

Hochschule Weihenstephan - Triesdorf

Fachbereich Umweltsicherung

Diplomarbeit

Wirksamkeit von Renaturierungsmaßnahmen in Bezug auf die
eigendynamische Entwicklung

Untersucht und beurteilt am Beispiel der Isar bei Wolfratshausen

eingereicht von:
Erstkorrektor:
Zweitkorrektor:
Tag der Abgabe:

Andreas Hucul
Prof. Dr. Axel Alf
Dipl. Ing. Alexander Neumann
31. 05. 2011

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich vielmals bei:

Herrn Prof. Dr. Axel Alf für die bereitwillige Betreuung der Diplomarbeit als Erstkorrektor.

meinem Zweitbetreuer, Herrn Dipl. Ing. Alexander Neumann, der es mir ermöglicht hat die Arbeit im Bayerischen Landesamt für Umwelt zu erstellen und mir bei allen Angelegenheiten stets engagiert zur Seite stand.

dem Referat 63, insbesondere Herrn Ulrich Schug, Herrn Mario Krolo, Herrn Thomas Grebmayer, Herrn Wolfgang Gröbmaier, Herrn Werner Able, Herrn Thomas Köhler und Herrn Bernhard Schaipp für die aufschlussreichen Fachgespräche und die Bereitstellung der benötigten Unterlagen.

dem Wasserwirtschaftsamt in Weilheim, insbesondere Frau Dora Schulze und Frau Gisela Kangler für die fachgestützte Begleitung der Vor-Ort-Untersuchungen und für die Übermittlung der zahlreichen Erläuterungen und Fachdaten.

Frau Christiane Breu für das entgegengebrachte Verständnis während der letzten Monate.

meiner Familie, die mich während der Erstellung der Diplomarbeit in jeder Hinsicht unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung	2
3	Literaturübersicht	3
4	Vorgehensweise.....	4
5	Die Isar - ein alpin geprägter Fluss	5
6	Untersuchungsabschnitt bei Wolfratshausen-Nantwein	7
6.1	Räumliche Gliederung des Untersuchungsabschnittes.....	7
6.2	Leitbild bei der Gewässerentwicklung.....	11
6.2.1	Definition.....	11
6.2.2	Leitbild Morphologie.....	12
6.2.3	Leitbild Feststoffhaushalt	12
6.2.4	Leitbild Abflussgeschehen	13
6.2.5	Leitbild Wasserqualität.....	13
6.3	Geologie im Untersuchungsabschnitt	13
6.3.1	Das Wolfratshausener Becken.....	13
6.3.2	Der Wolfratshausener See.....	15
6.3.3	Die postglaziale Isar im Untersuchungsgebiet	15
6.4	Ökologie und Wasserqualität im Untersuchungsabschnitt.....	17
7	Eingriffe in den Naturzustand der Isar.....	18
7.1	Sylvensteinspeicher	18
7.2	Tölzer Stausee.....	19
8	Auswirkungen der Eingriffe	20
8.1	Auswirkungen auf die Morphologie	20
8.2	Veränderung des Abflussgeschehen	21
8.3	Geschiebedefizit	25
9	Renaturierungsmaßnahmen im Untersuchungsabschnitt	26
10	Geschiebemanagement der Oberen Isar - Bedeutung für den Untersuchungsabschnitt.....	27
11	Durchgeführte Untersuchungen	30
11.1	Luftbilddauswertung.....	30
11.2	Auswertung von Hochwasserereignissen	30
11.3	Querprofilauswertung.....	30

11.3.1 Theorie.....	30
11.3.2 Durchführung	32
11.4 Gewässerstrukturkartierung.....	35
12 Entwicklung des Untersuchungsabschnittes seit den Renaturierungsmaßnahmen.....	36
12.1 Bettbildende Abflüsse	36
12.2 Entwicklung der Linienführung	37
12.3 Entwicklung der Gewässersohle	40
12.4 Entwicklung der Gewässerbettbreite.....	45
12.5 Gewässerstruktur im Untersuchungsabschnitt.....	46
13 Vergleichsstrecke - Renaturierungsmaßnahmen bei Icking	53
13.1 Gegebenheiten bei Icking	53
13.2 Eigendynamische Entwicklung an der Vergleichsstrecke bei Icking	53
14 Fazit	55
14.1 Beurteilung der eigendynamischen Entwicklung der Isar bei Wolfratshausen im Vergleich mit der Renaturierungsstrecke bei Icking	55
14.2 Prognose der zukünftigen Entwicklung bei Wolfratshausen	57
14.3 Hinweise für weitere Maßnahmen.....	58
15 Zusammenfassung.....	61
16 Literaturverzeichnis	62
17 Abbildungsverzeichnis	65
18 Tabellenverzeichnis	68
19 Anhang.....	69
20 Erklärung.....	70

1 Einleitung

Fließgewässer prägen unsere Landschaft durch eine Vielzahl unterschiedlicher Erscheinungsformen. Sie dienen einerseits dem Menschen als Versorgungs-, Entsorgungs- und Transportmittel, andererseits bieten sie - idealer Weise zusammen mit ihren Auen - wichtige Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten.

Bereits im Mittelalter griff der Mensch durch Rodung und Nutzung der Auwälder massiv in den Naturhaushalt der Flusslandschaften ein. Mit der Industrialisierung wurden die Fließgewässer systematisch begradigt und ihnen durch Uferbefestigungen die Bewegungsfreiheit genommen. Dies erfolgte zum Zwecke des Hochwasserschutzes, der Wasserkraftnutzung sowie der Schiff- und Floßfahrt. Des Weiteren erschlossen sich Flächen, die landwirtschaftlich intensiv genutzt werden konnten. Die Folgen dieser Umgestaltungen sind weitgreifend und heute noch an nahezu allen Fließgewässern unseres Landes zu sehen. Viele Wasserkörper fließen in kanalartigen beziehungsweise kanalisierten Gewässerbetten mit einer deutlichen Abgrenzung zur umliegenden Landschaft. Die Funktionen der Auen und Fließgewässer sind vielerorts durch ihre Abtrennung zueinander gestört, wodurch wichtige Lebensräume der Flora und Fauna verschwunden sind (LFW, 2002a).

Auch die Isar und ihre Flusslandschaft waren den Eingriffen des Menschen ausgesetzt. So begann man bereits im 13. Jahrhundert mit der Rodung der Wälder rund um München und in den Bergwäldern des Isarwinkels. Das gewonnene Bau- und Brennholz wurde auf der Isar zum Teil bis nach Wien geflößt (RUHLAND et al., 2010). Ende des 19. Jahrhunderts ging die weitläufige Flussregulierung an der Oberen Isar, zum Schutz vor Hochwasser und zur Energiegewinnung, los. Knapp 30 Wasserkraftwerke von Scharnitz bis zur Mündung in die Donau dienen der Stromerzeugung (MAGERL et al., 1999).

Mit der Zeit wurde jedoch deutlich, dass der technische Gewässerbau zum Teil irreversible Schäden verursacht hat. Als Beispiele sind die Gewässerbetteintiefung und der Verlust von Lebensräumen für Tier- und Pflanzenarten zu nennen. Außerdem entsprach der damit erzielte Hochwasserschutz nicht den Erwartungen. Nicht zuletzt kam ein gesellschaftlicher Wandel in den 1970er Jahren, durch den der Umweltschutz stärker ins Bewusstsein der Menschen trat und an Wert gewann (<http://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserentwicklung/index.htm> [10.04.2011]).

Ab Mitte der 1980er Jahre wird in Bayern verstärkt der naturnahe Wasserbau praktiziert. Zeitgleich finden die ersten Renaturierungsmaßnahmen an der Oberen Isar statt. Angestrebte Ziele: naturnahe Flusslandschaften zu schaffen, der fortschreitenden Eintiefung der Fließgewässer entgegen zu wirken und die ökologische Funktionsfähigkeit zu verbessern. Durch die Forderung der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (22. 12. 2000) nach Möglichkeit bis zum Jahr 2015 - spätestens bis 2027 - den „guten Zustand oberirdischer Gewässer“ zu erreichen, gewinnt die Renaturierung von Flüssen und Bächen erneut an Bedeutung (<http://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/index.htm> [20.04.2011]).

2 Problemstellung

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde das Flussbett der Isar bei Wolfratshausen begradigt und die Ufer beiderseits, auf einer Länge von circa 1200 m, zum Schutz des Flussüberganges befestigt. In Folge dieses Eingriffes hat die Isar in diesem Abschnitt ihren typischen Wildflusscharakter verloren.

Um der fortschreitenden Eintiefung entgegenzuwirken und um die ober- und unterhalb liegenden sehr ursprünglichen Abschnitte wieder naturnah zu verknüpfen, entschloss man sich die Strecke bei Wolfratshausen zu renaturieren. Der Uferverbau wurde 1991 nördlich der Marienbrücke, 1996 südlich der Marienbrücke im Rahmen einer Renaturierungsmaßnahme entfernt. Seitdem hat sich die Isar in diesem Abschnitt zwar verändert, signifikante eigendynamische Prozesse wie sie zum Beispiel nach der Isarrenaturierung bei Icking stattfanden, blieben jedoch aus.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die stattgefundenen Veränderungen dokumentiert, die Ursachen für die nur moderaten eigendynamischen Prozesse untersucht und eine Prognose der zukünftigen Entwicklung gestellt.

Als Referenzzustand wird die naturnahe Pupplinger Au, welche unmittelbar auf die renaturierte Strecke folgt, herangezogen. Sie zählt zu einer der letzten nahezu ursprünglichen und naturnahen Flussabschnitte der Isar. Um die eigendynamische Entwicklung beurteilen zu können, wird die oben genannte Renaturierungsstrecke bei Icking zum Vergleich herangezogen.

Abschließend werden Vorschläge diskutiert, die die Eigenentwicklung in dem betroffenen Abschnitt verstärken können. Darüber hinaus sollen Erkenntnisse dieser Diplomarbeit auch Hinweise für das weitere Vorgehen im Isarabschnitt zwischen Bad-Tölz und Wolfratshausen geben. Hier sind der weitere Rückbau von Uferverbauungen und die verstärkte Zugabe von Geschiebe geplant.

3 Literaturübersicht

Naturnaher Wasserbau

Das Buch „Naturnaher Wasserbau“ ist ein umfassendes Nachschlagewerk zum Thema Entwicklung und Unterhaltung von Fließgewässern. Es beschreibt neben morphologischen und hydrologischen Grundlagen die Entwicklung sowie naturnahe Umgestaltung und Unterhaltung von Fließgewässern. In Bezug auf diese Themen wird die Rechtslage in seinen Grundzügen vorgestellt. Dabei nimmt die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie eine besondere Stellung in diesem Fachbuch ein, da ihr in Kraft treten am 23. Oktober 2000 mit der Forderung, bis zum Jahr 2015 einen „guten Zustand“ der Oberflächenwasserkörper zu erreichen, die Bedeutung der Gewässerentwicklung erheblich gestärkt hat. Unter dem Gliederungspunkt „Naturnahe Gestaltung“ werden die Prozesse der eigendynamischen Fließgewässerentwicklung ausgeführt und naturnahe Maßnahmen zum Einleiten solcher vorgestellt. Im Rahmen dieser Diplomarbeit diente das Buch vor allem als Grundlage für die Beurteilung der Entwicklungsprozesse an der Isar und zur Überlegung, ob und welche weitere unterstützende Maßnahmen sinnvoll wären (PATT et al., 2009).

Flusslandschaft Isar

Diese Broschüre (Erstauflage 2001/02, Neuauflage Mai 2011) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt beschreibt ausführlich die Leitbilder der Isar in ihren einzelnen Abschnitten. Dabei wird vertieft auf die Bestandteile des Fluss-Aue-Ökosystems eingegangen, wie zum Beispiel Morphologie, Abflussgeschehen und Feststoffhaushalt. Das Leitbild dient als Grundlage zur Aufstellung zukünftiger Entwicklungsziele und als Referenzzustand, um den Fortschritt und die Richtung der Entwicklung des Untersuchungsabschnittes beurteilen zu können. Darüber hinaus wird der momentane Zustand der Isar mit den anthropogen verursachten Defiziten erläutert. Die oben genannten Entwicklungsziele und Maßnahmenhinweise der Isar, basierend auf den Vorgaben des Bayerischen Naturschutzgesetzes und des Bayerischen Wassergesetzes, schließen die Ausarbeitung ab (LFU & LFW, 2001).

4 Vorgehensweise

Zu Beginn des Bearbeitungszeitraumes, fand eine Begehung der Isar im Untersuchungsabschnitt statt. Dies geschah unter Begleitung des Landesamtes für Umwelt und des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim. Im Oktober 2010 wurde vor Ort eine Gewässerstrukturkartierung der Renaturierungsstrecken durchgeführt. Zeitgleich erfolgte eine ausführliche Daten- und Literaturrecherche in beiden Häusern. Des Weiteren wurden zahlreiche Fachleute beider Ämter zu verschiedenen Sachlagen, unter anderem zur geologischen Situation und zum Geschiebehauhalt der Gewässerstrecke, befragt.

Im Rahmen der Datenauswertung sind oftmals verschiedene Vorgehensweisen angewandt worden, um sich für die repräsentativste Methode zu entscheiden. So erfolgte eine umfangreiche Auswertung von Querprofilen des gesamten Untersuchungsgebietes zur Beurteilung des Flusses seit den Entfesselungsmaßnahmen in Bezug auf die Gewässerbreite sowie Eintiefung und Auflandung der Gewässersohle. Um das Entwicklungspotential der Isar im betroffenen Abschnitt aufzuzeigen und die Auswirkungen der menschlichen Eingriffe deutlich zu machen, wurden historische Karten sowie Luftbilder verschiedener Jahre gegenübergestellt. Die Durchführung und Auswertung der Gewässerstrukturkartierung diente der Zustandsbeurteilung sowie der Feststellung von Defiziten und Erarbeitung der weiteren Maßnahmenvorschläge.

Basierend auf dem Vergleich aussagekräftiger, auf die Eigenentwicklung wirkender Parameter bzw. Randbedingungen zwischen dem Untersuchungsgebiet und der renaturierten Strecke bei Icking, wurden Thesen über die wider Erwarten nur mäßige Entwicklung der Isar bei Wolfratshausen aufgestellt.

5 Die Isar - ein alpin geprägter Fluss

Die Isar hat ihren Ursprung im Karwendelgebirge, auf circa 1600 m ü. NHN, östlich der Tiroler Gemeinde Scharnitz, in Österreich (siehe auch Abbildung 1).

Auf ihrem Weg entwässert die Isar, mit einem Einzugsgebiet von 8960 km² - was in etwa der Hälfte der Fläche Oberbayerns entspricht - Teile des Karwendels sowie einen Teil der Bayerischen Alpen. Dabei durchfließt sie die naturräumlichen Haupteinheiten Nördliche Kalkalpen, Südliches Alpenvorland und das Unterbayerische Hügelland. Nördlich von Wolfratshausen mündet die Loisach mit einem Mittelwasserabfluss von 16,8 m³/s in die Isar.

Nach etwa 260 km mündet sie auf circa 300 m ü. NHN beim niederbayerischen Plattling in die Donau. Aus Verständnisgründen ist zu erwähnen, dass die Längseinteilung der Fließgewässer im Einzugsgebiet der Donau von der Mündung flussaufwärts erfolgt. Das bedeutet, die Kilometrierung verläuft entgegen der Fließrichtung der Isar.

Der Mittelwasserabfluss am Pegel München beträgt im langjährigen Mittel circa 90 m³/s. Das Jahrhunderthochwasser im August 2005 erreichte dort einen Abfluss von circa 1050 m³/s.

Alpine Fließgewässer zeichnen sich dadurch aus, dass Hochwasserabflüsse bevorzugt in den Monaten Mai bis September auftreten. Dies lässt sich durch die Überlagerung der Schneeschmelze und der, für den Alpenraum typischen Starkregenereignisse begründen.

Der Fluss lässt sich anhand der geologischen Räume in Obere (vom Quellgebiet bis zur Stadtgrenze Münchens), Mittlere (von München bis Landshut) und Untere Isar (von Landshut bis zur Mündung) einteilen (BINDER, 2004). Bis auf wenige Ausnahmen besitzt die Isar über ihren gesamten Lauf einen noch weitgehend geschlossenen Auwald. In den Naturschutzgebieten Ascholdingen und Pupplinger Au sowie im Quellgebiet des Karwendels ist die Isar noch weitgehend naturnah (LFU & LFW, 2001).

Dennoch hat der Mensch den natürlichen Zustand der Isar enorm beeinträchtigt. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts änderte sich ihr Bild, bedingt durch die Wasserkraftnutzung, grundlegend. Der systematische Ausbau des Flusses, Ausleitungen sowie der Bau von Staustufen und Kraftwerken beeinträchtigen die Natürlichkeit der Isar in hohem Maße. Im Jahr 1959 wurde der Sylvensteinspeicher südlich von Lenggries, welcher als Hochwasserschutzmaßnahme dient, fertig gebaut. Mit einem Speicherraum von 124,3 Mio. m³ (http://www.lrz.de/~t5431aa/webserver/webdata/flutpolder_2007.pdf [23.02.2011]) beeinträchtigt er wesentlich das Geschiebemanagement und die Abflussmenge im Unterlauf. Auch energiewirtschaftlich wird die Isar intensiv genutzt. Im Durchschnitt produzieren knapp 30 Kraftwerke entlang der Isar jährlich etwa die Hälfte der Energiemenge des Atomkraftwerkes Isar I (MAGERL et al., 1999).

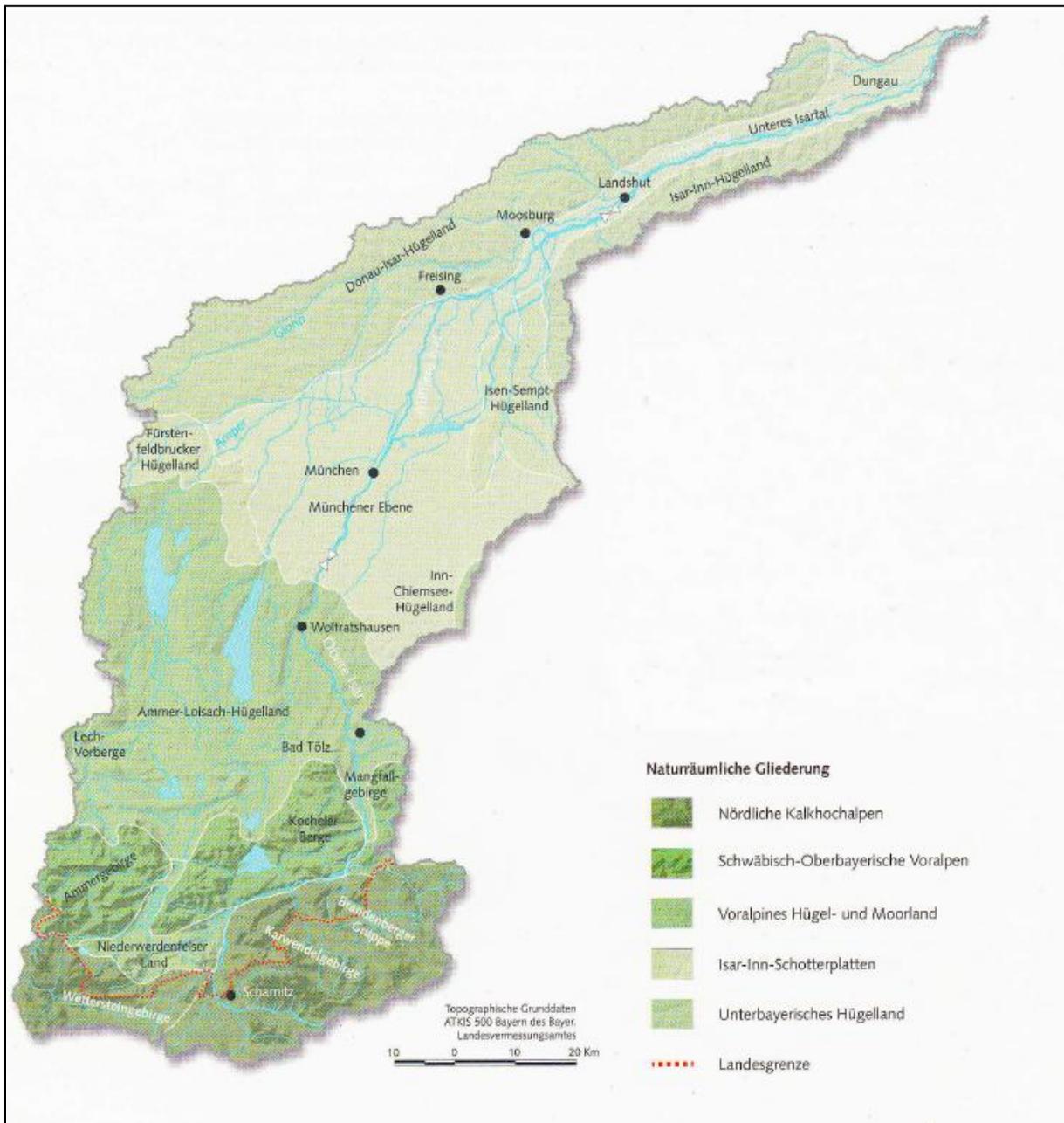


Abbildung 1: Übersichtskarte der Isar (LFU, 2001 S. 12)

6 Untersuchungsabschnitt bei Wolfratshausen-Nantwein

6.1 Räumliche Gliederung des Untersuchungsabschnittes

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Landkreis Bad Tölz-Wolfratshausen, östlich der Stadt Wolfratshausen und reicht von Flusskilometer (folgend: Fkm) 179,4 bis 175,4. Es liegt im Zuständigkeitsbereich des Wasserwirtschaftsamtes und schließt die gemeindefreien Gebiete Wolfratshauser Forst und Pupplinger Au mit ein. Der Bereich wurde zur Ausarbeitung der Diplomarbeit, nach unterschiedlichen anthropogenen Einflüssen, in 4 Abschnitte gegliedert (siehe auch Anlage 1: Luftbildplan):

- Abschnitt I von Fkm 179,40 bis 178,80
- Abschnitt II Fkm 178,80 bis zur Marienbrücke bei Fkm 178,00
- Abschnitt III von Fkm 178,00 bis 177,20
- Abschnitt IV, die Pupplinger Au von Fkm 177,20 bis 175,40

Abschnitt 1

Im Abschnitt I mündet der Loisach-Isar-Kanal am linken Ufer bei Fkm 179,0 in den Fluss. Die Isar fließt hier in einem schmalen Flussbett. Auf Grund der Einflussnahme des Loisach-Isar-Kanals auf das Abflussgeschehen des Flusses wurde dieser Abschnitt in das Untersuchungsgebiet mit aufgenommen.

Abschnitt 2

Südlich der Marienbrücke wurde die Isar Ende des 19. Jahrhunderts begradigt und ihre Ufer mit Wasserbausteinen befestigt. Zusätzlich wurde eine Betonabdeckung an der Böschungsschulter angebracht, damit die Befestigung bei Hochwasser nicht hinterspült wird.



Abbildung 2: Blick auf die alte Marienbrücke im Jahr 1915 als die Ufer bereits befestigt waren (Quelle: WWA Weilheim)



Abbildung 3: Abschnitt 2 mit Blickrichtung auf die Marienbrücke von Fkm 177,7 (07.10.2010)

Bei Fkm 178,4 wird die Fernwasserleitung Oberau-München mittels Düker der Isar unterführt. Die zugehörigen Düker-Bauwerke befinden sich jeweils circa 25 m entfernt vom Ufer. Der Düker hat einen Mindestabstand zur Gewässersohle von 6 m. Auf der linken Seite mündet ein circa 3 m tiefer, mit Wasserbausteinen befestigter Auslaufgraben des Bauwerkes für Spül- und Entleerungszwecke nach den genannten 25 m in die Isar. An gleicher Stelle führt eine 110 kV-Leitung der Isar-Amper-Werke über den Fluss (siehe Abbildung 4), weshalb der Auwald in diesem Bereich gerodet ist. Die Masten haben einen Abstand zum Ufer von 40 beziehungsweise 50 m (WWA Weilheim, 1994). Bei Fkm 178,063 befindet sich am linken Ufer der Pegel Puppling. Dieser nimmt eine Sonderstellung ein, da er die letzte Messstelle vor der Einmündung der Loisach darstellt (WWA WEILHEIM, 2004).



Abbildung 4: Auslaufgraben des Dükers und kreuzende Hochspannungsleitung bei Fkm 177,4 (07.10.2010)

Abschnitt 3

Diese Strecke wurde im Jahr 1911 begradigt und mit Flussbausteinen und Betonabdeckungen ausgebaut. Am linken Ufer befindet sich unmittelbar nördlich der Marienbrücke (Fkm 178,0) eine Floßlände (siehe Abbildung 5). Die Brücke wurde 1990 erneuert und so gebaut, dass ihre Standsicherheit durch zukünftige Entwicklungen der Isar nicht beeinflusst wird (WWA WEILHEIM, 2004).



