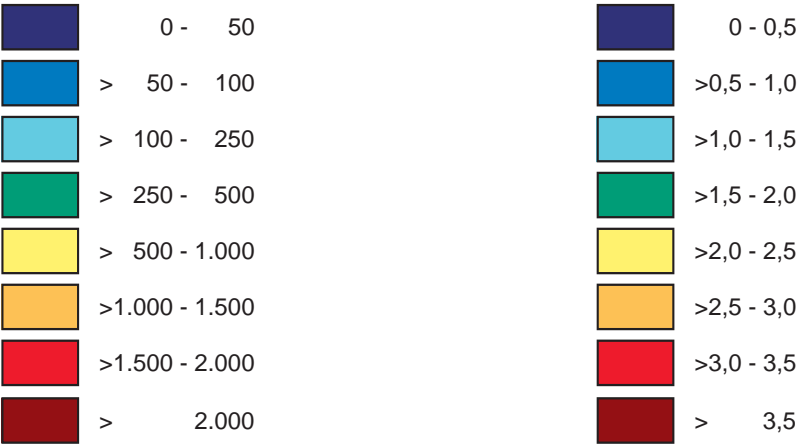


Karte 1a: Verteilung der 100-jährlichen Hochwasserspitzen (HQ_{100}) für den Zeitraum 1971-2000 [m^3/s]
Karte 1b: Verteilung der 100-jährlichen Hochwasserspitzen (HQ_{100}) für den Zeitraum 2036-2060 (Mittel der 16 Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator) [m^3/s]

Karte 2a: Quotient aus zukünftigem 100-jährlichem Spitzenabfluss HQ_{100} für den Zeitraum 2011-2035 (Mittel der 16 Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator) und dem vergangenen HQ_{100} (1971-2000)
Karte 2b: Quotient aus zukünftigem 100-jährlichem Spitzenabfluss HQ_{100} für den Zeitraum 2036-2060 (Mittel der 16 Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator) und dem vergangenen HQ_{100} (1971-2000)



Werte des Quotienten zwischen 0 und 1 bedeuten eine Abnahme, Werte größer 1 eine Zunahme des Hochwasserabflusses.

Gezeigt werden Proxel mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,8$

Stand: 2009

GLOBAL CHANGE ATLAS

EINZUGSGEBIET OBERE DONAU

Herausgeber:

GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.1.3 Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung

Szenarien zur Entwicklung des Hochwassers an der Oberen Donau

Rastergröße: 1 x 1 km²

Maßstab: 1: 3.800.000

Datengrundlage:

DANUBIA-Digitales Geländemodell und daraus abgeleitetes Gewässernetz

Ergebnisse des statistischen Klimaantriebs-Generators (siehe Kapitel S3)

Pegeldaten: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Ref. 87, 2008

Lebensministerium, Abteilung VII/3-Wasserhaushalt, 2008

Autor:

W. Mauser

Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:

V. Falck

Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.1.3 Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung - Szenarien zur Entwicklung des Hochwassers an der Oberen Donau

1. Einleitung

Hochwasser stellt ein bedeutendes Naturrisiko dar. Auch wenn extreme Hochwasserereignisse selten sind, verursachen sie beträchtliche privat- und volkswirtschaftliche Schäden im Einzugsgebiet der Oberen Donau. In den letzten 10 Jahren haben beachtliche Hochwasserereignisse stattgefunden, insbesondere in den Jahren 1999 („Pfingsthochwasser“) und 2005. Während dieser Hochwasserereignisse waren vor allem die Einzugsgebiete am Alpenrand betroffen, aber auch an der Donau kam es zu starken Überschwemmungen. Auslöser für Hochwässer an der Oberen Donau ist vorwiegend starker und lang anhaltender Niederschlag im Rahmen einer Vb-Wetterlage, bei der feuchte Luft aus dem Mittelmeerraum über den Balkan an den Alpenrand herangeführt wird. Die feuchten Luftmassen führen dort zu intensiven, lang anhaltenden Stauniederschlägen. Abbildung 3.1.3.1 veranschaulicht am Beispiel der Wetterlage, die zum Hochwasser im August 2005 geführt hat, die Situation während einer Vb-Wetterlage. Deutlich ist der Transportweg der feuchten Luftmassen innerhalb des Tiefdruckgebiets „Norbert“ zu erkennen.

