

# Jahrbuch 2022

## Verein zum Schutz der Bergwelt



87. Jahrgang

30 Jahre



# Auen- und Vegetationsdynamik am Unterlauf des Rißbachs/Karwendel seit der Ausleitung 1949

von Carmen Rettschulte und Michael Reich

**Keywords:** *alpine Fließgewässer, Ausleitungsstrecke, Hochwasser, Auenvegetation, Feinsediment, Hydromorphologie, Rißbach/Karwendel*

Der Rißbach zählt wie die Obere Isar zu den letzten naturnahen Wildflüssen der bayerischen Alpen, deren Auen nicht durch Längsverbauung eingeschränkt sind. Er ist jedoch wie die Isar durch Ableitung zur Energiegewinnung seit 1949 in seinem natürlichen Abflussverhalten beeinträchtigt. Er entspringt in Österreich (Tirol), mündet nach ca. 30 km bei Vorderriß in die Isar und bildet im Unterlauf auf etwa 3 km Lauflänge ein breites Schotterbett aus, das durch ständige Umlagerung geprägt ist. Durch die Ableitung liegt das Flussbett unterhalb des Wehrs an vielen Tagen im Jahr trocken. Einen ökologischen Mindestabfluss (Restwassermenge) wie an der Isar gibt es hier nicht. Im Rahmen dieser Studie soll geklärt werden inwieweit am Rißbach auch heute noch eine naturnahe Auen- und Vegetationsdynamik herrscht und welche Rolle bettbildende Hochwasserereignisse dabei spielen. Dazu wurden Luftbildzeitreihen von 1950 bis 2018 analysiert und durch eigene Felderhebungen und Auswertung von Abflussdaten ergänzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aue bis heute eine funktionierende Morphodynamik aufweist, obwohl das Flussbett durch die Ausleitung an vielen Tagen im Jahr keinen oberflächlichen Abfluss zeigt. Grund dafür sind die, im Vergleich zur Isar, wesentlich häufigeren Staurationsspülungen, die durch die geringe Dimensionierung des Staurationss am Rißbachwehr bedingt werden. Sukzession findet in der Aue nur punktuell statt und durch die dauernde Flussbettumlagerung wird der Bestand der Sukzessionsreihe von den Pionierfluren bis zum lückigen und dichten Weidengebüsch seit 1950 auf ähnlichem Niveau gehalten. Auch die Substratzusammensetzung und die geringen Ablagerungen von schluffigen Feinsedimenten ist typisch für einen alpinen Wildfluss. Die Einführung eines Mindestabflusses würde die Lebensbedingungen für die aquatischen Lebensgemeinschaften auf diesen drei Flusskilometern verbessern. Für die Auen- und Vegetationsdynamik ist er nach unseren Ergebnissen nicht erforderlich. Ob sich dadurch auch ungünstige Sukzessionsentwicklungen wie an der Isar einstellen könnten, lässt sich auf dieser Datengrundlage nicht beantworten. Dazu bedarf es weiterer Untersuchungen, die vor allem die Geländehöhen und die Grundwasserstände betrachten sollten.

# I. Einleitung



**Abb. 1:** Das breite Schotterbett des Rißbachs/Karwendel liegt an den überwiegenden Tagen im Jahr aufgrund der Komplettableitung trocken. (Foto: Rethschulte 2022).

Naturnahe alpine Flusslandschaften gehören zu den naturschutzfachlich bedeutendsten Ökosystemen (MÜLLER 1995; REICH et al. 2008; MUHAR et al. 2019). Vor allem großflächige Umlagerungsstrecken sind durch eine starke Morpho- und Vegetationsdynamik gekennzeichnet. Durch Hochwasserereignisse entstehen mosaikartige Habitatstrukturen, die vielfältige Lebensbedingungen bieten und somit die besten Voraussetzungen zur Entwicklung einer großen biologischen Diversität sind (TÖCKNER & TONIUTTI 2006; EGGER et al. 2019). Aufgrund ihrer hohen Dynamik sind sie Lebensraum für eine Vielzahl hochspezialisierter Tier- und Pflanzenarten, die perfekt an den dynamischen Lebensraum angepasst sind (REICH et al. 2008; HÖFLER et al. 2020; WOELLNER et al. 2019; SCHÖDL 2007; LEMKE et al. 2010). Ein Großteil dieser Arten sind aufgrund der Seltenheit naturnaher Fließgewässer stark gefährdet; Schutz und Förderung dieser Wildflusslandschaften daher unerlässlich (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT & BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2001; MÜLLER 1991).

Der Unterlauf des Rißbach/Karwendel entspricht in seinen Merkmalen einer alpinen Umlagerungsstecke und weist keine Längsbauwerke oder Uferbefestigungen auf. Er zählt wie die Obere Isar und der Tiroler Lech zu den letzten naturnahen Wildflüssen der Nordalpen, obwohl er auf bayerischer Seite an den überwiegenden Tagen im Jahr keinen Oberflächenabfluss aufweist. Seit

1949 wird er zur Energiegewinnung über den Rißbachstollen mit bis zu  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  vollständig dem Walchensee zugeführt. Wie auch am Krüner Wehr der Oberen Isar, wird hier die Ableitung zum Walchensee bei Hochwasser geschlossen und Wasser und Geschiebe in vollem Umfang bis zur Isar weiter transportiert (Abb. 2) (EBER et al. 1997; REICH et al. 2008). Abflüsse von über  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  wurden seit 1950 durchschnittlich an etwa 90 Tagen im Jahr erreicht, die restlichen Tage im Jahr liegt das Flussbett trocken (Abb. 1). Durch die Komplettableitung sind in den letzten 70 Jahren aquatische Lebensräume verloren gegangen. Durch die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird die Forderung nach einem ständigen Oberflächenabfluss im Rißbach seit Jahren immer stärker (VEREIN ZUM SCHUTZ DER BERGWELT 2021).



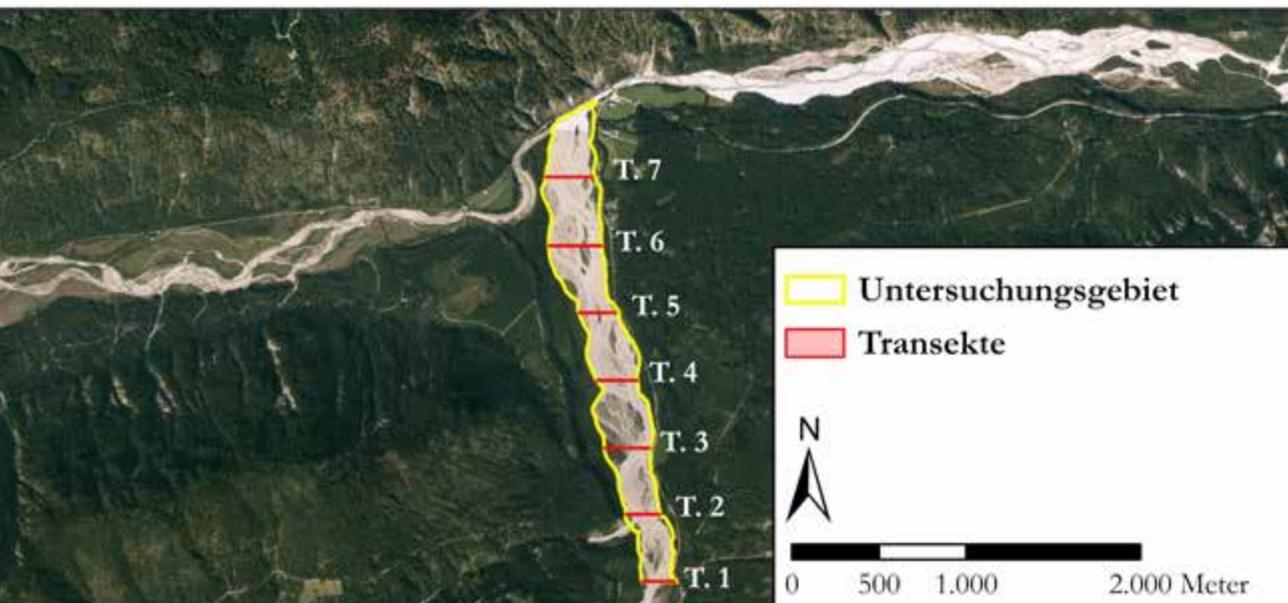
**Abb. 2:** Der Rißbach zeigt bei Hochwasser das typische Erscheinungsbild einer alpinen Umlagerungsstrecke mit verzweigtem Flusslauf. Zum Zeitpunkt der Aufnahme am 25.07.2010 lag die gemessene Abflussmenge am Pegel Rißbachklamm bei  $39,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Foto: Reich 2010).

Die Einführung einer Teiltrückleitung (Restwassermenge) an der benachbarten Isar im Jahr 1990 hat dort einen Sukzessionsprozess in Gang gesetzt, der die Ausbreitung von dichtem Weidengebüsch und damit die Abnahme wichtiger offener Auenlebensräume, wie z. B. den nach FFH-Richtlinie geschützten Lebensraumtypen 3220 und 3230 zur Folge hatte (REICH et al. 2008; REICH & RETHSCHULTE 2021; BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016). Allerdings sind dort am Krüner Wehr die Stauraumpülungen deutlich seltener als am Rißbach und auch der Geschiebetransport ist dort stark eingeschränkt.