Abbildung 5: Abschnitt 3 von der Marienbrücke in Richtung Pupplinger Au. Links ist die Floßlande zu sehen (07.10.2010)

Abschnitt 4

Von Fkm 177,20 bis 175,4 erstreckt sich der 4. Abschnitt, die Pupplinger Au. Hier ist die Isar weitgehend naturnah, ihr Lauf natürlicherweise verzweigt. Die breite Aue mit ihren weitläufigen Kiesflächen wird während der Hochwasserereignisse immer wieder umstrukturiert (siehe auch Abbildung 6). Kiesbänke werden abgetragen und an anderer Stelle wieder aufgeschüttet, wodurch es auch zu einer ständigen Umlagerung des Flussbettes kommt. Nach der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde (1972) wurde 1966/67 am rechten Ufer ein 500 m langes Leitwerk errichtet, um eine weitere Verlagerung der Isar auf diese Seite zu verhindern. Mit dem Zusammenfluss von Isar und Loisach endet das zu untersuchende Gebiet. Die Pupplinger Au ist, neben der circa 5 km flussaufwärts liegenden Ascholdinginger Au, einer der letzten vom Menschen nahezu unbeeinflussten und naturnahen Abschnitte der Isar. Somit stellte die ehemals kanalisierte Strecke vor der Renaturierung eine prägnante Abgrenzung der beiden wertvollen Flussgebiete voneinander dar (WWA WEILHEIM, 2004).



Abbildung 6: Ausschnitt der Pupplinger Au mit ihrem verzweigten Lauf und Kiesbänken; Blick in Richtung Marienbrücke (07.10.2010)

6.2 Leitbild bei der Gewässerentwicklung

6.2.1 Definition

Als Leitbild versteht man den potenziell natürlichen Zustand einer Gewässerlandschaft. Nach einer Beendigung aller Nutzungen und Beseitigung der entwicklungshemmenden anthropogenen Einflüsse (zum Beispiel Uferbefestigung) würde sich das Fließgewässer diesem realisierbaren Idealzustand, im Laufe seiner Entwicklung, annähern. Dabei werden im Gegensatz zu Entwicklungszielen, irreversible anthropogene Nutzungseinflüsse und Veränderungen (zum Beispiel Gewässerbetteintiefung) nicht berücksichtigt. Damit dienen sie als Bewertungsmaßstab zur Beurteilung der Natürlichkeit und somit der Funktionsfähigkeit eines Gewässersystems.

Bei der Erarbeitung von Leitbildern orientiert man sich an naturnahen Referenzstrecken, die dem Idealzustand des Gewässers möglichst nahe kommen. Im Folgenden wird das Leitbild der Oberen Isar, gegliedert nach vier, für diese Arbeit relevanten Ökosystembausteinen beschrieben.

6.2.2 Leitbild Morphologie

Die Isar ist im untersuchten Abschnitt den Fließgewässerlandschaften der großen Auen, genauer der mehr- und vielströmigen Grobmaterialauen der Alpen, zuzuordnen. Das Leitbild für die Isar im Untersuchungsgebiet ist demnach ein verzweigter Fluss mit großen, über 300 m breiten Auen und weiten Geröll- und Kiesbänken. Das Flussbett unterliegt einer ständigen Verlagerung in dem, unter 6.3 beschriebenen, postglazialen Schotterbecken (siehe Abbildung 7).

Durch das starke Gefälle erhält die obere Isar eine ausgeprägte Eigendynamik, welche - neben einem ausgeprägten Geschiebetrieb - Voraussetzung für die netzartige Verzweigung der Flussarme ist. Die häufig auftretenden Hochwasser tragen Kies- und Schotterbänke ab, diese werden umgelagert und an anderen Stellen neu gebildet. Dieser alpine Wildflusscharakter prägte auch die Auenvegetation mit ihren weitgehend offenen Pionierstadien und schuf ein Mosaik von Lebensräumen vieler Tierarten im und am Gewässer (BINDER, 2004). Der Hauptstrom und seine Nebengerinne erhalten somit ständig neue Gestalt und Strukturen. Parallel zu diesen Prozessen findet eine Neugestaltung der Flussauen statt, wodurch diese auch als Verlagerungsauen bezeichnet werden. Es entstehen verschiedene Auenstandorte, welche eng mit dem Fließgewässer verzahnt sind, jedoch meist nur eine kurze Lebensdauer haben.



Abbildung 7: Obere Isar bei Wallgau: So kann man sich die natürliche Gestalt des Flussabschnittes vorstellen (Quelle: Archiv des Bayerischen Landesamtes für Umwelt)

6.2.3 Leitbild Feststoffhaushalt

Die Tendenz zur Tiefenerosion, die wiederum auf das hohe Gefälle zurückzuführen ist, kann durch den ausgeprägten Geschiebeeintrag ausgeglichen werden. Hierfür spielt neben dem Eintrag von Substrat aus dem Einzugsgebiet (hauptsächlich

grobkörnige Wettersteinkalke und Hauptdolomit) auch die Seitenerosion als Feststoffquelle eine wichtige Rolle. Während im Oberlauf Felsblöcke, Steine und Kiese die Sohle des Flusses bilden, dominieren im Untersuchungsgebiet Kiese und im geringeren Umfang feinere Fraktionen.

6.2.4 Leitbild Abflussgeschehen

Bedingt durch die im Alpenraum auftretenden Starkregenereignisse im Frühling und Sommer, der Schneeschmelze sowie das geringe Rückhaltevermögen im Einzugsgebiet ist die Isar von stark wechselnden Abflüssen geprägt. Das Hochwasser ist bei den Umgestaltungsvorgängen an Fluss und Aue der ausschlaggebende Prozess. Im Hauptstrom der Oberen Isar ist die mittlere Oberflächengeschwindigkeit hoch, die Wasserbewegung ist schnell strömend. In Buchten, Flachwasserzonen, Altarmen oder Nebengerinnen können auch langsam fließende Bereiche bzw. Stillwasserzonen vorliegen.

6.2.5 Leitbild Wasserqualität

Die Isar ist ein sommerkalter Fluss mit natürlicherweise nährstoffarmem, kalkreichem Wasser mit sehr hohem Sauerstoffgehalt, wodurch sich der Trophiezustand als oligotroph beschreiben lässt. Nach dem Saprobien-system ist der Fluss in die Gewässergüteklasse I einzuordnen. Im Bereich Mittenwald liegt die mittlere Wassertemperatur bei circa 5 °C mit einer jährlichen Amplitude von nur etwa 8°C (LFU & LFW, 2001).

6.3 Geologie im Untersuchungsabschnitt

Die Entstehung der heutigen Isar steht in engem Zusammenhang mit dem Vorrücken des Isargletschers in der letzten Eiszeit, vor etwa 25.000 Jahren. Durch die Vergletscherung des Alpenvorlandes wurden die alten Gewässernetze mit Gletscherschutt verfüllt. Nach der Eisschmelze mussten sich die Alpenflüsse einen neuen Weg durch die Landschaft bahnen. Dabei wurden Gletscherbecken aufgefüllt und Moränenzüge durchbrochen.

6.3.1 Das Wolfratshauer Becken

Zwischen Geretsried und Icking durchfließt die Isar heute das Wolfratshauer Becken. Dieses Gletscherzungenbecken wurde vom Isargletscher während der drittletzten Eiszeit (Mindel-Eiszeit) ausgeschürft, füllte sich nach der Eisschmelze mit Wasser und bildete den ehemaligen Wolfratshauer See, der jedoch im Spätglazial vor circa 12000 bis 13000 Jahren wieder auslief.

Die quartäre Sedimentfüllung im Wolfratshauer Becken ist durch zahlreiche Bohrungen bekannt. Kiesig-sandige Hochflutsedimente (2-4 m) und lockere, spät- und postglaziale Delta- und Terrassenschotter (bis 10 m mächtig) besitzen als fluviatile Ablagerungen die größte Flächenverbreitung. Diese bedecken größtenteils pleistozäne Beckenablagerungen (Seetone, Moränen). Lakustrische Feinsedimente, die sich im ehemaligen Wolfratshauer See absetzten folgen den Flussablagerungen (siehe Abbildung 8). Sie setzten sich aus grauen bis blaugrauen Seetonen und - schluffen sowie aus Seesanden zusammen. Die Tone sind feingeschichtet und haben eine steife, im aufgeweichten Zustand auch plastische, Konsistenz.

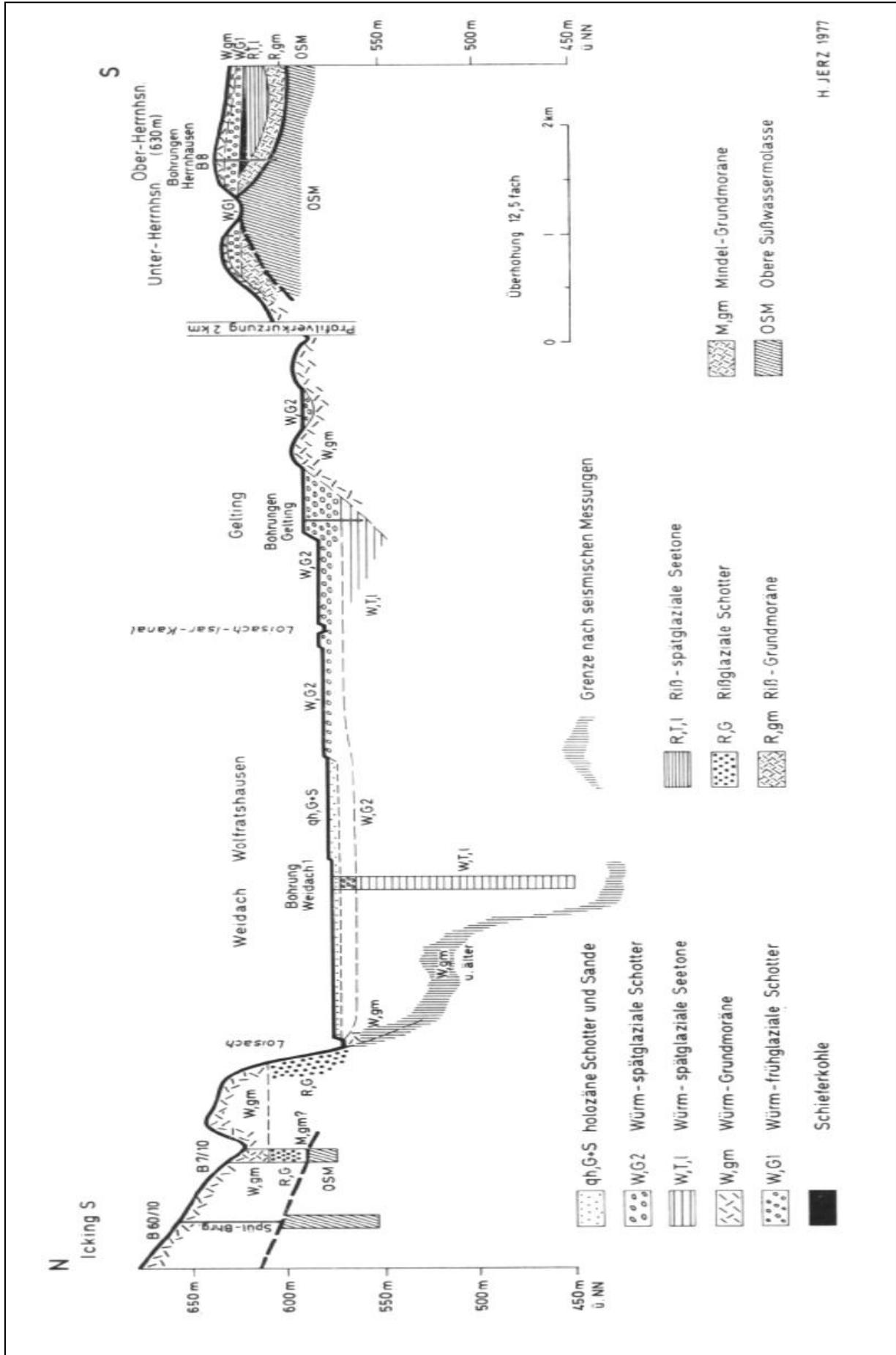


Abbildung 8: Nord-Süd-Profil durch das Wolfratshauer Becken. Im Bereich Wolfratshausen ist die Schichtung von Hochflutsedimenten, fluviatilen Schottern und Seetonen erkennbar (JERZ, 1986 S.90)

6.3.2 Der Wolfratshauer See

Wichtige Anhaltspunkte über die Erstreckung des ehemaligen Wolfratshauer Sees geben vor allem Seeablagerungen. Sie bestehen aus, an verschiedenen Stellen aufgeschlossene oder durch Bohrungen bekannte, Seetone und -schluffe. Des Weiteren geben alte Seeufer, Kliffe und Uferterrassen Auskunft über die Ausdehnung des spätglazialen Gewässers. „Der spätglaziale Wolfratshauer See reichte von den Endmoränen bei Schäftlarn im Norden bis zu dem West-Ost-streichenden Molasseriegel bei Penzberg im Süden“ (JERZ, 1986 S. 92). Er hatte eine Länge von circa 25 km und eine Breite von circa 8 km.

Der Einbruch der Isar in das Wolfratshauer Becken war ein ausschlaggebender Grund für das Auslaufen des Wolfratshauer Sees. Sie füllte zunächst von Süden das Becken teilweise mit Schotter auf und durchschnitt letztlich im Norden bei Schäftlarn die aufstauende Endmoräne. Der See lief ab und die Isar überdeckte daraufhin die Landschaft mit ihren Flussablagerungen. So entstanden die Schotterflächen zwischen Geretsried und Wolfratshausen.

6.3.3 Die postglaziale Isar im Untersuchungsgebiet

Die Isar in der geologischen Gegenwart schneidet über weite Strecken ihre postglazialen Schotter an. Durch Seiten- bzw. Tiefenerosion abgetragenes Material wird durch Kies- und Sandbänke wieder angelandet. Ein rascher Bodenartenwechsel mit Übergängen von sandig-kiesigen zu sandig-schluffigen Substraten auf engstem Raum ist kennzeichnend für die Ablagerungen der Isar.

Ab dem Bereich der Mündung des Loisach-Isar-Kanals bei Fkm 179,00 flussabwärts (entspricht dem Abschnitt II des Untersuchungsgebietes) hat sich die Isar, als Auswirkung der Kanalisierung der Fließstrecke, durch die postglazialen Schotter geschnitten und hat die plastischen Seetone des ehemaligen Wolfratshauer Sees erreicht (siehe Anlage 2: Luftbildplan mit Bohrprofilen sowie Abbildung 9 und Abbildung 10). Stellenweise wird auch deren Unterlage, die Grundmoräne der Würmeiszeit angetroffen. Nach JERZ (1986, Seite 96) „setzen beide glaziale Ablagerungen der hier neuerdings verstärkten Seitenerosion nur geringen Widerstand entgegen. Sie können die fortschreitende Sohlenerosion flussaufwärts im gestreckten Flussabschnitt in Richtung Wolfratshauer Marienbrücke kaum aufhalten.“

Im Bezug auf die Sohle kann diese Aussage, entsprechend eigener Recherche bestätigt werden, was die Seitenerosion betrifft, ist der Vorgang in diesen Schichten jedoch als äußerst schwach zu bezeichnen. Der Uferabtrag vollzieht sich wesentlich langsamer als in Abschnitten, in denen die Isar durch natürlicherweise mächtige Schotterdecken fließt und das Gewässerbett bei Hochwasser eine Umlagerung von 100 m und mehr erfahren kann. Die verfestigten Tonablagerungen werden im geringen Umfang hauptsächlich durch die Frostsprengung in den Wintermonaten aufgelockert und schließlich abgetragen. Ein Problem stellen die glazialen Tonablagerungen jedoch dar: Vor allem an der Gewässersohle löst sich der Ton

kontinuierlich im Wasser, wodurch sich die Sohle auch ständig eintieft. Bei großen Abflüssen nagt das mitgeführte Geschiebe an den aufgeweichten Tonschichten und trägt diese noch stärker ab. Vor dem Erreichen der Seetone fand eine Tiefenerosion nur bei großen Hochwassern statt, ansonsten schützte die Sohlpanzerung die Gewässersohle.



Abbildung 9: Die anstehenden Seetone südlich der Wolfratshauer Brücke leisten großen Widerstand gegenüber der Seitenerosion



Abbildung 10: Anstehende tonige Schichten am linken Ufer bei Fkm 178,3

Aus Anlage 2 ist zu vernehmen, dass die Schotterdecke in der Pupplinger Au wesentlich mächtiger ist. Die Obergrenze der Seetone liegt hier 6-8 m unter den kiesigen Aueablagerungen. Wie in 6.2 beschrieben, findet in dem naturnahen Abschnitt regelmäßig eine Umlagerung des gesamten Flussbettes statt. (Jerz, 1986)

6.4 Ökologie und Wasserqualität im Untersuchungsabschnitt

Der ökologische Zustand des Flusswasserkörpers Isar Tölz-Icking, in dem die Untersuchungsstrecke liegt, ist im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie als gut einzustufen. Für die Beurteilung wurde die Obere Isar unter anderem im Jahr 2000 im Längsverlauf auf den Bestand der Makrozoobenthos untersucht. Dabei wurde das Arten- und Dominanzspektrum in der Pupplinger Au als vom Leitbild nur mäßig abweichend eingestuft und dieser Bereich mit Güteklasse II bewertet (ÖKOKART, 2000). Allerdings dürfte sich die naturbelassene Pupplinger Au in diesem Zusammenhang von der südlich gelegenen, begradigten Strecke differenzieren. Dort ist eine Aufwertung der ökologischen Funktionsfähigkeit, durch Bildung gewässertypischer Strukturen, durchaus möglich und wünschenswert. Die Fischfauna zwischen Bad Tölz und Icking wird ebenfalls als gut bewertet. Zusammenfassend stellt die Obere Isar, im Bezug auf den Artenschutz, einen sehr hochwertigen Lebensraum dar (BIS BAYERN, 2011).

Des Weiteren konnte der gute chemische Zustand des Gewässers erreicht werden. Mit einer Aufrüstung aller 17 Kläranlagen zwischen Mittenwald und Moosburg durch UV-Desinfektionsanlage bis zum Jahr 2006 erhält das Wasser der Isar sogar wieder eine badehygienische Qualität (http://www.wwa-m.bayern.de/wasser_erleben/badegewaesserqualitaet_isar/index.htm, [16.04.2011]).

Damit wurde die Forderung der Wasserrahmenrichtlinie, einen guten ökologischen und chemischen Zustand zu erreichen, im entsprechenden Flusswasserkörper erfüllt. Dennoch weist der Untersuchungsabschnitt erhebliche strukturelle Defizite auf (siehe auch Kapitel 12.5).

7 Eingriffe in den Naturzustand der Isar

7.1 Sylvensteinspeicher

Neben den weitläufigen Flussregulierungen im 19. und 20. Jahrhundert, bei denen die Isar begradigt und ihr die Bewegungsfreiheit genommen wurde, hat der Mensch durch zahlreiche Querbauwerke den Naturhaushalt der Isar enorm beeinträchtigt.



Abbildung 4: Der Sylvensteinspeicher wurde als Hochwasserschutzmaßnahme gebaut und wird von der Isar, der Dürrach und der Walchen gespeist (http://www.alpreserv.eu/Dateien/PilotActions/Sylvenstein/Sylvenstein_de.htm [16.02.2011])

Den prägnantesten Eingriff stellt wohl der Sylvensteinspeicher bei Fkm 224,2 dar, auch Sylvensteinstausee genannt. Er ist nach einer natürlichen Engstelle im oberen Isartal benannt und befindet sich südlich von Lenggries. Er wurde zwischen 1954 und 1959, zum Schutz vor Hochwasser im Unterlauf, erbaut. Hierfür staut er mit einem Speichervolumen von 124,3 Mio. m³ die Isar mit ihren Zuflüssen Dürrach und Walchen und hält deren Hochwasserwellen zurück. In Trockenzeiten sorgt der Sylvensteinspeicher für einen Restwasserabfluss am Pegel Bad Tölz von mindestens 10 m³/s im Winterhalbjahr und 20 m³/s im Sommerhalbjahr. Da der Abfluss der Isar

durch Ableitungen zum Walchen- und Achensee stark verringert ist, spielt das eine wichtige Rolle im Abflussgeschehen. Des Weiteren wird die Fallhöhe im Ablauf von 13 bis 37 m zur Stromgewinnung in zwei Wasserkraftwerken genutzt (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/talsperren/syvenstein/index.htm [29.03.2011]).

7.2 Tölzer Stausee

Das Wasserkraftwerk Bad Tölz mit seiner Staustufe bei Fkm 199,0 wurde 1961 fertiggestellt und staut die Isar auf eine Strecke von mehr als einen Kilometer auf. Neben dem Sylvensteinspeicher stellt der sogenannte Tölzer Stausee die letzte Geschiebefalle vor dem Untersuchungsgebiet dar, in der sich eine bedeutende Menge Sediment auf Grund des verminderten Transportvermögens ablagert. Bei der Betrachtung der geologischen Geschichte des Tölzer Grieses erkennt man jedoch, dass in diesem Flussabschnitt auch natürlicherweise das Geschiebe bevorzugt abgelagert wird. Ähnlich wie der Wolfratshausener See (siehe Kapitel 6.3), entstand hier während der Eiszeit der Tölzer-See. Dieser bildete während der Eisschmelze ein großes Sedimentations- und Umlagerungsbecken für das verfrachtete Geschiebe. Schon lange vor der Errichtung der Staustufe wurde hier Kies gewonnen und zum Brennen von Kalk verwendet (Grebmayer, 2009).

8 Auswirkungen der Eingriffe

8.1 Auswirkungen auf die Morphologie

Durch die Begradigung der Isar hat sich ihr Lauf wesentlich verkürzt, wodurch wiederum das Gefälle größer wurde. Die daraus resultierende Erhöhung der Fließgeschwindigkeit zusammen mit dem enorm verschmälerten Flussbett in das die Isar gezwängt wurde, macht sich in der Morphodynamik bemerkbar. Einerseits steigt durch die erhöhten Schleppkräften das Geschiebetransportvermögen, auf der anderen Seite fehlt es durch die stauenden Querbauwerke an Geschiebetrieb (siehe 7.1). Das Wechselspiel von Erosion und Sedimentation kann, auf Grund des Uferverbau, auch nicht mit Geschiebeeintrag durch Seitenerosion in Gleichgewicht gehalten werden. Beide Auswirkungen des menschlichen Eingriffes, das Geschiebedefizit und die veränderte Abflussdynamik, in Verbindung mit den anstehenden erosionsempfindlichen Tonablagerungen (siehe Kapitel 6.3) verursachen also einen Trend zur Tiefenerosion, da der Fluss einzig dadurch seine Energie umsetzen kann. Das Ausmaß der Eintiefung seit dem Gewässerausbau ist vielerorts an den Steilufern der Isar erkennbar (siehe Abbildung 11). Anhand der Ganglinie der Wasserstände am Pegel Puppling (siehe Abbildung 12) ist eine Abnahme des Niedrigwasserstandes um 1 m von 1910 bis 1921 auf Grund der Regulierung ersichtlich.



Abbildung 11: Ausmaß der Flussbetteintiefung im Untersuchungsgebiet, am rechten Flussufer bei Fkm 178,8. Oben sieht man fluviatile, kiesige Ablagerungen, unten lakustrische Feinsedimente in die sich die Isar im letzten Jahrhundert erodiert hat (07.10.2010).

Mit der Eintiefung gehen ein beeinträchtigt Ausuferungsvermögen des Flusses sowie eine Absenkung des Grundwasserspiegels in der Aue einher, wodurch es zum Verlust von Feuchtbiotopen kommt. Der Uferverbau und die Eintiefung trennen den Fluss von seiner Aue ab, wodurch wichtige Lebensräume der Flora und Fauna verloren gehen. Eine verzweigte Wildflusslandschaft mit weitreichenden Kiesbänken, wie sie für die Isar typisch wäre, findet man selbst in naturbelassenen Abschnitten, wie zum Beispiel der Pupplinger Au, nur noch ansatzweise vor. Die gewässertypischen Strukturen und ihre stetige Erneuerung wurden durch die Flussregulierung enorm beeinträchtigt (BINDER, 2007). Das zeigt deutlich, dass die Veränderung eines Regelgliedes in einem Funktionskomplexes sich zwangsläufig auf die Funktion andere Regelglieder auswirkt.

8.2 Veränderung des Abflussgeschehen

Am Pegel Puppling hat die Isar einen Abfluss von 48,4 m³/s im langjährigen Mittel. Die natürlichen Abflüsse der Isar im Untersuchungsgebiet werden, neben dem Bau des Sylvensteinspeichers, durch zahlreiche flussbauliche Maßnahmen beeinflusst. Nach JERZ (1986) werden der Isar im Oberlauf des Pupplinger Pegels circa 35 m³/s Wasser durch künstliche Ausleitungen entzogen. Als Beispiel ist die Ausleitungen von rund 15 m³/s am Krüner Wehr seit 1923 zum Zweck des Walchenseekraftwerkes zu nennen. Über den Loisach-Isar-Kanal werden dem Fluss rund 20 m³/s wieder zugeführt. Bezogen auf den aktuellen Mittelwasserabfluss von 48,4 m³/s kann man sagen, dass die Isar im Untersuchungsgebiet einen natürlichen mittleren Abfluss von ungefähr 65 m³/s hätte. In Abbildung 12 kann man die Auswirkungen der Abflussbewirtschaftung auf die Wasserstände am Pupplinger Pegel erkennen. Der Niedrigwasserspiegel hat sich seit Anfang des 20. Jahrhunderts um rund 2 m abgesenkt.