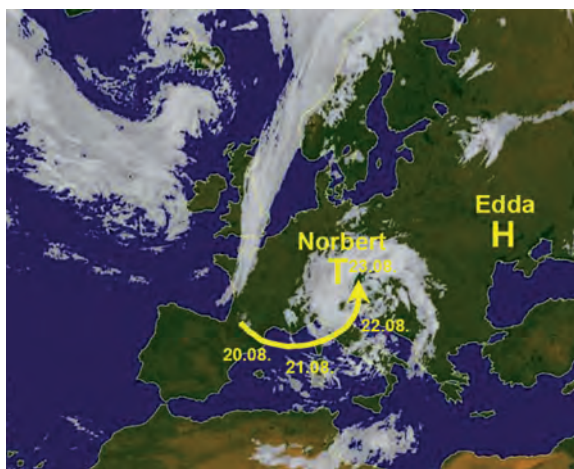


Abbildung 3.1.3.1: Vb-Wetterlage während des Donau-Hochwassers im August 2005 (LfU, 2007, S.10).

Um Aussagen über die zukünftige Entwicklung bezüglich der Hochwasser-Häufigkeit als auch der auftretenden Spitzenabflüsse treffen zu können, wurde der 100-jährliche Spitzenabfluss als Bemessungsgrundlage herangezogen. Der 100-jährliche Spitzenabfluss an einem bestimmten Ort an einem Gewässer, auch HQ_{100} bezeichnet, berechnet sich aus den beobachteten oder simulierten jährlichen Spitzenabflüssen, indem an ihre Größenverteilung eine statistische Verteilung angepasst wird. Die 99%-Perzentile der gewählten Verteilung repräsentiert den in 100 Jahren im statistischen Mittel erreichten bzw. überschrittenen Spitzenabfluss am gewählten Ort (DVWK, 1999). Hierfür wurden der Wasserhaushalt und die Gerinneabflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau mit 18 GLOWA-Danube Klimaszenarien (vier Klimatrends mit jeweils vier Klimavarianten sowie zwei Klimavarianten aus den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5*) für den Zeitraum 2011-2060 sowohl am Pegel Achleiten als auch für alle Proxel, die größere Gewässer im Einzugsgebiet der Oberen Donau repräsentieren, modelliert und analysiert. Die verwendeten Klimaszenarien sind in den Kapiteln S1 bis S5 beschrieben und decken alle möglichen Kombinationen der verwendeten Klimatrends und Klimavarianten des statistischen Klimaantriebs-Generators sowie der skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* ab. Da es sich bei Hochwässern um kurzzeitige Ereignisse von nur wenigen Tagen Dauer handelt, erfordert ihre Untersuchung mithilfe von Klimaszenarien eine besondere Sorgfalt. Die verwendeten Szenarien müssen sowohl in der Lage sein, die kurzfristige Niederschlagsdynamik als auch die längerfristige Entwicklung von Bodenfeuchte und Speicherfüllung und damit den Ausgangszustand des Einzugsgebiets vor Eintritt der Starkniederschläge richtig wiederzugeben, um die Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Hochwässern für ein zukünftig sich änderndes Klima richtig abzubilden. Unter den in Kapitel S3 formulierten Einschränkungen für die meteorologischen Antriebe des statistischen Klimaantriebs-Generators und der zentralen Annahme, dass bis 2060 im Einzugsgebiet der Oberen Donau keine grundsätzlich neuen Wetterlagen auftreten wer-

den, sollen deshalb die mit dem Klimaantriebs-Generator erzeugten Klimavarianten für die Untersuchung der Veränderung der Hochwasserstatistiken benutzt werden. Die skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* werden zum Vergleich herangezogen, um die Güte der Aussagen aktueller regionaler Klimamodelle bewerten zu können.

