



## „Licca Liber“ – Der freie Lech

**Untersuchung der flussbaulichen Möglichkeiten zur Sanierung des Lechs**

-

**Morphologische Grundlagenstudie**



Auftraggeber:      Wasserwirtschaftsamt Donauwörth  
                            Förgstraße 23  
                            86609 Donauwörth

München, im Januar 2012

## **Ordinarius**

---

Prof. Dr. Peter Rutschmann

## **Projektleitung**

---

Dipl. -Ing. Markus Grünzner

## **Sachbearbeiter**

---

Tobias Liepert, M.Sc.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	3
2	Grundlagen .....	6
2.1	Korrektion des Lechs (WWA Donauwörth, 2008 S. 2 ff).....	6
2.2	Geologie und Sohlmaterial .....	6
2.3	Hydraulik .....	9
2.3.1	Hochwassersicherheit .....	10
2.3.2	Sohlstabilität.....	10
2.4	WRRL.....	12
2.5	Geschiebe .....	13
2.6	Querprofilaufnahmen.....	14
2.7	Baukostenzahlen.....	16
3	Datenaufbereitung.....	17
3.1	Sohlentwicklung .....	17
3.2	Grundwasser .....	25
3.3	Geschiebekenngrößen .....	27
3.4	Sohlstabilität.....	32
3.4.1	Stabilitätsgefälle - (Schöberl, 1981).....	34
3.4.2	Parametersensitivität.....	35
3.4.3	Transportkapazität / Transportbeginn.....	38
3.5	Geschiebefracht .....	40
3.6	Flussgeometrische Größen .....	42
3.6.1	Längsprofil.....	42
3.6.2	Querprofilgestaltung .....	44
3.6.3	Gerinneform .....	45
4	Maßnahmenkatalog.....	51
4.1	Sohlenbauwerke.....	51
4.2	Aufweitung .....	54
4.3	Offenes Deckwerk .....	59

4.4	Geschiebezugabe und –management.....	61
4.5	Strahlwirkung (Deutscher Rat für Landespflege, 2008).....	63
5	Spezifikation der Sanierungskonzepte & Leitgedanken .....	65
5.1	Zielvorgaben.....	65
5.2	Abschnitt 1 – nördlich Augsburg.....	65
5.2.1	konzeptionelle Überlegungen / Ideen .....	68
5.3	Abschnitt 2 – südlich Augsburg .....	70
5.3.1	konzeptionelle Überlegungen / Ideen .....	74
5.4	Leitgedanken.....	76
5.4.1	Hochwasserschutz, Sohlstabilität und Ökologie.....	76
5.4.2	Gewässeranbindung und –vernetzung.....	76
5.4.3	Wasserkraftnutzung .....	77
5.4.4	Konzeptabstimmung.....	77
6	Anhang.....	78
7	Literatur.....	79

## 1 Einführung

Der Lech, ein ehemals alpiner Fluss, wurde ab dem 19. Jahrhundert einer umfangreichen flussbaulichen Korrektur unterzogen. Das Ergebnis, ein enges und begradetes Flussbett zwingt den Lech auf minimalsten Raum. Die Nutzung von Wasserkraft, Gewinnung von landwirtschaftlicher Nutzfläche und vor allem die Hochwassersicherheit waren treibende Kräfte für Anstrengungen der Korrektur (WWA Donauwörth, 2008 S. 2ff).

Die gänzliche Veränderung des ursprünglichen Flusscharakters des Lechs wirkt nachhaltig bis in die heutige Zeit. Die Staustufenkette zwischen Füssen und der Lech-Donau-Mündung bildet sowohl morphologisch als auch ökologisch unüberwindbare Barrieren. Hinzu kommt die seit längerem bekannte fortschreitende Sohleintiefung des Lechs, welche langfristig die Bauwerkstabilität gefährdet. Die unzureichende Restkiesauflage birgt die Gefahr eines Sohldurchschlags. Die Folge wären Canyonbildung verbunden mit einer massiven Grundwasserabsenkung.

Der Auftrag des Wasserwirtschaftsamtes vom 23.09.2010 umfasst die Fortführung der Ist- und Trendanalyse der Sohlentwicklung mit aktualisierten Bestandsdaten. Weiter wurde der Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München beauftragt mögliche, auf den erhobenen Daten basierende Sohlstabilisierungsmaßnahmen aufzuzeigen. Das Hauptaugenmerk in der konzeptionellen Studie lag neben der eigentlichen Sohlstabilisierung auf der Sicherstellung des Hochwasserschutzes und der Überführung in ein nach den Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie gutes ökologisches Potential.

Die Untersuchung umfasst zwei Flussabschnitte. Abschnitt 1 erstreckt sich vom Kraftwerk Ellgau (Fkm. 17,0) bis zum Wehr Gersthofen (Fkm. 37,3). Abschnitt 2 vom Hochablass (Fkm. 46,95) bis Lechstaustufe 23 (Fkm. 56,7). Aus geologischer Sicht kommen beide Bereiche im eiszeitlichen Urstromtal der Lech- Wertach-Ebene zu liegen (WWA Donauwörth, 2008 S. 2).

Der Abschnitt 1 ist dadurch gekennzeichnet, dass parallel westlich zum Korrektionsflussbett des Lechs der Lechkanal (Bayerische Elektrizitätswerke BEW) errichtet wurde. Der Lechkanal leitet auf der Höhe des Wehrs Gersthofen Wasser zur Energiegewinnung aus. In drei Kraftwerken (Gersthofen, Langweid, Meitingen) wird die nutzbare Energie elektrifiziert. Ca. 2,5 km stromauf des Kraftwerks Ellgau vereinigen sich Lech und Lechkanal. Das Korrektionsflussbett des Lechs zwischen Wehr Gersthofen und Kraftwerk Ellgau ist frei von Querbauwerken. Lediglich drei Brücken (Gersthofen, Langweid, Thierhaupten) überqueren den Lech. Die Durchgängigkeit der Sohle birgt ein enormes ökologisches Entwicklungspotential und bildet die Grundlage einer naturnahen Gewässerlandschaft. Die Ausleitungsstrecke ist als eine

besonders wertvolle Fließstrecke des Lechs zu sehen (WWA Donauwörth, 2004). Dennoch ist das Erscheinungsbild von alternierenden Bänken für diesen Bereich atypisch zu bewerten. In seiner ursprünglichen Fließgestalt formte der Lech ein verzweigtes Gewässer. Die massiven Uferbefestigungen zwingen den Lech derzeit in ein künstliches Korsett. So zusammengeschnürt ist die Breitenentwicklung des Lechs vollständig unterbunden. Ergebnis: es kommt zu einer Pendelbewegung von Kolkrinnen (Englisch, 1997). In einem ständigen Umlagerungsprozess wandern Kolkrinnen und Kiesbänke langsam flussabwärts und tauschen dabei ihre Positionen. Des Weiteren führt die ständige Umlagerung zu einem „Angraben“ der Uferbefestigung mit Uferabbrüchen als Folgeerscheinungen. Dies macht deutlich, dass der Lech sein im Hochwasserfall enormes Geschiebepotential zu sättigen versucht.

Eine der am schwierigsten zu quantifizierenden Randbedingungen des Geschiebetransports ist die oberstrom vom Wehr Gersthofen herrschende Geschiebesättigung. Der Sättigungsgrad des Geschiebepotentials am Wehr Gersthofen setzt sich aus dem Lech und der Wertach, die kurz zuvor in den Lech mündet, zusammen und ist nur sehr schwer abschätzbar.

Die in mehreren Studien aufgezeigte fortschreitende Sohlerosion birgt in Kombination mit der unzureichenden Restkiesauflage über leicht erodierbaren Schichten die Gefahr eines Sohldurchschlags (Englisch, 1997; Grünzner, 2007). Ein Sohldurchschlag in tertiäre Schichten hätte eine überproportionale Zunahme der Erosionsraten zur Folge, was mittelfristig auch die Stabilität von Bauwerken gefährdet. Im Rahmen der flussbaulichen Korrektionsmaßnahmen war das Längsgefälle bewusst nicht auf das Stabilitätsgefälle ausgebaut worden.