Tabelle 1: Hauptwerte am Pegel Puppling, Jahresreihe 1959-2006 (<http://www.hnd.bayern.de/> [03.01.2011])

Hauptwerte am Pegel Puppling		Theoretischer Wert ohne Ausleitungen
Niedrigwasserabfluss NQ	10,7 m ³ /s	
Mittlerer Niedrigwasserabfluss MNQ	17,6 m ³ /s	
Mittlerer Abfluss MQ	48,4 m ³ /s	65 m ³ /s
Mittlerer Hochwasserabfluss MHQ	295 m ³ /s	
Hochwasserabfluss HQ	575 m ³ /s	

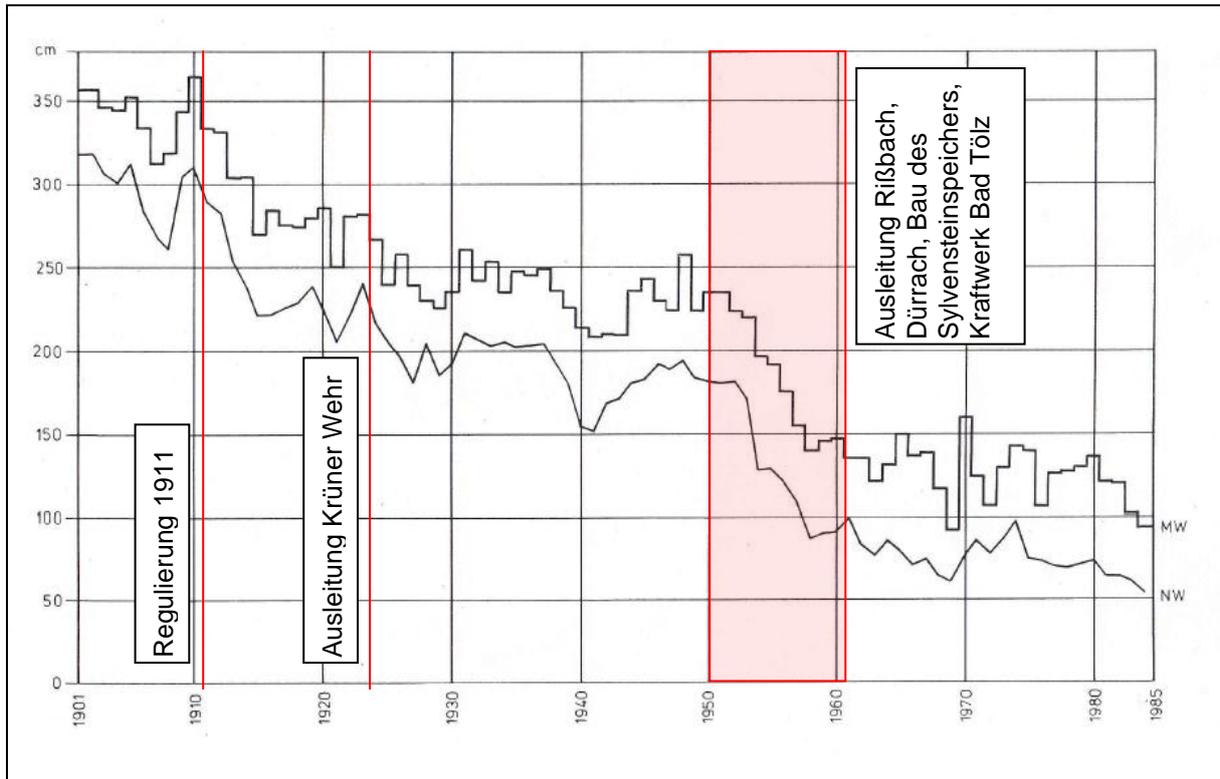


Abbildung 12: Ganglinie der Mittel- und Niedrigwasserstände am Pegel Puppling von 1901 bis 1985 (JERZ, 1986 S. 103), ergänzt durch flussbauliche Maßnahmen

Durch den Bau des Sylvensteinspeichers wird das Abflussregime der Isar, auf Grund der Kappung der Abflussspitzen, stark beeinträchtigt. So hätte das Hochwasser 2005 im Stadtgebiet München einen Abfluss von circa 1800 m³/s erreicht. Abbildung 13 zeigt, dass dieser durch den Sylvensteinsee auf 1000 m³/s gedrosselt werden konnte (http://www.lrz.de/~t5431aa/webserver/webdata/flutpolder_2007.pdf [23.02.2011]).

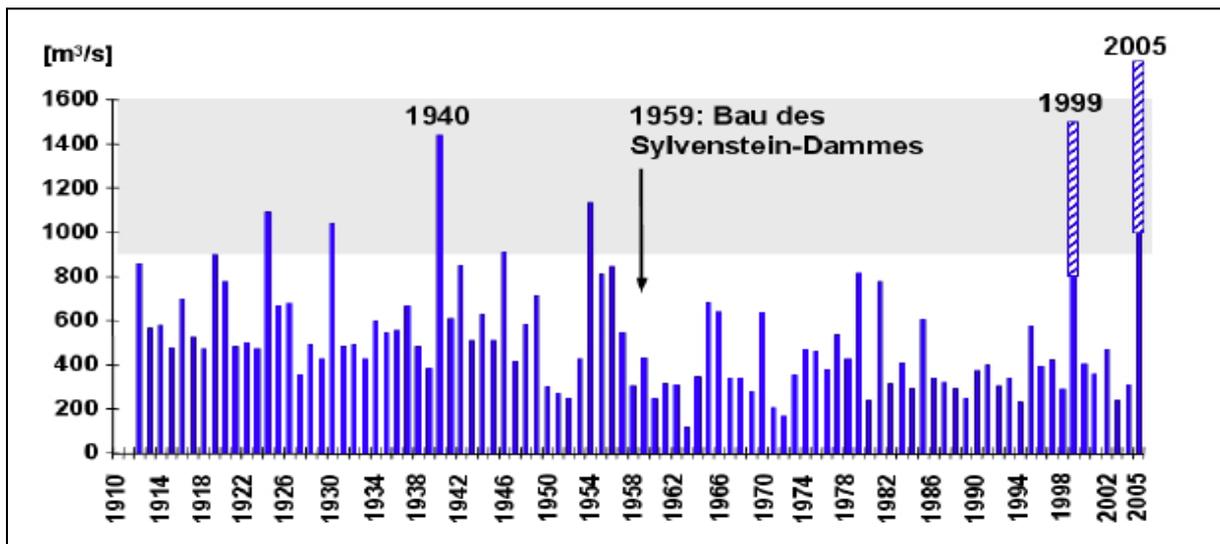


Abbildung 13: Beeinflussung des Abflussgeschehens durch den Sylvensteinspeicher am Pegel München (Jahreshöchstwerte). Die schraffierten Linien zeigen die gekappten Hochwasserspitzen durch die Talsperre (http://www.lrz.de/~t5431aa/webserver/webdata/flutpolder_2007.pdf [23.02.2011])

Für die eigendynamische Entwicklung von Fließgewässern spielt jedoch die zeitliche Wiederkehr und das Ausmaß von Hochwasserereignissen eine entscheidende Rolle. In Tabelle 2 sind die Jährlichkeiten der Hochwasserabflüsse, vor und nach dem Bau des Sylvensteinstausees dargestellt. Es ist erkennbar, dass ein Hochwasser das vor 1959 statistisch gesehen alle 5 Jahre auftrat, heute im Durchschnitt nur noch alle 50 Jahre abfließt.

Tabelle 2: Einfluss des Sylvensteinspeichers auf die Scheitelabflüsse der Hochwasserereignisse (Werte vor 1959 aus JERZ, 1986; nach 1959: Beobachtungszeitraum 1959-1995 aus <http://www.hnd.bayern.de/> [03.01.2011])

	HQ ₁	HQ ₂	HQ ₅	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀
Vor 1959	390	480	620	820	940	1090	1230
Nach 1959	220	300	400	470	540	630	750

Durch das eingeschränkte Abflussgeschehen werden morphodynamische Prozesse (zum Beispiel Verlagerung des Flussbettes) unterdrückt und die Flussauen nur noch selten überschwemmt. Folgen sind die Verlandungen von Kiesbänken und der Verlust gewässer- und auetypischer Lebensräume (BINDER, 2004). Die regelmäßige Ausuferung des Flusses ist zudem fundamental wichtig für die Bildung neuer Strukturen und die Umgestaltung des Fluss-Aue-Ökosystems.

Bei einem Wasserstand von 2,80 m ist die Meldestufe 1 nach dem Hochwasser-nachrichtendienst, bei der es zu stellenweise kleineren Ausuferungen kommt, erreicht. Dieser Wasserstand wurde genau im Jahr 1991 einmal erreicht (siehe Abbildung 14). Vergleicht man diesen Wasserstand mit dem zugehörigen Abfluss (Abbildung 15) so ist erkennbar, dass dies bei einem Abfluss von circa 230 m³/s der Fall ist. Bei einem mittleren Abfluss von 48,4 m³/s kann man als Anhaltspunkt also sagen, dass im Untersuchungsgebiet bedeutende Entwicklungsprozesse ab dem 4-5 fachen Mittelwasserabfluss ablaufen.

Zu einer Überflutung der Aue im Untersuchungsgebiet kommt es auf Grund der Abflussbewirtschaftung nur noch selten. Das Ausuferungsvermögen wird darüber hinaus auch durch die starke Gewässerbetteintiefung eingeschränkt. Bei den natürlicherweise sehr großen Hochwassern der Isar, würde diese jedoch den Fluss nicht an einer Ausuferung hindern. In den letzten 40 Jahren ist der Fluss rund 15 mal über seine Ufer getreten, dass bedeutet, dieser für die eigendynamische Entwicklung der Fließstrecke wichtiger Vorgang, vollzieht sich seit 1971 im Durchschnitt nur noch alle 2 bis 3 Jahre.

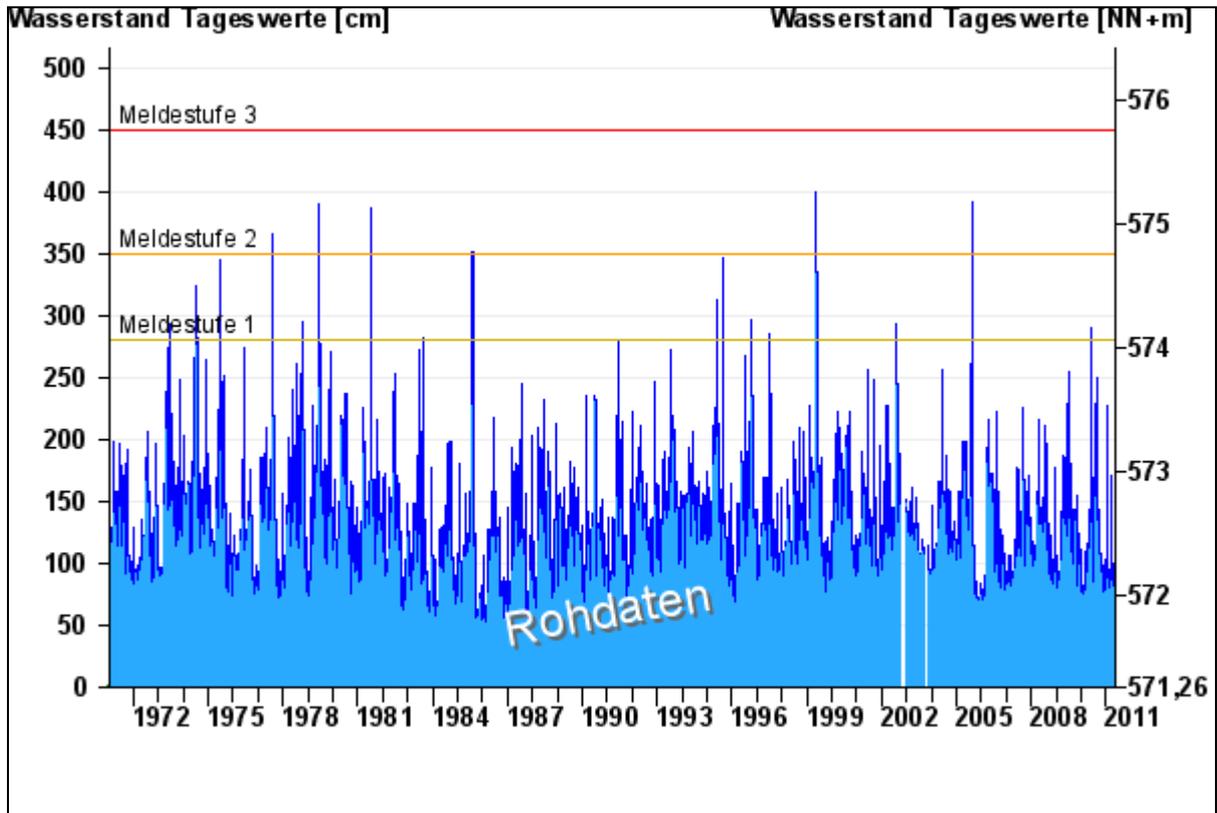


Abbildung 14: Wasserstände im Tagesmittel und Meldestufen am Pegel Puppling von 1971 bis 2011 (<http://www.hnd.bayern.de/> [05.05.2011])

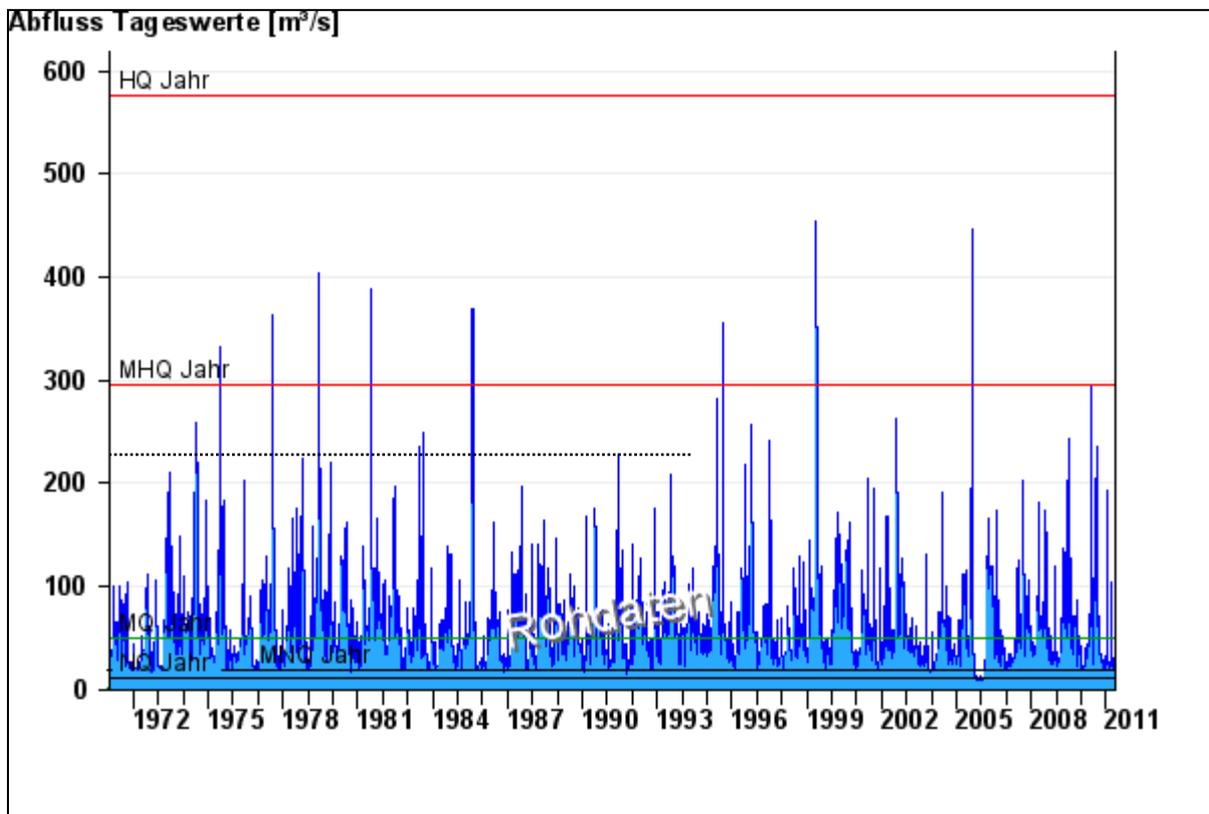


Abbildung 15: Ganglinie des Abflusses im Tagesmittel am Pegel Puppling von 1971 bis 2011 (<http://www.hnd.bayern.de/> [05.05.2011])

8.3 Geschiebedefizit

Die großen Geschiebequellen der Isar befinden sich im Oberstrom des Sylvensteinspeichers, im Karwendel- und Wettersteingebirge. Durch das große Transportvermögen des Gerbirgsflusses bei Hochwasser wurden die Erosionsprodukte, bevor die Durchgängigkeit durch den Wasserbau gestört wurde, zum Teil bis zur Mündung in die Donau transportiert. An Stellen wo die Schleppkräfte des Flusses geringer sind, sowie bei nachlassendem Abfluss, sedimentierte das Geschiebe. Dieser Wechsel von Transport und Sedimentation hatte einen wesentlichen Einfluss auf die natürliche Flusslandschaft des Flusses mit seiner flussmorphologischen Gestalt und seinen Lebensräumen. Dadurch konnte sich eine natürliche Deckschicht auf der Sohle der Isar und ihrer Nebengewässer, welche vor einer übermäßigen Tiefenerosion schützten, sowie die weitreichenden Kiesbänke, welche charakteristisch für die Isarauen sind, bilden.

Durch den Bau des Sylvensteinspeichers wird der Geschiebetransport fast vollständig unterbrochen. Der Nachschub von Schwebstoffen und Geschiebe führt dort zur Stauraumverlandung. Deshalb wurden Geschieberückhaltesperren an den Speicherzuflüssen gebaut. Aus ihnen werden im Jahr durchschnittlich 85000 m³ Geröll, Kies und Sand entnommen und zur Herstellung von Beton und zum Straßenbau verwendet. Die Schluff- und Feinsandfraktionen setzen sich hingegen überwiegend im Stauraum ab. Messungen haben einen Schwebstoffeintrag von etwa 100000 m³/a ergeben, wobei etwa 20000 m³/a durch einen erhöhten Abfluss des Speichersees bei Hochwasser ausgespült werden. Durch Stauraummessungen stellte man fest, dass sich seit 1959 circa 4 Mio. m³ Schwebmaterial im Stauraum abgesetzt hat (http://www.alpreserv.eu/Dateien/PilotActions/Sylvenstein/Sylvenstein_de.htm [16.02.2011]).

Im Unterlauf der Talsperre herrscht deshalb ein starkes Geschiebedefizit, wodurch das Gleichgewicht aus Erosion und Sedimentation gestört ist. Dadurch neigt die Isar bei bettbildenden Abflüssen zur Tiefenerosion. Dieser Trend wird durch eine teilweise fehlende natürliche Sohlpanzerung und ein erhöhtes Gefälle als Folge der Flussregulierungen verstärkt. Im Untersuchungsgebiet nähern sich die Abflüsse durch die geschiebefreie Einleitung des Loisach-Isar-Kanals wieder den ursprünglichen Abflussmengen an. Dadurch steigt jedoch das Geschiebetransportvermögen. Zusammen mit dem bereits vorliegenden Geschiebedefizit und dem gestreckten Lauf, ist dieser Flussabschnitt besonders von einer Flussbetteintiefung gefährdet (BINDER, 2004).

9 Renaturierungsmaßnahmen im Untersuchungsabschnitt

Nördlich der Marienbrücke wurde bereits im Jahr 1991, rechtsufrig auf einer Länge von 625 m, linksufrig von 450 m die Blockschüttung sowie die Betonabdeckung entfernt. Im südlichen Abschnitt erfolgte die Renaturierung der Isar im Winterhalbjahr 1995/96. Hierbei wurden auf der rechten Uferseite 640 m, auf der linken Seite 500 m der Befestigung entnommen. Im Rahmen der 286000 Euro teuren Renaturierungsmaßnahmen ist der Flussabschnitt insgesamt von rund 2200 m Uferverbau befreit worden (WWA WEILHEIM, 2004).

Vor den Rückbaumaßnahmen mussten in Ufernähe circa 3 m breite Fahrstreifen angelegt werden, wofür eine Rodung des Uferbewuchses nötig war. Beide Maßnahmen wurden in den Wintermonaten durchgeführt, da unter anderem die biologische Aktivität der Tiere herabgesetzt ist und der gefrorene Boden nicht so stark beansprucht wird. Die Flussbausteine wurden mit einem Bagger entnommen und mittels Lastkraftwagen abgefahren. Die Wasserbausteine nutzte man zum Teil zur Befestigung des Wasserleitungsdükers im Abschnitt II bzw. zur Durchführung anderer Maßnahmen. Im Rahmen der Renaturierung wurde die Uferbefestigung vereinzelt auf kurzen Strecken nicht entfernt. Als Begründung wird hier eine Anregung der Flusssdynamik durch die entstehenden unregelmäßigen Strukturen mit Buchten und Vorsprüngen genannt. Des Weiteren wurde die Versteinung im Bereich des Pegels, beidseitig auf einer Länge von circa 180 m, zur Sicherung der Messgenauigkeit und zum Schutz der unterströmig liegenden Marienbrücke, belassen. Im Bereich der Floßlande ist die entsprechende Uferseite ebenfalls über die gesamte Länge der Anlage weiterhin befestigt. Nach Abschluss der Arbeiten fand ein Rückbau der angelegten Wege statt, die beanspruchten Flächen überließ man der Natur.

Durch die Entfernung der Uferbefestigung sollte dem Fluss wieder eine eigendynamische Entwicklung ermöglicht werden. Dadurch sollen sich verschiedene Biotopstrukturen bilden und somit die biologische Wirksamkeit aufgewertet werden. Alles zusammen sollte zur Verbesserung des lokalen Ökosystems führen. Ein weiteres Ziel war eine mögliche Aufweitung des Flussbettes, um der fortschreitenden Eintiefung der Gewässersohle entgegenzuwirken. Die Eintiefung im Untersuchungsgebiet wurde im Planungszeitraum (1987) auf circa 2 m seit der Kanalisierung des Abschnittes geschätzt. Durch den Uferabtrag erwartet man sich außerdem einen höheren Geschiebeeintrag, nachdem es durch den Sylvensteinspeicher zu einem Geschiebedefizit gekommen ist.

Der von der Entwicklung des Flusses betroffene Auwald ist Grundeigentum des Freistaates Bayern. Bauliche Anlagen (Pegel, Floßlande, Marienbrücke) sollen durch Uferabbrisse nicht gefährdet werden. Der Wasserleitungsdüker im südlichen Abschnitt wurde zusammen mit seinen Schächten mit den entfernten Wasserbausteinen massiv verbaut. Bei einer Gefährdung der Strommasten werden diese versetzt oder gesichert (WWA Weilheim, 1994).

10 Geschiebemanagement der Oberen Isar - Bedeutung für den Untersuchungsabschnitt

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft veröffentlichte im Jahr 2000 eine Studie über die Geschiebebewirtschaftung der Isar. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst die aktuelle Bewirtschaftungssituation dargestellt und bewertet. Anhand mehrerer Naturversuche zum Feststofftransport wurde außerdem untersucht, ob und wie sich die Geschiebeproblematik an der Isar lösen lässt. Im Folgenden werden der Sylvensteinspeicher und die Staustufe Bad Tölz betrachtet, da diese Geschiebefallen sehr bedeutend für das Untersuchungsgebiet sind.

Bereits vor der Durchführung dieser Naturversuche wurde durch Experten des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen eine Geschiebedurchgängigkeit des Sylvensteinspeichers, zum Beispiel durch eine Staulegung um eine Geschiebetrift zu gewährleisten, ausgeräumt. Die einzige Möglichkeit die Geschiebefälle zu umgehen besteht darin, das Substrat aus den Vorsperren mittels Lastkraftwagen in den Unterlauf zu transportieren. Auf diese Weise wurden schließlich drei Versuche zwischen 1996 und 1998 durchgeführt, bei denen das Geschiebematerial in Form von längsgestreckten Wällen dem Flussbett der Isar zugeführt wurde. Dabei sollten unter anderem der Aufwand und die Durchführbarkeit sowie das Transportverhalten im Fluss untersucht werden. Insgesamt wurden circa 32000 t Geschiebe mit rund 2000 Lastkraftwagen-Ladungen an verschiedenen Abschnitten im Unterlauf des Stausees in das Flussbett eingeschüttet.

Man kam zu dem Ergebnis, dass das Transportverhalten sehr stark von der Korngrößenverteilung des Geschiebematerials abhängig ist sowie vom Geschiebetransportvermögen des Flusses, das je nach hydrologischen und morphologischen Gegebenheiten im Längsverlauf stark differenziert. Während feinkörnigere Fraktionen bei einem Abfluss von 50 m³/s vollständig verfrachtet wurden, geschah dies bei der größten Kornfraktion (Korngröße von circa 400 mm) erst bei einem Abfluss von etwa 450 m³/s. Mit feststellbaren Auswirkungen der Geschiebezugaben auf die Morphologie der Isar im Untersuchungsgebiet bei Wolfratshausen ist jedoch nicht zu rechnen.

