



Bayerisches Landesamt  
für Wasserwirtschaft



## **Flußmorphologische Untersuchung der Isar im Abschnitt Icking-Baierbrunn**

Fachbeitrag zur Restwasseruntersuchung für die  
Ausleitungsstrecke des Kraftwerkes Mühlthal der  
Isar-Amperwerke AG

Materialien Nr.28 (August 1993)

# **Flußmorphologische Untersuchung der Isar im Abschnitt Icking-Baierbrunn**

Fachbeitrag zur Restwasseruntersuchung für die  
Ausleitungsstrecke des Kraftwerkes Mühlal der  
Isar-Amperwerke AG

**Herausgeber:** Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
Lazarettstraße 67, 80636 München

**Bearbeiter:** BD Dipl.-Ing. Kortmann  
RD Dr. Mangelsdorf

**Druck:** Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft  
Für den Druck wurde umweltfreundliches,  
chlorfrei gebleichtes Papier verwendet.

**Nachdruck und Wiedergabe - auch auszugsweise - nur mit Genehmigung des  
Herausgebers**

## Vorwort

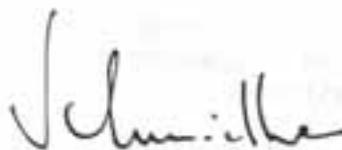
Die Gestaltungsvorgänge an unseren Flüssen erfolgten über lange Zeiträume hinweg ohne Eingriffe des Menschen, allein der Dynamik der Naturkräfte folgend. Mit zunehmenden Nutzungs- und Schutzansprüchen des Menschen wurde in diese Prozesse eingegriffen und damit der Naturhaushalt der Flußlandschaften mehr oder weniger stark beeinträchtigt. Wenn sich heute die Möglichkeit oder die Notwendigkeit für flußbauliche Maßnahmen ergeben, besitzen Überlegungen zur nachhaltigen Stabilisierung und Verbesserung der ökologischen Funktionen der Gewässer einen hohen Stellenwert.

In diesem Zusammenhang kommt flußmorphologischen Untersuchungen eine grundlegende Bedeutung zu. Die sich daraus ableitenden Erkenntnisse setzen maßgebliche Rahmenbedingungen für erfolgversprechende Entwicklungskonzepte. Solche Ausarbeitungen sind daher heute standardmäßig zu erstellen.

Als projektspezifische Unterlagen sind sie normalerweise nur dem unmittelbar mit dem jeweiligen Projekt betrauten Kreis von Fachleuten und sonstigen Interessierten bekannt und zugänglich. Mit dem hier vorgelegten Materialienband soll eine dieser Arbeiten stellvertretend für die Sachbehandlung flußmorphologischer Probleme eine größere Zugänglichkeit erfahren und damit das Verständnis für die meist recht komplizierten Zusammenhänge und Wechselwirkungen in einem größeren Rahmen fördern.

Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft  
Abteilung "Oberirdische Gewässer"

München, im August 1993



Prof. Dr.-Ing. R.F. Schmidtke  
Ltd. Baudirektor

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Sachlage	3
2 Geologie	3
2.1 Tertiärer Untergrund	3
2.2 Entwicklung des Isartales im Quartär	4
2.2.1 Entstehung des Wolfratshäuser Beckens	4
2.2.2 Ausbildung des Isartales	7
2.3 Untersuchungen im Flußabschnitt Icking - Baierbrunn	8
2.3.1 Bohrprogramm 1991	8
2.3.2 Sedimentuntersuchungen	9
2.4 Ergebnisse	10
2.4.1 Lage und Aufbau der Schichten des Untergrundes	10
2.4.2 Mächtigkeit der Geschiebeauflage im Flußbett	11
2.4.3 Erosionsanfälligkeit des Untergrundes	12
3 Flußgeschichte	15
3.1 Vor der Isarkorrektion	16
3.2 Isarkorrektion und Wasserkraftausbau	23
4 Flußmorphologische Bestandsaufnahme	26
4.1 Abflußverhältnisse	26
4.2 Geschiebetechnische Erhebungen	27
4.3 Ganglinie der Jahresmittelwasserstände	29
4.4 Niedrigwasserspiegelfestlegungen	31
4.5 Querschnittsaufnahmen	32
4.5.1 Mittlere Sohle	33
4.5.2 Massenbilanzierung	35
4.5.3 Talweg	38
4.6 Grenzwerte	38
4.7 Geschiebetransportvermögen	46
4.8 Feststoffhaushalt	52
4.8.1 Geschiebe	53
4.8.2 Schwebstoff	56
5 Gestaltungsmöglichkeiten, Entwicklungstendenzen	57
6 Auswirkungen eines erhöhten Restwasserabflusses auf den flußmorphologischen Zustand der Ausleitungsstrecke	66
7 Zusammenfassung	67
8 Beilagenverzeichnis	73

## 1 Sachlage

Die mit Beschluß des Bezirksamtes Wolfratshausen vom 31.05.1932 erteilte Erlaubnis zur "Ausnützung der Wasserkräfte der Isar zwischen Icking und Baierbrunn durch die Isarwerke AG in München" läuft beginnend mit dem Januar 1925 nach nunmehr 70 Jahren mit Ende 1994 ab.

Aus diesem Grund beauftragte die Oberste Baubehörde die Regierung von Oberbayern mit der Ausarbeitung einer Restwasseruntersuchung. Im Rahmen des dazu aufgestellten Arbeitsprogrammes war unter anderem auch die flußmorphologische Situation der Isar einer näheren Untersuchung zu unterziehen.

Als immer noch beeindruckende Flußlandschaft des Alpenvorlandes und Naherholungsgebiet vor den Toren der Landeshauptstadt München steht dieser Flußabschnitt, ähnlich wie die benachbarte Ascholdinger und Pupplinger Au, im Blickpunkt der Öffentlichkeit. So sah sich die "Initiative Mühlental" veranlaßt, in einer an den Bayerischen Landtag gerichteten Petition unter anderem die Untersuchung von renaturierenden Umgestaltungsmöglichkeiten im Bereich der Wasserkraftanlage Mühlental zu fordern. Nicht zuletzt deshalb war im flußmorphologischen Gutachten auch dieser Sachverhalt mit anzusprechen.

## 2 Geologische Situation

### 2.1 Tertiärer Untergrund

Den Untergrund des untersuchten Flußabschnitts bilden wie im gesamten Alpenvorland die tertiären Schichten der Oberen Süßwassermolasse (OSM). Das Molassematerial stammt hier überwiegend aus Süden als Abtragungsschutt des aufsteigenden Gebirges. Im Gebiet des Tischberges sind die Sedimente noch als grobe Konglomerate aufgeschlossen, werden aber nach Norden zu schnell feinkörniger und stehen im Untersuchungsgebiet als Sande und Mergel an. Es handelt sich somit um fluviale Sedimente, die entsprechend ihrer Entstehungsweise vertikal und in horizontaler Ausdehnung schnell wechseln. Im Untersuchungsgebiet bilden diese Schichten die Unterlage mehr oder weniger mächtiger quartärer Ablagerungen. Aufgeschlossen ist die OSM u.a. an den Talflanken des tief eingeschnittenen

Isartales. Die Tertiäroberfläche ist des weiteren aus zahlreichen Aufschluß-, Meßstellen- und Brunnenbohrungen bekannt, so daß z. B. eine Karte der Höhengleichen der Tertiäroberfläche zwischen Isartal und Starnberger See konstruiert werden konnte. Ähnlich, aber nicht so ausgeprägt liegen die Verhältnisse im Isartalraum; vom Untersuchungsgebiet war bisher nur sehr wenig über das Tertiär bekannt.

## 2.2 Entwicklung des Isartales im Quartär

Die Geschichte des heutigen Isartales südlich von München steht in engem Zusammenhang mit den glazialmorphologischen Veränderungen während und nach der letzten Eiszeit und mit der Geschichte des Wolfratshauer Sees. Die Abflußrinne der Isar nach München und Freising besteht erst seit erdgeschichtlich jüngster Zeit.

Beim Vorstoß des Isargletschers vor etwa 25 000 Jahren wurde das vorwürmeiszeitliche Gewässernetz mit glazialen Ablagerungen verbaut. Nach dem Eiszerfall vor mehr als 15 000 Jahren mußte sich die Isar, wie auch andere Alpenflüsse, im Vorland einen neuen Weg suchen, da der alte vorwürmeiszeitliche, der in Richtung Holzkirchen verlief, mit Moränenmaterial verstopft war. Auf diese Weise entstand nördlich von Bad Tölz ein völlig neues Flußtal.

Im Abschnitt zwischen der Tattenkofener Brücke und Schäftlarn durchfließt die Isar ein vom Isarvorlandgletscher ausgeschürftes Zungenbecken, das Wolfratshauer Becken. Nach dem Eisrückzug war das Becken zunächst von einem großen See ausgefüllt, dem entsprechend genannten Wolfratshauer See. Dieser ist im Spätglazial vor etwa 13 000 bis 12 000 Jahren bereits verlandet.

Die geologische Geschichte hat vor allem JERZ (1987a, 1987b) ausführlich beschrieben. Seinen Ergebnissen wird hier u.a. gefolgt.

### 2.2.1 Entstehung des Wolfratshauer Beckens

Das Wolfratshauer Becken ist ein typisches Gletscherzungenbecken. Wie das benachbarte Becken des Starnberger Sees wurde es von den Eisströmen

des Isarvorlandgletschers, die durch den Tischberg und den Münsinger Höhenrücken geteilt wurden, ausgeschürft (Abb. 1).

Das Wolfratshauer Becken wird im Norden von den Moränengirlanden der Würmendmoränen bei Schäftlarn und den Riß-Endmoränen bei Baierbrunn begrenzt. Das südliche Ende markiert der Molasseriegel bei Penzberg, die seitlichen Begrenzungen waren etwas außerhalb der heutigen morphologischen Grenzen gelegen.

Das heute von der Isar und von der Loisach durchflossene Becken enthielt jeweils nach den drei letzten Vorlandvergletscherungen ausgedehnte Seen. Der jüngste war der Wolfratshauer See, dessen Ablagerungen zwar wenig aufgeschlossen, aber durch Bohrungen bekannt sind.

Nach den vorliegenden Erkenntnissen wurde das Wolfratshauer Becken in seinen wesentlichen Umrissen bereits während der drittletzten Eiszeit, der Mindel-Eiszeit, angelegt. Der damalige Vorlandgletscher in diesem Raum schürfte aus der tertiären Unterlage ein breites Gletscherbecken aus, dessen Sohle im Gebiet von Gelting, Weidach und Wolfratshausen noch 20 m bis 30 m unter das heutige Niveau der Isar und Loisach reichte (d.s. 560 - 550 m ü. NN). Durch Bohrungen ist nachgewiesen, daß der Westrand des Gletscherbeckens damals noch 1 - 2 km weiter im Westen lag.

Die vorletzte Eiszeit, die Riß-Eiszeit, verursachte hauptsächlich einen kräftigen Tiefenschurf im Molasseuntergrund. Die glaziale Übertiefung reichte stellenweise mehr als 130 m unter den heutigen Talböden (bis ca. 450 m ü. NN). Wie aus Bohrungen bekannt, ist die Beckensohle mit einer kompakten Riß-Grundmoräne ausgekleidet.

Eine deutlich schwächere Glazialerosion ist für die letzte Eiszeit, die Würm-Eiszeit, kennzeichnend. Der würmeiszeitliche Vorlandgletscher (im Sprachgebrauch nun Isar-Vorlandgletscher) blieb weitgehend innerhalb der mindel- und rißeiszeitlich vorgezeichneten Grenzen. Er erreichte selbst in zentralen Bereichen seines Zungenbeckens nicht den tertiären Untergrund und schürfte auch die rißeiszeitlichen Moränen sowie die spätglazialen Seesedimente der Riß-Eiszeit nur zum Teil aus. Als maßgeblicher Grund für die weniger starke glaziale Tiefenerosion wird in erster



Linie die relativ kurze Zeitdauer der letzten Vorlandvergletscherung - weniger als 10 000 Jahre - angesehen.

Die quartäre Sedimentfüllung im Wolfratshauer Becken ist durch zahlreiche Bohrungen insbesondere im Gebiet der Pupplinger Au gut bekannt. Die Ablagerungen im Bereich des Isarlaufes zwischen Tattenkofen und Ickinger Wehr haben JERZ/SCHAUER/SCHEURMANN 1986 beschrieben. Für den Flußabschnitt Ickinger Wehr - Höllriegelskreuther Wehr fehlten indessen Untersuchungen. Nach dem letzten Eisrückzug war das Wolfratshauer Becken wie in den früheren Zwischeneiszeiten erneut mit einem See erfüllt, ähnlich wie heute noch das Starnberger See-Becken und das Ammerseebecken. Er entstand vor dem zurückweichenden Eis im freiwerdenden Zungenbecken, wurde anfangs von Schmelzwässern, später von Zuflüssen aus dem Gebirge gespeist. Der Abfluß erfolgte an der Stelle im Endmoränenbogen bei Schäftlarn-Baierbrunn, wo auch das größte Gletschertor zur Zeit des Eishochstandes angenommen wird.

Die Seesedimente dieses jüngsten Sees sind an verschiedenen Stellen aufgeschlossen oder unter Überdeckung durch Bohrungen bekannt. Nach der Obergrenze der Seetone ist der Seespiegel bei mindestens 595 m ü.NN anzunehmen. Die Untergrenze der würmspätglazialen Seetone, die zugleich Rückschlüsse auf die Seetiefe ermöglicht, ist mehrfach zwischen 550 m und 500 m ü. NN nachgewiesen. Der spätglaziale Wolfratshauer See reichte von den Endmoränen bei Schäftlarn im Norden bis zu dem west-ost streichenden Molasseriegel bei Penzberg im Süden und erreichte damit eine Länge von rund 25 km. Im Westen und Osten hatte der See seine Begrenzung an den vielfach steilen Flanken des Zungenbeckens und erreichte eine größte Breite von etwa 8 km.

### 2.2.2 Ausbildung des Isartales

Das zeitliche Ende des Wolfratshauer Sees steht in direktem Zusammenhang mit der Ausbildung der Isar als Fluß auch im Beckenbereich. Die frühe Isar schüttete zunächst von Südosten in einem großen Delta ihre Schotter in den See und füllte das Seebecken damit teilweise auf. An der Überlaufstelle des Sees nördlich von Schäftlarn wirkte sich die erhöhte Wasserzufuhr in einer beschleunigten Tiefenerosion aus. Als die stauenden

Würmendmoränen und die älteren darunter liegenden Schotter durchschnitten waren, lief der See relativ schnell aus.

In der Folgezeit überdeckte die Isar mit ihrem breiten stark verzweigten Gerinnesystem größere Bereiche des Seebeckens und damit die Seesedimente mit ihrem Geschiebe. Es gibt Anhaltspunkte dafür, daß der See im Bölling-Interstadial des Spätglazials bereits sehr flach und im Alleröd-Interstadial vor 12 000 Jahren verschwunden war. Nach dem Beginn des Eisrückzugs blieben für die Lebensdauer des Sees im Wolfratshauer Becken demnach kaum mehr als 5 000 bis 6 000 Jahre.

Die Isar als zusammenhängender Fluß ist rund 10 000 Jahre alt. Sie hat sich in der Folgezeit in ihre eigenen Schotterflächen eingetieft und eine kleine Terrassentreppe hinterlassen, die allerdings im Untersuchungsgebiet kaum mehr vorhanden ist. Es sind ältere Postglazialterrassen von jüngeren Auenterrassen unterscheidbar (letztere tragen häufig eine Auelehmdecke). Wahrscheinlich hat sich der Fluß nach Ablagerung der postglazialen Sedimente stark eingetieft und zwar bis unter die heutige Flußsohle. Dies ist zumindest für die Pupplinger Au und den Bereich um das Ickinger Wehr anzunehmen. Im Subatlantikum, also vor etwa 3 000 Jahren, ist diese Eintiefung mit den Auesedimenten wieder aufgefüllt worden. Erst die begradigte Isar hat sich wieder in die Auensedimente eingeschnitten; für die Zeit davor muß ein ziemlich stabiler Gleichgewichtszustand zwischen Geschiebezu- und -abfuhr angenommen werden.

### 2.3 Untersuchungen im Flußabschnitt Icking - Baierbrunn

#### 2.3.1 Bohrprogramm 1991

In der zu untersuchenden Flußstrecke zwischen dem Unterwasser des Ickinger Wehres (erste Bohrung bei Fkm 173,66) und dem Baierbrunner Wehr (letzte Bohrung bei Fkm 163,2 unterhalb des Georgensteins) waren die Untergrundverhältnisse weitgehend unbekannt. Spärliche Unterlagen von mehreren älteren Flachbohrungen im Wehrbereich bei Icking und zwei Flachbrunnenprofile linksufrig im Vorland bei Schäftlarn ergaben kein zusammenhängendes Bild des Schichtenaufbaus unter dem Flußbett. Im Untersuchungsgebiet war insofern ein unruhiger und unregelmäßig aufgebauter Untergrund

zu erwarten, da im Moränendurchbruchs- und Auslaufbereich des Wolfratshausener Sees Erosions- und Akkumulationserscheinungen sehr eng beieinander liegen. Der heutige weitgehend begradigte Lauf der Isar überströmt somit kein einheitliches Substrat, wenn auch bodenmechanisch bei den aufgeschlossenen Lockergesteinen unter dem Fluß naturgemäß ähnliche Eigenschaften vorhanden sind.

Zur Erkundung des geologischen Aufbaus bzw. der sedimentologischen Zusammensetzung des Materials wurden im Herbst 1991 zwanzig Flußbohrungen im genannten Bereich abgeteuft (Beilage 4 - Tabelle). Die Bohrungen wurden im Rammkernverfahren durchgeführt, um genügend Probenmaterial zu erhalten und erst beendet, sobald das Substrat unter der Geschiebeauflage sicher erreicht war. Hierzu mußten geeignete Ansatzpunkte auf den Kiesbänken links- und rechtsseitig im Flußschlauch gefunden werden. Bohrungen im ständig überströmten Bereich wären technisch zu aufwendig gewesen und hätten außerdem keine sichere Probennahme ermöglicht. Somit liegt jeder Bohrersatzpunkt im Flußbett, wenn auch nicht an dessen jeweils tiefster Stelle (Talweg). Eine Ausnahme bildet die Uferbohrung B 19 (Fkm 163,6), wo im Steiluferbereich das Flußbett für das Bohrfahrzeug nicht erreichbar war. Die Bohrersatzpunkte liegen auf oder möglichst nahe bei einem Flußaufnahme-Querprofil und sind nach Lage und Höhe eingemessen. Die außerhalb eines Profils liegenden Bohrungen konnten in das nächstgelegene Profil projiziert werden, so daß mit ausreichender Genauigkeit jede Bohrung einem kilometrierten Flußquerschnitt zugeordnet werden kann (Beilage 6.1 - 6.20).

### 2.3.2 Sedimentuntersuchungen

Bei 12 Bohrungen wurden vom liegenden feinkörnigen Material unter der Kiesauflage Korngrößenanalysen vorgenommen, um Anhaltspunkte für die Erosionsanfälligkeit des jeweiligen geologischen Substrats zu erhalten (siehe Tabelle).

Von der jeweiligen Kiesauflage wurden keine Körnungsanalysen vorgenommen, da von der zugehörigen Kiesbank ohnehin im Rahmen geschiebetechnischer Untersuchungen Deckschicht und Innenschicht analysiert worden sind (siehe Kap. 4.2, Geschiebetechnische Erhebung) und die Kiesauflage in den Bohrun-

gen keine bemerkenswerten Besonderheiten aufwies. Petrographische und mineralogische Kornuntersuchungen wurden dann angestellt, wenn der feinkörnige Untergrund in der Bohrprobe nicht sogleich eindeutig identifiziert werden konnte. Im starken Umlagerungsbereich am Auslauf des spätglazialen Sees, wo sowohl im Seeton wie im Grundmoränensediment viel umgelagertes Tertiärmaterial enthalten ist (JERZ 1987 a, b), mußte die Interpretation durch mehrere Untersuchungsmethoden abgesichert werden.

## 2.4 Ergebnisse

### 2.4.1 Lage und Aufbau der Schichten des Untergrundes

In Beilage 3 ist der aus der allgemeinen geologischen Situation der Umgebung und den Flußbohrungen abzuleitende Schichtenaufbau unterhalb der Flußsohle dargestellt. Erwartungsgemäß ist dieser keineswegs einheitlich. Die Tertiäroberfläche, die im zentralen Becken des Wolfratshäuser Sees tiefreichend ausgeschürft und mit rißeiszeitlichen sowie würmeiszeitlichen Sedimenten überdeckt wurde, steigt zum nördlichen Beckenrand hin wieder an; Erosionsrinnen sind deutlich erkennbar.