Die Charakteristik des Lechs südlich von Augsburg zwischen Hochablass und Lechstaustufe 23 entspricht einem technisch ausgebauten Flussabschnitt. Zwischen den Hochwasserschutzdeichen, die einen ca. 220 m breiten Korridor bilden, ist der Lech mittig in ein 75 bis 80 Meter breites Korrektionsbett gezwängt. Die flussbaulichen Maßnahmen im letzten Jahrhundert umfassten auch die Korrektur des Längsgefälles. In einem Abstand von rund einem Kilometer wurden sechs Sohlstufen mit Absturzhöhen von 0,6 bis 3,3 m errichtet. Das Sohlängsgefälle konnte zwischen den Schwellen so auf ein Gefälle zwischen 1,5 und 2,0 Promille reduziert werden. Aus Sicht der Sohlstabilität ist vor allem der Bereich stromab der Schwelle 6 bei Fkm 50,4 problematisch. Das planmäßige Gefälle von 2,3 Promille ist zu steil, als dass es im Hochwasserfall Selbststabilisierungsprozesse ermöglichen würde. Ferner kommt hinzu, dass, wie auch an allen anderen im Bereich befindlichen Sohlenbauwerken, eine nur ungenügende Energieumwandlung durch die Sohlabstürze (Stützswellen) vorhanden ist. Der Wechselsprung wird ausgeblasen (d. h. wandert bei Hochwasser aus dem Tosbecken in ungeschützte Bereiche unterhalb des Bauwerks) und führt zu einer massiven Kolkbildung. Als Randbedingung kann für den Abschnitt 2 festgestellt

werden, dass mit keinen planmäßigen oberstromigen Geschiebeeinträgen zu rechnen ist. Die vorgeschaltete Staustufenkette unterbindet die Geschiebezufuhr vollständig. Die Sättigung des Geschiebepotentials geschieht in diesem Abschnitt durch lokale Erosionen (Kolke), Seitenerosionen (Uferanbrüche) und primär durch flächige Sohlerosionen. Probleme bereiten vor allem die Stützschwelle auf Grund ihrer ungenügenden Energieumwandlung. Kolkerscheinungen gefährden deren Standfestigkeit und bewirken so einen relativ hohen Unterhaltsbedarf.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Korrektur des Lechs (WWA Donauwörth, 2008 S. 2 ff)

Flüsse sind seit alters her Lebensadern der Menschheit. Ihr Wasser wird für die verschiedensten Zwecke und Aufgaben verwendet. Die überwiegend friedlich treibende Kraft des Wassers entfaltet im Hochwasserfall immer wieder ihr zerstörerisches Werk. Dem galt und gilt es Einhalt zu gebieten. Zusätzlicher Bedarf an Flächen für Landwirtschaft, Industrie und Siedlungen und das Bestreben eines verbesserten Hochwasserschutzes führten im 19. Jahrhundert dazu, dass viele alpine Flüsse, unter anderem der Lech, stark begradigt und eingeeengt wurden. Grundgedanke damaliger Planungen war eine „kontrollierte Sohlerosion“, mit der der Flusslauf verkürzt und der Abfluss auf ein Hauptbett konzentriert wurde. Die zum Schutz vor Hochwasser beabsichtigte Eintiefung schritt schnell weit über das ursprüngliche Ziel hinaus (Bauer, 1979). Korrespondierend mit der Sohleintiefung sank auch der Grundwasserspiegel.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde mit dem Bau der Staustufenkette und Stüttschwellen begonnen, um so der übermäßigen Sohleintiefung mittels einer Sohlgefällereduktion entgegenzuwirken. Die Folgen der flussbaulichen Maßnahmen waren eine Verarmung der Gewässerstruktur und eine Unterbindung des Geschiebetriebs.

Nach dem Hochwasser von 1910, welches die Lechkorrektur nördlich von Augsburg vollständig zerstörte, wurde dort am orographisch linken, westlichen Ufer der Lechkanal errichtet.

### 2.2 Geologie und Sohlmaterial

Das Flussbett des Lechs liegt im Untersuchungsgebiet in eiszeitlich geformten Moränen- und Schotterfeldern. Tertiäre Sande der Lech-Wertach-Ebene wurden während urzeitlicher Gletscherbewegungen mit Schotter überdeckt. Eine detaillierte Beschreibung der geologischen Entwicklung findet sich in (Bauer, 1979 S. 3 ff). Die Schichtdicke der Überdeckung variiert stark. Westlich von Landsberg gibt es Schotterüberdeckungen mit einer Stärke von bis zu 30 Metern. Nach Norden hin zur Donau nimmt die mittlere Überdeckungshöhe ab (Bauer, 1979). Querschnittsaufnahmen aus dem Jahre 1986 zeigen auf Höhe Ellgau im ungestörten Uferbereich eine Schotterüberdeckung von rund 5,5 Metern (Scheuermann, 1989 S. s. Anlage). Die Schichtstärken quer und längs des Flusslaufs sind als Ergebnis Jahrtausende langer Umlagerungsprozesse starken Schwankungen unterworfen.

„Am Ende der oberen Kraftwerkstreppe bei Landsberg gewinnt der Lech wieder seine Bewegungsfreiheit, die er jedoch, im begradigten Korrektionsbett eingeeengt, nur dazu nützen kann, die noch vorhandenen alpinen Geschiebereste abzutragen und tiefe



Rinnen in die sandigen Schichten der Oberen Süßwassermolasse einzusägen. Dabei wurden Eintiefungswerte erreicht, die dem Abtrag des Lechtals seit der letzten Eiszeit recht nahe kommen“ (Bauer, 1979 S. 1).

Die Staustufenkette ist inzwischen bis Merching fertiggestellt. Für die Errichtung der weiteren Staustufen 24 und 25 zwischen der Staustufe 23 und dem Hochablass wurden von der BAWAG (später E.ON) immer wieder Planungsabsichten bekundet, jedoch keine Anträge auf Raumordnung oder wasserrechtliche Genehmigung gestellt.

Von Mitte des 19. Jahrhunderts bis weit in das 20. Jahrhundert galt eine planmäßige Ausschwemmung als das geeignete Mittel für die Herstellung eines Hochwasserschutzes. Ein Beispiel aus der Schweiz zeigt, dass auch hier vom damaligen Oberingenieur des Kantons Bern gezielt eine Absenkung des Hauptgerinnes durch Abflusskonzentration geplant und herbeigeführt worden ist. Technische Hilfsmittel, einen künstlichen Hochwasserschutz herzustellen, gab es nicht, so wurde die Kraft des Wassers genutzt. Der Fluss gräbt sich bei jedem Hochwasser selbst ein Stück mehr ein. Dass dieses Ausschwemmkonzept Erfolg hatte, lässt sich heute nahezu an allen Flüssen im Alpenraum ablesen. Doch bereits nach kürzester Zeit kam es zu unerwartet großen Erosionen, die wiederum andere Probleme verursachten.

Zur Ausführung der am Lech vorgenommenen Korrektionsmaßnahmen kamen die zu dieser Zeit als Stand der Technik geltenden Konzepte. Die Korrektion sah vor, das vorhandene Flussbett einzutiefen. Zug um Zug sollte kontrolliert die Schotterauflage abgebaut werden. Aktuell ist die Kiesauflage im Untersuchungsgebiet ca. auf zwei Meter zusammengeschrumpft, an einigen kritischen Stellen auch deutlich darunter oder fehlt zur Gänze wie im Unterwasser der Sohlschwelle Nr. 6 Fkm 50,4 (ca. auf einer Länge von 200 bis 400 Metern). Die schützende Sohlpanzerung ist somit stark geschwächt, insbesondere seit dem Pfingsthochwasser 1999, das die vorhandene Deckschicht weitgehend zerstörte.

