

Karte 1a: 50-jährlicher Niedrigwasserabfluss (NM7Q₅₀) in m³/s für den Zeitraum 2011-2035 für die Hauptflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*

Karte 1b: 50-jährlicher Niedrigwasserabfluss (NM7Q₅₀) in m³/s für den Zeitraum 2036-2060 für die Hauptflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*

Karte 2a: Quotient aus zukünftigem 50-jährlichen Niedrigwasserabfluss und vergangenem Niedrigwasserabfluss (2011-2035)/(1971-2000) unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*

Karte 2b: Quotient aus zukünftigem 50-jährlichen Niedrigwasserabfluss und vergangenem Niedrigwasserabfluss (2036-2060)/(1971-2000) unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*



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

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

3.1.2 Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung
Szenarien zur Entwicklung des Niedrigwassers 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

Autoren:
W. Mauser, F. Zabel, T. Marke, A. Reiter
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.1.2 Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung - Szenarien zur Entwicklung des Niedrigwassers an der Oberen Donau

1. Einleitung

Niedrigwasser ist ein wichtiger limitierender Faktor für die Nutzung der Wasserressourcen. Es wird allgemein charakterisiert als ein anhaltender, unterdurchschnittlicher Abfluss an einem Pegel innerhalb eines Flusssystems. Die Ursachen für Niedrigwasser sind vielfältig. Sie reichen von vermindertem Niederschlag oder erhöhter Evapotranspiration bis hin zu verminderter natürlicher Wasserspeicherung in Form von Schnee und Eis im Gebirge. Üblicherweise verursacht nur eine Kombination der beschriebenen Ursachen außergewöhnliche Niedrigwasserbedingungen, die dann zu Einschränkungen z.B. für Wasserkraftwerke, Schifffahrt oder Kühlung im Zusammenhang mit thermischer Energieproduktion führen. Hinzu kommt, dass Niedrigwasser zusammen mit erhöhten Temperaturen die Gewässerqualität der Fließgewässer negativ beeinflussen kann. Bevor im Niedrigwasserbereich geeignete Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel getroffen werden können, ist es deshalb notwendig, den Einfluss des zu erwartenden Klimawandels auf die Niedrigwassersituation zu untersuchen.

Um Aussagen über die zu erwartende Spannweite von klimabedingten Niedrigwasserveränderungen treffen zu können, wurde der Wasserhaushalt der Oberen Donau mit 18 GLOWA-Danube Klimaszenarien für den Zeitraum 2011-2060 am Pegel Achleiten sowie für die gesamte Fläche des Einzugsgebiets der Oberen Donau modelliert und analysiert. Die verwendeten Szenarien sind in Kapitel S1 bis S5 beschrieben und decken alle dort vorgestellten Kombinationen der definierten Klimatrends und Klimavarianten des statistischen Klimaantriebs-Generators sowie die skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* ab. Zusätzlich wurde auch die Niedrigwasserentwicklung eines Null-Szenarios untersucht, in dem davon ausgegangen wird, dass zwischen 2011 und 2060 keine Temperaturerhöhung stattfindet.

2. Die zukünftige Entwicklung des Niedrigwassers am Pegel Achleiten

Die Abflüsse der Oberen Donau wurden für alle Klimavarianten im Zeitraum von 2011-2060 stündlich für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau berechnet und zu täglichen Werten aggregiert und gespeichert. Zunächst wurden die Abflüsse am Gebietsauslass der Oberen Donau (Pegel Achleiten bei Passau) zusammen mit der historischen Referenzperiode von 1971-2000 auf den minimalen jährlichen mittleren 7-Tage-Abfluss (NM7Q) hin analysiert. Der NM7Q wurde als Kenngröße deshalb ausgewählt, weil er zusammen mit dem NM30Q häufig für die weitergehenden Untersuchungen zu den Auswirkungen von Niedrigwassersituationen herangezogen wird. Er liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie das kleinste Tagesmittel, ist jedoch weniger anfällig für Messfehler oder kurzfristige anthropogene Einflüsse, da diese ausgeglichen werden (Schiller, 1978 und Helbling et al., 2006).

