

# Die Obere Isar – eine verlorene Wildflusslandschaft? Eingriffe und deren Auswirkungen sowie Renaturierungspotenziale der Oberen Isar vom Krüner Wehr bis Bad Tölz

von Felix Maier, Isabell Becker, Franz Speer, Gregory Egger

**Keywords:** *Umlagerungsflüsse, Regulierungen, Wasserkraft, Auenvegetation, Hydromorphologie*

Viele Alpenflüsse wurden bereits Ende des 19. und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch den Menschen umfassend verändert. Dies betrifft im besonderen Ausmaß die für die Alpen charakteristischen und historisch häufig vorkommenden Umlagerungsflüsse. Diese wurden – bis auf einige noch bestehende große Umlagerungsflüsse in Oberitalien – vor allem in den Ostalpen nahezu völlig zerstört. Eine Ausnahme in den nördlichen Kalkalpen ist neben dem Tiroler Lech die Obere Isar, welche abschnittsweise noch eine naturnahe Wildflusslandschaft darstellt und aufgrund ihrer Lebensraum- und Artausstattung von internationaler Bedeutung ist. In der vorliegenden Studie werden für den Isarabschnitt vom Krüner Wehr bis Bad Tölz die hydromorphologischen und vegetationsökologischen Auswirkungen anthropogener Eingriffe im Überblick dargestellt und das Entwicklungs- und Revitalisierungspotenzial abschnittsweise aufgezeigt. Die Auswirkungen von Ausleitungen, Ableitungen, Talsperren, Regulierungen und Geschiebeentnahmen, die zu einem veränderten Abflussgeschehen und Geschiebehaushalt führen, stehen beispielhaft für alpine Umlagerungsflüsse.

Die historische Wildflusslandschaft flussab des Sylvensteinspeichers wurde bereits vor dem Bau des Speichers durch die durchgehende Flussregulierung deutlich verändert. Allerdings wurde durch den Bau des Speichers 1959 die Zerstörung der für Wildflusslandschaften typischen Lebensräume verstärkt und beschleunigt. Neben den reduzierten Hochwasserspitzen ist dafür in erster Linie die Unterbrechung der Geschiebedurchgängigkeit flussab der Talsperre verantwortlich. Die Folgen sind eine Sohlerosion und Absenkung des Grundwasserspiegels sowie Reduktion des Überflutungseinflusses.

Flussauf des Sylvensteinspeichers werden durch die Wasserausleitung der Isar am Krüner Wehr sowie mehrerer ihrer Zubringer für eine effizientere Nutzung des Walchensee-Kraftwerksystems die Hydrodynamik und der Geschiebetransport im Restwasserbett herabgesetzt. Dies führt zu einer Reduzierung charakteristischer Prozesse von Wildflusslandschaften und in Folge zu einer Verarmung typischer Lebensräume und Arten. Dennoch ist die Obere Isar hier im Gegensatz zu den flussab des Sylvensteinspeichers liegenden Bereichen trotz Ausleitung aus vegetationsökologischer Sicht als weitestgehend natürliche Wildflusslandschaft (flussab der Rißbachmündung bis zur Geschiebevorsper-

re) bzw. als degradierte Wildflusslandschaft mit einem hohen Revitalisierungspotenzial (Abschnitt Krüner Wehr bis zur Rißbachmündung) einzustufen. Allerdings werden dazu umfassende Anpassungen der energiewirtschaftlichen Nutzung sowie eine grundsätzliche Neuorientierung der Renaturierungsmaßnahmen in Richtung eines prozessorientierten Naturschutzes notwendig sein.

Bezogen auf den untersuchten Oberen Isarabschnitt kann festgehalten werden, dass bislang wohl einige Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung umgesetzt wurden, die grundsätzlichen Problembereiche aber nach wie vor bestehen. Es liegen eine Reihe von Maßnahmenvorschlägen auf dem Tisch – in Anbetracht der herausragenden Bedeutung der Oberen Isar ist es an der Zeit, Prioritäten zu setzen und diese auch konsequent umzusetzen. Die geplante Neukonzessionierung des Walchensee-Kraftwerk-Systems sowie die Umsetzung der festgesetzten Ziele der WRRL und der Natura 2000-Gebiete an der Oberen Isar bieten die Chance dafür.

## Einleitung



**Abb. 1:** Die Wildflusslandschaft der Oberen Isar flussauf des Sylvensteinspeichers zählt zu den großartigsten Flusslandschaften Deutschlands (Foto: F. Speer, 2013).

Die Flüsse des Alpenraums wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch anthropogene Eingriffe gestört und hydromorphologisch verändert (EGGER et al. 2019a, HOHENSINNER et al. 2019, MUHAR et al. 2019a, HOHENSINNER et al. 2020). Die Ursachen sind Flussregulierungsmaßnahmen, Staustufen, Ausleitungen, Hochwasserdämme,

Talsperren, Geschiebeentnahmen und nicht zuletzt die bereits vor über 100 Jahren beginnende Verbauung der Wildbäche in den Einzugsbieten (MÜLLER 1991b, MÜLLER 1995, HOHENSINNER et al. 2019). Diese verändern die natürliche Abfluss- und Geschiebedynamik und führen zu einer Entkoppelung von Fluss und Aue (MÜLLER 1988, MÜLLER 1991a, MARTINET & DUBOST 1992). Die Folge dieser Eingriffe ist, dass lediglich 14 % der Alpenflüsse ihren ursprünglichen Charakter und somit einen sehr guten ökologischen Zustand behielten. 44 % der Alpenflüsse erreichen das in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie angestrebte Ziel eines ökologisch guten Zustandes derzeit nicht (MUHAR et al. 2019b).

Im besonderen Ausmaß sind die Umlagerungsflüsse – auch „Wildflusslandschaften“ genannt – davon betroffen. Intakte Wildflusslandschaften zeichnen sich durch eine extrem hohe Geschiebedynamik (MÜLLER 1995, HOHENSINNER et al. 2019) und eine daran angepasste, spezielle Tier- und Pflanzenwelt aus (MÜLLER 1991a, MÜLLER 1995, EGGER et al. 2019b). Vor rund 200 Jahren, vor der systematischen Umgestaltung der Flussläufe, waren mit einem Anteil von 34 % verzweigte Flussläufe (mit einer Einzugsgebietsgröße > 500 km<sup>2</sup>) der dominierende Flusstyp der Alpen. Aktuell beträgt das Ausmaß alpenweit nur mehr 15 %, wobei sie im österreichischen und deutschen Anteil der Ostalpen nahezu vollkommen zerstört wurden (HOHENSINNER et al. 2020). So waren auch an den nach Norden abfließenden Flüssen der Ostalpen Rhein, Iller, Lech, Isar, Inn, Salzach, Traun und Enns bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts ausgedehnte Wildflusslandschaften zu finden (MÜLLER 1991a). Von diesen sind lediglich im Bereich des Tiroler Lechs in Österreich und an der Oberen Isar Abschnitte mit einer Umlagerungsdynamik erhalten geblieben (Abb. 2). So finden sich an der Oberen Isar noch eine Reihe von flusstypspezifischen Leitarten wie beispielsweise die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*, Abb. 3), das Ufer-Reitgras (*Calamagrostis pseudophragmites*), die Gefleckte Schnarrschrecke (*Bryodemella tuberculata*) und der Flussregenpfeifer (*Charadrius dubius*) (siehe u.a. JUSZCZYK 2017, MÜLLER 1991a, PLACHTER 1996, SCHAUER 1998, REICH 2006, MÜLLER et al. 2019, REICH & RETHSCHULTE 2021). Die Obere Isar gehört damit zu den naturschutzfachlich wertvollsten Naturräumen Bayerns und des gesamten Nordalpenraums und leistet einen großen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität (HIEMEYER 1972 in MÜLLER 1988, SCHAIPP & ZEHM 2009).

Dies kommt auch durch den hohen und mehrfachen Schutzstatus zum Ausdruck. So ist das Obere Isartal flussauf des Sylvensteinspeichers Teil des Naturschutzgebietes „Karwendel und Karwendelvorgebirge“ und der Natura 2000-Gebiete „Karwendel mit Isar“ (DE8433-301, DE8433-401) und des FFH-Gebietes „Oberes Isartal“ (DE8034-371). Im Anschluss flussab bis München befindet sich das FFH-Gebiet „Oberes Isartal“ (DE8034-371).

Trotz der hohen naturschutzfachlichen Bedeutung der Oberen Isar sind sämtliche Abschnitte mehr oder minder stark durch anthropogene Eingriffe verändert bzw. wurde die historisch ursprüngliche Wildflusslandschaft über weite Bereiche zerstört (vgl. auch MÜLLER 1991a). Die Auswirkungen auf die Ökologie wurden im Rahmen zahlreicher Arbeiten dokumentiert (u.a. SPEER 1977, MÜLLER 1991a, MÜLLER 1995, BINDER & GRÖBMAIER 1998, SCHAUER 1998, BILL 2001, REICH et al. 2008, SCHAIPP & ZEHM 2009, BINDER et al. 2011, HETTRICH & RUFF 2011, POSCHLOD 2016, XIAO 2016, BEHRENDT 2017, REICH & RETHSCHULTE 2021).

Auch der Natura 2000-Managementplan Oberes Isartal (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016) kommt zu dem Schluss, dass aufgrund einer zu geringen Abfluss- und Geschiebedynamik der Erhalt der prägenden alpinen Fließgewässer- und Auwald-Lebensraumtypen langfristig gefährdet ist. Durch die im Managementplan formulierte Leitlinie „Dynamik vor Statik“ soll den eigendynamischen

Entwicklungen eines Flussabschnittes der Vorrang gegenüber dem Schutz einzelner Standorte gegeben werden. Im Vordergrund wird daher eine Redynamisierung der Oberen Isar gefordert. Zur Erreichung dieses Zieles werden für jeden Teilabschnitt für die Schlüsselfaktoren Abflussgeschehen, Feststoffhaushalt und Gewässermorphologie eine Reihe konkreter Umsetzungsmaßnahmen angeführt (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016).

Es stellt sich die Frage, inwieweit die genannten Eingriffe reversibel sind bzw. inwieweit die wildflussspezifischen Habitate und Arten wiederhergestellt und etabliert werden können. Dies ist pauschal nicht zu beantworten, sondern muss eingriffs- und abschnittsbezogen betrachtet werden. Mit der vorliegenden Arbeit wird auf Basis einer flächendeckenden Vegetationskartierung als Indikator für den ökologischen Zustand und einer Auswertung der wesentlichsten Umweltfaktoren (MAIER 2017) ein aktueller Überblick über die Auswirkungen der Eingriffe sowie die Entwicklungspotenziale der unterschiedlichen Abschnitte der Oberen Isar zwischen dem Krüner Wehr und Bad Tölz gegeben.



**Abb. 2:** Ein charakteristisches Merkmal für naturnahe Wildflusslandschaften sind die ausgedehnten Schotterfluren wie hier an der Oberen Isar flussauf des Sylvensteinspeichers, im Hintergrund Wettersteingebirge (Foto: A. Zittel, 2019).



**Abb. 3:** Gefährdete Arten wie die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*) kommen an der Oberen Isar flussauf des Sylvensteinspeichers noch häufig vor, sind jedoch durch anthropogene Eingriffe in die charakteristische alpine Flusssedimentdynamik gefährdet (Foto: I. Becker, 2019).

## I. Untersuchungsgebiet

### I.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet liegt in den Nördlichen Kalkalpen an der Oberen Isar und erstreckt sich über 50 Flusskilometer vom Krüner Wehr (Fluss-km 250; Seehöhe 866 m) bis Bad Tölz (Fluss-km 200; Seehöhe 642 m) (Abb. 4).

### I.2 Naturraum

Die Isar entspringt im Karwendelgebirge, östlich der österreichischen Gemeinde Scharnitz in Tirol auf ca. 1.200 m Seehöhe und mündet nach 283 km auf ca. 300 m Seehöhe bei Deggendorf in die Donau. Ihr Einzugsgebiet hat einschließlich ihrer Nebenflüsse Loisach und Amper eine Größe von etwa 8.900 km<sup>2</sup> (SCHEURMANN 1998b, BINDER et al. 2011, HETTRICH et al. 2011, SCHACKERS et al. 2016). Der Oberlauf der Isar liegt in den nördlichen Kalkalpen. Das Karwendelgebirge besteht aus Wettersteinkalken und Dolomit der Mittleren Trias (POSCHLOD 2016). Während der Eiszeiten wurden die Täler durch die Gletscher der Nordalpen überformt und bei deren Rückzug mit kalkalpiner Geröllfracht verfüllt. Diese Schotterauflagen können mehrere hundert Meter betragen (KARL et al. 1977). Ab Scharnitz kann der Isar bereits die Charakteristik eines alpinen Wildflusses zugeschrieben werden.