Der durch die Energienutzung intensiv erfolgte Ausbau des Lechs mündete in einer Kraftwerkskette, welche geschiebeundurchgängig ist. Als Konsequenz dieses Ausbaus kann erodiertes Material im Unterlauf des Lechs nicht durch Geschiebe des Oberlaufs ersetzt werden. Zudem verschärft sich die Problematik, da ungesättigte Geschiebetransportkapazitäten dazu führen, dass neues Material aus dem Flussbett und Uferbereich gewonnen wird.

Die Geschiebetransportkapazität durch eine Kraftwerkskette hindurch ist verglichen mit dem „frei fließenden“ Lech wesentlich kleiner. Der Übergang von „frei fließend“ in die Kraftwerkskette bedeutet einen Sedimentausfall, während im entgegen gesetzten Fall ein erhöhtes Sättigungsbestreben Erosionen hervorruft. Verbaute Ufer beschränken die mögliche Geschiebeaufnahme auf den Sohlbereich, was langfristig zwangsläufig zu Sohleintiefungen führt.

Die größte Gefahr im Zusammenspiel geologischer Gegebenheiten und auftretender Hochwasser geht von Sohldurchschlägen aus. Die unter der schützenden Schotterpanzerung liegenden tertiären Sande sind in hohem Maß erosionsgefährdet. Der Erosionswiderstand im Vergleich zur Kiessohle ist verschwindend gering. Die Eintiefungsraten für Kies liegen bei ca. 2 cm/a. Für Sande sind dagegen Raten von bis zu 100 cm/a möglich. Abhängig von Struktur und Zusammensetzung unterscheiden sich die Eintiefungsraten um einen Faktor 20 bis 50. (Bauer, 1979; Englisch, 1997). Lokale Sohldurchschläge werden durch einen Selbstheilungsprozess im Regelfall vom Fluss selbst wieder verfüllt. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Geschiebezufuhr von oberstrom oder dass vor Ort ausreichend grobes Geschiebe in entsprechender Menge zur Umlagerung zur Verfügung steht. Die flächigen Erosionen der letzten Jahrzehnte führen unter der Annahme gleichbleibender Entwicklungstendenz zu einem flächigen Durchschlag. Fehlendes Auffüllmaterial verhindert, dass der Fluss der Sohldurchschlagsgefahr selbst entgegenwirken kann. Die Uferbefestigungen der Flusskorrektur werden im Fall eines größeren Sohldurchschlags unterspült und versagen im Hochwasserfall schlagartig. Ohne Gegenmaßnahmen ist zukünftig mit einem weiter ansteigenden, erheblichen Mehraufwand für den Unterhalt zu rechnen. Mittelfristig sind auch bestehende Bauwerke (z. B. Brücken, Strommasten) in Gefahr.



**Abbildung 2.1** Lech – Uferanbruch bei Fkm 33,5 – ehemaliger Böschungsfuß (rot)

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die über Jahrtausende geschaffene geologische Struktur binnen weniger Jahrzehnte durch verschiedene anthropogene Einflüsse eine einschneidende Veränderung erfahren hat.

**Tabelle 2.1 Abstände zur Oberkante der Tertiärschicht in Metern**

<b>Fkm</b>	<b>1996</b>	<b>1999</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>
22,2	1,71	0,94	0,92	0,91
23,0	4,48	4,32	4,24	3,75
24,0	3,35	2,63	3,54	2,49
26,0	-0,53	0,03	-0,19	-0,37
27,0	1,45	1,66	2,41	1,68
28,0	-0,25	-0,02	-0,62	-1,29
29,0	0,73	0,44	0,17	-0,49
31,0	0,07	0,34	1,38	0,34
32,4	0,19	0,16	0,20	1,22
33,6	-0,14	0,73	0,83	1,17
36,6	2,16	2,32	2,42	2,67
48,2	0,31	-0,27	-0,82	-0,59
49,6	1,25	0,77	0,68	0,47
50,6	7,11	7,27	6,35	6,70

**Anmerkung:** Südlich von Augsburg sind Anzahl und Dichte an geologischen Aufschlüssen bzw. Probebohrungen sehr gering. Mit Hinblick auf die geplanten morphodynamischen Simulationen sind detaillierte Bodengutachten erforderlich, um die Modellierung hinreichend exakt durchführen zu können.

### 2.3 Hydraulik

In beiden Untersuchungsabschnitten stehen jeweils die Messdaten einer Pegelmessstation zur Verfügung. Für den Abschnitt 1 wird der Pegel bei Augsburg unterhalb der Wertachmündung (Fkm 38,6) herangezogen und für den Abschnitt 2 die Pegelmessstelle Haunstetten (Fkm 50,4). Die hydraulische Gesamtsituation (Abflussscharakteristik, Hochwasserverhalten) wurde durch die Korrektionsmaßnahmen deutlich verändert. Ursprünglich stand dem Lech im Mittel- und Unterlauf ein weit ausuferndes Gerinnenetz zur Ableitung des Hochwassers zur Verfügung. Große Ausuferungsflächen wirkten als natürlicher Retentionsraum und verteilten den Hochwasserabfluss über mehrere Hundert Meter Breite. Die Beanspruchung auf die Sohle konnte so gering gehalten werden. Mit der Einengung des Flussbetts kam es zu einer Konzentration des Abflusses auf das Korrektionsbett. In Folge führte dies zu einer Beschleunigung des Abflusses und einer Aufsteilung der Hochwasserwelle.

Ein Teil der verloren gegangenen natürlichen Retention wird heute zu Tage hauptsächlich durch den steuerbaren Forggensee ausgeglichen. Intelligente Steuerungsverfahren im Hochwasserfall sind in der Lage, den zur Verfügung stehenden Retentionsraum optimal zu nutzen. Unabhängig davon offenbaren die Aufzeichnungen eine Zunahme von Extremereignissen in den letzten Jahren. Hochwasserspitzen können zwar gedämpft oder gar zeitlich etwas verschoben werden. Jedoch besteht auch zukünftig die Gefahr, dass im Nachgang von Extremniederschlagsereignissen enorme Abflussmengen den Lech abfließen. Dabei läuft der größte Teil des Hochwassers in einem zu engen Korrektionsbett ab und verursacht Erosionen mit Sohleintiefungen als Folgeerscheinungen.

### 2.3.1 Hochwassersicherheit

Für die Bemessung von Hochwasserschutzanlagen sind rechtlich vorgegeben die Abflusswerte  $HQ_{100}$  maßgebend. Für den Abschnitt 1 gilt als Bemessungshochwasser ein  $HQ_{100}$  von  $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dieser Wert errechnet sich aus dem Pegel Augsburg unter der Wertachmündung mit einem  $HQ_{100} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$  abzüglich des Abflusses, der über den Lechkanal abgeführt wird. Der Lechkanal ist auf ein  $Q_A$  von  $120 \text{ m}^3/\text{s}$  ausgebaut. Während der morphologisch interessanten Phase eines Hochwassers verlegt sich der Ausleitungsquerschnitt zum Lechkanal teilweise mit ankommendem Geschiebe. Zur Berücksichtigung dieser Leistungsminderung wird der Abfluss über dem Lechkanal im Hochwasserfall zu  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen. Der Pegel Haunstetten befindet sich direkt im Abschnitt 2 und fließt somit unverändert als Bemessungsgröße in die Berechnungen mit ein. Das  $HQ_{100}$  für den Abschnitt 2 ist mit  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  angesetzt.

### 2.3.2 Sohlstabilität

Für die Bewertung der Sohlstabilität ist der kritische Abfluss, ab dem der Erosionsvorgang beginnt, zu ermitteln. Die aktuell vorhandene Sohle in ihrer vorliegenden Erscheinungsform und –gestalt ist ungefähr bis zu einem Abfluss von  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  stabil. Bei steigendem Abfluss setzen zunehmend Erosionsprozesse ein. Im Zusammenhang mit der Fragestellung nach den möglichen Erosionsvolumina ist vor allem die Überschreitungsdauer und Intensität des Abflusses von Interesse.