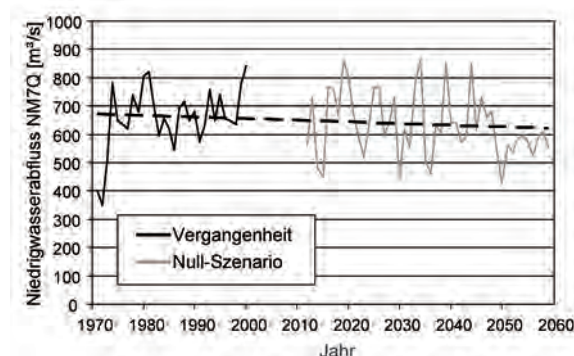


Abbildung 3.1.2.1: Jährlicher gemessener (1971-2000) und simulierter (2011-2060) Niedrigwasserabfluss (NM7Q, min. mittlerer 7-Tage Abfluss) am Pegel Achleiten basierend auf dem Null-Szenario (kein weiterer Temperaturanstieg); gestrichelte Regressionsgerade: 1971-2060; mittlerer Niedrigwasserabfluss 1971-2000: 658 m³/s; mittlerer Niedrigwasserabfluss 1971-2060: 645 m³/s.

Zunächst wurde das Null-Szenario untersucht, um sicher zu stellen, dass keine Modellinstabilitäten vorliegen, die eine zukünftige Veränderung des Niedrigwasserabflusses vortäuschen würden. Hierfür wurde angenommen, dass die Messungen der Vergangenheit und die Simulationen der Zukunft einer Grundgesamtheit angehören. Die Trendanalyse der linearen Regression über den gesamten Zeitraum hat ergeben, dass trotz einer leichten Abnahme der Niedrigwasserab-

flüsse auf dem 99%-Niveau kein signifikanter Trend vorhanden ist.

Die zeitliche Entwicklung des resultierenden NM7Q für das Ensemble der 18 GLOWA-Danube Klimaszenarien, das sich aus der Kombination von vier Klimatrends und vier Klimavarianten aus dem Klimaantriebs-Generator sowie der zwei Klimavarianten der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* zusammensetzt, ist in Abbildung 3.1.2.2 und Abbildung 3.1.2.3 zusammen mit den historischen Niedrigwasserabflüssen dargestellt. Die linke Seite von Abbildung 3.1.2.2a und 3.1.2.2b zeigt den mit gemessenen Abflüssen am Pegel Achleiten bestimmten NM7Q für die historische Zeitserie. Die linke Seite von Abbildung 3.1.2.3 hingegen zeigt die mit *REMO* und *MM5* modellierte Vergangenheit auf der Basis des globalen ECHAM5-Antriebs (Referenz). Die rechte Seite von Abbildung 3.1.2.2a zeigt als Ergebnis der Modellierung die resultierenden Niedrigwasserabflüsse für alle 16 Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator. Hier wird die beachtliche statistische Streuung der Verläufe

ten und für den Klimatrend *Fortschreibung* am ausgeprägtesten. Die durch die verschiedenen Annahmen der verwendeten Klimatrends hervorgerufene Spannweite bewegt sich zwischen einer Reduzierung des Niedrigwasserabflusses um 15 bis 50% des heutigen Wertes bis zum Jahr 2060.

Abbildung 3.1.2.3 zeigt die simulierten Verläufe des jährlichen Niedrigwasserabflusses unter Verwendung der skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5* (siehe Kapitel S1 und S5). Die mittleren simulierten Niedrigwasserabflüsse der Vergangenheit stimmen weitgehend mit dem in Abbildung 3.1.2.1 gezeigten Mittelwert aus den Pegelmessungen überein. Sowohl bei *REMO skaliert & biaskorrigiert* als auch bei *MM5 skaliert & biaskorrigiert* handelt es sich um eine Simulation der vergangenen Klimaverhältnisse, die nur in den statistischen Merkmalen, nicht aber im tatsächlichen Witterungsverlauf mit der Realität übereinstimmen sollten. Trotzdem ist, wie im Fall des Klimaantriebs-Generators, die gute Übereinstimmung der Mittelwerte des gemessenen (658 m³/s)