Die Auen- und Vegetationsdynamik des Rißbach-Unterlaufs auf bayerischer Seite ist bislang kaum untersucht. Im Gegensatz zu der Ausleitungsstrecke der Oberen Isar weist er weiterhin das Erscheinungsbild einer typischen Umlagerungsstrecke auf, obwohl der dauerhafte Oberflächenabfluss fehlt. Diese Arbeit soll einen Beitrag zum Schließen dieser Lücke liefern und klären, wie sich die Auenvegetation seit 1949 entwickelt hat, welche Rolle dabei ausgewählte Hochwasserereignisse spielen und wie die Verteilung und Bedeutung der Feinsedimente in der Aue aussieht.

## 2. Untersuchungsgebiet

Der Rißbach entspringt im österreichischen Karwendelgebirge und mündet nach ca. 30 km bei Vorderriß in die Isar. Die mittlere Abflussmenge liegt bei  $9,03 \text{ m}^3/\text{s}$  am Pegel Rißbachklamm (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2022). Der bayerische Teil liegt im FFH- und SPA-Gebiet 8433-301 und 8433-401 „Karwendel mit Isar“ und ist somit Teil des Natura-2000-Netzes. Das Untersuchungsgebiet (UG) umfasst die letzten ca. 3 Flusskilometer der Ausleitungsstrecke des Rißbachs auf bayerischer Seite vor der Mündung in die Obere Isar (Abb. 3). Die Aue weist in diesem Abschnitt eine Breite von 180 bis 340 m auf und ist durch Kies- und Schotterbänke geprägt. Der Höhenunterschied der Gewässersohle liegt im Längsverlauf bei ca. 30 m (von 810 m ü. NN bis 780 m ü. NN, Stand 2021). Somit beträgt das Flussgefälle etwa 1 % und ist damit deutlich höher als z. B. an der benachbarten Oberen Isar.



**Abb. 3:** Das Untersuchungsgebiet Rißbachaue und Lage der 7 erfassten Transekte. (Geobasisdaten: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG 2018).

### 3. Datengrundlagen und Erhebungsmethoden

Die Veränderung der Vegetationsverhältnisse wurde durch die Interpretation von Luftbildzeitreihen analysiert. Die Methodik wurde aus den Gutachten von REICH et al. (2008) und REICH & RETHSCHULTE (2021) übernommen. Dadurch wurden in der Aue insgesamt 11 Struktur- oder Vegetationseinheiten unterschieden (Tab. 1).

Tab. 1: Kartierschlüssel zur Abgrenzung der Struktur- und Vegetationseinheiten.

Vegetations-einheit	Kurzbeschreibung
<b>Wasserflächen</b>	zum Aufnahmezeitpunkt wasserführenden Flächen (Flussrinnen, Stillgewässer, Grundwasseraustritte)
<b>Vegetationsfreie Flächen</b>	völlig vegetationsfreie Schotter-, Kies-, Sand- und Schluffflächen, einschließlich trockenliegender Flussrinnen; auch Flächen mit sehr geringen Anteilen an Pioniervegetation (Deckungsgrad < 5 %), die auf der Aufnahme nicht erkennbar sind, wurden dieser Einheit zugeordnet.
<b>Pionierfluren</b>	gehölzfreie Flächen, Schwemmlingsfluren mit sehr hohem Rohbodenanteil (Kies und Schotter), Deckungsgrade der Vegetation von 5 bis 30 %. Gehölze (z.B. Weiden) kommen nur sehr niedrigwüchsig und vereinzelt vor.
<b>Lückiges Weiden-gebüsch mit geringer Krautschichtdeckung</b>	die Strauchschicht wird durch <i>Salix purpurea</i> und/oder <i>Salix eleagnos</i> dominiert; deren Deckung erreicht max. 50 %; in der Krautschicht treten Pionierarten oder Arten der Magerrasen auf, der Gesamtdeckungsgrad der Vegetation liegt nicht über 70 %, häufig aber deutlich darunter.
<b>Lückiges Weiden-gebüsch mit hoher Krautschichtdeckung</b>	die Strauchschicht entspricht in ihrer Artenzusammensetzung und Deckung der Einheit „Lückiges Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung“. Durch einen hohen Feinkornanteil (Feinsediment) in der obersten Bodenschicht erreicht die Krautschicht hier jedoch Deckungsgrade von 70 bis 100 %.
<b>Dichtes Weidengebüsch</b>	die Strauchschicht besteht überwiegend aus Weidenarten ( <i>Salix purpurea</i> , <i>Salix eleagnos</i> , <i>Salix myrsinifolia</i> ) und ist großflächig geschlossen (Deckung 80 bis 100 %) und nur durch schmale gehölzfreie Bereiche gegliedert.
<b>Magerrasen</b>	nahezu flächendeckend grasig-krautige, geschlossene und kurzrasige Vegetation, die unter Beweidungseinfluss auf Flächen mit lückigem Weidengebüsch mit hoher Krautschichtdeckung oder im Schneeheide-Kiefernwald und dessen Übergangsstadien entsteht.
<b>Schneeheide-Kiefernwald, Bergkiefernwald und Übergangsstadien</b>	Lückiger, bis geschlossener Wald (z.B. <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus mugo</i> , <i>Pinus uncinata</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Alnus incana</i> , <i>Berberis vulgaris</i> ) mit geschlossener Krautschichtdeckung, der sich auf höher gelegenen, älteren Kiesbänken entwickelt. Die Krautschicht wird durch Rasengesellschaften magerer Ausprägung dominiert, in Senken sind vereinzelt kleinflächige Kalkflachmoorgesellschaften zu finden.
<b>Waldweide</b>	lückiger Wald mit dazwischenliegendem Grünland und großen Nadel- und Laubbäumen, in dieser Einheit fehlt die Strauchschicht.
<b>Sonstiges</b>	Stark anthropogen geprägte Flächen (z.B. Intensivweiden, Wege, Gebäude, Holzlagerplätze) oder Prallhänge.

Die Abgrenzung der jeweiligen Untersuchungsfläche erfolgte einzeln pro Luftbildjahrgang, dabei wurden alle Flächen, die zur Aue des jeweiligen Aufnahmezeitpunkts gehörten, einbezogen. Die nördliche Grenze markiert bei allen Aufnahmen den Mündungsbereich des Reißbachs in die Isar, die südliche Grenze die Stelle, an der sich die Breite der Aue abrupt verschmälert. Die Auenfläche nahm durch Seitenerosion von 54,25 ha (1950) auf 64,08 ha für das Jahr 2018 zu (Abb. 3).

Zur Verfügung standen 13 Luftbildbefliegungen aus dem Zeitraum 1950–2018 (Tab. 2). Das Ausgangsjahr 1950 zeigt dabei den Zustand bei Inbetriebnahme der Rißbach-Ableitung. Erst ab 2003 lagen digitale Farb-Orthofotos vor, alle vorherigen Jahrgänge waren nicht georeferenzierte Schwarz-Weiß-Luftbildscans, die zunächst zugeschnitten und georeferenziert werden mussten. Die Digitalisierung und Abgrenzung der Vegetationseinheiten erfolgte für alle Luftbildjahrgänge mit ArcGIS im Maßstab 1:1250.

**Tab. 2:** Übersicht der verwendeten Luftbilder (a = WWA Weilheim; b = Landesamt für Vermessung und Geoinformation bzw. Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung; c = Bayerisches Landesvermessungsamt, München; d = Bayerisches Landesamt für Umwelt).

Jahr	Befliegungsdatum	Bildtyp	Maßstab / Auflösung	Quelle
1950	14.10.1950	SW-Luftbild	1 : 8.000	a
1965	05.09.1965	SW-Luftbild	1 : 5.000	a
1973	29.09.1973	SW-Luftbild	1 : 10.000	c
1988	28.09.1988	SW-Luftbild	1 : 15.000	c
1991	25.09.1991	SW-Luftbild	1 : 23.000	c
1994	24.09.1994	SW-Luftbild	1 : 15.000	b
1999	15.09.1999	SW-Luftbild	1 : 15.000	b, c
2003	04.09.2003	Farb-Orthofoto	317.5 dpi, Bodenauflösung 0,4 m	c
2006	02.07.2006	Farb-Orthofoto	317.5 dpi, Bodenauflösung 0,4 m	a, b
2009	25.04. bis 09.09.2009	Farb-Orthofoto	Bodenauflösung 0,4 m	b, d
2012	11.05. bis 20.08.2012	Farb-Orthofoto	Bodenauflösung 0,4 m	b, d
2015	01.07.2015	Farb-Orthofoto	317.5 dpi, Bodenauflösung 0,2 m	c
2018	11.09.2018	Farb-Orthofoto	317.5 dpi, Bodenauflösung 0,4 m	c, d

Der Einfluss von extremen Hochwasserereignissen auf die Aue wurde ebenfalls über eine Luftbildinterpretation untersucht. Historisch bedeutsame Abflüsse wiesen die Hochwasser vom 22.05.1999 und 23.08.2005 mit jeweils Spitzenabflüssen von 208 m<sup>3</sup>/s am Pegel Rißbachklamm auf, sie überschritten beide Abflüsse und Wasserstände hundertjähriger Ereignisse (HQ100) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2022). Für diese beiden Ereignisse wurden die Auswirkung auf Auenstruktur und -vegetation detaillierter analysiert. Dazu wurden die Luftbilder vor und nach dem jeweiligen Hochwasserereignis miteinander verglichen.