Bei der Frage des festzulegenden Stabilitätsabflusses zur Begrenzung der Sohlerosion bietet die Literatur keine eindeutigen Empfehlungen. Die Einflüsse und Auswirkungen sind derart vielschichtig und schwierig zu quantifizieren, dass eine rein analytische Herleitung ausscheidet. Eine Auswertung bereits ausgeführter Projekte ähnlichen Typs zeigt, dass der Stabilitätsabfluss in den meisten Fällen im Bereich von  $HQ_1$  bis  $HQ_5$  gewählt wurde. Im Rahmen dieser Untersuchung soll verdeutlicht werden, welche Auswirkung die Wahl eines entsprechenden Abflusses auf den Ge-

schiebehaushalt des Lechs hat. Unterhalb des kritischen Abflusses befindet sich die Sohle Dank ihrer Abpflasterungsfähigkeit in einem stabilen Zustand. Oberhalb bricht die Sohlpflasterung auf und das Sohlmaterial wird erodiert.

Die Quantifizierung der Erosionsvolumina lässt sich mit Hilfe einer Kopplung der Geschiebetransportkapazität und der Abflussgrößen bewerkstelligen. Ein Blick in das gewässerkundliche Jahrbuch gibt Aufschluss über die bereits abgelaufenen Hochwasserereignisse. Aufgetragen in der Form einer Überschreitungsdauerlinie kann durch Kopplung mit einer Geschiebefunktion die Erosionsmenge errechnet werden. Die so errechneten Geschiebefrachten sind an das abgelaufene Abflussgeschehen gebunden. Die Geschiebefracht als quantitative Vergleichsgröße soll eine Bewertung der Wirksamkeit denkbarer Sanierungskonzepte ermöglichen. Zum Vergleich der konzeptionellen Entwürfe werden die Abtragsvolumina (aus der Untersuchungsstrecke ausgetragenes Geschiebe) mit den in den Jahren 1999 und 2005 abgelaufenen Hochwasserereignissen sowie der mittleren Hüllkurve aller aufgezeichneten Abflussjahre herangezogen. Die Überschreitungsdauerlinien (siehe Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3) werden als Eingangsgrößen für die nachfolgenden Geschiebefrachtberechnungen (siehe 3.6) benötigt.

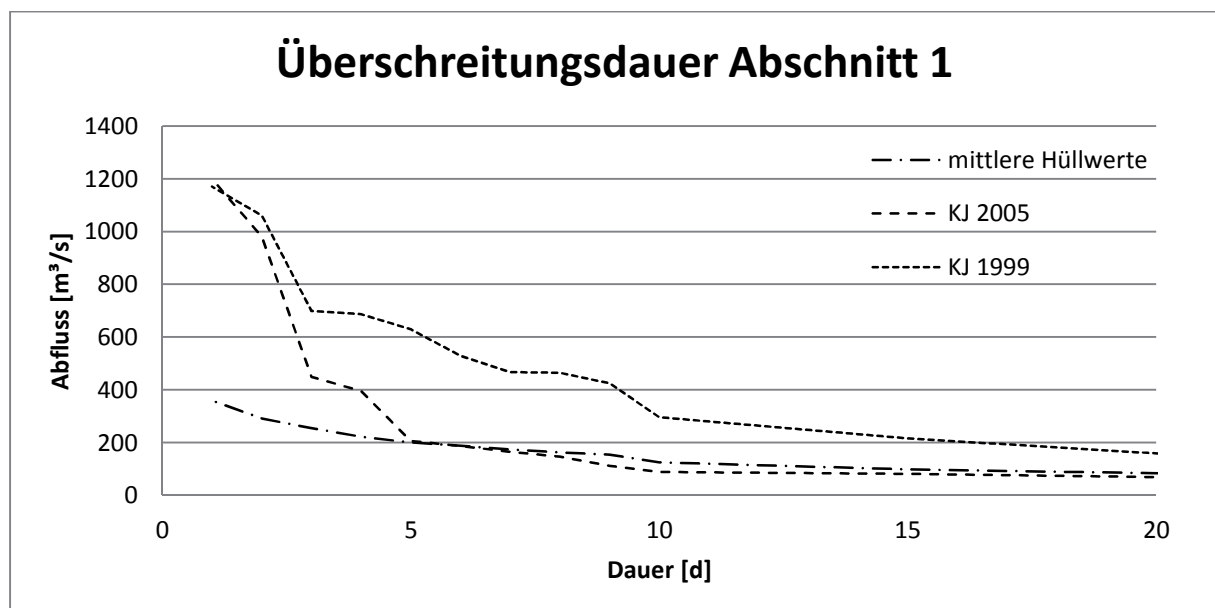


Abbildung 2.2 Überschreitungsdauerlinie – Abschnitt 1

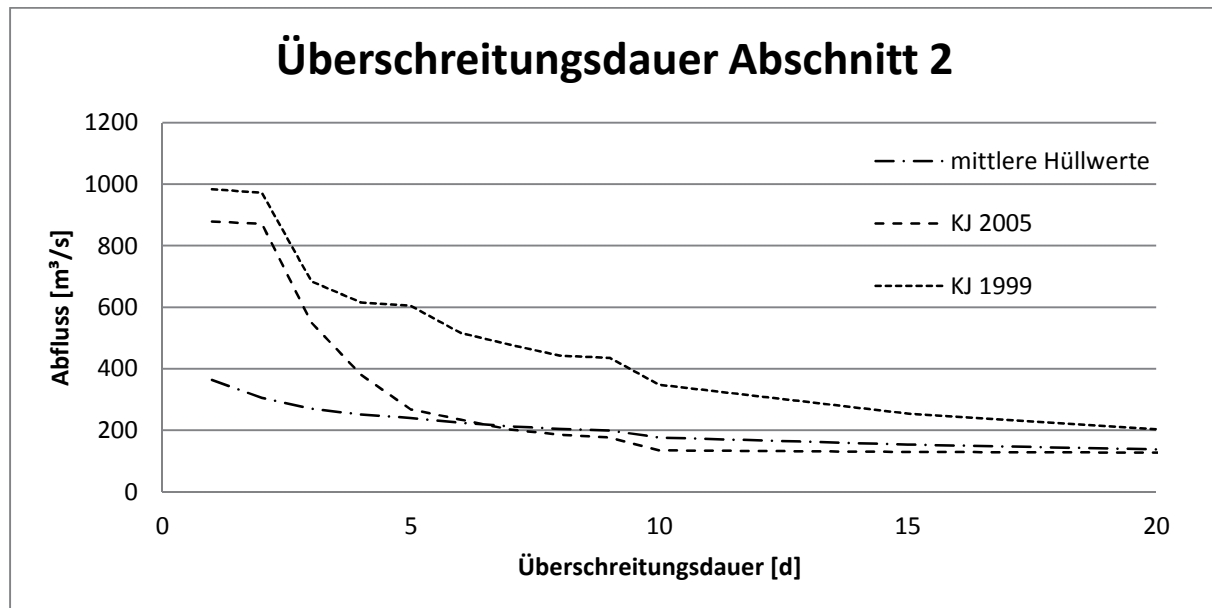


Abbildung 2.3 Überschreitungsdauerlinie – Abschnitt 2

## 2.4 WRRL

Die Bestandsaufnahme im Zuge der Wasserrahmenrichtlinie ordnet den Lech im Untersuchungsgebiet (Flusswasserkörper IL333, IL332 u. 432) den erheblich veränderten Fließgewässern zu. Die Gewässergüte im Untersuchungsbereich ist Güteklasse II, dies entspricht einer mäßigen Belastung. Der Trophiezustand für den Lech liegt im Bereich der Trophiestufe II (eutroph). (WWA Donauwörth, 2008 S. 6). Ziel der europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist es, die Gewässer in einen „guten Zustand“ oder das „gute ökologische Potential“ zu überführen.

