigt eine ähnliche Entwicklung wie die bereits betrachteten Flüsse: Während 1950 noch 74 % des gesamten Talraums als Grünland genutzt wurden, sank dieser Wert auf 55 % im Jahr 2010 (Abb. B- 24). Im selben Maße, wie Grünland verloren ging (-19 %), stiegen die Werte für Siedlungs-, Industrie- & Gewerbe-, Verkehrs- und Sonderflächen an. Tab. B- 6 gibt für die vier untersuchten Zeitschritte die Absolut- und Prozentwerte der jeweiligen Landnutzung an.



**Abb. B- 24:** Landnutzung entlang der Kreams 1950 und 2010, gesamter Talraum

**Tab. B- 6:** Landnutzung entlang der Kreams, gesamter Talraum

Talraum Kreams														
Zeitschritt	Freiland		Siedlung		Industrie		Verkehr		Wald		Gewässer		Sondernutzung	
	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]	[km²]	[%]
1950	49,56	74,24	4,45	6,68	1,05	1,58	3,27	4,90	5,37	8,04	2,94	4,40	0,10	0,15
1970	46,42	69,05	5,88	8,75	1,74	2,59	4,16	6,19	5,64	8,39	2,99	4,45	0,38	0,57
1990	40,39	60,63	7,90	11,87	3,58	5,38	4,95	7,43	5,74	8,62	3,17	4,76	0,87	1,31
2010	37,14	55,74	9,15	13,74	4,50	6,76	5,31	7,97	6,20	9,31	3,19	4,79	1,12	1,69

Abb. B- 25 zeigt grafisch wie sich die Landnutzung im potenziellen Talraum in den letzten 60 Jahren verändert hat. Im Vergleich zur Raab ist hier (v.a. beim Siedlungsraum) keine Veränderung des Trends erkennbar. Die Wachstumsrate zwischen den betrachteten Zeitschritten ist in etwa konstant.

Abb. B- 26 zeigt die Landnutzungsentwicklung zwischen 1950 und 2010 im Längsverlauf der Kreams. Die größten Zuwächse an bebauten Flächen sind auch hier in den größeren Ortschaften zu verzeichnen. Im Bereich Kremsmünster sind z.B. mittlerweile knapp 40 % des Talraums verbaut; in Kirchdorf sind es bereits über 60 %.

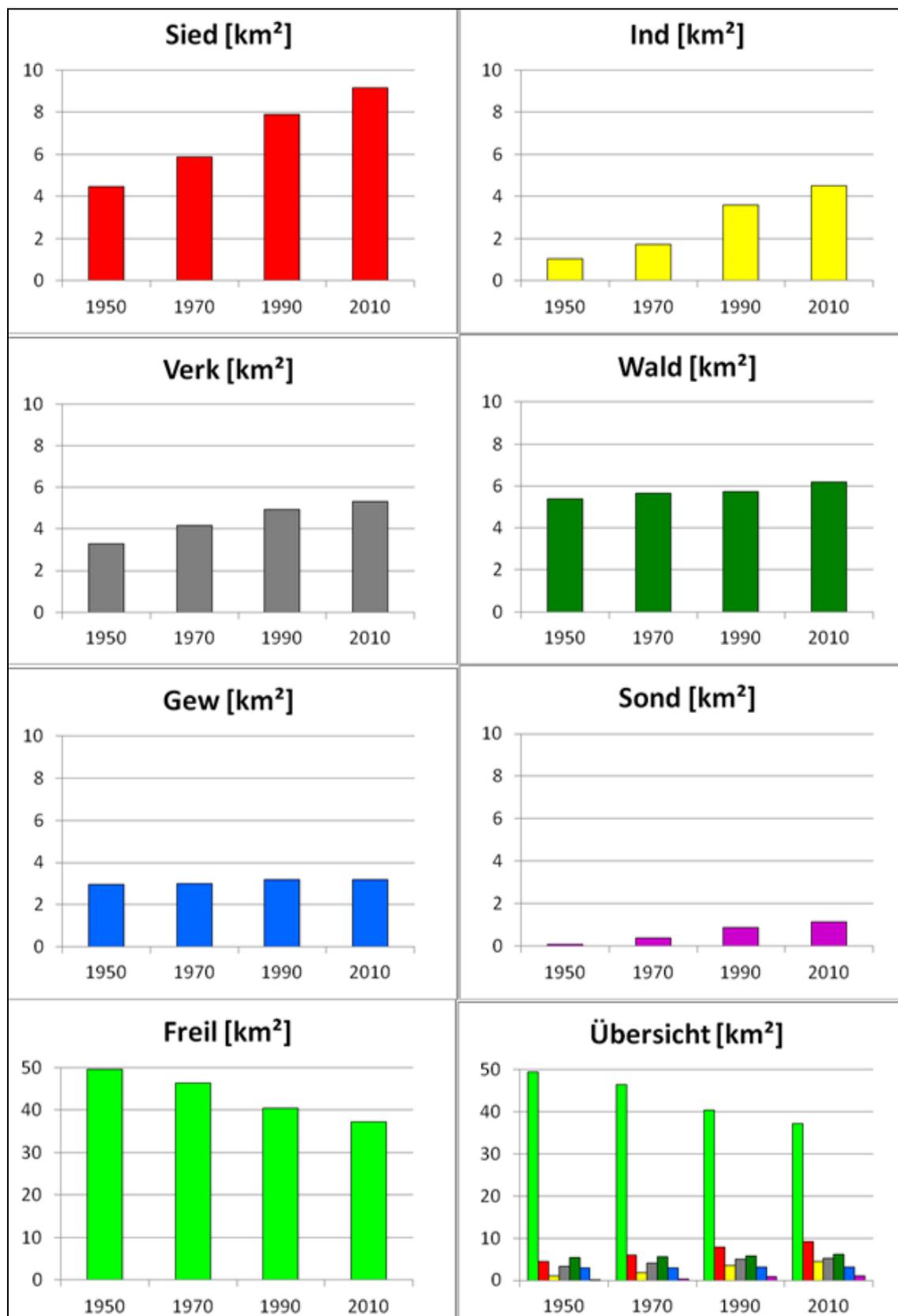


Abb. B- 25: Landnutzung entlang der Krems in den letzten 60 Jahren, gesamter Talraum

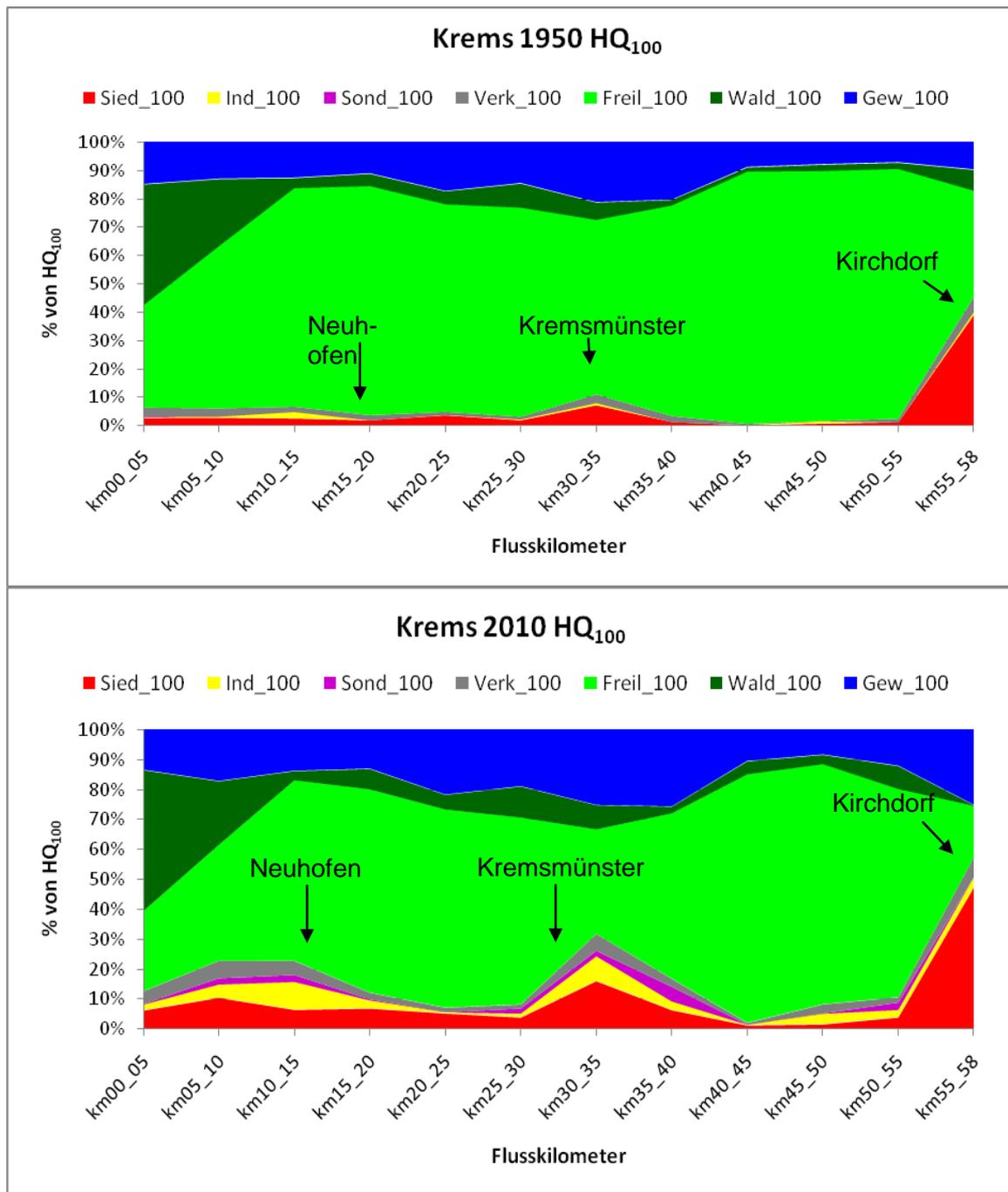


Abb. B- 26: Landnutzung entlang der Kriem; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ<sub>100</sub>-Bereich)

Abb. B- 27 und Abb. B- 28 zeigen exemplarisch zwei Gemeinden entlang der Kriem. Das Beispiel von Neuhofen an der Kriem zeigt, dass die Ortschaft vor allem im direkten Nahbereich des Flusses erweitert wurde, was das Hochwasserrisiko für diese Gemeinde deutlich erhöht hat.

Im Beispiel von Kremsmünster kann man ein sehr starkes Anwachsen der bebauten Flächen beobachten. Auch hier fanden große Siedlungserweiterungen aber auch Neubauten von Industrie & Gewerbe sowie Sondernutzungen in unmittelbarer Flussnähe statt.

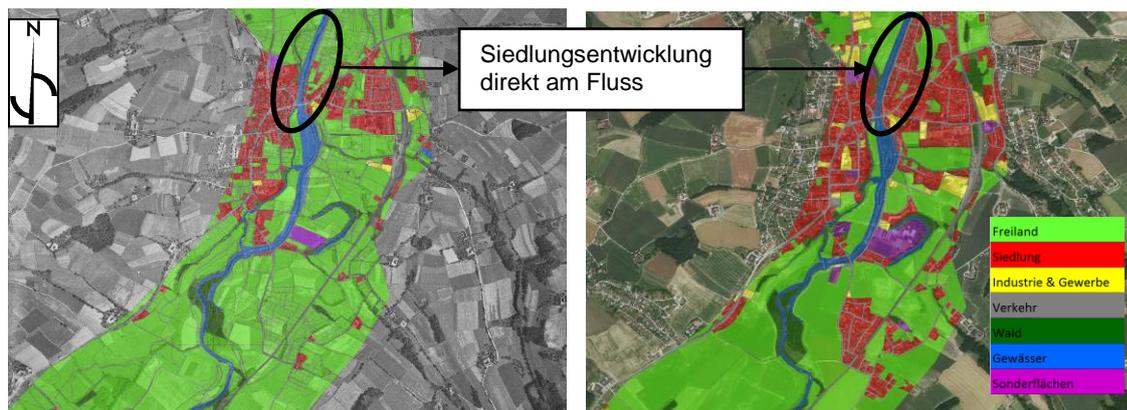


Abb. B- 27: Marktgemeinde Neuhofen / Krems im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts



Abb. B- 28: Marktgemeinde Kremsmünster im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts

## B-6.2 Teilziel 2 – Szenarienanalyse mit hydrodynamisch-numerischer Modellierung

Die Retentionswirkung jedes Flusses / jeder Überflutungsfläche ist sehr individuell und von verschiedenen Randbedingungen abhängig. Die Geomorphologie, die Überflutungscharakteristik (Beginn der Überflutung, Fließwege,...) sowie die Form und Jährlichkeit der betrachteten Hochwasserwelle haben bedeutenden Einfluss auf die Retentionswirkung. So können Veränderungen auf einer Überflutungsfläche lokale Verbesserungen für das Hochwasserrisiko bringen, sich im Gesamtsystem aber negativ auswirken. Bei einer anderen Überflutungsfläche kann bei ähnlichen Veränderungen aber Gegenteiliges der Fall sein. Im Folgenden werden anhand verschiedener Beispiele einige unterschiedliche Fälle dargestellt.