2. Die zukünftige Entwicklung des Hochwassers an ausgewählten Pegeln im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Die Ergebnisse der Simulationen des Abflusses aus den 16 statistischen Klimavarianten (siehe Kapitel S3 und S4) wurden auf Grundlage der jährlichen Spitzenabflüsse einer statistischen Hochwasseranalyse zur Bestimmung der 100-jährlichen Hochwasserabflüsse unterzogen. Auf der Basis der Richtlinien zur Ermittlung der Jährlichkeit von Hochwasserspitzenabflüssen des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK, 1999) wird nach Analyse des Variationskoeffizienten eine log-normale Verteilung der jährlichen Hochwasserspitzen angenommen. Unter diesen Annahmen wurden für jeweils 25-jährige gemessene Abflussreihen aus den Jahren 1971-2000 die 100-jährlichen Abflüsse am Pegel Achleiten bestimmt. Da zwischen 1971 und 2000 insgesamt 30 Jahre liegen, erhält man durch Verschieben des gewählten 25-jährigen Zeitfensters um jeweils ein Jahr insgesamt fünf Werte für den historischen 100-jährlichen Abfluss. Von diesen Werten wurden der Mittelwert, die Standardabweichung, das Maximum und das Minimum bestimmt. Mit den 16 Zeitreihen der jährlichen Spitzenabflüsse der statistischen Klimavarianten wurde für den Zeitraum von 2011-2060 in entsprechender Weise verfahren. Damit ergibt sich für die 100-jährlichen Abflussspitzen der ersten 25 Jahre von 2011-2035 ein Wert, der für 2036 gesetzt wird. Für 2037 ergibt sich der Wert des 100-jährlichen Ab-

vor dem Zusammenfluss mit der Donau) und Hofkirchen (Donau flussaufwärts vor dem Zusammenfluss mit dem Inn) in den Abbildungen 3.1.3.2a-c zusammengestellt.

Aus Abbildung 3.1.3.2a ist zu entnehmen, dass sich unter den Klimavarianten des Klimaantriebs-Generators der Spitzenabfluss des 100-jährlichen Hochwassers am Pegel Achleiten im Mittel von ca. 8000 m³/s auf ca. 7000 m³/s reduziert. Da in der von den beiden gestrichelten Linien eingeschlossenen Fläche auch Verläufe denkbar sind, die eine Erhöhung des HQ_{100} ergeben, ist eine eindeutige Aussage über den Trend nicht zu ermitteln.

Um erste Untersuchungen zum Ursprung dieser Reduzierung durchzuführen, wurden nach der beschriebenen Methode ebenfalls die beiden Pegel Ingling am Inn und Hofkirchen an der Donau untersucht. Der Pegel Ingling liegt direkt oberhalb des Zusammenflusses von Inn und Donau in Passau und erlaubt es, die Hochwasserspitzen des Inn zu untersuchen. Der Pegel Hofkirchen liegt etwa 20 km flussaufwärts von Passau an der Donau und ist der letzte Donaupegel vor dem Zusammenfluss von Donau und Inn in Passau.

Abbildung 3.1.3.2b beschreibt die Veränderung des HQ_{100} am Pegel Ingling aufgrund der untersuchten 16 statistischen Klimavarianten. Deutlich ist hier eine Reduzierung des HQ_{100} von heute ca. 6000 m³/s auf zukünftig im Schnitt 4800 m³/s zu sehen. Abbildung 3.1.3.2c zeigt die Entwicklung des HQ_{100} am Pegel Hofkirchen. Hier ist keine Veränderung des HQ_{100} zu erkennen und die Spitzenabflüsse bewegen sich auch zukünftig um etwa 4000 m³/s.

Als zweiter Schritt wurden die Ergebnisse der Abflusssimulationen auf Basis der Klimavarianten der skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse von *REMO* und *MM5* untersucht. Sie wurden in entsprechender Weise, wie die in Abbildung 3.1.3.2 gezeigten Ergebnisse, aufbereitet. Da es sich dabei allerdings nur um zwei Klimavarianten handelt, wurde keine statistische Analyse durchgeführt sondern lediglich die Darstellung der Einzelergebnisse gewählt. Abbildung 3.1.3.3 zeigt die Ergebnisse für den Pegel Achleiten (nach dem Zusammenfluss von Inn und Donau) sowie für den Inn-Pegel Ingling bei Passau und den Donau-Pegel Hofkirchen. Beide liegen jeweils flussaufwärts zum Pegel Achleiten und erlauben es, die Entwicklung des HQ_{100} in Inn und Donau getrennt zu untersuchen.