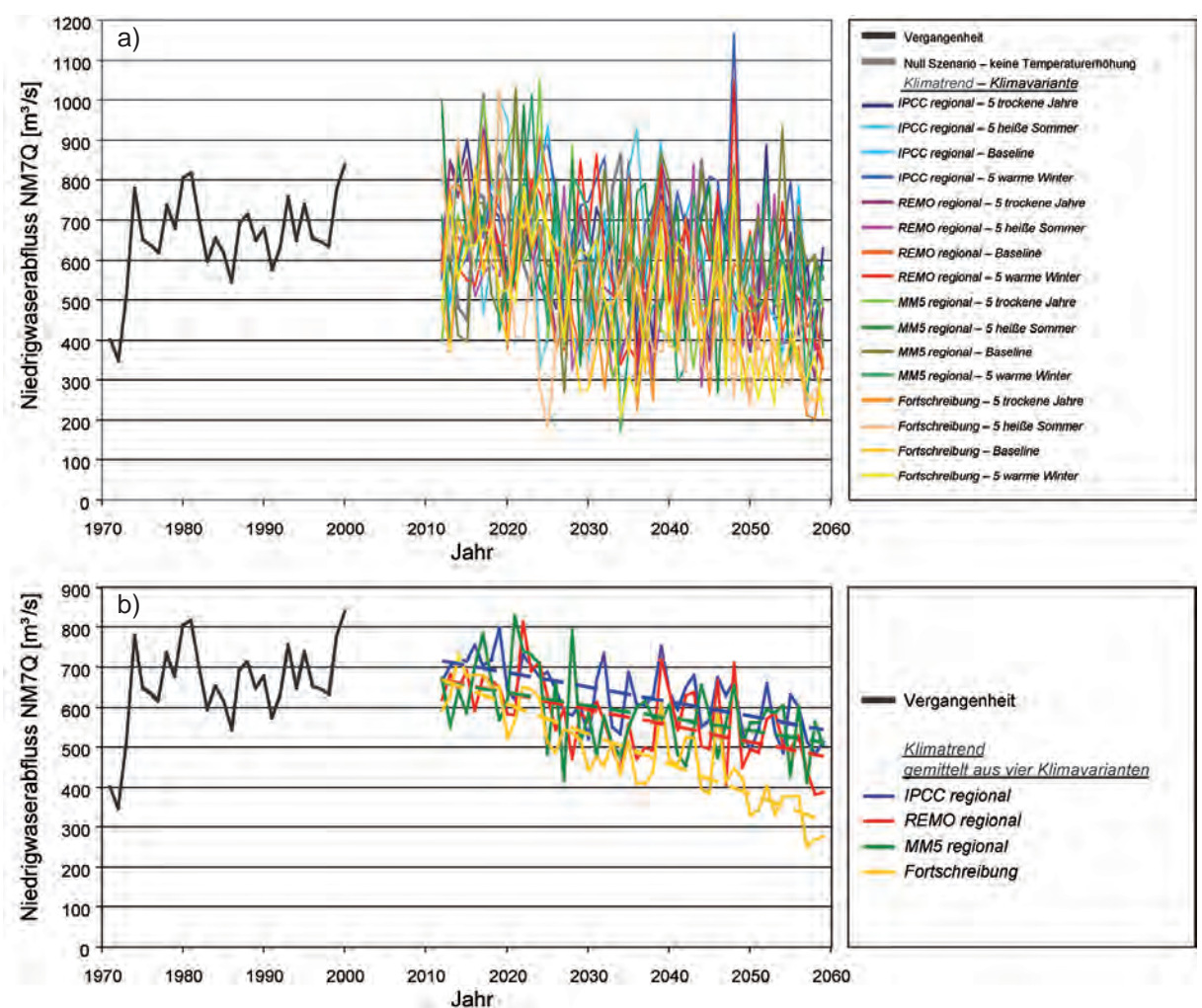


Abbildung 3.1.2.2: Jährlicher Niedrigwasserabfluss (NM7Q: min. mittlerer 7-Tage Abfluss) am Pegel Achleiten für 1971-2000 (gemessen) und für 2011-2060 a) für 16 statistische GLOWA-Danube Klimavarianten b) jeweils für die vier Klimatrends gemittelt über die vier statistischen Klimavarianten; die gestrichelten Linien stellen lineare Trendgeraden dar.