### B-6.2.1 Inn

Die im Zuge der GIS-Auswertung (Teilziel 1) ermittelten Änderungen in der Landnutzung (Veränderung der hydraulischen Rauigkeiten und Verlust von Retentionsraum durch Schutz von Siedlungen oder durch Errichtung von hydraulisch wirksamen Strukturen wie der Inntal-Autobahn) wurden in den 2D-Modellen für die historischen Zustände berücksichtigt, um einen Vergleich zum heutigen Zustand zu erlauben.

Je nach betrachtetem Abschnitt zeigen diese Veränderungen eine unterschiedlich starke Wirkung auf den Hochwasserabfluss. Während sich die Veränderungen im Oberlauf nicht merklich auf die HQ<sub>100</sub>-Welle ausgewirkt haben (Abb. B- 29), kann man bereits für den Mittellauf deutliche Veränderungen feststellen (Abb. B- 30). Im Mittellauf hat sich die Scheitelabminderung kaum verändert, was darauf zurückzuführen ist, dass zwar etliche Überflutungsflächen verloren gingen, die verbliebenen Flächen, die früher eine natürliche Überflutungscharakteristik aufwiesen, heute aber vom Fluss durch Dämme abgetrennt sind und bei Überflutung polderartig und somit teils verbessert wirken (Abb. B- 31). Sehr deutlich erkennbar ist aber die Wellenbeschleunigung, die durch den Überflutungsraumverlust hervorgerufen wurde (von 16 auf 10 Stunden auf 78 km Länge).

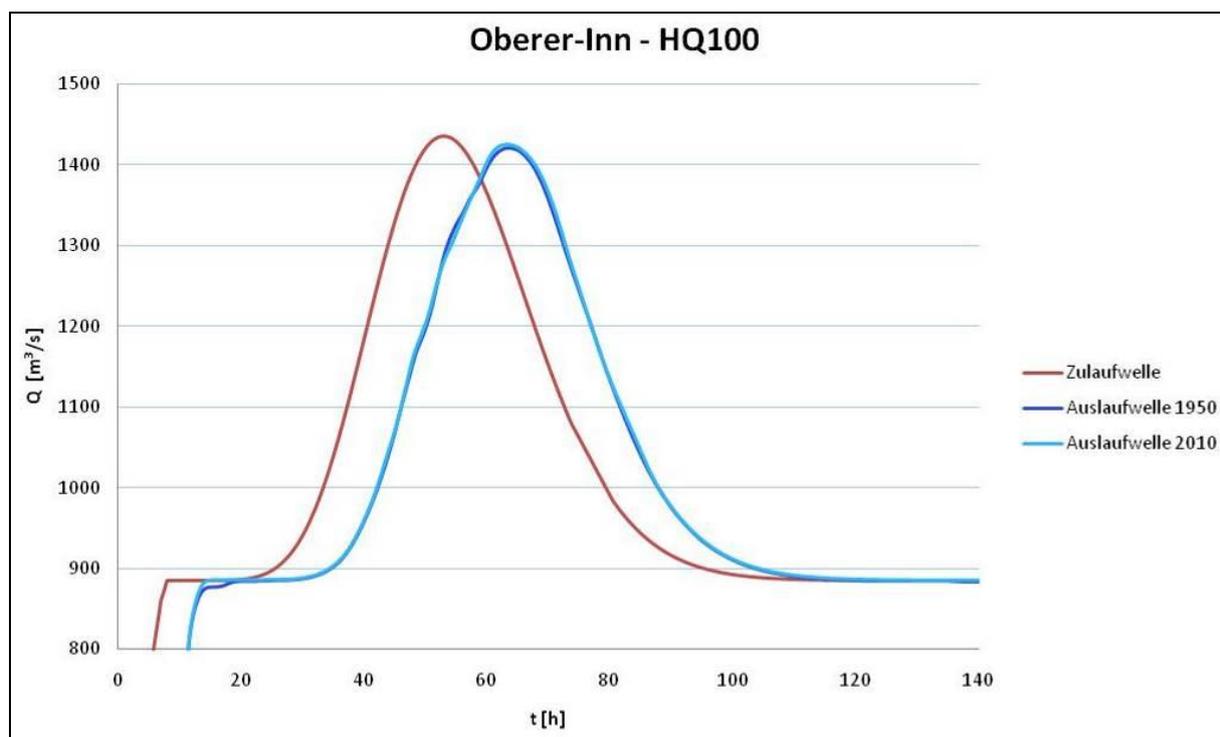


Abb. B- 29: Wellenverformung einer synthetischen HQ<sub>100</sub>-Welle im Oberen Inn für 2010 und 1950

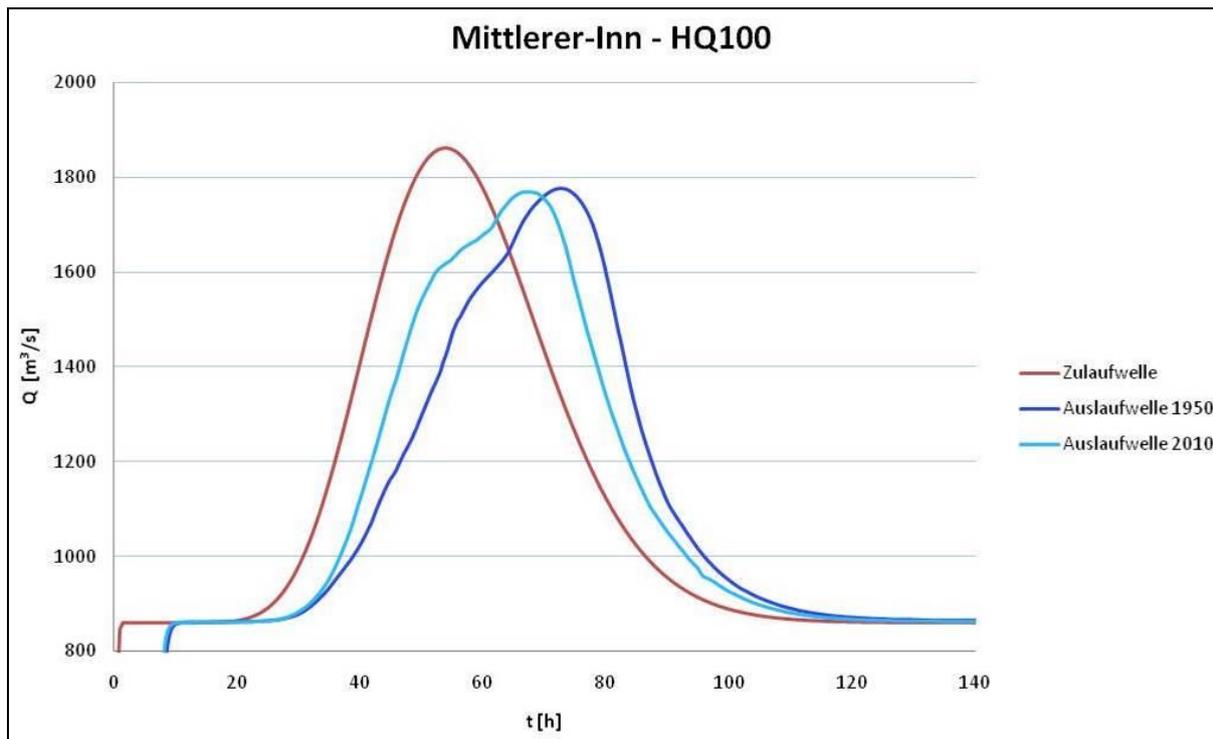


Abb. B- 30: Wellenverformung einer synthetischen  $HQ_{100}$ -Welle im Mittleren Inn für 2010 und 1950

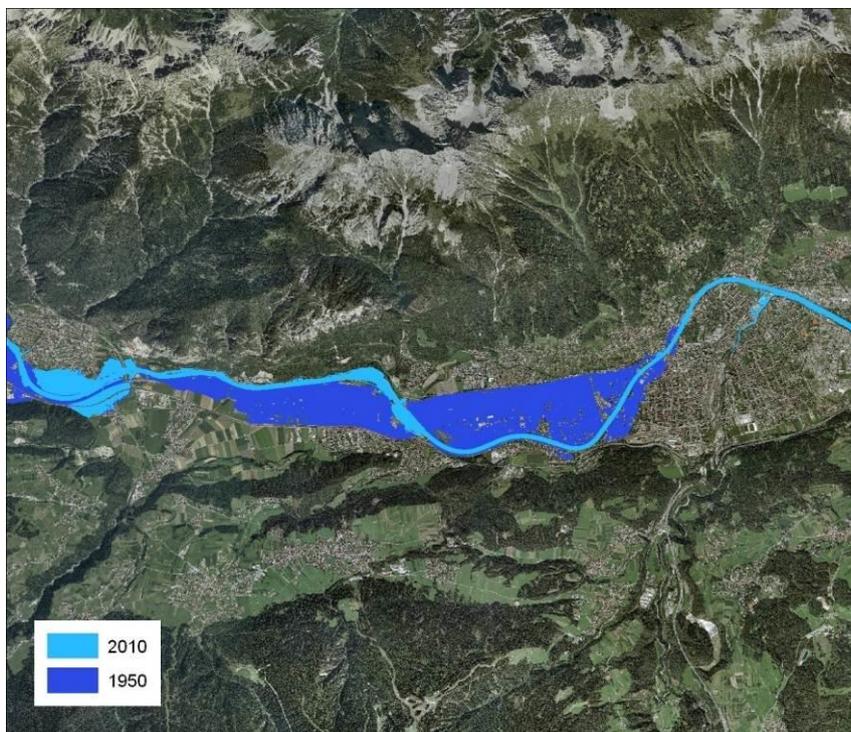
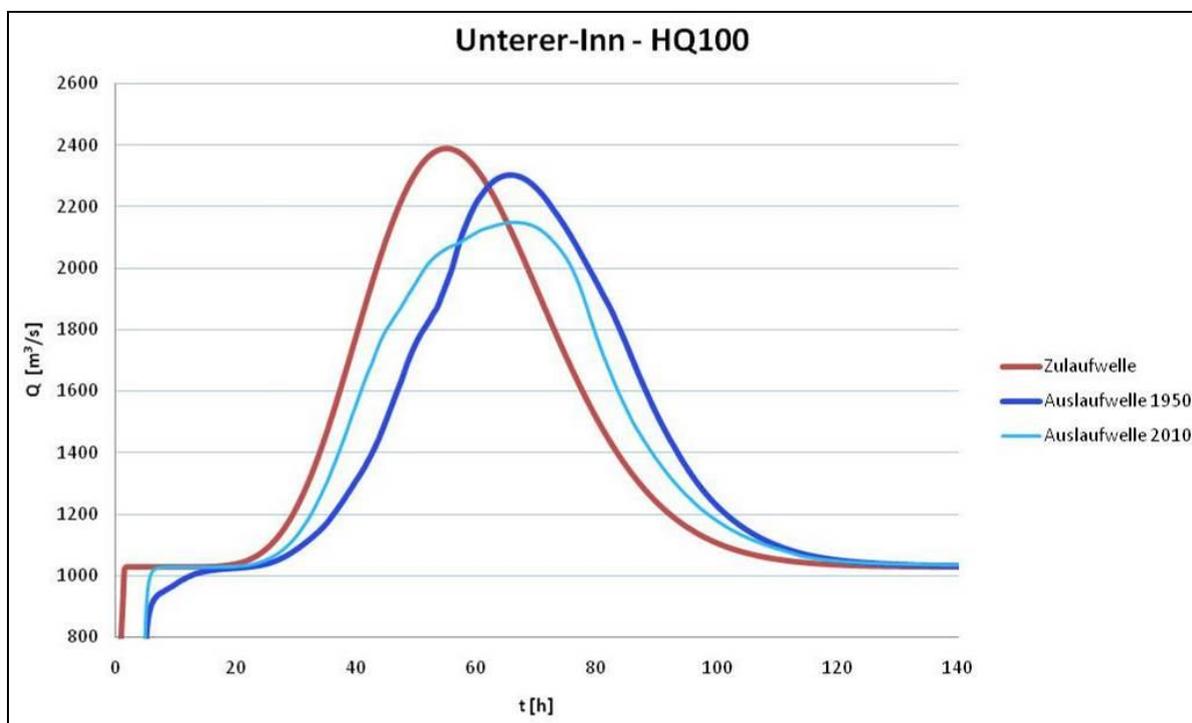


Abb. B- 31: Detailausschnitt des Mittleren Inns mit Überflutungsflächen 2010 und 1950

Beim Unteren Inn stellt sich bei Betrachtung der synthetischen HQ<sub>100</sub>-Welle ein interessantes Bild ein: Die Welle wird im Szenario 2010 deutlich stärker als im Szenario 1950 abgemindert (Abb. B- 32). Dies überrascht zunächst, da man annehmen müsste, dass durch den Überflutungsflächenverlust der vergangenen 60 Jahre die Retentionswirkung eigentlich abnehmen hätte müssen. Die Begründung für dieses Verhalten liegt in den morphologischen Veränderungen der Retentionsräume. Durch die Errichtung von Dämmen, so zum Beispiel des Autobahndammes für die Inntalautobahn, wurden Überflutungsflächen vom Fluss abgetrennt. Bei einem HQ<sub>100</sub>-Ereignis kommt es an mehreren Stellen zur (ungewollten) Überströmung der Autobahn. Der dahinterliegende ehemalige Retentionsraum füllt sich wie ein Polder (Rückhaltebecken im Nebenschluss) und kann bedingt durch diese unbeabsichtigt verzögerte Überflutung die Scheitelspitze der Hochwasserwelle besser kappen als es eine natürliche Überflutungsfläche könnte. Neben der Überströmung der Autobahn ist hierbei aber als negativ hervorzuheben, dass die ehemaligen Überflutungsräume hinter der Autobahn heutzutage oft nicht mehr hochwasserverträglich genutzt werden, sondern höherwertige Nutzungen wie Siedlungs- und Industrie- & Gewerbe-Flächen beherbergen.