### Lebensgemeinschaften

Heute ist die Flusslandschaft aufgrund der Korrektur und der energetischen Nutzung durch Monotonie geprägt. Das ursprünglich stark vernetzte Fluss-Auwald-Ökosystem wurde zunehmend entkoppelt. Die Auwälder entlang des Lechs mit ihrer früher differenzierten Gehölzstruktur gehen verloren. Der Wandel zur Einförmigkeit der Aue ist dem veränderten Hochwassergeschehen und absinkenden Grundwasserspiegel geschuldet. Röhrich- und Weichholz-Auestrukturen sind auf jährliche Ausuferungen sowie oberflächennahe Grundwasserstände angewiesen. Hochwasserereignisse, die zu Ausuferungen führen, sind heute zu Tage selten. Zudem sinkt im unmittelbaren Umfeld des Fließgewässers der Grundwasserspiegel als Reaktion auf die sich eintiefende Sohle. Die Weichholzaue verschwindet langsam und entwickelt sich zu einer Hartholzaue, die bis an die verbauten Ufer heran reicht.

Ein intaktes Auwald-Ökosystem ist durch Vielfalt von unterschiedlichsten Lebensräumen charakterisiert. Aquatische, amphibische und terrestrische Lebensräume sollten eng miteinander vernetzt sein und nahtlos ineinander übergehen. Der Lech

zeigt aktuell ein nur sehr lückenhaftes untereinander vernetztes System der einzelnen Lebensräume. Die Aufgabe, als naturraumübergreifendes Vernetzungselement zu wirken, kann der Lech im aktuellen Ausbauzustand nicht leisten.

## 2.5 Geschiebe

Im natürlichen Zustand wurde während eines Hochwasserereignisses das Geschiebe des Oberlaufs stromabwärts verfrachtet. Der permanente Geschiebestrom ermöglichte im Unterlauf großräumige morphodynamische Aktivitäten. Das Lechtal veränderte so mit jedem größeren Hochwasser sein Erscheinungsbild.

Die Geschiebehaushaltssituation heute ist grundlegend anders. Im Abschnitt 2, südlich von Augsburg, ist unterhalb der Lechstaustufe 23 mit keinem oberstromigen Geschiebeeintrag zu rechnen. Die Sättigung des im Hochwasserfall auftretenden Geschiebetransportpotentials ist nur durch Sohlerosion zu stillen. Im Abschnitt 1 stehen das stromauf bis zur Lechstaustufe mobilisierte Geschiebe so wie die Geschiebefracht der Wertach zur Verfügung. Eine genaue Aufschlüsselung der Geschiebezusammensetzung am Wehr Gersthofen, welche Anteile der Wertach bzw. dem Lech entstammen, ist nur schwer zu quantifizieren. Vor allem vor dem Hintergrund, dass in den letzten Jahren an der Wertach im Rahmen des Projektes Wertach vital umfangreiche Sanierungsmaßnahmen stattgefunden haben, welche große Mengen an Geschiebe freigesetzt haben.

Während des Transports des Geschiebes von den Alpen Richtung Donau nimmt der mittlere Korndurchmesser und somit auch der Erosionswiderstand ab. Ferner führt der Geschieberückhalt durch die Staustufenkette zu einer sich verändernden Sohlzusammensetzung (Bauer, 1979). Die exakte Zusammensetzung der Sohle lässt sich mittels Sieblinien beschreiben. Kennzahlen, gewonnen aus den Ergebnissen der Siebanalysen, bilden die Grundlage der zu durchzuführenden Stabilitätsberechnungen. Vor allem die Datengrundlage des Abschnitts 2 war eine lückenhaft und veraltete.

Daher trafen sich im April 2011 Vertreter des Wasserwirtschaftsamts Donauwörth, der Regierung von Schwaben, des Landesamtes für Umwelt und der Technischen Universität München zu einem gemeinsamen Ortstermin am Lech. Dieser diente der Abstimmung der Standorte zur Entnahme von Geschiebeproben. Hierbei bot sich die Gelegenheit den aktuellen Zustand in Augenschein zu nehmen. Auch nördlich von Augsburg im Bereich eines Uferabbruchs bei Fkm 33,5 sind Proben entnommen worden. Die Ergebnisse und exakten Probenstandorte sind in Abschnitt 3.4 dargestellt.

Nach Angaben des Wasserwirtschaftsamtes hat sich die Geschiebestruktur südlich von Augsburg mit dem so genannten Pfingst-Hochwasser 1999 augenscheinlich gravierend verändert. Deutlich wurde dies auch bei der Lechbegehung im Frühjahr

2011. Nur in ausgesprochen wenigen Bereichen im Fluss lässt sich eine Deckschicht ursprünglicher Korngröße finden. Vielerorts fehlt die natürlich schützende Deckschicht. Besonders eklatant stellt sich die Situation unterhalb der Schwelle 50,4 km dar. Dort ist faktisch keine schützende Sohlschicht (Sohlpanzerung) mehr vorhanden.

## 2.6 Querprofilaufnahmen

Zur Untersuchung der Sohleintiefungen standen Vermessungsdaten der Querprofilaufnahmen des Wasserwirtschaftsamtes und der LEW ab dem Jahre 1976 zu Verfügung. Die Daten wurden in Form einfacher Textdateien, welche zeilenweise die einzelnen Vermessungspunkte und notwendigen Zusatzinformationen enthielten, übermittelt. Im Rahmen der Untersuchung folgte eine Aufbereitung und Auswertung der Rohdaten. Tabelle 2.2 enthält eine Übersicht, welche Querprofilaufnahmen zur Verfügung standen.

**Tabelle 2.2 Übersicht der Vermessungsdatengrundlage**

Bereich	Messabstand	Jahr	Datenherkunft
17,2 bis 23,0	200 m	2009, 2005, 2001, 1995, 1990, 1986	LEW
22,2 bis 36,8	200 m	2010, 2006, 1999, 1998, 1996, 1993, 1990, 1986, 1984, 1976	WWA Don
47,0 bis 56,2	200 m und Zusatzaufnahmen vor und nach Schwellen	2010, 2006, 1999, 1998, 1996, 1993, 1990, 1986, 1984, 1976	WWA Don
38,65 bis 46,833	200 m und Zusatzaufnahmen vor und nach Schwellen	2010, 2006, 1999, 1996, 1993, 1986	WWA Don

Ab 1990 liegen nahezu alle Informationen georeferenziert in Landeskoordinaten vor. Weiter zurückliegende Daten sind zum Teil auch in Form lokal referenzierter Koordinaten vorhanden. Die Ursache einzelner Fehlstellen in den Vermessungsreihen ist auf Hochwasserereignisse zurückzuführen, welche Vermessungspunkte unauffindbar machten oder gar vollständig zerstörten.

Im Abschnitt 1 liegen sowohl Aufnahmen der LEW als auch des WWA Donauwörth vor. Die Kartierungen in diesem Bereich erfolgten in einem Regelabstand von 200 m.



Schwierigkeiten im Zuge der späteren Auswertung bereitet der zeitliche Versatz der Aufnahmen. Die sich räumlich überlappenden Teilbereiche wurden von der LEW und dem WWA mit einem zeitlichen Abstand von ca. 1 Jahr vermessen. Eine direkte Kopplung ist in Folge dessen nicht möglich. Im Abschnitt 2 standen ebenfalls in einem Raster von 200 Metern Querprofilaufnahmen zur Verfügung. Darüber hinaus wurde im Umgriff der Sohlenbauwerke die Bestandsaufnahme um zusätzliche Profilaufnahmen stromauf und –ab im Nahbereich der Stützswellen ergänzt. Die notwendigen Stammdaten für die Querprofilauswertungen waren im gelieferten Datenpaket enthalten. Ergänzend wurden Querprofilaten für den Innenstadtbereich von Augsburg geliefert. Dieses Gebiet liegt zwar außerhalb des Untersuchungsraums, es muss dennoch in die Konzeptionen und Überlegungen mit einbezogen werden. Zumal als Schnittstelle fungierend die Abschnitte 1 und 2 durch den Stadtbereich verbunden sind.