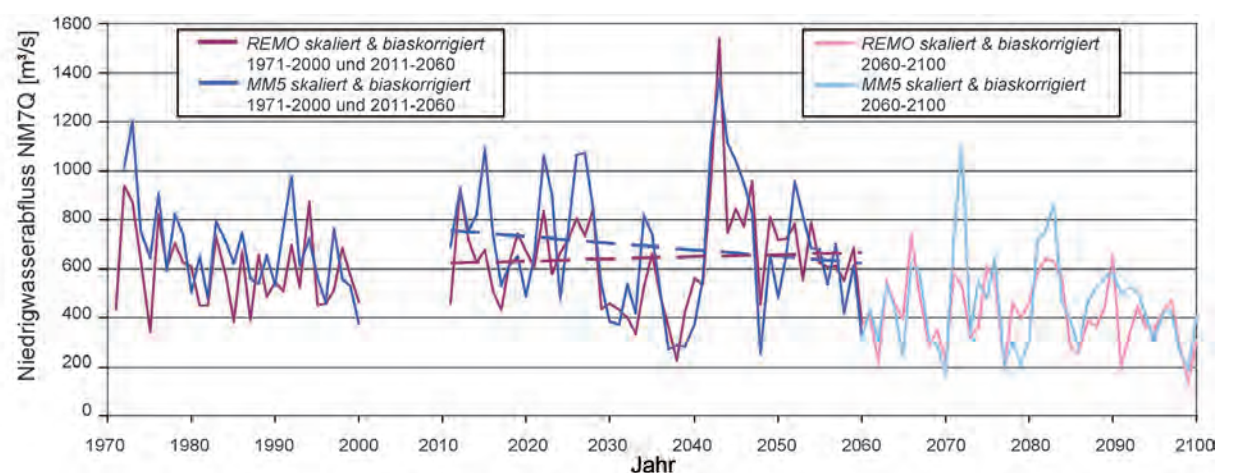


Abbildung 3.1.2.3: Jährlicher Niedrigwasserabfluss (NM7Q: min. mittlerer 7-Tage Abfluss) für 1971-2000 und für 2011-2100 am Pegel Achleiten unter Verwendung der skalierten und biaskorrigierten Daten der regionalen Klimamodelle *REMO* und *MM5*; die gestrichelten Linien stellen lineare Trendgeraden dar; mittlerer Niedrigwasserabfluss 1971-2000: 639 m³/s.

deutlich, die durch den Zufallsanteil des Klimaantriebs-Generators hervorgerufen wird und die natürliche Variabilität abbildet. In Abbildung 3.1.2.2b sind zur besseren Übersichtlichkeit jeweils die Mittelwerte der vier ausgewählten Klimavarianten (5 warme Winter, 5 trockene Jahre...) für jeden der vier Klimatrends dargestellt. Für alle gemittelten Klimavarianten der vier Klimatrends ergibt sich im Vergleich zum Null-Szenario eine deutliche Reduzierung des Niedrigwasserabflusses am Pegel Achleiten im Untersuchungszeitraum. Diese ist für den Klimatrend *IPCC regional* am schwäch-

und des auf Basis der skalierten und biaskorrigierten Klimamodelldaten simulierten NM7Q mit 639 m³/s klar zu sehen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Niedrigwasseranalyse mit dem Klimaantriebs-Generator bleibt der mit den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle simulierte Trend der Niedrigwasserabflüsse im Zeitraum von 2011-2060 weitgehend konstant (siehe Abbildung 3.1.2.3). Dies hat für beide Modelle seine Ursache im gemeinsam gewählten globalen Antrieb durch ECHAM5. Die Niederschläge zeigen darin mit Ausnahme der Dekade von 2030-2039

erst ab 2060 eine signifikante Reduzierung. Um dies zu demonstrieren wurde in Abbildung 3.1.2.3 der Zeitraum zusätzlich um 40 Jahre bis 2100 erweitert. Deutlich ist ein starkes Abfallen des NM7Q ab dem Jahr 2060 zu erkennen. Die Steigung einer gedachten Trendgerade von 2011-2100 ($-4.45 \text{ m}^3/\text{a}$) entspricht in etwa dem Mittelwert der vier Klimavarianten des Klimatrends *REMO regional* ($-4.05 \text{ m}^3/\text{a}$). Diese Übereinstimmung erklärt sich daraus, dass der Klima-antriebs-Generator im Fall des Klimatrends *REMO regional* die langfristigen Niederschlagstrends auf der Basis des Trends von 1990-2100 direkt aus den Ergebnissen von *REMO* ableitet und daraus die Veränderung des Niederschlags bis 2060 rekonstruiert (siehe Kapitel S2).