In Anbetracht aller Ergebnisse ist man zu der Erkenntnis gekommen, dass man einer Gewässerbetteintiefung in gefährdeten Abschnitten der Oberen Isar nicht allein mit einer Geschiebebewirtschaftung entgegen wirken kann. Dazu müsste vor jedem Hochwasser eine entsprechende Menge an Geschiebe, dosiert an ausgewählten Abschnitten, dem Flussbett zur Verfügung gestellt werden. Um die Sohle der Oberen Isar in Jahren mit Abflüssen bis zum langjährigen Abflussmittel vor einer Eintiefung zu schützen, müsste man jährlich schätzungsweise 50000 m³ Geschiebe aus den Vorsperren des Sylvensteinsees mit Lastkraftwagen dem Unterlauf zuführen. Abgesehen vom impraktikablen logistischen und hohen finanziellen Aufwand (circa 6 €/m³), wäre ein Schutz des Gewässerbettes vor Eintiefungen, in Jahren mit extremen Abflüssen, nicht garantiert. Außerdem würde es schließlich zu unkontrollierbaren Anlandungen des Geschiebes in gestauten Flussstrecken kommen. Somit wäre eine Geschiebebewirtschaftung an allen flussabwärtsgelegenen Stauanlagen notwendig.



Abbildung 16: Geschiebeumsetzung unterhalb des Kraftwerkes Bad Tölz (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_geschiebeumsetzung_toelz/index.htm, Autor: Lechermann [03.05.2011])



Abbildung 17: Kiesabtrag durch die Isar (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_geschiebeumsetzung_toelz/index.htm, Autor: Lechermann [03.05.2011])

Auswirkungen von Geschiebe- und Abflussdefizite, verursacht durch Querbauwerke wie den Sylvensteinspeicher, lassen sich also allein durch künstliche Hochwasserereignisse und Geschiebeumsetzungen nicht rückgängig machen. Durch diese Maßnahmen lässt sich auch das ursprüngliche Erscheinungsbild eines verzweigten Flusslaufes mit umlagernden Kiesbänken nicht wieder herstellen, da der Regelkreis auch durch andere Regelglieder stark gestört ist (BLFW, 2000).

Dennoch wird durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen zur Geschiebemanagement versucht, die Folgen des Geschiebedefizites zumindest auf ein Minimum zu reduzieren.

Nach Informationen des Wasserwirtschaftsamtes in Weilheim ist an der Staustufe Bad Tölz, im Gegensatz zum Sylvensteinspeicher, die Erzeugung einer Geschiebedrift durch eine Staulegung möglich. Dies geschieht bei Hochwasser mittlerweile regelmäßig. Wenn ein mindestens 24 stündiger Abfluss von 150 m³/s gehalten werden kann, wird der Stau zum Zweck der Geschiebedrift gelegt. Dadurch soll sich der mitgeführte Kies nicht absetzen, sondern weiter transportiert werden. Idealerweise wird im Stauraum verlandetes Geschiebe remobilisiert und in den Unterlauf des Kraftwerkes verfrachtet. Die Staulegung erfolgt langsam, in einem Zeitraum von circa 6 h, um eine unerwünschte Aufwirbelung von Feinsedimenten zu vermeiden. Größere, immobile Ablagerungen, welche sich negativ auf das Abflussverhalten auswirken, werden in Eigenregie vom Betreiber maschinell in den Unterlauf der Anlage verlagert. Nach Mitteilung des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim werden durch den Betreiber weiterhin Maßnahmen zur Optimierung der Geschiebedurchgängigkeit getroffen. Dazu zählen fachliche Untersuchungen und eine angepasste Stauraumbewirtschaftung.

Darüber hinaus werden an der Oberen Isar zahlreiche andere Maßnahmen zum Geschiebemanagement durchgeführt. So wurden Geschiebesperren an zufließenden Wildbächen umgebaut. Heute wird dort das angelandete Geschiebe größtenteils umgesetzt. Des Weiteren werden Kiesablagerungen unter anderem durch Abholzung und Auflockerung remobilisiert.

11 Durchgeführte Untersuchungen

11.1 Luftbildauswertung

Für die Auswertung wurden folgende Karten und Luftbilder des Landesamtes für Umwelt und des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim mit einer Zeitspanne von circa 150 Jahren verwendet:

- Die Katasterkarte im Maßstab 1:5000 wurde circa 1860 erstellt. Der genaue Jahrgang der Handzeichnungen war nicht festzustellen.
- Die Urpositionsblätter stammen aus dem Jahr 1864 und wurden im Maßstab 1:25000, ebenfalls als Handzeichnungen erstellt.
- Luftbilder aus den Jahren 1920, 1999, 2003 und 2009. Weitere Aufnahmen zwischen 1920 und 1999 standen nicht zur Verfügung.

Die Karten und Fotos mussten zum Teil mit dem EDV-Programm *ArcMap* von *ESRI* georeferenziert werden. Anschließend erfolgte eine Aufwertung der Farbe, Kontrasteinstellungen sowie die maßstabsgleiche Gegenüberstellung mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogrammes.

Durch den Vergleich der Aufnahmen sollen einerseits die Auswirkungen des menschlichen Eingriffes, andererseits mögliche Gestaltungsvorgänge der Isar seit den Renaturierungsmaßnahmen erkannt werden (Ergebnisse unter Kapitel 12.2).

11.2 Auswertung von Hochwasserereignissen

Daten zum Abflussgeschehen des Gewässers bilden eine wichtige Grundlage sowohl zur Aufnahme von Querprofilen als auch zur Interpretation ihrer Auswertung. Anhand der Ganglinien von Wasserstand und Abfluss lässt sich erkennen, wann Umgestaltungsvorgänge durch entsprechende Hochwasserabflüsse stattgefunden haben. Durch die Projektion der Zeiträume der Querprofilaufnahmen auf die Abflussganglinie lässt sich feststellen, ob und wann bettbildende Abflüsse vor der Querprofilaufnahme stattgefunden haben. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt unter Kapitel 12.1.

11.3 Querprofilauswertung

11.3.1 Theorie

Die Auswertung von Querprofilen dient zur Veranschaulichung und Beschreibung morphologischer Veränderungen des Flussbettes. Dabei werden Querprofile verschiedener Aufnahmejahre und Aufnahmepunkte gegenübergestellt; damit können beispielsweise qualitative und quantitative Aussagen über Seiten- und Tiefenerosion getroffen werden.

Nach Merkblatt Nr. 5.4/1 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LFU, 2008) erfolgen Querprofilaufnahmen an festgelegten Querprofilinien, wobei die Querprofilfläche stets senkrecht zur Flussachse liegt. Sie sind grundsätzlich bei Niedrigwasserverhältnissen, in der Regel alle 200 m, durchzuführen. Zeitgleich sollten nach dem Merkblatt auch die Niedrigwasserspiegel aufgenommen werden.

Längsprofil

Das Längsprofil spiegelt sozusagen die Reaktion des Flusses auf tektonische, lithologische und klimatische Gegebenheiten und Veränderungen wider. Jedes Fließgewässer strebt danach, ein Ausgleichsgefälle zu erreichen. Bei Erreichen dieses Gleichgewichtszustandes, herrscht ein ausgeglichenes Wechselspiel zwischen der Schubspannung des Wassers und dem Widerstand der beweglichen Sohle. Das bedeutet, wenn der Widerstand der beweglichen Sohle kleiner wird, zum Beispiel durch Abnutzung während des Transportes, herrscht ein Energieüberschuss. Darauf reagiert der Fluss mit einer Verlängerung des Laufes beziehungsweise einer Abflachung des Gefälles. Mit der Abnahme der Korngröße des Geschiebes im Längsverlauf, wird theoretisch auch das Gefälle kleiner und die Linienführung gewundener. Andererseits kann der Fluss ein für den bestehenden Geschiebetrieb zu steiles Gefälle auch durch Tiefenerosion ausgleichen und sich somit dem Gleichgewichtszustand annähern (JERZ, 1986).

Mittlere Sohle

Die mittlere Sohle lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$mSohle = \text{Horizont} - \frac{\text{Querprofilfläche}}{\text{Abstand der Lotrechten}}$$

Sie ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Sohlenentwicklung in Fließgewässern. Über die Entwicklung der mittleren Sohlagen lassen sich Aussagen über Abtragungs- beziehungsweise Auflandungstendenzen treffen.

Achtung: Der in der bayerischen Wasserwirtschaft eingeführte Begriff „mittlere Sohle“ ist eine berechnete Vergleichs- und Darstellungsgröße. Er darf nicht als die definierte mittlere Sohle eines Querschnittes im morphologischen Sinn verstanden werden.

Niedrigwasserfixierung

Zur Feststellung flussmorphologischer Veränderungen ist die Aufnahme und Dokumentation der Wasserspiegel, vor allem bei Niedrigwasserabfluss ein wichtiges Hilfsmittel. Dabei werden die Wasserspiegelmessungen an den festgelegten Querprofilen flussabwärts fortschreitend eingemessen. Dies geschieht durch Nivellement oder trigonometrische Messung. Vorgänge von Auflandung und Tiefenerosion sowie Gewässerbettaufweitung beziehungsweise -einengung können sich im Entwicklungstrend der Wasserspiegel widerspiegeln. (LFU, 2008)

Talweg

Verbindet man die tiefsten Messpunkte aller Querprofile eines Fließgewässers beziehungsweise eines Fließgewässerabschnittes miteinander, erhält man den Talweg. Unter Berücksichtigung der immer wieder auftretenden Umgestaltung und Verlagerung des Gewässerbettes können über die zeitliche Entwicklung des Talweges Eintiefungs- und Auflandungstendenzen erkannt werden.

11.3.2 Durchführung

Im gesamten Untersuchungsabschnitt stehen an 29 Querprofilinien Aufnahmen von 1980 bis 2006 zur Verfügung. An den renaturierten Strecken wurden die Querprofile zeitweise alle 100 m aufgenommen, ansonsten alle 200 m. Die Querprofilaufnahmen liegen jedoch nicht von jedem Aufnahmezeitraum lückenlos vor, so dass einige Profile in der Auswertung nicht berücksichtigt bzw. unvollständige Aufnahmen zweier hintereinanderliegender Jahre zusammengefügt werden mussten (siehe Tabelle 3). Außerdem erfolgte in wenigen Fällen eine Berechnung fehlender Daten durch Interpolation (siehe Anlage 3 auf Datenträger: Querprofilauswertung).

Tabelle 3: Übersicht über vorhandene Querprofilaufnahmen im Untersuchungsabschnitt

Abschnitt-Nr.	Fkm	2006	2003	1999	1998	1996	1993	1992	1991	1984	1980
4	175,4	X	X	X			X		X	X	X
4	175,6	X	X	X			X		X	X	X
4	175,8	X	X	X			X			X	X
4	176	X	X	X	X		X			X	X
4	176,2	X	X	X	X		X			X	X
4	176,4	X	X	X	X					X	X
4	176,6	X	X	X	X		X			X	X
4	176,8	X	X	X	X		X			X	X
4	177	X	X	X	X		X			X	X
3	177,2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	177,3		X	X	X	X	X	X	X		
3	177,4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	177,5		X	X	X	X	X	X	X		
3	177,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	177,7		X	X	X	X	X	X	X		
3	177,8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	177,877	X	X	X	X	X	X	X	X		
2	178,014	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	178,063	X	X	X	X		X	X	X	X	X
2	178,2	X	X	X	X	X	X			X	X
2	178,3		X	X	X	X					
2	178,4	X	X	X		X	X			X	X
2	178,5		X	X	X	X					
2	178,6	X	X	X	X	X	X			X	X
2	178,7		X	X	X	X					
1	178,8	X	X	X	X	X	X			X	X
1	179	X	X	X	X		X			X	X
1	179,2	X	X	X	X		X			X	X
1	179,4	X	X	X	X		X			X	X
Erläuterung:	X	: Aufnahme vorhanden					: keine Aufnahme				: aus der Aufnahme 1979

Die Querprofilaufnahmen wurden mit Hilfe der Excel-Applikation CSC - Cross Section Calculator - ausgewertet. Die für die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung angekaufte Anwendung wurde von Thomas Elsner entwickelt und umfasst neben der Visualisierung der Profile, Berechnungsfunktionen für mittlere Sohle, Talweg, Profilfläche und Sohlenvolumen.

Voraussetzung für die Berechnung der genannten Parameter ist die sinnvolle Festlegung der Berechnungsrahmen. Diese bestehen aus den begrenzenden Lotrechten am linken und rechten Ufer, dem Horizont und der Querprofilinie (siehe Abbildung 18). Die Lage von Horizont und Begrenzungslotherechten können im CSC-Profilbetrachter festgelegt werden.

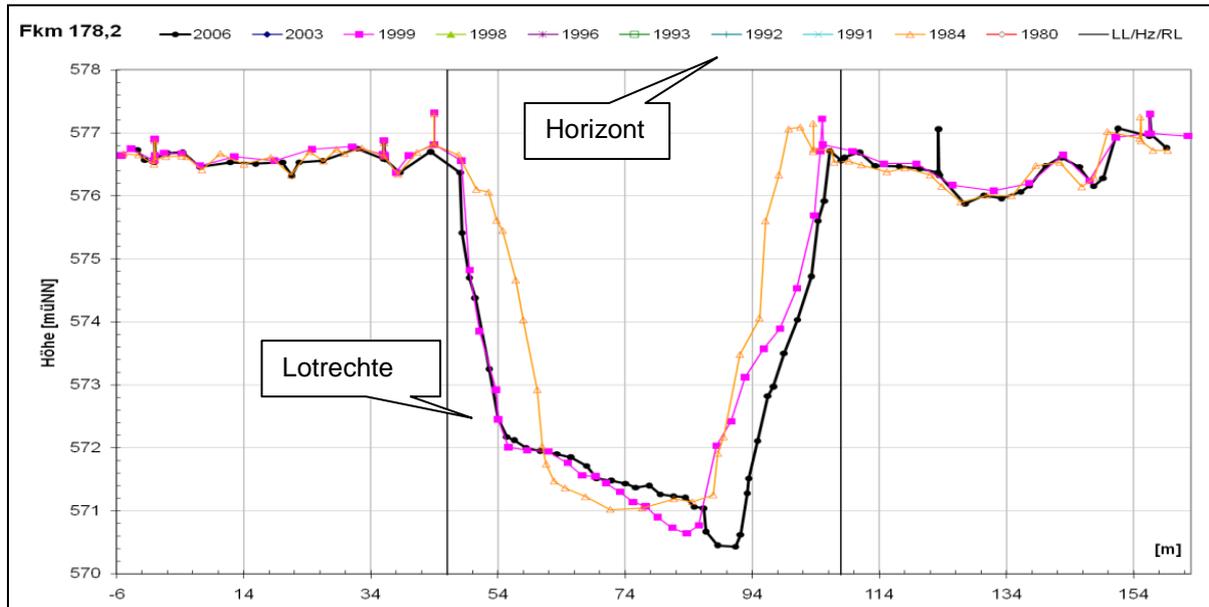


Abbildung 18: Querprofile im CSC-Profilbetrachter mit festgelegten Begrenzungslotherechten und Horizont zur Berechnung von $mSohle_{Abtrag}$

Die Auswertung der mittleren Sohle wurde auf zwei unterschiedliche Wege durchgeführt, in denen die Lotrechte der Berechnungsrahmen jeweils verschiedene Bereiche des Querprofils einschließen:

1. Zur Berechnung der $mSohle_{Abtrag}$ werden die Begrenzungslotherechten pro Querschnittsfläche so festgelegt, dass sie die Querprofile aller zeitlichen Aufnahmepunkte beinhalten. Dabei ist darauf zu achten, dass die Lotrechte möglichst eng zueinander gesetzt werden, um Fehlbeurteilungen - z. B. durch Rehenbildung bedingt - zu vermeiden. Gleichzeitig ist aber sicherzustellen, dass alle Profilveränderungen erfasst werden (siehe Abbildung 18). Da in diesem Fall die Querprofilfläche die einzige Variable zur Berechnung der mittleren Sohle darstellt, wirkt sich jede Veränderung der Fläche, ob durch Seiten- oder Tiefenerosion, auf die $mSohle_{Abtrag}$ aus. Je größer die Querprofilfläche, das heißt je größer der Feststoffabtrag, desto tiefer liegt der Wert der Sohle.

2. Um gezielt die horizontale Sohlentwicklung, möglichst ohne Einfluss der Seitenerosion betrachten zu können, wurde die $mSohle_{Tief}$ berechnet. Hierzu wurden die Begrenzungslotherechten für jedes Querprofil gesondert festgelegt und so positioniert, dass nur die Sohle zwischen den Böschungsfüßen im Berechnungsrahmen liegt. Durch diese Methode können mögliche Auflandungs- oder Eintiefungstendenzen der Gewässersohle festgestellt und sehr realistisch dargestellt werden. (Durch Mittelwertbildung der Höhenlagen der einzelnen Querprofilpunkte zwischen den Lotrechten würde man annähernd auch $mSohle_{Tief}$ erhalten.)

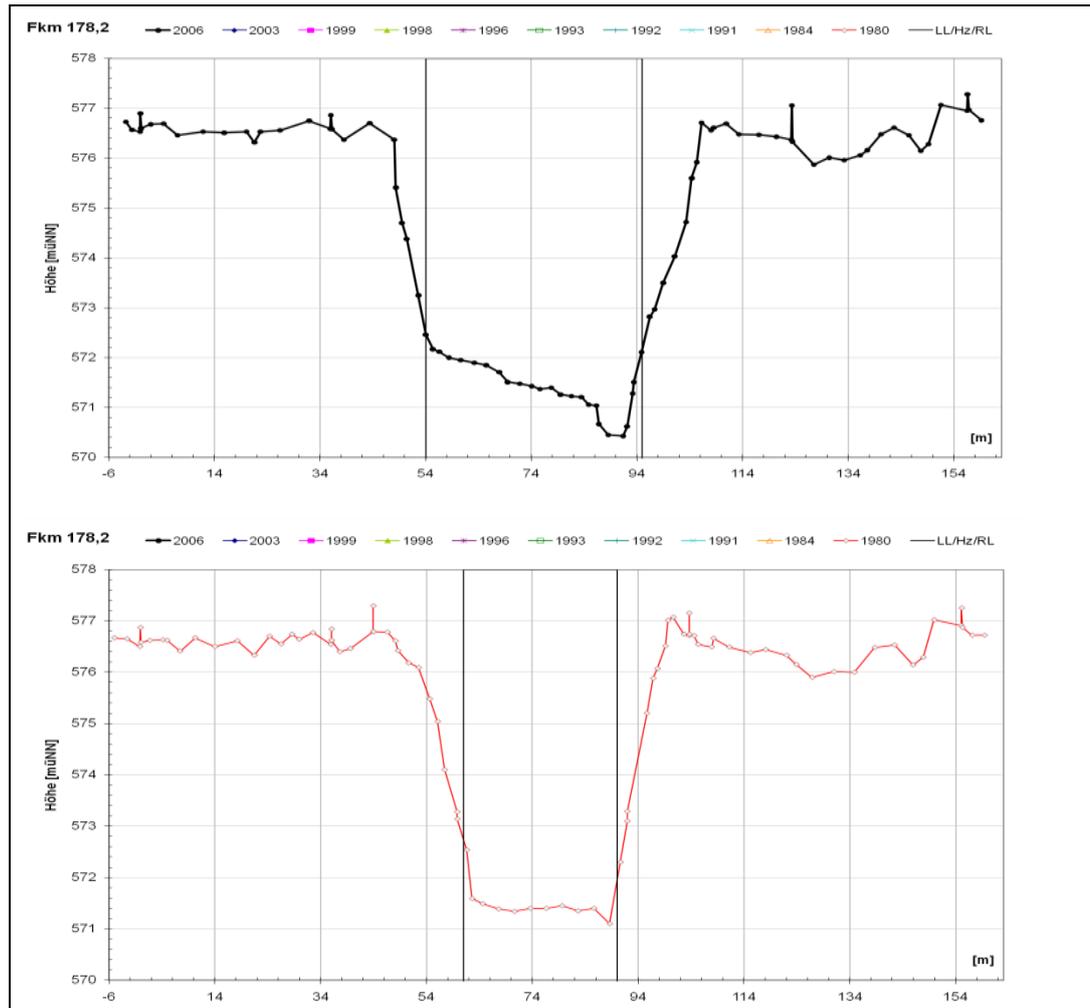


Abbildung 19: Zwei Profile der gleichen Querschnittsfläche mit gesondert festgelegten Lotrechten zur Berechnung von $mSohle_{Tief}$

Durch die Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Auswertungen von $mSohle_{Abtrag}$ und $mSohle_{Tief}$ wird ersichtlich, ob eventuelle Feststoffabtragungen auf eine Breitenentwicklung, eine Gewässerbettintiefung oder auf Beides zurückzuführen sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden neben den mittlere Sohlagen auch Niedrigwasserfixierungen und der Talweg verschiedener Jahre im Längsschnitt gegenübergestellt. Dazu wurden Differenzen in Bezug auf einen Referenzzustand berechnet und auf die Flussachse aufgetragen. Ein Längsprofil auf Basis der $mSohle_{Tief}$ soll Aufschluss über das Gefälle der Flussstrecke und dem Streben des Flusses nach Gleichgewichtsverhältnissen geben.

Zur Visualisierung der Breitenentwicklung des Gewässerbettes wurden die Abstände der Lotrechten zur Berechnung der $mSohle_{Tief}$ herangezogen. Dieser Abstand der Böschungfußpunkte wird als Gewässerbettbreite bezeichnet.

Die Ergebnisse der Querprofilauswertung werden unter Kapitel 12.3 und 12.4 dargelegt (siehe auch Anlage 3 auf Datenträger: Querprofilauswertung).

11.4 Gewässerstrukturkartierung

Unter der Gewässerstruktur versteht man alle morphologischen Bestandteile die ein Fließgewässer definieren, wie zum Beispiel Linienführung, Feststoffhaushalt, Vegetation, Ufer- und Sohlenbeschaffenheit und viele weitere. Die Strukturbeschaffenheit bildet eine wichtige Voraussetzung für die ökologische Funktionsfähigkeit von Gewässersystemen und steht im direkten Zusammenhang mit den Lebensbedingungen im und am Gewässer. Basis für die Entstehung und Umgestaltung gewässertypischer Strukturen bilden dabei aufeinander abgestimmte dynamische Prozesse. Aufgabe der Gewässerstrukturkartierung ist die Dokumentation der aktuellen Qualität der Strukturen des Fließgewässers.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Gewässerstruktur in den zwei renaturierten Abschnitten II und III unter Anwendung des „Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur“ (Stand: April 2002) des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft aufgenommen und ausgewertet. Das Verfahren basiert auf dem „Kartier- und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur“ aus dem Jahr 1995, dass in ganz Bayern erprobt wurde.

Bei dem angewandten Verfahren werden die beiden Teilsysteme Gewässerbett und Aue getrennt voneinander beurteilt. Dabei kommt das Leitbild des Gewässers als Referenzzustand zum Einsatz. Die 26 Einzelparameter werden also unter Berücksichtigung des potentiell natürlichen Zustandes des Fließgewässers bewertet. Dabei steht immer die natürliche Funktion des Fließgewässers im Bezug auf seine Selbstregelungsfähigkeit im Mittelpunkt der Bewertung. Charakteristisch für das Verfahren ist die Auswertung unter Einsatz der Kriterienhierarchie und des Minimumprinzipes. Erstes bedeutet, dass die einzelnen Parameter sowie die zwei Teilsysteme, je nach ihrer Bedeutung, unterschiedlich stark in die Bewertung einfließen. Durch das Minimumprinzip wird ein System durch den Mindeststandard seiner Bewertungskriterien beschrieben. Dass bedeutet, dass negativ bewertete Faktoren nicht durch positiv beurteilte Parameter auszugleichen sind, es erfolgt also keine Mittelwertbildung. Nach der Kriterienhierarchie werden die 26 Parameter zu sieben Funktionskomplexen und schließlich zu den zwei Teilsystemen Gewässerbett und Aue zusammengefügt. Vergleichbar mit den Bewertungsklassen der Gewässergüte, wird auch die Gewässerstruktur in sieben Klassen eingeteilt und nach der Fließgewässerdynamik beschrieben (LFW, 2002b).

Tabelle 4: Strukturklassen der Fließgewässerdynamik (LFW, 2002b)

Strukturklasse	1	2	3	4	5	6	7
Fließgewässerdynamik	unverändert	gering verändert	mäßig verändert	deutlich verändert	stark verändert	sehr stark verändert	vollständig verändert

Das zu untersuchende Gebiet wurde in 100 m- Abschnitte eingeteilt, die einzeln nach dem Vor-Ort-Verfahren aufgenommen wurden. Die Abschnitte werden nach der flussabwärtsliegenden Ziffer der Längseinteilung benannt, so befindet sich zum Beispiel Abschnitt 178,0 zwischen Fkm 178,1 und 178,0. Die Daten wurden mit einer entsprechenden Software, welche vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft zur Verfügung gestellt wird, ausgewertet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 12.5 und durch farbliche Kennzeichnung der Gewässerstrukturklassen in der digitalen Ortskarte (siehe Anlage 4: Gewässerstrukturkarte und Anlage 5 auf Datenträger: Auswertung der Gewässerstrukturkartierung).

12 Entwicklung des Untersuchungsabschnittes seit den Renaturierungsmaßnahmen

12.1 Bettbildende Abflüsse

Wie unter 8.2 schon erwähnt wurde, kommt es circa bei Abflüssen über 230 m³/s, also bei 4- bis 5-fachem Mittelwasserabfluss zur Ausuferung der Isar im Untersuchungsgebiet und somit zu Entwicklungsprozessen die das gesamte Gewässerbett und die Aue betreffen.