**Abb. B- 32:** Wellenverformung einer synthetischen HQ<sub>100</sub>-Welle im Unteren Inn für 2010 und 1950

Außerdem ist die großräumige „positive“ Wirkung dieser polderartigen Überflutungsräume nur bei bestimmten, großen Ereignissen gegeben. Betrachtet man z.B. das Hochwasser aus dem Jahr 2005 (welches in diesem Bereich als HQ<sub>80</sub> eine geringere Jährlichkeit als das zuvor betrachtete HQ<sub>100</sub> aufweist), so stellt sich die ursprünglich erwartete Wellenverformung ein (Abb. B- 33): Man kann sehr deutlich erkennen, wie sich sowohl die Scheitelabminderung als auch die Laufzeitverzögerung in den letzten 60 Jahren verschlechtert haben. Die Scheitelabminderung hat sich von  $\Delta Q = -214 \text{ m}^3/\text{s}$  auf  $-135 \text{ m}^3/\text{s}$  verringert; die Laufzeitverzögerung hat sich auf einer Fließlänge von 38 km von 11 auf 6 Stunden verkürzt.

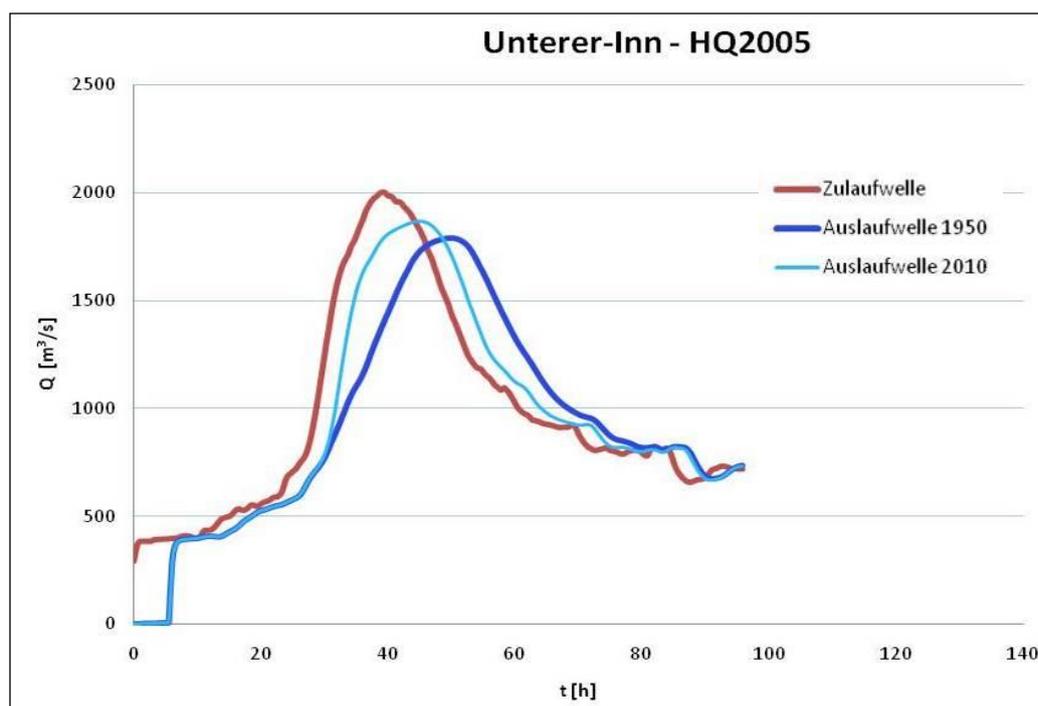


Abb. B- 33: Wellenverformung der HQ2005-Welle im Unteren Inn für 2010 und 1950

Der Grund liegt darin, dass bei dieser etwas geringeren Jährlichkeit (und somit auch einem etwas geringeren Durchfluss) die Autobahn gerade nicht überströmt wird und die abgetrennten Überflutungsflächen auch nicht zur Reduktion des Hochwassers beitragen können, was das Risiko flussab verschärft. Die Abb. B- 35 und Abb. B- 36 zeigen exemplarisch die Ausbreitung der Überflutung zu verschiedenen Zeitpunkten der Hochwasserwelle (Abb. B- 34) für den Teilbereich Wörgl. Wie man erkennen kann, füllen sich die beiderseits des Inns gelegenen Überflutungsräume im Szenario von 1950 schon recht früh mit Wasser, so dass für die Kappung der Wellenspitze nicht mehr allzu viel zusätzliches Retentionsvolumen zur Verfügung steht. Die synthetische HQ<sub>100</sub>-Welle (Abb. B- 35) überströmt im Szenario 2010 die dammartig wirkende Autobahn aber erst recht spät (ab Zeitpunkt 4, welcher im Bereich der Wellenspitze liegt). Die so dotierten Retentionsräume können aufgrund der verzögerten Beaufschlagung trotz ihrer geringeren Größe im Vergleich zu 1950 die Welle besser abmindern. Für die Welle des Hochwasser 2005 zeigt Abb. B- 36, dass hier der umgekehrte Fall eintritt. Der Autobahndamm wird zu keinem Zeitpunkt überströmt. Die dahinterliegenden Flächen können nicht zur Retention beitragen.

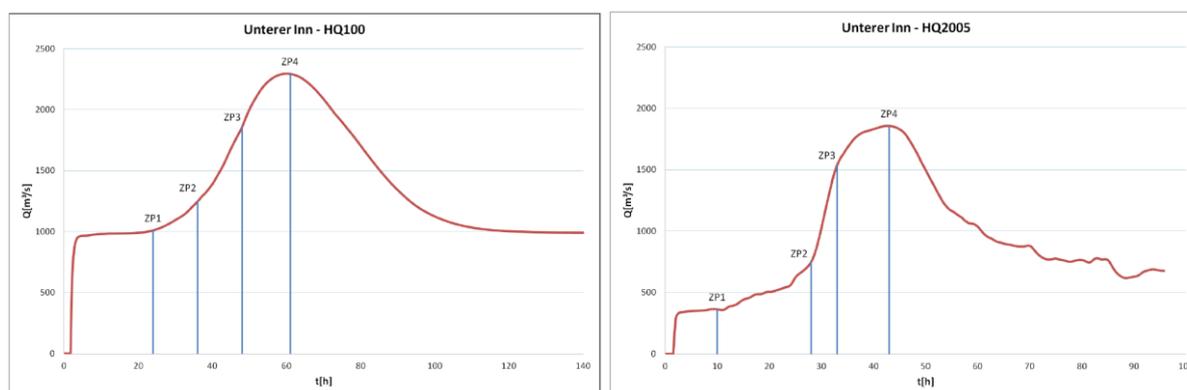
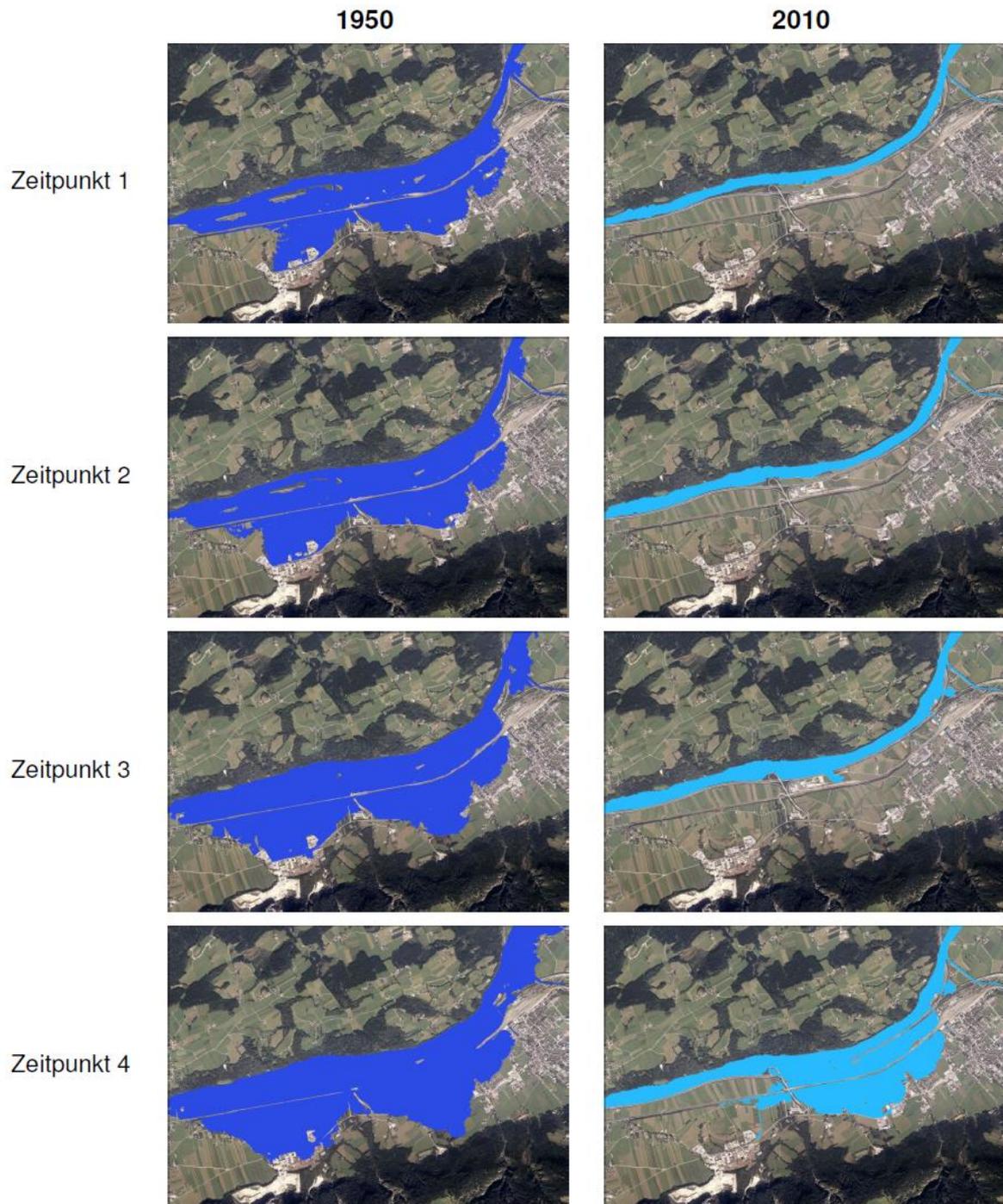
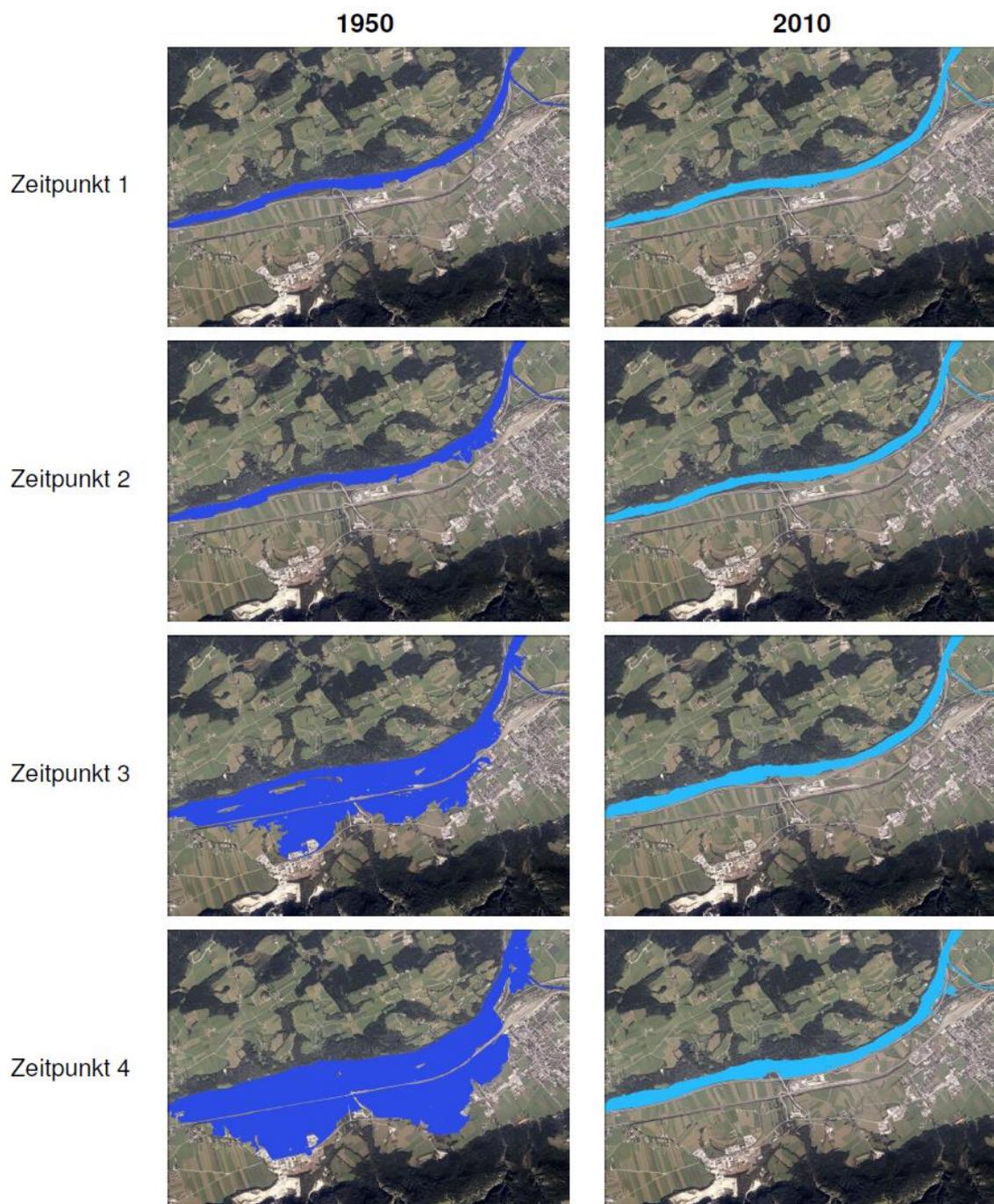