Neben der Untersuchung der Veränderung des jährlichen Niedrigwasserabflusses sind für praktische Belange Aussagen über die Änderung extremer Niedrigwasserereignisse wichtig. Hierfür wird der jährliche Niedrigwasserabfluss angegeben, der mit einer bestimmten statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit auftritt. Die gewählten Eintrittswahrscheinlichkeiten liegen in der Regel bei 10% (10-jährlich), 2% (50-jährlich) bzw. 1% (100-jährlich). Um die Veränderung extremer Niedrigwasserabflüsse zu untersuchen wurde der 50-jährliche Niedrigwasserabfluss herangezogen. Dieser wurde unter der Annahme, dass die jährlichen Niedrigwasserabflüsse einer log-Normalverteilung gehorchen, aus einer jeweils 25-jährigen Zeitreihe jährlicher Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) bestimmt (DVWK, 1983). Um die zeitliche Entwicklung des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses zu untersuchen, wurde das verwendete Zeitfenster von 25 Jahren Jahr für Jahr über die verfügbaren Zeitreihen der jährlichen Niedrigwasserabflüsse geschoben. Man erhält damit für den historischen Zeitraum von 1971-2000 sechs Werte für den 50-jährlichen Niedrigwasserabfluss, die die Zeitspannen 1971-1995 bis 1976-2000 repräsentieren. Für die Periode 2011-2060 erhält man somit 26 verschiedene 50-jährliche Niedrigwasserabflüsse, die die Zeitspannen 2011-2035 bis 2036-2060 repräsentieren.

Abbildung 3.1.2.4 zeigt das Resultat der Analyse der zeitlichen Entwicklung des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses NM7Q₅₀ für verschiedene Zeitabschnitte in der Vergangenheit und in der Zukunft. Auf der linken Seite von Abbildung 3.1.2.4 ist als blauer Balken die Standardabweichung der NM7Q₅₀ Niedrigwasserabflüsse für die Jahre 1971-2000 um den Mittelwert der sechs 25-Jahres Perioden zu sehen. Die roten Striche unterhalb und oberhalb des blauen Balkens stellen die in der Periode bestimmten Maxima und Minima des NM7Q₅₀ dar. Da die Simulationen der zukünftigen Entwicklung im Jahr 2011 beginnen, sind erst nach 25 Jahren, ab dem hydrologischen Jahr 2037 Werte eingetragen. Der blaue Balken stellt hier die Standardabweichung der NM7Q₅₀ um den Mittelwert aller 16 statistischen Klimavarianten dar.

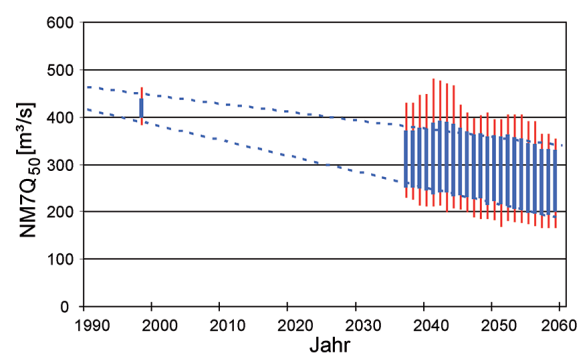


Abbildung 3.1.2.4: Entwicklung des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses (NM7Q₅₀) am Pegel Achleiten; blaue Balken: Standardabweichung um den Mittelwert, rote Balken: Minimum bzw. Maximum, gestrichelte Linien: Regressionsgeraden der Unter- bzw. Obergrenzen der Standardabweichung der Jahre 2036-2060, extrapoliert bis 1990.

Es ist klar zu erkennen, dass die Streuung der Niedrigwasserwerte in der Vergangenheit klein war und in der Zukunft immer größer wird. Dies liegt zum einen daran, dass es von der Vergangenheit nur eine Realisierung (nämlich die Messung) gibt und zum anderen daran, dass die verschiedenen Klimaszenarien sich von Jahr zu Jahr in ihrer Wirkung auf das Niedrigwasser weiter voneinander entfernen und damit die Streuung der mit verschiedenen Klimaszenarien

simulierten 50-jährlichen Niedrigwasserabflüsse in Zukunft ansteigt.