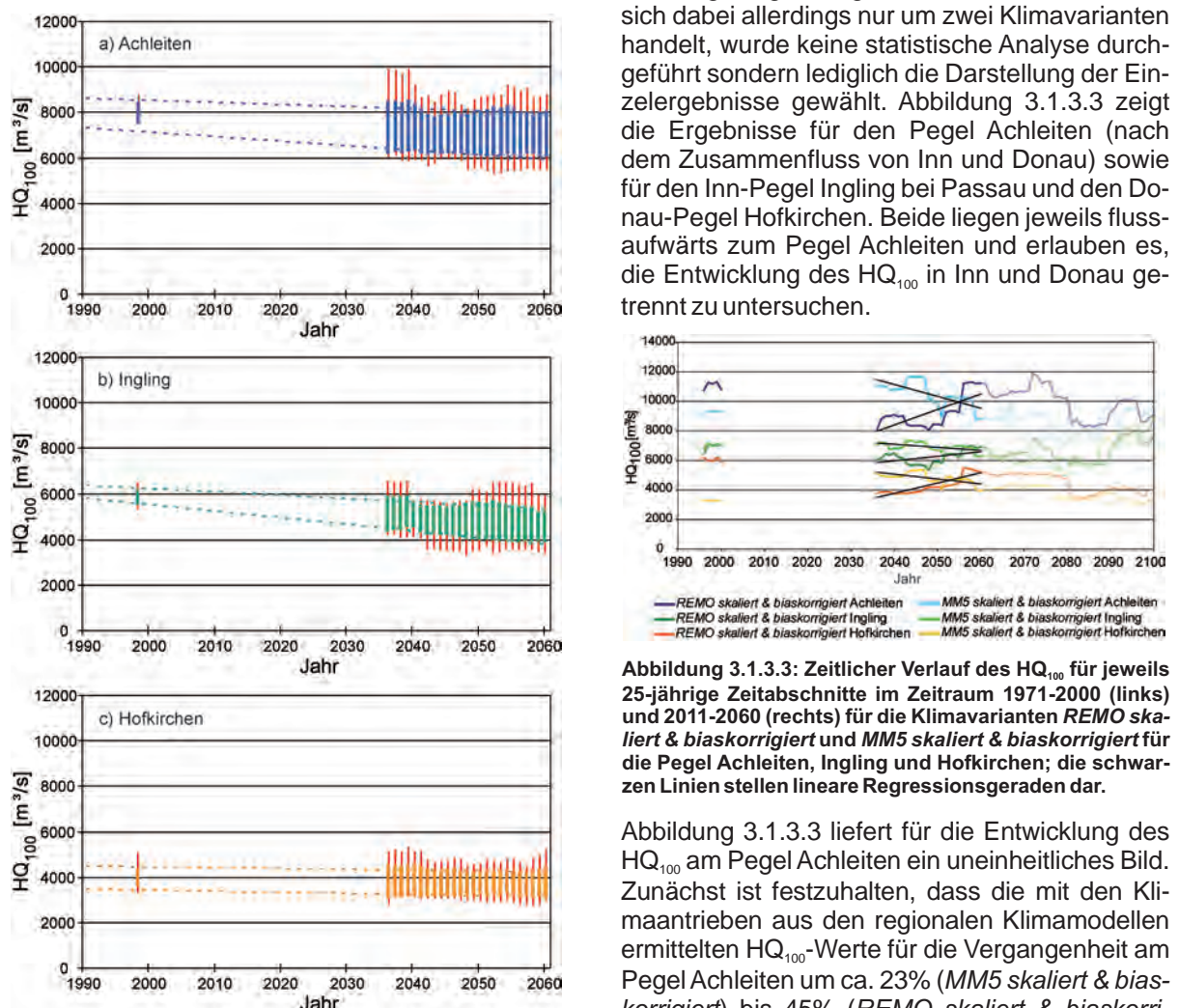


Abbildung 3.1.3.3: Zeitlicher Verlauf des HQ_{100} für jeweils 25-jährige Zeitabschnitte im Zeitraum 1971-2000 (links) und 2011-2060 (rechts) für die Klimavarianten *REMO* skaliert & biaskorrigiert und *MM5* skaliert & biaskorrigiert für die Pegel Achleiten, Ingling und Hofkirchen; die schwarzen Linien stellen lineare Regressionsgeraden dar.