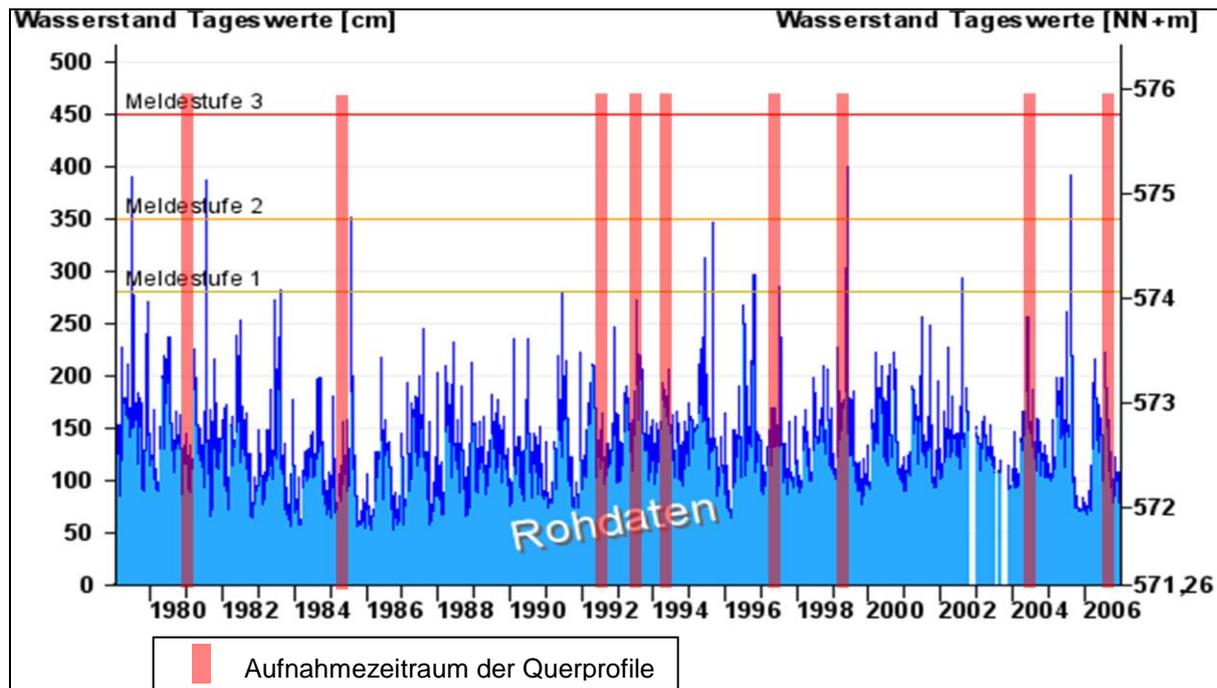


Abbildung 20: Wasserstände im Tagesmittel am Pupplinger Pegel von 1990 bis einschließlich 2006 (<http://www.hnd.bayern.de/> [05.01.2011]) Ergänzung der Aufnahmezeiträume durch Verfasser

In Abbildung 20 sind die Wasserstände im Tagesmittel seit 1990 abgebildet, ergänzt durch die Aufnahmezeiträume der Querprofile. In Tabelle 2 sind diese Daten detaillierter aufgelistet. Meldestufe 3 mit einer Überflutung einzelner Keller beziehungsweise Grundstück wurde seit 1990 nur beim Hochwasser 2005 erreicht. Mit Ausnahme der Jahre 1992 und 1993 hat vor jeder Querprofilaufnahme ein Hochwasser stattgefunden. Die bedeutendsten Hochwasserereignisse seit den Rückbaumaßnahmen fanden 1999 und 2005, mit Abflüssen bis zu 500 m³/s beziehungsweise 575 m³/s statt (<http://www.hnd.bayern.de/> [05.01.2011]).

Tabelle 5: Zeiträume der Querprofilaufnahme mit vorhergegangenen Hochwassern

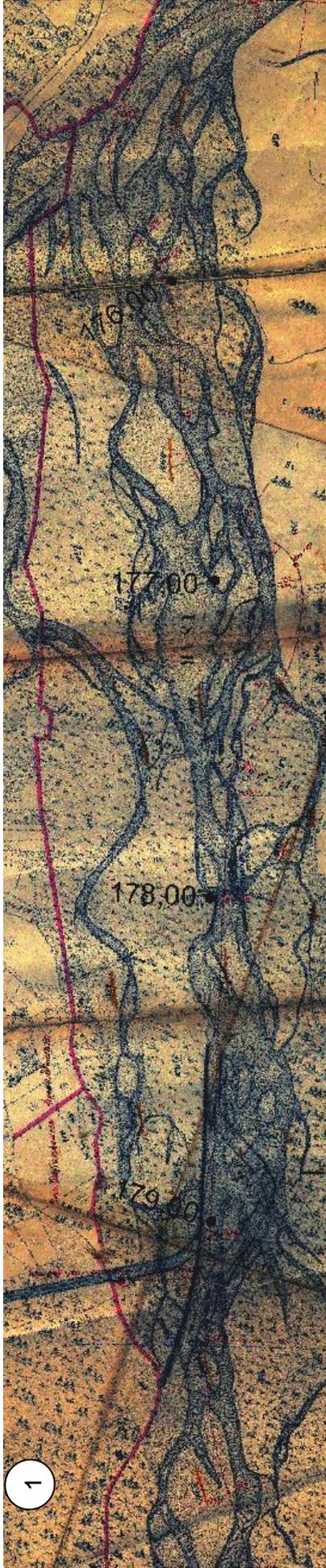
Aufnahmezeitraum	Letztes Hochwasserereignis	Bemerkung
19.12.1979 - 12.02.1980	Juni 1979	Meldestufe 2
28.03.1984 - 03.04.1984	August 1983	Meldestufe 1
01.07.1991 - 18.09.1991	August 1985	Meldestufe 2
29.07.1992	x	x
07.04.1993 - 27.04.1993	x	x
21.03.1996 - 11.04.1996	August 1995	Meldestufe 1
30.03.1998 - 01.04.1998	Juli 1997	Meldestufe 1
08.10.1999 - 05.11.1999	Mai 1999	Meldestufe 2
20.03.2003 - 15.09.2003	August 2002	Meldestufe 2
15.05.2006 - 20.10.2006	August 2005	Meldestufe 3

12.2 Entwicklung der Linienführung

In beiden historischen Karten (siehe S. 38) ist die Isar noch mit ihrem ursprünglich unbeeinflussten Wildflusscharakter und der verzweigten Linienführung erkennbar. Der Flusslauf war, entsprechend dem Leitbild, stark verzweigt. Auf der Luftaufnahme aus dem Jahr 1920 sieht man den Zustand der Isar 10 Jahre nach der Kanalisierung des Flusses nördlich der Marienbrücke. Selbst hier sind die weitreichenden Kiesbänke sowie verkümmerte Nebenarme noch deutlich erkennbar. Zu diesem Zeitpunkt ist die Isar, trotz des Ausbaues ihres Gewässerbettes, noch regelmäßig über die Ufer getreten und hat ihre breiten Auen umgestaltet. Dies erfolgte jedoch in einem wesentlich geringeren Umfang als vor den flussbaulichen Maßnahmen. Vor allem im Bereich des verbauten Flusslaufes ist ein deutlicher Bewuchs der angrenzenden Kiesbänke erkennbar.

Die Folgen des anthropogenen Einflusses werden bei der Betrachtung des Luftbildes von 1999 deutlich (siehe S. 39). Zu dieser Zeit waren die Renaturierungsmaßnahmen bereits abgeschlossen, dennoch sind im ehemals verbauten Abschnitt keine großen Kiesbänke, Buchten oder Laufverlagerungen erkennbar. Selbst in der naturbelassenen Pupplinger Au machten sich die Folgen der gestörten Abflussverhältnisse, des Geschiebemangels und der Gewässerbetteintiefung, durch die stark reduzierten Kiesflächen, im Vergleich zum Jahr 1920, bemerkbar.

Dennoch erkennt man eine Umgestaltung dieses Abschnittes im Verlauf der Jahre. Während von 1999 bis 2003 eine Begrünung der Kiesbänke stattfand, wurden diese durch das Hochwasser 2005 umgelagert. Zeitgleich hat sich das Gewässerbett umgelagert. Als positiv ist auch die Ausdehnung von Kiesflächen flussaufwärts, ausgehend von der Pupplinger Au in den renaturierten Abschnitt III, bis circa Fkm 177,2, zu bewerten. Südlich der Marienbrücke sieht man die angegriffenen Ufer nach der Offenlegung durch die Renaturierung im Jahr 1996. Bei Fkm 178,7 ist eine stetige Zunahme der Krümmung mit einer Vergrößerung der Kiesfläche am linken Ufer zu erkennen. Außerdem zeigt sich ansatzweise eine langsame Ausweitung des gewundenen Flusslaufes in Richtung Marienbrücke.



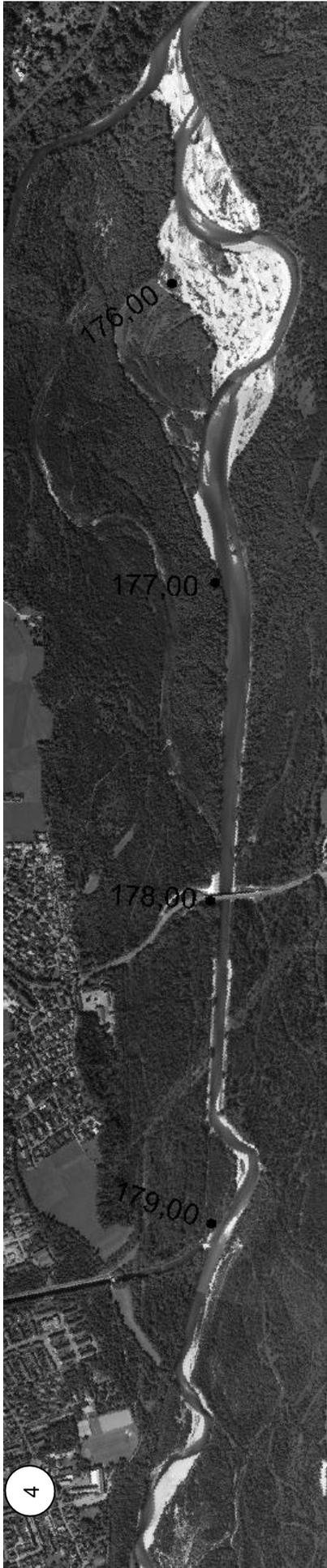


Abbildung 21: Laufentwicklung der Isar im Untersuchungsabschnitt von circa 1860 bis 2009 in absteigender Reihenfolge.

1: Katasterkarte (circa 1860), Maßstab 1:5000, 1911 bearbeitet (Handzeichnungen), durch WWA Weilheim georeferenziert, (Quelle: LFU)

2: Urpositionsblätter 1864 (Maßstab 1:25.000) (Quelle: LFU)

3: Luftbilder vom 13.11.1920, georeferenziert 2011, (Quelle: WWA WEILHEIM)

4: Luftbild 1999 (Quelle: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG)

5: Luftbild 2003 (Quelle: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG)

6: Luftbild 2009 (Quelle: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG)

12.3 Entwicklung der Gewässersohle

Die Entwicklung der $mSohle_{Abtrag}$ zeigt, seit dem Jahr 1980, im gesamten Untersuchungsgebiet einen deutlichen Trend zum Feststoffabtrag, auch bevor der Uferverbau entfernt wurde. Vor allem in der Aufnahme aus dem Jahr 1999 - nach der Entfernung der Uferbefestigung im nördlichen und südlichen Abschnitt - ist ein sprunghafter Einbruch der $mSohle_{Abtrag}$ zu verzeichnen (siehe Abbildung 22). Die Abtragungstendenz ist nicht nur in den renaturierten Bereichen zu erkennen, sondern auch, jedoch weniger intensiv, in der naturbelassenen Pupplinger Au (Abschnitt IV). Bei Fkm 178 sind, bedingt durch die Befestigung im Bereich der Marienbrücke und des Pegels Puppling, nur geringe Veränderungen in der Querprofilfläche festzustellen.

Wenn man jedoch den Verlauf der $mSohle_{Abtrag}$ in Abbildung 22 mit der Entwicklung der $mSohle_{Tief}$ in Abbildung 23 vergleicht, ist erkennbar, dass ein Feststoffabtrag nicht immer mit einer Eintiefung der Sohle einhergeht. In diesen Fällen ist die Seitenerosion für den Feststoffabtrag verantwortlich. Seit dem Hochwasser 1999 ist an vielen Stellen eine starke Erhöhung der Sohle und Verbreiterung des Gewässerbettes erkennbar. Bei Fkm 177,6 liegt die Gewässersohle im Mittel sogar circa 40 cm höher als noch 1980 und 70 cm höher als 1984.

Als die Ufer der Isar noch verbaut waren, konnte nur die Gewässersohle erodiert werden, weshalb sich der gesamte Feststoffabtrag in der Gewässerbetteintiefung niederschlug (siehe Abbildung 23, Linie 84-80). Bei Fkm 179,2 und 179,0, auf Höhe der Mündung des Kanals, ist eine Tiefenerosion bis zum Jahr 1993 um fast 20 cm zu erkennen; seit dem Hochwasser 1999 ist dort jedoch eine Auflandung der Sohle zu verzeichnen, wodurch die vormalige Eintiefung schon fast wieder kompensiert wurde. Eine weitere stetige Eintiefung findet am oberen Abschnitt IV statt (Fkm 177,0). Seit 1980 erfolgte dort eine Eintiefung um 40 cm. Ansonsten lassen sich in der Pupplinger Au keine sicheren Aussagen über Feststoffauflandung beziehungsweise -abtrag treffen, da die Isar sich in diesem Bereich ständig verlagert, sich neue Seitenarme bilden und sich dadurch kein definierter Berechnungsrahmen setzen lässt.

In Abbildung 24 ist die Sohlentwicklung der zwei renaturierten Strecken, nach den Rückbaumaßnahmen, in 100 m-Abschnitten dargestellt. In den ersten Jahren nach der Entfernung der Uferbefestigung setzte sich die Eintiefungstendenz fort. Ab den Jahren 1998/99 ist in beiden Abschnitten eine Auflandung der Sohle zu beobachten.

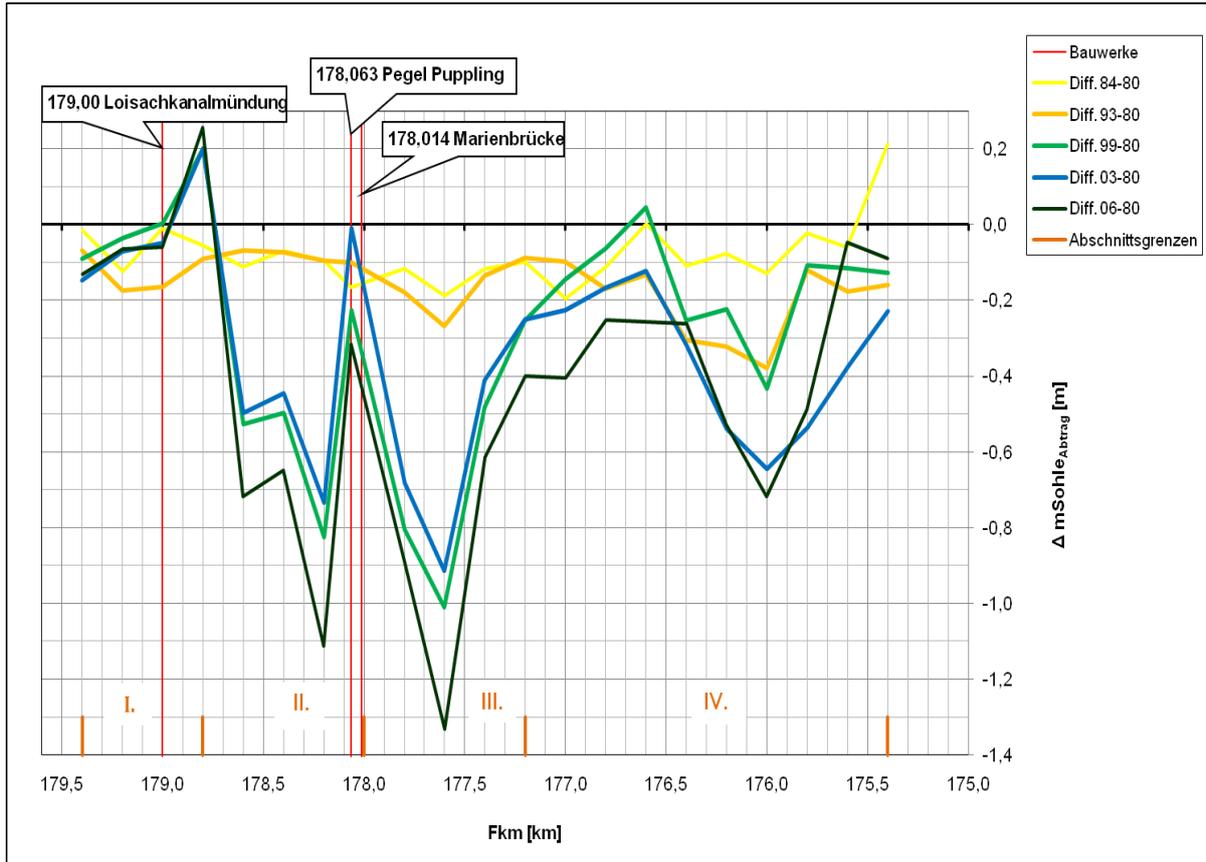


Abbildung 22: Entwicklung der $mSohle_{Abtrag}$ im Untersuchungsabschnitt seit 1980

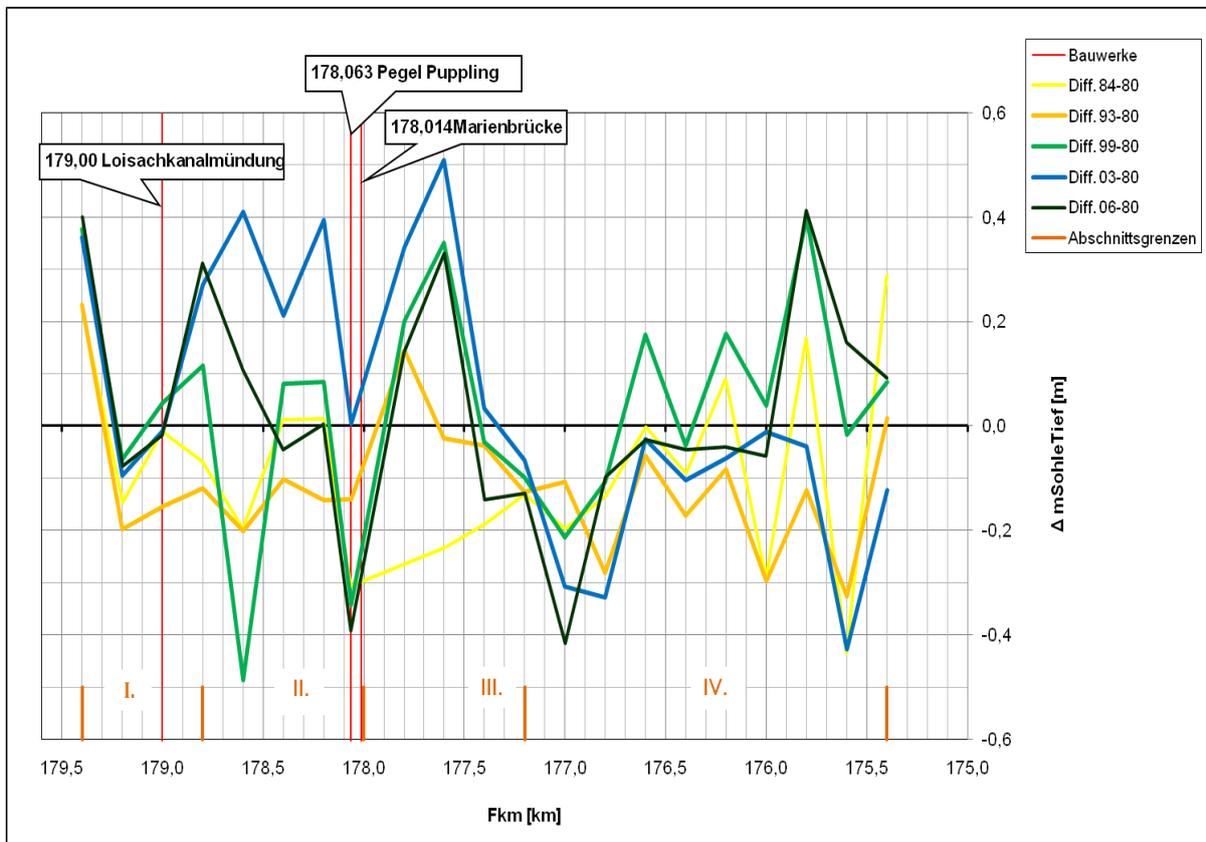


Abbildung 23: Entwicklung der $mSohle_{Tief}$ im Untersuchungsgebiet seit 1980

Im Abschnitt II ist im befestigten Bereich des Pupplinger Pegels seit 1998 eine deutliche und kontinuierliche Eintiefung um circa 30 cm zu verzeichnen (Fkm 178,063). An den übrigen Profilen des Abschnittes ist eine Auflandungstendenz ($mSohle_{Tief}$) zu verzeichnen, wobei 2006, also nach dem Hochwasser 2005 (Meldestufe 3) von Fkm 178,4 bis zum Pegel Puppling eine Sohleintiefung zu erkennen ist. Im Bereich der 90° Biegung bei Fkm 178,8 lässt sich die Auflandung um 30 cm seit 1999 womöglich durch die geringeren Schleppkräfte, bedingt durch die natürliche Flussbettauflandung erklären. Des Weiteren bilden Krümmungen durch die strömungsarmen Bereiche der Gleithänge gute Voraussetzungen zur Geschiebeablagerung.

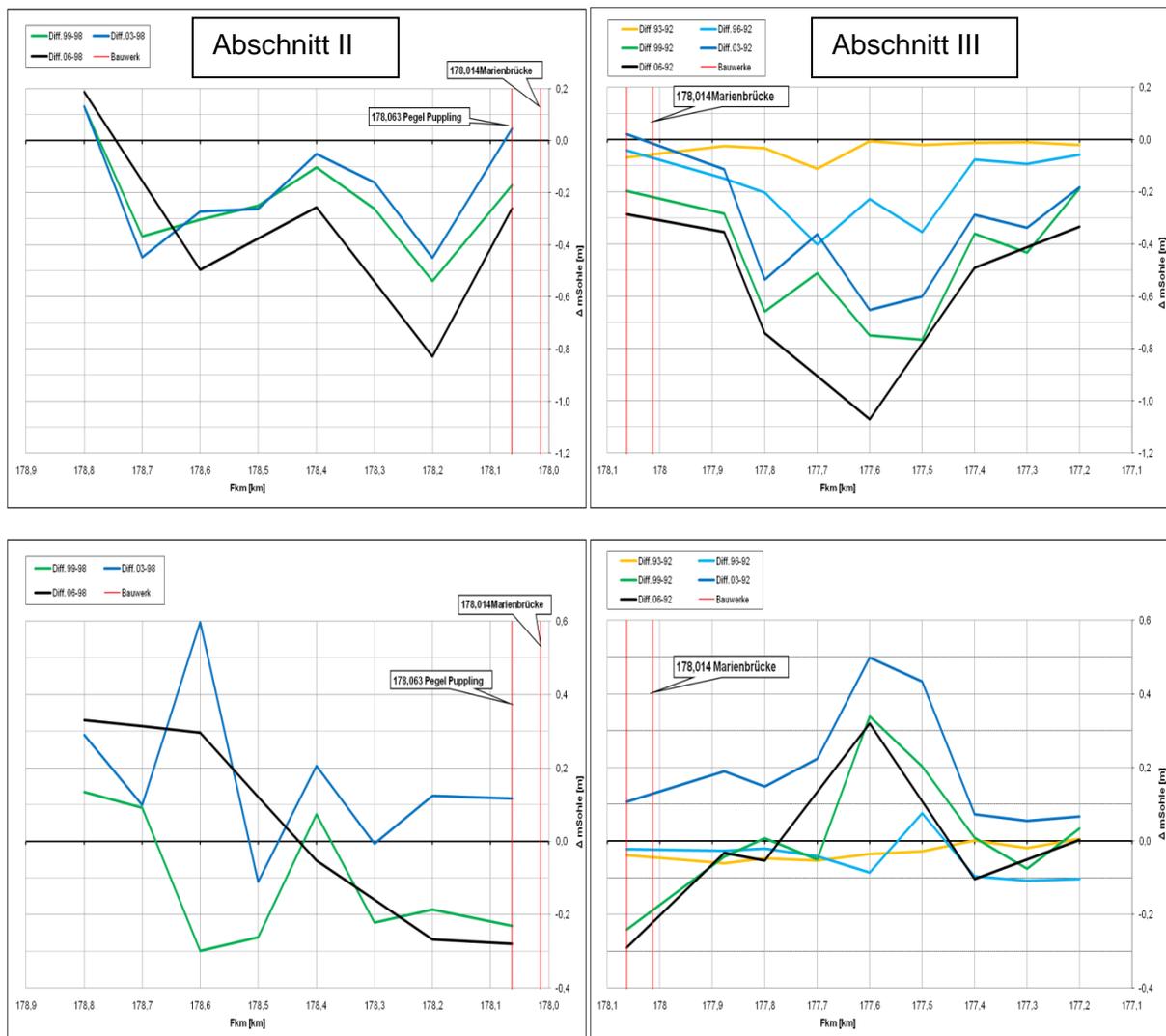


Abbildung 24: Entwicklung der Sohle seit den Renaturierungsmaßnahmen. Oben ist $mSohle_{Abtrag}$, unten $mSohle_{Tief}$ dargestellt.