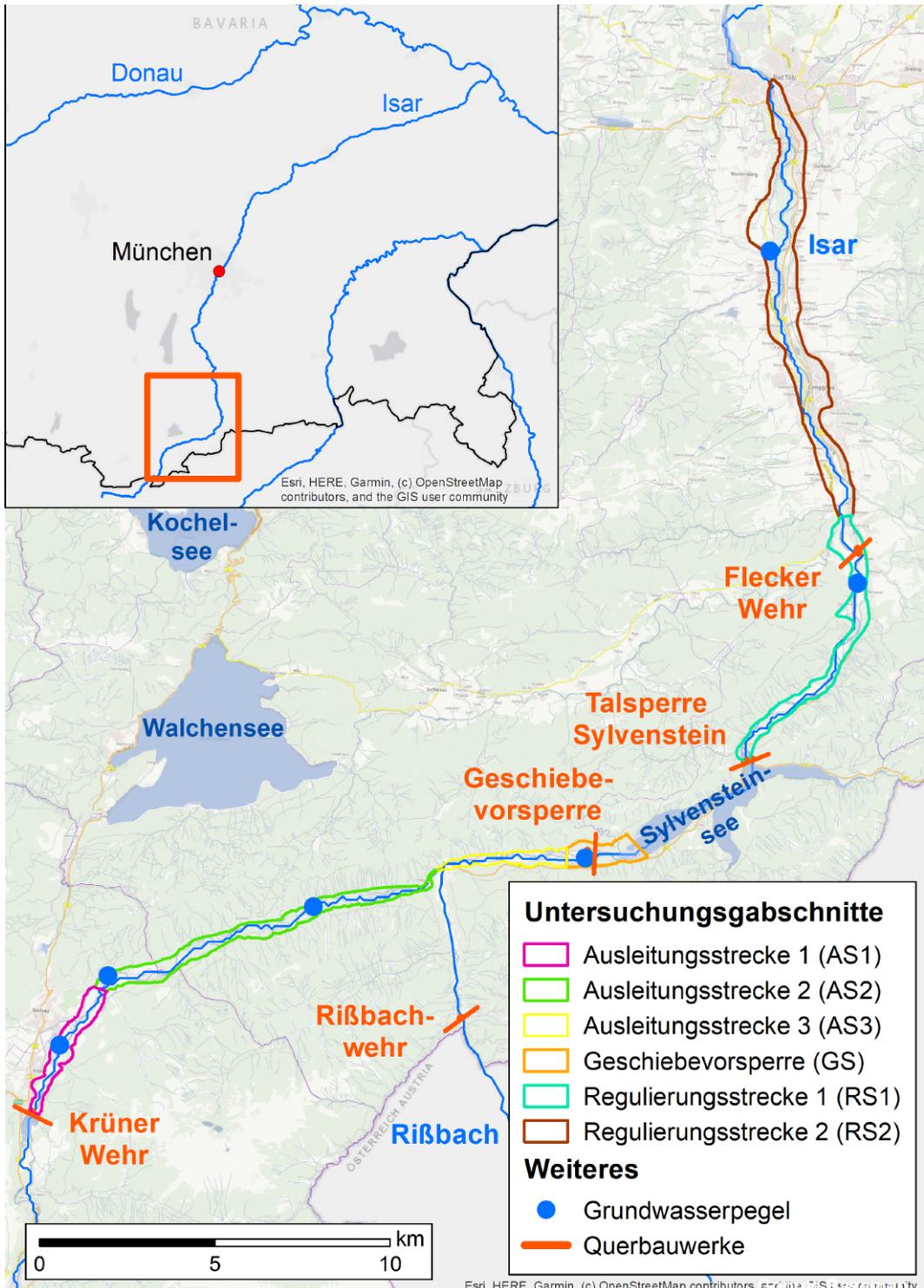


Abb. 4: Das Untersuchungsgebiet vom Krüner Wehr bis Bad Tölz sowie die Bezeichnungen und Abgrenzung der sechs Untersuchungsabschnitte einschließlich der Lage von größeren Querbauwerken und der Grundwasserpegel (Kartengrundlage: OpenStreetMap).

In den Voralpen sowie dem Karwendelgebirge kommt es zu Steigungs- und Starkregen, sodass dort über das Jahr verteilt 2.000 mm Niederschlag fallen. Bis Bad Tölz (1.200 mm) nimmt der Niederschlag kontinuierlich ab (BINDER et al. 2011).

Klimatisch ist das Untersuchungsgebiet durch die Lage in den Nordalpen geprägt (SPEER 1977). Die mittlere Jahrestemperatur in Wallgau beträgt 7,2 °C und der mittlere Jahresniederschlag 1.434 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST 2020). Flussauf des Sylvensteinspeichers beträgt der mittlere Jahresabfluss am Pegel Reißbachtücker 4,5 m<sup>3</sup>/s und der höchste gemessene Abfluss 291 m<sup>3</sup>/s während des Augusthochwassers 2005. Flussab des Sylvensteinspeichers beträgt der mittlere Jahresabfluss am Pegel Lenggries 20,7 m<sup>3</sup>/s und der höchste gemessene Abfluss 571 m<sup>3</sup>/s ebenfalls während des Augusthochwassers 2005. Überlagern sich die hohen Niederschläge mit der Schneeschmelze, kann es im Frühjahr zu starken Hochwassern kommen, wie bei dem Pfingsthochwasser von 1999.

**Tabelle 1:** Abflusskennwerte der Pegel Reißbachtücker und Lenggries (Daten: LFU-BAYERN 2020). Anmerkung zum Pegel Lenggries: seit 1959 (Betrieb Sylvensteinspeicher) müssen vom 1.4. bis 30.9. mindestens 20 m<sup>3</sup>/s und vom 1.10. bis 30.3. 10 m<sup>3</sup>/s am Pegel Bad Tölz abgegeben werden (NQ...Niedrigster Abfluss; MNQ...Mittlerer Niedrigwasserabfluss; MQ... Mittlerer Jahresabfluss; MHQ...Mittlerer Hochwasserabfluss; HQ...Hochwasserabfluss).

	Abfluss Pegel Reißbachtücker in m <sup>3</sup> /s (1981–2016)			Abfluss Pegel Lenggries in m <sup>3</sup> /s (1959–2016)		
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
<b>NQ</b>	0,131	0,518	0,131	1,82	3,68	1,82
<b>MNQ</b>	2,07	2,68	1,98	7,34	8,7	6,89
<b>MQ</b>	3,01	6,01	4,52	15,6	25,6	20,7
<b>MHQ</b>	14,7	94,5	95,1	75,2	190	193
<b>HQ</b>	53,3	291	291	286	571	571

Die Vegetationsperiode ist durch die schneereichen Winter verkürzt, und es können sowohl Früh- als auch Spätfröste durch die Kaltluftströme entlang der Isar auftreten. Neben den Frösten sind im Herbst und Frühjahr rasche Erwärmungen durch die trockenen und warmen Föhnwinde möglich (SCHRETZENMAYR 1950, SPEER 1977). Das Untersuchungsgebiet mit den Untersuchungsabschnitten erstreckt sich entlang der Isar vom Krüner Wehr bis Bad Tölz (Abb. 4). Dabei werden in jedem Abschnitt die Vegetation und die dynamischen Prozesse innerhalb der morphologischen Aue analysiert.

### 1.3 Eingriffe

Die wesentlichen Eingriffe in die Fluss- und Auenlandschaft der Oberen Isar sind die Ausleitung am Krüner Wehr, die Ableitungen in den Achensee, die Errichtung der Talsperre des Sylvensteinspeichers und die Regulierungen des Flusslaufs. Im Folgenden wird eine Kurzbeschreibung der wesentlichsten Eingriffe gegeben. Darüber hinaus werden in Tabelle 2 alle Eingriffe der sechs Flussabschnitte einschließlich deren Verortung (Fluss-km) aufgelistet.

An der Isar und ihren Zuflüssen bestehen einige Ausleitungen mit Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet. Zu Beginn des Untersuchungsgebiets liegt das Krüner Wehr (Abb. 5), welches

am 26.01.1924 erstmals Strom lieferte. Es war damals das größte Wasserkraftwerk der Welt. Im Durchschnitt werden  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  (SPEER 1977) und in Spitzenzeiten  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  (KARL et al. 1977) zum Walchenseekraftwerk ausgeleitet, sodass das Flussbett zunächst flussab des Wehrs den Großteil des Jahres (über 340 Tage) trockenfiel (SPEER 1977, REICH 2006; Abb. 6). Zudem war aufgrund des Wehrs kein Geschiebetransport möglich; das mitgeführte Material lagerte sich im Stauraum des Wehrs ab. Daher wurde in den 1930er-Jahren ein Geschiebeleitwerk geschüttet und 1955 durch feste Dämme ersetzt (HANS SCHANDERL 2021, mündliche Mitteilung), mit dessen Hilfe das Geschiebe bei hohen Wasserständen mobilisiert und gespült werden kann (SPEER 1977). Um eine durchgehende Wasserführung der Ausleitungsstrecke zu gewährleisten, wurde 1990 eine Mindestwassermenge von  $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$  im Sommer und  $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$  im Winter festgelegt (REICH et al. 2008). Die Kapazität für den Geschiebetransport reicht dennoch nicht aus. So muss ein Teil des Geschiebes aus Hochwasser-schutzgründen weiterhin unterhalb des Wehrs ausgebaggert werden (KARL et al. 1977, BILL 2001).



**Abb. 5:** Bei Isar-Hochwasser geöffnetes Krüner Wehr (Foto: F. Speer, 2017).

Am Reißbach-Wehr, welches dem Walchensee seit Inbetriebnahme 1949 eine Wassermenge von maximal  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  zuführt, ist dagegen eine hohe Geschiebedurchgängigkeit gegeben. Bei Hochwasser hat der Reißbach eine hohe Transportkapazität und stellt daher einen wichtigen Geschiebelieferanten für die Isar dar (BILL 2001, BINDER et al. 2011, POSCHLOD 2016).

Zudem muss auch das 1927 in Betrieb gegangene Achenseekraftwerk bei Jenbach erwähnt werden, für welches den Isarzufüssen Seeache/Walchen, Dürrach und Kesselbach Wasser in den Achensee (Tirol, Österreich) und in weiterer Folge über einen Stollen in den Inn ausgeleitet wird (SPEER 1977).



**Abb. 6:** Das trocken gefallene Flussbett der Oberen Isar flussab des Krüner Wehrs; Aufnahme aus dem Jahr 1967 (Foto: O. Kraus).

Auch unterhalb des Sylvensteinspeichers wird am Tölzer Wehr seit 1958 das Isarwasser zur Stromgewinnung genutzt. Seit 1990 kommt es im Hochwasserfall zu Stauraumpülungen (KARL 1998). Darüber hinaus besitzt das Wehr eine Fischtreppe zur Verbesserung der Durchgängigkeit für Fische.

Weitere anthropogene Eingriffe stellen Regulierungen und Talsperren sowie die Entnahme von Geschiebe dar. 1959 wurde an der Isar der Sylvensteinspeicher mit einem Gesamtstauraum von 124,3 Mio. m<sup>3</sup> fertiggestellt. Das Ziel des Speichers ist vorrangig die Verbesserung des Hochwasserschutzes der flussab liegenden Siedlungen. Zudem sorgt der Speicher für eine Erhöhung des Niedrigwasserabflusses, indem mindestens 20 m<sup>3</sup>/s im Sommer und 10 m<sup>3</sup>/s Abfluss im Winter in das Isarbett geleitet werden. Dadurch wird das natürliche Abflussregime verändert (SPEER 1977). Zudem stellt der Sylvensteinspeicher eine Ausbreitungsbarriere für Flora und Fauna dar. Flussauf der Talsperre wird Geschiebe entnommen, um so einer Verlandung des Sylvensteinsees entgegenzuwirken.

Flussab des Sylvensteinspeichers zwischen Winkl und Bad Tölz wurde die Isar von 1913 bis 1938 durchgehend reguliert, um den Hochwasserschutz zu verbessern sowie mehr landwirtschaftliche Flächen, Verkehrs- und Siedlungsfläche zu gewinnen (SPEER 1977). Deshalb wurden durch landseitig gebaute Querbauwerke (Traversen) die Flussläufe in der Umlagerungsstrecke auf einen Hauptarm gebündelt und dieser mittels Mittelwasserregulierung stabilisiert. Durch die damit verbundene Reduktion der Lauflänge und Einengung des Flussquerschnittes kam es zu einer Erhöhung der Schleppspannung, welche eine Sohlerosion und in Folge eine Absenkung des Grundwasserspiegels auslöste (SPEER 1977).

Aufgrund der anthropogenen Eingriffe kann das Untersuchungsgebiet räumlich in sechs verschiedene Abschnitte eingeteilt werden (Abb. 4).

**Tabelle 2:** Das Untersuchungsgebiet zwischen Krüner Wehr und Bad Tölz mit seinen sechs Untersuchungsabschnitten und deren Eigenschaften.