Durch die Ober- und Untergrenzen der Standardabweichungen (blaue Balken) wurden zwei Regressionsgeraden gezogen und extrapoliert. Wie deutlich zu sehen ist, schließt die Extrapolation die aus den Messungen bestimmten Niedrigwasserwerte ein. Während sich die 50-jährlichen Niedrigwasserabflüsse in der Vergangenheit zwischen 450 und 500 m^3/s bewegten, liegen die 50-jährlichen Niedrigwasserabflüsse bis zum Jahr 2060 nur noch zwischen 200 und 350 m^3/s .

3. Die regionale Niedrigwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Die Ergebnisse der Analysen der Abflüsse am Pegel Achleiten in Abbildung 3.1.2.4 zeigen als mittlere Reaktion des Einzugsgebiets eine Reduzierung des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses bis 2060 auf bis zu $\frac{2}{3}$ des heutigen Wertes. Der Pegel Achleiten am Auslass der Oberen Donau integriert verschiedene Entwicklungen in den unterschiedlichen Teileinzugsgebieten der Oberen Donau zu einer mittleren Veränderung des gesamten Einzugsgebiets. Dabei werden regionale Unterschiede und Veränderungen oft herausgemittelt. Aus diesem Grund zielen die weiteren Analysen darauf ab zu klären, wie sich das Niedrigwasser in den unterschiedlichen Regionen der Oberen Donau entwickeln wird. Hierzu wurde die oben beschriebene Methode zur Bestimmung des NM7Q₅₀ um ein Signifikanzkriterium erweitert, auf jedes Modellprozel von $1 \times 1 \text{ km}^2$ angewendet und die resultierende räumliche Verteilung des NM7Q₅₀ sowie seine zeitliche Entwicklung analysiert. Als Signifikanzkriterium dient das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsgeraden der nach Größe geordneten, logarithmierten Niedrigwasserabflüsse mit deren Rang. Bei perfekter log-Normalverteilung der Werte ergibt sich ein R^2 von 1, bei zufälliger Verteilung ergibt sich ein R^2 von 0. Für die weitere Analyse wurden alle Prozel ausgeschlossen, die bei der Berechnung des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses ein $R^2 < 0,8$ aufweisen, was bedeutet, dass weniger als 80% der Varianz der Daten durch die Regressionsgerade erklärt wird. Es zeigte sich, dass durch diese Grenze die kleinen Vorfluter im Einzugsgebiet aus der Analyse fallen und überwiegend größere Flüsse berücksichtigt werden. Mit dem beschriebenen Verfahren wurden für die zwei Zeiträume 2011-2035 und 2036-2060 die Werte des 50-jährlichen Niedrigwasserabflusses für alle signifikanten Prozel im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Klimatrend *REMO regional* und die Klimavariante *Baseline* berechnet. Dieses Klimaszenario wurde exemplarisch dargestellt, da es bei der zukünftigen Veränderung des Niedrigwasserabflusses am Pegel Achleiten eine Mittelstellung einnimmt (siehe Abbildung 3.1.2.2b). Die berechneten Werte für den NM7Q₅₀ sind in den Karten 1a und b für alle Prozel mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 > 0,8$ dargestellt. Deutlich ist das Hauptgewässernetz mit Donau und Inn zu erkennen. Um die durch den Klimawandel hervorgerufenen regionalen Veränderungen des Niedrigwasserabflusses zu ermitteln, wurde in einem nächsten Schritt der Quotient der zukünftigen (2011-2035 und 2036-2060) mit den vergangenen (1971-2000) 50-jährlichen Niedrigwasserwerten gebildet. Ein Quotient > 1 bedeutet eine zukünftige Erhöhung des Niedrigwasserabflusses, ein Quotient < 1 bedeutet eine Reduzierung des Niedrigwasserabflusses. Die Quotienten sind in den Karten 2a und b für den Klimatrend *REMO regional* mit der Klimavariante *Baseline* für die Prozel dargestellt, die bei der Regressionsanalyse ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 > 0,8$ aufweisen.