Abbildung 3.1.3.3 liefert für die Entwicklung des HQ_{100} am Pegel Achleiten ein uneinheitliches Bild. Zunächst ist festzuhalten, dass die mit den Klimaantrieben aus den regionalen Klimamodellen ermittelten HQ_{100} -Werte für die Vergangenheit am Pegel Achleiten um ca. 23% (*MM5* skaliert & biaskorrigiert) bis 45% (*REMO* skaliert & biaskorrigiert) höher liegen als die beobachteten (siehe Abbildung 3.1.3.2a, links). Zudem zeigen die beiden Ergebnisse für Achleiten für die Zukunft gegenläufige Trends. Während dort der HQ_{100} im Fall von *REMO* skaliert & biaskorrigiert stark ansteigt, nimmt er im Fall von *MM5* skaliert & biaskorrigiert leicht ab. Betrachtet man den Inn am Pegel Ingling, so stimmen die Werte für die Vergangenheit dort überein. Sie divergieren allerdings für die Zukunft und zeigen keinen eindeutigen Trend. Der zukünftige Trend am Pegel Achleiten entscheidet sich in diesen beiden Modellen im Einzugsgebiet der Donau (ohne Inn), was am Pegel Hofkirchen zu sehen ist. Dort divergieren die Aussagen beider Modelle in gleicher Weise wie in Achleiten. Ab-

Abbildung 3.1.3.2a-c: Entwicklung des HQ_{100} an den Pegeln a) Achleiten, b) Ingling und c) Hofkirchen aus der statistischen Analyse der jährlichen Spitzenabflüsse von vier Klimavarianten der vier GLOWA-Danube Klimatrends. Blauer (a), grüner (b) und oranger (c) Balken: Standardabweichung um den Mittelwert, roter Balken: Maximum bzw. Minimum, gestrichelte Linien: Regressionsgeraden der Unter- bzw. Obergrenzen der Standardabweichung der Jahre 2036-2060, extrapoliert bis 1990.

flusses aus der Zeitreihe 2012-2036 usw. Auf die beschriebene Weise erhält man für 2036-2060 25 Intervalle für die Streuung der Werte des HQ_{100} der verschiedenen Klimavarianten. Das Ergebnis ist für die Pegel Achleiten (nach dem Zusammenfluss von Donau und Inn), Ingling (Inn, direkt

bildung 3.1.3.3 macht deutlich, dass bei den Aussagen zur Entwicklung der Hochwasserabflüsse auf der Basis regionaler Klimamodelle noch gravierende Unsicherheiten bestehen. Sie liegen in dem unterschiedlichen Verhalten der beiden verglichenen regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* in Bezug auf die Modellierung der Extremwerte. Dies ist zunächst erstaunlich, da sie, wie Kapitel S5 gezeigt hat, in den Aussagen zur mittleren Temperatur- und Niederschlagsentwicklung recht gut übereinstimmen.

3. Räumliche Entwicklung des 100-jährlichen Spitzenabflusses

Als nächster Schritt wurde die räumliche Verteilung der Reaktion des HQ_{100} auf die in den verwendeten Klimaszenarien angenommenen Klimaänderungen untersucht. Ziel dieser Untersuchung ist die Identifikation räumlicher Muster in der Entwicklung des HQ_{100} . Hierzu wurde nach dem in DVWK (1999) beschriebenen Verfahren aus den Ergebnissen der Abflusssimulation für jede der 16 statistischen Klimavarianten und jedes Proxel im Einzugsgebiet der HQ_{100} für die drei Zeiträume 1971-2000, 2011-2035 und 2036-2060 bestimmt. Das Verfahren schließt die Berechnung einer Regressionsgeraden für die mit der entsprechenden statistischen Verteilung (log-normal oder Weibull) linearisierten, sortierten, jährlichen Spitzenabflüsse ein. Das dort berechnete Bestimmtheitsmaß R^2 wurde als Maß für die Gültigkeit von Aussagen zum HQ_{100} für das jeweils betrachtete Rasterelement herangezogen. Bei Werten von $R^2 < 0,8$ wurde davon ausgegangen, dass keine signifikante Aussage zum HQ_{100} möglich ist.