## 2.7 Baukostenzahlen

Die konzeptionell zu entwickelnden Sohlstabilisierungsmaßnahmen sind unweigerlich mit baulichen Maßnahmen verbunden. Um eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Baukosten treffen zu können, wurden Preise aus aktuellen Bauprojekten des WWA angefragt. Über die benötigten geschätzten Flächen lässt sich ein ungefährer Kostenrahmen ermitteln. Dieser Kennwert bietet eine Hilfestellung, die unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses besser beurteilen zu können.

**Tabelle 2.3 Baukostenzahlen ermittelt aus aktuellen Projekten**

Bauwerk / Leistung	Spezifische Kosten
Rampen $\Delta h$ bis 0,5m	90 €/m <sup>2</sup>
Rampen $\Delta h > 0,5m$	105 €/m <sup>2</sup>
Offenes Deckwerk Einbau	3 €/m <sup>2</sup>
Offenes Deckwerk Wasserbausteine (LMB 10/60 - Dolomit)	20 €/t
Ufersicherung für Bereiche mit offenem Deckwerk	20 €/m <sup>2</sup>

### **3 Datenaufbereitung**

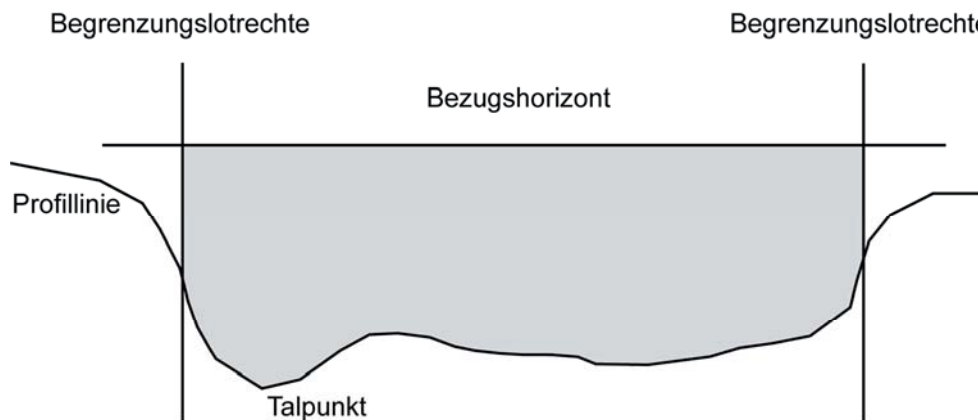
Nachfolgend findet sich eine umfassende Aufbereitung aller für die Beurteilung der Sohlstabilität ausschlaggebenden Parameter. Des Weiteren sind ergänzend Informationen und Daten, die als Grundlage für die später noch folgende konzeptionelle Entwicklung dienen, ausgeführt.

#### **3.1 Sohlentwicklung**

Die Sohle des Lechs tieft sich seit Jahrzehnten ein: dies ist aus verschiedenen vorangegangenen Untersuchungen (Bauer, 1979) (Englisch, 1997) (Grünzner, 2007) bereits bekannt.

Zur Fortschreibung der morphologischen Voruntersuchung aus dem Jahre 2007 (Grünzner, 2007) mussten die gelieferten Querschnittsdaten aufbereitet werden. In der vorangegangenen Untersuchung wurden die Daten im Q41-Datenformat bereitgestellt. Dieses ermöglichte eine direkte Entnahme der Querschnittsflächen, der mittleren Sohlage und der Talwege. Im Gegensatz dazu standen für die aktuellen Untersuchungen die Vermessungsdaten in Rohform zur Verfügung. Eine direkte Kenngrößenentnahme ist somit nicht möglich, so dass die Notwendigkeit bestand, für jedes Querprofil die notwendigen Berechnungen einzeln auszuführen. Mittels eines Excel-Programms konnte die Auswertung der Vermessungsdaten hinsichtlich der Querschnittsflächen, mittleren Sohlagen und des Talwegs teilautomatisiert werden.

Die Berechnung der Querschnittsfläche erfolgt, in dem die Profillinie zwischen der linken und rechten Begrenzungslotherechten auf Basis des Querschnittshorizonts integriert wird. Sowohl die Lage der Begrenzungslotherechten, als auch die Höhe des Querschnittshorizonts ist in der Stammdatendatei abgelegt. Die mittlere Sohlage errechnet sich als Quotient aus der Querschnittsfläche und dem Abstand der Begrenzungslotherechten. Der Talweg ist als der tiefste Punkt einer Querprofilaufnahme definiert. Diese Information ist hinsichtlich der Bewertung eines möglichen Sohldurchschlags von Interesse.



**Abbildung 3.1** Querprofilauswertung

Die quantitative Sohlentwicklung errechnet sich aus den Querschnittsflächenänderungen multipliziert mit der dazugehörigen Einflusslänge. Die einzelnen Änderungsvolumina der Reihe nach aufsummiert ergibt die Summenlinie. Aufgetragen in einem Diagramm lassen sich Auflandungs- oder Eintiefungstendenzen erkennen.

Für die Validierung des Excel-Programms dienten Geschiebe-Summenlinien. Die Validierung erwies sich als äußerst schwierig, da die aus den Stammdaten entnommenen Begrenzungslotherechten teilweise außerhalb der Profilaufnahme zu liegen kamen. Eine Begutachtung aller Querprofile brachte die Erkenntnis, dass teilweise Profilaufnahmen desselben Flusskilometers aus unterschiedlichen Jahren relativ auf der x-Achse verschoben waren. Eine korrekte Ermittlung der Querschnittsfläche und mittleren Sohlage ist somit unmöglich. Die Korrektur der Relativverschiebung erfolgte, indem für die jeweilig betroffenen Jahre die Begrenzungslotherechten um ein gleiches Versatzmaß, wie es auch zwischen den Profilaufnahmen festzustellen war, verschoben wurden. Zur Wahrung der Vergleichbarkeit sind sowohl die linken als auch rechten Begrenzungslotherechten mit gleichen Offset-Werten verschoben worden. Darüber hinaus wurde bei der Durchsicht aller Querprofile deutlich, dass einzelne Begrenzungslotherechten notwendigerweise verschoben werden mussten, um die Flussbettentwicklung sämtlicher Jahre richtig zu erfassen. Seitenerosionserscheinungen und Uferabbrüche verlangten eine Aufweitung der Begrenzungslotherechten.

**Anmerkung:** Besonders ungünstig wirken fehlerhaft gesetzte Begrenzungslotherechten im Fall eines Uferabbruchs. Sind die bestehenden Begrenzungslotherechten auf das Korrektionsbett zugeschnitten und tritt im Versagensfall eine lokale Aufweitung ein, kann diese in der Bilanzierung nicht berücksichtigt werden. Landet weiter stromab das Material noch in der Beobachtungsstrecke auf, so ergibt die Bilanzierung ein völlig falsches Bild. An Stelle der tatsächlich stattfindenden Umlagerung scheint es, als würde der Fluss zur Auflandungstendenz neigen. Die zur Berechnung verwendeten korrigierten Stammdaten sind als Anhang beigefügt (Anhang 1); dort sind alle notwendigen Anpassungen vermerkt. Mit den überarbeiteten Stammdaten konnten die

Ergebnisse qualitativ und quantitativ deutlich verbessert werden. Der Datensatz der Profilaufnahmen enthielt einige wenige Fehlstellen, welche durch entsprechende Mittelwertbildung aus vorangegangenen und nachfolgenden Jahren gebildet wurden oder durch Nullsetzung unberücksichtigt blieben. Sofern keinerlei Informationen über die Profilgestalt vorlagen wurde auch dies in der Übersicht zu den Stammdaten vermerkt.