<b>Abschnittsname (Kürzel)</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Länge (Flusskilometer)</b>	<b>Eingriffe und Pegel</b>
<b>Ausleitungsstrecke 1 (AS1):</b> Krüner Wehr-Wallgau	Nach dem Krüner Wehr fließt die Isar vorbei an Krün und Wallgau. Der Abschnitt endet flussab von Wallgau bei der Mündung des Kaltwassergrabens/ Auhütte.	4,2 km (250,7–246,5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausleitungsstrecke Krüner Wehr</li> <li>• Geschiebeentnahme flussauf des Wehrs</li> <li>• Ölschieferwerk bei Schröfeln (bis 1962)</li> <li>• Grundwasserpegel Wallgau 2</li> </ul>
<b>Ausleitungsstrecke 2 (AS2):</b> Wallgau – Rißbachmündung	Ab der Mündung des Kaltwassergrabens/ Auhütte kann die Isar frei fließen und trifft bis Vorderriß auf keine Siedlungsflächen. Dort mündet der Rißbach in die Isar.	11,0 km (246,5–235,5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausleitungsstrecke Krüner Wehr</li> <li>• Grundwasserpegel Wallgau 5, Schröfeln 2830</li> </ul>
<b>Ausleitungsstrecke 3 (AS3):</b> Rißbachmündung – Geschiebevorsperre	Der Abschnitt beinhaltet die Strecke flussab der Rißbachmündung bis unmittelbar vor der Geschiebevorsperre des Sylvensteinspeichers (Fkm 230,8). Es sind keine Infrastrukturflächen vorhanden.	4,1 km (235,5–231,4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausleitungsstrecke Rißbach-Wehr</li> </ul>
<b>Geschiebevorsperre (GS):</b> Geschiebevorsperre – Sylvensteinspeicher	Der Abschnitt beinhaltet die Geschiebevorsperre des Sylvensteinspeichers und reicht bis zur Stauwurzel des Sylvensteinspeichers.	2,0 km (231,4–229,4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschiebeentnahme</li> <li>• Aufstau des Wassers</li> <li>• Grundwasserpegel Vorderriß</li> </ul>
<b>Regulierungsstrecke 1 (RS1):</b> Sylvensteindamm – Langeneck/ Mündung der Jachen in die Isar	Flussab des Sylvensteinspeichers durchfließt die Isar Hohenreuth; sie nimmt den Schrombach, Klaffenbach und die Jachen auf.	8,8 km (224,2–215,4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flussbetteintiefung</li> <li>• Regulierungen ab Winkl</li> <li>• Flecker Wehr</li> <li>• Sylvensteinspeicher</li> <li>• Niedrigwasseraufbesserung</li> <li>• Grundwasserpegel Winkl Klaffenbach</li> </ul>
<b>Regulierungsstrecke 2 (RS2):</b> Mündung der Jachen – Bad Tölz	Von der Jachenmündung bis zur Brücke in Bad Tölz vor dem Tölzer Wehr nimmt die Isar Hirschbach, Steinbach, Arzbach und Große Gaisach auf und durchfließt nahezu die gesamte Stadt Bad Tölz.	13,7 km (215,4–201,7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulierungen</li> <li>• Sylvensteinspeicher</li> <li>• Niedrigwasseraufbesserung</li> <li>• Kraftwerk Bad Tölz mit Stauraumpülungen im Hochwasserfall seit 1990 und Fischtreppe unmittelbar unterhalb RS2</li> <li>• Grundwasserpegel Arzbach 246C</li> </ul>

## 2. Methodik

### 2.1 Vegetationserhebung

Die Vegetation wurde in den sechs Untersuchungsabschnitten flächendeckend mittels Luftbildinterpretation vorabgegrenzt, anhand des Kartierschlüssels (Tabelle 3, 4, 5, 6) klassifiziert und anschließend im Gelände kontrolliert und korrigiert. Der Kartierschlüssel orientiert sich flussauf des Sylvensteinspeichers an REICH et al. (2008) und flussab des Sylvensteinspeichers an SPEER (1977) und berücksichtigt die verschiedenen Gewässerflächen, Vegetationstypen, Waldgesellschaften und sonstige Flächen.

**Tabelle 3:** Kartierschlüssel für die verschiedenen Gewässerflächen (nach MAIER 2017).

Gewässerfläche	Kurzbeschreibung
Grundwasseraustritte	aus Grund- und Hangwasser gespeiste Fließ- oder Stillgewässer
Gießen	Grundwassergespeiste Bäche, welche sich durch sehr klares Wasser und geringe Wasserspiegelschwankungen auszeichnen. Entlang der Flächen bilden sich schmale Ufersäume mit Röhricht und Großseggenrieden aus (Speer 1977).
Baggerseen/Speichersee	künstlich geschaffene Stillgewässer
Fließgewässer	Haupt- und Seitenarme der Isar

Die Sukzession beginnt mit den vegetationslosen Schotterflächen und den Pionierfluren. An diese schließen sich die mäßig wechselfeuchte Sukzessionsserie (FS) und mäßig wechselfeuchte Sukzessionsserie (TS) an. Die mäßig wechselfeuchte Serie umfasst das Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch, an welche sich der Lavendelweidenwald und Grauerlenwald sowie der Weiden-Fichten-Wald anschließen. Die mäßig wechselfeuchte Serie beginnt mit Magerrasen und Zwergstrauchheiden, worauf das Nadel-Laub-Gebüsch und der Kiefernwald folgen (Tabelle 4).

**Tabelle 4:** Kartierschlüssel für die nach den Sukzessionsserien gegliederten Vegetationstypen (FS...mäßig wechselfeuchte Sukzessionsserie; TS...mäßig wechselfeuchte Sukzessionsserie; nach MAIER 2017).

Sukzessionsserie und Vegetationstyp	Kurzbeschreibung
Pionierfluren (FS/TS)	Vegetationsfreie Schotter- und Sandflächen sowie von Pionierpflanzen besiedelte Flächen mit einem Deckungsgrad von weniger als 20 %.
Lückiges Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch (FS)	Die Strauchschicht wird in erster Linie von Lavendel- und Purpurweide ( <i>Salix eleagnos</i> , <i>S. purpurea</i> ), Deutscher Tamariske ( <i>Myricaria germanica</i> ) bzw. Grau-Erle ( <i>Alnus incana</i> ) dominiert; der Deckungsgrad der Kraut- und Strauchschicht ist < 50 %.
Dichtes Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch (FS)	Analoge Artenzusammensetzung wie bei den lückigen Gebüschtypen; Deckungsgrad der Strauchschicht ist jedoch > 50 %; die Krautschicht ist ebenfalls lückig (< 50 %).
Lavendelweidenwald und Grauerlenwald (FS)	In diesem Vegetationstyp dominieren Lavendel-Weide und Grau-Erle, mit einer Höhe von mehr als 5 Metern; der Deckungsgrad der Baumschicht liegt bei 70–90 %.

Sukzessionsserie und Vegetationstyp	Kurzbeschreibung
Weiden-Fichten-Wald (FS)	Der Vegetationstyp wird von Lavendel-Weide und Grau-Erle dominiert, der Fichtenanteil liegt zwischen 20–50 %; der Deckungsgrad der Baumschicht beträgt 90–100 %.
Magerrasen (TS)	Der Deckungsgrad der Krautschicht beträgt mehr als 90 % (REICH et al. 2008), Sträucher kommen auf weniger als 10 % der Fläche vor.
Zwergstrauchheide (TS)	Der Vegetationstyp wird von Weißer Silberwurz ( <i>Dryas octopetala</i> ), Schneeheide ( <i>Erica carnea</i> ) und Wacholder ( <i>Juniperus communis</i> ) dominiert; der Deckungsgrad der Zwergsträucher einschließlich des Wacholders beträgt 30–70 %; diese sind mosaikartig mit Magerrasen verzahnt.
Lückiges Nadel-Laub-Gebüsch (TS)	Das Gebüsch besteht aus Wald-Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> ), Bergspirke ( <i>Pinus uncinata</i> ), Fichte ( <i>Picea abies</i> ), Wacholder, Weidenarten und Grau-Erle. Die Sträucher nehmen einen Deckungsgrad von 20–50 % ein; die Krautschicht ist mehr oder minder geschlossen.
Dichtes Nadel-Laub-Gebüsch (TS)	Analoge Artenzusammensetzung wie bei dem lückigen Gebüschtyp; Deckungsgrad der Strauchschicht ist jedoch > 50 %; die Krautschicht ist ebenfalls mehr oder minder geschlossen.
Kiefernwald (TS)	Der Vegetationstyp wird von der Wald-Kiefer dominiert, eingestreut mit Bergspirke ( <i>Pinus uncinata</i> ). Der Deckungsgrad der Krautschicht beträgt an die 100 % (RINGLER 2015, SPEER 1977).

Als weitere Waldgesellschaften wurden der Hartholzauwald, der Hartholzauwald mit Fichte und der Fichtenwald aufgenommen (Tabelle 5).

**Tabelle 5:** Kartierschlüssel für die weiteren Waldgesellschaften (nach MAIER 2017).

Weitere Waldgesellschaften	Kurzbeschreibung
Hartholzauwald	Der Vegetationstyp wird von der Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) und der Berg-Ulme ( <i>Ulmus glabra</i> ) dominiert. Die Fichte nimmt < 20 % ein.
Hartholzauwald mit Fichte	Der Hartholzauwald weist einen Fichtenanteil von 20–50 % auf.
Fichtenwald	Waldflächen mit einem Fichtenanteil von > 50 %.

Als sonstige Flächen berücksichtigt der Kartierschlüssel Wirtschaftswiesen und Infrastruktur (Tabelle 6). Detaillierte Informationen über den Kartierschlüssel sind in MAIER (2017) zu finden.

**Tabelle 6:** Kartierschlüssel für sonstige Flächen (nach MAIER 2017).

Sonstige Flächen	Kurzbeschreibung
Wirtschaftswiesen	Landwirtschaftlich genutzte Grünlandflächen
Infrastruktur	Zu dieser Kategorie zählen Straßen und Siedlungen

## 2.2 Vegetationsanalyse

Mit Hilfe von ArcGIS (ESRI 2016) werden Flächenbilanzen der verschiedenen Vegetationstypen für die einzelnen Abschnitte erstellt und die Verteilung der Vegetation in den einzelnen Abschnitten räumlich dargestellt. Darüber hinaus wurde anhand einer Klassifizierung der Vegetationstypen eine Analyse der Altersstadien durchgeführt (Tabelle 7; Infrastruktur und Wirtschaftswiesen blieben bei der Altersanalyse unberücksichtigt).

**Tabelle 7:** Klassifizierung der Vegetationstypen in drei Altersstadien.

Altersstadien	Vegetationstypen
Pionierstadien	Vegetationslose Sand- und Schotterflächen, Pionierfluren, Magerrasen und Zwergstrauchheide
Gebüschstadien	Lückiges und dichtes Nadel-Laub-Gebüsch, lückiges und dichtes Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch
Waldstadien	Lavendelweidenwald und Grauerlenwald, Weiden-Fichten-Wald, Kiefernwald, Hartholzauwald, Hartholzauwald mit Fichte, Fichtenwald

## 2.3 Grundwasser und Veränderung der Gewässersohle

Die Veränderung des Grundwasserflurabstands und der Gewässersohle der Isar wurden anhand von Pegeldaten (LfU-BAYERN 2018) und Gewässersohlendaten des LfU-BAYERN (2016) für die Abschnitte analysiert. Dabei wurden die Daten für die hydrologischen Jahre von Beginn der Messreihe bis zum Ende des hydrologischen Jahres 2018 herangezogen. Mittels des Spearman-Rang-Korrelationsstests wurde der statistisch signifikante Zusammenhang zwischen dem Grundwasserflurabstand und der zeitlichen Entwicklung untersucht.

## 2.4 Überflutungseinfluss, Morphodynamik und Abgrenzung der Flussaue

Um den Überflutungseinfluss auf die Aue zu bestimmen, wurde der WMS-Layer Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahren des LfU-Bayern aus dem Jahre 2013 (LfU-BAYERN 2013) für den HQ100-Bereich herangezogen. Anschließend wurde dieser mit der Abgrenzung der morphologischen Aue in ArcGIS verschnitten und die prozentuale Überflutung der einzelnen Vegetationstypen bestimmt. Die morphologische Aue wurde flussauf des Sylvensteinspeichers mittels des digitalen Geländemodells DGM10 des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie abgegrenzt. Flussab des Sylvensteinspeichers wurde die Abgrenzung von BRUNOTTE et al. (2009) übernommen.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Aktuelle Vegetation

Im folgenden Kapitel werden das Vorkommen und der Flächenanteil der Vegetationstypen beschrieben und in Form von Karten (Abb. 7) vorgestellt.

Der Abschnitt AS1 erstreckt sich vom Krüner Wehr bis zur Mündung des Kaltwassergrabens in die Isar bei Wallgau. In Flussnähe dominieren Pionier- und Schotterflächen (11 %) und das lückige Nadel-Laub-Gebüsch (10,2 %). Am östlichen Rand der Aue dominieren Kiefernwälder (16 %) und Fichtenwälder (14,0 %), während westlich vor allem Wirtschaftswiesen (21 %) und Infrastruktur vorkommen.

Der Abschnitt AS2 erstreckt sich von Wallgau bis zur Mündung des Reißbachs in die Isar. Die Isar weist hier einen verzweigten Flusslauf auf, in dessen unmittelbarer Nähe vor allem Pionier- und Schotterflächen (13 %) liegen, auf welche ein dichter Gebüschbestand folgt. Dieser setzt sich aus lückigem (15 %) und dichtem Nadel-Laub-Gebüsch (11 %) sowie lückigem (8 %) und dichtem Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch (6 %) zusammen, welches am Rand der Aue durch Fichtenwälder (16 %) und Kiefernwälder (7 %) begleitet wird.

Der Abschnitt AS3 beginnt nach der Mündung des Reißbachs und endet im Einflussgebiet der Geschiebeentnahmestelle. Deutlich dominieren über die komplette Breite der Aue die Pionier- und Schotterflächen (41 %). In der Gebüschphase treten vor allem lückiges Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch (11 %) sowie dichtes Nadel-Laub-Gebüsch (9 %) auf. Der Rand der Aue wird von Kiefernwald (10 %) und Fichtenwald (8 %) gesäumt.

Der Abschnitt GS beinhaltet die Geschiebeentnahmestelle sowie den verbleibenden Verlauf der Isar bis zur Stauwurzel des Sylvensteinspeichers. Die Pionier- und Schotterflächen (7 %) kommen nur in unmittelbarer Nähe des Flusslaufes vor. Stattdessen dominiert der Lavendelweidenwald und Grauerlenwald (21 %), welcher deutlich größere Flächen einnimmt als das dichte Weiden-Tamarisken-Gebüsch (9 %), das den Gebüschbestand prägt. Der Rand der Aue wird durch den Fichtenwald (34 %) dominiert, dessen Bestand im Norden sehr weit in die Aue hineinreicht.

Der Abschnitt RS1 beginnt nach dem Sylvensteinspeicher und reicht bis Hohenreuth, wo die Jachen in die Isar mündet. In diesem Abschnitt treten Pionier- und Schotterflächen (2 %) nur noch als schmaler Saum entlang des Flusslaufes auf. Der Gebüschbestand wird hauptsächlich vom lückigen Nadel-Laub-Gebüsch (13,5 %) gebildet und stellt neben dem Kiefernwald (29 %) den dominierenden Vegetationstyp dar. Als neuer Vegetationstyp tritt der Hartholzauwald mit Fichte (12 %) verstärkt auf, der ebenso wie die Wirtschaftswiesen (14 %) vor allem am Rand der Aue liegt.