Um die Auswirkungen auf die Vegetationseinheiten zu bewerten, wurde eine vierstufige Skala genutzt. Als „geringe Hochwasserauswirkung“ wurden Veränderungen bewertet, bei denen die Vegetationseinheit um eine Sukzessionsstufe (eine Einheit) zurückgesetzt wurde, z. B. wenn eine Pionierflur in eine vegetationsfreie Fläche umgewandelt, oder lückiges Weidengebüsch mit hoher Krautschichtdeckung in lückiges Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung aufgelichtet wurde. „Mittlere Auswirkungen“ bedeuten Veränderungen um zwei frühere Sukzessionsstufen, z. B. wenn sich lückiges Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung in eine vegetationsfreie Fläche gewandelt hat. „Starke Auswirkungen“ sind Veränderungen um drei Sukzessionsstufen und „sehr starke Auswirkungen“, wenn dichtes Weidengebüsch oder die Waldstadien in Pionierflur oder vegetationsfreie Flächen umgewandelt wurden (vier Stufen). Auch die Erweiterung der Auenfläche durch Seitenerosion wurde als „sehr starke Hochwasserauswirkung“ bewertet.

Die Verbindung zwischen Vegetationseinheiten mit den anstehenden Substraten, insbesondere den Feinsedimenten, wurden im Rahmen einer Felderhebung untersucht. Hierbei wurde das oberflächlich aufliegende Substrat und die Vegetationseinheiten in sieben Transekten (alle 400 m) durch die Aue aufgenommen (Abb. 3). Die Unterteilung der Kornfraktionen wurde nach DIN 18196 & DIN 4022 vorgenommen.

Feinsedimentablagerungen mit schluffigen Anteilen ( $< 0,063$  mm) waren im Rahmen der Untersuchung von besonderem Interesse, da die Fähigkeit von Wasser- und Nährstoffhaltevermögen in diesen Fraktionen besonders hoch ist und sie so zu sukzessiven Vegetationsveränderungen maßgeblich beitragen können. Die Substratzusammensetzung wurde bei der Auswertung deshalb vier Klassen zugeordnet, die sich an den Schluffablagerungen orientieren und von „keine Schluffablagerung“ über „geringe Schluffablagerung (10–50 %)“, „deutliche Schluffablagerungen (60–90 %)“ bis „geschlossene Schluffablagerungen ( $> 90$  %)“ reichen.

Die Kartierung erfolgte im Juni/September 2020 und ein zweites Mal im September 2021. Der zweite Kartierdurchgang wurde durchgeführt, um die Auswirkungen des Hochwassers vom 18.07.2021 mit einem max. Abfluss von  $103 \text{ m}^2/\text{s}$  (Tagesmittelwert  $68,2 \text{ m}^2/\text{s}$ ) näher zu betrachten.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Veränderungen der Vegetationsverhältnisse von 1950 bis 2018

Die Reißbachaue ist seit 1950 durchgehend bis zum jetzigen Zeitpunkt durch einen breiten Streifen vegetationsfreier Flächen gekennzeichnet. Besonders im nördlichen Teil werden heute im Auenquerschnitt bis zu 340 m breite, vegetationsfreie Flächen erreicht. Nur vereinzelt liegen Inseln mit Pionierfluren oder gebüschgeprägten Stadien in der sonst nahezu vegetationsfreien Aue. Gehölzdominierte Einheiten, wie z. B. Schneeheide-Kiefernwald, liegen allesamt an den Auenrändern (Abb. 5, Abb. 6).

Die Auenfläche war 1950 mit 54,3 ha deutlich kleiner als 2018 mit 64,1 ha (Abb. 4). Der Anteil gehölzgeprägter Einheiten lag dabei zwischen 32,6 % (1950) und 14,8 % (2018) der Auenfläche, während gehölzfreie Flächen („Wasserflächen“, „vegetationsfreie Flächen“, „Pionierfluren“) mit einer Ausdehnung von 36,1 ha (1950) bis 54,6 ha (2018) in allen Jahren in der Aue dominierten.

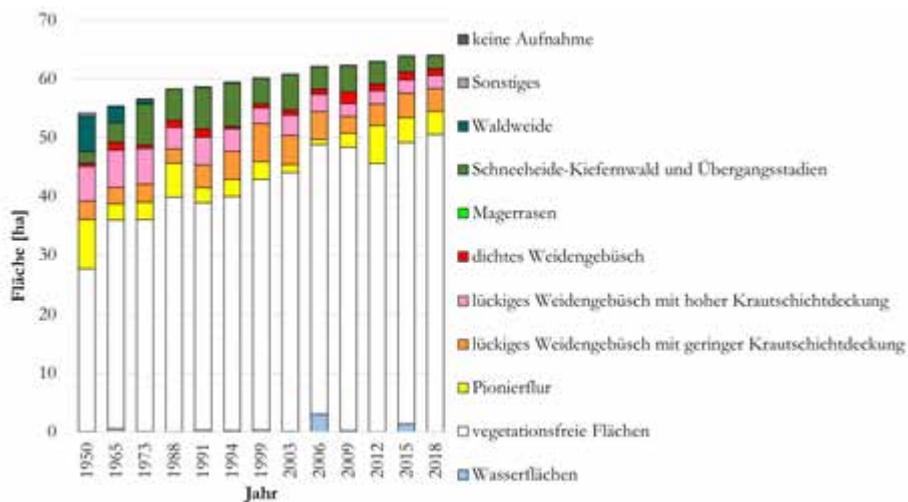
Infolge diverser Hochwasserereignisse erweiterte sich die Flächengröße der Aue stetig bis heute. Vor allem die Extremhochwasser 1999 und 2005 haben dabei deutliche Veränderung in der Auenvegetation bewirkt (Abb. 7). Durch sie wurden Anteile von allen Vegetationseinheiten durch Erosion und Überschotterung in frühere Sukzessionsstadien zurückgeführt (Abb. 8, Abb. 9). Häufig handelte es sich um schmale Streifen entlang der dichteren und höherliegenden Gehölzbestände (wie Schneeheide-Kiefernwald oder lückiges Weidengebüsch mit hoher Krautschichtdeckung), die durch Seitenerosion abgetragen oder überschottert wurden (Abb. 7).

1999 wurden insgesamt 55,5 % (10,8 ha) von den 19,4 ha vegetationsgeprägten Flächen in der Aue durch das Hochwasser beeinflusst (Abb. 8) und die Auenfläche hat sich um 0,8 ha vergrößert (durch den Abtrag der Prallhänge an beiden Uferbereichen). Im Jahr 2005 beeinflusste das Hochwasser 7,9 ha (47,3 %) der vorkommenden 16,8 ha Auenvegetation und die Auenfläche hat sich um weitere 1,2 ha erweitert. Dort, wo das Hochwasser 1999 Einfluss auf die Auenvegetation genommen hat, wurde diese zu 47 % um drei oder vier Sukzessionsstufen überprägt, es wirkte also bei 5,4 ha ein starker bis sehr starker Hochwassereinfluss auf die Fläche. 2005 waren es 51 % (4,7 ha) mit starkem, bis sehr starkem Einfluss. Beim Hochwasserereignis 1999 lag der Flächenzugewinn der gehölzfreien Flächen bei 8,3 ha. Auch 2005 sind 6,6 ha vegetationsfreie oder -arme Flächen neu entstanden (Abb. 9).

Auffällig ist die Zunahme des lückigen Weidengebüschs mit geringer Krautschichtdeckung in Folge des Hochwassers 1999 (Abb. 9). Hier stieg die Fläche von 4,8 ha (1994) auf 6,5 ha (1999) an (Abb. 4). Das Hochwasser hat im südlichen Auenbereich Teile von großflächigen Schneeheide-Kiefernwaldbeständen überschottert und auch teilweise abgetragen (Abb. 7). Dadurch entstanden auf dem Luftbild „lückige Weidengebüsche“, die sich in ihrem Artenspektrum aber sicher von den typischen lückigen Weidengebüschen unterscheiden haben und deshalb bereits 2003 wieder eine Ausprägung in Richtung von Schneeheide-Kiefernwäldern zeigten (Abb. 5).

Das dichte Weidengebüsch spielte über den gesamten Analysezeitraum eine sehr geringe Rolle. 1950 lag die Ausdehnung bei 0,5 ha (1 %) der Auenfläche und auch 2018 waren es nur 1,1 ha (1,7 %). Mehr als 1,9 ha (3,1 %) im Jahr 2009 wurden nie erreicht. Beim Hochwasser 1999 wurde 0,2 ha dichtes Weidengebüsch umgewandelt, was 53 % der Bestände ausmachte und 2005 waren es 0,4 ha (44 %). Infolge beider Hochwasserereignisse entstanden überwiegend vegetationsfreie Flächen oder lückiges Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung, das Hochwasser hatte demnach einen mittleren bis sehr starken Einfluss auf die bestehenden dichten Weidengebüsche.