Die Auswertung des Abschnitts 1 gliedert sich in zwei Teilbereiche.

Der Teilbereich 1 läuft von Fkm 17,2 bis 22,0. In Abbildung 3.2 sind die dem Teilbereich 1 zugehörigen Summenlinien dargestellt. Einzelne Abschnitte der Summenlinien weisen mitunter steile Gradienten auf. Die „negativen“ Steigungen der Summenlinien im Bereich von Fkm 19,0 bis 22,0 sind verursacht durch die Unterhaltsbaggerungen des Stauraums Ellgau. Die massive Sohleintiefung stromauf der Staustufe bis etwa Fkm 19,6 im Zeitraum von 1995 bis 2001 wurde durch eine Stauraumspülung während des Hochwassers 1999 herbeigeführt. Die vom Betreiber des Kraftwerks Ellgau in regelmäßigen Abständen durchgeführten Stauraumbaggerungen legen die Vermutung nahe, dass der Lech in diesem Abschnitt zur Auflandung neigt. Gestärkt wird diese Vermutung durch die Tatsache, dass in den Summenlinien, abgesehen von dem Einfluss der Baggerungen und des Hochwassers, durchwegs Auflandungen festzustellen sind. Eine konkrete Sohleintiefungsgefahr für diesen Teilbereich besteht nicht. Sohlstabilisierungsmaßnahmen in diesem Teilbereich sind somit nicht erforderlich.

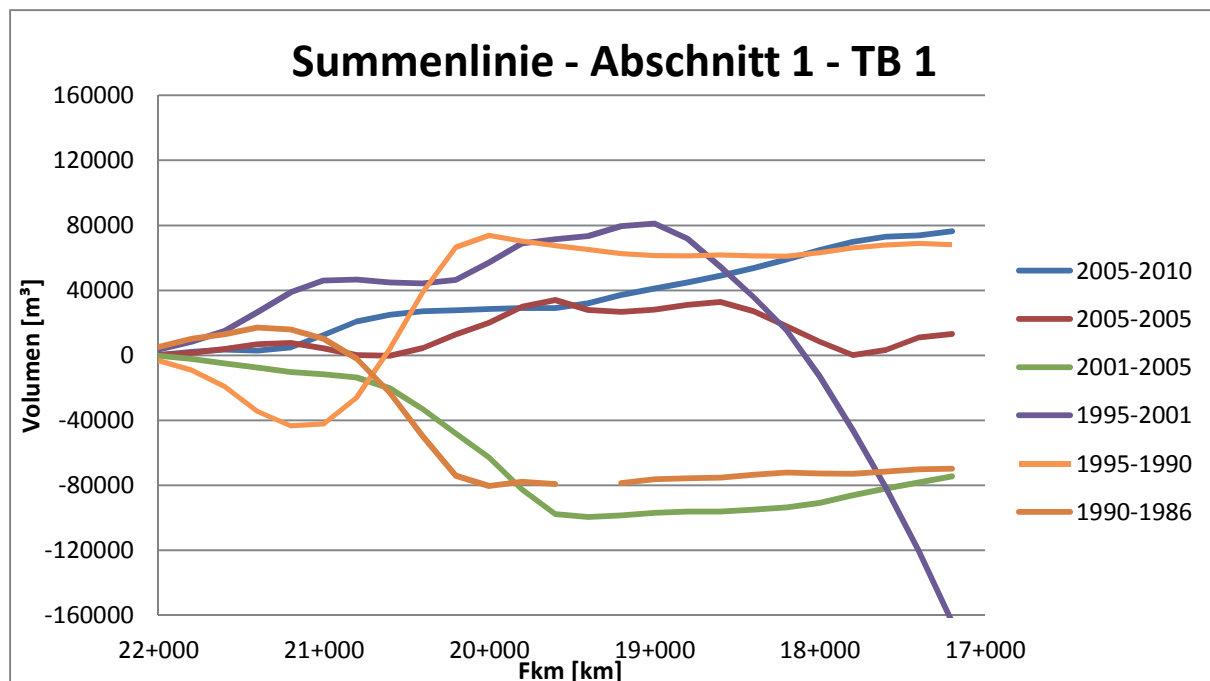


Abbildung 3.2 Summenlinie – Abschnitt 1 – Teilbereich 1

Der Teilbereich 2 erstreckt sich von Flusskilometer 22,2 bis 36,8. Der Fluss pendelt ab Flusskilometer 30,0 seit 1993 relativ konstant um eine Gleichgewichtslage (horizontaler Verlauf der Summenlinie). Dieser ausgeglichene Entwicklungstrend (nördlich von Augsburg) ist zu großen Teilen auch den in 2000 begonnenen Sanierungsmaßnahmen an der Wertach mit einer erheblichen Geschiebemobilisierung und einem Materialeintrag durch die Baumaßnahmen zuzuschreiben. Die leicht nach unten abknickenden Enden der Summenlinien für die Jahre 1993 – 1999 sind auf Stauraumausbaggerungen zurückzuführen. Für die anderen Jahre zeigt sich am rechten Rand der Summenlinie eine entgegen gesetzte Entwicklung, eine Auflandung. Die Stauwurzel der Staustufe Ellgau liegt folglich im Bereich um Flusskilometer 22,0. Im ersten Drittel des Teilbereichs 2 zeigen sich die deutlichsten Sohlaktivitäten. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass die Wertach kurz oberhalb des Abschnitts 1 in den Lech mündet. Das im Hochwasserfall enorme Geschiebepotential der Wertach prägt den Geschiebehaushalt des Lechs unterhalb Augsburgs maßgeblich. Das Geschiebedargebot der Wertach war in den letzten Jahren im Zusammenhang mit den Stabilisierungsmaßnahmen im Projekt Wertach Vital stark erhöht. Die enormen Geschiebemengen, die im Zuge der Baumaßnahmen freigesetzt wurden, ermöglichten dem Lech eine Auflandungstendenz. Die Summenlinie 1999 bis 2006 ist in Anbetracht der an der Wertach durchgeführten Baumaßnahmen als nicht repräsentativ zu werten. Viel eher ist davon auszugehen, dass durch diesen Einfluss die Eintiefungstendenz des Lechs verschleiert wird.