Abb. B- 34: Darstellung verschiedener Zeitpunkte der betrachteten Hochwasserwellen



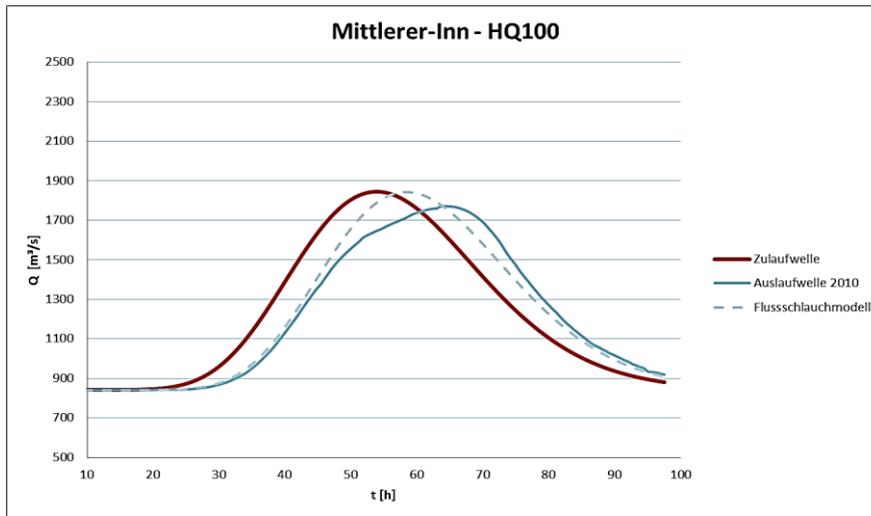
**Abb. B- 35:** Zeitlicher Verlauf der Überflutung bei Wörgl für eine synthetische HQ100-Welle



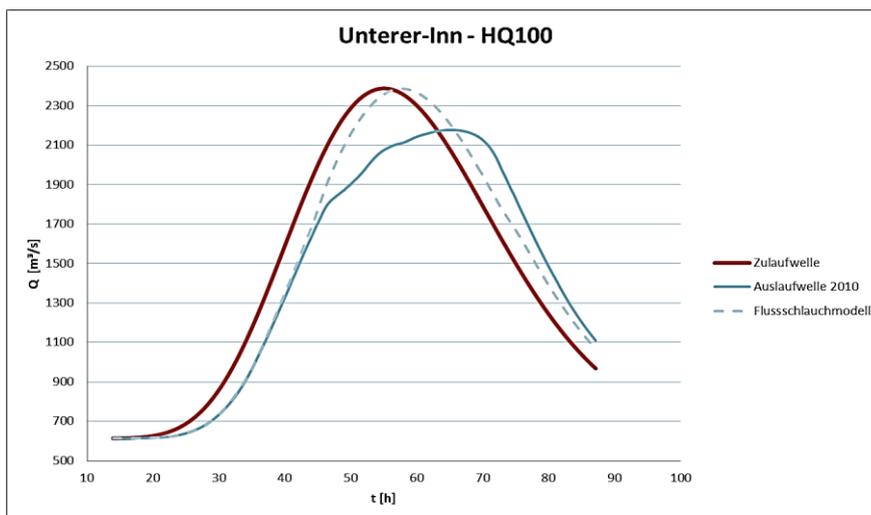
**Abb. B- 36:** Zeitlicher Verlauf der Überflutung bei Wörgl für die Welle des HQ2005

Dieses Beispiel illustriert die unterschiedlichen Wirkungsweisen zwischen natürlichen und künstlich veränderten Überflutungsflächen. Künstlich veränderte Überflutungsflächen können mit unter eine bessere Retentionswirkung aufweisen, beschränken diese aber auf ein gewisses Spektrum von Hochwasserjährllichkeiten. Natürliche Überflutungsflächen haben i.d.R. eine geringere Retentionswirkung als künstlich veränderte, entfalten diese Wirkung aber bei sämtlichen Hochwasserereignissen und können somit auch Hochwässer geringerer Jährlichkeit abmindern, bevor diese weiter flussab zu größeren Ereignissen werden.

Ginge man von einem zukünftigen Totalverlust der Überflutungsflächen im Mittleren und Unteren Inn aus, so würden Scheitelabminderung und Laufzeitverzögerung stark verschlechtert werden (siehe Abb. B- 37 und Abb. B- 38 sowie Tab. B- 7).



**Abb. B- 37:** Wellenverformung der HQ<sub>100</sub>-Welle im Mittleren Inn für IST-Zustand 2010 und Szenario mit komplettem Überflutungsflächenverlust (Flussschlauchmodell)

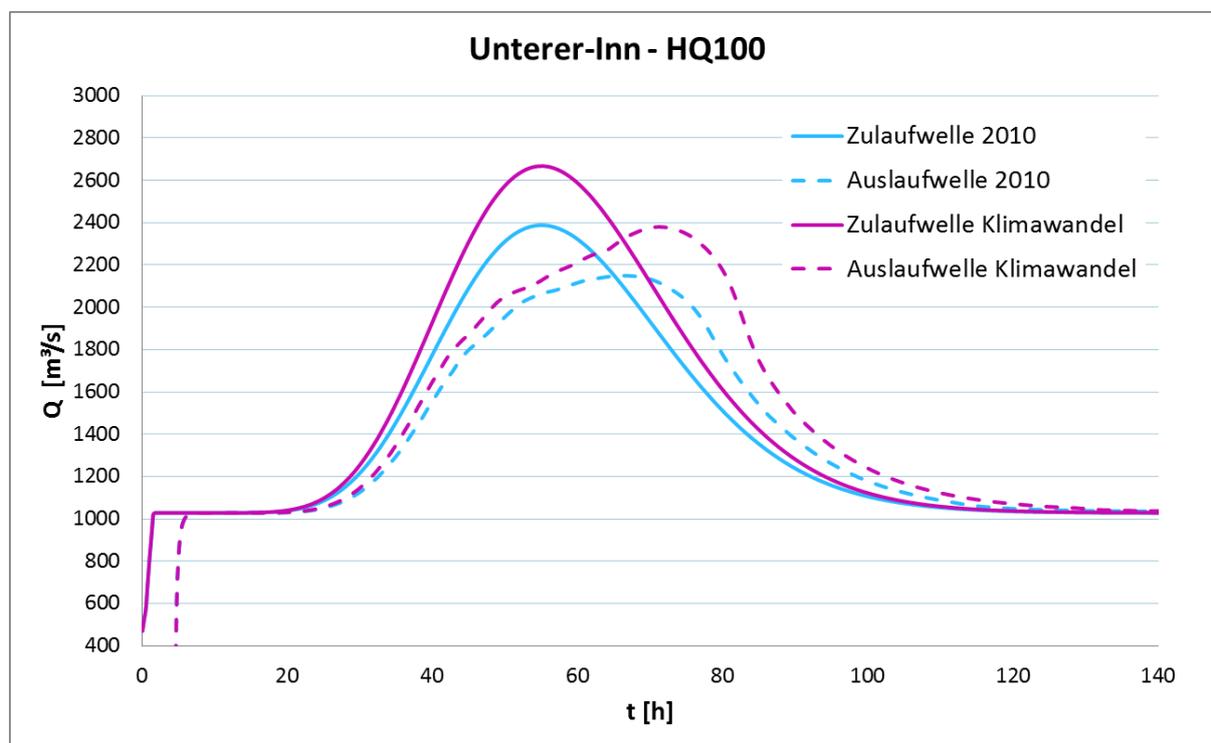


**Abb. B- 38:** Wellenverformung der HQ<sub>100</sub>-Welle im Unteren Inn für IST-Zustand 2010 und Szenario mit komplettem Überflutungsflächenverlust (Flussschlauchmodell)

**Tab. B- 7:** Scheitelabminderung und Scheitelverzögerung im Vergleich zwischen IST-Zustand und Szenario ohne Überflutungsflächen

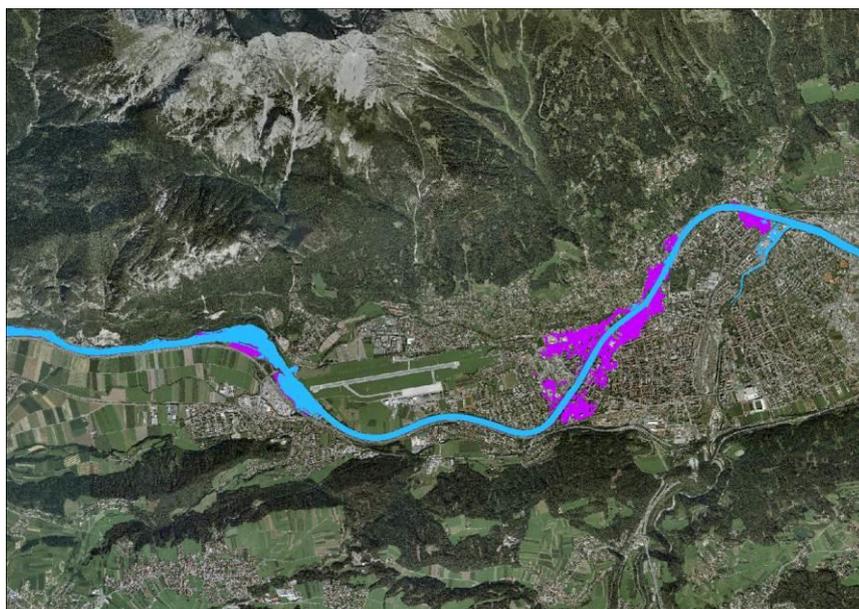
<b>Mittlerer Inn (L = 78 km)</b>	<b>IST-Zustand 2010</b>	<b>ohne Überflutungsflächen</b>
$\Delta Q$ [m <sup>3</sup> /s]	194	2
$\Delta t$ [h]	16,00	4,00
<b>Unterer Inn (L = 38 km)</b>	<b>IST-Zustand 2010</b>	<b>ohne Überflutungsflächen</b>
$\Delta Q$ [m <sup>3</sup> /s]	210	3
$\Delta t$ [h]	10,25	2,50

Die Betrachtung eines Zukunftsszenarios mit durch den Klimawandel um 15 % erhöhten Abflüssen zeigt, dass auch in diesem Szenario eine ähnlich gute, tw. sogar verbesserte Wellenverformung wie im IST-Zustand erzielt wird (beispielhaft dargestellt für den Unteren Inn in Abb. B- 39).