Vom Ickinger Wehr bis Fkm 171,5 steht aber zunächst der spätwürmglaziale Seeton an. Zwischen Seeton und rezenter Geschiebeauflage macht sich ein sandig-kiesiger Übergangshorizont bemerkbar, dessen Alter nicht zu bestimmen ist. Da er recht genau mit der Verbreitung des Seetons übereinstimmt, könnte er ein Verlandungssediment des Eisrandstausees sein; die gleiche Situation tritt bei Fkm 168 noch einmal auf. Vermutlich schon in Bohrung 15 (Fkm 171,6), sicher aber in der tiefer geführten Bohrung 2 (Fkm 171,2) steht erstmals in der Tiefe das Tertiär an, es ist flußabwärts nun auch in den flacheren Bohrungen mehrmals vorhanden, so daß ein flacher Anstieg seiner Oberfläche von Süden her und aus dem Seebecken heraus gefolgert werden kann.

Zwischen Fkm 171 und 169 (etwa Dürnsteiner Brücke) wird die unmittelbare Unterlage der Geschiebeauflage aber aus stark umgelagertem Grundmoränenmaterial gebildet, das sich sowohl vom Seeton wie vom Tertiär unterscheidet, obwohl es wie der Seeton auch viel Tertiäranteile enthält. Es füllt nicht nur eine in das Tertiär eingetiefte Wanne aus, sondern bildet zusätzlich noch eine leichte Wölbung nach oben.

Ort/Ukr.: ISAR, MIlnchen/Bad T6lz-Wolfratsh.

K6rnung

zwischen Isinger Wehr und Baierbrunn

WWA: MIlnchen und Weilheim

Datum: Oktober 1991

TABELLE

Bohrung/ Flu6k1lometer	Tiefe m u. G.	K6rnung %										Humus %.	CaCO <sub>3</sub> %.	pH CaCl <sub>2</sub>	Summe %.	
		Ki	gS	mS	fS	gU	mU	IU	T	Schluff 2-63µ	Sand 63-2000µ					
B 3;173,66	1,7	1,8	0,8	1,1	7,2	14,7	24,1	23,1	27,1					62,0	9,1	
B 16;172,20	2,8-3,3	10,9	2,5	2,9	8,5	9,7	16,1	19,1	30,3					44,9	13,9	
" 172,20	4,3	23,7	0,4	0,8	5,8	8,9	14,8	18,6	27,0					42,3	7,0	
" 172,20	4,9	3,5	0,6	1,1	6,5	10,2	19,5	24,6	33,9					54,3	8,3	
B 2;171,20	5,2	9,5	2,2	4,6	16,5	14,9	13,1	14,7	24,5					42,7	23,3	
" 171,20	8,7	21,6	2,5	3,1	12,3	16,9	15,3	11,0	17,3					43,2	17,9	
" 171,20	18,2	22,1	0,7	3,7	19,6	13,4	12,6	10,4	17,4					36,4	24,0	
" 171,20	19,0	5,0	2,6	2,2	28,2	26,7	13,3	11,8	10,2					51,8	33,0	
B 6;170,60	5,4	5,8	1,9	2,3	12,1	15,3	20,4	16,1	26,1					51,8	16,3	
B 17;170,00	3,4	0,9	0,2	0,3	2,5	9,9	30,0	29,4	26,8					69,3	3,0	
B 18;169,70	6,0	0,0	0,0	0,1	10,0	29,5	33,9	11,1	15,4					74,5	10,1	
B 1;169,50	5,8	20,6	2,8	3,0	8,7	10,2	12,7	13,6	28,4					36,5	14,5	
" :169,50	7,0	12,6	3,3	4,9	21,2	18,3	12,8	8,3	18,6					39,4	29,4	
B 14;169,20	4,5	2,2	1,0	0,7	2,0	7,6	19,0	29,8	37,7					56,4	3,7	
B 11;168,20	7,0	0,0	0,0	0,0	2,8	4,9	30,7	28,2	33,3					63,8	2,9	
B 9;167,50	7,1	0,0	0,0	0,1	2,9	2,0	11,1	32,9	50,9					46,0	3,1	
B 10;166,60	11,0	0,0	0,0	0,1	17,1	39,6	17,6	6,9	18,7					64,1	17,2	
B 8;164,10	11,0	7,0	7,6	7,9	6,9	4,3	8,8	9,9	47,6					23,0	22,4	

Bei Fkm 169 steht die OSM (obere Süßwassermolasse) des Tertiärs direkt unter dem Flußkies an, dann folgt zum letzten Mal der teilweise sandbedeckte Seeton bis Fkm 167. Hier liegt das auch von der geologischen Kartierung her anzunehmende Nordende des Eisrandstausees.

Von Fkm 166,5 an bildet endgültig die OSM die Unterlage bis zum Ende der Untersuchungsstrecke. In der Schluchtstrecke zwischen Fkm 166 und Fkm 164 war der Flußlauf für das Bohrfahrzeug unzugänglich, es ist jedoch aus der Situation heraus als gesichert anzunehmen, daß dort keine größere Änderung mehr eintritt.

Die Uferbohrung B 19 gegenüber dem Georgenstein zeigt an, wie sich der Fluß auf natürlichem Weg mitsamt einer mächtigen Geschiebeauflage in die OSM-Unterlage eingesenkt hat; die Tertiäroberfläche liegt am Ufer beidseitig zum Teil erheblich über dem Wasserspiegel.

Bei Fkm 163 hat schon der spät- bis postglaziale Fluß (Subatlantikum?) sich eine tiefe Schlucht gegraben und mit Geschiebe teilweise wieder aufgefüllt. Solche Rinnen sind zwar oberhalb im Verlandungsbereich des Sees gleichfalls zu finden, jedoch liegt diese Eintiefung bereits außerhalb des Seebeckens, da sie nur Flußgeschiebe enthält; andererseits ist sie vielleicht erst bei der Eintiefungsphase im Subatlantikum entstanden, als der See bereits verlandet war.

#### 2.4.2 Mächtigkeit der Geschiebeauflage im Flußbett

Die derzeit im Flußbett vorhandene Geschiebedecke auf dem quartären und tertiären Untergrund steigt flußabwärts deutlich an. Der in Beilage 5 dargestellte Verlauf bezieht sich auf die Lage unter dem jeweiligen Bohr-ansatzpunkt, nicht jedoch auf die absolute Höhe, z. B. bezogen auf die Flußsohle im Talweg. Die Geschiebemächtigkeit wie dargestellt, ist die annähernde Maximalauflage im Untersuchungszeitraum, da die Bohrungen auf Kiesbänken und nicht im Talweg stehen. Somit kann die Minimalauflage um mehr als 1 m differieren. Unter diesem Aspekt stellt die Strecke vom Ickinger Wehr bis ca. Fkm 170 mit Mächtigkeiten von maximal 1,5 m bis 2,5 m über Seeton und Grundmoräne den meist gefährdeten Abschnitt der untersuchten Flußstrecke dar. Ab dort sinkt die Maximalstärke der Auflage

nicht mehr unter 3 m, während flußabwärts etwa bei Fkm 168 nach den vorliegenden Erkenntnissen sogar 4 m Maximalstärke nicht mehr unterschritten werden. In der Schluchtstrecke ist die Auflage am stärksten; im Bereich des Georgensteins und der Georgeninsel liegt eine Umlagerungstrecke vor, zum Teil macht sich aber auch schon der Rückstau des Höllriegelskreuther Wehres bemerkbar.

#### 2.4.3 Erosionsanfälligkeit des Untergrundes

Bei 12 der 20 Bohrungen wurden Körnungsanalysen des feinkörnigen Untergrundes durchgeführt, zum Teil in mehreren Tiefenstufen (B 1, B 2, B 16), wenn verschiedene Schichtwechsel auftraten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

In den Bohrungen B 3 (Fkm 173,66) und B 16 (Fkm 172,2) wurde jeweils der Seeton (unterhalb der kiesigen Sandschicht) analysiert. Der Begriff Seeton ist zwar genetisch richtig, sedimentologisch aber insofern etwas irreführend, weil der Hauptgemengteil die Schlufffraktion ist (B 3: 62%, B 16: um 50%), demgegenüber liegt der Tonanteil etwa bei einem Drittel. Der Seeton ist beim Bohrvorgang steif bis fest, setzt aber bei Wasserzutritt der Erosion keinen Widerstand mehr entgegen, da der Schluff sehr schnell abgeführt wird und das Korngerüst zusammenbricht.

Die Proben aus den Tertiärschichten in B 2 (Fkm 171,2) ergaben oben einen Tonmergel mit Kieseinlagen und weiter unten einen Sandmergel. Tertiäre Sande und Sandmergel sind zwar ebenfalls im Prinzip erosionsgefährdet, liegen aber hier ausreichend tief, so daß von ihnen keine Gefahr ausgeht. Die Körnungen im Tertiärmaterial wurden zu Vergleichszwecken durchgeführt, um Unterscheidungsmerkmale zu den quartären Sedimenten besser erkennen zu können.

Die Bohrungen B 6 (Fkm 170,6), B 17 (170,0), B 18 (169,7) und B 1 (169,5) schlossen die stark umgelagerte Grundmoräne auf (Probe bei 9,2 m u. Gel. in B 1 ist dann ein Tonmergel der OSM). Das Material ist teils stark schluffig, teils feinsandig mit Kiesbändern. Seine Erosionsanfälligkeit ist der des Seetons gleichzusetzen, da dem Sediment der sonst übliche hohe Tonanteil, der Moräne sonst zäher macht, fehlt.

In B 14 (169,2) tritt ein relativ zäher Tonmergel der OSM auf, der etwas widerstandsfähiger ist.

Dagegen steht bei B 11 (168,2) und B 9 (167,5) erneut Seeton an.

In B 9 ist er deutlich toniger als in den übrigen Seetonproben und damit ein echtes Stillwassersediment.

In B 10 (166,6) und B 8 (164,1) steht unter dem Geschiebe nur mehr die OSM an, in B 10 ein Sandmergel, in B 8 ein zäher harter Tonmergel.

Die untersuchte Isarstrecke kann nach den sedimentologischen Befunden hinsichtlich ihrer Erosionsanfälligkeit in folgende Abschnitte gegliedert werden:

1. Fkm 174 - 170,6, UW Ickinger Wehr **a n f ä l l i g** infolge sehr geringer bis geringer Geschiebeauflage auf kiesiger Sandlage mit darunter folgendem spätglazialen schluffigem Seeton
2. Fkm 170,6 - 169,2  
**a n f ä l l i g** infolge geringer Kiesauflage auf kaum verfestigtem umgelagertem Moränenmaterial
3. Fkm 169,2 - 168,8  
**w e n i g a n f ä l l i g** durch zähere OSM-Tonmergel als Unterlage
4. Fkm 168,8 - 167,8  
**a n f ä l l i g** infolge geringer Kiesauflage über Seeton
5. Fkm 167,7 - 166,7  
Derzeit **n i c h t a n f ä l l i g**, da Kiesschicht über Seeton überwiegend mehr als 3 m mächtig
6. Fkm 166,7 - 163  
**n i c h t a n f ä l l i g**, da Kiesschicht über Tertiär der OSM (Sand- und Tonmergel) durchgehend mindestens 3 m bis über 5 m mächtig.

### 3 Flußgeschichte

Wasserläufe sind wesentliche Elemente unserer Landschaft und aufs engste mit der Siedlungsgeschichte der Talräume verknüpft. Die Geometrie der Wasserläufe, reproduziert in Grundriß, Längs- und Querschnitt, steht in einer wechselseitigen Abhängigkeit. Wasserläufe stellen gewissermaßen ein vernetztes System dar, das auf natürliche Weise durch Abfluß und den Transport von Feststoffen gesteuert wird. In diesen, vom Wechselspiel der Natur bestimmten Regelkreis, begann der Mensch im vorigen Jahrhundert einzugreifen und prägte bis heute der Gewässerlandschaft seinen Stempel auf. Die Gestaltungsvorgänge der Isar haben also wie bei allen anderen Flüssen alpinen Ursprungs zweierlei Ursachen: Die natürlichen Kräfte der Bettbildung durch Abtragung und Aufschüttung und die menschlichen Eingriffe in das Flußsystem. Beide unterscheiden sich vor allem darin, daß die natürliche Bettbildung langsam voranschreitet, um den Aufriß des Flusses in einen Beharrungszustand zu überführen, während das Wirken des Menschen sich in kurzfristigen Änderungen des Flußregimes äußert. Trotzdem ist es nicht immer möglich, klar zu erkennen, wo augenfällige Umbildungen ihren Ursprung haben, weil sich die Spuren der ältesten Bemühungen unserer Vorfahren, der Wassernot zu wehren, oft im Dunkel der Vergangenheit verlieren.

Deshalb ist Flußgeschichte ein wesentlicher Teil flußmorphologischer Bestandsaufnahme. Sie kann uns Aufschluß über die früheren Zustände geben und die heute in Vergessenheit geratenen Beweggründe für die seinerzeitigen Eingriffe anhand von Augenzeugenberichten oder zeitgenössischen Darstellungen wieder näherbringen. Auf diese Weise hat sich schon manche nützliche Erkenntnis für die in der Gegenwart zu treffenden Entscheidungen gewinnen lassen. Dieser Gedanke ist zwar nicht neu, er fand aber lange Zeit wenig Akzeptanz. Bereits im Jahre 1772 hat der königlich-preussische Oberbaurat J.E. SILBERSCHLAG, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, seinerzeit weit vorausblickend, zum Ausdruck gebracht:

"Wie vieles hätte man ersparen können, wenn man bei der Natur selbst vorher in die Schule gegangen wäre und sich die Mittel hätte nachweisen lassen, deren sie sich bedient."

### 3.1 Vor der Isarkorrektion

Um die Wende des 19. Jahrhunderts, vom Zeitgeist der Aufklärung beflügelt, beschäftigte man sich in Europa zunehmend mit dem Gedanken, die Fließgewässer, insbesondere die geschiebeführenden Flüsse, mit ihrem großen natürlichen Flächenbedarf zu regeln. Das Idealziel der sogenannten Regelung war der rektifizierte, ausgebaute Flußlauf, dessen Wasser zwischen künstlich gestalteten Ufern, gebändigt und ruhig dahingleitet. Die Absicht war, Kulturland zu gewinnen, Siedlungen zu schützen, womöglich günstigere Verhältnisse für Schiff- und Floßfahrt zu schaffen, Brückenübergänge im Zuge von Verkehrswegen zu sichern und eine exaktere politische Grenzziehung entlang festgelegter Flußläufe zu ermöglichen. Die Situation der hier zu untersuchenden Flußstrecke der Isar noch im Vorfeld der sich bereits aber abzeichnenden Veränderungen illustriert der nachfolgende Textauszug aus dem vom Obersten ADRIAN VON RIEDL 1806 verfaßten "Strom Atlas von Bayern (daraus Flußkartenausschnitt, siehe Beilage 1):

"...Von Tölz bis zur Einmündung der Loisach unterhalb dem Markt Wolf-  
ratshausen läuft die Isar der Flußlänge nach 84000 Schuhe fast immer  
zwischen, meistens aber an den links befindlichen Anhöhen und Auen in  
mehreren und starken Krümmungen.

Diese Krümmungen machen, daß fast bey jedem Hochwasser die Berge oder  
vielmehr Anhöhen bald links bald rechts angegriffen werden. Da diese  
Anhöhen nicht mehr felsenartig wie ein Gebirg sind, sondern meisten  
theils aus Sand und Rollsteinen bestehen, so schaffen die bey An-  
griffe der Berge herabgerollten Steine in der Flußbahn große und vie-  
le Kiesanlagen, die zwar von der Isar bey folgenden Hochgewässern hie  
und da vermindert, oder ganz fortgerissen, von neugeschaffenen aber  
wieder ersetzt oder gar vermehrt werden.

Hiedurch entsteht die Folge, daß der Fluß sich immer mehr und mehr aus-  
breitet. Gegenwärtig mißt er von einem Lande bis zum andern an einigen  
Orten gegen 2000 Schuhe, da doch für seine Normalbreite 600 hier hin-  
länglich wären.

Die Gemeinden, die mit ihren Gründen nahe an dem Fluße liegen, sollen die Gebäude zur Versicherung ihres Eigenthums führen, ohne daß ihnen von einer andern Seite eine Unterstützung gegeben wird.

Die Erfahrung hat bisher nur zu sehr gelehrt wie wenig und wie zweckwidrig dort gebauet wird, wo die Gemeinden ohne alle Aufsicht allein führen. Die Gefahr ist im Anfange nicht zu groß, der Schade drohet nur dem Gutsbesitzer, dieser suchet zwar Hilfe, aber vergebens. Man scheuet die Kosten. So unterbleibt die Vorsicherung, die Anfangs mit wenig Mühe und geringem Aufwand hätte geschehen können. Der Einbruch wächst, der Schaden wird grösser, die Gefahr dringender, die Kosten zu bedeutend, als daß die Gemeinden sie mehr bestreiten könnten. Wird auch ein Bau dort oder da vorgenommen; so geschieht es ohne alle Kenntniß, ohne Rücksicht auf das Ganze, ohne Zusammenhang.

Bis also nicht die Isar von Tölz bis an die Loisach einer ordentlichen Direktionslinie mit genauer Beobachtung aller Um- und Anstände, die erst nach langen Erfahrungen zweckmäßig gewürdigt werden können, geleitet wird: wird in dieser Gegend nie systematisch, nie standhaltend gebauet werden.

Es ist keineswegs hier die Rede, daß durch die Direktion die Isar wie in einem Kanale geführt, und so auf beyden Seiten verbauet werden soll.

Durch sie wird nur die Mittellinie bestimmt, nach welcher die Isar bey kleinem Wasserstande durch leichte Flechtwerke oder Wasserzähne, auch oft mit Durchschnitten durch die Sandbänke geleitet werden muß.

Nur wenn der Staat durch sachenkundige, erfahrene und bewährte Männer die Art, wie gebauet werden soll, bestimmen läßt, und selbst Unterstützung gewähret; wenn für die Anliegenden von Gegend zu Gegend eine billige verhältnißmäßige Konkurrenz, von welcher niemand ausgenommen werden soll, hergestellt wird; wenn die nahen Auen, die immer dem ungehinderten Spiele des Flußes ausgesetzt sind, für den Wasserbau unentgeltlich ohne Forsttaxe für immer angewiesen bleiben; wenn so bey Zeiten leichte

Flechtwerke, wo der Fluß einzubrechen drohet, angelegt werden; wenn thätige, des Wasserbaues kundige, gemeine Männer, denen nicht am Prunke, sondern an der guten Sache gelegen ist, angestellet sind, nur dann läßt sich's erwarten, daß der Fluß in dieser Gegend nach einem festen Systeme in Ordnung gebracht, und erhalten werde.

So lange dieß nicht so, wie es ehemals war, ehe die so grossen Fluß-Verheerungen eingetreten sind, geschieht, so lange nützen alle Vorschläge, wenn sie noch so gegründet sind, nichts, indem sie niemals ausgeföhret werden, niemals ausgeföhret werden können.

Das starke Isargefäll, das beynahe unglaublich scheint, die vielen und gewaltigen Hochgewässer, durch welche die nahen Gründe immer so sehr in Sandbänke umgeschaffen werden, erfordern alle Behutsamkeit.

Selbst dem Staate, wenn auch nicht auf die Erhaltung der Gründe ganzer Gemeinden gesehen werden wollte, liegt wegen dem Wolfratshäuser Forste daran, daß eine zweckmäßige Flußleitung eintrete, indem sonst diese Staatswaldung noch ganz die Beute der Isar wird.

Beym Markte Wolfratshäuser ist eine dauerhafte Brücke, die vom Markte im Jahre 1800 gebauet worden ist. Auf Kösten des Staates wurden oberhalb dieser Brücke auf der rechten und linken Flußseite zur Isarleitung Faschinaden im nämlichen Jahre angeleget, die allen Hochgewässern noch immer widerstanden sind.

Unterhalb Wolfratshäuser wirft sich die Loisach, die aus dem Kochelsee herausfließt, auf der linken Seite in die Isar.

Von der Loisachmündung bis Grünwald beträgt die Länge der Strecke, die die Isar durchläuft, 49000 Schuhe.

Anfangs hält sie sich auf der linken Seite neben der Anhöhe, die Schäftlarnlerleite genannt. Die Anhöhe auf der rechten Seite ist hier von der Flußbahn etwas entfernter; vor Schäftlarn selbst, einem aufgelösten Kloster, von dem hier eine Brücke über den Fluß unterhalten wurden, die jetzt aber nicht mehr stehet, nahet sich die Isar der rechts liegenden Anhöhe.

Von der Loisachmündung an bis zum Michaelstein ist die Isar vielarmigt; die Bahne, welche sie sich zwischen angeführten Kieslagen bald da bald dort wählet, mißt in der Breite gegen 2000 Schuh (red. Anmerkg.: etwa 580 m). Kommen Hochgewässer; so ist dieser Raum, bis auf jene Bezirke, die höher liegen, ganz mit Wasser bedeckt.

Die Hauptursache dieser ausgebreiteten vielarmigten Bahn ist die Flußenge zwischen den unterhalb rechts und links liegenden Anhöhen, wo die Isar von Michaelstein bis unterhalb Grünwald in einem zusammengedrängten Bette oft von 300 bis 400 Schuhen eingeschlossen ist. Man hat Beobachtungen, daß die Isar bey Hochgewässern in dieser Enge um 4 bis 5, auch 6 und 7 Schuhe höher stand, als sie in Ebenen bey den nämlichen Hochgewässern gestanden ist.