Die Karten 1a und 1b zeigen die Verteilung des HQ_{100} aus den simulierten Abflussdaten für die Vergangenheit (1971-2000) sowie die Verteilung des gemittelten HQ_{100} für 16 statistische Klimavarianten (siehe Kapitel S3 und S4) für den Zeitraum 2036-2060 jeweils mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 > 0,8$. Alle Proxel, bei denen das Bestimmtheitsmaß der Regression zur Berechnung des HQ_{100} bei $R^2 < 0,8$ lag, wurden nicht dargestellt. Aus den Karten 1a und 1b geht hervor, dass vor allem für die Hauptgerinne signifikante Aussagen zum HQ_{100} möglich sind. Wie erwartet vergrößert sich der HQ_{100} mit dem Anwachsen der Einzugsgebietsfläche, was klar zu erkennen ist, wenn man dem Flusslauf des Inn bei Austritt aus den Alpen folgt. Die beiden untersuchten Zeiträume zeigen hier deutliche Unterschiede. Der Vergleich der Karten 1a und 1b zeigt, dass am Mittellauf des Inn die Hochwasserspitzen im Mittel über alle Klimavarianten in Zukunft anwachsen werden. Ein Regimewechsel des Inn von einem Gebirgsfluss zu einem Vorgebirgsfluss führt dazu, dass sich, wie in Abbildung 3.1.3.2b gezeigt, die Hochwasserspitzen am Pegel Ingling in den Simulationen recht stark reduzieren.

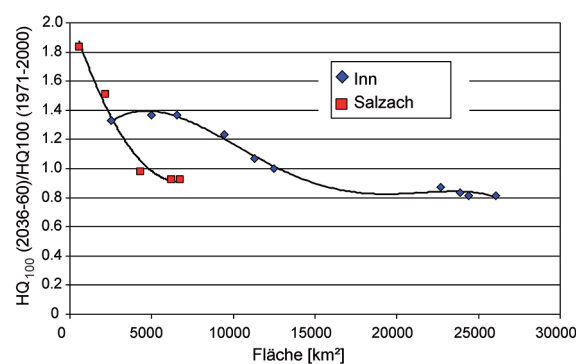


Abbildung 3.1.3.4: Verhältnis des zukünftigen HQ_{100} des Zeitraums von 2036-2060 zum HQ_{100} der Vergangenheit an Inn und Salzach für ausgewählte Punkte entlang des Flusslaufes in Abhängigkeit von der Oberliegerfläche.

Der Regimewechsel und die damit einhergehende unterschiedliche Reaktion des HQ_{100} auf den Klimawandel ist in Abbildung 3.1.3.4 dargestellt. Sie zeigt das Verhältnis von zukünftigem zu vergangenem HQ_{100} für die Perioden 2036-2060 und 1971-2000 für ausgewählte Proxel entlang der Flussläufe Salzach und Inn. Die Betrachtung des Inn beginnt an seinem Oberlauf bei einer Einzugsgebietsfläche von ca. 500 km² und endet am Pegel Ingling bei einer Fläche von 26.000 km². Am Oberlauf des Inn innerhalb der Alpen liegt die zukünftige Zunahme der 100-jährlichen Hochwasserspitzen um den Faktor 1.4 vor. Im Verlauf der Vergrößerung der Oberliegerfläche ändert sich das Verhältnis von einer zukünftigen Zunah-

me der Hochwasserspitzen zu dem Faktor 1.0 beim Zusammenfluss mit der Salzach bei einer Oberliegerfläche von ca. 12.000 km². Bis zur Mündung in die Donau reduziert sich die 100-jährliche Hochwasserspitze dann um den Faktor 0.8. Ähnliches geschieht an der Salzach. Sie zeigt extreme Zunahmen der Hochwasserspitzen um den Faktor 1.8 am Oberlauf bei ca. 200 km² Oberliegerfläche. Dies verändert sich ebenfalls beim Austritt der Salzach aus den Alpen und es ergibt sich beim Zusammenfluss mit dem Inn eine Reduktion um den Faktor 0.9.