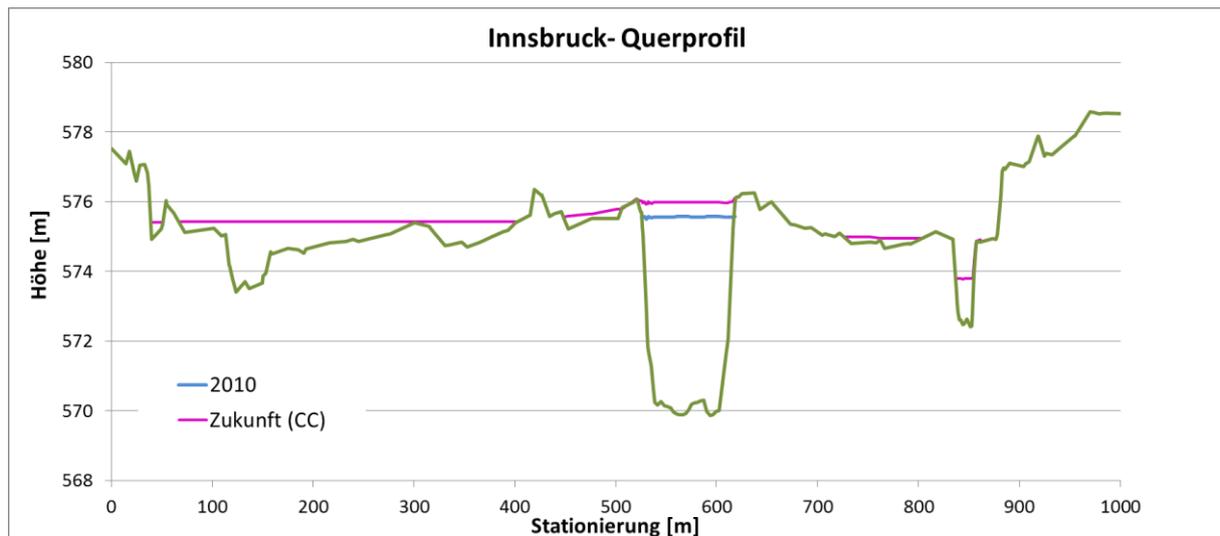


**Abb. B- 39:** Wellenverformung eines  $HQ_{100}$  IST-Zustand vs. Klimawandel, Unterer Inn

Der Grund hierfür liegt darin, dass bedingt durch den größeren Abfluss neue (bzw. tw. ehemalige und mittlerweile vermeintlich geschützte) Überflutungsräume dotiert werden und zur Dämpfung der Welle beitragen. Beispielhaft zeigen die Abb. B- 40 und Abb. B- 41 dies für den Bereich Innsbruck. Im betrachteten Zukunftsszenario kommt es zu einer Erhöhung der Wasserspiegellagen um bis zu 42 cm im Stadtgebiet, welche zu Überflutungen führen.



**Abb. B- 40:** Überflutungsflächen bei  $HQ_{100}$  IST-Zustand vs. Klimawandel, Bereich Innsbruck



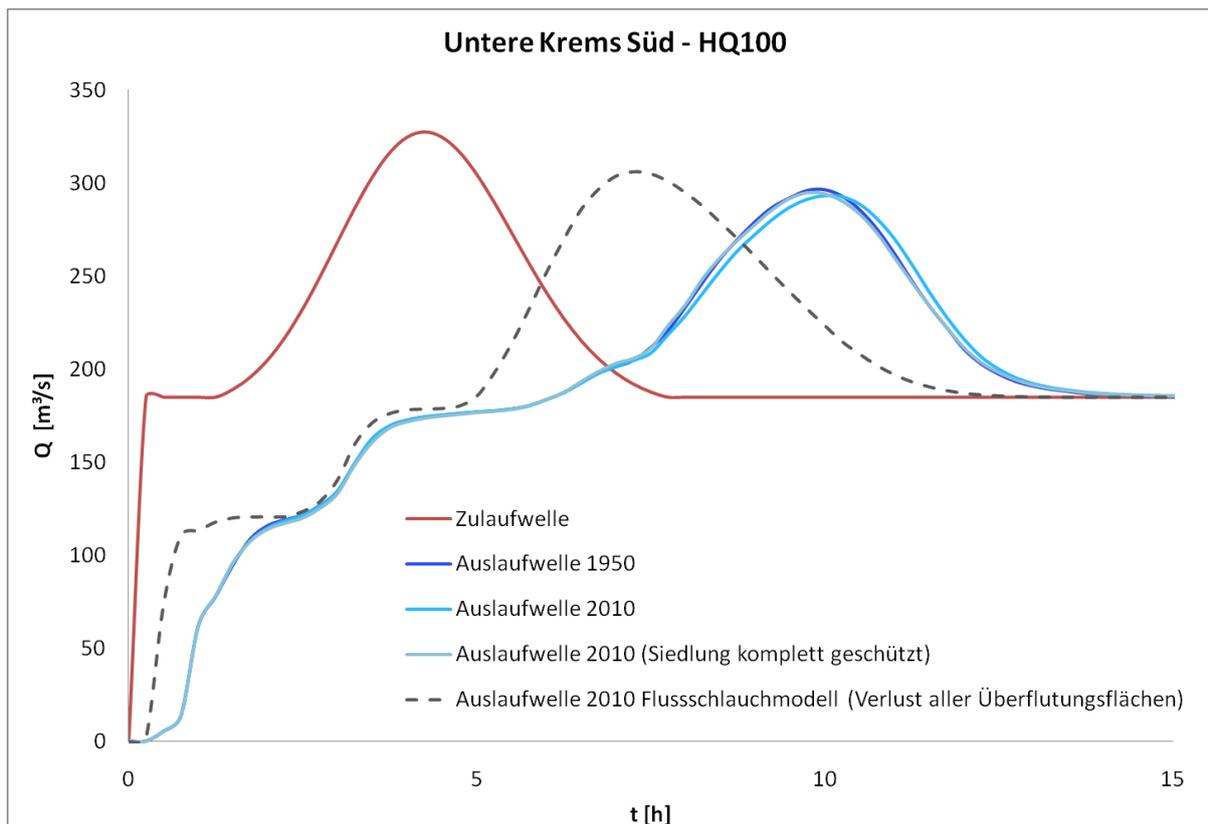
**Abb. B- 41:** Querprofil für HQ<sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Bereich Innsbruck

### B-6.2.2 Krems

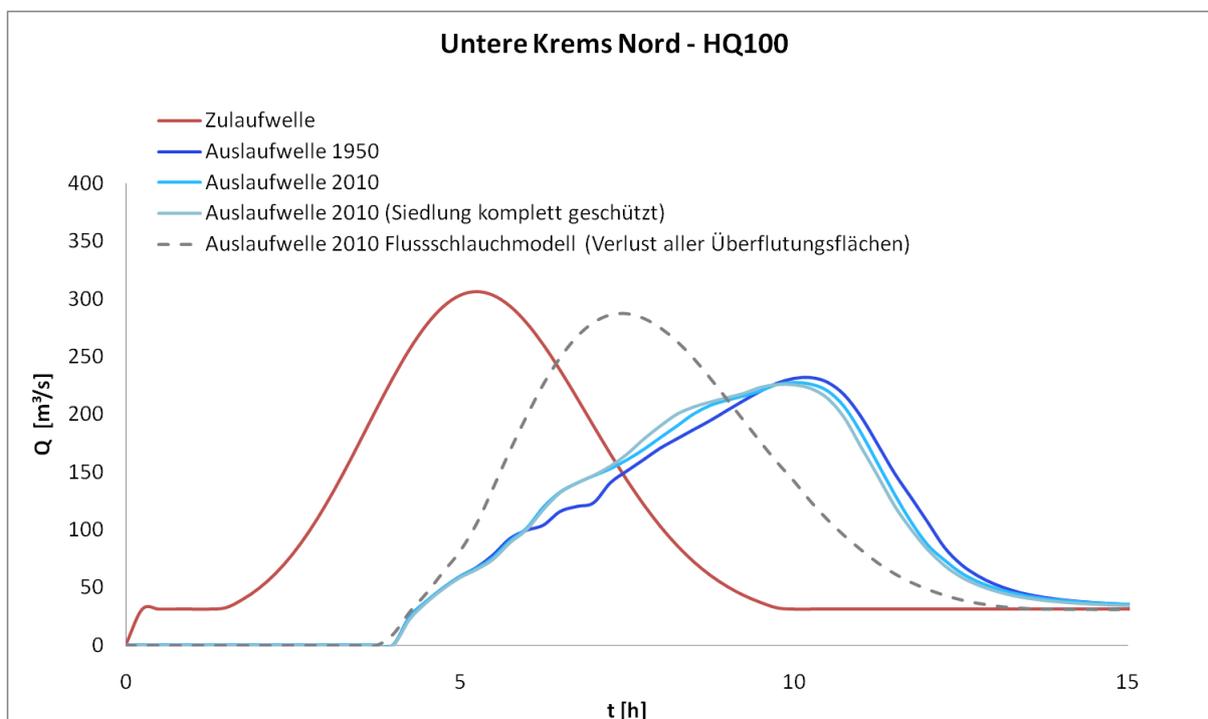
Die Modellierung der historischen und zukünftigen Szenarien wurde für die Untere Krems für die beiden Teilbereiche „Untere Krems Süd“ und „Untere Krems Nord“ durchgeführt.

Abb. B- 42 zeigt die Verformung einer HQ<sub>100</sub>-Welle für den Bereich „Untere Krems Süd“: die rote Linie beschreibt die Zulaufwelle am Modellbeginn, die blauen Linien stellen die Auslaufwellen am Gebietsende dar. Man kann erkennen, dass die hier dargestellten Szenarien für den IST-Zustand von 2010, den historischen Zustand von 1950 und den angenommenen Zustand eines kompletten Hochwasserschutzes aller Siedlungsgebiete für das Jahr 2010 sehr ähnliche Wellenverformungen liefern. Im Vergleich zu 1950 erfährt die Welle 2010 eine geringfügig bessere Dämpfung ( $\Delta Q = -35 \text{ m}^3/\text{s}$  statt  $-31 \text{ m}^3/\text{s}$ ), was darauf zurückzuführen ist, dass im Szenario von 2010 Siedlungsgebiet überflutet wird, welches aufgrund hoher hydraulischer Rauigkeit das Hochwasser besser zurückhält. Für den anzunehmenden Fall, dass diese Siedlungsgebiete in naher Zukunft einen Hochwasserschutz erhalten und somit nicht mehr als Retentionsraum zur Verfügung stehen, ergibt sich eine Welle, die in etwa die selbe Scheitelabminderung wie 1950 aufweist ( $\Delta Q = -33 \text{ m}^3/\text{s}$ ), aber um eine halbe Stunde beschleunigt ist. Würde man von einem vollständigen Verlust aller Überflutungsräume ausgehen (grau-strichlierte Linie), so ginge die Scheitelabminderung auf  $\Delta Q = -22 \text{ m}^3/\text{s}$  zurück und die Wellenlaufzeit würde um knappe 3 Stunden verkürzt werden, was in etwa einer Halbierung der Wellenlaufzeit entspricht.

Abb. B- 43 zeigt selbige Szenarien für den Bereich Untere Krems Nord. Auch hier ist die Scheitelabminderung im IST-Zustand von 2010 geringfügig besser als im Zustand von 1950 ( $\Delta Q = -79 \text{ m}^3/\text{s}$  statt  $-74 \text{ m}^3/\text{s}$ ), was wiederum auf überflutetes Siedlungsgebiet zurückzuführen ist. Die Wellentranslation ist jedoch um eine halbe Stunde gegenüber dem Zustand von 1950 verkürzt. Bei Wegfall aller Überflutungsflächen würde die Scheitelabminderung auf  $\Delta Q = -19 \text{ m}^3/\text{s}$  sinken, die Wellenlaufzeit würde sich auf ca. 2 Stunden um mehr als die Hälfte verkürzen.