Wie es für naturnahe Umlagerungstrecken typisch ist, haben die Hauptrinnen bei den jeweiligen Hochwasserereignissen ihren Lauf verlagert. Besonders deutlich ist dies beim Hochwasser 2005 zu erkennen, wo sich die Hauptrinne im südlichen Drittel des UGs an den östlichen Rand der Aue verlagerte und lückige, wie auch dichte Weidenbestände umgelagert hat. Dabei hat das Hochwasser mit starkem, bis sehr starkem Einfluss auf die Fläche gewirkt (Abb. 10).



**Abb. 4:** Entwicklung der Flächenanteile (in ha) der Vegetationseinheiten in der Rißbachaue von 1950 bis 2018.

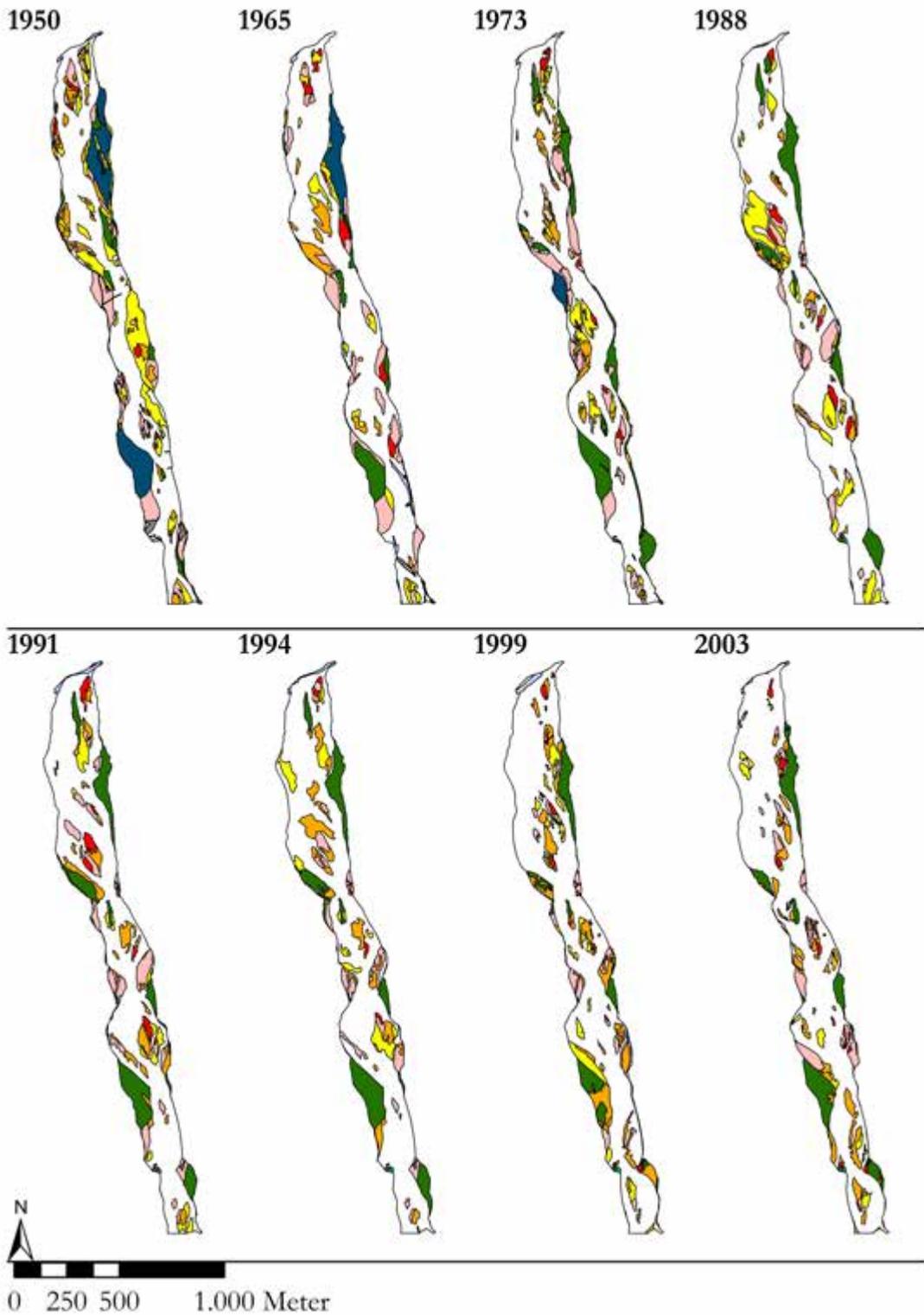


Abb. 5: Veränderung der Auenvegetation im Zeitraum 1950 bis 2003 im UG Reißbachau.

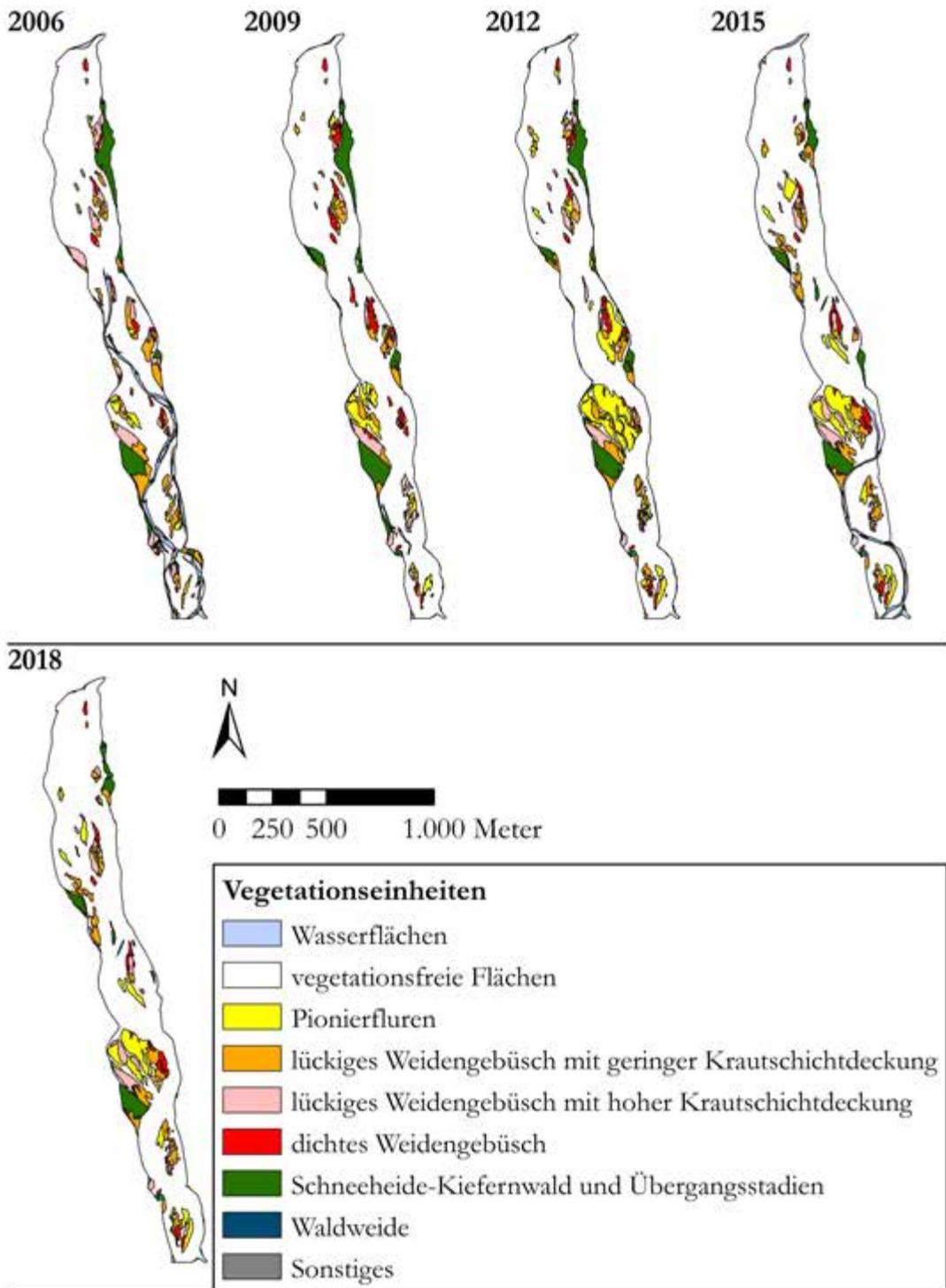
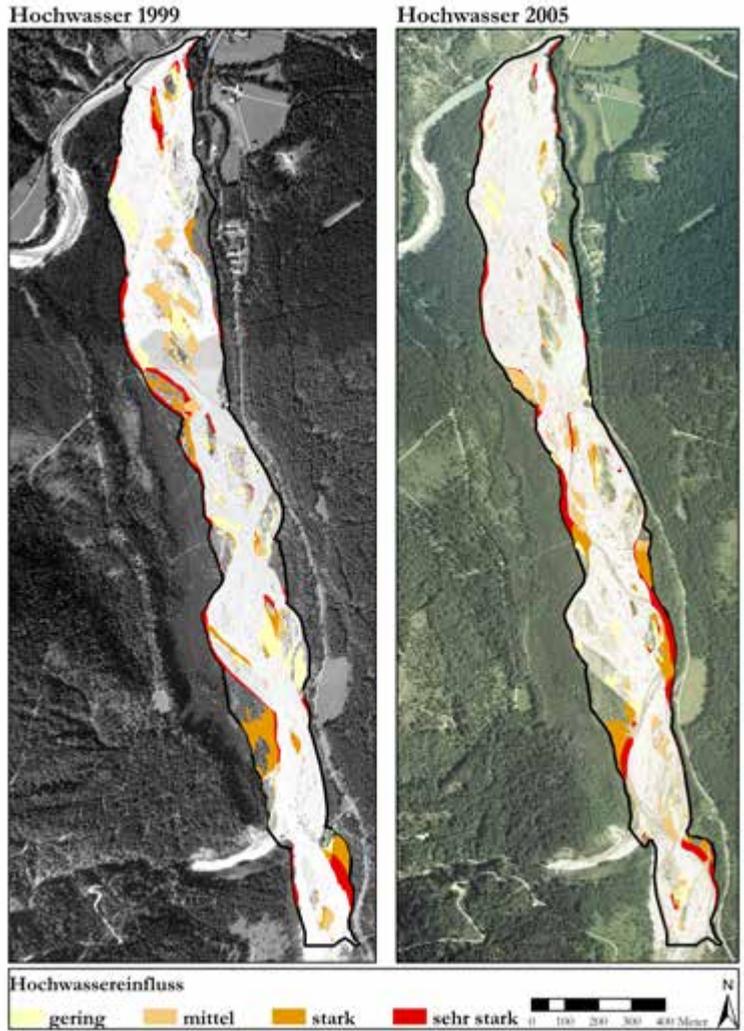
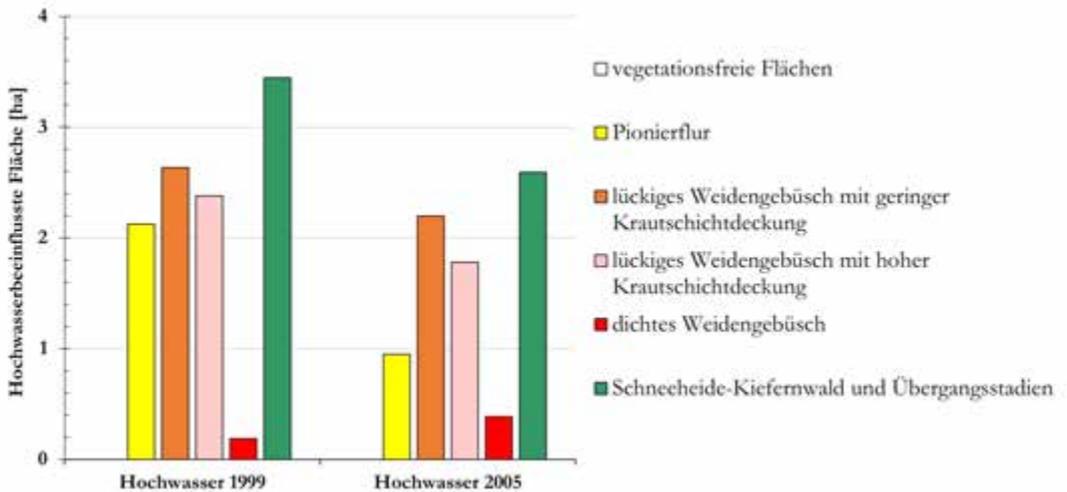