Die Donau verhält sich am Pegel Hofkirchen anders als der Inn in Ingling. Dort werden im Mittel die Hochwasserspitzen zwischen den Zeiträumen 1971-2000 und 2035-2060 gleich bleiben. Dies zeigt sich auch in Abbildung 3.1.3.5, die ähnlich wie Abbildung 3.1.3.4, die Veränderung der 100-jährlichen Hochwasserspitzen entlang von Donau, Isar und Naab in Abhängigkeit von der Oberliegerfläche darstellt. Es ergibt sich bei der Donau kaum eine Änderung des HQ_{100} bis zum Zusammenfluss mit dem Inn (siehe Abbildungen 3.1.3.2a und 3.1.3.2c). Im Gegensatz dazu zeigt die von den Alpen beeinflusste Isar, ähnlich wie Inn und Salzach in Abbildung 3.1.3.4, eine deutliche Zunahme der 100-jährlichen Hochwasserspitzen in den Kopfeinzugsgebieten und eine ebenso deutliche Abnahme im Alpenvorland. Die Naab, als Teileinzugsgebiet, das nicht von den Alpen beeinflusst ist, zeigt eine generelle Reduzierung der Hochwasserspitzen unabhängig von der Oberliegerfläche. An der Donau insgesamt gleicht sich die Erhöhung der Hochwasserspitzen am Alpenrand und ihre Reduzierung in den nördlichen Bereichen offensichtlich gegenseitig aus.

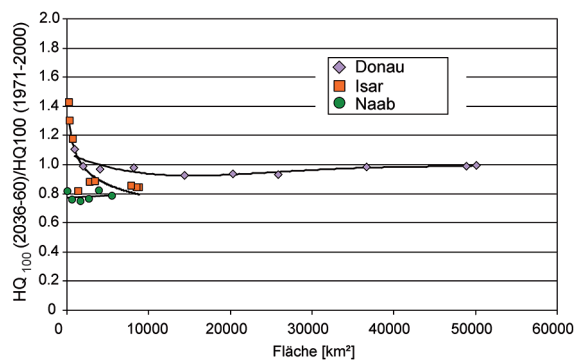


Abbildung 3.1.3.5: Verhältnis des zukünftigen HQ_{100} des Zeitraums von 2036-2060 zum HQ_{100} der Vergangenheit an Donau, Isar und Naab für ausgewählte Punkte entlang des Flusslaufes in Abhängigkeit von der Oberliegerfläche.

Die beschriebenen Entwicklungen in den beiden Teileinzugsgebieten Inn und Donau führen in der Summe am Auslass des Einzugsgebiets nach Vereinigung von Inn und Donau in Achleiten zu einem leichten Rückgang der Hochwasserspitzen in der Zukunft, was auch der Abbildung 3.1.3.2a zu entnehmen ist.

In den Karten 2a und 2b sind die relativen Veränderungen des HQ_{100} zwischen dem Zeitraum 2011-2035 bzw. 2036-2060 und dem historischen Referenzzeitraum 1971-2000 dargestellt. Diejenigen Proxel, deren $R^2 < 0,8$ liegt, sind nicht dargestellt.

Deutlich ist in den Karten 2a und 2b eine Zerteilung des Änderungssignals im untersuchten Einzugsgebiet zu erkennen. Im Alpenvorland, an der Donau und auf der Schwäbischen und Fränkischen Alb wird es demnach als Ergebnis der gemittelten HQ_{100} -Werte aus 16 Klimavarianten zu gleichbleibenden bzw. um bis zu 50% reduzierten Hochwasserspitzen kommen. In den Alpentälern sowie vereinzelt im Bayerischen Wald hingegen werden Erhöhungen der Hochwasserspitzen auf mehr als das Doppelte simuliert. Die Veränderungen der Hochwasserspitzen sind direkt am Alpenrand am geringsten. Während sich der abnehmende Trend im Alpenvorland und auf der Schwäbischen und Fränkischen Alb mit der Zeit beschleunigt (Vergleich der Karten 2a und 2b), kann man in Teilen der Alpentäler einen Rückgang des Trends im Zeitraum zwischen 2036-2060 gegenüber 2011-2035 feststellen.