Dieß enge Flußbeet, nicht fähig, die aus dem Gebirge bey Hochgewässern mit Gewalt ausgeschwemmten Rollsteine und Sandmassen geschwinde genug aufzunehmen, und wegzuführen, verursacht aufwärts Stockung, die immer nachfolgende und nachdrückende Wassermenge muß sich also um so mehr oberhalb ausdehnen, als sie daran durch die obere Ebene nicht gehindert ist.

Fällt das Hochwasser, so ist die Isar nicht mehr stark und mächtig genug, die liegen gebliebenen Massen wegzuführen; sie sucht sich eine Bahn, durch die sie ihren Lauf fortsetzet.

Stein- Kies- und Sandlagen bleiben zurücke, bis wieder andere Hochgewässer sie fortführen, und neue oder noch größere bilden.

Die Folge davon ist, daß die Isar die für ihren ordentlichen Lauf angemessene Bettiefe verliert.

Eine weitere Ursache, die bey den eben angegebenen Verhältnissen nicht minder mitwirkt, sind die Senkbäume, die von den Müllern quer in den Fluß eingeschlagen werden, um ihn zu erhöhen, damit durch das Anschwellen Wasser genug in den Mühlbächen geleitet wird.

Diese beyden Lokalverhältnisse sind aber so geartet, daß ihre volle Hebung nicht so leicht ganz ausführbar wird, weil der Kostenbetrag die

bezweckten Vortheile übersteigen möchte. Um also der zu weit umgreifenden Ausdehnung des Flußes oberhalb angemessene Schranken zu setzen, wird und bleibt es nothwendig, daß die Isar durch Dämme in eine berechneten Entfernung und Höhe gezwungen werden, sich ihre Bahn selbst zu tiefen.

Die Ortslage wird es nie gestatten, daß hier der Fluß eine geringere Weite, als wenigstens von 1000 Schuhen erhalte. Auf die Mühlen darf stärke Umsicht getragen werden, damit sie mit ihren Senkbäumen nicht höher steigen.

Von Schäftlarn an sind die Gebäude der Floßfahrt halber vom Staate immer geführt und unterhalten worden.

Die gefährlichen Orte für die Floßfahrt in dem Engraume, wo die Isar eingeschlossen von einer Bucht in die andere fällt, sind beym Michaelsteine, beym Georgisteine, und zu Grünwald.

Oft stürzt die Isar mit aller Gewalt auf diese Felsenmassen an, die die Flösse scheitern machen.

Dieß zu hindern, ist das einzige Mittel die Anlegung zweckmäßiger Abweiser, welche die Flösse von dem Felsen abtreiben. Man hat schon vor langen Jahren vorgeschlagen, diese Felsen zu sprengen. Allein bey genauer Lokaluntersuchung hat man entdeckt, daß diese Felsen sich mit den anliegenden Bergen verbinden.

Aus diesem Grunde wurde die Sprengung unterlassen, indem immer der hervorragenden Steine wegen die Nothwendigkeit der Abweiser hätte bestehen müssen.

Für Freunde der älteren Geschichte sey es hier bemerkt, daß über den Georgistein eine Römerbrücke geschlagen war, an welchem man noch die Spure, wo die Brückenbalken eingefuget waren, siehet.

Hier zog sich die Römerstrasse von Augsburg nach Abudiacum ad Oenum, heut zu Tag Happing oberhalb Rosenheim, wo auf der Höhe des rechten Isarlandes sich auch unverkennbare Zeichen einer grossen Römerschanze zeigen.

Zu Grünwald wurden vom Staate seit den Ältesten Zeiten beträchtliche Wassergebäude geführt. Vor einigen Jahren sind Faschinen Senkwerke mit grossen Steinen geschweret, die ganz der Erwartung entsprochen haben, angeleget worden.

Von Grünwald setzt die Isar noch immer zwischen Anhöhen das Dorf Puelach vorbey in verschiedenen Richtungen bis zum Hesellohe, einem Lustorte im Walde, wo sich in den Sommermonaten oft viele Menschen sammeln, ihren Lauf fort.....".

Ähnliches wie der zeitgenössische Chronist ADRIAN VON RIEDL im Jahre 1806 vorstehend zu vermelden mußte, bietet KÄTHE HEINDEL 1936 in ihrer Dissertation "Die Umgestaltung der Isar durch den Menschen", die sich auf zahlreiche Literaturquellen stützte. Hieraus ein kurzer Auszug:

\*....Zwischen Rampertshofen und Tattenkofen waren auf der linken Seite Uferabbrüche nicht selten und die dort befindlichen Wälder ernstlich bedroht. Bei Puppling lagen die Verhältnisse ähnlich wie bei Tattenkofen. Doch waren hier die Verwilderung und der Angriff auf das linke Ufer noch stärker. Der Fluß zeigte größere Kiesbänke und zahlreichere Rinnsale, die sich bei der Einmündung der Loisach zu einem Arm vereinigten, um nach einigen hundert Metern sich von neuem in ein wirres Netz von Wasserläufen zu zerteilen. Sie durchbrachen am rechten Ufer Teile des Wolf- ratshausener Forstes und zogen diese mit in das Flußgebiet ein. Zugleich finden wir ausgedehnte Versumpfung, die bis Hohenschäftlarn reichten. Weite kiesige Einöden und Alluvionen, von den vielzerteilten Gewässern umschlungen, bestimmten den Charakter des Tales. Die Breite der vielarmigen Isar, die sie aber nur bei Hochwasser voll benötigte, betrug 600 m. So war das Aussehen bis zum canonartigen Durchbruch bei Schäftlarn. Die Ursache für die ausgebreitete Bahn ist gerade in dieser Einengung zu suchen (Lit.78, S. 28). Sie bewirkt einen Rückstau der Wassermassen, die mit einer Ausdehnung im oberhalb liegenden Gebiet antworteten. Die von den Hochwässern mitgeführten Geröilmengen vermochte die Isar nach dem Absinken der Flutwellen nicht mehr fortzutragen. Sie blieben liegen, bis ein neues Hochwasser sie wegriß oder sogar neue Stoffe aufhäufte. Auf diese Weise verlor der Fluß fortgesetzt an Tiefe. Nicht minder trugen hier die von den Müllern angebrachten Senkbäume zur Erhöhung seines Bettes bei.....".

Außerdem zählt HEINDEL in der uns interessierenden Flußstrecke noch einmal folgende Beispiele untergegangener Wasserableitungsbauwerke auf: "... der Senkbaum der Aumühle bei Icking, die Schöpfbühne der Klostermühle zu Schäftlarn und der Senkbaum bei Schäftlarn ....."

Verglichen mit den großen Wasserkraftbauwerken unserer Zeit führten diese historischen Wasserbauten zwar zu keinen merklichen Umgestaltungen der Flußlandschaft, doch waren sie den Berichten nach eigentlich bei jedem Hochwasser die Ursache schwerer örtlicher Schäden im Talgrund. Einen Anhaltspunkt, wie weitreichend die Wasserfluten der Isar den Talgrund überschwemmen konnten, gibt ein Auszug aus dem Artikel des Prälaten HARTIG zur Geschichte des Klosters Schäftlarn in der 1928 erschienenen Zeitschrift Bayerland: "... 1523 war allen Ernstes der Gedanke vertreten worden, Kirche und Kloster wegen der vielfachen Wassernot vom Tale weg auf den Berg zu verlegen, 1527 hatte eine Feuersbrunst solchen Bestrebungen Vorschub geleistet. Aber die Idee wurde niemals zur Tat. ..."

Zunächst einmal wollen wir rekapitulieren, daß vor 1806 noch keine nennenswerten Längsbauten und keine Flußkorrekturen an der Isar existierten. Dagegen werden die Unbilden der wilden Natur, die sogenannte Wassernot, wie regelmäßige Überschwemmungen, die Abrisse der Ufer und Hangterrassen, die sich ständig verwerfenden Flußarme, die wachsenden Schotterflächen, die zerstörten Brückenübergänge, die den Abfluß einschränkenden Hindernisse im Fluß und dergleichen mehr beklagt. Außerdem wissen wir, daß in dieser Zeit der Ruf nach einer starken, Abhilfe bringenden Hand immer lauter wurde.

In der heutigen Zeit, in der sich einerseits Sicherheitsanspruch sowie Besitzstandswahrung und andererseits Bedürfnisse, wie "Renaturierung" und "Revitalisierung" gegenüber stehen, sollte der Blick zurück in die Vergangenheit doch sehr zu denken geben. Wären wir tatsächlich bereit, den vermeintlichen Sünden der Vergangenheit den Stachel zu ziehen, und in diese früheren Verhältnisse wieder einzutreten? Bevor wir dieser Frage weiter nachgehen wollen, ist es wichtig festzuhalten, daß die Isar sich damals - naturräumlich und flußmorphologisch gesehen - noch weitgehend in einem natürlichen Regelkreis sowie in einem Gleichgewichtszustand von Abfluß und Feststofftransport befand.

### 3.2 Isarkorrektion und Wasserkraftausbau

In den Jahren 1888, 1909 und 1939 hat die OBERSTE BAUBEHÖRDE Denkschriften über den Stand des Wasserbaues in Bayern herausgebracht.

Die 1. Denkschrift von 1888 "Der Wasserbau an den öffentlichen Flüssen im Königreich Bayern" gibt u.a. an:

- Es existiert ein Senkbaum (siehe auch Beilage 1) bei Schäftlarn für die beiden Mühltaler Mahl- und Sägmühlen.
- Angeführt wird ein 1835 von Privat errichteter 2100 m langer Hochwasserdamm links der Isar bei Unterschäftlarn zum Schutze der Ländereien
- Außer der 1857 bei Mittenwald in Angriff genommenen Korrektion und der 1858-1860 durchgeführten Korrektion zum Schutze der Großhesseloher Eisenbahnbrücke gibt es in der dazwischen liegenden Flußstrecke nur ausschließlich aus Mitteln des Kreises und von Beteiligten finanzierte Maßnahmen. Die Korrektionsstrecke oberhalb der Marienbrücke bei Puppling, welche zur Sicherstellung des Brückenüberganges diente. Die ursprünglich seit 1854 hergestellten Bauten verfielen bis 1873 weitgehend und mußten von 1875 bis 1881 neu erstellt werden. Die Korrektion weist linksufrig eine Länge von 1600 m und rechtsufrig eine Länge von 1100 m bei einer Normalbreite von nur 49 m auf. Die Sicherung besteht aus Senkfaschinat und Querbauten. Außerdem ist noch von Uferschutzbauten bei der Aumühle und solchen zum Schutze des Mühltaler Mühlkanals sowie der beiden Mühlenanwesen die Rede.

Aus Staatsmitteln wurden in der Zeit von 1852 bis 1883 Ufersicherungen und Fahrwasserräumungen bei Niederschäftlarn und Mühlthal finanziert.

In der darauffolgenden Denkschrift von 1909 "Über den gegenwärtigen Stand der Wasserbauten in Bayern" wird neben der schon bestehenden Pupplinger Teilregelung die kurze Flußstrecke von Fkm 169,40 bei der Dürnsteiner Brücke ca. 600 m flußabwärts bis Fkm 168,74 als Teilkorrektion mit nicht versteinten Faschinenbauten aufgeführt (siehe auch Beilage 2). Erst ab dem damals schon bestehenden Wehr bei Baierbrunn folgt

die bis nach München im Zuge des Wasserkraftausbaues mit Seitenkanälen angelegte Korrektur der Isar. Lediglich in Kostenansatz gebracht war der als besonders dringlich eingestufte Ausbau der Korrektur bei Puppling einschließlich der Korrektur der gesamten Flußstrecke von Einöd bis Schäftlarn, zu deren Ausführung es aber dann nicht mehr im vorgesehenen Umfang kam.

Die dann 1939 herausgegebene Denkschrift "Über den Ausbau der öffentlichen Flüsse in Bayern" stellt erwartungsgemäß die zwischenzeitlich auf dem Sektor des Wasserkraftausbaues an der Isar geschaffenen Errungenschaften heraus.

So werden die das gesamte Flußregime der Isar berührenden Wasserableitungen im oberen Einzugsgebiet des Flusses, nämlich die bei Krün und die für die Jachen erfolgte Ausleitung seit 1923 sowie die Ableitung der Walchen seit 1927 aufgeführt.

1922/24 wird das Seitenkanalkraftwerk Mühlthal mit seinem Ausleitungswehr bei Icking errichtet (siehe Luftbildaufnahme Beilage 7.1-7.2). Diese Wasserkraftanlage trat anstelle der durch die bereits erwähnte Senkbaumanlage gespeisten Mühlthalmühle. Über die Schwierigkeiten des damit verbundenen Flußausbaues und der Einpassung der Anlage in die örtlichen Gegebenheiten gibt der wasserrechtliche Beschluß des Bezirksamtes Wolfratshausen vom 31.05.1932 dem Fachmann einen ungefähren Eindruck, wobei andere Beschlüsse dem genannten Beschluß bereits vorausgegangen waren.

Den Ausführungen des Bescheides zufolge wurde die Anlage unter zahlreichen Abweichungen von den für die vorausgegangenen Bescheide maßgebenden Plänen gebaut, wie z. B.:

- Das Ickinger Stauwehr wurde bei Fkm 173,95 statt wie nach dem Bescheid von 1913 bei der alten Senkbaumanlage, bei Fkm 173,65 errichtet.
- Die Einmündung des Unterwasserkanals in die Isar wurde um rd. 300 m weiter flußabwärts gelegt als nach Bescheid von 1913 festgelegt; damit wurde die Ausnutzungsstrecke der Isar insgesamt um rd. 600 m verlängert. Die Ausleitungsstrecke ist rd. 8 700 m lang.

- Die Wehrstauhöhe (Krone) wurde um rd. 0,49 m höher gebaut als in den Bescheiden von 1913 und 1905 mit Rücksicht auf das alte Ickinger Wehr und das Flußregime festgelegt war.
- Das Fließgefälle des Kanals wurde wesentlich ermäßigt.
- Die bezeichneten Maßnahmen führten zu einer Steigerung der Nutzfallehöhe am Kraftwerk, die nach Beschluß von 1913 nur 15,5 bis 16,0 Meter betragen sollte, nunmehr aber 16,6 bis 18,1 Meter wurde.
- Die Nutzwassermenge wurde von 54 auf 80 m<sup>3</sup>/s gesteigert.

In den "Besonderen Bedingungen" des Beschlusses von 1932 sind im übrigen die Belange zum Umfang und Betrieb der Anlage, zum Nutzwasserabfluß, zu Gefälle, Stauabsenkung, Regulierung und Instandhaltung des Flusses, zu den Hochwasserdammbauten, zu Kies- und Sandablagerungen sowie zur Flußräumung im Einflußbereich der Anlage und ähnliches mehr geregelt. Vor allem den im künftigen Verfahren tätigen amtlichen Sachverständigen wird ein genaueres Studium der in den einschlägigen Bescheiden enthaltenen Regelungen empfohlen.

Das Ickinger Wehr hat den Angaben zufolge zwischen den Widerlagern eine Gesamtlänge von 208 m, bestehend aus einem festen Überfallwehr von 135 m, einer Floßgasse von 7 m und einem beweglichen Wehr von 3 je 13,5 m breiten Öffnungen und 2 als Grundablässe wirkenden Öffnungen von je 7 m Weite. Zur wirksamen Abspülung des Kieses in das Unterwasser des Wehres schließt an den Mittelpfeiler der beiden Grundschleusen eine Trennwand an. Seitlich der Floßgasse liegt ein Fischpaß. Das seitlich des Ickinger Wehres anschließende Einlaufbauwerk für den Werkkanal enthält mit Schützen verschließbare Spülkanäle, die in das Wehrunterwasser ausmünden. Sie üben die ihnen zugedachte Aufgabe offensichtlich aber schon länger nicht mehr aus. Zum Schutz der Wehranlage wurde auf der rechten Flußseite ein längeres Deich- und Dammsystem als Talschluß angelegt. Zum Zwecke der Wasserkraftausnutzung darf dem Bescheid gemäß alles Wasser aus der Isar mit Ausnahme der für den Fischpaß erforderlichen Abflusses bis zum Höchstabfluß von 80 m<sup>3</sup>/s entnommen und in den Turbinen des Kraftwerkes laufwerkmäßig genutzt werden. Der Abflußquerschnitt des Isarwehres ist

auf einem Höchstabfluß von  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$  bemessen. Zwischen der Einmündung des Unterwasserwerkkanals in die Isar und dem Wehr bei Baierbrunn liegt eine gefällsmäßig nicht ausgenutzte Flußstrecke von 2,25 km Länge. An das Wehr in Baierbrunn schließen sich dann ohne Unterbrechung die restlichen Anlagen der damaligen Isarwerke AG und Südwerke der Landeshauptstadt München an.

In weiterer zeitlicher Folge nach der zuvor genannten Ableitung der Walchen im Jahre 1927 sind als weitere Eingriffe in das Flußregime der Isar die 1949 wirksam werdende Ribbachüberleitung und die 1951 erfolgte Ableitung der Dürrach zu nennen. Von erheblicher Bedeutung waren dann noch die Errichtung des Sylvensteinspeichers (Bauzeit von 1956 bis 1959) sowie die des Kraftwerkes Bad Tölz mit dem Tölzer Stausee im Jahre 1961.

Alle genannten Maßnahmen haben zu der heute tiefgreifenden Veränderung des flußmorphologischen Verhaltens der Isar beigetragen.

#### 4 Flußmorphologische Bestandsaufnahme

##### 4.1 Abflußverhältnisse

Von den amtlichen Pegeln ist der Pegel München (Fkm 1459,  $A_{EO} = 2836 \text{ km}^2$ ) am ehesten für die Abflußverhältnisse an der Kraftwerksanlage Mühlthal repräsentativ. Der Pegel Bad Tölz ( $A_{EO} = 1554 \text{ km}^2$ ) sowie der Pegel Puppiling ( $A_{EO} = 1714 \text{ km}^2$ ) erfassen dagegen den Abfluß der Loisach nicht bzw. nur teilweise.

Die Hauptzahlen für den Pegel München (Isar mit Stadtbächen) sind nach dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch (Ausgabe Abflußjahr 1989) für die Jahresreihe 1959/1989:

NQ	23 $\text{m}^3/\text{s}$
MNQ	40 "
MQ	91 "
MHQ	421 "
HQ	755 "
HQ <sub>1</sub>	359 "
HQ <sub>1940</sub>	1440 "
HQ <sub>1954</sub>	1100 "

Für die Gestaltungsvorgänge des Flußbettes sind jedoch weniger die Mittelwerte der Abflüsse als vielmehr die Häufigkeit und Dauer der die Transportvorgänge auslösenden Hochwasserabflüsse von Bedeutung. Es ist deshalb aufschlußreich, sich die für den Pegel Puppling vorliegenden Daten zur Hochwasserwiederkehr zu vergegenwärtigen:

	HQ <sub>1</sub>	HQ <sub>2</sub>	HQ <sub>5</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>20</sub>	HQ <sub>50</sub>	HQ <sub>100</sub>
vor 1959	390	480	620	820	940	1090	1230 m <sup>3</sup> /s
nach 1959	270	330	435	510	575	650	695 m <sup>3</sup> /s

Aus der Tabelle geht unter anderem deutlich hervor, daß der Sylvenstein-speicher (Inbetriebnahme 1959) die Wahrscheinlichkeit der Hochwasserwiederkehr erheblich herabgesetzt hat. Zum Beispiel ist mit einem Hochwasser, das früher durchschnittlich alle 5 Jahre auftrat, jetzt nur noch im statistischen Abstand von rd. 50 Jahren zu rechnen. Dem bisherigen Wasserrechtsbescheid für die Ausnützung der Wasserkräfte zwischen Icking und Baierbrunn entsprechend darf der Isar am Wehr Icking bis zu 80 m<sup>3</sup>/s Abfluß entzogen werden. Im Mutterbett bzw. der Ausleitungsstrecke der Isar verbleibt dabei nur ein Restabfluß aus seitlichen Zusickerungen und Durchlässigkeiten der Wehranlage. Ab der Kanaleinmündung bei Fkm 164,72 wird dem Isar-Mutterbett der Ableitungsabfluß von 80 m<sup>3</sup>/s wieder zugeführt. Bei Überschreitung des Zuflusses zur Wehranlage über 80 m<sup>3</sup>/s erhöht sich auch der Abfluß in der Ausleitungsstrecke infolge eines dementsprechenden Abflusses über die Wehranlage.

#### 4.2 Geschiebetechnische Erhebungen

Wie in Kap. 2.3 dargelegt, wurde der geologische Aufbau, sowie die Mächtigkeit der quartären Talfüllung im Flußbett der Ausleitungsstrecke und weiter flußabwärts durch Bohrungen erkundet. In Ergänzung zu diesen Untergundaufschlüssen wurde der Kornaufbau und die Beschaffenheit der Kies-

bänke im Flußbett untersucht. Zu diesem Zweck wurden 61 Geschiebeproben aus der Deck- und Innenschicht von Kiesbänken entnommen, im Labor gesiebt und ausgewertet.