Der Abschnitt RS2 beinhaltet das restliche Untersuchungsgebiet und reicht bis zur Brücke in Bad Tölz. Die Pionier- und Schotterflächen (1 %) bilden nur einen schmalen Saum entlang des Gewässers, und auch das lückige Nadel-Laub-Gebüsch (6 %) ist weniger stark ausgeprägt. Die flussnahen Auenbereiche werden vorwiegend von Hartholzauwald (16 %) eingenommen, der gegenüber dem Kiefernwald (5 %) dominiert. Am Rand der Aue sind vor allem Wirtschaftswiesen (25 %) und Infrastrukturflächen (33 %) sehr stark ausgeprägt.

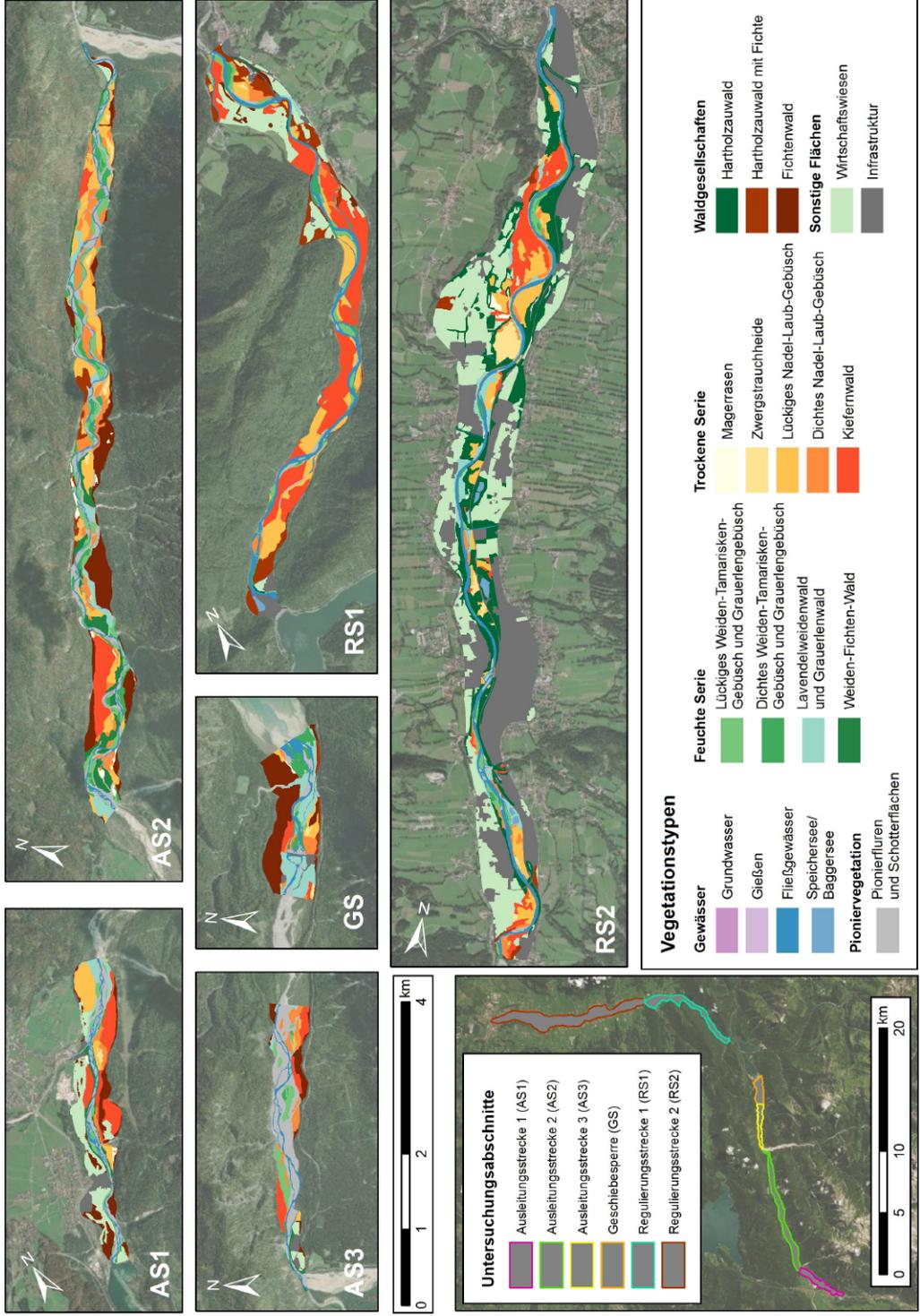


Abb. 7: Vegetationskartierung der einzelnen Untersuchungsabschnitte (verändert nach MAIER 2017).

Die drei ausgewiesenen Altersstadien spiegeln den Fortschritt der Sukzession wider bzw. sind ein Indikator im Hinblick auf die Flussdynamik, die infolge der Eingriffe in einigen Untersuchungsabschnitten reduziert wurde (Abb. 8). So überwiegen im Abschnitt AS1 deutlich die Waldstadien (65 %), während den Abschnitt AS2 die Gebüschstadien (44 %) und Abschnitt AS3 die Pionierstadien (47,6 %) beherrschen. Im Abschnitt GS dominieren die Waldstadien (70 %). Flussab der Talsperre des Sylvensteinspeichers überwiegen die Waldstadien in Abschnitt RS1 (64 %) und Abschnitt RS2 (68 %). Im Gegenzug sind die Pionierstadien – insbesondere im Vergleich zum naturnächsten Abschnitt AS3 – deutlich reduziert.

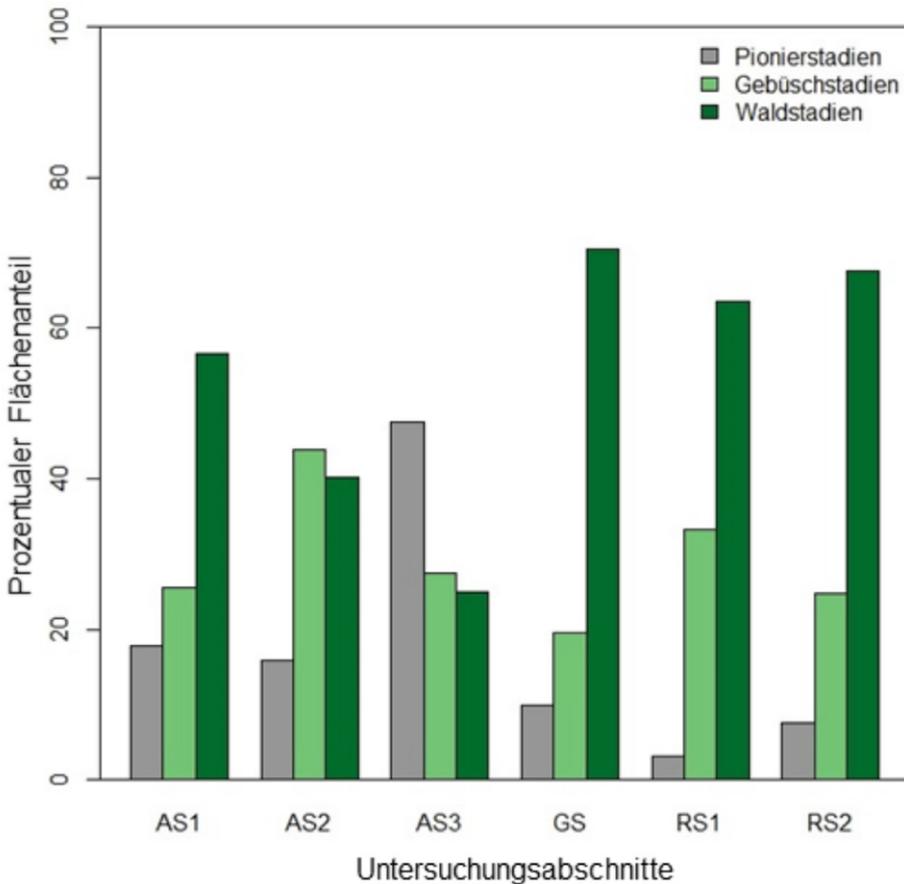
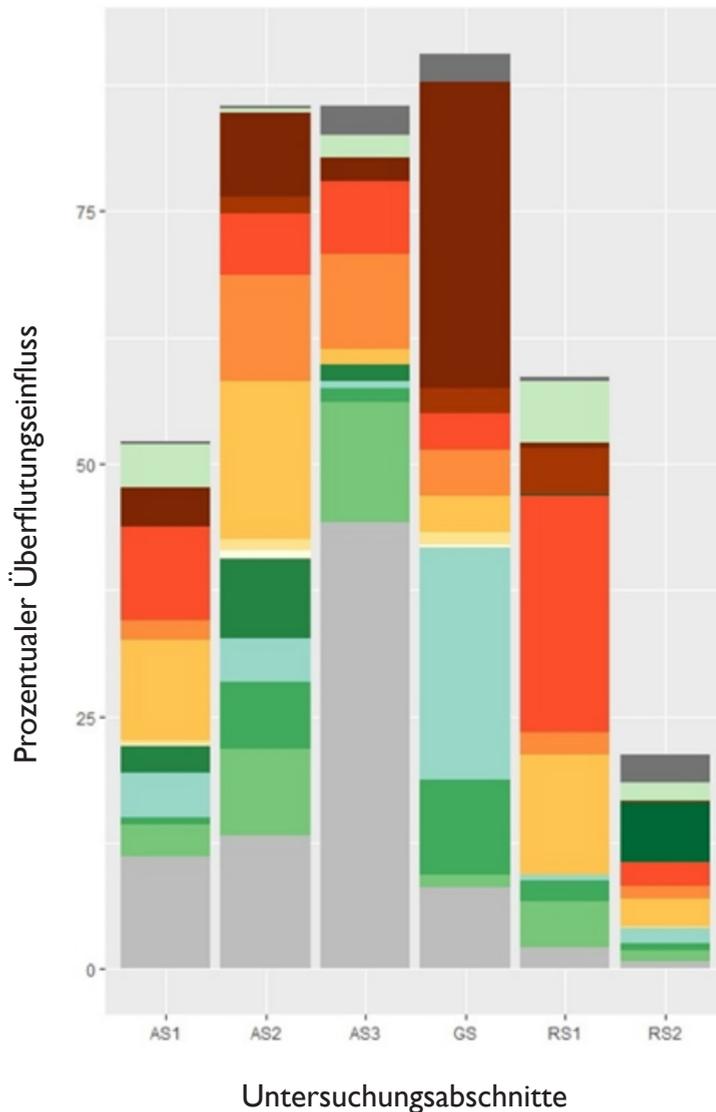


Abb. 8: Prozentualer Flächenanteil der verschiedenen Altersstadien und ihrer Vegetationstypen (MAIER 2017).

### 3.2 Überflutungseinfluss

In Abschnitt AS1 zwischen Krüner Wehr und Wallgau wird die Aue bei einem HQ100 (ein statistisch 100-jährliches Hochwasser) nur noch zu 52 % überflutet (Abb. 9). Kaum von Überflutungen betroffen sind dabei die flussferneren Wirtschaftswiesen und Infrastrukturfächen, die einen großen Teil der Auenflächen ausmachen. Aber auch Magerrasen und Fichtenwald werden nur geringfügig überflutet (Tabelle 8).



### Überflutungseinfluss

#### Pionierv egetation

Pionierfluren und Schotterflächen

#### Feuchte Serie

- Lückiges Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch
- Dichtes Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch
- Lavendelweidenwald und Grauerlenwald
- Weiden-Fichten-Wald

#### Trockene Serie

- Magerrasen
- Zwergstrauchheide
- Lückiges Nadel-Laub-Gebüsch
- Dichtes Nadel-Laub-Gebüsch
- Kiefernwald

#### Waldgesellschaften

- Hartholzauwald
- Hartholzauwald mit Fichte
- Fichtenwald

#### Sonstige Flächen

- Wirtschaftswiesen
- Infrastruktur

Abb. 9: Prozentualer Anteil der Überflutungsflächen pro Untersuchungsabschnitt für ein HQ100 und deren überfluteter Vegetationsanteil (MAIER 2017).

**Tabelle 8:** Prozentual überflutete Fläche (HQ100) der einzelnen Vegetationstypen und die morphologische Aue für die verschiedenen Untersuchungsabschnitte (-: kein Vorkommen im jeweiligem Untersuchungsabschnitt) (verändert nach MAIER 2017).

<b>Vegetationstyp</b>	<b>AS1</b> (%)	<b>AS2</b> (%)	<b>AS3</b> (%)	<b>GS</b> (%)	<b>RS1</b> (%)	<b>RS2</b> (%)	<b>Gesamt- gebiet</b> (%)
Pionier- und Schotterflächen	99	98	100	100	100	98	99
Lückiges Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch	93	96	100	100	98	98	97
Dichtes Weiden-Tamarisken-Gebüsch und Grauerlengebüsch	88	96	93	100	90	98	96
Lavendelweidenwald und Grauerlenwald	95	97	61	98	74	56	83
Weiden-Fichten-Wald	75	95	96	-	-	-	92
Magerrasen	30	66	-	100	-	5	42
Zwergstrauchheide	61	100	-	100	29	11	33
Lückiges Nadel-Laub-Gebüsch	92	95	83	100	79	46	76
Dichtes Nadel-Laub-Gebüsch	67	94	93	99	69	68	85
Kiefernwald	56	87	63	100	71	44	65
Hartholzauwald	-	-	-	-	30	35	35
Hartholzauwald mit Fichte	-	63	-	78	36	13	40
Fichtenwald	26	48	26	81	30	-	52
Wirtschaftswiesen	19	99	62	-	34	7	14
Infrastruktur	4	46	87	75	8	8	10
<b>Gesamt – Morphologische Aue</b>	<b>52</b>	<b>85</b>	<b>85</b>	<b>91</b>	<b>59</b>	<b>21</b>	<b>49</b>

In den Abschnitten AS2, AS3 und GS wird die morphologische Aue fast auf ihrer gesamten Breite überflutet. Unterhalb des Sylvensteinspeichers in den Abschnitten RS1 und RS2 ist mit 59 % bzw. 21 % der Überflutungsanteil geringer.