Im Abschnitt III ist bis 1996 auf der gesamten Länge eine fortschreitende Sohleintiefung zu verzeichnen. Ab 1999 kann man bei Fkm 177,5/6 erste deutliche Erhöhungen der $mSohle_{Tief}$ beobachten. Bis 2003 intensiviert sich dieser Trend im gesamten Abschnitt. Im Jahr 2006 kann man, wie im Abschnitt II, eine Eintiefung der Sohle erkennen. Grund ist das Hochwasser 2005 in Verbindung mit den erhöhten Strömungsverhältnissen im eingegengten Abschnitt der Brücke und des Pegels.

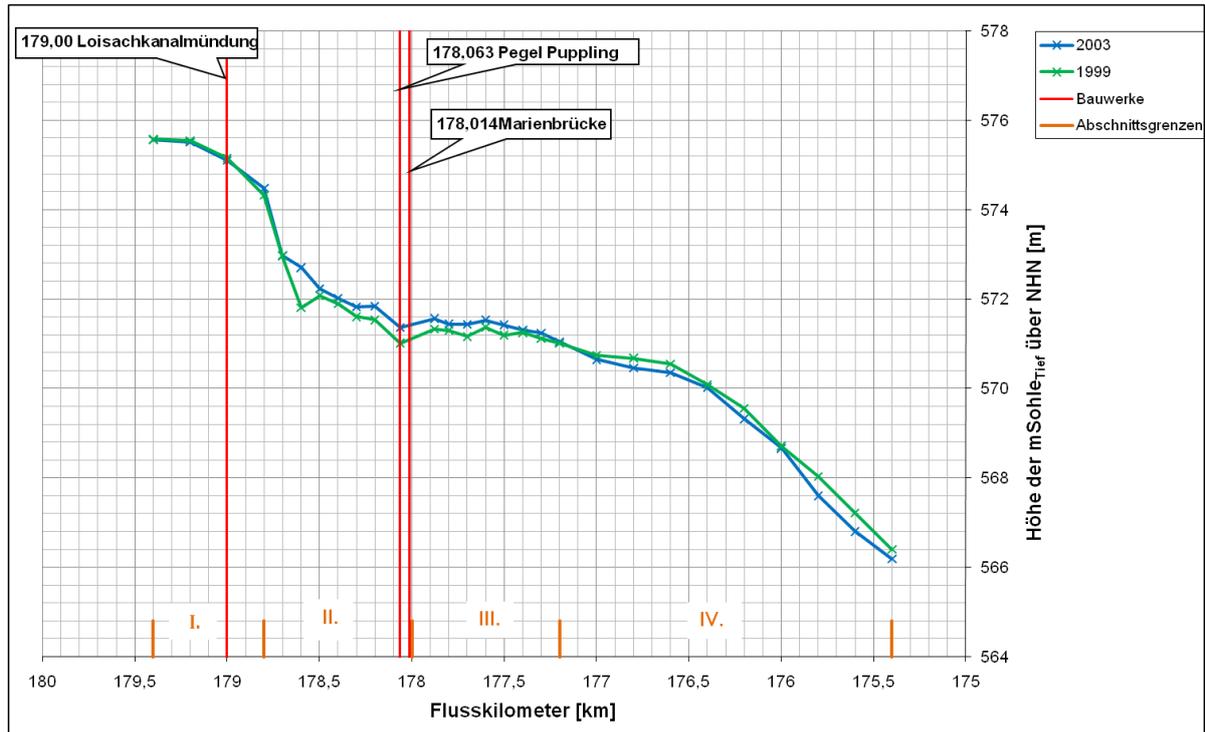


Abbildung 25: Längsprofil der Isar im Untersuchungsabschnitt auf Basis der $mSohle_{Tief}$

Bei der Betrachtung des Längsprofils (Abbildung 25) fällt eine Störung im Bereich der Kanaleinmündung besonders ins Auge. Die $mSohle_{Tief}$ fällt ab dem Zufluss, auf eine Länge von 500 m, um 3 m ab, was einem Gefälle von 6 ‰ entspricht. Hier war die Sohleintiefung besonders stark zugange. Grund dafür ist ein erhöhtes Geschiebetransportvermögen, bedingt durch die zusätzliche Wassermenge des Kanals, sowie der mangelnde Geschiebetrieb. Da der Fluss durch den Verbau an einer Seitenerosion gehindert wurde, verursachte die überschüssige Energie eine Tiefenerosion und dadurch eine Abflachung des Gefälles ab Fkm 178,5. Die bei geschiebeführenden Hochwassern leicht erodierbaren Tonschichten haben die Tiefenerosion womöglich begünstigt. Seit der Renaturierung macht sich ein Trend der Sohlenuflandung seit 1999, im gesamten renaturierten Abschnitt, bemerkbar. Vermutlich kann die Isar das starke Geschiebetransportvermögen durch Seitenerosion sättigen und gleichzeitig dem Gewässerbett Feststoff zuführen.

Ab der Marienbrücke ist das Gefälle stark abgeflacht, wobei die rückstauende Wirkung der natürlichen Flußbettaufweitung und Laufverzweigung in der Pupplinger Au eine Rolle spielt. Ein weiterer Grund könnte sein, dass der Fluss auf dieser Strecke, bedingt durch die starke Eintiefung im letzten Jahrhundert, ein Ausgleichsgefälle erreicht hat. In der naturnahen Pupplinger Au steigt das Gefälle wieder deutlich an.

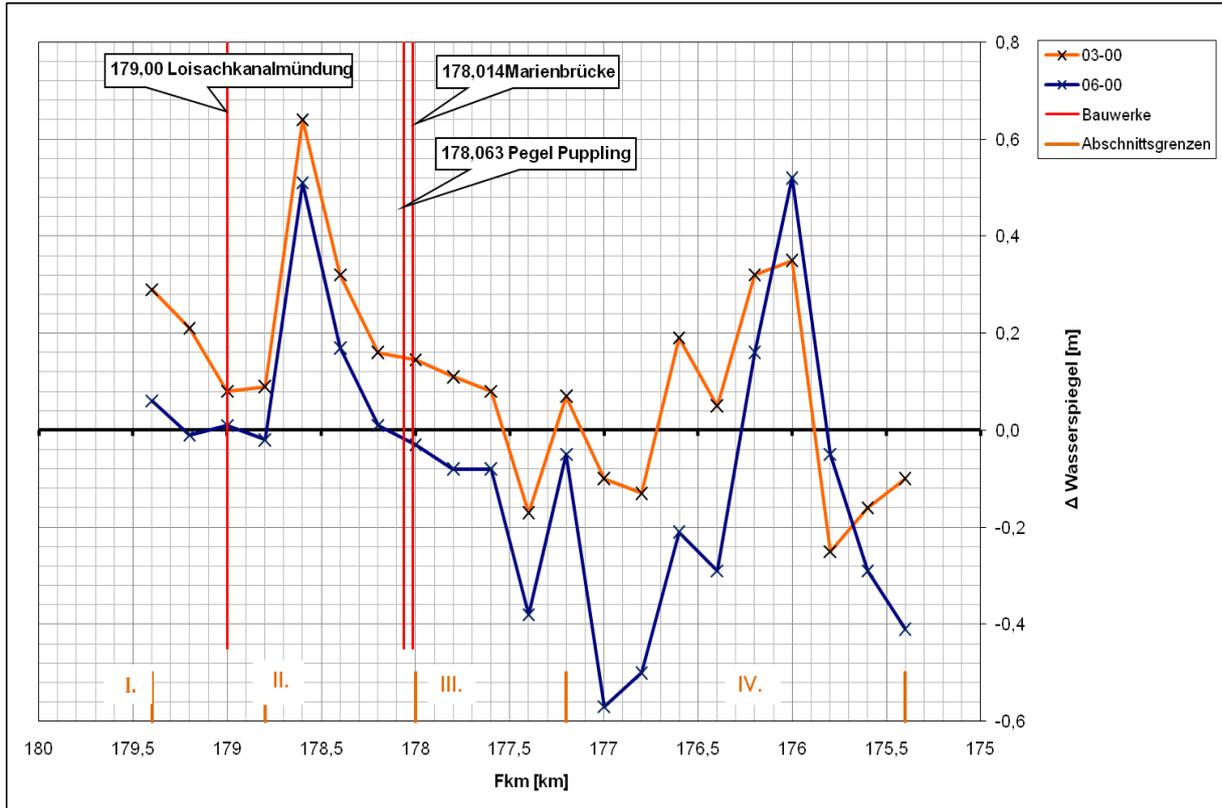


Abbildung 26: Entwicklung der Wasserspiegel bei Niedrigwasserabfluss im Untersuchungsabschnitt nach der Renaturierung

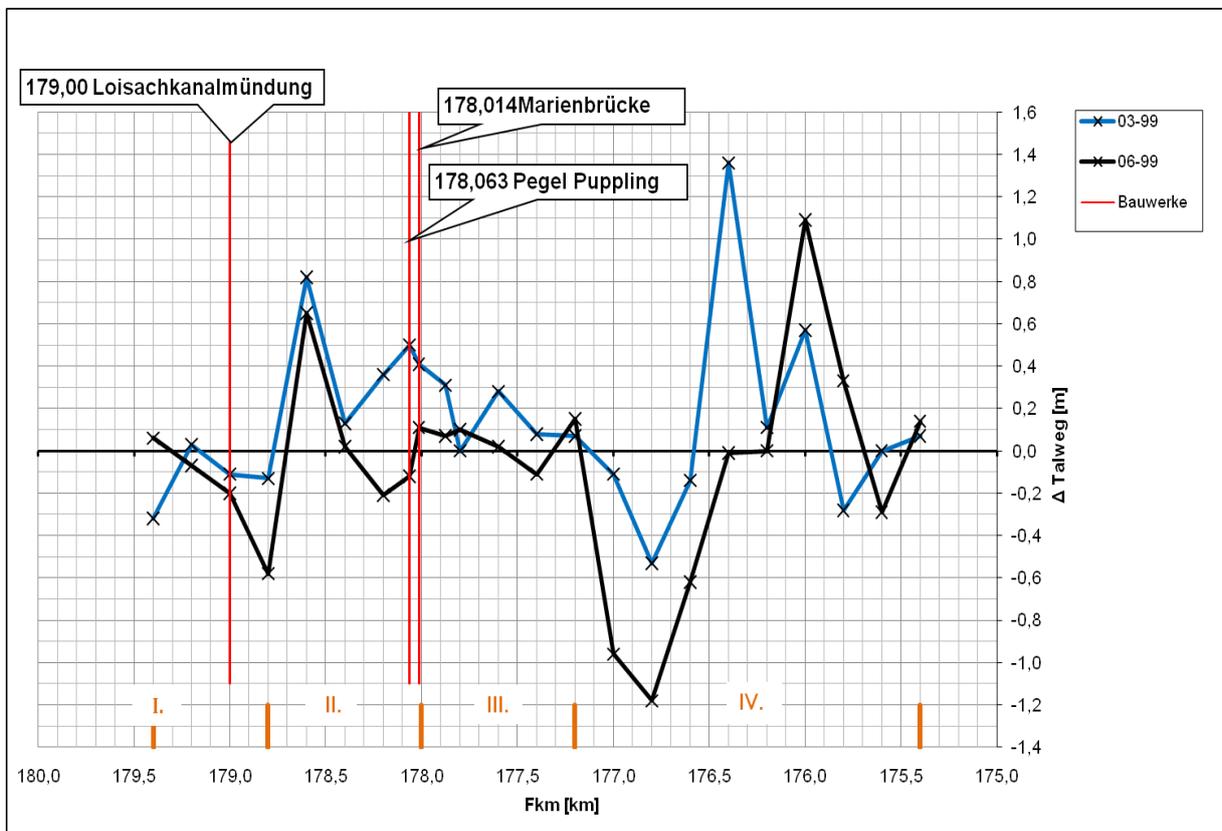


Abbildung 27: Entwicklung des Talweges im Untersuchungsabschnitt nach der Renaturierung

Beim Vergleich von Abbildung 26 mit Abbildung 27 ist eine deutliche Korrelation der Entwicklung der Niedrigwasserspiegel mit der Entwicklung des Talweges erkennbar. Im Bereich der Sohleintiefung im Untersuchungsabschnitt IV liegt der tiefste Punkt des Querprofils im Jahr 2006 über 1 m tiefer als 1999. Auch im Bereich der Krümmung bei Fkm 178,8 ist eine lokale Eintiefung des Talweges zu vermerken. Der Wasserspiegel passt sich diesen Eintiefungen an, da das Niedrigwasser im Bereich des Talweges abfließt. Im übrigen Untersuchungsgebiet spiegelt sich der Trend der Sohlauflandung auch im Talweg wider. Grundsätzlich ist eine Korrelation des Verlaufes der Niedrigwasserspiegel und der $mSohle_{Tief}$ zu erkennen. Hier lassen sich jedoch keine quantitativen Aussagen bezüglich der Sohleintiefung treffen, da der Wasserspiegel ebenso auf Änderungen der Gewässerbettbreite reagiert und durch Stauungen beeinflusst wird. Des Weiteren wurden die Niedrigwasserfestlegungen nicht immer zeitgleich mit den Querprofilaufnahmen durchgeführt, wodurch die Aussagekraft eines Vergleiches noch geringer ist.

12.4 Entwicklung der Gewässerbettbreite

In Abbildung 28 sind die Gewässerbettbreiten von 2006 - ergänzt mit Werten aus der Aufnahme von 2003 - und den Zeitpunkten nach dem Rückbau der Uferbefestigung, d.h. 1991 und 1996 dargestellt. Seit den Entfesselungsmaßnahmen der Isar hat sich der Fluss über die gesamte Länge der renaturierten Abschnitte verbreitert. In Abbildung 29 ist erkennbar, in welcher Größenordnung sich die Breitenentwicklung vollzogen hat. Bei Fkm 177,6 ist sie mit 25 m von 1991 bis 2006 besonders deutlich. An dieser Stelle sind zugleich der größte Feststoffabtrag und eine Erhöhung der Sohle um circa 0,3 m seit 1992 zu verzeichnen. Die großen Hochwasserereignisse von 1999 und 2005 waren ausschlaggebend für diese Entwicklung.

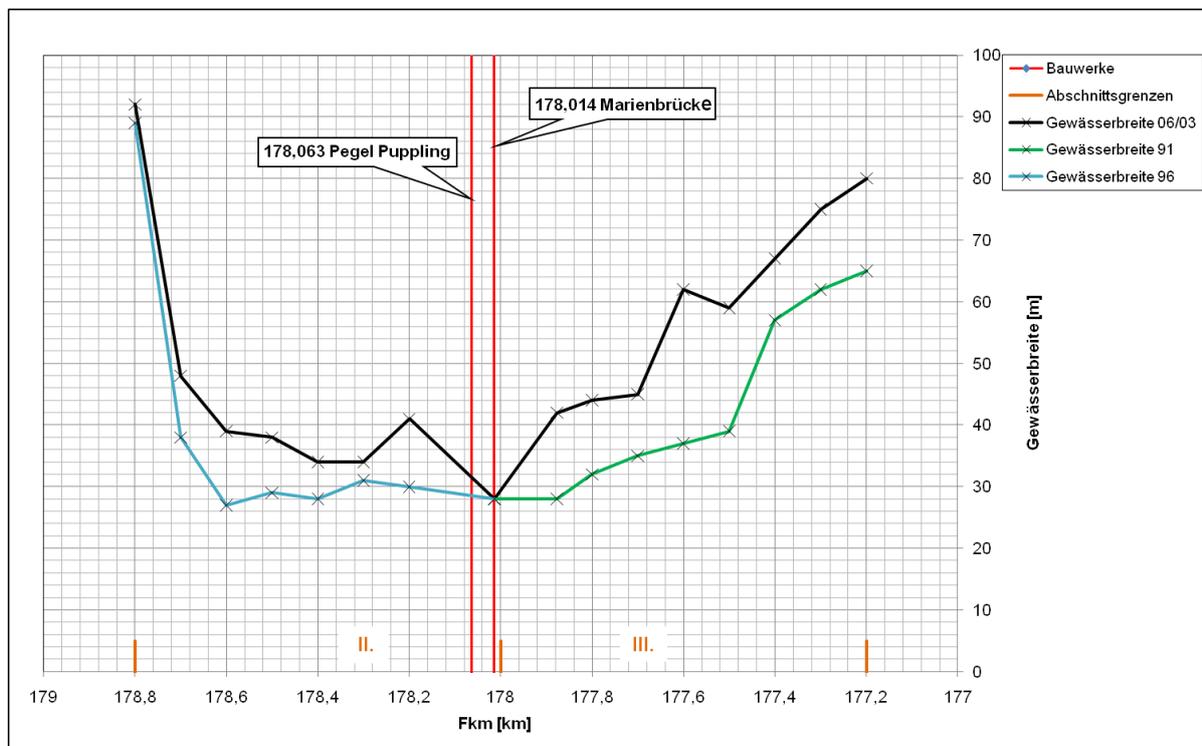


Abbildung 28: Entwicklung der Gewässerbettbreite in den renaturierten Abschnitten seit Entfernung des Uferverbau

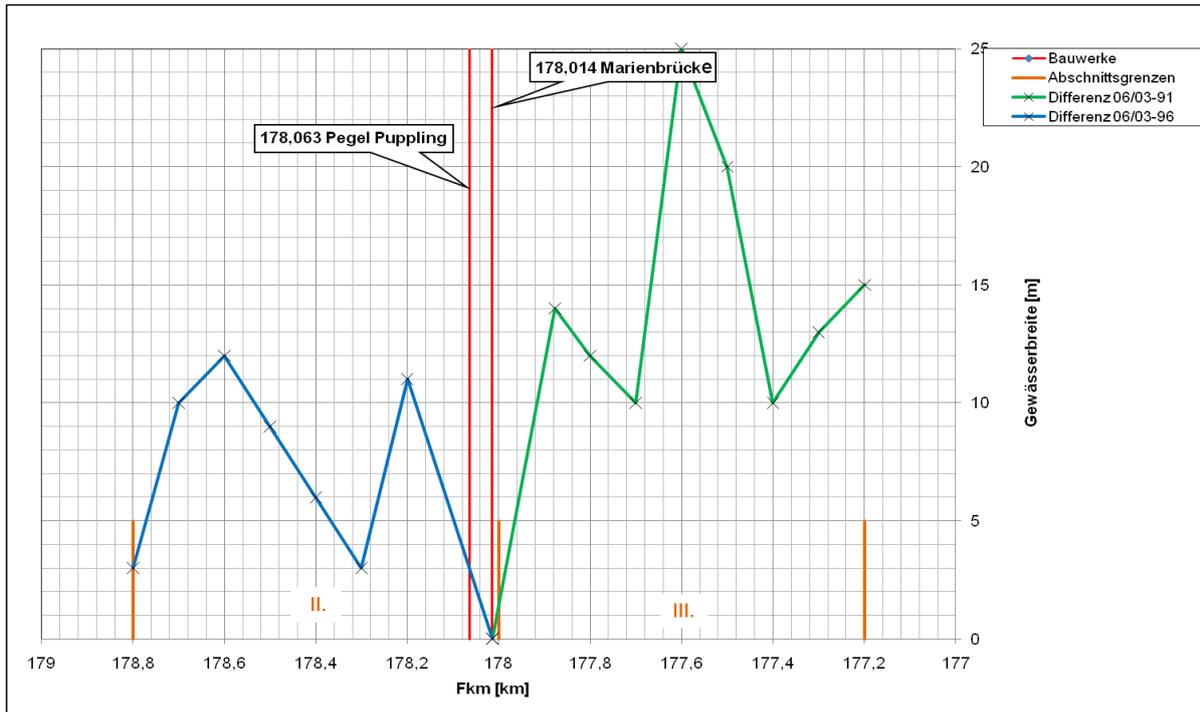


Abbildung 29: Verbreiterung des Gewässerbettes von kurz nach den Entfesselungsmaßnahmen bis 2003/06

12.5 Gewässerstruktur im Untersuchungsabschnitt

IDGewAb	Abschnitt	Linienführung	Verlagerungspotential	Entwicklungsanzeichen	Strukturausstattung	Retentionsraum	Uferstreifen	Stoffrückhalt	Gewässerbettynamik	Aue-dynamik	Strukturklasse
163999917720,00	17720	1	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917730,00	17730	3	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917740,00	17740	3	3	7	1	7	1	1	3	6	4
163999917750,00	17750	3	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917760,00	17760	3	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917770,00	17770	3	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917780,00	17780	5	5	7	7	7	1	1	6	6	6
163999917790,00	17790	5	7	7	7	7	7	1	7	6	7
163999917800,00	17800	5	7	7	7	7	1	1	7	6	7
163999917810,00	17810	5	7	7	4	7	1	1	7	6	7
163999917820,00	17820	3	3	5	1	7	1	1	3	6	4
163999917830,00	17830	3	3	4	1	7	1	1	3	6	4
163999917840,00	17840	3	5	7	1	7	1	1	4	6	5
163999917850,00	17850	1	3	4	4	7	1	1	3	6	4
163999917860,00	17860	1	3	4	1	7	1	1	3	6	4
163999917870,00	17870	1	3	4	1	7	1	1	3	6	4

Abbildung 30: Bewertung der Funktionskomplexe und Zuordnung der Strukturklassen der einzelnen Abschnitte

Zur Beurteilung der Einzelparameter wurde als Referenzzustand das unter 6.2 beschriebene Leitbild der Isar im Untersuchungsabschnitt herangezogen. Dadurch war eine Änderung der Bewertung für den Parameter Anlandungen angebracht. Nach der Bewertungsanleitung ist dieser Punkt als „ausgeprägt“ zu kennzeichnen, wenn „mindestens eine deutlich sichtbare Anlandung, breiter als 10% der mittleren Gewässerbreite“ vorliegt (LFW, 2002b S. 42). Da die Isar aber den Fließgewässerlandschaften der großen Auen über 300 m Breite angehört, welche sich durch weitreichende Kiesbänke und Schwemmfächer auszeichnen, würde dieses Kriterium der Beurteilung im Untersuchungsabschnitt nicht gerecht werden.

Aus diesem Grund wurden in folgender Auswertung, Anlandungen ab einer Breite von circa 30% bis 40% der mittleren Gewässerbreite als ausgeprägt vermerkt. Eine vergleichbare Anpassung wurde auch in einer früheren Gewässerstrukturkartierung der Oberen Isar vorgenommen (HADATSCH, 2007).

In Abbildung 30 ist die Bewertung der einzelnen Funktionskomplexe, in Abbildung 31 die prozentuale Verteilung der vergebenen Strukturklassen dargestellt (siehe auch Anlage 3: Gewässerstrukturkarte). Als bestes Ergebnis dieser Auswertung wurden sechs der 16 untersuchten Abschnitte mit Strukturklasse 4 als „deutlich verändert“ eingestuft. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Bereiche südlich der Marienbrücke, wo der Uferverbau erst 1995/96 entfernt wurde. Die gleiche Anzahl von Abschnitten, welche sich hauptsächlich im nördlichen Bereich befinden, wurde mit Strukturklasse 5 als „stark verändert“ bewertet. Ein Abschnitt erhielt die Beurteilung „sehr stark verändert“ und drei Teilbereiche „vollständig verändert“. Diese Sektoren liegen im überwiegend befestigten Bereich der Brücke, des Pegels und der Floßlande (Fkm 177,80 bis 178,20).

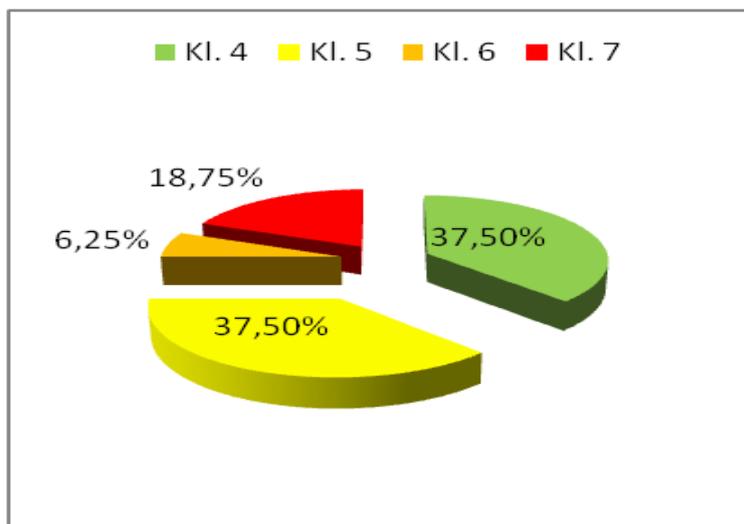


Abbildung 31: Prozentuale Verteilung der Strukturklassen

Linienführung

Dieser Parameter beschreibt den Gewässerverlauf und wirkt sich sehr stark auf die Entstehung anderer Gewässerstrukturen aus, weshalb er in der Gesamtbewertung die höchste Gewichtung erfährt.