Bei der Bewertung des Transportkörpermaterials in der Ausleitungsstrecke ist folgendes zu berücksichtigen:

- Der Geschiebezulauf zur Kraftwerksanlage beträgt nurmehr einen Bruchteil der früheren, natürlichen Geschiebefracht der Isar.
- Die Ausleitungsstrecke repräsentiert nicht mehr das ehemals verzweigte, von einer kräftigen Geschiebeumlagerung geprägte Flußbett der Isar. Es handelt sich vielmehr um ein gestrecktes bis schwach gekrümmtes schmal angelegtes Gerinne, in dem sich aufgrund des eingeschränkten Abflusses entsprechend sporadisch ein Restgeschiebetrieb entwickelt.

Die mehr oder weniger alternierend angelegten Kiesbänke machen überwiegend einen konsolidierten Eindruck. Am Aufbau der Kiesbänke sind wohl aufgrund des nachlassenden Geschiebezulaufes nur relativ dünne Schichten beteiligt. Allerdings ist im Vergleich zu den Kiesbänken der Ausleitungsstrecken an der mittleren Isar die Vegetationsbedeckung sehr gering und meist auf wenige uferrandliche Bereiche beschränkt. Fortgeschrittener ist dagegen der Bewuchs im Schwerpunkt der ehemaligen Umlagerungsstrecke vor der Engstelle am Georgenstein.

Der untersuchte mittlere Korndurchmesser  $d_m$  ist ein Berechnungsparameter für Geschiebetransportformeln, der aus der Kornverteilungskurve des Transportkörpermaterials berechnet wird. Erwartungsgemäß streuen die an den entnommenen Geschiebeproben gefundenen statistischen mittleren Korndurchmesser ( $d_m$ , J für Innenschicht, D für Deckschicht). Dies wird auch durch die streifenweise Ausseigerung der Kiesbankoberflächen optisch belegt. Von ausgeprägten Abpflasterungen der Deckschicht kann jedoch nicht gesprochen werden. An zahlreichen Entnahmestellen war der Kornaufbau der Innenschicht gröber als der der zugehörigen Deckschicht, was entweder durch eine stärkere Ausseigerung der Innenschicht als zuvor fungierende Deckschicht oder durch weniger grobkörnigen Nachschub des neuen Deckschichtmaterials verursacht worden sein könnte. Gegenüber dem in den

ersten 3 Kilometern im Anschluß an das Unterwasser des Ickinger Wehres gefundenen mittleren Korndurchmesser ist in der restlichen Ausleitungsstrecke eine merkliche Verkleinerung desselben festzustellen.

Es wurden folgende Richtwerte (Mittelwerte) erhalten:

Obere Ausleitungsstrecke:

$$d_{m3} = 30 \text{ mm} \quad d_{mD} = 41 \text{ mm}$$

Untere Ausleitungsstrecke:

$$d_{m3} = 25 \text{ mm} \quad d_{mD} = 29 \text{ mm}$$

für die gesamte Ausleitungsstrecke:

$$d_{900} = 62 \text{ mm} \quad (\text{max. } d_{900} = 108 \text{ mm})$$

#### 4.3 Ganglinie der Jahresmittelwasserstände

Sozusagen als Gradmesser aller auf das flußmorphologische Verhalten einwirkenden Kräfte kann die Ganglinie von Mittelwasserständen an Abflußpegeln dienen, wenn die Flußsohle im Pegelbereich weder künstlich noch natürlich fixiert wurde und sich somit frei eintiefen oder aufhöhen kann ("sogenannter morphologischer Pegel").

Der zuvor für die Abflußbestimmung verwendete Pegel München ist hierfür nicht geeignet. Geeignet ist dagegen der Pegel Puppling bei Fkm 178, der seit 1901 beobachtet wird (siehe Beilage 8). Die Betrachtung der Ganglinie zeigt folgendes:

Einen unmittelbaren Einfluß hatte zunächst die Isarregulierung bei Puppling selbst, die wie bekannt 1854 zum Schutz der Marienbrücke ins Werk gesetzt wurde. Mit der Übernahme der Unterhaltungslast durch den Staat 1911 wurde die Ausbaustrecke um 300 m verlängert. Sie erstreckt sich seither von Fkm 179,6 bis 177,3. Die steile Eintiefungsphase der Ganglinie nach 1911 hat hierin ihre Ursache.

Im Zusammenhang mit dem Betrieb des Walchenseekraftwerks werden der Isar am Krüner Wehr seit 1923 bis 25 m<sup>3</sup>/s Wasser entzogen. Die Entnahmemenge gelangt über den Loisach-Isar-Kanal bei Wolfratshausen am oberen Ende der

Pupplinger Regulierung (Fkm 179,0) wieder in die Isar zurück. Ab 1923 zeigt der Pegel eine deutlich verstärkte Eintiefungstendenz, weil der Kanal der Isar geschiebefreies Wasser zuführt, das zur Erhöhung des Sättigungsdefizits und damit zur Tiefenerosion beiträgt.

Nach einer Konsolidierungsphase von einigen Jahren machten sich zwischen 1937 und 1941 erneut Eintiefungen bemerkbar, deren Ursache nicht geklärt ist. Möglicherweise wurden bei Geretsried größere Kiesmengen für Bauzwecke aus dem Flußbett entnommen.

Der nächste, um 1950 einsetzende steile Abfall der Pegelganglinie ist durch mehrere Eingriffe in die Abflußverhältnisse der oberen Isar verursacht. Seit 1949 wird Ribbachwasser bis  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  der Isar entzogen und in den Walchensee übergeleitet. Die erodierende Wirkung des Abflußanteils, der geschiebefrei über den Loisach-Isar-Kanal zur Isar gelangt, wird dadurch erheblich verstärkt. Im Jahr 1951 folgte die Ableitung der Dürrach zum Achensee. Der Isar ging damit nicht nur der Abfluß dieses Seitenbaches, sondern auch seine Feststofffracht verloren.

Als letzte Eingriffe in das Flußregime fallen der Bau der Sylvensteinsperre von 1956 bis 1959 und die Anlage des Kraftwerkes Bad Tölz 1961 ins Gewicht. Beide Bauwerke unterbinden die Geschiebetrift vollständig, so daß die Isar gezwungen ist, sich mit Geschiebe ausschließlich aus der Strecke unterhalb der Staustufe Bad Tölz (ab Fkm 199,0) zu versorgen. Überraschenderweise hat die Eintiefungstendenz sich seit 1961 nicht mehr verstärkt, sondern gegenüber der Dekade 1950/60 sogar etwas abgenommen. Neben geologischen Gründen, die noch anzusprechen sein werden, wird die Ursache dafür in der simultanen Reduzierung der Hochwasserscheitel durch den Sylvensteinspeicher gesehen. Die Nachteile des Geschiebeentzuges werden also durch Dämpfung der Hochwasserwellen wenigstens teilweise wieder ausgeglichen.

Erstmals 1991 wurde eine gesteuerte Spülung des Stauraums der Kraftwerksanlage Bad Tölz vorgenommen. Welche Auswirkung künftig wiederkehrende Stauraumspülungen des Tölzer Stauraumes haben werden, bleibt abzuwarten.

Der Pegel Baierbrunn (siehe Beilage 8) errichtet 1934, von den Isar-Amperwerken beobachtet, liegt bereits im Staubereich der Baierbrunner Wehranlage. Demzufolge können die Gestaltungsvorgänge nicht in gleicher Weise wie am Pegel Puppling nachvollzogen werden. Die seit etwa 1973 anhaltende Tendenz einer leichten Hebung der Mittelwasserstände könnte allerdings, wenn man eine stetige Zunahme der jährlichen Abflußsummen ausschließt, durch steigende Feststoffablagerungen und dadurch wiederum angehobene Wasserstände im Pegelbereich beeinflußt sein. Da diese Beurteilung nicht zweifelsfrei ist, sollte stattdessen die Querschnittsverarbeitung herangezogen werden.

#### 4.4 Niedrigwasserspiegelfestlegungen

Ähnlich wie die Ganglinien der Mittelwasserstände den zeitlichen Verlauf der Gestaltungsvorgänge an der Flußsohle im Pegelbereich widerspiegeln, zeigen dies die im Flußlauf aufgenommenen Niedrigwasserspiegelkoten, indem man ihre zeitlichen Veränderungen miteinander vergleicht. Die Veränderungen des Sohlenreliefs sind umso deutlicher ablesbar, je mehr sich die Abflüsse zum Zeitpunkt der jeweiligen Aufnahme gleichen. Wie bei den Pegelwasserständen gilt auch hier die prinzipielle Einschränkung, daß der Sohlverlauf eingestauter Flußstrecken nicht interpretiert werden kann.

Leider sind bei den zahlreichen Wasserspiegelfestlegungen der vergangenen Jahre, die in der Ausleitungsstrecke zum Zeitpunkt der Aufnahme vorhandenen Abflüsse nicht mitgemessen worden. Insofern ist nicht exakt nachvollziehbar, inwieweit die Abflüsse zur Zeit der Niedrigwasserspiegelaufnahmen übereinstimmen. Wir dürfen aber annehmen, daß die in die Ausleitungsstrecke jeweils gelangten "Restabflüsse" sich nicht gravierend voneinander unterscheiden.

Von den vorliegenden Wasserspiegelfestlegungen wurden einige ausgewählt und in den Flußlängsschnitt (Beilage 9) eingezeichnet. Die rot eingezeichnete Wasserspiegellinie zeigt den aktuellen Zustand 1989 im Vergleich zu dem früherer Zeiten (1953, 1965, 1975).

Die Eintiefungstendenzen im Bereich der Pupplinger Regelung - die in der Vergangenheit durch zeitweise stürmischen Abtrag für Geschiebenach-

schub in Richtung Mühlthal sorgten - haben sich offenbar schon seit geraumer Zeit abgeschwächt. Die Flußstrecke vom Oberwasser des Ickinger Wehres ist bis zur Stauwurzel - das ist etwa bis zur Loisachmündung - eingestaut. Die Wasserspiegellinien im Unterwasser des Wehres lassen deutlich auf eine Tiefschaltung der knapp unter dem Aufnahmewasserspiegel liegenden Flußbettsohle in der Flußstrecke zwischen Wehr und Fkm 170 (oberhalb der Dürnsteiner Brücke) für die Zeit von 1953 und 1975 schließen. Die Veränderungen in den Jahren von 1975 bis 1989 sind geringfügig. Der Wechsel von Berg- und Talpunkten des Wasserspiegellinienverlaufes dürfte hauptsächlich auf die Verlagerung der Queranfänge zurückzuführen sein.

Für die anschließende Flußstrecke bis etwa 1 km flußaufwärts von der Kanaleinmündung ist für den gesamten Aufnahmezeitraum von 1953 bis 1989 eine größtenteils gleichbleibende Tendenz mit Hebungen von bis zu 0,5 m in der unteren Streckenhälfte zu verzeichnen.

Im Bereich der Flußaufweitung vor dem Georgenstein (u. Pegel Baierbrunn) fällt eine kontinuierliche Aufhöhung im Beobachtungszeitraum auf, die die zuvor bei der Mittelwasserstandsbeobachtung des Pegels Baierbrunn noch als nicht gesichert bezeichnete Vermutung von Feststoffablagerungen in der ehemaligen Umlagerungsstrecke stützt. In Richtung gegen das Baierbrunner Wehr zu fallen die Wasserspiegelkoten etwa auf die Höhe der Wehrkrone ab.

In der Ausleitungsstrecke zwischen den Wehren bei Baierbrunn und Großheselohe überwiegen leichte Ablagerungstendenzen.

#### 4.5 Querschnittsaufnahmen

Ein wesentliches Ergebnis von Flußquerschnittsaufnahmen ist die Ermittlung der mittleren Sohle (mS) und des Talweges. Anhand ausgewählter Querschnittsaufnahmen wird deren Verlauf im Längsschnitt des Flußlaufes in der Beilage 10 dargestellt.

Die zeitliche Veränderung der mittleren Sohle im jeweils betrachteten Flußquerschnitt stellt entweder das Hebungs- oder das Senkungsmaß der Flußsohle zwischen den vorgegebenen Begrenzungslotherechten dar. Der Ver-

gleich der Talwegsohlen gibt Aufschluß über die Mobilität der Bettfüllung und in Verbindung mit der Untergrunderkundung darüberhinaus Anhaltspunkte über die Lage der Flußsohle zu erosionsempfindlichen Schichten (siehe auch Kap. 2 und Beilage 12).

Die an die Auswertbarkeit und Vergleichbarkeit von Querschnittsaufnahmen geknüpften Anforderungen (Hinweis: Merkblatt "Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation, 1988, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft) sind bei den Aufnahmen in der zu untersuchenden Flußstrecke nicht erfüllt. Erst eine mühevoll "Aufarbeitung" der bis in die Betriebsanfänge der Wasserkraftanlage reichenden Aufzeichnungen ermöglichte den notwendigen und angestrebten Datenvergleich einschließlich der Massenbilanzierung von Sohlveränderungen im gesamten Zeitraum. Die Vergleichbarkeit der Daten steht aber ähnlich wie die von der Unternehmerin in der Vergangenheit gemeldeten Daten zur Feststoffentnahme unter dem Vorbehalt mehr oder weniger großer Unschärfen. Von diesen erfassungstechnisch bedingten Mängeln unterscheiden sich die durch Geschiebeentnahme und -wiedereinbringung entstehenden Interpretationsschwierigkeiten der Flußbettveränderungen, wenn diese die abflußbedingten Gestaltungsvorgänge allzu sehr überlagern.

#### 4.5.1 Mittlere Sohle

Die dargestellten Querschnittsaufnahmen erfassen den Zeitraum von 1927 bis 1990/91.

Im Oberwasser des Ickinger Wehres nimmt die bei der letzten Aufnahme 1990/91 festgestellte mittlere Sohle ihre bisher tiefste Lage ein.

Im Unterwasser des Wehres zeichnet sich bei Vergleich der ausgewählten Aufnahmen eine durchgehende Tendenz zur Tieferlegung der Sohle bezogen auf die Ausgangslage von 1927 ab. Hier beginnen sich die Konturen eines Erosionskeiles abzubilden. Dieser Vorgang dürfte wie in vielen derartigen Fällen wohl primär auf das Wirksamwerden eines zunehmenden Geschiebedefizites im Unterwasser des Wehres zurückzuführen sein. Die betrieblichen Eingriffe im Anlagenbereich insbesondere die Feststoffbaggerungen haben zweifellos eine maßgebliche Rolle bei den festgestellten Auf- und Abträ-

gen gespielt. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß die Tieferlegung der Sohle in der Strecke zwischen dem Wehr und etwa Fkm 172 hauptsächlich in die Zeit zwischen die Aufnahmen 1960/61 und 1973 fällt und in der anschließenden Flußstrecke bis etwa Fkm 164,5 (Pegel Baierbrunn) dagegen bereits in der Zeit zwischen den Aufnahmen 1927 und 1960/61 stattgefunden hat. Im letztgenannten Flußabschnitt etwa zwischen Fkm 168 und 164,5 - ist in der folgenden Zeit bis heute eine laufende Höhershaltung zu verzeichnen, die sich seit 1973, wenn auch in abgeschwächterer Form, ein Stück flußaufwärts noch fortgesetzt hat.

Die Erklärung für diese Vorgänge liegt, wie schon im Kapitel Flußgeschichte geschildert, darin, daß die Kraftwerksanlage Mühlthal in einer Zeit noch sozusagen ungezügelter Feststofftransportes der Isar in den Fluß gestellt wurde. Dieser Umstand sowie die durch Eingriffe in das Flußregime ausgelösten Vorgänge führten um 1950 herum zu besonders massiven Geschiebefrachten. Angesichts der ebenfalls erheblichen Kieseinträge in die Ausleitungsstrecke sah sich die Unternehmerin im Hinblick auf die ihr wasserrechtlich auferlegten Pflichten "zur Sicherung eines geordneten Flußzustandes, zur Regulierung und Instandhaltung des Flusses sowie zur Gewährleistung der Schutzfunktionen der Hochwasserdämme" genötigt, Gegenmaßnahmen, hauptsächlich in Form massiver Baggerungen (siehe Kap. 4.8 Feststoffhaushalt), zu ergreifen. Mit der Errichtung des Sylvenstein-speichers 1956-1959 und der des Kraftwerkes Bad Tölz 1961 ebnten die Geschiebefrachten der Isar zwangsläufig wieder und auf Dauer ab. Dies führte zu der in den Querschnittsaufnahmen je nach Aufnahmezeit dokumentierten mittleren Sohlage.

Als wesentlich für den betrachteten Flußabschnitt ist festzuhalten, daß eine weitere Entwicklung des im Unterwasser des Ickinger Wehres sich abzeichnenden Erosionskeiles vor allem wegen der bekannten geologischen Verhältnisse (siehe Kap. 2.4. und Beilagen 3 u. 5) bedenklich wäre. Eine solche Entwicklung ist aber den Umständen nach wahrscheinlich, da eine Wiederkehr früherer hoher Geschiebefrachtaufkommen sich nicht mehr wiederholen wird.

In der Flußstrecke unterhalb der Kanaleinmündung (Fkm 164,7) wirkt trotz des hier größeren gewässerbettbildenden Abflusses der temporäre Fixpunkt

- einerseits durch Flußbettaufweitung und andererseits durch das Geor-  
gensteinriff - offenbar dominierender auf die Lage der Gewässersohle als  
das erst weiter flußabwärts wirksam werdende Baierbrunner Wehr.

Für die Flußstrecke zwischen dem Baierbrunner Wehr und dem Wehr bei Groß-  
hesselohe ist erwähnenswert, daß die aktuelle Gewässersohle in der oberen  
Hälfte der Strecke eine etwa mittlere Lage im betrachteten Zeitraum 1927-  
1991 einnimmt und in der unteren Hälfte der Strecke sich auf die seit  
1960 tiefergelegte Sohle eingependelt hat.

#### 4.5.2 Massenbilanzierung

In einem weiteren Auswertungsschritt kann aus den zeitlichen Veränderun-  
gen der aufgenommenen Flußquerschnitte eine Massenbilanzierung der un-  
tersuchten Flußstrecke dokumentiert werden. Allerdings schließen die  
Querschnittsveränderungen sowohl die Auswirkungen von künstlichen Fest-  
stoffentnahmen als auch die abflußbedingter Auf- und Abträge ein.

Eine auf kürzere Flußabschnitte zwischen dem Ickinger Wehr und dem Baier-  
brunner Wehr bezogene Massenbilanzierung wird in der Abb. 3 in tabella-  
rischer Form dargestellt. Allgemein erkennbar ist das Bestreben der Isar,  
das in das Unterwasser des Ickinger Wehres gelangte Geschiebe aus der  
Flußstrecke bis etwa zur Dürnsteiner Brücke wieder abzutransportieren  
(negative oder geringe positive Werte) und Material im Bestreben, einen  
Gefällsausgleich herzustellen, weiter unterhalb wieder abzulagern (große  
positive Werte). Das nach Einmündung des Kanals in die Ausleitungsstrek-  
ke bei Fkm 164,72 wieder vergrößerte Transportvermögen wirkt dagegen  
bis zur Stauwurzel des Baierbrunner Wehres diesem Bestreben entgegen.  
Außerdem überlagern, wie schon angedeutet, betrieblicherseits vorgenom-  
mene Feststoffentnahmen die abflußbedingten Vorgänge. Nach den von den  
Betreibern der Kraftwerksanlage Mühlthal vorgelegten Meldungen wurden die  
auch in der Ausleitungsstrecke zeitweise recht massiven Feststoffbagge-  
rungen etwa ab Mitte der sechziger Jahre dort eingestellt. Von da ab  
dürften sich die in Beilage 15 in Form einer Massensummenlinie darge-  
stellten Feststoffentnahmen nurmehr auf die speziellen Entnahmeorte im  
Bereich der beiden Wehre und den dazugehörigen Kanalstrecken beschränkt  
haben. Dieser Sachverhalt ist bei der weiteren Betrachtung der Tabellen-  
werte zu berücksichtigen.

Es ist angebracht, der an das Ickinger Wehr anschließenden Flußstrecke, also von Fkm 173,95 abwärts, erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Dies ist nämlich der Bereich, der erfahrungsgemäß bei allen den Geschiebetrieb unterbrechenden Querbauten hydraulisch besonders beansprucht ist. In dieser Flußstrecke liegt der erste Aufnahmequerschnitt bei Fkm 173,8. In der demzufolge ausgewerteten Strecke von Fkm 173,8 bis 170,4 sind sowohl im Zeitraum 1927/60 als auch im Zeitraum 1960/73 Abträge zu registrieren.