Abb. 6: Veränderung der Auenvegetation im Zeitraum 2006 bis 2018 im UG Reißbachau.



**Abb. 7:** Einfluss der Extremereignisse 1999 und 2005 im UG Rißbachaue. (Geobasisdaten: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG 2018).



**Abb. 8:** Flächengrößen der 1999 und 2005 vom Hochwasser beeinflussten Vegetationseinheiten.

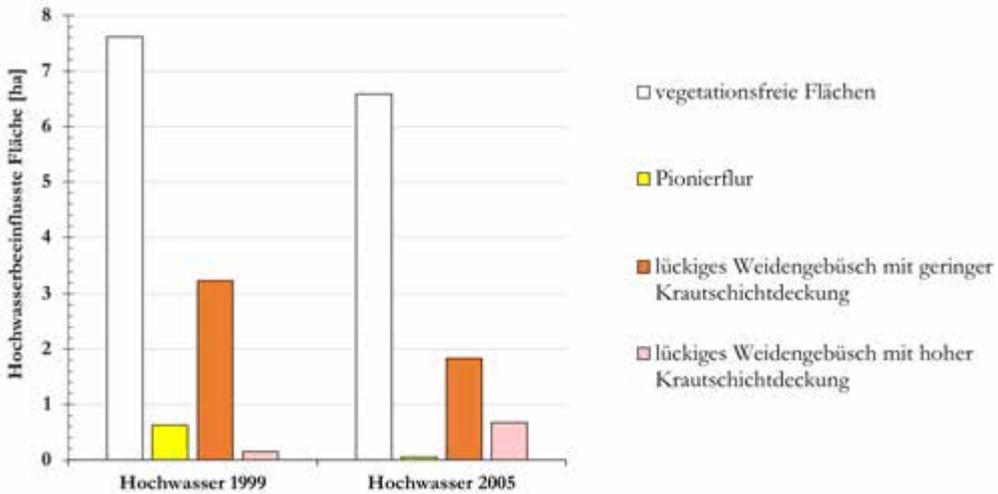


Abb. 9: Flächengrößen der 1999 und 2005 hochwasserbedingt „neu entstandenen“ Vegetationseinheiten in der Auenfläche.

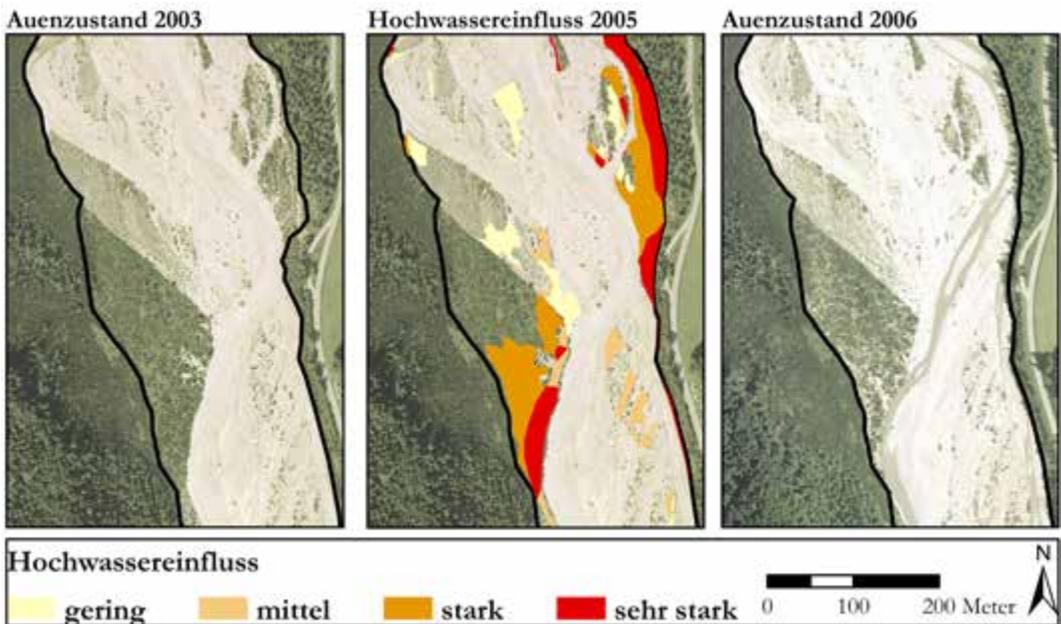
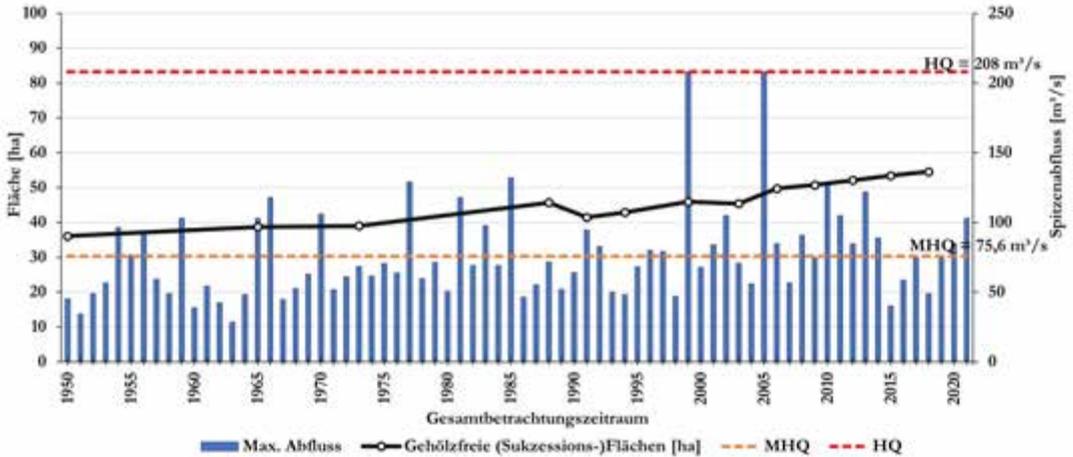


Abb. 10: Einfluss des Hochwassers 2005 im südlichen Drittel des Untersuchungsgebietes. (Geobasisdaten: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG 2018).