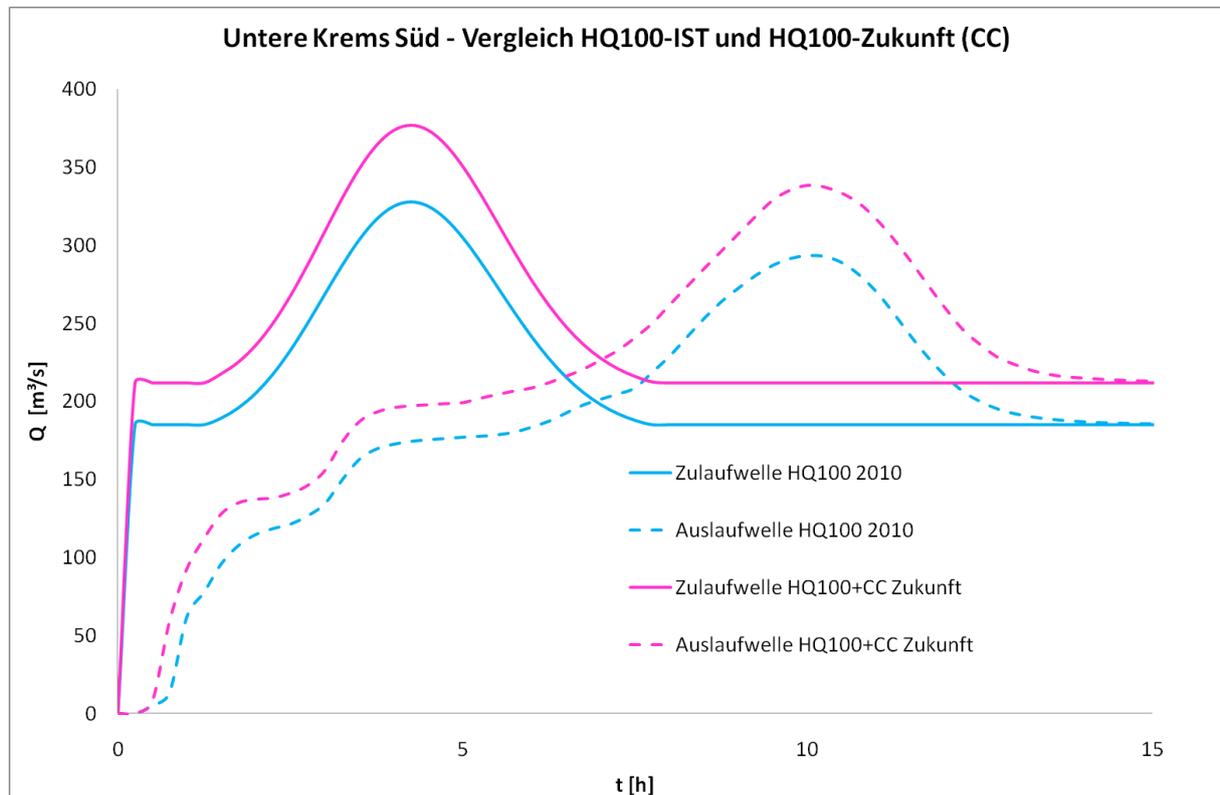
**Abb. B- 42:** Wellenverformung eines  $HQ_{100}$  unter verschiedenen Szenarien, Untere Krems Süd



**Abb. B- 43:** Wellenverformung eines  $HQ_{100}$  unter verschiedenen Szenarien, Untere Krems Nord

Betrachtet man das Zukunftsszenario mit um 15 % erhöhtem Hochwasserabfluss für die Untere Krems Süd (Abb. B- 44) so kann man sowohl für den IST-Zustand, als auch für das Zukunftsszenarium eine deutliche Wellenverformung feststellen. Im IST-Zustand wird der Wellenscheitel um  $\Delta = -35 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Zukunftsszenarium um  $\Delta = -39 \text{ m}^3/\text{s}$  reduziert, was in beiden Fällen einer (auf den Scheitelwert bezogenen) relativen Abminderung von ca. 10 % entspricht. Die Laufzeitverzögerung beträgt in beiden Fällen knappe 6 Stunden.

Für das Gebiet der Unteren Krems Nord ergibt sich ein ähnliches Bild (Abb. B- 45): hier fällt die Scheitelabminderung für das Zukunftsszenario ( $\Delta = -95 \text{ m}^3/\text{s}$ ) im Vergleich zum IST-Zustand ( $\Delta = -79 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sogar etwas deutlicher aus, was an der relativen Scheitelabminderung zu erkennen ist, die mit 27 % etwas größer ist als jene des IST-Zustandes mit 25,5 %. Im Zukunftsszenarium ist zudem die Laufzeit um etwa eine halbe Stunde länger als im IST-Zustand, was auf zusätzlich erschlossene Überflutungsflächen zurückzuführen ist. Die Größe der jeweiligen Überflutungsflächen für alle untersuchten Szenarien an der Krems ist in Tab. B- 8 dargestellt.



**Abb. B- 44:** Wellenverformung eines  $HQ_{100}$  IST-Zustand vs. Klimawandel, Untere Krems Süd

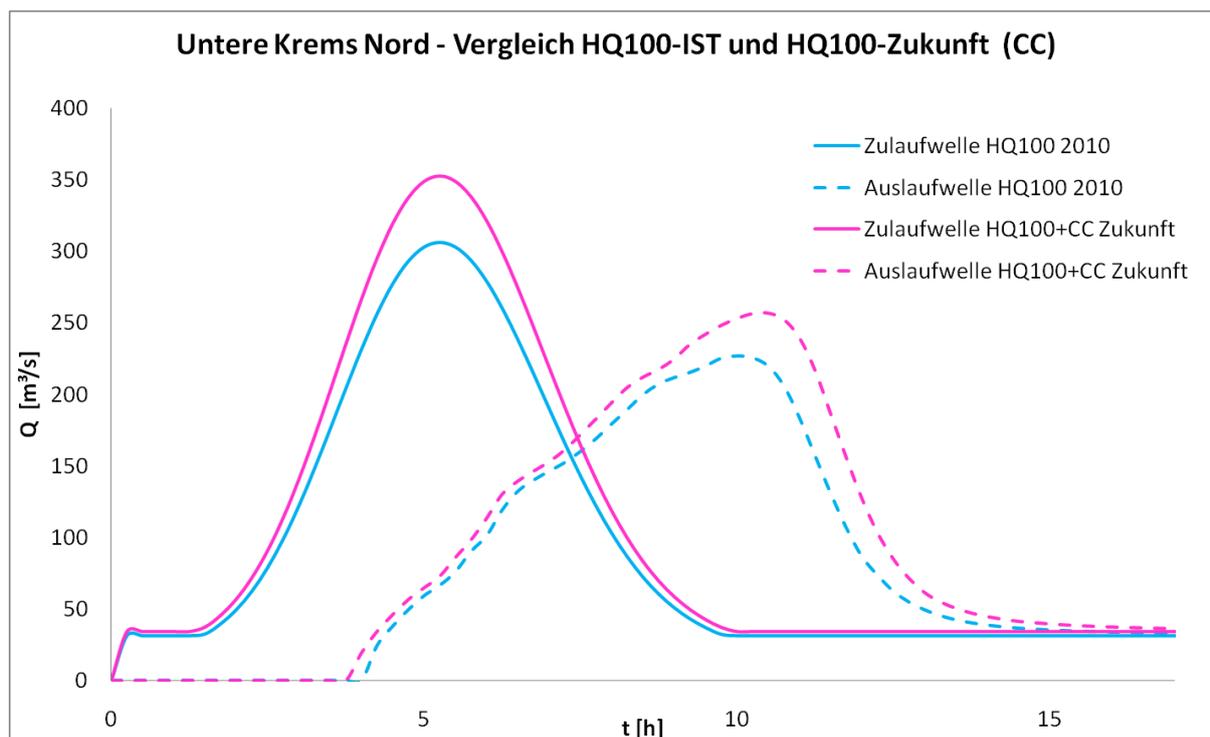


Abb. B- 45: Wellenverformung eines HQ<sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Untere Krems Nord

Tab. B- 8: Überflutungsflächen für die verschiedenen Szenarien an der Unteren Krems

<b>Untere Krems Süd</b>		Fläche [km <sup>2</sup> ]
HQ100_1950		5,24
HQ100_2010		5,22
HQ100_2010 Siedlung komplett geschützt		5,03
HQ100_2010 Flussschlauchmodell		---
HQ100_2010 CC Klimawandel-Zukunft		5,66
<b>Untere Krems Nord</b>		Fläche [km <sup>2</sup> ]
HQ100_1950		5,39
HQ100_2010		4,98
HQ100_2010 Siedlung komplett geschützt		4,67
HQ100_2010 Flussschlauchmodell		---
HQ100_2010 CC Klimawandel-Zukunft		5,71

### B-6.2.3 Raab

Für den Unterlauf der Raab (von Studenzen bis Hohenbrugg; Fkm 51,5 – 19,0) wurde die Auswirkung einer durch den Klimawandel um 15 % erhöhten Hochwasserwelle untersucht. Wie in Abb. B- 46 ersichtlich ist, erfährt die HQ<sub>100</sub>-Welle bereits im IST-Zustand (2010) eine deutliche Verformung (blaue Linien). Hierbei wird der Wellenscheitel durch die Wirkung der Überflutungsflächen um  $\Delta Q = -18 \text{ m}^3/\text{s}$  gedämpft, was einer (auf den Scheitelwert bezogenen) relativen Abminderung von 6 % entspricht. Im Zukunftsszenarium mit durch den Klimawandel erhöhter Hochwasserwelle wird der Wellenscheitel um  $\Delta Q = -24 \text{ m}^3/\text{s}$  gedämpft, was einer relativen Abminderung von 7 % entspricht. Diese leicht verbesserte Retentionswirkung im Klimawandelszenarium ist auf die zusätzlich erschlossenen Überflutungsflächen zurückzuführen. Während im IST-Zustand von 2010 eine Fläche von 19,25 km<sup>2</sup> überflutet wird, wird im Klimawandel ein größeres Gebiet von 21,37 km<sup>2</sup> überflutet.

In Bezug auf die Scheitelverzögerung ergibt sich zwischen den beiden Szenarien kein Unterschied. In beiden Fällen beträgt die Translationszeit des Wellenscheitels 15,5 Stunden.