Die nachfolgende Zeitspanne von 1973/88 weist eine positive Bilanz mit Ablagerungen aus, wohingegen für den aktuellen Aufnahmezeitraum 1988/91 bereits wieder Abträge verzeichnet werden. Insgesamt schließt die Bilanz des vorgenannten Flußabschnittes für den gesamten Beobachtungszeitraum 1927/91 mit einem Abtrag im Mittel der Jahre von  $2\,500\text{ m}^3/\text{a}$  bzw. einem absoluten Abtrag von rd.  $158\,000\text{ m}^3$  ab. Bestenfalls ist der Zustand der Unterwasserstrecke als äußerst labil mit zuletzt festgestellter Tendenz zur Eintiefung zu bezeichnen. Nach unserer Einschätzung stellt die noch vorhandene Möglichkeit der Ausuferung großer Hochwasserabflüsse hauptsächlich in die linksufrig gelegenen Restflächen der Talaue eine Entlastung des ohnehin stark beanspruchten Flußbettes dar (siehe u.a. Kap.4.6 - Grenzwerte). Mit fortschreitender Eintiefung des Flußbettes würde diese Ausuferungsmöglichkeit ebenfalls schwinden. Dem Flußbett würde dann auch bei außergewöhnlichen Hochwasserereignissen der volle Abfluß zugewiesen werden. Damit würden sich auch die für den gegenwärtigen Zustand ermittelten Grenzwerte entsprechend ungünstiger entwickeln.

Bilanziert man (nach Beilage 16) über die gesamte Flußstrecke zwischen dem Ickinger und dem Baierbrunner Wehr, also von Fkm 173,8 bis 162,6, dann findet sich nur in der Zeitspanne 1927/60 ein negativer Summenwert. Allerdings ist für 1988/91 ein merklicher Rückgang in der Ablagerungstendenz im Vergleich zum Zeitraum 1960/73 und 1973/88 festzustellen.

Im übrigen sind anhand der Summenwerte (siehe Tabelle: Feststoffbilanzierung) und der in Beilage 16 dargestellten Massensummenlinie weitere vertiefte Betrachtungen im Bedarfsfalle möglich und angezeigt. Hierzu ist zu bemerken, daß bei der Darstellung der Massensummenlinie jeder Anstieg (+) des Linienzuges Auftrag und jeder Abfall (-) des Linienzuges Abtrag in der jeweils betrachteten Flußstrecke bedeutet.

Tabelle - Feststoffbilanzierung

Aufnahme- Jahre Zeitraum (a)	Jahresmittel (m <sup>3</sup> /a)										Gesamtmenge (m <sup>3</sup> )
	Fkm 175,2- Fkm 174,2	Fkm 173,8- Fkm 170,4	Fkm 173,8- Fkm 169,6	Fkm 169,6- Fkm 162,6	Dürnst.Br. Fkm 169,6- Fkm 162,6	Baierbr.W. Fkm 173,8- Fkm 162,6	Bayerbr. W. Fkm 173,8- Fkm 162,4-	Ickinger W.- Fkm 173,8- Fkm 156,6	Ickinger W.- Fkm 162,4- Fkm 156,6	Baierbr.W.- Fkm 162,4- Fkm 156,6	
1927/34 ( 7 )	- 1 840	- 1 540	- 2 230	- 4 650	- 4 650	- 6 880	- 5 540	- 11 420	- 5 540	- 11 420	- 79 940
1934/48 (14)	- 840	+ 460	+ 540	+ 6 780	+ 6 780	+ 7 310	- 10 200	- 2 890	- 10 200	- 2 890	- 40 460
1948/60 (12)	- 1 690	- 7 790	- 10 730	- 16 950	- 16 950	- 27 680	- 1 770	- 29 450	- 1 770	- 29 450	- 353 400
1927/60 (33)	- 1 260	- 2 960	- 4 140	- 3 780	- 3 780	- 7 920	- 6 770	- 14 690	- 6 770	- 14 690	- 484 770
1960/73 (13)	+ 30	- 6 130	- 6 300	+ 9 680	+ 9 680	+ 3 380	- 1 720	+ 1 660	- 1 720	+ 1 660	+ 21 580
1973/88 (15)	- 1 200	+ 1 450	+ 2 350	+ 8 690	+ 8 690	+ 11 040	+ 7 190	+ 18 230	+ 7 190	+ 18 230	+ 273 450
1988/91 ( 3 )	- 320	- 1 580	- 1 000	+ 5 060	+ 5 060	+ 4 060	- 520	+ 3 540	- 520	+ 3 540	+ 10 620
1927/91 (64)	- 950	- 2 500	- 2 900	+ 2 680	+ 2 680	- 230	- 2 070	- 2 300	- 2 070	- 2 300	- 147 200
1960/91 (31)	- 620	- 2 020	- 1 600	+ 8 750	+ 8 750	+ 7 150	+ 2 870	+ 10 020	+ 2 870	+ 10 020	+ 310 620

Anmerkung: + Werte = Auftrag / - Werte = Abtrag

Die Flussstrecken zwischen Fkm 174,2 und 173,8 (= 400 m) sowie zwischen Fkm 162,6 und 162,4 (= 200 m) sind nicht erfasst, da eine Querschnittsverarbeitung dort technisch nicht möglich ist.

### 4.5.3 Talweg

Der im Flußlängsschnitt (Beilagen 11 und 12) dargestellte Talweg charakterisiert den tiefsten Sohlpunkt im jeweiligen Flußquerschnitt. In Krümmungen liegen im allgemeinen die Tiefpunkte der Sohle näher zur Pralluferseite. Die Hochpunkte des Talwegverlaufes beschreiben im allgemeinen die Furten d.h. die Queranfalle beim Überwechseln des Talweges vom endenden Prallufer auf das gegenüberliegende beginnende Prallufer. In gestreckten Gerinnen handelt es sich um ein Pendeln von einer Flußseite auf die andere, wie es durch die alternierenden Transportkörper vorgegeben wird.

Die Anordnung und Ausformung des Talweges im Unterwasser des Ickinger Wehres bis etwa hin zur Dürnsteiner Brücke, betrachtet an den Aufnahmen 1973 und 1988/89, läßt auf eine eher ortsfeste Talwegrinne schließen. Dem Abfluß gelingt offenbar keine regelmäßige Umlagerung der dort vorhandenen Kiesbänke bzw. Transportkörper mehr.

Ansonsten korrelierte der Talwegverlauf in den Aufnahmestrecken weitgehend mit dem zeitlich entsprechenden Verlauf der mittleren Sohle.

### 4.6 Grenzwertbetrachtungen

Zunächst ist der für die nachfolgenden Betrachtungen notwendige Rauheitsbeiwert abzuschätzen. Das Flußbett der Isar in der Ausleitungsstrecke weist mit Ausnahme der Tiefenrinnenbildung und der dem regelmäßigen Trapezprofil aufgesetzten Kiesbänke keinen besonders gegliederten Abflußquerschnitt auf. Bei Hochwasserabfluß besteht noch die Möglichkeit der Ausuferung in die ehemalige Flußbaue, soweit dies die angelegten Hochwasserschutzanlagen (Deiche) nicht verhindern.

Der Rauheitskoeffizient (reine Kornrauheit der ebenen Sohle mit fester Wandung bei voll ausgebildeter Turbulenz) im Sinne des Fließgesetzes von Strickler ist:

$$k_r = \frac{26}{d_r^{1/6}}$$

Der maßgebende Korndurchmesser  $d_r$  entspricht ungefähr dem  $d_{90\%}$  (der Sohlendeckschicht). Zur Berechnung des aus der Formrauheit resultierenden Rauheitsbeiwertes der Sohle  $k_s$  wird durch Umwandlung

$$k_s = \frac{c}{d_r^{1/6}}$$

$c$  ist wegen der Unregelmäßigkeit natürlicher Flüsse stets kleiner 26.

Nach Garbrecht ist  $c = 16 \dots\dots 26$ .

Nach Strickler ist im Mittel  $c = 21$ .

In der Literatur finden sich für  $k_s$  Erfahrungswerte:

z. B. Flüsse mit mäßigem Geschiebe und grobem Kies  $k_s = 33 \dots 35$   
regelmäßige Kiesbetten aus größerem Material  $k_s = 37$

Der maßgebende Korndurchmesser wurde aus der Sohlendeckschicht zu  $d_{90\%} = 62 \text{ mm}$  ermittelt.

Damit werden

$$k_r = 41,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$k_s = 33,3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

und

$$k_s/k_r \approx 0,81$$

Dieser Wert entspricht den in der Literatur genannten mittleren Werten (von 1,0 bei ebener Sohle bis 0,5 bei hohen Riffeln) dieses Quotienten.

Die folgenden Überlegungen stützen sich auf die zur Ermittlung eines Geschiebetriebs von Meyer-Peter & Müller (1948) entwickelte Geschiebetriebformel und das von Meyer-Peter & Lichtenhahn (1963) weiterentwickelte Rechenverfahren. Die Geschiebetriebformel lautet in neuerer Schreibweise:

$$\rho_w g \frac{Q_s}{Q} \left( \frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} h J = A (\rho_s - \rho_w) g d_m + 0,25 \rho_w^{1/3} m_G^{2/3}$$

Darin bedeuten:

$\rho_w, \rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	= Dichte des Wassers bzw. des Geschiebes
$Q, Q_s$ [m <sup>3</sup> /s]	= Gesamt abfluß bzw. Abfluß auf der Sohle
$k_s, k_r$ [m <sup>1/3</sup> /s]	= Rauheitsbeiwert (nach Strickler) der Sohle nach Form und Korn
$h$ [m]	= Wassertiefe
$J$	= Energieliniengefälle
$m_G$ [kg/ms]	= Geschiebetrieb pro Meter Profilbreite und Sekunde, unter Wasser gewogen
$d_m$ [m]	= maßgebender mittlerer Korndurchmesser
$A$	= dimensionslose Konstante

Diese Formel läßt sich auch in Form der maßgebenden Schubspannungen ausdrücken

$$\tau_w = \tau_c + \tau_G$$

Dabei ist  $\tau_w$  = wirksame Schubspannung

$\tau_c$  = Grenz- oder kritische Schubspannung

$\tau_G$  = Schubspannung für den Geschiebetrieb zur Verfügung stehend.

Mit den Schubspannungen  $\tau_w$  und  $\tau_c$  ausgedrückt, ergibt sich der Geschiebetrieb zu

$$m_G = 0,025 (\tau_w - \tau_c)^{3/2}$$

Für die Berechnung ist die richtige Abschätzung des maßgebenden Korndurchmessers  $d_m$  und die der Konstanten  $A$  ausschlaggebend. Im Sinne der Mitteilungen zur Anwendung der Meyer-Peter Formel wird von folgender

Sachlage ausgegangen:

- In der Flußstrecke findet nur mehr ein sehr eingeschränkter Geschiebetrieb (Restgeschiebetrieb) statt
- Eintiefungstendenz wird angenommen
- Eine durchgehend wirksame Sohlenpflasterung ist nicht vorhanden.
- Es wird mit  $A = 0,047$  und  $d_m = d_{m,3}$  gerechnet.

Die Grenzschubspannung wird somit

$$\begin{aligned}\tau_c &= 0,047 (\rho_s - \rho_w) g d_m \text{ [N/m}^2\text{]} \\ &= 760,8 \cdot d_m \\ &= \beta \cdot d_m\end{aligned}$$

Für die Berechnung wird der in der geschiebetechnischen Erhebung (Kap. 4.2) für den maßgebenden Korndurchmesser in der oberen bzw. unteren Ausleitungsstrecke erhaltene Richtwert verwendet:

$$d_m = 0,03 / 0,025 \text{ m}$$

Daraus folgt

$$\tau_c = 22,8 / 19 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Die wirksame Schubspannung ist

$$\tau_w = \rho_w g \frac{Q_a}{Q} \left( \frac{k_a}{k_r} \right)^{3/2} h J$$

Nach der Näherungsmethode von EINSTEIN ist in Querschnitten mit gleichmäßiger Geschwindigkeitsverteilung

$$R_s = \frac{Q_s}{U} \cdot h$$

folglich

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{R_s}{h}$$

Näherungsweise kann bei trapezförmigen Querprofilen

$$\frac{R_s}{h} = \frac{B_s}{U} \text{ gesetzt werden (s. MEYER-PETER \& LICHTENHAHN, 1963)}$$

Der Ausdruck

$$\frac{Q_s}{Q} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \text{ wird dann}$$

$$\alpha = \left(\frac{B_s}{U}\right) \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}$$

Der  $\alpha$ -Wert wird mit 0,72 in Ansatz gebracht.

Die für die weitere Berechnung wichtige Bedingung  $J_e = J_w = J_s$  (Gleichförmigkeit der Fließbewegung) ist nur in der nicht durch Querbauwerke beeinflussten Fließstrecke erfüllt. Unmittelbar unterhalb des Ickinger Wehres ist mit beschleunigter Fließbewegung zu rechnen. Hier könnte die Flußsohle im Extremfall, bei voll ausgebildetem Erosionskeil, sogar ein gegenläufiges Gefälle annehmen.

Aufgrund aufgenommener Wasserspiegel und Flußbettsohlen ergibt sich für annähernd gleichförmige Strömung und das zugehörige  $d_m$  ein Gefälle von:

$$d_m = 0,030 \text{ m} \rightarrow J = 0,0023$$

$$d_m = 0,025 \text{ m} \rightarrow J = 0,0019$$

Die empirisch gefundenen Werte bestätigen offenbar den theoretischen Ansatz, daß in Flußstrecken mit größeren Sohlschubspannungen (aufgrund des größeren Energiegefälles) eine Ausseigerung und damit eine Vergrößerung des Kornaufbaues, wie sie tatsächlich gefunden wurde, einhergeht.

Anknüpfend an die wirksame Schubspannung wird

$$\begin{aligned}\tau_w &= 1000 \cdot 9,81 \cdot \alpha \cdot J \cdot h \\ &= \alpha' \cdot J \cdot h\end{aligned}$$

Im Grenzfall, wenn der Geschiebetrieb  $m_G$  gegen Null geht, folgt aus dem Ansatz

$$\begin{aligned}m_G &= 0,025 (\tau_w - \tau_c)^{3/2} \\ \tau_w &= \tau_c\end{aligned}$$

und mit der Grenztiefe  $h_{Gr}$

$$\alpha' \cdot J \cdot h_{Gr} = \beta \cdot d_m$$

$$\begin{aligned}h_{Gr} &= \frac{\beta \cdot d_m}{\alpha' \cdot J} \\ &= 0,108 \cdot \frac{d_m}{J}\end{aligned}$$

Für  $J = 0,0019$  wird

mit  $d_m = 0,030$   $h_{Gr} = 1,71$  m

mit  $d_m = 0,025$   $h_{Gr} = 1,42$  m

Für  $J = 0,0023$  wird

mit  $d_m = 0,030$   $h_{Gr} = 1,41$  m

Mit dem Ansatz

$$v = \frac{Q}{F} = k_s \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

und einer mittleren hydraulischen Profilbreite  $B_{am} = 55$  m wird mit  $Q = f(h)$

$$Q = B_{\text{sm}} \cdot h \cdot k_{\text{a}} \left( \frac{B_{\text{sm}} \cdot h}{B_{\text{sm}} + 2 \cdot h} \right)^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Mit  $k_{\text{a}} = 34$  ergibt sich folgendes Grenzwertespektrum

für  $J = 0,0019$  ist

$$h_{\text{gr}} = 1,42 \text{ m und } Q_{\text{gr}} = 141 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{\text{gr}} = 1,71 \text{ m und } Q_{\text{gr}} = 193 \text{ m}^3/\text{s}$$

für  $J = 0,0023$  ist

$$h_{\text{gr}} = 1,41 \text{ m und } Q_{\text{gr}} = 154 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Grenzabfluß liegt somit in der Größenordnung des 1 1/2-fachen MQ.

Ab einer Wassertiefe  $h$  von ungefähr 3 m - gerechnet von der gemittelten Sohle - ist mit Ausuferungen in die ehemalige Talaue zu rechnen. Alle in der Funktion  $Q = f(h)$  mit  $H > 3$  m gerechneten Größen sind dementsprechend unsicher bzw. unzutreffend. Zu Kontrollzwecken kann das Abweichungsmaß von  $h$  und  $Q$  jedoch über die in den Flußlängsschnitt eingetragenen Hochwasserspiegelfixierungen nachgeprüft werden.

Das zur Grenzschubspannung  $\tau_c$  gehörige Grenzgefälle  $J_{\text{gr}}$  ermittelt sich über den Ansatz

$$J_{\text{gr}} \leq \frac{\tau_c}{\rho_w g h \alpha}$$

mit  $d_m = 30 \text{ mm}$  wird  $J_{\text{gr}} \leq 0,0027 \cdot h^{-1}$

mit  $d_m = 25 \text{ mm}$  wird  $J_{\text{gr}} \leq 0,0032 \cdot h^{-1}$

Das Grenzgefälle  $J_{\text{gr}}$  ist neben der Funktion

$J_{\text{gr}} = f(h)$  ebenso auch als Funktion

$J_{\text{gr}} = f(Q)$  darstellbar.

Wirken Abflüsse, die den Grenzabfluß  $Q_{gr}$  überschreiten, auf eine durch reduzierten Geschiebetrieb gekennzeichnete Flußstrecke ein, entwickelt sich schließlich das Grenzgefälle  $J_{gr}$ . Dieses kann stellvertretend für die Abflüsse der jeweils gültigen Abflußdauerlinie durch einen integralen Abfluß  $Q_n > Q_{gr}$  beschrieben werden. Sollte sich durch vorübergehende Abpflasterungseffekte die berechnete Sohlenkonfiguration ändern, würde aber auch der Abfluß  $Q_n$  zeitweise einen anderen Wert  $> Q_n$  annehmen. Das daraus resultierende Problem, einen für die Ausbildung des Grenzgefälles verbindlichen Abfluß festzulegen, ist nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Es genügt der Nachweis, ob bei einem  $Q_n \ll HQ$  letztlich die Bereitschaft der zu untersuchenden Flußstrecke zur Eintiefung gegeben ist. Setzen wir realistischere Weise den aus der Abflußstatistik gewonnenen Wert für  $HQ_1 = 363 \text{ m}^3/\text{s}$  (Abfluß, der statistisch im langjährigen Mittel einmal pro Jahr erreicht bzw. überschritten wird) in die Grenzwertformel ein, so erhalten wir:

für  $d_m = 25 \text{ mm}$

$$J_{gr} \leq 0,0011 < J_{vorh} = 0,0019$$

für  $d_m = 30 \text{ mm}$

$$J_{gr} \leq 0,0013 < J_{vorh} = 0,0023$$

In beiden Flußabschnitten ist somit unter den angenommenen Bedingungen rechnerisch eine Eintiefungsbereitschaft nachzuweisen. Sofern keine technischen Gegenmaßnahmen Platz greifen, würde im Zuge vorgeschrittener Flußbetteintiefung noch ein weiterer morphologischen Entwicklungsschritt eintreten, der über das eines Tages erreichte Grenzgefälle  $J_{gr}$  hinausgeht. Für den Fall, daß die für die Grenzverhältnisse angenommene Sohlenkonfiguration nämlich nicht stabil bleibt, würde sich im Zuge weiterer Eintiefung ein Ausgleichs- oder besser Endgefälle  $I_{end} < I_{gr}$  herausbilden. Ursachen für eine solche Entwicklung können hauptsächlich das Freilegen

(Sohlendurchschlag) und das Wirksamwerden erosionsempfindlicher Schichten an der Flußsohle, sowie die stärkere Beanspruchung der Sohle infolge des dem Flußbett durch fortschreitende Eintiefung vermehrt zugewiesenen Abflusses durch Wegfall der Ausuferungsmöglichkeit sein.

#### 4.7 Geschiebetransportvermögen

Nach der Festlegung eines maßgebenden Korndurchmessers  $d_m$  und eines Abflusses  $Q_n$  für das Grenzgefälle  $J_{gr}$  ist der in die Geschiebeformel von MEYER-PETER einzusetzende bewegliche Sohlenanteil  $B_w$  zu schätzen. Im Hinblick auf den Verfestigungsgrad der Kiesbänke bzw. der Transportkörper, die Ausbildung rinnenhafter Sektionen im Querschnitt sowie die vorhandenen Uferbefestigungen ist der bewegliche Sohlenanteil sicher niedriger anzusetzen als die zur Berechnung der gerinnespezifischen Abflußleistung angenommene Profilbreite im Sohlbereich. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß der Feststofftransport anfänglich nur partiell beginnt und erst mit steigendem Abfluß über die volle Sohlbreite  $B_w$  stattfindet. Dieser Vorgang wurde in grober Näherung durch eine gestaffelte Sohlbreite berücksichtigt.