Nicht nur die Extremereignisse 1999 und 2005 bewirkten erhebliche Umstrukturierungen der Aues. Betrachtet man die übrigen Spitzenabflüsse pro Jahr, wird deutlich, dass in mehreren Jahren Abflüsse über 100 m<sup>3</sup>/s am Pegel Reißbachklamm verzeichnet werden konnten (Abb. 11) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2022). Abb. 11 zeigt ganz klar, dass die vegetationsfreien oder -armen Flächen eine Zunahme im Laufe der ca. 70 Jahre seit der Ausleitung auch unabhängig von den beiden Extremereignissen 1999 und 2005 verzeichnen konnten. Durch die Betrachtung

der Einzelereignisse und der gesamten Abflusszeitreihe wird deutlich, dass die Abflussdynamik der Hochwasserereignisse ausreicht, um die Ausdehnung dichter Gehölzbestände zu verhindern und die vegetationsfreien Flächen stetig auszuweiten. Vegetationseinheiten, wie die „Pionierfluren“, „lückigen Weidengebüsche“ oder die in geringem Flächenumfang vorkommenden „dichten Weidengebüsche“ verändern über die Jahre ihre Lage in der Aue (Abb. 5., Abb. 6) und werden fortwährend auf Stadien der früheren Sukzessionsstufen zurückgesetzt bzw. in ihrer Ausdehnung auf gleichbleibendem Niveau gehalten (Abb. 4), beides ist idealtypisch für eine dynamische Wildflusslandschaft.



**Abb. 11:** Entwicklung der gehölzfreien Flächen („Wasserflächen“, „vegetationsfreie Flächen“, „Pionierfluren“) im UG Rißbachaue vor dem Hintergrund der Spitzenjahresabflüsse im Zeitraum 1950 bis 2021 am Pegel Rißbachklamm. (Grundlagendaten zum Abfluss: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2022).

## 4.2 Aktuelle Verteilung der Feinsedimente und Vegetationsverhältnisse in der Rißbachaue

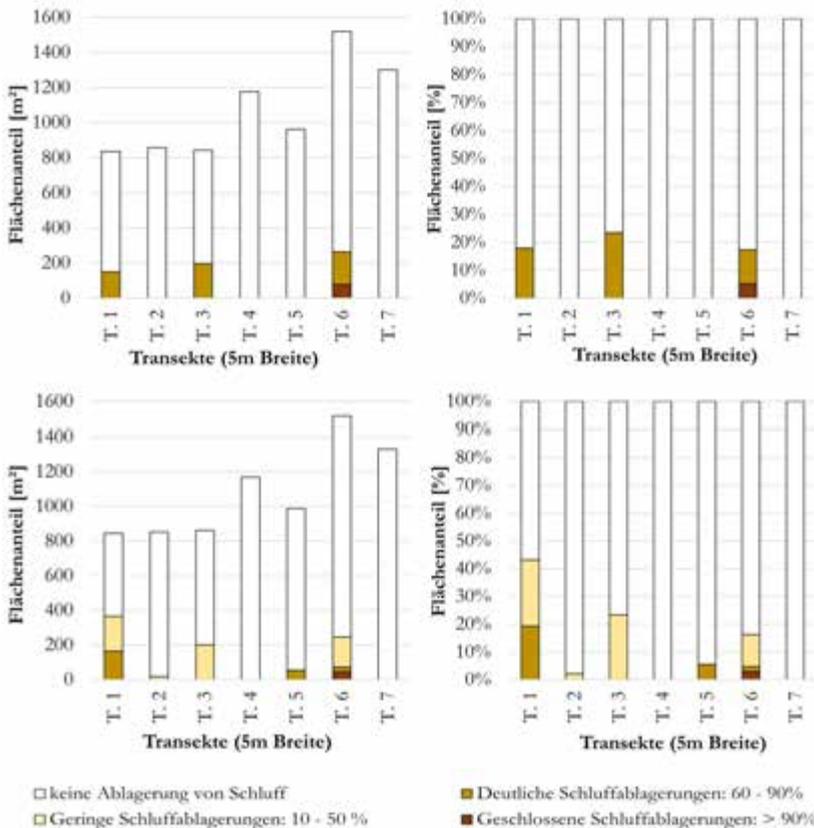
Die 2020 und 2021 in den sieben Transekten erfassten Vegetationseinheiten spiegeln das Ergebnis der Luftbildanalyse von 2018 sehr gut wieder. Gehölzfreie Sukzessionsstadien prägten die Transektflächen; lückige Weidengebüsche kamen nur in geringem Umfang vor (Abb. 13–16). Die Einheit „dichtes Weidengebüsch“ wurde in den 7 Transekten überhaupt nicht festgestellt. Vegetationsfreie Flächen (inkl. Wasserflächen) machten 2020 42 % der gesamten Transektfläche aus, Pionierfluren 28 %. 2021 war der Anteil von vegetationsfreien Flächen (inkl. Wasserflächen) auf 49 % gestiegen, der Anteil von Pionierfluren auf 20 % gesunken. Hier lässt sich die Wirkung des Hochwassers vom 18.07.2021 auf die Fläche bereits erkennen.

Schluffige Feinsedimente spielten bezogen auf die Sukzessionsreihe von den vegetationsfreien Flächen bis zum dichten Weidengebüsch nur eine sehr geringe Rolle (Abb. 12). Deutliche Schluffablagerungen (Anteil von 60–90 %) wurden sowohl 2020 als auch 2021 nur auf Flächen mit lückigem Weidengebüsch festgestellt, geschlossene Schluffablagerungen (Anteil von >90 %) lediglich auf Flächen mit lückigem Weidengebüsch mit hoher Krautschichtdeckung (Abb. 13–16).

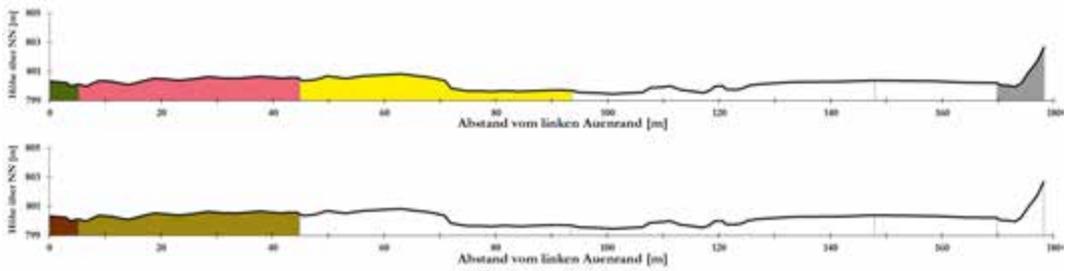
Auch bei den Schluffablagerungen hat das Hochwasser von 2021 Wirkung gezeigt. Waren im Transekt 3 im Jahr 2020 auf knapp 23,5 % der Fläche noch deutliche Schluffablagerungen (60–90 %), waren es 2021 dort nur noch geringe Schluffablagerungen (10–50 %) (Abb. 12). Hier wurde durch das Hochwasser das lückige Weidengebüsch mit hoher Krautschichtdeckung (2020) auf das Stadium eines lückigen Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung (2021) zurückgesetzt (Abb. 13, Abb. 14). Die Querprofilmessung in Transekt 3 zeigt zudem, dass sich die Lage der wasserführenden Rinnen verändert hat. 2020 begann die Wasserrinne des vorangegangenen Hochwassers 72 m vom linken Auenrand entfernt, nach dem Hochwasser 2021 waren es nur noch 62 m.

Auch im Transekt 6 lässt sich für die wasserführende Rinne in der Auenmitte (im Bereich 140–190 m vom linken Auenrand) ähnliches erkennen (Abb. 15, Abb. 16). Auch in diesem Transekt ist ein Rückgang der schluffigen Feinsedimente feststellbar. Kamen 2020 vor dem Hochwasser noch deutliche oder geschlossene Schluffablagerungen vor, waren es 2021 nach dem Hochwasser überwiegend geringe Schluffablagerungen (10–50 %). Dabei wurden auch Teile eines lückigen Weidengebüsches mit hoher Krautschichtdeckung um eine Sukzessionsstufe auf ein lückiges Weidengebüsch mit geringer Krautschichtdeckung zurückgesetzt und Teile der 2020 vorkommenden Pionierflur umgelagert.

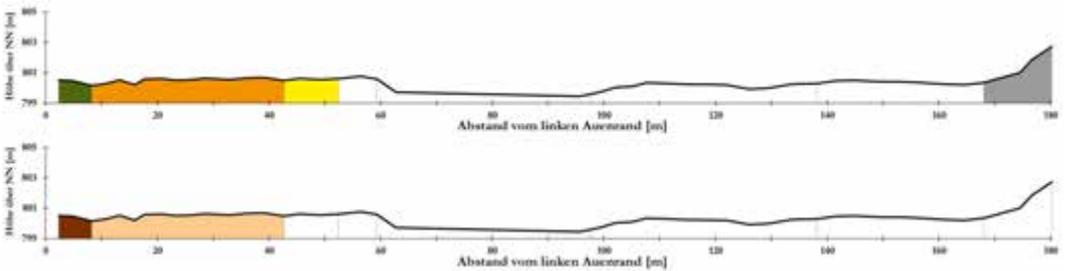
Durch die Ergebnisse der Felderhebung 2020 und 2021 kann bestätigt werden, dass am Reißbach durch die regelmäßigen kleineren und größeren Hochwasserereignisse Feinsedimente auch wieder ausgetragen werden und Umlagerung nahezu auf der gesamten Auenbreite stattfindet.