Ausschlaggebend für die Gerinnegeometrie eines Flusses ist das Wechselspiel von Abfluss und Feststoffführung. Eine gestreckte Linienführung kommt bei Fließgewässern natürlicherweise nur sehr selten vor. Ein solcher Lauftyp entsteht bei großem Gefälle, schwachem Geschiebetrieb oder lässt sich durch die naturräumliche geologische Situation begründen.

Die Isar gehört dem Typ der verzweigten Flüsse an. Diese fließen nicht in einem begrenzten Bett sondern haben einen verzweigten Lauf mit einem Haupt- und mehreren Nebengerinnen. Solche Verzweigungen setzen ein verhältnismäßig großes Gefälle und einen ausgeprägten Geschiebetrieb voraus. Im Vergleich zu den verzweigten Flüssen entstehen gewundene beziehungsweise mäandrierende

Flusläufe bei abnehmendem Gefälle, dadurch niedrigeren Fließgeschwindigkeiten und größerer Wassertiefe. Ein mäandrierendes Fließgewässer beschreibt gewissermaßen ein Gleichgewichtszustand zwischen Erosion und Akkumulation (JERZ, 1986).

Eine schwach gewundene Linienführung wie sie dem Leitbild entspricht, lässt sich nur in den Abschnitten 178,5 bis 178,7, im Bereich der Biegung und im Abschnitt 177,2, im Zufluss der Pupplinger Au erkennen. In allen weiteren Segmenten ist der Flusslauf gestreckt, in den befestigten Bereichen des Pegels und der Brücke sogar gerade.

Verlagerungspotential

Das Verlagerungspotential gibt Auskunft über die Möglichkeit der eigendynamischen Entwicklung des Gewässers, in Anbetracht der anthropogenen Beeinträchtigungen. Außerdem wird die Durchgängigkeit des Gewässers bewertet.

Im gesamten Untersuchungsgebiet fand kein Verbau der Sohle statt. Des Weiteren gibt es keine Querbauwerke oder Verrohrungen, lediglich die Marienbrücke ist als Durchlass zu vermerken. Die Versteinung zur Sicherung der Ufer wurde zwar größtenteils entfernt, an einigen Stellen jedoch, mit der Annahme die Flussdynamik damit anzuregen, belassen. Somit sind im renaturierten Bereich nur drei Abschnitte vorzufinden die vollkommen unverbaut sind. Die Querprofile wurden im Süden bis einschließlich Abschnitt 178,4 als unregelmäßig eingestuft. Während sich dort auf der linken Seite relativ flache Ufer mit stellenweisen Kiesbänken befinden, herrschen an der rechten Uferseite Steilwände vor, an denen die Eintiefung des Flusses gut zu erkennen ist. Ab Abschnitt 178,3 fließt die Isar im Trapez-Profil.

Entwicklungsanzeichen

Die morphologische Gestaltung durch Erosion und Anlandung wird anhand des Funktionskomplexes Entwicklungsanzeichen angezeigt.

Im nördlichen Teilabschnitt wurde keine nennenswerte Tiefenvariabilität beobachtet. Die Betrachtung der Querprofile stützt diese Beurteilung. In Richtung Süden, ab Abschnitt 177,2 findet man mäßige Tiefenunterschiede über den Gewässerquerschnitt vor. Ein ähnlicher Trend ist bei der Breitenvariabilität festzustellen, wobei sich erste mäßige Erfolge auch in Abschnitt III, kurz vor der Pupplinger Au bemerkbar machen. In die Kartierung aufgenommene Anlandungen sind einzig am Gleithang der 90°-Krümmung (siehe Abbildung 32) und 200 m weiter flussabwärts, in Form von Kiesbänken, vorhanden. Die Ufererosion ist jedoch in beiden Teilabschnitten, ausschließlich der vier Segmente auf Höhe der Brücke und des Pegels, durchgehend ausgeprägt.



Abbildung 32: Kiesbänke im Bereich der Biegung bei Fkm 177,7

Strukturausstattung

Die Strukturausstattung beinhaltet die Parameter Böschungsbewuchs, Sonderstrukturen, Strömungsvielfalt und Sohlsubstratvielfalt. Da eine ausgeprägte Strukturausstattung ausschlaggebend für die eigendynamische Entwicklung eines Gewässers sein kann, besteht einzig durch diesen Funktionskomplex die Möglichkeit, die Strukturklasse eines Abschnittes um eine Stufe aufzuwerten. Als weitere Besonderheit kommt die Bewertung nach dem Maximumprinzip hinzu.

Auf nahezu der gesamten kartierten Strecke setzt sich der Böschungsbewuchs aus standortheimischen Gehölzen und Altgras, im wechselnden Verhältnis, zusammen. Nur im Bereich der Biegung in Abschnitt II ist rechtsufrig, bedingt durch die Steilhänge, kein oder nur vereinzelt Bewuchs an der Böschung vorhanden. Im Segment 178,00 kommt es durch die Brücke und den Pegel zu Defiziten in Bezug auf Böschungsbewuchs und Sonderstrukturen. Zweitgenannte sind überwiegend im südlichen Abschnitt und kurz nach dem Floßanlegeplatz als ausgeprägt einzustufen. Dabei handelt es sich vor allem um kleine Buchten, Sturzbäume und Holzansammlungen. Die Strömungsvielfalt über die gesamte Länge ist mäßig, im und nach dem ausgebauten Bereich zwischen Abschnitt II und III sogar fehlend. Die Vielfalt an Sohlsubstraten ist in der nördlichen Teilstrecke als groß, in der Südlichen als mäßig bis groß zu beschreiben. Dabei spielen überwiegend verschiedene Kiesfraktionen eine Rolle, deren Zwischenräume stellenweise mit Sanden verfüllt sind.



Abbildung 33: Holzansammlung unterhalb der Floßlände

Retentionsraum

Der Retentionsraum wurde über die gesamte Länge als „vollständig verändert“ bewertet. Es sind zwar keine Hochwasserschutzbauwerke vorhanden, Ausmaß und Anzahl der Überschwemmungen sind jedoch stark vermindert. Wasserbauliche Eingriffe haben die naturgemäßen, stark schwankenden Abflussverhältnisse mit regelmäßigen Hochwassern und damit die strukturbildenden Prozesse enorm vermindert (siehe auch Kapitel 8.2). Gerade an der Isar waren diese Vorgänge charakteristisch und unentbehrlicher Bestandteil der natürlichen Flusslandschaft. Neben Ausleitungen spielen vor allem der Sylvensteinspeicher und der Tölzer Stausee eine Rolle, da diese die Abflussspitzen kappen.

Uferstreifen-Funktion

Die Beschaffenheit sowie Nutzungsintensität des Uferstreifens birgt zahlreiche Funktionen im Bezug auf die Gewässermorphologie und die Ökologie im und am Gewässer in sich.

Der Uferstreifen unterliegt ausschließlich im Bereich der Floßanlegestelle und der Brücke einer Nutzung, wodurch seine Funktion durch befestigte Flächen gestört ist.

Stoffrückhalt

Der Stoffrückhalt der Aue ist im Untersuchungsgebiet, auf Grund der überwiegend geschlossenen, standortheimischen Gehölzbestände, durchgehend als naturnah bis natürlich einzustufen.

Zusammenfassung Gewässerstruktur

Ausschlaggebend für die durchwegs unbefriedigenden Ergebnisse der Gewässerstruktur ist in erster Linie der Funktionskomplex Retentionsraum, genauer der Parameter Ausuferungsvermögen. Die massiven Eingriffe in die Abflussverhältnisse der Isar, zum Beispiel durch den Sylvensteinspeicher, sind irreversibel. Da die natürlicherweise extremen Veränderungen der Abflüsse jedoch einen unverzichtbaren Einfluss auf die Entstehung von Gewässerstrukturen haben, wurde von einer Anpassung des genannten Parameters auf ein „beeinträchtigt Ausuferungsvermögen“, wie es in anderen Gewässerstrukturkartierungen der Oberen Isar durchgeführt wurde, abgesehen. Als weiterer Grund für die stark verminderten Überschwemmungen ist die starke Eintiefung der Isar im letzten Jahrhundert zu nennen, wodurch stark erhöhte Abflüsse meist im Gewässerbett abfließen. Zu Ausuferungen kommt es nur noch bei circa 4-5 fachen Mittelwasserabfluss, das heißt im Durchschnitt alle 3 Jahre (siehe Kapitel 8.2). Würde der Trend der Sohlenanlandung weiter anhalten und sich die Isar von der Gewässerbetteintiefung erholen, so dass es wieder zu häufigeren Ausuferungen kommt, könnte man in Zukunft von einer Beeinträchtigung der Überschwemmungen sprechen.

Weitere Defizite sind in den Funktionskomplexen Linienführung, Verlagerungspotential und Entwicklungsanzeichen festzustellen. Dabei sind die Parameter Linienführung, Uferverbau, Anlandungen, sowie Tiefen- und Breitenvarianz genauer in Betracht zu ziehen. So würde sich eine natürliche, schwach gewundene Laufkrümmung positiv auf den Komplex Entwicklungsanzeichen auswirken. Durch den verlagerten Stromstrich werden die Ufer stellenweise erodiert, wodurch sich schließlich Prall- und Gleithänge bilden. An Letztgenannten kommt es zur Feststoffakkumulation. Damit würde sich auch eine gesunde Breitenvarianz einstellen. Des Weiteren entstehen abgeflachte Ufer auf der Seite der Gleithänge und den an den Prallufeln tiefere Gewässerzonen, da dort die Fließgeschwindigkeit und somit die Tiefenerosion am stärksten ausgebildet ist. Wenn die Uferbefestigung auch größtenteils entfernt wurde, so schränken die vereinzelt Restbestände der Versteinung, abgesehen von der nötigen Verbauung im Bereich der Brücke, des Pegels und der Floßlände, im gewissen Umfang die eigendynamische Laufentwicklung der Isar ein.

Ein Grund für die wesentlich schnellere und deutlichere Entwicklung des südlichen Abschnittes II liegt an der vorgegebenen Laufkrümmung. Die Krümmung bei Fkm 178,7 wurde bei den Ausbaumaßnahmen bereits als solche befestigt. Die Ablenkung des Stromstrichs zieht sich nach der Biegung weiter flussabwärts.



Abbildung 34: Entwicklung des nördlichen Abschnittes mit Blick von der Marienbrücke in Richtung Pupplinger Au (oben: kurz nach der Renaturierung 1991 (WWA WEILHEIM), unten: 07.10.2010)

Aus diesem Grund sind die Entwicklungsanzeichen bis zum kanalisierten Abschnitt deutlich ausgeprägter als in der nördlichen Teilstrecke. Dort fehlt ein solcher Anstoß zur Eigenentwicklung. Die vorhergehende begradigte Strecke auf Höhe der Brücke lässt dem Fluss in den nachfolgenden Segmenten auch keine großen Möglichkeiten sich morphologisch zu entwickeln (siehe Abbildung 34). Die Strömung ist durch das eingeeengte Querprofil gleichmäßig und erhöht. Durch die gerade Linienführung der Isar in diesem Abschnitt können die Ufer nicht punktuell angegriffen werden. Die natürliche Flussbettaufweitung in der Pupplinger Au bewirkt jedoch einen Rückstau des Abflusses in die flussaufwärts liegenden Teilabschnitte. Dadurch entsteht eine mäßige Strömungsvarianz, eine verstärkte Entwicklung der Isar in die Breite ist zu beobachten, wodurch sich erste Sonderstrukturen zeigen.

13 Vergleichsstrecke - Renaturierungsmaßnahmen bei Icking

13.1 Gegebenheiten bei Icking

Im Jahr 2010 wurde eine Erfolgskontrolle über die „Renaturierung der Isar im Bereich des Kraftwerkes Mühlthal zwischen Fkm 164,4 und 174,0“ fertiggestellt (siehe Anlage 6: Übersichtsplan im Bereich Mühlthal (aus KULZER, 2010 Anlage). Dabei wurden die Entwicklungen von Morphologie, Gewässerökologie, Auenökologie und Erholungswert von 1999 bis 2010 untersucht und beurteilt. Die 10 km lange Strecke beginnt circa 1,5 km stromabwärts des Isar-Loisach-Zusammenflusses. Die Renaturierung bei Icking wird in Deutschland als beispielhaftes Projekt für alpin geprägte Flüsse angesehen. Auf Grund der Nähe dieses Abschnittes vom Untersuchungsgebiet dieser Arbeit und der Orientierung am selben Leitbild als Referenzzustand, bietet sich ein Vergleich der beiden Abschnitte an.

Im Jahr 1922 haben die Bauarbeiten zur Begradigung der Isar im Bereich Mühlthal und zum Uferverbau mit massiven Betonplatten begonnen. Des Weiteren wurde das Ausleitungswehr Icking errichtet, um ab dem Jahr 1928 das Ausleitungskraftwerk Mühlthal über einen Werkskanal mit bis zu 80 m³/s Wasser zu versorgen.

Seit diesem Zeitpunkt betrug die Restwassermenge in der fast 10 km langen, kanalartigen Ausleitungsstrecke 2 bis 5 m³/s. Durch die Uferbefestigung und die niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten wurden gewässerbettbildende Prozesse fast vollständig unterdrückt. Dennoch wurde - womöglich durch den eingeeengten Querschnitt und dadurch erhöhter Schubspannung bei Hochwasserabflüssen - eine Eintiefung der Gewässersohle bis zur Dürnsteiner Brücke um bis zu 30 cm von 1989 bis 1997 verzeichnet. Im Unterstrom der Brücke fand im gleichen Zeitraum eine Auflandung der Sohle von circa 10 cm statt.

Im Jahr 1995 wurde über einen Wasserrechtsbescheid ein Mindestwasserabfluss von 15 m³/s festgelegt sowie Maßnahmen zur Gewässerentwicklung gefordert. Letztere wurden durch einen Landschaftspflegerischen Begleitplan, unter anderem durch den Rückbau der Uferbefestigungen, realisiert. Die Betonplatten wurden von 1998 bis 2000 unvollständig, vor allem jedoch an den Prallufern entfernt (KULZER, 2010).

13.2 Eigendynamische Entwicklung an der Vergleichsstrecke bei Icking

Bedingt durch die starken Hochwasserereignisse 1999 und 2005 hat sich die Isar bei Icking signifikant entwickelt. An allen rückgebauten Ufern fand eine deutliche Seitenerosion statt, die zu einer abschnittswisen Flussbettaufweitung, um teilweise mehr als eine Gewässerbite, führte. An der Stelle der größten Seitenerosion, hat sich der Fluss von einer Korrektionsbreite von 60 m, auf über 200 m verbreitert. Betrachtet wurde dabei das Gewässerbett mit beweglichen Kiesbänken. Bewaldete Uferbereiche wurden abgetragen und neue Kiesbänke sind an anderer Stelle entstanden. Die Fläche der Kiesbänke ist von 7,2 ha auf ungefähr 30 ha in den letzten 10 Jahren gestiegen. In den rückgebauten Streckenabschnitten fand eine Verstärkung der Kurven statt, an einigen Stellen hat sich der Lauf der Isar verlagert. Bei Fkm 166,6 war die Verlagerung einer Kurve um 140 m besonders markant.

Insgesamt hat sich der Lauf der Isar bei Icking um etwa 500 m von 1999 bis 2009 verlängert. Die morphologischen Entwicklungen wirkten sich zugleich positiv auf die Gewässerstruktur aus. Das Gewässerbett wurde durch das Entstehen von Buchten, Flachwasserzonen sowie durch Sturzbäume vielgestaltiger. Die Gewässerbreite variiert bei abfließender Restwassermenge um bis zu 10 m. Durch eine Eintiefung des Talweges um bis zu 1,8 m hat sich eine höhere Tiefenvariabilität entwickelt. Auch der Eintiefungstrend der Sohle hat seit der Entfernung der Uferbefestigung nicht abgenommen. Die stärkste Tiefenerosion wurde in den belassenen, kanalisierten Teilstrecken festgestellt. Des Weiteren wurden vor allem im Unterstrom von Abschnitten mit starker Breitenentwicklung deutliche Eintiefungen festgestellt.

Jedoch konnte auch im Bereich Mühlthal in einigen Streckenabschnitten weder eine Aufweitung noch eine Verlagerung des Flussbettes verzeichnet werden, bedingt durch den gestreckten Flusslauf und Restbeständen des Uferverbaus (KULZER, 2010).

14 Fazit

14.1 Beurteilung der eigendynamischen Entwicklung der Isar bei Wolfratshausen im Vergleich mit der Renaturierungsstrecke bei Icking

In Anbetracht der Gegenüberstellung der wichtigsten Veränderungen der beiden Renaturierungsstrecken seit den Rückbaumaßnahmen (siehe Tabelle 6) ist festzustellen, dass die eigendynamische Entwicklung der Isar bei Icking wesentlich stärker ausgeprägt ist. Obwohl die ersten Rückbaumaßnahmen in Wolfratshausen sechs Jahre vor denen in Icking durchgeführt wurden, fließt die Isar dort immer noch in ihrem ursprünglichen geraden Bett, in das sie im Zuge der Flussregulierung gezwängt wurde. Eben diese gestreckte Lauform ist ein Grund für die ausbleibende gewundene Linienführung, da der Stromstrich nicht abgelenkt wird und der Fluss somit keine Möglichkeit hat seine Ufer anzugreifen.

Tabelle 6: Gegenüberstellung wichtiger Entwicklungsprozesse seit den Rückbaumaßnahmen an den renaturierten Strecken Wolfratshausen-Nantwein und Icking

Parameter	Wolfratshausen	Icking
Sohlenentwicklung	Auflandung der Sohle nahezu im gesamten Abschnitt, bis zu 50 cm	Trend der Eintiefung nicht nachgelassen
Breitenentwicklung	Gewässerbett bis zu 25 m verbreitert	Gewässerbett mit beweglichen Kiesbänken bis zu 140 m breiter
Entstandene Kiesbänke	keine nennenswerten Veränderungen	über 20 ha neue Kiesbänke
Linienführung	an einer bestehenden Krümmung Entwicklungsanzeichen erkennbar, keine nennenswerte Laufverlängerung	verstärkte Krümmung in allen Kurven, Laufverlängerung bis 500 m
Gewässerstruktur	vielfältiger	vielfältiger

Bei Icking hingegen wurde die Isar nicht über die gesamte Strecke begradigt, sondern ihre ursprünglichen Krümmungen zum Teil beibehalten und die Ufer des neuen, schmalen Gewässerbettes verbaut (siehe Abbildung 35 und Anlage 6). So war es vorgegeben, dass der Fluss nach der Entfesselung an den Prallufern der bestehenden Biegungen angreift. Durch die punktuelle Seitenerosion verstärkten sich die Krümmungen, die Möglichkeit der Laufverlagerung während der Hochwasserereignisse war gegeben und somit kam es zu einer Laufverlängerung von rund 500 m. Bei Wolfratshausen gab die Biegung im südlichen Abschnitt einen Anstoß zur Seitenerosion. Anhand der Luftbildgegenüberstellung in Kapitel 12.2 ist die Ausbreitung von Windungen flussabwärts ansatzweise erkennbar. Der Trend

stellt sich ab Höhe des Dükers jedoch ein. In diesem Bereich sind die anstehenden Seetone an den Ufern der Isar deutlich sichtbar und durch Bohrungen nachgewiesen. Diese werden bei Hochwassern an der Gewässersohle durch das mitgeführte Geschiebe zwar relativ schnell abgetragen, sind an den Steilufern jedoch sehr unempfindlich wenn nur das anprallende Wasser auf sie wirkt. Dazu kommen die vereinzelt belassenen Reste der Versteinerung, welche eine weitere Laufentwicklung womöglich unterbinden beziehungsweise stark verzögern.

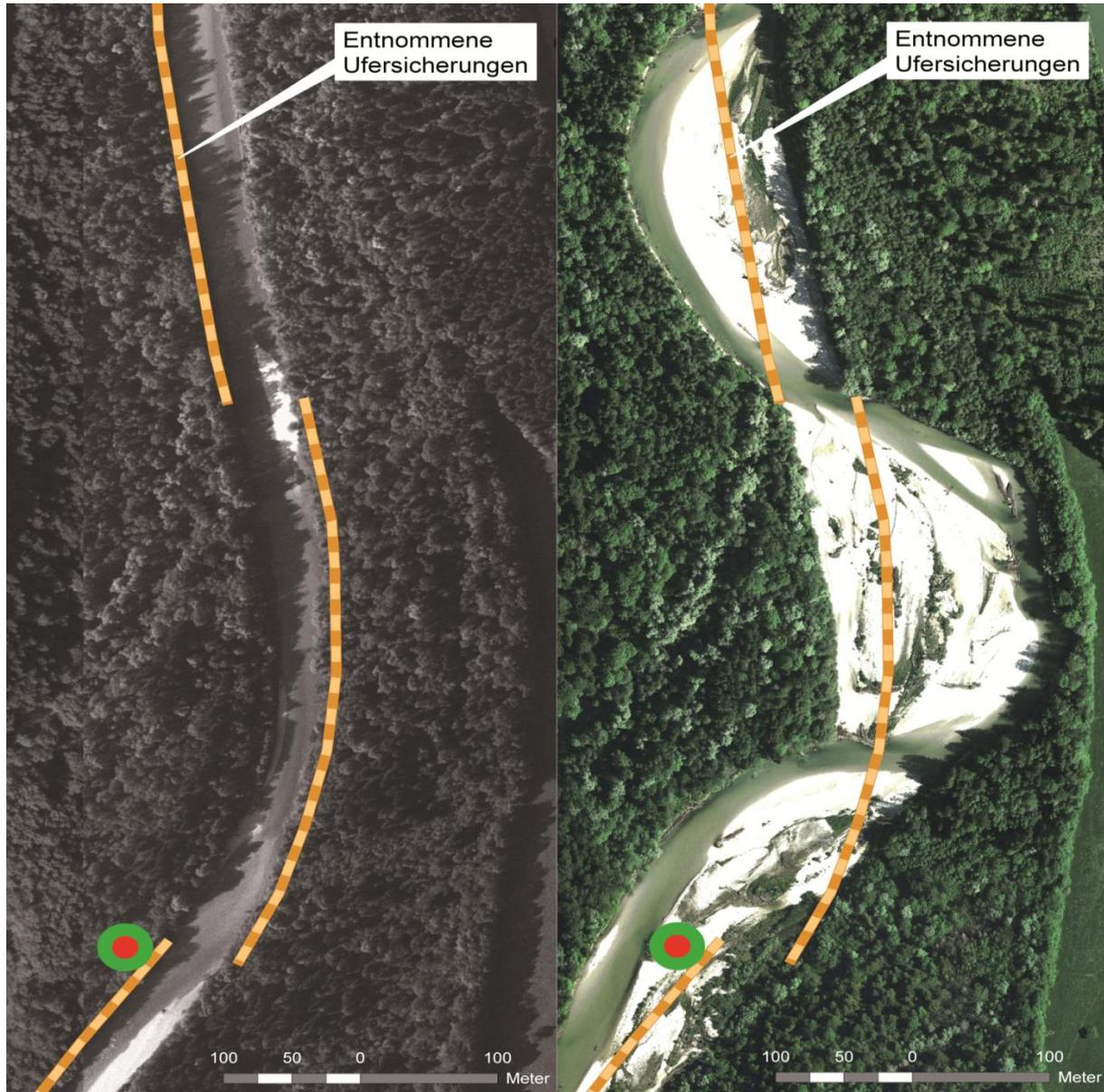


Abbildung 35: Entwicklung der Isar bei Icking von 1999 bis 2009. Hier wurde der Fluss mit seiner schwach gewundenen Linienführung verbaut (Geodaten: KULZER, 2010; Luftbilder: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG)

Dennoch hat sich das Gewässerbett seit den Rückbaumaßnahmen auf nahezu der gesamten Strecke um bis zu 25 m verbreitert. Eine rasante Entwicklung, wie sie bei Icking stattfand, ist durch die genannten Gründe jedoch nicht zu erwarten.

Das durch die Renaturierung verfolgte Ziel, eine fortlaufende Sohleintiefung durch erhöhte Geschiebezufuhr in Folge der Seitenerosion zu verhindern, wurde nicht nur

erreicht, im Untersuchungsgebiet ist sogar über längere Abschnitte ein deutlicher Trend der Sohlauflandung zu verzeichnen. Dabei spielt, neben dem Feststoffeintrag und der Verbreiterung des Gewässerbettes, auch die starke Eintiefung während des letzten Jahrhunderts eine Rolle, durch die das Gefälle abgeflacht und somit die Schubspannung geringer wurde. Bei Icking schreitet laut KULZER (2010) die Gewässerbetteintiefung weiter voran.

Die weitestgehend unbebaute und ungenutzte Aue bei Wolfratshausen sowie die Trennung zweier wertvoller Flusslandschaften der Isar, die Ascholdinginger- und die Pupplinger Au, durch die ehemalige Regulierungsstrecke, waren eine gute Voraussetzung für die Renaturierung der Isar bei Wolfratshausen. Wenn der Vorgang der eigendynamischen Entwicklung auch nicht sonderlich schnell abläuft, so werden verschiedene neue Strukturen die ökologische Funktionsfähigkeit des Abschnittes dennoch schrittweise auf, wodurch ein weiteres Hauptziel der Renaturierungsmaßnahmen erreicht werden kann.

Des Weiteren kann durch die langsam ablaufende Entwicklung der Isar bei Wolfratshausen möglichen Gefährdungen von Bauwerken, wie zum Beispiel dem Düker oder der Hochspannungsleitung, rechtzeitig entgegengewirkt werden.