Aus der Geschiebefunktion  $m_{Gt}$  und der Wasserstandsdauerlinie (bzw. der Abflußdauerlinie) läßt sich das zeitbezogene Geschiebetransportvermögen  $V_{Gt} = f(t)$  des bettbildenden Abflußbereiches bestimmen:

$$M_{Gt} = \int_0^b \int_0^t m_{Gt} \cdot db \cdot dt$$

Wie zuvor abgeleitet (siehe Grenzwerte), ist

$$m_G = 25 (\alpha \cdot h \cdot J - \beta \cdot d_m)^{3/2}$$

$$m_G = 0,025 (\tau_w - \tau_c)^{3/2} \text{ [kg/m} \cdot \text{s]}$$

Geschiebetrieb kann nur auftreten, wenn

$$\tau_w - \tau_c \text{ positiv (>0) ist.}$$

Gesetzt wird

$$\alpha = \frac{R_s}{h} \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} = \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}$$

$$\beta = 0,047 d_m$$

$$M_G = m_G \cdot B_s \text{ [kg/s]}$$

Das Gewicht der Geschiebefracht über Wasser ist

$$\dot{m}_G = m_G \cdot \frac{2650}{1650} \text{ [kg/s]}$$

Das Volumen der Geschiebefracht ist dann

$$V_G = \frac{\dot{m}_G}{1800} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Das tägliche Geschiebefrachtvolumen ist

$$V_{Gd} = V_G \cdot 86400 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$$V_{Gd} = \frac{86400 \cdot 2650}{1800 \cdot 1650} \cdot B_s \cdot 0,025 (\tau_w - \tau_c)^{3/2}$$

$$V_{Gd} = 1,9273 \cdot B_s (\tau_w - \tau_c)^{3/2} \text{ [m}^3\text{/d]}$$

Mit  $v = k_s \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$  und  $Q = f(h)$

ergibt sich zunächst das tägliche Transportvermögen  $V_{Gd}$  als  $f(h)$  bzw.  $f(Q)$  - siehe nachstehende Tabelle und Beilage 13.

Tabelle - Tägliches Transportvermögen  $V_{gd}$

$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$h$ [m]	$\tau_w$ [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_w - \tau_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$(\tau_w - \tau_c)^{3/2}$	$B_s$ [m]	$V_{gd}$ [m <sup>3</sup> /d]
80	1,0	13,42	19,0	-	-	45	-
140	1,4	18,79	19,0	-	-	45	-
155	1,5	20,13	19,0	1,13	1,20	45	104
247	2,0	26,84	19,0	7,84	21,95	45	1904
354	2,5	33,55	19,0	14,55	55,50	45(50)	4813
475	3,0	40,26	19,0	21,26	98,03	45(50)	8502
607	3,5	46,97	19,0	27,97	147,92	45(50)	12829
750	4,0	53,68	19,0	34,68	204,22	45(50)	17712

\* für  $J = 0,0019$  bzw.  $0,0023$

\*\* für  $d = 25$  mm bzw.  $30$  mm

Bezogen auf den am Pegel München erfaßten Gesamtabfluß der Isar und die daraus abgeleiteten Abflußdauerzahlen würde der Grenzabfluß im langjährigen Mittel wie folgt auftreten bzw. überschritten werden:

$Q_{gr} = 140 \text{ m}^3/\text{s}$	
im Mittel	ca. 41 Tage
im Trockenjahr	ca. 7 Tage
im Naßjahr	ca. 130 Tage

$Q_{gr} = 154 \text{ m}^3/\text{s}$	
im Mittel	ca. 31 Tage
im Trockenjahr	ca. 2 Tage
im Naßjahr	ca. 109 Tage

Wenn der Ausleitungsabfluß für das Seitenkanalkraftwerk (Nutzwasserabfluß = Ausbauabfluß) von  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  vollständig in Abzug gebracht wird, ergibt sich analog:

$Q_{gr} = 140 \text{ m}^3/\text{s}$	
im Mittel	ca. 8 Tage
im Trockenjahr	ca. 0 Tage
im Naßjahr	ca. 38 Tage

$Q_{gr} = 154 \text{ m}^3/\text{s}$	
im Mittel	ca. 7 Tage
im Trockenjahr	ca. 0 Tage
im Naßjahr	ca. 34 Tage

Der Vergleich zeigt deutlich, daß der Entzug des Ableitungsabflusses die Wirkungsdauer der gewässerbettbildenden Abflüsse in der Ausleitungsstrecke stark herabsetzt. Ab der Wiedereinleitungsstelle des Kanalabflusses in das Isar-Mutterbett kommt die Wirkung des Gesamtabflusses jedoch nur noch auf einer relativ kurzen Flußstrecke zur Wirkung, weil sich schon bald der vom Baierbrunner Wehr und der Umlagerungsstrecke ausgehende Stau bemerkbar macht. In der vom Baierbrunner Wehr nur bedingt eingestauten ehemaligen Umlagerungsstrecke gelangt ein Großteil des an-

transportierten Geschiebes zur Ablagerung, soweit es nicht entnommen wird oder teilweise über die Kraftwerksanlagen abdriftet (siehe auch Kap. 4.8 Feststoffhaushalt).

Das jährliche Transportvermögen  $V_{a,j}$  wird über die Funktionen  $h = f(Q)$  und  $V_{a,d} = f(h)$ , bzw.  $V_{a,d} = f(Q)$  abgeschätzt. Die Integration von

$$V_{a,j} = \int_0^d V_{a,d} \cdot dt$$

mit Hilfe der Abflußdauerzahlen liefert das jährliche Transportvermögen.

Das Transportvermögen ist die Geschiebefracht, die im Extremfall bei entsprechend hohem Geschiebezulauf vom jeweiligen Abfluß transportiert werden kann. Der tatsächlich der fließenden Welle aber fehlende Geschiebefrachtanteil wird, bezogen auf das gesamte Geschiebetransportvermögen, dann als sogenanntes Geschiebedefizit bezeichnet. Je höher der fehlende Geschiebefrachtanteil, desto höher ist das Geschiebedefizit und desto größer wäre das der fließenden Welle zur Verfügung stehende Erosionspotential.

Mit den Hüllwerten der Abflußdauerlinie lassen sich die Extremwerte der Geschiebetransportdauerlinie - im vorliegenden Fall für Trocken- und Naßjahre - darstellen (siehe Beilage 14). Für die zu ermittelnde Geschiebetransportdauerlinie in der Ausleitungsstrecke ist aber vorher der Ausleitungsabfluß in Abzug zu bringen.

Für die Ausleitungsstrecke vom Unterwasser des Ickinger Wehres bis zur Wiedereinleitungsstelle des Seitenkanals ergibt sich das jährliche Transportvermögen [ $m^3/a$ ] wie folgt:

	langj. Mittel	Trockenjahr	Naßjahr
$J = 0,0019$	20 000	-	96 000
$J = 0,0023$	22 000	-	103 000

Der stellvertretend für die Summenwirkung aller bettbildenden Abflüsse stehende sogenannte "bettbildende Abfluß"  $Q_{bA}$ , der rechnerisch die dem Transportvermögen entsprechende Geschiebemenge transportieren könnte, wird auf rd. 300 m<sup>3</sup>/s geschätzt.

Für eine mit dem Gesamtabfluß der Isar beaufschlagte Ausleitungsstrecke - also ohne Abzug von 80 m<sup>3</sup>/s - ergäbe sich sinngemäß ein jährliches Transportvermögen (m<sup>3</sup>/a) von

	langj. Mittel	Trockenjahr	Naßjahr
J = 0,0023	58 000	wenig	232 000

Der Vergleich - mit und ohne Abzug des Ausleitungsabflusses - zeigt deutlich, welche enorme Steigerung das Transportvermögen erfahren würde, wenn der ungeschmälerete Abfluß das Jahr über wirken könnte, bzw. umgekehrt, welche enorme Abschwächung das Geschiebetransportvermögen im Flußbett unterhalb des Ickinger Wehres erfährt. Diese Betrachtung macht auch verständlich, warum die in früherer Zeit - genauer gesagt, vor Errichtung des Sylvensteinspeichers und des Tölzer Kraftwerkes - von der Isar herant transportierten Geschiebefrachten an der Anlage Mühlthal große Probleme mit der Feststoffbewirtschaftung bereiteten, Vorgänge, die auch in Kap. 4.5 - Querschnittsaufnahmen und Kap. 4.8 - Feststoffhaushalt angesprochen wurden.

Das Geschiebedefizit war seinerzeit gering, d. h. wir können die Geschiebefrachten durchaus in der Größenordnung des ermittelten Transportvermögens ansiedeln. Diese Feststoffmassen trafen auf ihrem Transportweg dann auf die quer in den Fluß gestellte Ickinger Wehranlage, mit einer für den Weitertransport der Geschiebemassen nur zu etwa ein Drittel transportfähigen Ausleitungsstrecke. Sowohl oberhalb als auch unterhalb der Wehranlage wie auch im Kanal kam es zu gewaltigen Feststoffanhäufungen, denen die Betreiberin der Anlage jahrzehntelang mit intensiven Baggerungen entgegentreten mußte.

Heute hat sich diese Situation dagegen grundlegend gewandelt. Durch das bereits in der Gesamtisar bestehende erhebliche Geschiebedefizit und infolge gewisser betrieblicher Umstände gelangt nunmehr relativ wenig Geschiebe in die Ausleitungsstrecke. Dadurch entsteht nunmehr auch in der Ausleitungsstrecke ein vergrößertes Geschiebedefizit. Weil die Flußsohle nicht abgeplastert ist, ist die Restisar bestrebt, aus dem Flußbett Geschiebe zur Sättigung des Geschiebedefizits aufzunehmen. Einerseits liegen Anzeichen für eine weitere Abnahme des Restgeschiebetriebes in der Isar vor. Eine wesentliche Ursache dafür liegt im Verlust an vorhandenen "Nährstrecken" und deren langfristiger Aufbrauch an Geschiebepotential. Kennzeichnend für die Situation ist die Isar in der benachbarten Ascholdinger- und Pupplinger Au. Andererseits ist derzeit nicht gesichert, wie und ob sich weitere Stauraumpülungen am Tölzer Kraftwerk auf die flußmorphologische Situation der anschließenden Flußstrecke auswirken. Darum wären primär betriebliche Überlegungen darüber anzustellen, wie der Restgeschiebetrieb in der Ausleitungsstrecke der Anlage Mühlthal durch örtliche Maßnahmen auf naturnahe Weise verbessert werden kann.

Wie die Untersuchung des Geschiebetransportvermögens zeigt, kann das Transportvermögen in Naßjahren bis zum 5-fachen des im Normaljahr ermittelten Wertes anwachsen. Dies läßt den trotz Dämpfung der Hochwasserscheitel durch den Sylvensteinspeicher immer noch verbliebenen Wildflußcharakter der Isar aufscheinen. Im Hinblick auf das ebenfalls noch immer große Transportvermögen, das daraus resultierende Geschiebedefizit und die bestehende Kraftwerksanlagenkette ist der gestörte Regelkreis nicht konfliktfrei. Deshalb geht es vorrangig auch darum, den Konflikt nicht noch zu vergrößern. Dies wird besonders am Beispiel der Forderung deutlich, wenn man - mangels notwendiger Kenntnis der Zusammenhänge - ständig einer Revitalisierung der Isar zum Wildfluß das Wort redet. Hiermit würde man nämlich ohne einen möglichen Ausgleich im gestörten Feststoffhaushalt, die Dinge, statt sie zu verbessern nur verschlechtern, indem man den bettbildenden Abfluß und folglich auch das Transportvermögen bzw. das Erosionspotential vergrößern würde.

#### 4.8 Feststoffhaushalt

Die sogenannte Querschnittsverarbeitung (Kap. 4.5) einschließlich der Feststoffentnahmemeldungen sowie das ermittelte Geschiebetransportvermö-

gen (Kap. 4.7) liefern die notwendige Datengrundlage für das abschließende Kapitel der flußmorphologischen Bestandsaufnahme der untersuchten Flußstrecke, den Feststoffhaushalt.

#### 4.8.1 Geschiebe

Der Wasserwirtschaftsverwaltung liegen Meldungen über rd. 65 Betriebsjahre der Kraftwerksanlage Mühlthal entsprechend einem Erfassungszeitraum von 1923 bis 1988 vor. Die örtliche Zuordnung, die Genauigkeit und Vollständigkeit der gemachten Angaben ist -dies liegt in der Natur der Sache- nicht immer zufriedenstellend dokumentiert oder nachvollziehbar. Die Feststoffentnahmen wurden in 2 Entnahmekomplexe, nämlich in einen um das Ickinger Wehr (mit Kanal und Kanaleinlauf) und den anderen um das Baierbrunner Wehr, aufgegliedert und ihr auf die Parameter Massenvolumen und Zeit bezogener Verlauf in Beilage 15 grafisch dargestellt.

Folgende Ergebnisse sind hervorzuheben:

- Die maximalen Feststoffentnahmen für beide Entnahmebereiche fallen in die Zeit von etwa 1954 und 1958; sie betragen für den Entnahmebereich Ickinger Wehr
  - insgesamt in 4 Jahren ungef. 430 000 m<sup>3</sup>
  - im Mittel der 4 Jahre ungef. 98 000 m<sup>3</sup>/a
  - für beide Bereiche zusammen
  - im Mittel der 4 Jahre ungef. 103 000 m<sup>3</sup>/a.
- Die Feststoffentnahmen sind etwa ab 1968 stark rückläufig; sie betragen für den Entnahmebereich Ickinger Wehr
  - im Mittel der Jahre ungef. 12 000 m<sup>3</sup>/a
  - für beide Bereiche zusammen
  - im Mittel der Jahre ungef. 16 000 m<sup>3</sup>/a.
- Die Feststoffentnahme beträgt, bezogen auf den gesamten Erfassungszeitraum von rd. 65 Betriebsjahren, im Durchschnitt
  - für den Entnahmebereich Ickinger Wehr ungef. 26 000 m<sup>3</sup>/a
  - für beide Bereiche zusammen                      ungef. 33 000 m<sup>3</sup>/a

Die Feststoffentnahmesumme beträgt somit in rd. 65 Betriebsjahren von 1923 bis 1988

für den Entnahmbereich Ickinger Wehr ungef. 1 650 000 m<sup>3</sup>

für beide Bereiche zusammen                      ungef. 2 100 000 m<sup>3</sup>.

Etwa um das Jahr 1950 nahmen die Feststoffablagerungen im Anlagenbereich ein solches Ausmaß an, daß die Betreiberin der Anlage in arge Bedrängnis geriet. Die Baggerungen konnten anfänglich kaum noch der von der Isar laufend herantransportierten Geschiebemassen Herr werden. Wegen der starken Auflandungen der Flußsohle befürchtete man unter anderem eine akute Überflutungsgefahr für die bestehenden Hochwasserschutzanlagen. Die seinerzeit zur Problemlösung eingeschalteten Fachleute konnten dann allerdings "aufatmen", da einerseits verstärkt einsetzende Baggerungen (siehe Beilage 15) und andererseits ein auffallendes Abklingen des Geschiebezulaufs zur Anlage Mühlthal die Lage entscheidend entspannten.

In den statistisch erfaßten letzten 20 Betriebsjahren (bis 1988) sind im Anlagenbereich im Jahresmittel ungefähr 16 000 m<sup>3</sup>/a Feststoffe dem Gewässer entnommen worden. Dieser Betrag liegt nicht allzu weit unter dem für die Ausleitungsstrecke durch Rechnung abgeschätzten Geschiebetransportvermögen von rd. 20 000 m<sup>3</sup>/a bzw. 22 000 m<sup>3</sup>/a. Ist der ausgewertete Zeitraum nicht zu kurz und sind die Feststoffentnahmen in dieser Zeit auf die Einhaltung einer gewissen Flußlage abgestellt, dann kann man - mittelbar zumindest - auf die Größenordnung der Geschiebefrachten schließen. Berücksichtigt man außerdem den über die Querschnittsverarbeitung der Flußstrecke Fkm 162,4 bis Fkm 156,6 abgeschätzten Geschiebedurchlauf am Baierbrunner Wehr flußabwärts mit nochmals rd. 12 000 m<sup>3</sup>/a, dann folgt daraus eine Gesamtgeschiebefracht von ungefähr 28 000 m<sup>3</sup>/a für diese Zeit. Bezogen auf das für den Gesamtabfluß der Isar mit rund 58 000 m<sup>3</sup>/a errechnete mittlere Geschiebetransportvermögen wird damit ein deutliches Geschiebedefizit erkennbar.

Die Statistik (nur bis 1988 reichend) weist in den letzten Jahren weiter zurückgehende Feststoffentnahmen für die Anlage Mühlthal aus. Nicht zuletzt deshalb ist zu vermuten, daß die von der Isar an die Anlage herant transportierten Geschiebefrachten ebenfalls rückläufig sind. Es ist nahe liegend, diesen Sachverhalt anhand der Massenbilanzierung einmal genauer zu betrachten. Die für Änderungen des Feststoffhaushaltes empfänglichste Flußstrecke befindet sich im Unterwasser des Wehres. In der Tat hat für den erfaßten Flußabschnitt von Fkm 173,8 - 170,4 (siehe Tabelle: Feststoffbilanzierung) die Bilanz im Zeitraum von 1973/88 zwar noch eine positive Rate (+ 1 450 m<sup>3</sup>/a) im Zeitraum von 1988/91 ist eine etwas größere Rate (- 1 580 m<sup>3</sup>/a) aber bereits als Abtrag zu verzeichnen. Dabei ist festzuhalten, daß in diesem Zeitraum keine künstlichen Feststoffentnahmen im Unterwasser stattgefunden haben und es sich deshalb um einen rein abflußbedingten Abtrag handelt.

In einer Untersuchung "Zur flußmorphologischen Situation der Isar im Bereich der Ascholdinger und Pupplinger Au" (unveröffentlichtes Gutachten, LFW 1986) wurde die mittlere Geschiebefracht der Isar mit 20 000 - 30 000 m<sup>3</sup>/a veranschlagt. Mit den aktuell gewonnenen Erkenntnissen besteht also eine gute Übereinstimmung.

In einer Studie (WWA WEILHEIM) befaßte sich ein anderer Verfasser mit der Flußstrecke von der Tattenkofener Brücke bis zum Ickinger Wehr. Aufgrund von Querschnittsaufnahmen der Jahre 1969/84 wurde eine mittlere Abtragsmenge aus dieser Strecke von rd. 42 000 m<sup>3</sup>/a gefunden. Dieser Wert scheint auf den ersten Blick nicht ganz plausibel zu sein. Der sich ergebende Zweifel läßt sich aber auflösen, wenn man die bekannte Unschärfe der Querschnittsverarbeitung im naturbelassenen, nicht korrigierten Flußabschnitt der Ascholdinger und Pupplinger Au und einen hohen, dort sowohl aus den Schwebstoffablagerungen als auch aus der Grundmoräne herausgelösten Schwebstoffanteil der Volumenermittlung beimißt. Im Vergleich dazu wurde für die speziell in der Ausleitungstrecke des Kraftwerks Mühlthal aus der Querschnittsaufnahme erhaltenen Volumina der Schwebstoffanteil als vernachlässigbar klein angesetzt, so daß diese Feststoffbilanzwerte voll der Geschiebefraktion zuzurechnen sind.

Früheren Berechnungen der ehemaligen BAYERISCHEN LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSERKUNDE zufolge bezifferte man für die Zeit vor 1923 - also bevor die Eingriffe in das Flußregime stattfanden - die mittleren Geschiebefrachten im Bereich Icking mit etwa 75 000 m<sup>3</sup>/a und im Bereich Oberföhring mit etwa 85 000 m<sup>3</sup>/a.

Einer - allerdings ungeprüften - Information der STADTWERKE BAD TÖLZ nach, haben die jüngsten Erhebungen zur Stauraumpülung des Tölzer Stausees 1991 ergeben, daß seit Einstau der Isar durch das Stauwehr im Jahre 1958 im langjährigen Mittel rd. 16 000 m<sup>3</sup>/a im Stauraum sedimentierten.

Die weitere Entwicklung ist nicht genau vorhersehbar. Hier spielt zum einen das vom Zufall bestimmte Auftreten gewässerbettbildender Hochwässer und zum anderen der unkontrollierte Geschiebenachschub aus oberhalb gelegenen "Nährstrecken" und schließlich die Feststoffbewirtschaftung durch die Betreiberin der Kraftwerksanlage Mühlthal vor Ort eine große Rolle. Bei dieser Sachlage ist vor allem eine sorgfältige Beobachtung der Gestaltungsvorgänge mittels Flußaufnahmen nach Maßgabe des einschlägigen Merkblattes "FLUSSAUSSTATTUNG, FLUSSAUFNAHMEN UND DEREN DOKUMENTATION", LFW, 1986, veranlaßt.

#### 4.8.2 Schwebstoff

Der Schwebstoff der Isar wird seit 1930 u. a. am Pegel in München (veröffentlicht: DEUTSCHES GEWÄSSERKUNDLICHES JAHRBUCH, DONAUGEBIET) gemessen. Der Vergleich einiger Jahresreihen zeigt:

Jahresreihe	1931/39	1971/86
max. Schwebstoffgehalt [g/m <sup>3</sup> ]	2 310	2 855
mittlerer Schwebstoffgehalt [g/m <sup>3</sup> ]	91	40

Die Spitzenwerte der gemessenen Schwebstoffgehalte der aktuellen Jahresreihe übersteigen die in den dreißiger Jahren registrierten Schwebstoffgehalte, wohingegen der mittlere Schwebstoffgehalt eindeutig über die Hälfte der früheren Mittelwerte abgesunken ist. Damit liegen auch die

Schwebstofffrachten heute wesentlich niedriger als früher. Die Ursache hierfür dürfte vor allem auf den Rückhalteeffekt des Sylvensteinspeichers, in geringem Maße auf den des Stauraums des Kraftwerks Bad Tölz sowie auf den Fortschritt der Wildbachverbauung im Einzugsgebiet der Isar zurückzuführen sein.