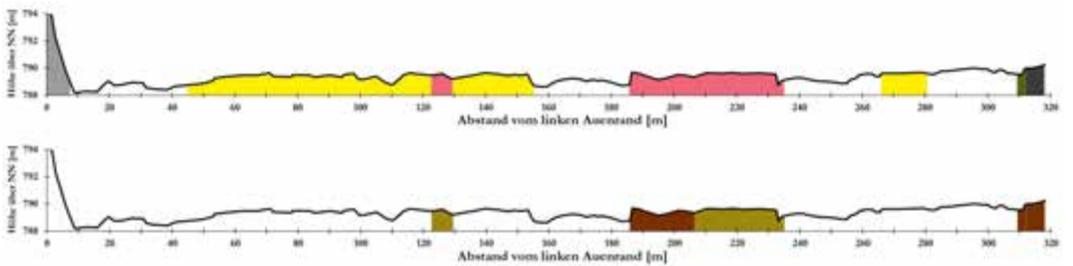
**Abb. 12:** Verteilung von Schluffablagerungen 2020 (oben) und 2021 (unten) im Längsverlauf bezogen auf die Sukzessionsreihe von den „vegetationsfreien Flächen“ bis zum „dichten Weidengebüsch“.



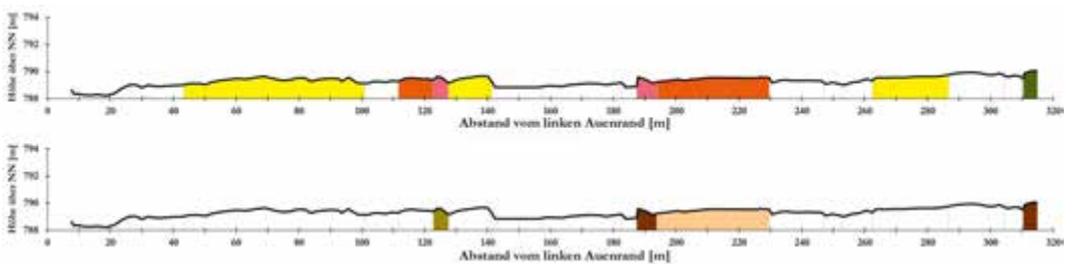
**Abb. 13:** Verteilung der Vegetationseinheiten (oben) und der schluffigen Feinsedimente (unten) in Transekt 3 im Erfassungsjahr 2020 (Legenden s. Abb. 6 und 12).



**Abb. 14:** Verteilung der Vegetationseinheiten (oben) und der schluffigen Feinsedimente (unten) in Transekt 3 im Erfassungsjahr 2021 (Legenden s. Abb. 6 und 12).



**Abb. 15:** Verteilung der Vegetationseinheiten (oben) und der schluffigen Feinsedimente (unten) in Transekt 6 im Erfassungsjahr 2020 (Legenden s. Abb. 6 und 12).



**Abb. 16:** Verteilung der Vegetationseinheiten (oben) und der schluffigen Feinsedimente (unten) in Transekt 6 im Erfassungsjahr 2021 (Legenden s. Abb. 6 und 12).

## 5. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass am Reißbach nach wie vor eine ereignisbezogene Umlagerung nahezu über die gesamte Auenbreite stattfindet. Im Unterschied zur Ausleitungsstrecke der Isar zwischen Krüner Wehr und Reißbachmündung sind in der Ausleitungsstrecke des Reißbaches keine substantiellen Veränderungen in den Flächenanteilen der Vegetationseinheiten eingetreten (vgl. REICH & RETHSCHULTE 2021).

Obwohl das Flussbett an vielen Tagen im Jahr trocken liegt (bzw. keinen oberflächlichen Abfluss zeigt), weist die Aue eine Morphodynamik auf, die ein großflächiges Verbuschen der Aue verhindert. Die im Vergleich zur Isarableitung am Krüner Wehr geringe Dimensionierung des Reißbachstollens und des Stauraumes vor dem Wehr führen dazu, dass dort viel häufiger Stauraumpülungen durchgeführt werden, als an der Isar. Vergleichbare Niederschlagsereignisse führen deshalb eher zu einer Stauraumpülung mit Geschiebetransport als an der Isar (SCHAIPP & ZEHEM 2009).



**Abb. 17:** Das geschlossene Reißbachwehr bei der maximalen Ableitung (ca.  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und bereits minimalem Wehrüberlauf. Zum Aufnahmezeitpunkt am 04.07.2008 wurde am Pegel Reißbachklamm ein durchschnittlicher Abfluss von  $15,2 \text{ m}^3/\text{s}$  verzeichnet. (Foto: Reich 2008).

Durch diese Morphodynamik werden stetig Initialstandorte in der Aue neugeschaffen. Sukzession findet nur punktuell statt und durch die dauernde Flussbettumlagerung wird der Bestand der Sukzessionsreihe von den Pionierfluren bis zum lückigen und dichten Weidengebüsch seit 1950 auf immer ähnlichem Niveau gehalten, nur die räumliche Verteilung ändert sich. Die Schwankungen bei den jüngeren Sukzessionsstadien sind typisch für dynamische Flusslandschaften und liegen vor allem daran, dass diese häufig näher an den Abflussrinnen liegen und dem Hochwasser wenig Widerstandskraft, durch das weniger stark ausgeprägte Wurzelwerk, entgegensetzen können. Das Merkmal naturnaher Wildflüsse „Konstant ist die Veränderung“ (EGGER et al. 2019) trifft also auch auf die Vegetation der Reißbachaue zu. Auch der hohe Flächenanteil vegetationsfreier Kiesbänke bestätigt dies.

Auch die erfasste Flora deutet auf eine für Wildflusslandschaften weitgehend natürliche und typische Zusammensetzung hin. In den Pionierfluren dominieren am Reißbach typische Alpenschwemmlinge wie *Dryas octopetala*, *Hornungia alpina*, *Campanula cochleariifolia*, *Kernera saxatilis*, *Saxifraga cerasia* oder *Aethionema saxatile*. Diese Arten sind z. B. durch hohe Diasporenproduktion, hohe Keimgeschwindigkeiten bzw. Etablierungsraten oder alternative Ausbreitungswege perfekt an Umlagerung und Überflutung angepasst und gelten somit als Indikatoren für naturnahe Umlagerungstrecken (POSCHLOD 2016).

Nach WESTRICH (1999) bestimmt die Abflussdynamik eines Gewässers auch die Sedimentdynamik. Vor allem der Feststofftransport ist für die Gewässermorphologie von zentraler Bedeutung, da die Transportdynamik zur Umgestaltung von Fließgewässerquerschnitten und zu Erosions- und Sedimentationserscheinungen führt. Bei Unterschreitung der sedimentationskritischen Schleppspannung (z. B. bei geringen Fließgeschwindigkeiten) kommt es zur Ablagerung von Feinsedimenten und Schwebstoffen (JÜRGING 2005; BAUMGART et al. 2005), bei Steigerung der Schleppspannung dagegen zu einem Aufbruch der Deckschicht und Sedimenttransport, der nahezu alle Kornfraktionen in Bewegung setzt, wenn die Schleppspannung groß genug wird. Hierbei spielt auch das Gefälle eine wichtige Rolle. Da am Reißbach ein deutlich höheres Gefälle als an der Isar herrscht, können lokal höhere Strömungsgeschwindigkeiten erreicht und so auch höhere Schleppspannungen aufgebaut werden, wodurch Erosionsprozesse stärker gefördert werden. Bei naturbelassenen Fließgewässern wechseln Erosions- und Sedimentationsprozesse stetig in einer Weise, in der der Sedimenthaushalt langfristig stabil und ausgeglichen ist und keine wesentliche Veränderung in quantitativer und qualitativer Hinsicht erfolgt (WESTRICH 1999). Dies beschreibt die Situation am Reißbach sehr gut. Die Ablagerung von Feinsedimenten durch Hochwasser betrifft nur kleine Flächen und ist für naturnahe Umlagerungstrecken in diesem Ausmaß typisch. Am Reißbach erfolgt regelmäßig ein Austrag von Feinsedimenten, der an der Isar oberhalb der Reißbachmündung offensichtlich nicht mehr in ausreichendem Maße gegeben ist. Das Hochwasser 2021 mit seinem Spitzenabfluss von  $103 \text{ m}^3/\text{s}$  zeigt in den Querprofilen bereits deutliche Umlagerungswirkung, Sedimente wurden ausgetragen, dichtere Gebüchsukzession teilweise umgelagert oder überschottert. Derartige Abflüsse von bis zu  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  konnten am Reißbach seit 1950 ca. alle 5 Jahre verzeichnet werden (Abb. 11).