14.2 Prognose der zukünftigen Entwicklung bei Wolfratshausen

Auf Grund der komplexen Entwicklungsprozesse und deren untereinander bestehenden Wechselwirkungen sind Prognosen eigendynamischer Entwicklungen schwierig aufzustellen und stets kritisch zu betrachten. In Anbetracht der bisherigen flussmorphologischen Veränderungen ist jedoch zu erwarten, dass sich die Isar bei Wolfratshausen langsam dem Leitbild annähert. Dies wird durch die zukünftigen Hochwasserereignisse, im südlichen Abschnitt von der Krümmung bei Fkm 178,7 sowie in der nördlichen Strecke von der Pupplinger Au aus geschehen. Dabei wird sich das Gewässerbett weiter verbreitern, bestehende Buchten und Kiesbänke vergrößern sich, sodass neue Strukturen entstehen.

Im Laufe der Zeit wird sich eine leicht gewundene Linienführung, wie sie dem Leitbild entspricht, im südlichen Abschnitt einstellen. Erste Anzeichen dafür sind auf den Luftbildern bereits erkennbar (siehe Kapitel 12.2: Entwicklung der Linienführung). Nördlich der Marienbrücke laufen die Entwicklungsprozesse sehr träge ab. Da der gestreckte Lauf und die flussaufwärts liegende kanalisierte Strecke (im Bereich des Pegels) eine Ablenkung der Strömung auf die Ufer unterbindet, wird sich seine Laufform in absehbarer Zeit nicht stark verändern.

Das Erreichen eines Zustandes der dem Leitbild entspricht wird unter bestehenden Gegebenheiten in Wolfratshausen ausbleiben. Das Abflussgeschehen und der Geschiebehalt sind durch die verschiedenen wasserbaulichen Maßnahmen stark verändert worden. Dadurch kommt es nur noch selten zu strukturbildenden Abflüssen bei denen eine Umlagerung von Kiesbänken und eine Überflutung des Auwaldes möglich sind. Die Folgen sind bereits in der als naturnah bezeichneten Pupplinger Au zu sehen: Der Bewuchs der Kiesbänke nimmt immer stärker zu und der Flusslauf tendiert zunehmend in Richtung eines unverzweigten Gerinnes mit festgelegtem Gewässerbett. Des Weiteren hat der Fluss auf die menschlichen Eingriffe bereits reagiert und durch die starke Sohleintiefung sein Gefälle abgeflacht.

Dadurch hat er in diesem Bereich an Dynamik und somit seinen Wildflusscharakter verloren.

14.3 Hinweise für weitere Maßnahmen

Für die Zukunft ist eine regelmäßige, lückenlose und zeitgleiche Querprofilaufnahme über längere Flussstrecken und Zuständigkeitsbereiche wünschenswert. Dadurch ermöglicht man in Zukunft einen aussagekräftigen Vergleich der Gewässerbettentwicklung über längere Strecken und Zeiträume. Zeitgleich sollte man die Aufnahme der Niedrigwasserspiegelfixierung durchführen, wie es dem Merkblatt 5/4.1 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt zu entnehmen ist.

Sollte es nötig sein im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen Teilstrecken oder Bauwerke zu sichern, sollte dies nach Möglichkeit naturnah durchgeführt werden. Dabei sollten ausschließlich Materialien verwendet werden die am Einsatzort auch natürlicherweise vorkommen, zum Beispiel Pflanzen, Holz und Steine.



Abbildung 36: Naturnahe Ufersicherung aus Wurzelstöcken und Totholz in Bad Tölz (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_uferschutz_toelz/index.htm [10.05.2011])

Nach dieser Vorgabe wurde zum Beispiel in Bad Tölz eine Uferbefestigung aus Wurzelstöcken und Totholz angebracht (Abbildung 36). Somit sind neue Lebensräume entstanden, was anhand der größeren Anzahl und Artenvielfalt der Fische nachgewiesen wurde (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_

isar_uferschutz_toelz/index.htm [10.05.2011]). Eine naturnahe Ausführung der Ufersicherung im Bereich des Dükers wäre im Zeitraum der Renaturierungsmaßnahmen wünschenswert gewesen, eine nachträgliche Umgestaltung würde jedoch einen zu großen Eingriff in den Naturhaushalt im Verhältnis zu der relativ kurzen betroffenen Strecke bedeuten.

Für zukünftige Renaturierungen besteht die Option die Uferbefestigung im Längsverlauf vollständig zu entfernen, denn die geplante Anregung der Flussdynamik durch eine verstärkte Ausbildung von Strukturen, auf Grund einzelner Reste des Uferverbaues, konnte bisher nicht beobachtet werden. Möchte man bestimmte Uferabschnitte vor Seitenerosion schützen, sind solche Maßnahmen eventuell sinnvoll. Allerdings sollte dann eine naturnahe Aufwertung der einzelnen verbauten Bereiche, zum Beispiel nach oben beschriebenen Projekt in Bad Tölz, erfolgen.

Grundsätzlich ist bei Renaturierungen die eigendynamische Entwicklung zu bevorzugen. Eingriffe zur Lenkung der Entwicklung des Gewässers sollten nur bei Bedarf erfolgen. Falls bestehende Randbedingungen eine eigendynamische Gestaltung unterbinden, bestehen im Rahmen des Naturnahen Wasserbaus Möglichkeiten Entwicklungsprozesse einzuleiten. Solche Maßnahmen wären bei Wolfratshausen möglicherweise im nördlichen Abschnitt sinnvoll, da der gerade Lauf in Verlängerung der befestigten Strecke (auf Höhe des Pegels), eine freie Eigenentwicklung nicht zulässt. Sollte eine Maßnahme tatsächlich erwünscht sein, könnte durch die Anordnung eines Regelbauwerkes, zum Beispiel einer Dreiecksbuhne (siehe Abbildung 37) auf Höhe der Floßlände, der Fluss im Unterstrom ausgelenkt werden, damit sich im Laufe der Zeit eine naturnahe, leicht gewundene Linienführung entwickelt. Die verstärkte Seitenerosion und die geringeren Schleppkräfte könnten die starke und stetige Sohleintiefung in der Pupplinger Au eventuell kompensieren. Dreiecksbuhnen, auch Steinsporne genannt, bestehen in der Regel aus Wasserbausteinen. Durch das Einbringen von Wurzelstöcken könnte man solche Bauwerke jedoch aus ökologischer Sicht aufwerten (PATT et al., 2009). Durch solch eine Maßnahme sollte jedoch die Funktion der Floßlände nicht gefährdet werden. Des Weiteren wäre die Flößerei in die Planung mit einzubeziehen.

Südlich der Marienbrücke sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Einerseits ist die Entwicklung der Linienführung bereits ansatzweise erkennbar, andererseits wären Hochspannungsleitung, Düker und Pegelstrecke durch eine unkontrollierbare Umgestaltung bei zukünftigen Hochwasserereignissen gefährdet.



Abbildung 37: Steinsporn zur Ablenkung des Stromstriches (Patt et al., 2009)

Anhand der Renaturierungsstrecke in Wolfratshausen ist also erkennbar, dass Entfesselungsmaßnahmen und die dadurch geförderte Seitenerosion wichtige und wirkungsvolle Schritte gegen die fortschreitende Gewässerbetteintiefung darstellen. Obwohl die Geschiebemanagement an der Oberen Isar durch zahlreiche Maßnahmen kontinuierlich verbessert wird, könnte man den Geschiebehaushalt durch weitere Renaturierungsmaßnahmen aufbessern und zugleich wieder naturnähere sowie günstigere Voraussetzungen für die Sedimentation der Feststoffe schaffen.

15 Zusammenfassung

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Isar bei Wolfratshausen (Flusskilometer 178,0) begradigt und auf einer Länge von circa 1200 m befestigt. Im Oberstrom des Abschnittes mündet der Loisach-Isar-Kanal in den Fluss, im Unterstrom befindet sich die weitgehend naturnahe Pupplinger Au. Durch die genannte Kanalisierung sowie verschiedene Querbauwerke (zum Beispiel Sylvensteinspeicher) wurde der Feststoffhaushalt und das Abflussgeschehen stark gestört, wodurch sich das Flussbett der Isar im letzten Jahrhundert stark eingetieft hat. Im Rahmen zweier Renaturierungsmaßnahmen wurde die Uferbefestigung in den Jahren 1991 und 1996 entfernt, wobei die Flussbausteine an einigen Stellen belassen wurden, um die Flussdynamik anzuregen. Die eigendynamischen Prozesse seit dem Uferrückbau sind jedoch, im Vergleich zu anderen Renaturierungsstrecken, nur gering.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die stattgefundenen Veränderungen dokumentiert und die Ursachen für die nur moderaten eigendynamischen Prozesse untersucht. Dazu wurden unter anderem Querprofile des Abschnittes ausgewertet und eine Gewässerstrukturkartierung durchgeführt. Zum Vergleich wurde die Renaturierungsstrecke bei Icking herangezogen. Zusätzlich wird eine Prognose der zukünftigen Entwicklung gestellt und Vorschläge für weitere Maßnahmen erarbeitet.

Die eigendynamische Entwicklung der Renaturierungsstrecke bei Icking ist wesentlich stärker ausgeprägt. In Wolfratshausen fließt die Isar immer noch in ihrem ursprünglichen geraden Bett, in das sie im Zuge der Flussregulierung gezwängt wurde. Die gestreckte Laufform ist ein Grund für die ausbleibende gewundene Linienführung, da der Stromstrich nicht abgelenkt wird und der Fluss somit keine Möglichkeit hat seine Ufer anzugreifen. Die stellenweise belassenen Reste der Uferbefestigung und anstehende Seetone schränken die Seitenerosion zusätzlich ein. Dennoch hat sich das Flussbett auf nahezu der gesamten Strecke um bis zu 25 m verbreitert. Das durch die Rückbaumaßnahmen verfolgte Ziel, eine fortlaufende Sohleintiefung durch erhöhte Geschiebezufuhr, in Folge der Seitenerosion zu verhindern, wurde nicht nur erreicht, im Untersuchungsgebiet ist sogar über längere Abschnitte ein deutlicher Trend der Sohlauflandung zu verzeichnen. Wenn der Vorgang der eigendynamischen Entwicklung auch nicht sonderlich schnell abläuft, so werten verschiedene neue Strukturen die ökologische Funktionsfähigkeit des Abschnittes dennoch auf.

Das Erreichen eines Zustandes der dem Leitbild entspricht wird unter den bestehenden Randbedingungen, vor Ort sowie im Oberlauf, mittelfristig unwahrscheinlich bleiben. Das Abflussgeschehen und der Geschiebehalt sind durch die verschiedenen wasserbaulichen Maßnahmen zu stark verändert. Dadurch hat die Isar in diesem Abschnitt ihre Dynamik und somit ihren Wildflusscharakter verloren.

Durch die Anordnung eines Regelbauwerkes, zum Beispiel einer Dreiecksbuhne auf Höhe der Floßlände, könnte der Fluss im Unterstrom ausgelenkt werden und sich im Laufe der Zeit eine naturnahe, leicht gewundene Linienführung entwickeln. Die verstärkte Seitenerosion und die geringeren Schleppkräfte könnten die starke und stetige Sohleintiefung in der stromabwärts liegenden Pupplinger Au eventuell kompensieren.

16 Literaturverzeichnis

- ALPRESERV: Stauraum Sylvenstein. [Online im Internet] URL: http://www.alpreserv.eu/Dateien/PilotActions/Sylvenstein/Sylvenstein_de.htm [16.02.2011].
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU, 2008): Merkblatt Nr. 5.4/1: Flussausstattung, Flussaufnahmen und deren Dokumentation. (Stand: 15.12.2008).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Gewässerentwicklung. [Online im Internet] URL: <http://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserentwicklung/index.htm> [10.04.2011].
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: Unsere Gewässer, so natürlich wie möglich. [Online im Internet]. URL: <http://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/index.htm> [20.04.2011].
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (LFW, 2000): Studie über die Möglichkeiten der Geschiebemanagement der Isar. München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (LFW, 2002a): Fließgewässerlandschaften in Bayern. München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (LFW, 2002b): Kartier und Bewertungsverfahren Gewässerstruktur. München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT & BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (LFW & LFU, 2001): Flusslandschaft Isar. München/Augsburg.
- BAYERISCHE LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE (1972): Die Isar in der Pupplinger und Ascholdinger Au. München.
- BINDER W. (2004): Fluss- und Auenentwicklung an der Isar. In: Symposium Lebensraum Fluss. S. 273-286.
- BINDER W. & GRÖBMAIER W. (2007): Von der Statik zur Dynamik. In: Mitglieder-Rundbrief des DWA Landesverband Bayern.
- BODENINFORMATIONSSYSTEM BAYERN (BIS, 2010): Wasserkörper-Steckbrief Isar Tölz-Icking (aus dem Intranet des LFU).
- GREBMAYER T. & SCHAIPP B. (2009): Geschiebemanagement an der Isar. Bericht im Rahmen der DWA-Arbeitsgruppe „Sedimentmanagement in Flussgebieten“. München.
- HOCHWASSERNACHRICHTENDIENST (HND): Pegel im Donaugebiet: Puppling/Isar. [Online im Internet] URL: <http://www.hnd.bayern.de/> [05.05.2011].

JERZ H., SCHAUER T. & SCHEURMANN K. (1986): Zur Geologie, Morphologie und Vegetation der Isar im Gebiet der Ascholdingen und Pupplinger Au. In: Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. München - Jahrbuch 1986 (51. Jahrgang) S. 87-126.

KULZER B. (2010): Renaturierung der Isar im Bereich des Kraftwerkes Mühlthal zwischen Flusskilometer 164,4 und 174,0. (Diplomarbeit an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf).

MAGERL C. & RABE D. (1999): Die Isar. Vilsbiburg: Verlag Kiebitz Buch.

ÖKOKART (2000): Makrozoobenthos 2000 - Untersuchung der Oberen Isar im Längsverlauf, unter besonderer Berücksichtigung der Restwasserstrecke Mühlthal. Auftraggeber: Wasserwirtschaftsamt Weilheim.

PATT H., JÜRGING P. & KRAUS W. (2009): Naturnaher Wasserbau. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

PLANUNGSBÜRO HADATSCH IM BDLA (2007): Gewässerstrukturkartierung Isar Los 1 + 2. Auftraggeber: Wasserwirtschaftsamt Weilheim.

RUHLAND M., ERTLE U. & ZISTL S. (2010): Die Isar. München: Süddeutsche Zeitung GmbH.

STROBL T., FISCHER M. & ZUNIC F. : Vergleichende Betrachtung von Rückhaltebauwerken. [Online im Internet]. URL: http://www.lrz.de/~t5431aa/webserver/webdata/flutpolder_2007.pdf [23.02.2011].

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM (WWA WEILHEIM, 1994): Renaturierung der Isar von Flusskilometer 178,0 bis 178,8 bei Wolfratshausen-Nantwein südlich der Marienbrücke. (Erläuterung zur Renaturierung).

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM (WWA WEILHEIM, 2004): Renaturierung der Isar im Bereich Wolfratshausen-Nantwein.

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM: Sylvensteinspeicher. [Online im Internet] URL: http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/talsperren/syvenstein/index.htm [29.03.2011].

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM: Badegewässerqualität in der Isar. [Online im Internet] URL: http://www.wwa-wm.bayern.de/wasser_erleben/badegewaesserqualitaet_isar/index.htm [16.04.2011].

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM: Geschiebedurchgängigkeit/ Geschiebeumsetzung am Kraftwerk in Bad Tölz. [Online im Internet] URL: http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_geschiebeumsetzung_toelz/index.htm [03.05.2011].

WASSERWIRTSCHAFTSAMT WEILHEIM: Naturnaher Uferschutz Bad Tölz. [Online im Internet] URL: http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_uferschutz_toelz/index.htm [10.05.2011].

17 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte der Isar (LFU, 2001 S. 12)	6
Abbildung 2: Blick auf die alte Marienbrücke im Jahr 1915 als die Ufer bereits befestigt waren (Quelle: WWA Weilheim).....	7
Abbildung 3: Abschnitt 2 mit Blickrichtung auf die Marienbrücke von Fkm 177,7 (07.10.2010)	8
Abbildung 4: Auslaufgraben des Dükers und kreuzende Hochspannungsleitung bei Fkm 177,4 (07.10.2010)	9
Abbildung 5: Abschnitt 3 von der Marienbrücke in Richtung Pupplinger Au. Links ist die Floß-lände zu sehen (07.10.2010)	10
Abbildung 6: Ausschnitt der Pupplinger Au mit ihrem verzweigten Lauf und Kiesbänken; Blick in Richtung Marienbrücke (07.10.2010).....	11
Abbildung 7: Obere Isar bei Wallgau: So kann man sich die natürliche Gestalt des Flussabschnittes vorstellen (Quelle: Archiv des Bayerischen Landesamtes für Umwelt).....	12
Abbildung 8: Nord-Süd-Profil durch das Wolfratshäuser Becken. Im Bereich Wolfratshausen ist die Schichtung von Hochflutsedimenten, fluviatilen Schottern und Seetonen erkennbar (JERZ, 1986 S.90)	15
Abbildung 9: Die anstehenden Seetone südlich der Wolfratshäuser Brücke leisten großen Widerstand gegenüber der Seitenerosion.....	16
Abbildung 10: Anstehende tonige Schichten am linken Ufer bei Fkm 178,3.....	16
Abbildung 11: Ausmaß der Flussbetteintiefung im Untersuchungsgebiet, am rechten Flussufer bei Fkm 178,8. Oben sieht man fluviatile, kiesige Ablagerungen, unten lakustrische Feinsedimente in die sich die Isar im letzten Jahrhundert erodiert hat (07.10.2010).....	20
Abbildung 12: Ganglinie der Mittel- und Niedrigwasserstände am Pegel Puppling von 1901 bis 1985 (JERZ, 1986 S. 103), ergänzt durch flussbauliche Maßnahmen.....	22
Abbildung 13: Beeinflussung des Abflussgeschehens durch den Sylvensteinspeicher am Pegel München (Jahreshöchstwerte). Die schraffierten Linien zeigen die gekappten Hochwasser-spitzen durch die Talsperre (http://www.lrz.de/~t5431aa/webserver/webdata/flutpolder_2007.pdf [23.02.2011])	22

Abbildung 14: Wasserstände im Tagesmittel und Meldestufen am Pegel Puppling von 1971 bis 2011 (http://www.hnd.bayern.de/ [05.05.2011]).....	24
Abbildung 15: Ganglinie des Abflusses im Tagesmittel am Pegel Puppling von 1971 bis 2011 (http://www.hnd.bayern.de/ [05.05.2011]).....	24
Abbildung 16: Geschiebeumsetzung unterhalb des Kraftwerkes Bad Tölz (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_geschiebeumsetzung_toelz/index.htm , Autor: Lechermann [03.05.2011])	28
Abbildung 17: Kiesabtrag durch die Isar (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_geschiebeumsetzung_toelz/index.htm , Autor: Lechermann [03.05.2011])	28
Abbildung 18: Querprofile im CSC-Profilbetrachter mit festgelegten Begrenzungslotherechten und Horizont zur Berechnung von $mSohle_{Abtrag}$	33
Abbildung 19: Zwei Profile der gleichen Querschnittsfläche mit gesondert festgelegten Lotrechten zur Berechnung von $mSohle_{Tief}$	34
Abbildung 20: Wasserstände im Tagesmittel am Pupplinger Pegel von 1990 bis einschließlich 2006 (http://www.hnd.bayern.de/ [05.01.2011]) Ergänzung der Aufnahmezeiträume durch Verfasser	36
Abbildung 21: Laufentwicklung der Isar im Untersuchungsabschnitt von circa 1860 bis 2009 in absteigender Reihenfolge.....	40
Abbildung 22: Entwicklung der $mSohle_{Abtrag}$ im Untersuchungsabschnitt seit 1980.....	41
Abbildung 23: Entwicklung der $mSohle_{Tief}$ im Untersuchungsgebiet seit 1980	41
Abbildung 24: Entwicklung der Sohle seit den Renaturierungsmaßnahmen. Oben ist $mSohle_{Abtrag}$, unten $mSohle_{Tief}$ dargestellt	42
Abbildung 25: Längsprofil der Isar im Untersuchungsabschnitt auf Basis der $mSohle_{Tief}$	43
Abbildung 26: Entwicklung der Wasserspiegel bei Niedrigwasserabfluss im Untersuchungsabschnitt nach der Renaturierung	44
Abbildung 27: Entwicklung des Talweges im Untersuchungsabschnitt nach der Renaturierung.....	44

Abbildung 28: Entwicklung der Gewässerbettbreite in den renaturierten Abschnitten seit Entfernung des Uferverbaus.....	45
Abbildung 29: Verbreiterung des Gewässerbettes von kurz nach den Entfesselungs-maßnahmen bis 2003/06	46
Abbildung 30: Bewertung der Funktionskomplexe und Zuordnung der Strukturklassen der einzelnen Abschnitte.....	46
Abbildung 31: Prozentuale Verteilung der Strukturklassen.....	47
Abbildung 32: Kiesbänke im Bereich der Biegung bei Fkm 177,7	49
Abbildung 33: Holzansammlung unterhalb der Floßlande	50
Abbildung 34: Entwicklung des nördlichen Abschnittes mit Blick von der Marienbrücke in Richtung Pupplinger Au (oben: kurz nach der Renaturierung 1991 (WWA WEILHEIM), unten: 07.10.2010)	52
Abbildung 35: Entwicklung der Isar bei Icking von 1999 bis 2009. Hier wurde der Fluss mit seiner schwach gewundenen Linienführung verbaut (Geodaten: KULZER, 2010; Luftbilder: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG).....	56
Abbildung 36: Naturnahe Ufersicherung aus Wurzelstöcken und Totholz in Bad Tölz (http://www.wwa-wm.bayern.de/projekte_und_programme/aktuelle_projekte/geschiebemanagement_isar/geschiebemanagement_isar_uferschutz_toelz/index.htm [10.05.2011])	58
Abbildung 37: Steinsporn zur Ablenkung des Stromstriches (Patt et al., 2009).....	60

18 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hauptwerte am Pegel Puppling, Jahresreihe 1959-2006 (http://www.hnd.bayern.de/ [03.01.2011]).....	21
Tabelle 2: Einfluss des Sylvensteinspeichers auf die Scheitelabflüsse der Hochwasserereignisse (Werte vor 1959 aus JERZ, 1986; nach 1959: Beobachtungszeitraum 1959-1995 aus http://www.hnd.bayern.de/ [03.01.2011])	23
Tabelle 3: Übersicht über vorhandene Querprofilaufnahmen im Untersuchungsabschnitt	32
Tabelle 4: Strukturklassen der Fließgewässerdynamik (LFW, 2002b).....	35
Tabelle 5: Zeiträume der Querprofilaufnahme mit vorhergegangenen Hochwassern	37
Tabelle 6: Gegenüberstellung wichtiger Entwicklungsprozesse seit den Rückbaumaßnahmen an den renaturierten Strecken Wolfratshausen- Nantwein und Icking	55

19 Anhang

Anlage 1: Luftbildplan

Anlage 2: Luftbildplan mit Bohrprofilen (Quelle der Profile: BODENINFORMATIONSSYSTEM BAYERN, 2011 (Intranet des LFU))

Anlage 3: Querprofilauswertung (auf Datenträger)

Anlage 4: Gewässerstrukturkarte

Anlage 5: Auswertung der Gewässerstrukturkartierung (auf Datenträger)

Anlage 6: Übersichtsplan im Bereich Mühlthal (Geodaten: KULZER, 2010; Digitale Ortskarte: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG; Änderungen durch Verfasser vorgenommen)

Anlage 7: Fotodokumentation (auf Datenträger)

20 Erklärung

Name des Diplomanden / der Diplomandin: _____

Name des Betreuers / der Betreuer: _____

Thema der Diplomarbeit:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Diplomarbeit gemäß § 31 Abs. 5 der Rahmenprüfungsordnung für die Fachhochschulen in Bayern (RaPO) selbstständig verfasst, noch nicht andersweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ich bin einverstanden, dass die von mir angefertigte Diplomarbeit über die Bibliothek der Fachhochschule einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

~ Ja, Sperrfrist von _____ Jahren

~ Nein

Ich erkläre und stehe dafür ein, dass ich alleiniger Inhaber aller Rechte an der Diplomarbeit, einschließlich des Verfügungsrechts über Vorlagen an beigefügten Abbildungen, Plänen und dergleichen bin und durch deren öffentliche Zugänglichmachung weder Recht noch Ansprüche Dritter noch gesetzliche Bestimmungen verletzt werden.

Triesdorf, den _____
 (Datum)

 (Unterschrift Diplomand/in)

Nur von Erstkorrektor / Erstkorrektorin auszufüllen!

Die Aufnahme eines Exemplars der Diplomarbeit in den Bestand der Bibliothek und die Ausleihe des Exemplars wird befürwortet / nicht befürwortet.

Fachgebiet

Umweltsicherung

- ~ Abfall
- ~ Boden
- ~ Wasser
- ~ Analytik, Mikrobiologie
- ~ Ökologie & Naturschutz
- ~ Umwelttechnik, EDV
- ~ Verwaltung, Recht, Wirtschaft
- Umweltmanagement

Triesdorf, den _____
 (Datum)

 (Unterschrift des Betreuers)