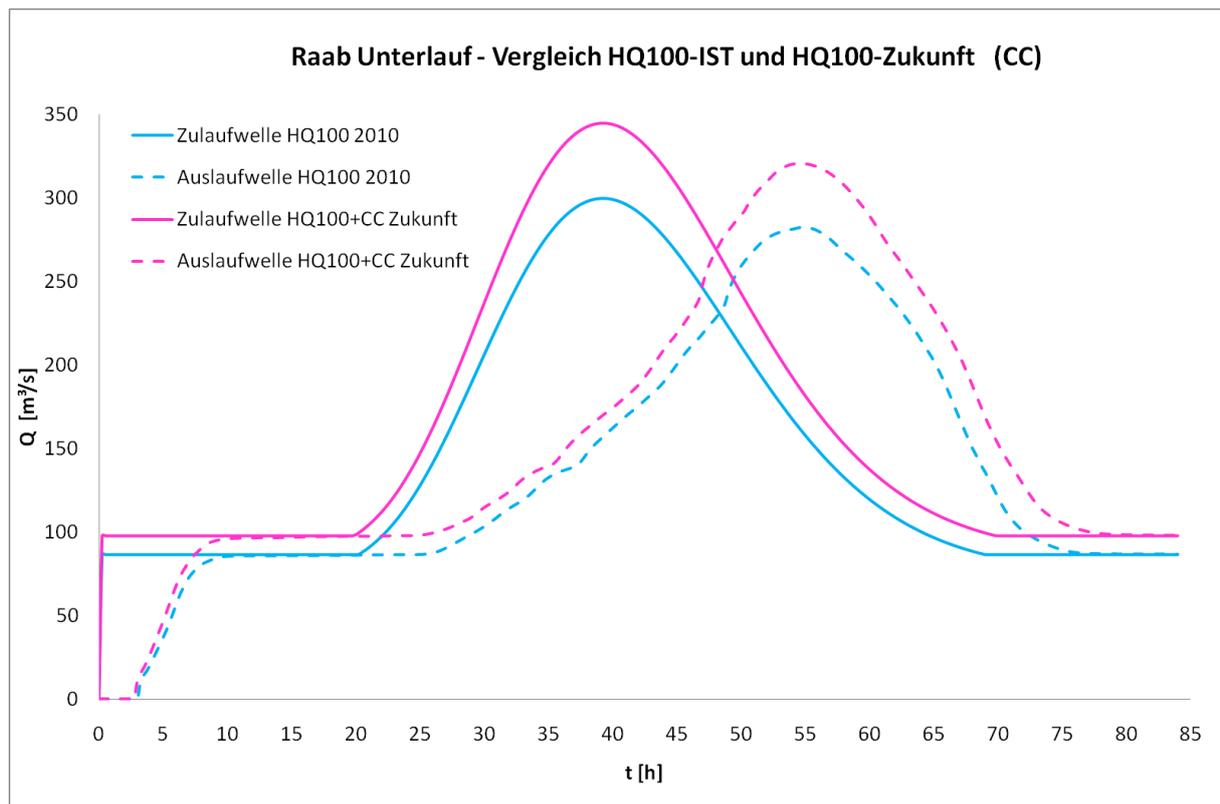
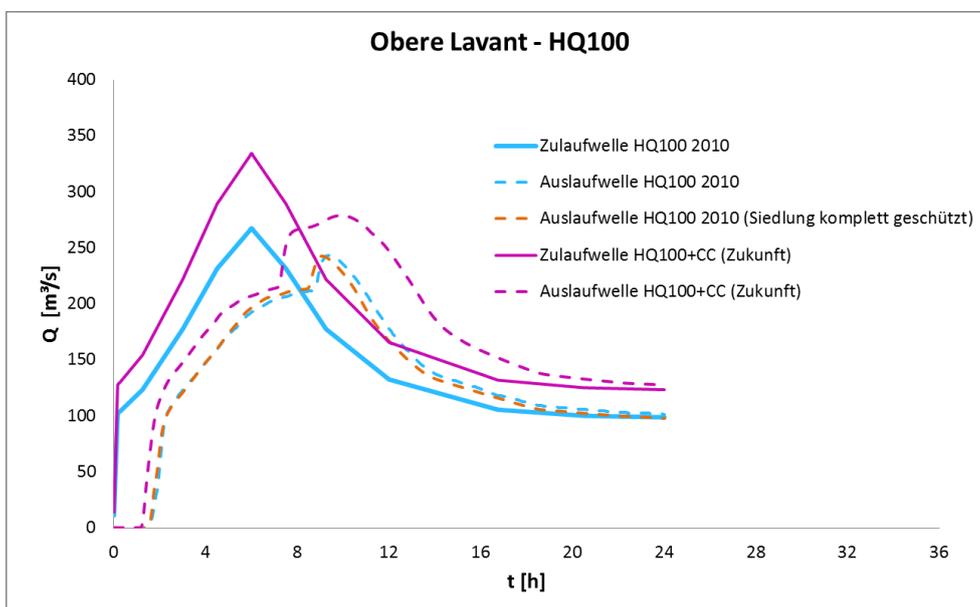


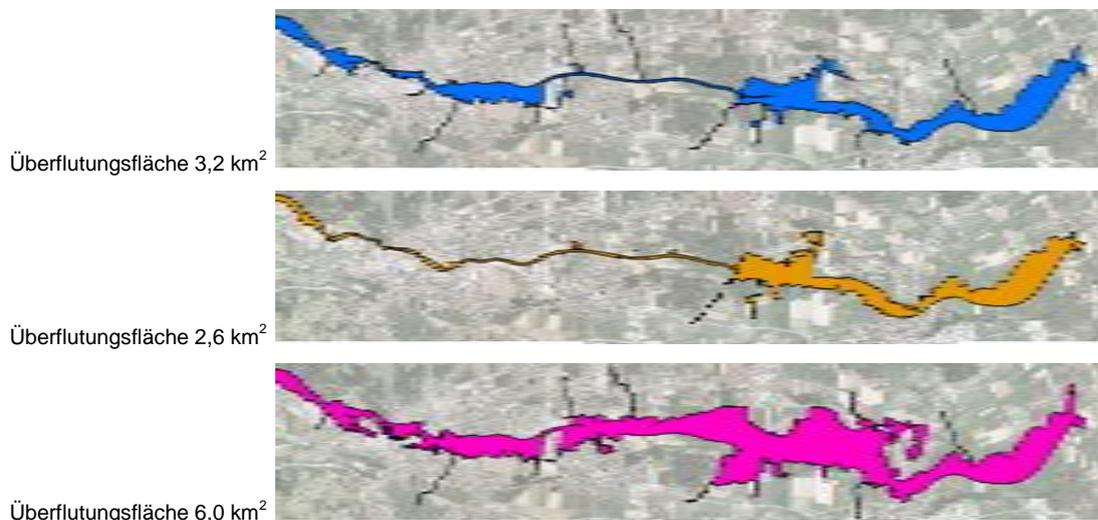
Abb. B- 46: Wellenverformung eines HQ<sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Raab Unterlauf

**B-6.2.4 Lavant**

Abb. B- 47 zeigt für den Oberlauf der Lavant die Wellenverformung bei HQ<sub>100</sub>. Im IST-Zustand (2010; blaue Linien) wird die Welle um  $\Delta Q = -24 \text{ m}^3/\text{s}$  (entspricht einer relativen Scheitelabminderung von 9 %) abgemindert. Die Laufzeitverzögerung beträgt 3 Stunden. In diesem Flussabschnitt werden bei HQ<sub>100</sub> auch Siedlungsgebiete überflutet. Sollten diese in naher Zukunft einen Hochwasserschutz erhalten und nicht mehr zur Retention beitragen, so würde der Abfluss um ca. eine halbe Stunde beschleunigt werden (orange Linie). Die Scheitelabminderung würde sich nicht merkbar verändern. Im Falle von durch den Klimawandel erhöhten Abflüssen (magenta-farbene Linien) kann eine sehr deutliche Wellenverformung festgestellt werden. Die Scheitelspitze würde um  $\Delta Q = -55 \text{ m}^3/\text{s}$  (entspricht 16 %) abgemindert und um 4 Stunden verzögert werden. Diese verbesserte Retentionswirkung für das Gesamtgebiet beruht zu Teilen auf zusätzlich überfluteten Siedlungsgebieten. Abb. B- 48 zeigt die Überflutungsflächen für die drei Szenarien im Vergleich.



**Abb. B- 47:** Wellenverformung eines HQ<sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Lavant Oberlauf



**Abb. B- 48:** Überflutungsflächen für IST-Zustand 2010 (oben), geschützte Siedlung 2010 (Mitte) und Klimawandelszenario (Zukunft)

## III

Am Beispiel der III wurde untersucht, wie sich der vollständige Verlust aller vorhandenen Überflutungsflächen auswirken würde (Abb. B- 49). Im IST-Zustand (blaue Linie) beträgt die Scheitelabminderung  $\Delta Q = -35 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Scheitelverzögerung beträgt 4,5 Stunden. Unter Berücksichtigung des relativ hohen Gefälles und der engen Tallage dieses alpinen Flusses, stellt die noch vorhandene Retention einen bedeutenden Beitrag zur Minimierung des Hochwasserrisikos dar. Würde man die verbliebenen Retentionsflächen ebenfalls vom Fluss abtrennen, so würde sich die Retentionsleistung deutlich verschlechtern. Die Scheitelabminderung würde auf  $\Delta Q = -5 \text{ m}^3/\text{s}$  sinken, die Scheitelverzögerung auf 2,5 Stunden. Diese Retentionsleistung entspricht dann der reinen Flussschlauchretention.

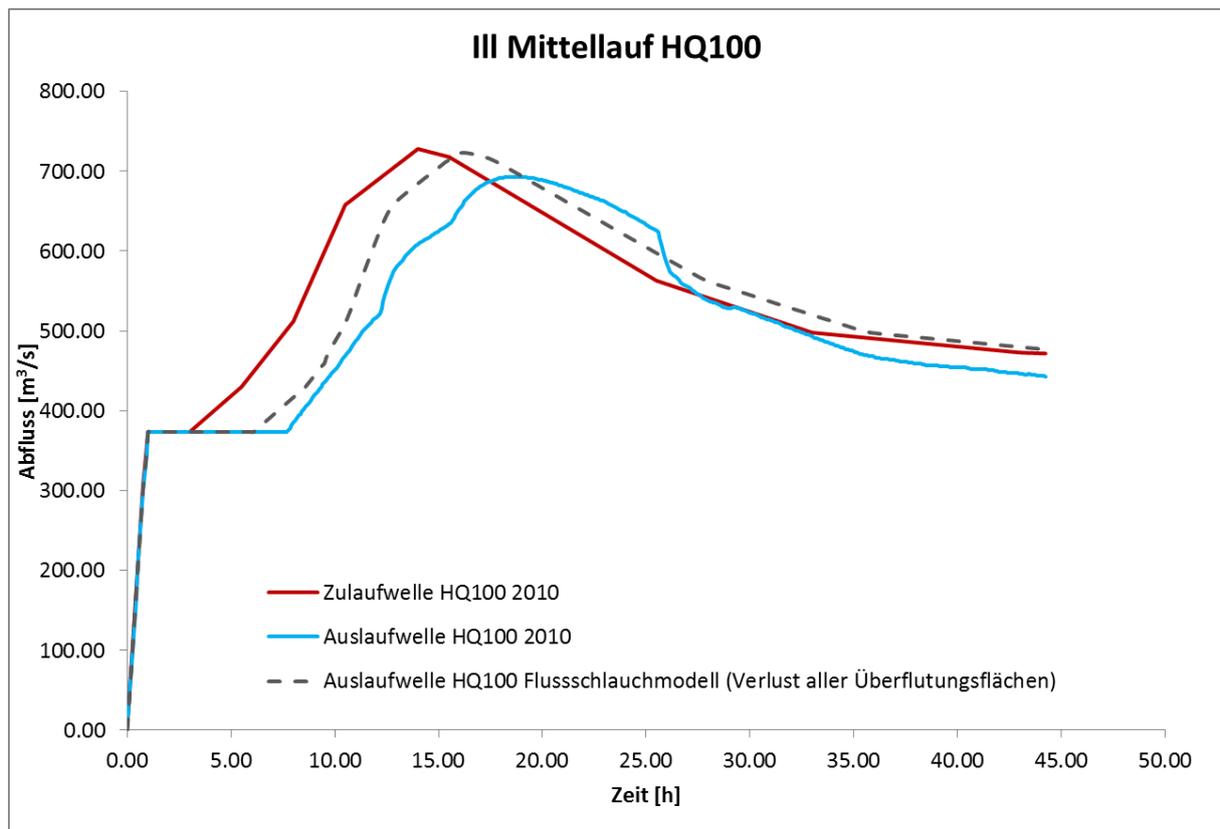


Abb. B- 49: Wellenverformung eines HQ<sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Lavant Oberlauf

## **B-7 Schlussfolgerungen / Empfehlungen**

Das vorliegende Forschungsprojekt zeigt anhand verschiedener Beispiele die Komplexität eines integrierten Überflutungsflächenmanagements auf. Die Überflutungsflächen österreichischer Flüsse sind insbesondere im alpinen Raum mit seinen engen Tälern und den sich daraus ergebenden konkurrierenden Nutzungsansprüchen einem starken Siedlungsdruck unterworfen. Die Analyse der Landnutzungsveränderungen auf diesen Überflutungsflächen in den letzten 60 Jahren hat gezeigt, dass bereits große Teile ehemaligen Grünlands (welches als Hochwasser-verträgliche Nutzung eingestuft werden kann) durch höherwertige Landnutzungen wie Siedlungs-, Industrie- & Gewerbe-, Sonder- und Verkehrsflächen ersetzt worden sind. Durch die Anhäufung von Werten in diesen Gebieten wurde zum einen das Risikopotenzial entscheidend erhöht; zum anderen ging durch Hochwasserschutzmaßnahmen für diese neuen Entwicklungsgebiete weiterer Retentionsraum verloren, was die Hochwassersituation flussab verschärfte (sei es durch höhere Wellenscheitel oder beschleunigte Wellenlaufzeiten).

Die Beurteilung, ob eine (historische) Veränderung auf den Überflutungsflächen positive oder negative Auswirkungen hat, hängt von vielen Faktoren ab. Jede Überflutungsfläche weist eine eigene Überflutungscharakteristik auf und wirkt somit bei verschiedenen Wellenformen und Jährlichkeiten unterschiedlich. Hochwasserschutzmaßnahmen wie Dämme oder Mauern können mitunter zwar den lokalen HW-Schutz verbessern, führen aber flussab zu einer Verschärfung der Situation. Vom Fluss künstlich abgetrennte Retentionsräume wie z.B. beim Inn durch die Inntalautobahn können bei größeren Ereignissen (ungewünscht) wie Polder (Rückhaltebecken) wirken und so das großräumige Hochwasserrisiko flussab senken. Lokal ist hierbei allerdings mit Schäden zu rechnen. Diese Wirkung ist hierbei sehr von der betrachteten Jährlichkeit abhängig. Natürliche Überflutungsflächen wirken hingegen etwas geringer, jedoch bei allen Jährlichkeiten und können somit für eine Vielzahl von Hochwasserereignissen das Risiko lokal und großräumig senken. Zudem wird durch ihre Freihaltung die Wertakkumulation in risiko-exponierten Gebieten hintangehalten, was das Risiko zusätzlich senkt.