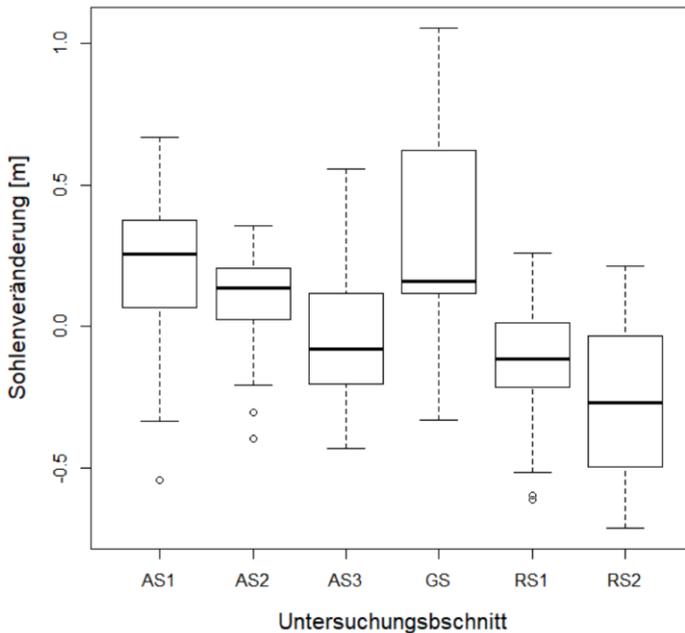
Die sehr jungen Pionierstadien sowie die jüngeren Gebüschstadien werden in fast allen Abschnitten von großen Hochwasserereignissen (HQ100) flächendeckend erfasst. Etwas ältere Sukzessionsstadien wie naturnahe Lavendel- und Grauerlenwälder liegen in einzelnen Flussabschnitten teilweise etwas außerhalb des HQ100-Überflutungsbereiches. Im Gegensatz dazu kommen in den Flächen der morphologischen Aue, welche mittlerweile außerhalb des Überflutungsbereiches liegen und seit Jahrzehnten keiner Flusssynamik unterliegen, nahezu ausschließlich ältere Sukzessionsphasen wie Hartholz- und Kiefernwälder oder durch menschliche Nutzung überprägte Typen wie Fichtenwälder, Wirtschaftswiesen und Infrastruktur vor.

### 3.3 Veränderung der Gewässersohle

In den einzelnen Abschnitten hat sich die Gewässersohle unterschiedlich verändert. Neben der mittleren Veränderung der Gewässersohle sind in Tabelle 9 und Abb. 10 die Schwankungsbreiten zwischen maximaler Anlandung und Eintiefung dargestellt.

**Tabelle 9:** Statistische Kennwerte (mittlere Veränderung, maximale Anlandung und maximale Eintiefung) bezüglich der Veränderung der Gewässersohle in den einzelnen Untersuchungsabschnitten für die jeweiligen Zeiträume (positive Werte...Anlandung; negative Werte...Sohleintiefung; Daten: LFU-BAYERN 2016).

Untersuchungsabschnitt (Untersuchungszeitraum)	Mittlere Veränderung der Gewässersohle (cm)	Anlandungsmaximum (cm)	Eintiefungsmaximum (cm)
AS1 (1981–2012)	19,4	66,9	-54,4
AS2 (1981–2012)	10,3	35,7	-39,7
AS3 (1981–2012)	-3,2	55,7	-43,3
GS (1983–2005)	31,8	1,06	-33,2
RS1 (1969–2014)	-12,7	26,0	-61,5
RS2 (1969–2014)	-26,3	21,5	-71,5



**Abb. 10:** Veränderung der Gewässersohle in den einzelnen Untersuchungsabschnitten zwischen 1981 und 2012 (Abschnitt AS1-3), 1983 und 2005 (Abschnitt GS) und 1969 bis 2014 (Abschnitt RS1-2) (Daten: LFU-BAYERN 2016).

In Abschnitt AS1 ist die Sohle im Mittel um 19,4 cm angelandet. Vor allem nach Hochwässern kommt es zur Anlandung von Geschiebe in Höhe Steg Wallgau. Damit wird der oberflächige Abfluss unterbrochen. Über den gesamten Abschnitt ist eine starke Schwankungsbreite zwischen Anlandung und Eintiefung vorhanden. In Abschnitt AS2 landet die Gewässersohle im Mittel um 10,3 cm an. Die Schwankungsbreite ist weniger stark ausgeprägt als noch in Abschnitt AS1.

Nach der Einmündung des Rißbaches (Abschnitt AS3) liegt im Mittel mit 3,2 cm Eintiefung nahezu keine Veränderung der Gewässersohle vor. Dennoch sind auch hier stärkere Schwankungen in der Gewässersohle zu finden. In Abschnitt GS überwiegt im Mittel die Anlandung mit 32 cm. In diesem Abschnitt sind in vereinzelt Bereichen besonders starke Anlandungen festzustellen. Flussab des Sylvensteinspeichers in Abschnitt RS1 überwiegt im Mittel mit 13 cm die Eintiefung; ebenso in Abschnitt RS2 mit 26 cm. In beiden Abschnitten sind Bereiche mit besonders starken Eintiefungen zu finden.

Zwischen den Jahren 1959 und 1968 kam es flussab des Speichers zu einer durchschnittlichen Eintiefung von einem halben Meter (SPEER 1977). In den nächsten zehn Jahren bis 1979 tiefte sich die Sohle in Abschnitt RS2 nochmals um 10,3 cm ein. Zusammen mit den 26 cm Eintiefung seit 1979 ergibt sich für Abschnitt RS2 eine durchschnittliche Eintiefung von 86,6 cm seit dem Bau des Sylvensteinspeichers. Für Abschnitt RS1 ergibt sich unter der Annahme, dass die Eintiefung zwischen 1969 und 1979 gleich stark war wie in Abschnitt RS2, seit dem Bau des Sylvensteinspeichers eine Eintiefung von 73 cm.

Es kam aber auch vor dem Bau des Sylvensteinspeichers bereits zur Eintiefung der Gewässersohle flussab der Talsperre. Nach SPEER (1977) veränderte sich die Gewässersohle der Isar zwischen 1911 und 1919 nicht. Allerdings tiefte sich die Gewässersohle durch die Korrektionsbauten zwischen 1919 und 1949 um 1,90 m ein (SPEER 1977).

### 3.4 Grundwasser

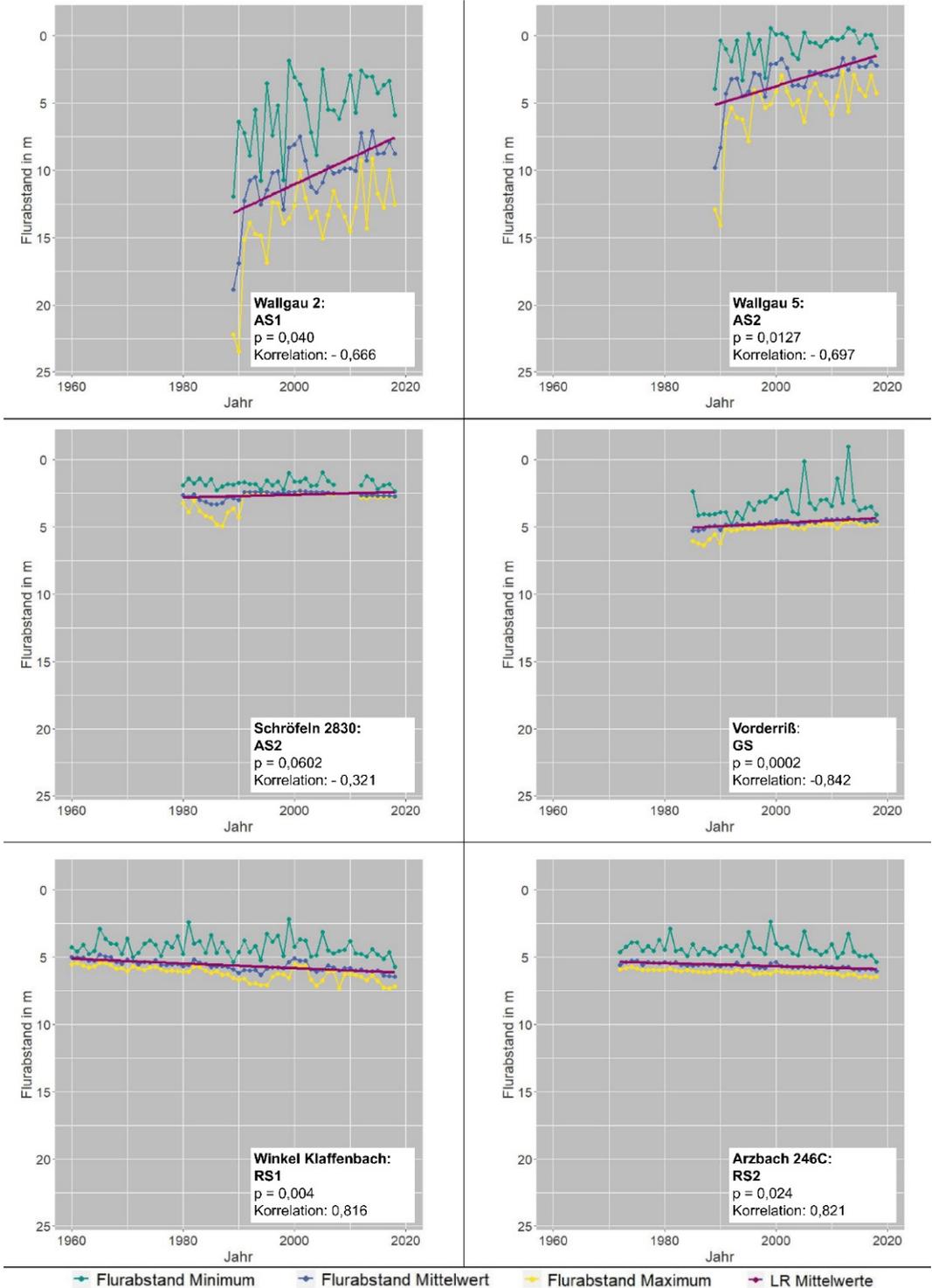
Es gibt deutliche Unterschiede der Flurabstände und Schwankungsbereiche des Grundwassers sowie der Entwicklungstrends im Laufe der vergangenen zwei Jahrzehnte zwischen den beiden naturnahen Untersuchungsabschnitten außerhalb des Einflussbereichs des Sylvensteinspeichers (AS1, AS2) und den Abschnitten, die durch den Speicher beeinflusst oder reguliert sind (GS, RS1, RS2) (Abb. 11).

In Abschnitt AS1 liegt der Grundwasserpegel Wallgau 2. Seit Beginn der 1990er Jahre nahm der Grundwasserflurabstand von 18,9 m im Mittel auf 8,77 m im Jahre 2018 ab; hier wurde die Rückleitung bzw. das Restwasser wirksam. Über die vergangenen Jahre schwankt der Grundwasserflurabstand mit einer Spannweite von etwa 2 m um diesen Wert.

Am Beginn von Abschnitt AS2 liegt der Grundwasserpegel Wallgau 5. Dessen Flurabstand nimmt ebenfalls zu Beginn der 1990er Jahre im Mittel von 9,84 m auf 2,23 m im Jahre 2018 stark ab. Der Grundwasserpegel weist eine geringe Schwankungsbreite in den letzten Jahren von ca. 0,5 m auf. Ebenfalls in Abschnitt AS2, noch vor der Mündung des Reißbachs in die Isar, liegt der Grundwasserpegel Schroefeln 2830. Die gemittelten Jahreswerte schwanken an dem Grundwasserpegel mit einer geringen Schwankungsbreite zwischen 2,3 m im Jahr 2001 und 3,33 m in den Jahren 1985 und 1986. In der Mitte des Abschnitts AS3 auf Höhe Speibenkäs bzw. Prinzregentenbad liegt rechtsufrig der Grundwasserpegel Vorderriß. Der Flurabstand weist an dem Grundwasserpegel eine geringe Schwankung über die Jahre auf. Die gemittelten Jahreswerte liegen zwischen 4,31 m (2013) und 5,28 m (1986). Deutlich im Verlauf des minimalen Flurabstandes sind die Hochwasserjahre 2005 und 2013 zu erkennen.

In Abschnitt RS1 befindet sich der Grundwasserpegel Winkel Klaffenbach 246 A2. An diesem Grundwasserpegel ist über die Jahre eine Zunahme der gemittelten Jahreswerte beim Flurabstand festzustellen (Abb. 11). 1956, zu Beginn der Messreihe, betrug der Flurabstand noch 4,75 m, während es 2018 6,45 m waren. In Abschnitt RS2 befindet sich kurz vor Bad Tölz der Grundwasserpegel Arzbach 246C. Der Flurabstand schwankt seit 1972 mit einer geringen Schwankungsbreite zwischen 5,26 m (1975) und 6,06 m (2018). Generell ist eine leichte Zunahme des Grundwasserflurabstandes über den Zeitraum festzustellen.

Der Grundwasserpegel Schröfeln ist der einzige der sechs Grundwasserpegel, welcher keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Zeit und Flurabstand aufweist. Die restlichen Grundwasserpegel zeigen eine signifikante Korrelation zwischen 0,67 und 0,84 (Abb. 11).



**Abb. 11:** Maximum, Minimum und Mittelwert mit Linearer Regression (LR) des Grundwasserflurabstandes über mehrere hydrologische Jahre für sechs verschiedene Grundwasserpegel im Untersuchungsgebiet unter Angabe von Korrelation zwischen Jahr und Flurabstand und der Signifikanz (Daten: LFU-BAYERN 2018).