Die mittlere jährliche Schwebstofffracht wird mit rd. 116 000 t angegeben. Schwebstoff dürfte sich im Stau des Ickinger- und des Baierbrunner Wehres mit dem Geschiebe ablagern sowie bei entsprechender Überschwemmung der Vorländer und der Flußbaue durch den Bewuchs ausgekämmt werden.

##### 5 Gestaltungsmöglichkeiten, Entwicklungstendenzen

Die bis zum Eingriff des Menschen in das Flußregime der Isar ablaufenden Entwicklungsprozesse verliefen nach menschlichen Zeitvorstellungen zwar außerordentlich langsam, die im Verlaufe von Naturereignissen wie zum Beispiel von Hochwässern auftretenden Gestaltungsvorgänge wurden von den Betroffenen dagegen als gewalttätig und lebensbedrohend empfunden. So ist es nicht weiter verwunderlich, daß sich um die Wende des 19. Jahrhunderts in Zuge der europäischen Staatenbildung in der Gesellschaft zunehmend der Wunsch nach Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen, nach Urbarmachung und Landgewinnung in den Talräumen großer Flüsse, nach Vorflutbeschaffung für die siedlungswasserwirtschaftlichen Bedürfnisse und schließlich auch nach möglichst umfassender Nutzung der Wasserkräfte regte. Die dazu notwendigen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen wurden - im allgemeinen unumstritten - zu landeskulturellen Aufgaben ersten Ranges erhoben. In der Folge sah sich der Wasserbau seinerzeit unter dem Druck dieser öffentlichen Verpflichtung gezwungen, seine ihm damals gebotenen technischen Mittel voll einzusetzen, um vor allem den von der Allgemeinheit geforderten Umgestaltungen möglichst rasch zum Erfolg zu verhelfen. Waren die ersehnten Umgestaltungen dann jeweils vollendet, wurden sie als Großtaten menschlichen Handelns gefeiert (siehe Kap. 3). Wenn das Ergebnis heute wenig befriedigt und der damit verbundene Verlust an Naturgütern heftig kritisiert wird, dann sollte man aber nicht allzu leichtfertig dem Wasserbau seine damals angeblich verständislose Haltung gegenüber den heute von der Gesellschaft gänzlich anders bewerteten Naturgütern anlasten.

In einer gewissen Parallele werden heute ähnlich wie damals an den Wasserbau wieder Forderungen herangetragen. Allerdings sind es jetzt Schlagworte wie "Renaturierung" und "Revitalisierung" der Fließgewässer, die gleichsam zum Programm erhoben, den vermeintlichen Sünden der Vergangenheit den Stachel ziehen sollen. Dabei stellt sich aber die Frage, wie sollte man vor allem die geschiebeführenden Flüsse, die nach den Zielvorstellungen des vorigen Jahrhunderts reguliert worden sind, renaturieren, ohne Raum und ohne den erforderlichen Geschiebetrieb. Es ist schlechthin unmöglich, den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen, wenn ein Fluß in seinem Regime aus dem morphologischen Gleichgewicht geraten ist und die freigewordenen Talräume längst durch andere Nutzungen völlig in Beschlag genommen worden sind. Somit steht der Wasserbau also vor der Aufgabe nicht nur mit den natürlichen Zwängen zurecht zu kommen. Beim Herangehen an die Problemlösung darf deshalb nicht unberücksichtigt bleiben,

- welcher Anlaß es war, der seinerzeit zum Eingriff in das Flußregime geführt hat,
- welchen Spielraum die gerinnegeometrischen Vorgaben heute noch für Gestaltungsmöglichkeiten in der Örtlichkeit zulassen,
- daß ein bereits gestörter Regelkreis des Fließgewässers auf neuerliche Eingriffe, die ihm im Zuge von Umgestaltungen zugemutet werden sollten, unter Umständen empfindlicher reagiert als sein ehemals natürlicher Regelkreis und
- daß deshalb auch ein in gutgemeinter Absicht auf mehr Naturnähe zielender Umbau des Gewässers unter Umständen mehr Schaden als Nutzen anrichten kann.

Die verwickelten und oft langfristig ablaufenden Prozesse der Bettbildung von Fließgewässern sind nicht ohne weiteres nachvollziehbar. Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung wurde deshalb versucht, die betreffenden Sachverhalte und die Zusammenhänge transparenter zu machen. Unabhängig hiervon wären die Beteiligten nach gegenwärtigem Verständnis dazu aufgerufen, keine mehr oder weniger utopischen Entwürfe anzusteuern,

sondern in realistischer Einschätzung des Machbaren nach einer Synthese zwischen den technischen Zwängen und den angestrebten landschaftsökologischen Belangen zu suchen.

Im Hinblick auf das Auslaufen der Nutzungsrechte der Isar-Amperwerke AG an der Kraftwerksanlage Mühlthal werden von verschiedenen Seiten Forderungen nach Umgestaltung von Anlage und Fluß erhoben. In diesem Sinne spricht die INITIATIVE MÜHLTAL in ihrer Petitionsschrift an den Bayerischen Landtag die jetzt gebotene Möglichkeit an, den ursprünglichen Zustand des natürlichen Isarflußlaufes in dem Abschnitt zwischen Icking und Baierbrunn weitgehend wiederherzustellen. Nach deren Ansicht muß "jede Lösungsvariante zum Ziel haben, die derzeitigen Uferbefestigungen der Isar, die den Fluß zum künstlichen Kanal werden lassen, aufzugeben, sie im Zuge der Renaturierung zu beseitigen und nur noch dort zu unterhalten, wo dies aus Sicherheitsgründen (z. B. bei Brücken) erforderlich ist."

Bereits eingangs des Kapitels wurde darauf hingewiesen, daß es aus fachlicher Sicht schlechthin unmöglich ist, den ursprünglichen Flußzustand wiederherzustellen. Die vielen Eingriffe in das Flußregime der Isar (siehe Kap. 3) haben, wie bekannt, nicht nur den benachbarten Flußstrecken sowohl in der Ascholdinger und Pupplinger Au als auch in den durch das Stadtgebiet der Landeshauptstadt führenden Streckenabschnitten wie im Bereich der Anlage Mühlthal, ihren Stempel aufgedrückt. Es wäre ein Trugschluß, sich bei Auflassung irgendeines Teiles oder sogar der gesamten Anlage Mühlthal, eine Rückbildung der Isar wieder zur ehemaligen Wildwasserstrecke zu erhoffen.

Der Isarlauf zählte im Untersuchungsgebiet zum verzweigten Flußtyp (siehe Beilagen 1, 2 und 7). Damit Flußverzweigungen entstehen können, müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- verhältnismäßig starkes Gefälle,
- kräftiger Geschiebezulauf,
- Platz für eine großflächige Umlagerung in der Talaue (siehe historische Lagepläne).

Ist das Flußgefälle verringert worden und/oder steht der ursprüngliche Geschiebezulauf und/oder die vom Fluß zur Umlagerung benötigte Talfläche nicht mehr zur Verfügung, dann ist auch die Wiederherstellung des verzweigten "Wildflusses" Isar mit der naturgemäßen Überschotterung seines Talraumes nicht mehr möglich. Andere Vorstellungen von einer "renaturierten Isar" im Mühlthal, wie etwa die Herstellung von Flußmäandern, wären anachronistisch und würden nur gekünstelte Gerinne ohne die dazu erforderlichen Regelglieder zum Ziel haben. Im übrigen wäre der zur Anlage stabiler Mäander notwendige Talraum ohnehin nicht mehr vorhanden.

In eine ähnlich bedenkliche Richtung gehen auch Vorstellungen, die auf eine "Auflassung der Isarausleitung am Ickinger Wehr bzw. eine Beseitigung des Isarkanals" abzielen, wenn dabei dem Mutterbett der Isar eine Mehrbelastung im gewässerbettbildenden Abflubbereich ohne einen entsprechenden Ausgleich zugewiesen würde. Wie in Kap. 4.7 nachgewiesen, würde sich durch die Zuweisung des Ausleitungsabflusses von  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  in das Mutterbett (vorhandene Ausleitungsstrecke) dessen Geschiebetransportvermögen um ein mehrfaches vergrößern. Dieser Umstand hätte wiederum zur Folge, daß mindestens das für die freie Flußstrecke nachgewiesene Geschiebedefizit auch in der heutigen Ausleitungsstrecke wirksam wäre. Wie leicht könnte also eine solch massive Dynamisierung des Abflusses zum raschen Verlust der letzten natürlichen Ressourcen, hier beispielsweise der quartären Flußsohle, führen. Es wäre trügerisch, sich von sogenannten "Naturheilverfahren", wie Prof. HARTUNG es einmal formuliert hat, mehr Naturnähe zu erhoffen. Ein Unternehmer, dessen "Geschäftsbilanz" rote Zahlen aufweist, wäre schlecht beraten, wollte er den drohenden Konkurs durch gesteigerte Ausgaben abwenden.

Mit der "Geschäftsbilanz" der Isar, nämlich dem gestörten Regelkreis, vor allem dem irreparabel veränderten Feststoffhaushalt verhält es sich nicht anders. Ohne die Herstellung eines angemessen funktionierenden neuen Regelkreises würde man unserem Dafürhalten nach der Isar damit wenig Gutes tun.

Für wesentlich realistischer und naheliegender statt der erörterten grundsätzlichen Änderung der Anlagenkonzeption halten wir die Klärung der Frage, welche ökologisch wünschenswerten Verbesserungen unter den gegebenen Verhältnissen verwirklicht werden können und welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um in Gang befindliche nachteilige Entwicklungen, die ja letztlich auch zum Verlust von Naturnähe der vorhandenen Gewässerlandschaft führen, einzuschränken oder gar aufzuhalten.

Vorab ist ein kurzer Abriß zur Problematik einer Flußlaufregulierung angebracht. Schon vor Jahrzehnten wurde aus dem Kreis von Wasserbauingenieuren (HARTMANN 1925, SCHREITMÜLLER 1934, ERTL 1949) Kritik an der Zweckmäßigkeit der Flußlaufgestaltung im Zusammenhang mit der Anlagenkonzeption des Kraftwerkes Mühlthal geübt. Wenngleich sich diese Kritik hauptsächlich auf das damalige, im Vordergrund stehende Problem der mangelhaften Weiterverfrachtung der sich ablagernden Feststoffmassen richtete, so sind doch einige dieser Feststellungen z. B. zur Linienführung der Ausleitungsstrecke auch heute in einer Zeit vergleichweisen Geschiebemangels bemerkenswert. Seinerzeit äußerte sich SCHREITMÜLLER, daß die hergestellte Grundrißform den Stromstrich nicht dauernd an der gleichen Stelle im Querschnitt festzuhalten vermag. Demzufolge treffe der wirkliche Flußanfall (Queranfall) an verschiedenen Stellen und zu verschiedener Zeit nicht mit der flußausbiegenden Konkave zusammen und es verlagere sich durch die plötzlichen Kiesanschoppungen auch der Flußlauf wegen seiner nicht ganz zweckmäßigen Linienführung häufig (siehe Bildbeilage 18).

Nun dürfen wir die damals gemachten Vorschläge für eine verbesserte Linienführung zum Zwecke einer problemloseren Verfrachtung überschüssigen Geschiebes in der heute durch Geschiebemangel gekennzeichneten Situation keineswegs als zielführend betrachten. Aber in der Beobachtung der Flußdynamik gibt es eine interessante Parallele zur aktuellen Situation.

Am ehesten wird bei einem Blick auf neuere Luftbildaufnahmen der Ausleitungsstrecke deutlich, daß die vorhandenen Kiesbänke sich zwar mehrheitlich alternierend dem jeweiligen Gleitufer vorlagern, sich dabei aber augenscheinlich recht unbeweglich und stationär verhalten. An manchen Stellen werfen sich außerdem Talweg und zugehöriger Stromstrich

bereits vor dem harmonisch angezeigten Queranfall unvermittelt steil auf das gegenüberliegende Ufer. Diese Umstände bewirken während des Ablaufes von Hochwasserereignissen besonders massive Uferangriffe, deren Gewalt vorhandene Uferbefestigungen zerstören und letztlich sogar den Flußlauf örtlich landeinwärts verlegen können.

Mit diesen Ausführungen soll, um nicht mißverstanden zu werden, nicht einer optimierten Linienführung der Ausleitungsstrecke das Wort geredet werden. Vielmehr liegen derartige zerstörerische Akte mehr oder weniger in der Natur der Fließgewässer, ob natürlich oder korrigiert. Sie sind ein Ergebnis des ständig vorhandenen Wettstreits zwischen Erosion und Akkumulation und sind selbst bei optimaler Laufführung nicht zu vermeiden. Es sollte aber vor Augen geführt werden, daß man vor allem bei künstlichen Umgestaltungen eines Flußlaufes - seien es nun Uferrückbauten oder Flußbettaufweitungen - mit Reaktionen des Flusses rechnen muß. Insbesondere dort, wo Belange zu schützender Flächen oder Infrastrukturen berührt sind, ist Vorsicht geboten.

Die schon erwähnte "INIATIVE MÜHLTAL" trägt in ihrer Petition vor, man solle die derzeitigen Uferbefestigungen der Isar im Zuge einer Renaturierung aufgeben und sie allenfalls nur noch dort unterhalten, wo sie aus Sicherheitsgründen - z. B. bei Brücken - erforderlich sind. Bei einer entsprechenden Auffassung der Uferbefestigung wäre es nur eine Frage der Zeit, bis die Isar ihr derzeit vorgegebenes Flußbett verlassen und ein neues Flußbett unkontrolliert anlegen würde. Damit wäre auch die Existenz des Straßenübergangs und der bestehenden Deich- und Dammbauten im Talraum über kurz oder lang in Frage gestellt. In der Tat hat der wieder angestrebte Zustand einer Isar ohne Uferbefestigung und eines nur lokal gesicherten Brückenüberganges bei Dürnstein bereits vor der Herstellung der heute geschlossenen Korrektur der Isar schon einmal bestanden. Allerdings haben die damals Beteiligten den Schutz und die Sicherung des Brückenbauwerkes ohne eine geschlossene Korrektur nie in den Griff bekommen (siehe Kap. 3 - Flußgeschichte), so daß letzten Endes eine solche hergestellt werden mußte.

Bei der Erörterung von Gestaltungsmöglichkeiten eines korrigierten Flußlaufes einerseits und dem Erhalt der schützenswerten quartären Flußbett-

sohle in geschiebeführenden Fließgewässern mit Geschiebedefizit andererseits wird meist auch die Methode der Flußbettaufweitung ins Gespräch gebracht. In Kap. 4.7 - Grenzwertbetrachtung wurde gezeigt, daß gemäß Gleichung  $\tau_w = \tau_c + \tau_g$  die wirksame Schubspannung  $\tau_w$  herabgesetzt werden kann, wenn der rechten Seite der Gleichung zufolge entweder das Gefälle oder die Fließgeschwindigkeit herabgesetzt wird. Um alternativ die Fließgeschwindigkeit in den Bereich der Grenzwertgeschwindigkeit herabzusetzen, müßte nach dem Formelansatz der Abflußquerschnitt entweder durch Flußbettaufweitung oder durch Aufstau vergrößert werden. Um also die vorgenannte Bedingung, eine auf den Grenzwert herabgesetzte Fließgeschwindigkeit erfüllen zu können, müßten Vorländer abgetragen und der Flußschlauch in einer Größenordnung von über 200 m aufgeweitet und die Ufer neu gestaltet werden. Abgesehen von der Tatsache, daß die platzmäßigen Voraussetzungen für einen solchen Eingriff wohl nicht gegeben sind, sprechen gegen eine derartige Profilaufweitung sowohl hydraulische als auch morphologische Gründe: Die Ausleitungsstrecke bzw. die Isar weisen beträchtliche Abflußschwankungen auf. Da das Abflußprofil im wesentlichen auf das abzuführende Hochwasser zu bemessen ist, wäre die Sohle anfänglich bei geringen Restabflüssen in großer Breite nur seicht mit Wasser bedeckt. Sehr bald würde sich aber das so gestaltete Flußbett wieder mit Tiefenrinnen durchsetzen. Wegen des ungenügenden Geschiebzulaufes käme aber nicht das Rinnensystem zustande, wie man es von echten Umlagerungsstrecken her kennt, welches mobil, ständig seine Gestalt ändert. Nach kurzer Zeit würde sich der Abfluß wieder im Bereich einer gestreckten Rinne sammendrängen und diese dann bevorzugt eintiefen. Die Bettflächen daneben würden verbuschen und sich verfestigen. Schließlich wäre man nach einem solchen Kraftakt der Flußbettaufweitung doch wieder am Beginn einer Entwicklung angelangt, die man je eigentlich vermeiden wollte.

Viele Ausleitungsstrecken geschiebeführender Fließgewässer geben Anschauungsbeispiele einer ähnlichen Entwicklung, wenn verbuschte oder verfestigte Kiesbänke nicht mehr an der Umlagerung teilnehmen und der Hauptabfluß auf tief eingeschnittene Abflußrinnen zusammengedrängt wird, über die der Sohlendurchschlag dann in den erosionsanfälligen Untergrund eingeleitet wird.

Welcher Gestaltungsspielraum wäre nun im Fall der Ausleitungsstrecke der Kraftwerksanlage Mühlthal geboten? Was sich unter den gegebenen Umständen anbietet, wäre eine vorsichtige Lockerung primär der orographisch linksseitigen Begrenzung des Korrektionsprofils anstelle der streng geometrischen Querschnittsform, damit eine lebhaftere Ufergestaltung Platz greifen könnte (kontrollierter Uferrückbau). Aus Gründen der Stabilität einer solchen Ufergestaltung wäre es vorteilhaft, das Ufergelände im Bereich eines ausreichend breiten Uferstreifens abzutragen und mit einem leichten Gefälle bis zur Flußbettsohle hin flach zu verziehen. Geeignet sind hierbei vor allem die Gleituferabschnitte, in denen sich dann der technische Uferschutz, sofern keine besonderen Objekte zu schützen sind, auf eine reine Fußsicherung beschränken könnte. Im Hinblick auf die früher geübte Praxis, tiefliegende Auenbereiche mit Material aus Feststoffbaggerungen aufzufüllen, könnte man im Gegenzug auch an Geländemodellierungen denken, die eine Öffnung ehemaliger, verfüllter Flußbrinnen in der Aue als bevorzugte Durchflußbereiche zum Ziel hätten. Die zur Aktivierung solcher Hinterrinnen notwendigen Hochwasser würden allerdings mehr oder weniger unkontrolliert und nur sporadisch über das Flußbett in diese ausufern. Deshalb wäre es naheliegend, auch die Möglichkeit einer kontrollierten Dotation über den linksufrigen Talabschluß bzw. die linke Wehrwange zu diskutieren.

Wie schon eingangs betont, wären die Beteiligten bei allen Umgestaltungen gut beraten, keine utopischen Entwürfe anzusteuern und bei einer eventuellen Realisierung den Weg der kleinen Schritte zu beschreiten. Empfohlen wird insbesondere, von ökologischer Seite keinen grundsätzlichen Verzicht auf eine Ufersicherung zu fordern und bei gegebenenfalls größeren Umgestaltungen des Flußbettes, wie Flußbettaufweitungen und entsprechend geänderter Linienführung, die Reaktionen des Flusses vorab in einem Modellversuch zu simulieren.

Allen Bestrebungen, diese Flußlandschaft im vorhandenen Umfang zu erhalten und zu pflegen, würde aber die Grundlage entzogen, wenn es nicht gelingt, das Flußbett der Isar in der Ausleitungsstrecke in seinem Bestand zu sichern. Es sollte deshalb ein von allen Beteiligten getragenes Anliegen sein, daß einer zu besorgenden Eintiefung und dem daraus folgenden Verlust der quartären Flußbettsohle entgegengewirkt wird.

Sorge bereiten nämlich der abnehmende Geschiebeeintrag in die Ausleitungsstrecke und die damit einhergehende Verfestigung der Kiesbänke. Im Zuge solcher Entwicklungen verstärkt sich wiederum die Tendenz zu Tiefen- und Seitenerosion in der betreffenden Flußstrecke. Obschon Tendenz und Fortschritt zur Ausbildung des sogenannten Erosionskeiles in der Ausleitungsstrecke unterhalb des Ickinger Wehres im Vergleich zu vielen ähnlich gelagerten Fällen allgemein noch wenig ins Auge springen, wäre aber allein schon im Hinblick auf die in Kap. 2 - Geologie aufgezeigte prekäre geomorphologische Situation, einer weiteren Eintiefung vorzubeugen. Schließlich geben die Querschnittsaufnahmen von 1988 bis 1991 (siehe Massenbilanzierung) bereits deutliche Hinweise auf Materialabträge im Mittel von rd. 1 600 m<sup>3</sup>/a auf den ersten 4 Kilometern der Ausleitungsstrecke. Um den befürchteten Sohlendurchschlag in die besonders erosionsanfälligen Schichten zu vermeiden, ist vorrangig der Erhalt und der Schutz der Restkiesauflage im gefährdeten Flußbett veranlaßt. Besonders die im unmittelbaren Unterwasser des Ickinger Wehres festgestellten quartären Überdeckungen haben nur eine bedenklich geringe Mächtigkeit (siehe Kap. 2 - Geologie). Ließe man dagegen die Ausräumung der Restkiesauflage und die daraus resultierende Tieferlegung des Flußbettes zu, dann könnte dieser Entwicklung letztlich nur durch massive bauliche Eingriffe in Form von sohlstützenden Querbauten begegnet werden. Im Gegensatz zu solchen klassischen Problemlösungen sollte man, solange es geht, Maßnahmen ergreifen, die als Beitrag naturnaher Gewässerpflege zu verstehen sind. Dem aufgrund des Geschiebedefizits und der hydraulischen Verhältnisse stattfindenden Abtransport der quartären Bettfüllung in der oberen Hälfte der Ausleitungsstrecke sollte möglichst durch eine gezielte Einbringung des ohnehin im Wehr- und Kanalbereich zu baggernden Geschiebes in das unmittelbare Unterwasser des Ickinger Wehres entgegengewirkt werden.