Die Betrachtung von durch den Klimawandel erhöhten Abflüssen hat gezeigt, dass die Überflutungsflächen entlang der Fließgewässer eine gewisse „Pufferwirkung“ aufweisen und bei größeren Abflüssen sogar besser als im IST-Zustand wirken können. Teilweise geht diese verbesserte Retentionswirkung aber auf Überflutungen in vermeintlich geschützten Siedlungsgebieten zurück, sodass derartige Betrachtungen für ein integriertes Risikomanagement von großer Bedeutung sind. Auch hier sind natürliche Überflutungsflächen geeignet, um diese „Pufferwirkung“ wahrzunehmen ohne gleichzeitig das Schadenspotenzial zu erhöhen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass als adaptives Mittel eines integrierten Hochwassermanagements sich der Erhalt und die Wiederherstellung von Überflutungsräumen als eine robuste und an die jeweiligen Verhältnisse angepasste Maßnahme eignen, welche auch zukünftigen potenziell durch den Klimawandel bedingten Extremereignissen Rechnung trägt.

### **B-7.1 Empfehlungen**

Basierend auf den hier vorgestellten Untersuchungsergebnissen ergeben sich folgende Empfehlungen:

- Erhalt bzw. wo möglich Wiederherstellung von natürlichen Überflutungsflächen im Rahmen eines integrierten Hochwassermanagements. Die Freihaltung dieser Überflutungsräume sollte mit geeigneten Mitteln der Raumplanung sichergestellt werden.
- Berücksichtigung der historischen Entwicklung zur gezielten Lenkung der zukünftigen Entwicklung und zur Verringerung negativer Trends.
- Berücksichtigung der möglichen Folgen des Klimawandels in Hinblick auf Schutzmaßnahmen für bebauten Gebiete bzw. in Hinblick auf die Freihaltung von zusätzlichen potenziellen Überflutungsflächen, welche als „Puffer“ für Extremereignisse dienen können.

### **B-7.2 Ausblick und Verlinkung zu Teilprojekt StartClim2013.D**

Die Ergebnisse dieses Projekts stellen eine wichtige Grundlageninformation für Entscheidungsträger zur Anpassung der Raum- und Regionalentwicklung dar. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher eng mit dem Teilprojekt StartClim2013.D („Anpassungsempfehlungen für die Raum- und Regionalentwicklung in hochwassergefährdeten Gebieten“) des Büros PlannSinn GmbH zusammengearbeitet. Besonderer Fokus des Teilprojekts StartClim2013.D lag dabei auf Möglichkeiten für Anpassungsempfehlungen für Oberösterreich. Im Rahmen eines gemeinsamen Workshops in Linz am 9.1.2014 wurden die gewonnenen Erkenntnisse mit Experten und Verantwortlichen diskutiert.

## Literaturverzeichnis

- EU-Richtlinie 2007/60/EG. Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Europäisches Parlament und Rat.
- Formayer, H., Kromp-Kolb, H. & Schwarzl, I. 2009. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich (Endbericht Band 2 der Forschungsreihe "Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich", Mai 2007). *In: INSTITUT FÜR METEOROLOGIE BOKU, W. (ed.) BOKU-Met Report 14.*
- Habersack, H., Bürgel, J. & Kanonier, A. 2009. FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement (Consolidation and cross-linking of future-oriented implementation strategies for an integrated flood risk management).
- Habersack, H., Bürgel, J. & Petraschek, A. 2004. Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - FloodRisk Synthesebericht. Vienna: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Habersack, H., Gutknecht, D., Hengl, M., Honsowitz, H., Knoblauch, H., Reichel, G., Rutschmann, P., Sackl, B., Tritthart, M. & Hauer, C. 2007. Fließgewässermodellierung - ÖWAV Arbeitsbehelf Hydrodynamik. *In: ÖWAV (ed.) ÖWAV Arbeitsbehelf.*
- Habersack, H., Hauer, C., Schober, B., Dister, E., Quick, I., Harms, O., Wintz, M., Piquette, E. & Schwarz, U. 2008. Flood risk reduction by preserving and restoring river floodplains (PRO\_Floodplain) - Final Report. *Era-Net CRUE 1st Call.* Era-Net CRUE, EU.
- HAÖ 2007. Hydrologischer Atlas Österreich. *In: FÜRST, J. (ed.).* Lebensministerium & IWHW, BOKU.
- HJB 2008. Hydrographisches Jahrbuch von Österreich. *In: ÖSTERREICH, H. D. I. (ed.).*
- Hydroconsult 2011. Abflussuntersuchung Tirol 1 - Inn km 220,20 bis km 255,35.
- IPCC 2007. 4th Assessment Report on Climate Change.
- IPCC 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *In: FIELD, C., BARROS, V., STOCKER, T. & DAHE, Q. (eds.).*
- KLIWA 2006. Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt.
- Lebensministerium 2012. Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. *In: LEBENSMINISTERIUM (ed.).* Vienna.
- Merz, R., Blöschl, G. & Humer, G. 2008. National flood discharge mapping in Austria. *Journal of Natural Hazards*, 46, 53-72.
- Muhar, S., Poppe, M., Egger, G., Schmutz, S. & Melcher, A. 2004. *Flusslandschaften Österreichs. Ausweisung von Flusslandschaftstypen anhand des Naturraums, der Fischfauna und der Auenv egetation*, bm\_bwk, Forschungsprogramm Kulturlandschaft, Wien.
- Nujic, M. 1999. Hydro\_as-2D - Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis (Hydro\_as-2D - a two-dimensional hydrodynamic numerical model for hydraulic engineering).
- SMS8 2003. SMS (Surface Water Modeling System) - Tutorial zur Schulung. *In: WASSERWIRTSCHAFT, B. L. F. (ed.).*
- Stiefelmeyer, H. & Hlatky, T. 2008. HORA – An Austrian Platform for Natural Hazards as a new Way in Risk Communication. *Interpraevent 2008 Dornbirn - Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser Muren und Lawinen.* Dornbirn, Austria: International Research Society INTERPRAEVENT.
- Umweltbundesamt 2010. Neunter Umweltkontrollbericht - Raumentwicklung. Vienna.
- Werner Consult 2009. Abflussuntersuchung Tirol 1 - Oberer Inn.
- Wimmer, R., Wintersberger, H. & Parthl, G. 2007. Hydromorphologische Leitbilder - Fließgewässertypisierung in Österreich. Lebensministerium.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. B- 1:	Flächenverbrauch in Österreich (Umweltbundesamt, 2010) .....	6
Abb. B- 2:	Räumliche Verteilung des Flächenverbrauchs in Österreich (Umweltbundesamt, 2010) .....	6
Abb. B- 3:	Wellenverformung durch Überflutungsflächen, Donau 2002 (Habersack et al., 2004) .....	7
Abb. B- 4:	Schematische Darstellung der Floodplain Evaluation Matrix (FEM) .....	9
Abb. B- 5:	Links: Hochwasserrisiko durch den Klimawandel für Österreich (Formayer et al., 2009); Rechts: Klimaänderungsfaktoren für Süddeutschland (KLIWA, 2006).....	11
Abb. B- 6:	Überblick über die Untersuchungsgewässer (HAÖ, 2007) .....	12
Abb. B- 7:	Untersuchungsgebiet Inn.....	13
Abb. B- 8:	Untersuchungsgebiet Ill .....	13
Abb. B- 9:	Untersuchungsgebiet Raab .....	14
Abb. B- 10:	Untersuchungsgebiet Lavant .....	14
Abb. B- 11:	Untersuchungsgebiet Krems.....	15
Abb. B- 12:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010, HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich .....	17
Abb. B- 13:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010, gesamter Talraum.	18
Abb. B- 14:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns in den letzten 60 Jahren, HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich.....	19
Abb. B- 15:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns in den letzten 60 Jahren, gesamter Talraum .....	20
Abb. B- 16:	Siedlungsentwicklung im Bereich Innsbruck (Fkm 305-285) .....	22
Abb. B- 17:	Landnutzung entlang des Inns; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich) .....	23
Abb. B- 18:	Versiegelte Flächen entlang des Inns für 1950 bis 2010 (gesamter Talraum) .....	23
Abb. B- 19:	Landnutzung entlang der Raab 1950 und 2010, gesamter Talraum.....	24
Abb. B- 20:	Landnutzung entlang der Raab in den letzten 60 Jahren, gesamter Talraum .....	25
Abb. B- 21:	Landnutzung entlang der Raab; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich) .....	26
Abb. B- 22:	Stadtgemeinde Gleisdorf im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts .....	27
Abb. B- 23:	Stadtgemeinde Feldbach im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts.....	27
Abb. B- 24:	Landnutzung entlang der Krems 1950 und 2010, gesamter Talraum.....	28
Abb. B- 25:	Landnutzung entlang der Krems in den letzten 60 Jahren, gesamter Talraum .....	29
Abb. B- 26:	Landnutzung entlang der Krems; oben: 1950; unten: 2010 (HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich) .....	30

Abb. B- 27:	Marktgemeinde Neuhofen / Krems im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts .....	31
Abb. B- 28:	Marktgemeinde Kremsmünster im Jahr 1950 links und im Jahr 2010 rechts. ....	31
Abb. B- 29:	Wellenverformung einer synthetischen HQ <sub>100</sub> -Welle im Oberen Inn für 2010 und 1950 .....	32
Abb. B- 30:	Wellenverformung einer synthetischen HQ <sub>100</sub> -Welle im Mittleren Inn für 2010 und 1950 .....	33
Abb. B- 31:	Detailausschnitt des Mittleren Inns mit Überflutungsflächen 2010 und 1950. ....	33
Abb. B- 32:	Wellenverformung einer synthetischen HQ <sub>100</sub> -Welle im Unteren Inn für 2010 und 1950 .....	34
Abb. B- 33:	Wellenverformung der HQ <sub>2005</sub> -Welle im Unteren Inn für 2010 und 1950 .....	35
Abb. B- 34:	Darstellung verschiedener Zeitpunkte der betrachteten Hochwasserwellen.. ....	35
Abb. B- 35:	Zeitlicher Verlauf der Überflutung bei Wörgl für eine synthetische HQ <sub>100</sub> -Welle .....	36
Abb. B- 36:	Zeitlicher Verlauf der Überflutung bei Wörgl für die Welle des HQ <sub>2005</sub> .....	37
Abb. B- 37:	Wellenverformung der HQ <sub>100</sub> -Welle im Mittleren Inn für IST-Zustand 2010 und Szenario mit komplettem Überflutungsflächenverlust (Flussschlauchmodell) .....	38
Abb. B- 38:	Wellenverformung der HQ <sub>100</sub> -Welle im Unteren Inn für IST-Zustand 2010 und Szenario mit komplettem Überflutungsflächenverlust (Flussschlauchmodell) .....	38
Abb. B- 39:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Unterer Inn .....	39
Abb. B- 40:	Überflutungsflächen bei HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Bereich Innsbruck .....	39
Abb. B- 41:	Querprofil für HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Bereich Innsbruck .....	40
Abb. B- 42:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> unter verschiedenen Szenarien, Untere Krems Süd .....	41
Abb. B- 43:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> unter verschiedenen Szenarien, Untere Krems Nord .....	41
Abb. B- 44:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Untere Krems Süd .....	42
Abb. B- 45:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Untere Krems Nord .....	43
Abb. B- 46:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Raab Unterlauf .....	44
Abb. B- 47:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Lavant Oberlauf .....	45
Abb. B- 48:	Überflutungsflächen für IST-Zustand 2010 (oben), geschützte Siedlung 2010 (Mitte) und Klimawandelszenario (Zukunft) .....	45
Abb. B- 49:	Wellenverformung eines HQ <sub>100</sub> IST-Zustand vs. Klimawandel, Lavant Oberlauf .....	46

## Tabellen

Tab. B- 1:	Überblick über die verwendeten 2D-Modelle .....	16
Tab. B- 2:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns 1950 und 2010 .....	18
Tab. B- 3:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns, HORA HQ <sub>100</sub> -Bereich .....	21
Tab. B- 4:	Landnutzung entlang des Tiroler Inns, gesamter Talraum .....	21
Tab. B- 5:	Landnutzung entlang der Raab, gesamter Talraum .....	24
Tab. B- 6:	Landnutzung entlang der Krems, gesamter Talraum .....	28
Tab. B- 7:	Scheitelabminderung und Scheitelverzögerung im Vergleich zwischen IST-Zustand und Szenario ohne Überflutungsflächen .....	38
Tab. B- 8:	Überflutungsflächen für die verschiedenen Szenarien an der Unteren Krems .....	43