### 3.5 Sedimenthaushalt

Das Krüner Wehr stellte eine Geschiebesperre für die Abschnitte AS1 und AS2 dar. Daher wurde bereits 1930 ein geschüttetes Geschiebeleitwerk installiert (HANS SCHANDERL 2021, mündliche Mitteilung) und 1955 durch feste Dämme ersetzt, mit dessen Hilfe Geschiebe mobilisiert und gespült werden kann (REICH et al. 2008, SCHAIPP & ZEHEM 2009, BINDER et al. 2011, POSCHLOD 2016). Dennoch müssen jährlich erhebliche Mengen Geschiebe, das aufgrund der reduzierten Transportkapazität flussab des Wehrs anlandet, ausgebaggert werden, um eine Auflandung der Sohle zu verhindern und den Hochwasserschutz zu gewährleisten (BILL 2001, POSCHLOD 2016 nach KARL et al. 1977). Seit 2004 wurden in Summe c. 290.000 m<sup>3</sup> ausgebaggert (mündliche Auskunft WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM, 01.09.2021). Das im Jahr 2014 entnommene Geschiebe von fast 45.000 m<sup>3</sup> wurde dem Flussbett der Isar wieder zugeführt (schriftliche Auskunft WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM 2015). Auch an der Mündung des Reißbachs (Abschnitt AS3) wird immer wieder Geschiebe aus Gründen des Hochwasserschutzes entnommen. Im Jahre 2002 und im Jahre 2009 wurden dem Flussbett jeweils ca. 15.000 m<sup>3</sup> bzw. 13.000 m<sup>3</sup> Geschiebe entnommen, wobei die Entnahme aus dem Jahre 2009 dem Flussbett wieder zugeführt wurde (Auskunft WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM 2015).

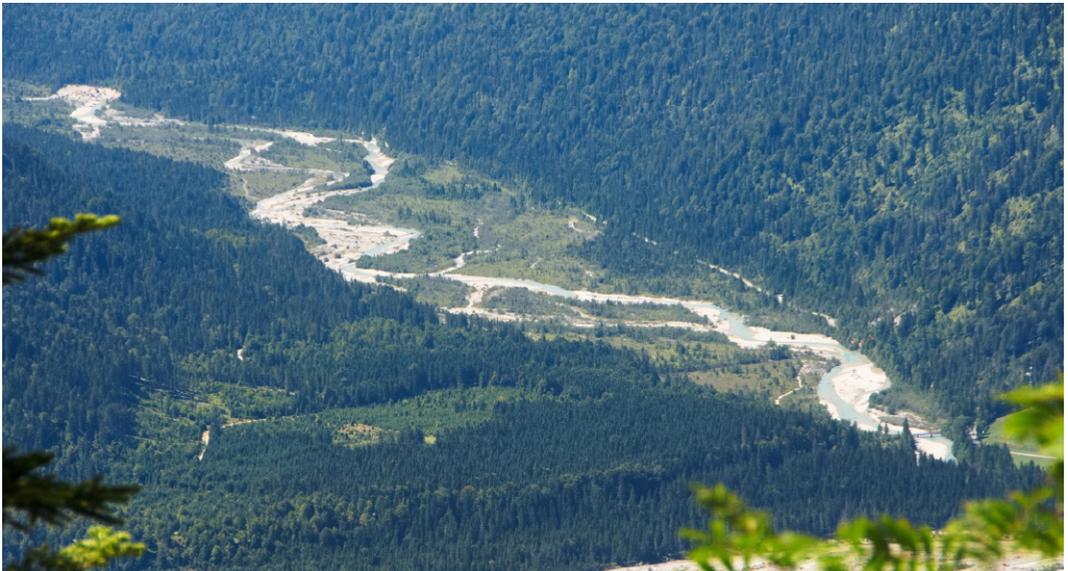
Den größten Eingriff an der Oberen Isar in den Sedimenthaushalt stellt der Sylvensteinspeicher dar. Geschiebeeinträge in den Speicher kommen über die Isar, die Dürrach und die Walchen (Ausfluss des Achensees). Ohne den Geschiebedamm Isar (1965), ohne den vor einigen Jahren geschütteten Damm an der Dürrach und ohne die Ausbaggerungen in Tirol vor der Walchenklamm würde der See relativ rasch verlanden. Eingriffe in den Sedimenthaushalt finden ebenfalls in Abschnitt GS, der Geschiebeentnahmestelle vor dem Sylvensteinspeicher, statt. Seit 1978 wurden jährlich im Durchschnitt ca. 80.000 m<sup>3</sup> Sediment dem Flussbett der Isar entnommen, um ein Verlanden des Sylvensteinspeichers zu verhindern. In einzelnen Jahren kann es jedoch aufgrund von einem besonders hohen Geschiebetransport, wie z. B. 2019 ausgelöst durch eine langanhaltende und wasserreiche Schneeschmelze, auch 185.000 m<sup>3</sup> betragen (Auskunft WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM 2020). Seit 2016 werden im Durchschnitt 20.000 m<sup>3</sup>/a Geschiebe flussab des Speichers der Isar wieder zugeführt. Die Zugabe erfolgt an vier verschiedenen Standorten unterhalb des Speichers und variiert je nach Ausmaß der Hochwasserereignisse. Zusätzlich wurde 2007 eine Geschiebedosiersperre anstelle der Geschieberückhaltesperre am Steinbach gebaut (WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM 2018). Eine aktualisierte und detaillierte Dokumentation der Geschiebebewirtschaftung an der Isar kann der Homepage des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim entnommen werden ([https://www.wwa-wm.bayern.de/fluesse\\_seen/massnahmen/geschiebemanagement\\_isar/index.htm](https://www.wwa-wm.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/geschiebemanagement_isar/index.htm)). Um das Geschiebedefizit flussab des Speichers für die Abschnitte RS1 und RS2 bestimmen zu können, muss berücksichtigt werden, dass zusätzlich Geschiebe im Speicher abgelagert wird. Zudem erhöht die Verbauung von ehemals geschiebeführenden Wildbächen das Defizit entscheidend.

## 4. Diskussion

### 4.1 Vegetationsökologische und hydromorphologische Auswirkungen

#### Walchenseekraftwerk:

Infolge des am Krüner Wehr zurückgehaltenen Geschiebes bzw. der regelmäßig durchgeführten und umfangreichen Geschiebeentnahmen flussab des Wehrs ist die Morphodynamik bis zur Einmündung des Rißbachs deutlich reduziert (SCHEURMANN 1998a, REICH et al. 2008, REICH & RETHSCHULTE 2021). Zudem wird bei Spülungen am Krüner Wehr durch Sortierungsprozesse vor der Staumauer ein hoher Feinsediment-Anteil in das Flussbett flussab verlagert (SCHAIPP & ZEHEM 2009). Auch wenn eine reduzierte Hochwasserdynamik gegeben und die Strecke mit Ausnahme lokaler Ufersicherungen weitestgehend unverbaut ist, so führt das Geschiebedefizit zu einer verringerten Zerstörung der Ufervegetation, wodurch sich diese verstärkt in Richtung Weiden-Grauerlen- (frische Standorte) bzw. Kiefernauwälder (trockene Standorte) entwickelten. Der erhöhte Feinsediment-Anteil verbessert zudem den Bodenwasserhaushalt und begünstigt zusammen mit dem erhöhten Grundwasserstand durch die vorgeschriebene Mindestwassermenge das Aufwachsen von dichten, mehrere Meter hohen Weidengebüschen (REICH et al. 2008). REICH & RETHSCHULTE (2021) zeigen deutlich, dass die Schluffablagerungen die Ausprägung des dichten Weidengebüschs massiv begünstigt. Dies führt zu einer weitestgehenden Festlegung der Isar auf einen bis wenige Gewässerläufe, bei denen Umlagerungen nur noch im nahen Gewässerumfeld stattfinden. Dies reduziert den Flächenanteil vegetationsloser Schotterfluren, Pionierfluren und Uferpioniergebüsche deutlich (Abb. 12). Dies führt auch zu einem kontinuierlichen Flächenverlust und Verschlechterung des Erhaltungszustands von FFH-Lebensraumtyp 3230 (REICH & RETHSCHULTE 2021).



**Abb. 12:** Ende des Abschnitts AS2 vor Einmündung des Rißbachs in die Isar (am unteren Fotorand). Durch die herabgesetzte Dynamik ist der Anteil vegetationsloser Schotter- und Pionierfluren reduziert und der Großteil der Aue ist vegetationsbedeckt (Foto: I. Becker, 2018).

## Sylvensteinspeicher:

Die Errichtung der Talsperre und die Bewirtschaftung des Sylvensteinspeichers haben zum einen unmittelbar durch den Einstau zu einem unwiederbringlichen Verlust der über 4,5 km langen und mit Ausnahme des schmäleren Abschnittes auf Höhe der Ortschaft Fall zwischen 250 und 700 m breiten Wildflusslandschaft geführt (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG 2020).

Flussauf der Geschiebevorsperre finden laufend Geschiebebaggerungen statt. Dazu kommt, dass der Stausee-nahe Bereich durch den Rückstau aus dem Sylvensteinspeicher geprägt wird. Auch wenn noch ein relativ hoher Anteil an wildflussspezifischen Gebüsch- und Auwaldphasen vorhanden ist, so zeigt der geringe Anteil an offenen Initial- und Pionierfluren die reduzierte natürliche Flussdynamik. Zudem macht sich der relativ hohe direkte anthropogene Einfluss in einem erhöhten Aufkommen von standortsfremden Fichtenwäldern bemerkbar.

Der Isarabschnitt flussab der Talsperre ist durch deutlich reduzierte Abflussverhältnisse bzw. Hochwasserwiederkehr (JERZ et al. 1986) mit enormer Absenkung des Grundwasserstandes sowie einer enormen Flussbetteintiefung von mehr als 2 m geprägt. Auslöser dafür waren zum einen das Geschiebedefizit unmittelbar flussab des Sylvensteinspeichers (Abb. 13) und zum anderen auch die ab Winkl durchgeführte Regulierung des Isarlaufes vor 100 bis 70 Jahren (siehe folgenden Diskussionspunkt). Darüber hinaus trägt der abnehmende Schwebstoffanteil durch den Sylvensteinspeicher in hochwasserarmen Zeiten ebenfalls zur Grundwasserabsenkung bei, da das Gewässerbett nicht mehr vollständig abgedichtet wird (SPEER 1977). Entsprechend der stark reduzierten Flussdynamik werden die Lebensräume von trockenheitsangepassten und in der Sukzession bereits weit fortgeschrittenen Kiefernwäldern großflächig geprägt (JERZ et al. 1986). Die für die ehemalige Wildflusslandschaft typischen Pionierlebensräume sind nahezu vollständig verschwunden.



**Abb. 13:** Blick vom Sylvensteinspeicher flussauf auf die vorgelagerte Geschiebevorsperre im Abschnitt GS (Foto: F. Speer, 2013).

## Flussregulierung:

Die bereits 1913 bis 1938 durchgeführten Flussregulierungen flussab von Winkl führten bereits vor dem Bau des Sylvensteinspeicher zum weitgehenden Verlust der Wildflusslandschaft. Der Flusslauf wurde fixiert und auf einen Hauptarm reduziert, das Flussbett eingengt und massiv eingetieft (SPEER 1977; Abb. 14). Durch den Betrieb des Sylvensteinspeichers und des damit verbundenen Geschiebedefizits ist die Tiefenerosion zusätzlich verstärkt worden. Fluss und Auen sind durch diese Eingriffe überwiegend getrennt. Die einmündende Jachen bringt kaum noch Geschiebe. Sie wurde vorrangig durch die Große Laine mit Geschiebe gespeist, dieses wird dort zurückgehalten.



Abb. 14: Die regulierte Isar mit den trocken gefallen Isarauen südlich von Lenggries (Foto: F. Speer, 2013).

## 4.2 Renaturierungspotential

### Abschnitt Krüner Wehr – Einmündung Rißbach:

Trotz der bestehenden ökologischen Defizite sind in diesem Flussabschnitt nach wie vor alle wesentlichen Lebensräume einer Wildflusslandschaft vorhanden und auch die ökologisch extrem sensible Wildfluss-Indikatorart, die Deutsche Tamariske (*Myricaria germanica*), ist noch häufig vorzufinden (JUSZCZYK 2017, MÜLLER et al. 2019, REICH & RETHSCHULTE 2021). Der Lebensraumtyp 3230 „Alpine Flüsse mit Ufergehölzen mit Deutscher Tamariske“ ist jedoch nach REICH & RETHSCHULTE (2021) auf großen Strecken stark rückläufig, weshalb der Erhaltungszustand als kritisch zu bewerten ist. Der Abschnitt zwischen Krüner Wehr und Rißbachmündung kann dennoch in Summe als naturnah eingestuft werden. Um den negativen Entwicklungstrend zu stoppen, wurden einzelne Maßnahmen zur Initiierung von Seitenerosion und Umlagerungen entworfen (REICH et al. 2008) und bereits begonnen umzusetzen (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016). Allerdings muss im

Zusammenhang mit der Neukonzessionierung des Walchensee-Kraftwerks (ab 2030), unter gleichzeitiger Beachtung der Vorgaben der WRRL und der betroffenen Natura 2000-Gebiete, und der damit verbundenen Ausleitung am Krüner Wehr eine dem hohen Entwicklungspotenzial entsprechende Lösung der Wasserentnahme und der Eingriffe in den Geschiebehalt gefunden werden (JUSZCZYK et al. 2020). Zentrales Ziel ist dabei die (Re-) Mobilisierung des Geschiebes in der Strecke und damit eine Erhöhung der Morphodynamik (REICH & RETHSCHULTE 2021). Voraussetzung dafür ist auch ein vollständiger Weitertransport des Geschiebes in der regulierten Strecke von Wallgau bis zum Isarsteg. In diesem Abschnitt bleiben derzeit bedeutende Geschiebemengen liegen, welche aus Hochwasserschutzgründen laufend entnommen werden müssen und damit dem flussab gelegenen Abschnitt fehlen. Allerdings ist aufgrund der verstärkten Vegetationsentwicklung und einer damit eingetretenen Substratstabilisierung in der Ausleitungsstrecke zu prüfen, wo und in welchem Ausmaß eine Entfernung der Vegetation und Schaffung offener Pionierflächen Voraussetzung für eine verstärkte Substratmobilisierung ist. Über eine Erhöhung der regressiven Sukzessionsprozesse wird die Vegetationsentwicklung in Richtung jüngerer Pionierphasen gefördert. Schlüsselrolle spielt der Einfluss von kleineren, aber häufiger auftretenden bettbildenden, Hochwässern. Entscheidend ist, dass die Steuerung der Wehranlagen des Walchensee-Kraftwerkssystems so ausgelegt werden muss, dass der Geschiebetransport in der Ausleitungsstrecke in vollem Umfang gegeben ist. Dabei wäre nicht nur auf eine rechtzeitige Schließung des Ausleitungskanals zu achten, sondern auch auf eine ausreichend lange Spülphase nach Abklingen der Hochwasserwelle (REICH et al. 2008, SCHAIPP & ZEHEM 2009, REICH & RETHSCHULTE 2021).