Die Ursachen für das heterogene Muster in der Entwicklung der 100-jährlichen Hochwasserspitzen sind vielfältig. Bei der Interpretation der Fakten ist zu beachten, dass es nicht zulässig ist, die Werte der 100-jährlichen Spitzenabflüsse einfach zu addieren, da eine Veränderung des Spit-

zenabflusses zu unterschiedlichen Abflusgeschwindigkeiten und damit zu unterschiedlichen Überlagerungen der Hochwasserwellen aus den Teileinzugsgebieten führt. Dies macht eine detaillierte Interpretation schwierig. Im Alpenvorland wird die Schneedecke großflächig reduziert (siehe Kapitel 3.1.5) und kann damit nicht mehr im selben Umfang wie in der Vergangenheit zur Hochwasserentstehung beitragen. Auch sorgt eine erhöhte Verdunstung im Alpenvorland und an der Donau zu insgesamt trockeneren Böden, die mehr Wasser aufnehmen können und damit den Anteil des Direktabflusses im Hochwasserfall verringern (siehe Kapitel 3.1.6). Dies hat zur Folge, dass die Hochwasserspitzen reduziert werden. In der Vergangenheit waren große Hochwässer an der Donau in der Regel (z.B. während des Pflingthochwassers 1999) noch verbunden mit der Speicherung einer größeren Menge Niederschlags in Form von Schnee in den Alpen und in den Randgebirgen. Dies hat zu einer Entschärfung der Hochwassersituation beigetragen. Mit steigenden Temperaturen wird zukünftig aber auch im Hochwasserfall in den Alpen der Anteil des Niederschlags, der als Schnee fällt, zurückgehen. Die einhergehende Erhöhung der Hochwässer ist besonders ausgeprägt, wenn der Regen auf Schnee fällt und diesen Schneespeicher beschleunigt auftaut, so dass er ebenfalls zum Abfluss gelangt. Dann werden, wie in der ersten betrachteten Periode 2011-2035 die Hochwasserspitzen besonders stark erhöht. Wenn in der zweiten Periode 2036-2060 der Schneespeicher in den Alpen allmählich abnimmt, reduzieren sich die Hochwasserspitzen demnach wieder, da sich der Schmelzwasseranteil an der Hochwasserspitze wieder verringert.

4. Zusammenfassung

Insgesamt ergibt sich in den Karten 1a-b und 2a-b ein zunächst etwas überraschendes, aber durchaus nachvollziehbares Bild der Veränderung der 100-jährlichen Hochwasserspitzen im Einzugsgebiet. Das Ergebnis verdeutlicht, dass es in der Regel nicht möglich ist, in einem komplexen Einzugsgebiet wie der Oberen Donau eine pauschale Aussage über die zukünftige Entwicklung zu treffen, die auf der Betrachtung des Auslasspegels basiert.

Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

Kernaussage 1:

Die Ergebnisse der Untersuchungen der auf dem statistischen Klimaantriebs-Generator beruhenden Klimavarianten lassen keine eindeutigen Aussagen über Veränderungen des HQ_{100} am Pegel Achleiten zu. Aufgrund des in Abbildung 3.1.3.2a gezeigten Unsicherheitsbandes der Ergebnisse der 16 simulierten Klimavarianten kann in den nächsten 50 Jahren mit einer Veränderung des HQ_{100} am Ausgang des Einzugsgebiets zwischen +4% und -28% gerechnet werden.

Kernaussage 2:

Die 100-jährlichen Abflüsse, die sich am Pegel Achleiten mit den beiden Klimavarianten *MM5 skaliert & biaskorrigiert* und *REMO skaliert & biaskorrigiert* ergeben, widersprechen den in der Vergangenheit aus Messungen bestimmten Werten und zeigen für die Zukunft entgegengesetzte Trends. Sie eignen sich deshalb nicht für weitergehende Aussagen.

Kernaussage 3:

Die Ergebnisse der Untersuchungen der statistischen Klimavarianten legen den Schluss nahe, dass sich die 100-jährlichen Hochwasser im Alpenraum und in den Regionen Alpenvorland, Donau, Schwäbischen und Fränkischen Alb als Folge des Klimawandels unterschiedlich verhalten werden. Während sich für den Alpenraum eine Zunahme ergibt, werden die 100-jährlichen Hochwasserspitzen in den übrigen Regionen gleich bleiben oder abnehmen.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU (Hrsg.) (2007): *Gewässerkundlicher Bericht Hochwasser August 2005*, Augsburg.
Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) (1999): *DVWK-Merkblatt 251/100, Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen*, Bonn.