Generell hat die Ausleitung des Wassers zur Energiegewinnung dennoch immer zur Folge, dass die natürlichen Abflussverhältnisse im Ursprungsbett je nach Entnahme stark verändert werden (GIESECKE & MOSONYI 2009). Am Reißbach bedeutet das den Verlust von aquatischen Lebensräumen für Fische und das Makrozoobenthos und von Teillebensräumen z. B. für Kiesbankbrüter wie Flussregenpfeifer und Flussuferläufer oder die Uferfauna. Die Einführung eines Mindestabflusses für den Reißbach würde die Situation für die aquatischen Lebensgemeinschaften verbessern und damit auch den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) dienen. Für den Erhalt der nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) geschützten Lebensraumtypen wäre sie nach unseren Erkenntnissen aber nicht nötig. Ob sie, wie an der Isar unterhalb des Krüner Wehrs, eine für diese Lebensraumtypen ungünstige Entwicklung auslösen könnte, sollte vorab geprüft werden. Unsere Ergebnisse zu Morphodynamik und Feinsedimenteintrag machen dies eher unwahrscheinlich.

Es muss betont werden, dass der Reißbach durch seine hier festgestellte hohe Hydro- und Morphodynamik als wichtiger Abfluss- und Geschiebelieferant auch substanziell für die Dynamik der Isar zwischen Reißbachmündung und Sylvensteinspeicher ist. Dieser Abschnitt wird durch verschiedene Studien aus vegetationsökologischer Sicht als naturnah angesehen, was ganz klar am Einfluss des Reißbachs liegt (MAIER et al. 2021; REICH & RETHSCHULTE 2021). Mögliche Auswirkungen auf diesen Isarabschnitt müssen deshalb bei allen Maßnahmen am Reißbach zwingend berücksichtigt werden.



**Abb. 18:** Reißbachzufluss an der Mündung in die Isar, der Reißbach ist wichtiger Geschiebe- und Wasserlieferant für den Abschnitt der Oberen Isar hinter der Reißbachmündung. (Foto: Rethschulte 2019).

## Förderhinweis

Teile der Studie wurde im Rahmen eines vom Bayerischen Landesamt für Umwelt beauftragten und finanzierten Gutachtens durchgeführt.

## Literaturverzeichnis

- BAUMGART, H.-C., BURKART, B., HERING, D., JÜRGING, P., PATT, H., PODRAZA, P., SCHACKERS, B., SCHRENK, G., SOMMERHÄUSER, M., STÄDTLER, E. & WIEPRECHT, S. (2005): Planung der Fließgewässerentwicklung. In: Jürging, P. & Patt, H. (Hrsg.): Fließgewässer- und Auenentwicklung. Grundlagen und Erfahrungen. 191–330, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (SpringerLink Bücher).
- BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG (2016): Managementplan für das FFH-Gebiet „Oberes Isartal“ (DE 8034-371) mit dem Isar- und Reißbachanteil aus dem FFH- und SPA-Gebiet „Karwendel mit Isar“ (DE8433-301). Teil II – Fachgrundlagen, 100 S., Holzkirchen.

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2022): Gewässerkundlicher Dienst Bayern – Gesamtzeitraum Rißbachklamm/ Rißbach, <https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/abfluss/bayern/rissbachklamm-16145008/gesamtzeitraum>.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT & BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2001): Flusslandschaft Isar von der Landesgrenze bis Landshut. Leitbilder, Entwicklungsziele, Maßnahmenhinweise, 74 S.
- EBER, K., KAMBERGS, P., LAMPE, V. & REICH, M. (1997): Die Bedeutung der Abflußdynamik für die Vegetationsentwicklung in Umlagerungsstrecken der Oberen Isar. In: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.): Die Isar - ein Problemfluß oder Lösungsmodell? Zur Mindestwasser- und Geschiebeproblematik an Gebirgsflüssen; gemeinsames Seminar der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landespflege (ANL). 63–72, Laufener/Salzach: Eigenverlag (Laufener Seminarbeiträge 4/97).
- EGGER, G., GRÄSSER, L., REICH, M., KOMPOSCH, C., DISTER, E., SCHEIDER, E. & MÜLLER, N. (2019): Ökosystem Alpenfluss. Konstant ist die Veränderung. In: Muhar, S., Muhar, A., Egger, G. & Siegrist, D. (Hrsg.): Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur. 114–125: Haupt Verlag.
- GIESECKE, J. & MOSONYI, E. (2009): Mindestwasserregelungen. In: Giesecke, J., Heimerl, S. & Mosonyi, E. (Hrsg.): Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb. 751–780, Berlin, Heidelberg: Springer.
- HÖFLER, J., LEITINGER, G., REICH, M., SONNTAG, H. & ZERBE, S. (2020): Habitatansprüche von gefährdeten Heuschreckenarten alpiner Flussökosysteme. Managementempfehlungen für die Artenschutzpraxis. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 52 (5): 228–235.
- JÜRGING, P. (2005): Natürliche Fließgewässer und Auen. In: Jürging, P. & Patt, H. (Hrsg.): Fließgewässer- und Auenentwicklung. Grundlagen und Erfahrungen. 5–46, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (SpringerLink Bücher).
- LEMKE, H., LÖFFLER, F. & FARTMANN, T. (2010): Habitat- und Nahrungspräferenzen des Kiesbank-Grashüpfers (*Chorthippus pullus*) in Südbayern. *Articulata* 25 (2): 133–149.
- MAIER, F., BECKER, I., SPEER, F. & EGGER, G. (2021): Die Obere Isar – eine verlorene Wildflusslandschaft? Eingriffe und deren Auswirkungen sowie Renaturierungspotenziale der Oberen Isar vom Krüner Wehr bis Bad Tölz. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 86: 3–38.
- MUHAR, S., MUHAR, A., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.) (2019): Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur, 512 S. 1. Aufl. Bern: Haupt Verlag.
- MÜLLER, N. (1991): Veränderungen alpiner Wildflusslandschaften in Mitteleuropa unter dem Einfluss des Menschen. *Augsburger Ökologische Schriften* 2: 9–30.
- MÜLLER, N. (1995): Wandel von Flora und Vegetation nordalpiner Wildflusslandschaften unter dem Einfluss des Menschen. *Ber. ANL* 19: 125–187.
- POSCHLOD, P. (2016): Die Obere Isar – Flusslandschaft im Wandel: Eine „Kulturgeschichte“ wasserbaulicher Maßnahmen und der Waldweide. *Tuxenia Beiheft* (9): 85–105.
- REICH, M., BARGIEL, D. & RÜHMKORF, H. (2008): Die Obere Isar zwischen Fkm 253 und Fkm 232: Veränderungen der Vegetationsverhältnisse zwischen 1858 und 2006, Auswirkungen der Hochwasser 1999 und 2005 und Situation und Perspektive ausgewählter Zielarten, 139 S.,

Hannover. Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim.

- REICH, M. & RETHSCHULTE, C. (2021): Beachlife an der Oberen Isar: räumliche und zeitliche Dynamik in einem Hotspot der Biodiversität, 70 S., Hannover. Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU).
- SCHAIPP, B. & ZEHM, A. (2009): Abschlussbericht des LfU zur Oberen Isar zum Gutachten von Prof. Dr. Reich und eigenen Untersuchungen zum Geschiebemanagement., 70 S., Augsburg.
- SCHÖDL, M. (2007): Die letzten bayerischen Wildflüsse. Internationales LIFE-Symposium: Riverine Landscapes: Restoration, Flood protection, Conversation, Natur in Tirol. *Naturkundliche Beiträge der Abteilung Umweltschutz* 13: 194–210.
- TOCKNER, K. & TONIUTTI, N. (2006): Ökologie von Wildflusslandschaften – am Beispiel des Forschungsprojektes „Fiume Tagliamento“ (Friaul, Italien). *Natur in Tirol* (13): 74–83.
- VEREIN ZUM SCHUTZ DER BERGWELT, 2021: Der Verein zum Schutz der Bergwelt informiert zur Oberen Isar. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 86: 39–50.
- WESTRICH, B. (1999): Grundzüge der Ökodydraulik von Fließgewässern. In: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hrsg.): Lebensraum Fließgewässer. Charakterisierung, Anpassungsstrategien seiner Bewohner und die Problematik natürlicher und anthropogener Störungen; 4. Franz-Ruttner-Symposium, 20.–21. Oktober 1998 in Kloster Seeon (Oberbayern). 35–38, Laufen/Salzach: Eigenverlag (Laufener Seminarbeiträge 4/99).
- WOELLNER, R., MÜLLER, N., REICH, M., WAGNER, T. C. & KOLLMANN, J. (2019): Artenhilfsmaßnahmen für gefährdete Wildflussarten – eine Potenzialstudie an den bayerischen Alpenflüssen anhand von vier Beispiellarten. *Natur und Landschaft* 94 (12): 509–516.

## **Anschrift der Verfasserin und des Verfassers:**

M.Sc. Carmen Rethschulte  
Leibniz Universität Hannover  
Institut für Umweltplanung  
Herrenhäuser Str. 2  
30419 Hannover  
rethschulte@umwelt.uni-hannover.de

Prof. Dr. Michael Reich  
Leibniz Universität Hannover  
Institut für Umweltplanung  
Herrenhäuser Str. 2  
30419 Hannover  
reich@umwelt.uni-hannover.de