### **Einmündung Rißbach – Geschiebevorsperre Sylvensteinspeicher:**

Mit der Einmündung des Rißbaches (Abb. 16) ändern sich die hydromorphologischen Bedingungen an der Oberen Isar entscheidend. Die bereits seit 1858 dokumentierte Entwicklung dieses Abschnittes (REICH et al. 2008) zeigt trotz Ausleitung bis heute die für alpine Wildflusslandschaften charakteristische zeitlich-räumliche Verteilung der Lebensräume. Infolge der extrem hohen Morphodynamik, bedingt durch den Geschiebeeintrag des Rißbaches, sind die typischen Prozesse alpiner Flüsse in diesem Abschnitt weiterhin gegeben (JUSZCZYK et al. 2020). Es kommt zu einer ständigen Verlagerung von Seitenarmen. Die Vernetzung von Fluss und Aue ist in vollem Umfang gewährleistet. Auch die Überflutungsdynamik ist sehr hoch. Daher dominieren hier Initial- und junge Sukzessionsphasen, wie vegetationslose Schotterfluren, Pionierfluren und Pioniergebüsche. Zudem zeichnet sich der Abschnitt durch eine außerordentlich große und vitale Tamariskenpopulation aus (JUSZCZYK 2017). Der Isarabschnitt von der Rißbachmündung bis zur Geschiebevorsperre kann daher trotz Ausleitung zumindest aus vegetationsökologischer Sicht als naturnahe Referenz für die Wildflusslandschaften an der Oberen Isar herangezogen werden (Abb. 15).

→

#### **Abb. 15:**

Die Wildflusslandschaft der Isar flussab der Rißbachmündung bis zur Geschiebevorsperre (nicht mehr im Bild) flussauf des Sylvensteinspeichers kann durch die bestehende hohe Hydro- und Morphodynamik durch den einmündenden Rißbach als natürliche Referenz für die Obere Isar herangezogen werden (Foto: F. Speer, 1996).





**Abb. 16:** Die Mündung des Rißbachs in die Isar (re. unten) bei Vorderriß während dem abklingenden Hochwasser im Juni 2013. Der Rißbach ist ein wichtiger Geschiebelieferant der Oberen Isar und mitbestimmend für die Dynamik in den flussab liegenden Abschnitten (Foto: F. Speer, 19.6.2013).

### **Abschnitt Geschiebevorsperre bis zum Sylvensteinspeicher:**

Die im unmittelbaren Mündungsbereich infolge des Rückstaus des Sylvensteinspeichers erhöhte Flusssohle, der unverändert hohe Grundwasserstand und die im Zusammenhang damit sehr gute Vernetzung von Fluss, Ufer und Aue lassen ein hohes Renaturierungspotenzial ableiten. Es wäre zu prüfen, ob im unmittelbaren Mündungsbereich mit kontrollierter Geschiebezugabe zumindest teilweise eine naturnahe Entwicklung eines Flussdeltas zugelassen werden könnte.

### **Abschnitt flussab der Talsperre des Sylvensteinspeichers:**

Durch die infolge der Flussregulierung ausgelöste Flussbetteintiefung sowie durch Errichtung des Sylvensteinspeichers und der damit verbundenen Unterbrechung der Geschiebedurchgängigkeit ist flussab der Talsperre die Wiederherstellung einer funktional intakten Wildflusslandschaft historischen Ausmaßes nicht mehr möglich.

Die vom Wasserwirtschaftsamt Weilheim jährlich durchgeführten Geschiebezugaben sollen zu einer Sohlstabilisierung führen. Nachdem die Zugaben des 2016 überarbeiteten Geschiebemanagements im Mittel ca. ein Viertel der langjährigen mittleren jährlichen Geschiebeentnahmen flussauf des Sylvensteinspeichers betragen (20.000 m<sup>3</sup> von 80.000 m<sup>3</sup>, WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM 2018) ist bestenfalls eine Stabilisierung der Sohle auf tiefem Niveau gewährleistet – eine Anhebung

der Flusssohle und Wiederanbindung der Aue an den Fluss ist nicht möglich. Die aktuelle Aue ist in diesem Abschnitt weitgehend von der Flussdynamik abgeschnitten, die Uferpionierstandorte sind weitestgehend verschwunden und es hat sich in der Auenstufe eine entsprechend angepasste Vegetation der Trockenaue ausgebildet. Allerdings können durch die Entfernung der Ufersicherung und Aufweitung des Flussbettes morphodynamische Prozesse auf begrenzten Raum wieder initiiert werden. Diese Maßnahmen werden bereits in Teilabschnitten umgesetzt (siehe Abb. 17).



**Abb. 17:** Bei der Bibernühle Wackersberg südlich von Bad Tölz wurden 2018 die Ufersicherungen entfernt. Unmittelbares Ziel dieser Renaturierungsmaßnahmen ist eine Verbesserung der Fischhabitate. Darüber hinaus wird der Isar über eine Aktivierung der Seitenerosion wieder Geschiebe zugeführt, welches sich in den aufgeweiteten Abschnitten als Schotterbänke ablagert. Damit ist wiederum der Startpunkt für die Etablierung von Pioniervegetation und die daran anschließende Entwicklung der typischen nordalpinen Auenvegetation gegeben (Foto: F. Speer).

So zeigen die 1999 bis 2002 durchgeführten Revitalisierungen in der Restwasserstrecke der Wasserkraftanlage Mühlthal flussab des Untersuchungsgebietes (etwa 6 km flussabwärts der Loisachmündung bei Schäftlarn; Flusskilometer 165 bis 158), dass auch hier zumindest kurz- bis mittelfristig positive Entwicklungen möglich sind. Die Erhöhung des Restwassers, Geschiebezugaben sowie die Entfernung der Ufersicherung und die damit über Seitenerosion ausgelöste Geschiebemobilisierung im Flussabschnitt sind dabei die entscheidenden Erfolgsfaktoren. Auch wenn deutliche Unterschiede zu natürlichen Wildflusslandschaften bestehen, so wurden mit dem Projekt 30 ha neue Kiesflächen initiiert (MUHAR et al. 2019b). Im Unterschied zu natürlichen Wildflusslandschaften sind aktuell jüngere Sukzessionsstadien nur in relativ geringem Anteil vorhanden (ZITTEL 2020; Abb. 18). Vergleichbare Redynamisierungsmaßnahmen gibt es aktuell auch am Tiroler Lech im Rahmen des

LIFE-Projekts. Dort wurden beispielsweise bei Reutte großflächig Waldflächen gerodet, der Oberboden abgetragen und Ufersicherungsmaßnahmen entfernt, um Aufweitungsflächen zu erhalten und dynamische Prozesse zu initiieren (LAND TIROL 2020).

An der Isar ist allerdings davon auszugehen, dass aufgrund des stark reduzierten Sedimentnachschubs langfristig wieder die Sukzession in Richtung stabiler Auwaldbestände (Progressionsprozesse) gegenüber der Störung und Zerstörung von Vegetationsbeständen (Regressionsprozesse) überwiegen und die Flächen verstärkt von Vegetation eingenommen werden.



**Abb. 18:** Die Renaturierungsfläche im Bereich der Isar-Restwasserstrecke der Wasserkraftanlage Mühlthal (flussabwärts bei Icking) ist trotz Ausleitung aktuell durch eine hohe Morphodynamik gekennzeichnet (Foto: A. Zittel, 2019).

## 5. Fazit

Der Abschnitt von der Reißbachmündung bis zur Geschiebevorsperre des Sylvensteinspeichers ist trotz Ausleitung als weitestgehend natürliche Wildflusslandschaft zu bewerten. Der Abschnitt vom Krüner Wehr bis zur Reißbachmündung ist bereits infolge der Eingriffe durch das Walchensee-Kraftwerk degradiert, zeichnet sich jedoch durch ein hohes Revitalisierungspotenzial aus. Vor dem Hintergrund der internationalen naturschutzfachlichen Bedeutung dieser Strecke hat eine im Zuge der Neukonzessionierung des Walchensee-Kraftwerk-Systems bis 2030 (die derzeitige Konzession läuft 2030 aus) durchzuführende Anpassung der Geschiebemanagement und grundsätzliche Neubewertung der bestehenden Ausleitung am Krüner Wehr u.a.m. – auch vor dem Hintergrund der festgesetzten Ziele der WRRL und der betroffenen Natura 2000-Gebiete – zu erfolgen.

Für den Abschnitt flussab des Sylvensteinspeichers zeigen die historischen Zeitreihenanalysen, dass die Wildflusslandschaft und ihre Vegetation bereits vor dem Bau des Speichers großflächig zerstört wurde (SPEER 1977, JERZ et al. 1986). Die Effekte, welche die Regulierungsmaßnahmen hervorgerufen haben, wurden durch den Bau des Speichers verstärkt und beschleunigt. Auch wenn der ursprüngliche Zustand nicht wieder herstellbar ist, so ist durch die Entfernung der Ufersicherung und die Schaffung eines ausreichend breiten freien Pendelraumes zur eigendynamischen Gewässerentwicklung und verlagerung (BIRON et al. 2014, EGGER et al. 2020) sowie eine Anpassung der Stauraumbewirtschaftung des Sylvensteinspeichers an ökologische Erfordernisse eine eingeschränkte Entwicklung in Richtung dynamischer Flusshabitats wieder möglich. Dies entspräche neben den Zielen der WRRL auch den Entwicklungszielen und Maßnahmen des Managementplans des Natura 2000 Gebiets Oberes Isartal (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016).

Auch wenn der überwiegende Anteil der historischen Wildflusslandschaft an der Oberen Isar als natürliche Flusslandschaft als unwiederbringlich verloren einzustufen ist, so zeichnet sich der Abschnitt vom Krüner Wehr bis Bad Tölz durch ein zum Teil hohes Renaturierungspotential aus. Allerdings werden dazu umfassende Anpassungen der energiewirtschaftlichen Nutzung sowie eine grundsätzliche Neuorientierung der Renaturierungsmaßnahmen in Richtung eines prozessorientierten Naturschutzes notwendig sein.

JERZ et al. haben 1986 festgestellt *„Die vorgeschlagenen Rezepte zur Rettung der Isar bringen zwar Besserung, aber keine Heilung“*. 34 Jahre später muss man konstatieren, dass mittlerweile wohl einige Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung umgesetzt wurden, die wesentlichen grundsätzlichen Problembereiche aber nach wie vor bestehen. In mehreren Gutachten (REICH et al. 2008, SCHAIPP & ZEHEM 2009, REICH & RETHSCHULTE 2021) und mit dem Natura 2000 Managementplan für die Obere Isar (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 2016) wurden Entwicklungsziele definiert und eine Vielzahl sehr konkreter Maßnahmen vorgeschlagen. In Anbetracht der herausragenden Bedeutung der Oberen Isar ist es nun an der Zeit, Prioritäten zu setzen und die Maßnahmen konsequent umzusetzen!