Angesichts des gestörten Regelkreises darf man zwar nicht erwarten, daß die der Natur nachempfundene Vorgangsweise selbstregulierend und ohne weiteres Zutun ablaufen würde. Wie die in der Tabelle zur Feststoffbilanzierung und im Massensummenlinienplan (Beilage 16) aufgezeigte Verteilung von wechselnden Materialauf- und -abträgen zeigt, sind die naturgesetzlichen Abläufe komplex. Naturnahe und den Bedürfnissen angepaßte Feststoffbewirtschaftung bedarf daher der verständnisvollen Handhabung und

Beobachtung der Vorgänge durch den Verpflichteten. Die besprochene Querschnittsverarbeitung ist dabei ein wichtiges Hilfsmittel auf dem Weg zum Erfolg.

Dem allgemeinen amtlichen Sachverständigen im bevorstehenden wasserrechtlichen Verfahren für die Kraftwerksanlage Mühlthal wird empfohlen, eine entsprechende Feststoffbewirtschaftung vorzuschlagen. Dabei sollte das im Anlagenbereich durch die Betreiberin vorübergehend entnommene Geschiebe - den Bedürfnissen zur Erhaltung der Restkiesauflage in der Ausleitungsstrecke angepaßt - in diese eingebracht werden. Im übrigen wäre eine Feststoffbewirtschaftung de jure nichts neues. Schon im bisher geltenden Wasserrechtsbescheid vom 31.05.1932 für die Kraftwerksanlage Mühlthal sind einschlägige Auflagen (u. a. § 6, II) enthalten, die sinngemäß zu modifizieren und in die Praxis umzusetzen wären.

In diesem Zusammenhang ist auch eine Weiterverfrachtung des im flußabwärtigen Anlagenbereich der Unternehmerin (unter Berücksichtigung von Sonderregelungen mit den Stadtwerken München) anlandenden Geschiebes weiter isarabwärts angesprochen. In der flußmorphologischen Untersuchung zum Projekt "TEILRÜCKLEITUNG DER MITTLEREN ISAR" vom Juni 1991 wurde bereits auf die Bedeutung eines wie auch immer graduell verbesserten Restgeschiebetriebes für die Flußstrecke zwischen Oberföhringer Wehr und Landshut hingewiesen. Nicht zuletzt wäre ein durch Weiterverfrachtung verbesserter Restgeschiebetrieb auch für die Isar im Burgfrieden der Landeshauptstadt München von vergleichsweise hohem Nutzen. Ein verbesserter Restgeschiebetrieb könnte dort nicht nur dem unvermeidlich stattfindenden Abbau der Kiesbänke entgegensteuern, sondern diese auch ökomorphologisch regenerieren. Im Falle einer Verwirklichung bräuchte sich die für München angekündigte Renaturierung der Isar dann wenigstens nicht in landschaftsgärtnerischen Maßnahmen erschöpfen.

## 6 Auswirkungen eines erhöhten Restwasserabflusses auf den flußmorphologischen Zustand der Ausleitungsstrecke

Wie schon bei Restwasseranalysen anderer namhafter Ausleitungsstrecken an alpinen bayerischen Fließgewässern war es auch im Falle der zum Kraft-

werk Mühlthal gehörigen Ausleitungsstrecke an der Isar angebracht, eine grundlegende Untersuchung der geologischen und flußmorphologischen Verhältnisse durchzuführen und diese aufzuzeigen.

Die bisher in interdisziplinärem Rahmen untersuchte Bandbreite von Testabflüssen reicht von  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $16,65 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sofern ein künftiger Restabfluß dieser Größenordnung in Zeiten des auf die Gesamt-Isar bezogenen Niedrig- und Mittelwasserabflusses gewährleistet werden sollte, würde sich zwar die in die Ausleitungsstrecke gegenüber früher abgegebene Abflußsumme vergrößern, nicht aber die Dauer gewässerbettbildender, d. h. flußmorphologisch wirksamer Abflüsse, wie sie in Kap. 4.6 - Grenzwerte und 4.7 - Geschiebetransportvermögen untersucht wurden. Unter dieser Voraussetzung sind aus einem solchen Restwasserabfluß keine signifikant bettverändernden Auswirkungen auf den vorhandenen flußmorphologischen Zustand der Ausleitungsstrecke zu erwarten.

## 7 Zusammenfassung

Ausgehend vom Anlaß (Kap.1) der gegenständlichen Untersuchung wird Einblick in die geologische Entwicklung und Situation der Isar im Untersuchungsgebiet gegeben (Kap. 2). Zur Erkundung der dort weitgehend unbekanntem Untergrundverhältnisse im Moränendurchbruchs- und Auslaufbereich des ehemaligen spätglazialen Wolfratshauer Sees wurden im Herbst 1991 im Flußbett der Isar zwischen Ickinger Wehr und Baierbrunn 20 Profilaufschlußbohrungen niedergebracht. Ein Erschließungsziel war hierbei, die Mächtigkeit der Geschiebeauflage über dem feinkörnigen älteren Untergrund der Oberen Süßwassermolasse des Tertiärs und der spätglazialen Sedimente zu ermitteln, zum anderen sollten Erkenntnisse über die Erosionsanfälligkeit des Liegenden gewonnen werden. Die Geschiebeauflage im Flußbett ist am Ickinger Wehr mit rund 2 m gering, sie nimmt aber flußabwärts allmählich zu, um bei Baierbrunn mit ca. 13 m in einer alten Flußrinne die höchsten Werte zu erreichen. Den tieferen Untergrund bildet vom Ickinger Wehr abwärts der Seeton des Wolfratshauer Sees mit einer sandigen Zwischenschicht zwischen Geschiebe und Seeton. Nach wenigen Kilometern endet der Ton und macht einer sandigen Moränenlage Platz; nach einer nochmals

kurz auftretenden Seetonschicht bildet bis Baierbrunn nur noch die Molasse den tieferen Flußbettuntergrund. Seeton, Sand und Moräne sind lose und sehr erosionsanfällig, die Sand- und Tonmergel der Molasse etwas weniger. Somit sind die Flußabschnitte mit der geringsten Geschiebeauflage durch den erosionsanfälligen Untergrund entsprechend stark gefährdet (Ickinger Wehr bis etwa Dürnsteiner Brücke), weiter flußabwärts nimmt die Anfälligkeit infolge der größeren Geschiebemächtigkeit und die zunehmende Verbreitung der Tertiärmergel im Untergrund dann schnell ab.

Im Kap. 3 - Flußgeschichte wird die flußbauliche und -morphologische Situation der Isar vor dem Hintergrund zeitgenössischer Berichte und Informationen beleuchtet und versucht, nutzbringend Erkenntnisse für die anschließende flußmorphologische Bestandsaufnahme zu gewinnen. Unter anderem werden die Gründe dafür aufgezeigt, die dazu führten, daß es ausgehend um die Wende des vorigen Jahrhunderts und endend in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts zu den beschriebenen großen Umgestaltungen der Flußlandschaften kam.

Die flußmorphologische Bestandsaufnahme (Kap.4) befaßt sich zunächst mit den für die Gestaltungsvorgänge wichtigen Abflußverhältnissen. In Ergänzung des geomorphologischen Befundes (Kap. 2) werden für die geschiebetechnischen Eigenschaften der im Flußbett angetroffenen Transportkörper (Kiesbänke) Richtwerte erarbeitet. Einen weiteren Schwerpunkt der Bestandserhebung stellt die Auswertung gewässerkundlicher Flußaufnahmen dar, die teilweise bis in die Zeit vor der Errichtung der Kraftwerksanlage zurückreichen. So können beispielsweise vom Gang der Jahresmittelwasserstände des Pegels Puppling die Auswirkungen sowohl überregionaler als auch regionaler Eingriffe in das Flußregime der Isar auf die zur Untersuchungsstrecke benachbarte Flußstrecke analysiert werden. Unmittelbaren Aufschluß über die Gestaltungsvorgänge vor Ort, im Bereich der Kraftwerksanlage, gewähren die über Jahrzehnte beobachteten und ausgewerteten Niedrigwasserspiegelfestlegungen sowie die mit der Darstellung des mittleren Sohlverlaufes und des Talweges ausgewerteten Flußquerschnittsaufnahmen zwischen Ickinger und Höllriegelskreuther Wehr. Hauptaugenmerk wurde dabei auf die besonders sensible Ausleitungsstrecke unterhalb des Ickinger Wehres gelegt. In dem Maße, in welchem die anfänglich bei Errichtung

der Anlage massiven Geschiebeanlieferungen seit etwa 1960/61 abnahmen, mehrten sich auch die Anzeichen, für beginnende Abtragsvorgänge, wie sie sich aufgrund ähnlicher Voraussetzungen an geschiebeführenden Flüssen im Unterwasser von Ausleitungswehren in mehr oder weniger fortgeschrittenem Ausmaß schon eingestellt haben. Des weiteren wurden die morphologisch maßgebenden Grenzwerte von Wasserstand, Abfluß und Gefälle sowie das Geschiebetransportvermögen ermittelt und in Bezug zu den Gegebenheiten gesetzt. Hierbei ist festzuhalten, daß die noch stattfindenden Restgeschiebefrachten nicht mehr in der Lage sind, das je nach Abfluß zwischen 20 000 m<sup>3</sup>/a (Ausleitungsstrecke) und rd. 60 000 m<sup>3</sup>/a (Gesamtisar) im langjährigen Mittel zu beziffernde jährliche Geschiebetransportvermögen auch nur annähernd zu sättigen. Eine ungefähr konforme Entwicklung zu den Geschiebefrachten weist die Bilanz der Feststoffentnahmen aus. Allein im Bereich um das Ickinger Wehr wurden in statistisch erfaßten 65 Betriebsjahren 1 650 000 m<sup>3</sup> angelandete Feststoffmassen aus dem Fluß und dem Kanal durch Baggerung entfernt. Das entspricht einer jährlichen Entnahme von im Mittel rd. 26 000 m<sup>3</sup>/a. Die heute aus betrieblichen Erfordernissen heraus noch zu baggernden Feststoffmengen liegen weit unter diesem Wert. Anhand der Massenbilanzierung wird gezeigt, daß es unter diesen Umständen notwendig ist, eine verbesserte Bewirtschaftung des Restgeschiebetriebs der Isar herbeizuführen und diese nach Möglichkeit voll auf die Bestandserhaltung des Flußbetts in der Ausleitungsstrecke abzustellen.

Mit dem erarbeiteten Wissenstand ist nun die Voraussetzung gegeben, auch zu Fragen renaturierender Gestaltung und zu Entwicklungstendenzen Stellung zu nehmen (Kap. 5). Bezogen auf den Wasserbau werden heute Begriffe wie Renaturierung und Revitalisierung der Fließgewässer gleichsam zum Programm erhoben. Wie aber sollte man vor allem die großen, geschiebeführenden Flüsse, die wie aufgezeigt nach den Zielvorstellungen des vorigen Jahrhunderts reguliert und verändert wurden, renaturieren, ohne den früheren Talraum und ohne das erforderliche Geschiebe zur Verfügung zu haben? Allzu leicht wird übersehen, daß ein bereits gestörter Regelkreis, wie

im Fall der Isar, auf neuerliche Eingriffe weit empfindlicher reagieren könnte als ein noch ungestörter Regelkreis. Gerinnegeometrische und infrastrukturelle Zwänge lassen darüber hinaus meist nur mehr einen eng begrenzten Spielraum für Gestaltungsmöglichkeiten. Selbst in dieser Beziehung gut gemeinte Absichten können unter den gegebenen Umständen mehr Schaden als Nutzen anrichten. Dargelegt wird, warum es schlechterdings unmöglich ist, die ursprüngliche Fließgewässerstruktur wieder herzustellen. Vor allem stehen die zur Wiederbegründung des natürlich verzweigten Flußtyps notwendigen Geschiebefrachten und die zur Anlage eines breiten verzweigten Flußbettes notwendige Talfläche nicht mehr zur Verfügung. Es wäre deshalb ein Trugschluß, sich von der Auflassung der Kraftwerksanlage eine Rückbildung zur ehemaligen Wildwasserstrecke zu erhoffen. Ebenso wäre etwa von der Auflassung der Ausleitung und der konsequenterweise dann erfolgenden Abflußbeaufschlagung des Mutterbettes abzuraten, da dieser Umstand nur zu einer raschen Beseitigung der quartären Flußbettsohle im Unterwasser des Wehres führen würde. Da helfen auch entsprechend große Flußbettaufweitungen, die in solchen Fällen, um die Sohlbelastung bis auf die jeweiligen Grenzwerte herabsetzen zu können, ins Gespräch gebracht werden, wenig. Wegen der nachgewiesenen beträchtlichen Abflußschwankungen und des fehlenden Geschiebezulaufs würde sich in ihnen schließlich doch wieder eine eintiefende, gestreckte Rinne ausbilden, abgesehen von den einer solch großen Aufweitung entgegenstehenden Interessen. Selbst, wenn "nur" an die Aufgabe einer durchgehenden Uferbefestigung gedacht ist, wäre größte Vorsicht vor unerwünschten Reaktionen der immer noch zerstörenden Kraft der Restisar geboten. Angesichts dieser Sachlage stellt sich die Frage, ob und welcher Spielraum überhaupt noch für Gestaltungsmöglichkeiten gegeben ist. Was sich unter den gegebenen Umständen anbietet, wäre eine vorsichtige Lockerung der uferseitigen Begrenzung, praktisch ein kontrollierter Uferrückbau, damit eine lebhaftere Ufergestaltung anstelle der streng geometrischen Querschnittsform des Korrektionsprofils Platz greifen könnte. Des weiteren könnte durch eine starke Abflachung eines ausreichend breiten Uferstreifens in Gleituferebenen versucht werden, den technischen Uferschutz weitgehend durch einen biologischen zu ersetzen. Unbeschadet dessen sollte aber keinesfalls auf eine stabile Böschungfußsicherung verzichtet werden. Gegen die Absicht, etwa im Zuge weitgehender Geländemodellierung ehemalige Flußbrinnen wieder mit Wasser zu beschicken, bestehen keine grundsätzlichen Er-

innerungen. Es sollte aber darauf geachtet werden, daß sich die Abflüsse nicht unkontrolliert in die Seitengewässer ergießen, da es sonst bei Hochwasserereignissen leicht zu Zerstörungen und nicht mehr beherrschbaren Laufverlagerungen kommen kann. Zusammenfassend wird betont, daß die Beteiligten im Falle von Umgestaltungen gut beraten wären, keine utopischen Entwürfe anzusteuern, sondern bei einer Realisierung den Weg der kleinen Schritte gehen sollten, damit unheilsamen Überraschungen rechtzeitig vorbeugt werden kann.

Ein aus der Sicht der Flußmorphologie vorrangiges Anliegen, das im übrigen alle Beteiligten, denen am naturnahen Fließgewässercharakter der Isar etwas gelegen ist, angeht, ist die Erhaltung der quartären Flußbettsohle in der Ausleitungsstrecke. Einer Entwicklung, die zum Abtrag der noch vorhandenen Restkiesauflage und letztlich zur Freilegung erosionsanfälliger Schichten führt, sollte, solange es geht, mit den Mitteln der naturnahen Gewässerpflege entgegengesteuert werden. Im vorliegenden Fall bietet sich die bedarfsweise Einbringung des im Bereich der Anlage Mühlthal anlandenden Geschiebes in das Unterwasser des Ickinger Wehres zum Ausgleich von Abtragstendenzen und zur ökomorphologischen Regenerierung des Flußbettes an. Sofern es nicht gelingt, eine Tieferschaltung des Flußbettes zu verhindern, wären bauliche Gegenmaßnahmen in Form sohlstützender Querbauwerke die Folge. Eine auf die Erhaltung der Restkiesauflage abzielende Feststoffbewirtschaftung erfordert allerdings eine verständnisvolle Bereitschaft seitens der Verpflichteten und eine sorgfältige Beobachtung und Bewertung der komplexen Gestaltungsvorgänge. Die hierzu notwendigen gewässerkundlichen Instrumentarien wurden aufgezeigt. Dem amtlichen Sachverständigen im bevorstehenden wasserrechtlichen Verfahren wird empfohlen, auf eine entsprechende Feststoffbewirtschaftung hinzuwirken. Eine im bisher geltenden Wasserrechtsbescheid für das Kraftwerk Mühlthal ohnehin enthaltene einschlägige Auflage zur Feststoffbewirtschaftung, wäre lediglich zu modifizieren und in die Praxis umzusetzen.

Im Hinblick auf die gegenständliche Restwasseruntersuchung wird in Kapitel 6 ausgeführt, daß eine Verbesserung des Restwasserabflusses im untersuchten Rahmen von rd. 3 - 17 m<sup>3</sup>/s allein keine signifikanten nachteil-

gen Auswirkungen auf den flußmorphologischen Zustand der Ausleitungsstrecke erwarten läßt.

Anknüpfend an die Situation der Isar vom Stadtgebiet Münchens bis kurz vor Landshut wird noch darauf aufmerksam gemacht, daß eine Weiterverfrachtung des in den Kraftwerksanlagen der Isar-Amperwerke und der Stadt München anlandenden Geschiebes in diese Flußstrecke hinein auch von hohen ökomorphologischen Nutzen wäre, weil damit einem sonst unvermeidbar stattfindendem Abbau der Kiesbänke entgegengewirkt werden könnte.

Gewissermaßen als Resümee wird eine in der Denkschrift der Obersten Baubehörde aus dem Jahre 1909 enthaltene Aussage an den Schluß gestellt, weil die darin zum Ausdruck gebrachte Erkenntnis, einer sowohl individuellen als auch ganzheitlichen Betrachtungsweise des zu behandelnden Elementes Fluß nicht treffender hätte formuliert werden können:

\*... Auf mühevolem, meist empirischen Wege hat sich die Kunst des Flußbaues entwickelt. Seine Anfänge waren von dem Bedürfnisse des Augenblicks geboten. Die Beweglichkeit des zu behandelnden Elementes ließ die Übertragung einer einzelnen Erfahrung und allgemeine Schlüsse nur selten zu und, obwohl der Wasserbau schon seit Jahren eine zunehmende wissenschaftliche Behandlung, besonders an den flußbautechnischen Laboratorien unserer Hochschulen erfahren und die Praxis hieraus gewichtige Vorteile bezogen hat, so sind neben den wenigen ganz allgemeinen Grundgesetzen allgemein anwendbare Regeln und Vorschriften nur in geringem Maße gewonnen worden. Der wichtigste Satz aller Studien ist eigentlich der, daß jeder Fluß ein Individuum ist, das seine eigene Behandlung verlangt, da die bestimmenden Faktoren, Wassermenge, Gefälle, Geschiebe und Uferbildungen bei allen Flüssen, ja sogar innerhalb einzelner Flußstrecken große Verschiedenheiten aufweisen. Nichts wäre weniger angezeigt, und nichts würde zu größerer Geldverschwendung führen, als wenn alle Flüsse nach einer einheitlichen Schablone behandelt würden; denn schon die Ungleichheit einer einzigen wesentlichen Eigenschaft zwingt im Flußbau zur Anwendung anderer Mittel .....

## 8 Verzeichnis der Beilagen

- 1 Flußkartenausschnitt - Adrian von Riedl, 1806
- 2 Lageplan von 1901
- 3 Schematisches Längsprofil des geologischen Aufbaus im Flußgerinne, Fkm 174,0 - 163,0
- 4 Flußbohrungen in der Ausleitungsstrecke, Tabelle
- 5 Mächtigkeit der rezenten Geschiebeauflage
- 6.1-6.20 Flußquerschnitte mit Bohrungen
- 7.1-7.2 Luftbilddaufnahme aus dem Jahre 1925
- 8 Ganglinien der Jahresmittelwasserstände
- 9 Flußlängsschnitt mit Niedrigwasserspiegelfestlegungen
- 10 Flußlängsschnitt mit mittleren Sohlen
- 11 Flußlängsschnitt mit Talweg
- 12 Flußlängsschnitt mit Bohrungen im Flußbett und Talweg
- 13 Geschiebetransportkurven
- 14 Abfluß-Dauerlinien und Geschiebetransport-Dauerlinien
- 15 Massensummenlinie der Feststoffentnahmen
- 16 Massensummenlinienplan
- 17 Gestaltwandel des Flußlaufes (1798, 1925, 1986)
- 18 Bilddokumente