In den Karten ist sowohl beim Quotienten zwischen den Werten für die Zeiträume 2011-2035 und 1971-2000 (Karte 2a) als auch noch deutlicher beim Quotienten zwischen den Werten für die Zeiträume 2036-2060 und 1971-2000 (siehe Karte 2b) eine Zweiteilung der Reaktion des Niedrigwasserabflusses auf den Klimawandel im untersuchten Einzugsgebiet zu erkennen. Während in der ersten Periode von 2011-2035 der Niedrigwasserabfluss im Alpenvorland und nördlich der Donau leicht zurückgeht, steigt er im Alpenraum leicht an. Noch deutlicher ist diese Tendenz im Zeitraum 2036-2060 zu erkennen. Hier wird der

Niedrigwasserabfluss im Alpenvorland und nördlich der Donau zum Teil bis auf 30% des Mittelwertes aus der Vergangenheit sinken, wohingegen sich der Niedrigwasserabfluss in den Alpen in vielen Flussabschnitten sogar verdoppelt. Eine Ausnahme vom generellen Trend stellt der Lech im Alpenvorland dar, dessen Niedrigwasserabfluss sich in Zukunft erhöhen wird. Diese Grundaussage zeigt sich in allen untersuchten Klimaszenarien, allerdings mit jeweils stärkeren oder schwächeren Tendenzen. Das gezeigte Szenario bestätigt dabei seine Mittelstellung.

Die Ursache für die Zweiteilung ist in einem komplexen Zusammenspiel von erhöhtem Regenanteil im winterlichen Niederschlag und verstärkter Evapotranspiration bei reduziertem Niederschlag in den Sommermonaten begründet. In den Alpen, wo durch die niedrigen Temperaturen der Niedrigwasserabfluss heute im Winter auftritt, werden der erhöhte Regenanteil und Schneeschmelzen im Winter den Niedrigwasserabfluss zukünftig erhöhen. Im Alpenvorland und nördlich der Donau hingegen werden die sinkenden Niederschlagsmengen (siehe Kapitel S2) und die steigende Verdunstung im Sommer die Niedrigwasserabflüsse stark verringern.

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Niedrigwasser-Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Kernaussage 1:

Die Niedrigwassersituation am Pegel Achleiten wird sich zukünftig durch den Klimawandel deutlich verschärfen. Aufgrund der Ensemble-Analysen mit dem statistischen Klima-antriebs-Generator ist bis zum Jahr 2060 mit einer Reduzierung des Niedrigwasserabflusses NM7Q in Achleiten je nach gewähltem Klimaszenario von 15% bis 50% zu rechnen.

Kernaussage 2:

Die Auswertung der skalierten und biaskorrigierten Ergebnisse der regionalen Klimamodelle *MM5* und *REMO* liefert ähnliche Aussagen, wie die statistischen Klimavarianten erst jenseits von 2060. Dies liegt daran, dass der benutzte ECHAM5-Antrieb der Klimamodelle erst ab 2060 deutliche Änderungen im Niederschlag zulässt. Das bis 2060 erzielte Ergebnis sollte deshalb nicht zu dem Schluss führen, dass die Niedrigwasserabflüsse bis 2060 konstant blieben und sich erst danach ändern würden. Aufgrund der nicht vorhandenen statistischen Basis können mit den regionalen Klimamodellen z.Zt. noch keine abschließenden Aussagen zur Entwicklung des Niedrigwasserabflusses bis 2060 getroffen werden.

Kernaussage 3:

Regional ergibt sich für die zukünftige Entwicklung des Niedrigwasserabflusses aufgrund des Klimawandels eine Zweiteilung, wobei sich die Niedrigwasserabflüsse in den Alpen bis 2060 im Mittel etwa verdoppeln werden, während die Simulationen zeigen, dass es im Alpenvorland und nördlich der Donau zu starken Reduzierungen der Niedrigwasserabflüsse auf bis zu 30% der heutigen Werte kommen kann.

Literatur

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) (1983): Regeln zur Wasserwirtschaft. Niedrigwasseranalyse - Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. Heft 120, Hamburg.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) (1992): Regeln zur Wasserwirtschaft. Niedrigwasseranalyse - Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflussdefizits. Heft 121, Hamburg.

Helbling, A., Kan, C. & Marti, P. (2006): Niedrigwasser - kleinste Mehrtagesmittel des Abflusses. Hydrologischer Atlas der Schweiz.

Schiller, H. (1978): Die Trockenperiode 1976 – Eine hydrologische Monographie und eine Niedrigwasseranalyse. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft, Heft 12, München.