## 6. Literatur

- BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG (Hrsg.) (2016): „Oberes Isartal“ (DE 8034-371) mit dem Isar- und Rißbachanteil aus dem FFH- und SPA- Gebiet „Karwendel mit Isar“ (DE 8433-301), Teil I – Maßnahmen. Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Holzkirchen, Holzkirchen. 97 S.
- LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG (2020): BayernAtlas. URL: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?zoom=10&lang=de&topic=ba&bgLayer=historisch&E=689461.68&N=5272370.60&catalogNodes=122&layers=KML%7C%7Chttps:%2F%2Fwww.wwa-m.bayern.de%2Fkartendienste%2Fmassnahmen.kml%7C%7Cfalse>.
- BEHREND, S. (2017): Veränderungen der Auenstruktur an den Oberläufen von Lech, Loisach und Isar und die Auswirkungen auf den historischen Rückgang der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica* (L.) DESV.). Bachelorarbeit, TU München, 42 S.
- BILL, H-C. (2001): Die Obere Isar – letzte Reste einer bayerischen Wildflusslandschaft. *Laufener Seminarbeiträge* 3, 35–45.
- BIRON, P. M., BUFFIN-BÉLANGER, T., LAROCQUE, M., CHONÉ, G., CLOUTIER, C. A., OUELLET, M. A., DEMERS, S., OLSEN, T., DESFARLAIS, C. & EYQUEM, J. 2014. Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *J. Environ. Manage.* 54(5), 1056–1073.
- BINDER, W. & GRÖBMAIER, W. (1998): Entwicklung und Entwicklungsmöglichkeiten aus heutiger Sicht. In: Verein zum Schutz der Bergwelt e. V. München (Hrsg.): Die Isar. Ein Gebirgsfluss im Wandel der Zeiten. *Sonderdruck des Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt*, 63: 107–129.
- BINDER, W., WAGNER, A., WAGNER, I. (2011): Flusslandschaft Isar im Wandel der Zeit. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.). Kessler Druck., Bobingen, 104 S.
- BRUNOTTE, E., DISTER E., GÜNTHER-DIRINGER, D., KOENZEN, U., MEHL, D. (2009): Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. *Naturschutz und biologische Vielfalt* 87, Bundesamt für Naturschutz (Bonn-Bad Godesberg), 243 S.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2020): DWD Station Mittenwald-Buckelwiesen. URL: <https://www.wetter-by.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/bamwebdwd/77409388d34935f4c1257d720029449e?OpenDocument&TableRow=2.1.2%2C2.3#2.1>.
- EGGER, G., GRÄSSER, L., REICH, M., KOMPOSCH, C., DISTER, E., SCHNEIDER, E. & MÜLLER, N. (2019a): Ökosystem Alpenfluss. Konstant ist die Veränderung. In: MUHAR, S., MUHAR, M., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.): *Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur*. Haupt-Verlag, Bern, 115–125.
- EGGER, G., DRESCHER, A., PRUNIER, P., GRÄSSER, L., JUSZCZYK, I., KUDRNOVSKY, H., BLASEL, L., SCHÖNLE, R., ROULIER, C., MÜLLER, N. (2019b): Ufer- und Auenvegetation. Überlebenskünstler in bewegter Umwelt. In: MUHAR, S., MUHAR, M., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.): *Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur*. Haupt Verlag, Bern, 179–198.
- EGGER, G., GERSTNER, L., JUSZCZYK, I., DE OLIVEIRA WITTMANN, A. & SCHNEIDER, E. (2020): Freier Pendelraum für Fließgewässer. Methoden zur Anwendung des Konzeptes an Beispielen in Deutschland. Projektbericht, Karlsruhe Institut für Technologie, 271 S. und 49 S. Anhang.
- EIONET (2020): Eionet Forum. Reporting under Habitats Directive (Article 17). URL: <https://forum.eionet.europa.eu/habitat-art17report/library/>.

- ESRI (2016): ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. [www.esri.de/produkte/arcgis](http://www.esri.de/produkte/arcgis).
- HETRICH, R., RUFF, A., TRANTER, C., GEIGER, M., RAST, G. (2011): Freiheit für das Wilde Wasser- Die WWF-Alpenflussstudie. Status und Perspektiven nordalpiner Wildflusslandschaften aus naturschutzfachlicher Sicht. adcdruck, Heidelberg, 138 S.
- HIEMEYER, F. (1972): Vom Wandel der Flora in der Umgebung von Augsburg in den letzten hundert Jahren. *Ber. Naturwiss. Verein für Schwaben* 76, 25–34.
- HOHENSINNER, S., EGGER, G., FIEBIG, M., KNOPPER, F., MUHAR, S., PIÉGAY, H., POLT, R. (2019): Morphologie. Die vielfältige Gestalt der Alpenflüsse. In: MUHAR, S., MUHAR, M., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.): *Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur*. Haupt Verlag, Bern, 86–113.
- HOHENSINNER, S., EGGER, G., MUHAR, S., VAUDOR, L., PIÉGAY, H. (2020): What remains today of pre-industrial Alpine rivers? Census of historical and current channel patterns in the Alps. *River Research and Application* 1, 1–22.
- JERZ, H., SCHAUER, T. & SCHEURMANN, K. (1986): Zur Geologie, Morphologie und Vegetation der Isar im Gebiet der Ascholdingen und Pupplinger Au. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 51, 87–151.
- JÜRGING, P. & SCHAUER, T. (1998): Die Vegetationsverhältnisse an der Oberen Isar vor und nach der Teiltrückleitung. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 63, 131–183.
- JUSZCZYK, I., EGGER, G., MÜLLER, N., REICH, M. (2020): Auswirkungen der Ausleitung der Oberen Isar auf die Auenvegetation. *Auenmagazin* 17, 28–37.
- JUSZCZYK, I. (2017): Auswirkungen von Ausleitungskraftwerken auf die Auenvegetation der Oberen Isar. *Masterarbeit am Karlsruher Institut für Technologie*. Karlsruhe.
- KARL, J. (1998): Die Isar – ein Gebirgsfluss im Wandel der Zeiten – Feststoffe und Feststoffherde. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 63, 11–14.
- KARL, J., MANGELSDORF, J., SCHEURMANN, K. (1977): Die Isar – ein Gebirgsfluß im Spannungsfeld zwischen Natur und Zivilisation. *Jahrbuch Verein zum Schutze der Bergwelt* 42, 175–224.
- KUHN, J. (2003): Naturschutzfachliche Beurteilung der Teiltrückleitung der Oberen Isar. Gutachten i.A. der Regierung von Oberbayern (SG‘830), Uffing/Seewiesen.
- LAND TIROL (2020): LIFE Projekt – Tiroler Lech II – C13 Forchach. Aufweitung Hängebrücke. URL: <https://www.tirol.gv.at/verkehr/baubezirksaemter/bba-reutte/baumassnahmen-wasserwirtschaft/life-projekt-tiroler-lech-ii-c13-forchach-aufweitung-haengebruecke/>.
- LFU-BAYERN (2020): Hochwassernachrichtendienst Bayern. Meldestufen der Pegel Isar. URL: <https://www.hnd.bayern.de/pegel/isar>.
- LFU-BAYERN (2019): Schutzgebiete des Naturschutzes – WMS des LfU. URL: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienst/index\\_detail.htm?id=1e025cc4-d4b1-378e-9924-45950aef2334&profil=WMS](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienst/index_detail.htm?id=1e025cc4-d4b1-378e-9924-45950aef2334&profil=WMS).
- LFU-BAYERN (2018): Gewässerkundlicher Dienst Bayern. Oberes Grundwasser-Stockwerk Isar. URL: <https://www.gkd.bayern.de/de/grundwasser/oberesstockwerk/isar>.
- LFU-BAYERN (2016): Veränderung der Gewässersohle zwischen Flusskilometer 263 und 199; schriftliche Mitteilung des LfU Bayern.

- LFU-BAYERN (2013): Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahren – WMS. URL: [https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index\\_detail.htm?id=4cab2c12-fa7e-49c3-97ba-f4f33af3a598&profil=WMS](https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_detail.htm?id=4cab2c12-fa7e-49c3-97ba-f4f33af3a598&profil=WMS).
- MAIER, F. (2017): Die Auswirkungen des Sylvensteinspeichers auf die Wildflusslandschaft der Oberen Isar. *Bachelorarbeit am Karlsruher Institut für Technologie*. Karlsruhe.
- MARTINET, F. & DUBOST, M. (1992): Die letzten naturnahen Alpenflüsse. In: CIPRA (Commission Internationale pour la Protection des Alpes – Internationale Alpenschutz-Kommission) (Hrsg.): *Kleine Schriften* 11(92), 11–71.
- MUHAR, S., ARNAUD, F., ASCHWANDEN, H., BINDER, W., BROGGI, M., GREIMEL, F., KNOPPER, F., MICHOR, K., MORANDI, B., PIÉGAY, H. (2019a): Revitalisierung. Neues Leben für die Alpenflüsse. In: MUHAR, S., MUHAR, M., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.): *Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur*. Haupt Verlag, Bern, 320–343.
- MUHAR, S., SELIGER, C., SCHINEGGER, R., SCHEIKL, S., BRÄNDLE, J., HAYES, D.S., SCHMUTZ, S. (2019b): Zustand und Schutz der Fließgewässer. Ein alpenweiter Überblick. In: MUHAR, S., MUHAR, M., EGGER, G. & SIEGRIST, D. (Hrsg.): *Flüsse der Alpen. Vielfalt in Natur und Kultur*. Haupt Verlag, Bern, 302–319.
- MÜLLER, N. & BÜRGER, A. (1990): Flussbettmorphologie und Auenvvegetation des Lechs im Bereich der Forchacher Wildflusslandschaft (Oberes Lechtal, Tirol). *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 55, 123–154.
- MÜLLER, N. (1988): Zur Flora und Vegetation des Lech bei Forchach (Reutte-Tirol) – letzte Reste nordalpiner Wildflusslandschaften. *Natur und Landschaft* 63 (6), 263–269.
- MÜLLER, N. (1991a): Veränderungen alpiner Wildflußlandschaften in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. *Augsburger Ökologische Schriften* 2, 9–30.
- MÜLLER, N. (1991b): Auenvvegetation des Lechs bei Augsburg und ihre Veränderungen infolge von Flussbaumaßnahmen. *Augsburger Ökologische Schriften* 2, 80–108.
- MÜLLER, N. (1995): Wandel von Flora und Vegetation nordalpiner Wildflußlandschaften unter dem Einfluss des Menschen. *Ber. ANL* 19, 125–187.
- MÜLLER, N., WOELLNER, R., WAGNER, T. C., REICH, M., BEHRENDT, S., BURKEL, L., NEUKIRCHEN, M. & KOLLMANN, J. (2019): Hoffnung für die Populationsentwicklung von Wildflussarten der Alpen? Rückgang und aktuelle Bestandssituation von Zwergrohrkolben (*Typha minima*), Deutscher Tamariske (*Myricaria germanica*) und Uferreitgras (*Calamagrostis pseudophragmites*) in Bayern. *Ber. Bay. Bot. Ges.* 89, 5–22.
- POSCHLOD, P. (2016): Die Obere Isar – Flusslandschaft im Wandel: Eine „Kulturgeschichte“ wasserbaulicher Maßnahmen und der Waldweide. *Tuexenia Beiheft* 9, 85–105.
- REICH, M. (2006): Linking metapopulation structures and landscape dynamics: Grasshoppers (Saltatoria) in alluvial floodplains. *Articulata* 11, 1–154.
- 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. Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt und des Wasserwirtschaftsamtes. Weilheim, Hannover.

- REICH, M. & RETHSCHULTE, C. (2021): Beachlife an der Oberen Isar: räumliche und zeitliche Dynamik in einem Hotspot der Biodiversität. Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, 70 Seiten.
- RINGLER, A. (2015): Erico-Pinion braucht Natura 2000 – Schneeheide-Kiefernwälder der Nordalpen, ihre Zukunft und aktuellen Probleme. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt (München), 80. Jahrgang: 63–124.
- SCHACKERS, B., COLDEWEY, D., SELLHEIM, P., DETERING, U., SEMRAU, M., SOMMERHÄUSER, M., BRÜCKNER, H., KAUSSOW, A., STÄDTLER, E., GROSS, J., PAULUS, T., BURKART, B., WALSER, B., BINDER, W., GÖLDI, C., MADER, H., DRÜKE, J., BECKERS, B., LOERBROKS, R. (2016): Erfahrungen. In: PATT, H. (Hrsg.): *Fließgewässer und Auenentwicklung. Grundlagen und Erfahrungen*. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 399–559.
- SCHAIPP, B. & ZEHEM, A. (2009): Abschlussbericht des LfU zur Oberen Isar zum Gutachten von Prof. Dr. Reich und eigenen Untersuchungen zum Geschiebemanagement. Unveröffentlichtes Gutachten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Augsburg.
- SCHAUER, T. (1998): Die Vegetationsverhältnisse der Oberen Isar vor und nach der Teiltrückleitung. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt*, 63: 131–183.
- SCHEURMANN, K. (1998a): Flussgeschichte und Gestaltungsvorgänge. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 63, 20–38.
- SCHEURMANN, K. (1998b): Abfluss. *Jahrbuch Verein zum Schutz der Bergwelt* 63, 46–47.
- SCHRETZENMAYR, M. (1950): Sukzessionsverhältnisse der Isarauen südlich von Lenggries. *Berichte der bayerischen botanischen Gesellschaft zur Erforschung der heimischen Flora* 28, 19–63.
- SPEER, F. (1977): Das Problemgebiet Obere Isar – Entwicklung, Zustand, Lösungsvorschläge. Dargestellt am Beispiel der Isarauen zwischen Lenggries und Bad Tölz. *Diplomarbeit an der TU München-Weihenstephan*.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM (2015): Entnommene und zugegebene Feststoffmengen im Zeitraum 2001–2015. Isar. Schriftliche Auskunft.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM (2018): Geschiebemanagement Isar. Maßnahmen. URL: [https://www.wwa-wm.bayern.de/fluesse\\_seen/massnahmen/geschiebemanagement\\_isar/4\\_massnahmen/index.htm](https://www.wwa-wm.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/geschiebemanagement_isar/4_massnahmen/index.htm).
- XIAO, J. (2016): Mittel- bis langfristige Auswirkungen von anthropogenen Eingriffen in das Fluss- und Auenökosystem der Isar. Diplomarbeit am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- ZITTEL, A. (2020): Funktionale Traits als Indikatoren für die Beurteilung von Eingriffen an Umlagerungsflüssen, am Beispiel der Oberen Isar. Masterarbeit am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.

## **Anschrift der Verfasser:**

Felix Maier M.Sc.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, Abteilung Aueninstitut, Josefstraße 1, 76437 Rastatt, Deutschland

felix-l.maier@web.de

Isabell Becker, M.Sc.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, Abteilung Aueninstitut, Josefstraße 1, 76437 Rastatt, Deutschland

isabell.becker@kit.edu

Dipl.-Ing. Franz Speer

Hochalmstrasse 8, 83661 Lenggries, Deutschland

franz.x.speer@t-online.de

apl. Prof. Mag. Dr. Gregory Egger

Universität für Bodenkultur, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Wien, Österreich.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Geographie und Geoökologie, Abteilung Aueninstitut, Josefstraße 1, 76437 Rastatt, Deutschland

gregory.egger@kit.edu

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [86\\_2021](#)

Autor(en)/Author(s): Maier Felix, Becker Isabel, Speer Franz, Egger Gregory

Artikel/Article: [Die Obere Isar – eine verlorene Wildflusslandschaft? Eingriffe und deren Auswirkungen sowie Renaturierungspotenziale der Oberen Isar vom Krüner Wehr bis Bad Tölz 3-38](#)