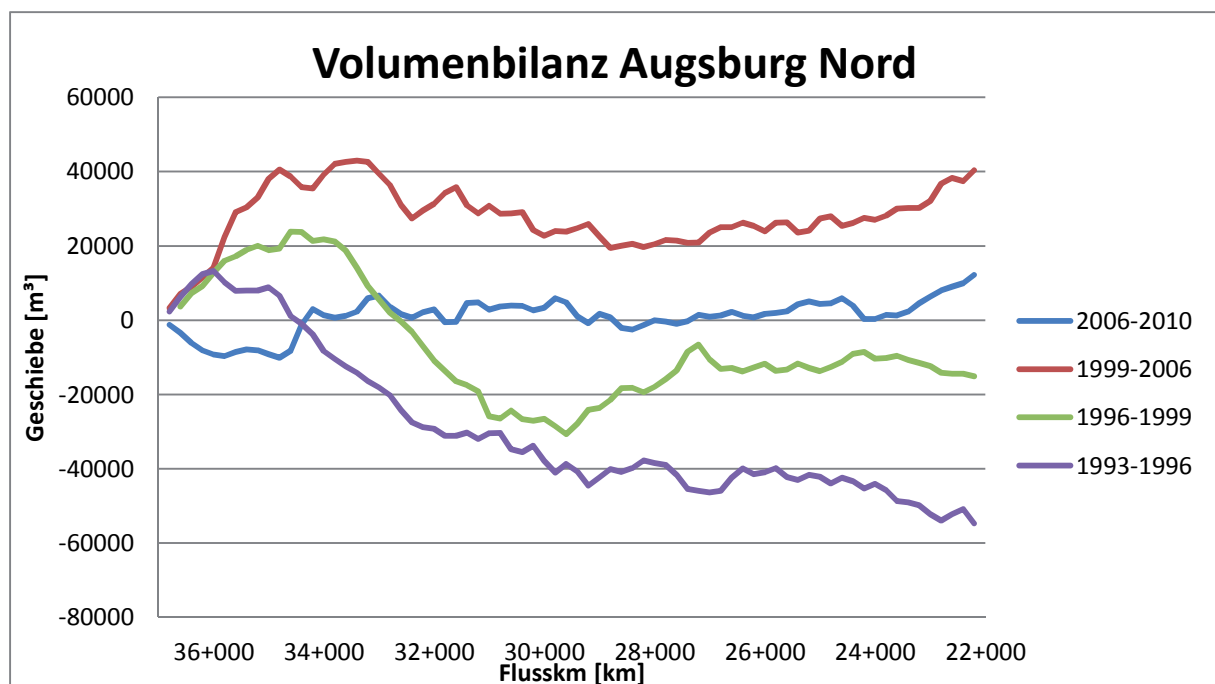
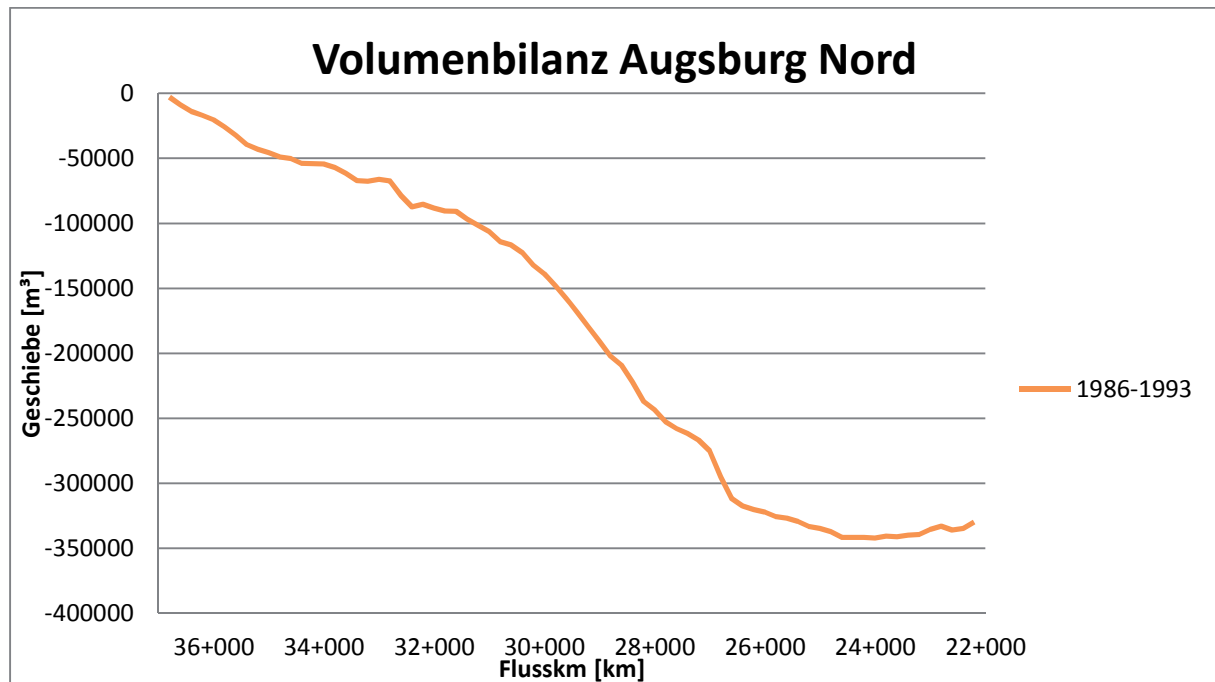
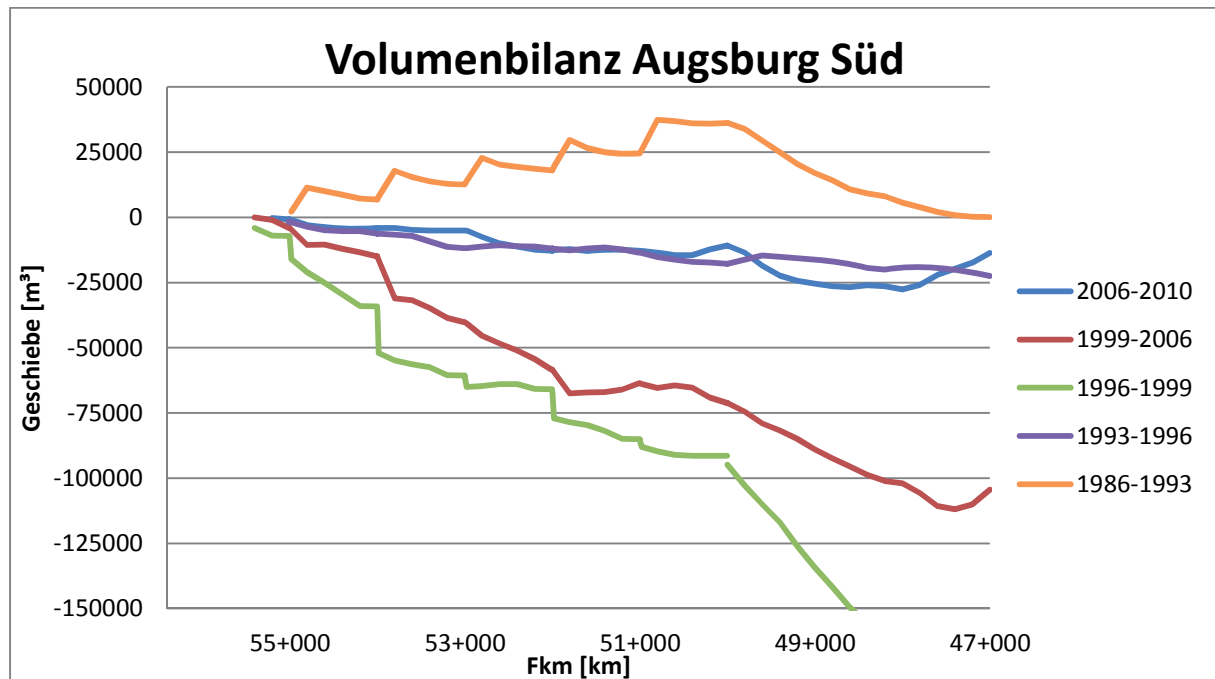


Abbildung 3.3 Summenlinie – Abschnitt 1 – Teilbereich 2



**Abbildung 3.4 Summenlinie – Abschnitt 1 – Teilbereich 2 (1986-1993)**

Die Auswertung der mittleren Sohlage für den Teilbereich 2 zeigt eine leichte Eintiefungstendenz am oberen Rand des Untersuchungsabschnitts. Für den übrigen Bereich ist keine eindeutige Entwicklungstendenz zu erkennen. Die Sohle pendelt um eine Gleichgewichtslage. Für eine Prognose hinsichtlich der Entwicklungstendenz ist zu bedenken, dass zukünftig mit keinem Geschiebeeintrag als oberstromige Randbedingung mehr zu rechnen ist. Unter Annahme eines vollständig zum Erliegen gekommenen Geschiebeeintrags verändert sich der Geschiebehaushalt völlig. Die Sättigung des bestehenden Geschiebepotentials würde ohne weitere Gegenmaßnahmen auch zukünftig allein durch die Sohlerosion getragen werden müssen. Unter diesen Umständen ist in Zukunft mit deutlich erhöhten Erosionsraten zu rechnen. Die schon schwer geschädigte Sohldeckschicht ist in Gefahr, binnen kürzester Zeit vollständig erodiert zu werden. Großflächige Sohldurchschläge und weitreichende Uferanbrüche wären die Folgen.



**Abbildung 3.5 Summenlinie – Abschnitt 2**

Im Abschnitt 2 erfolgt die Auswertung von Flusskilometer 47,4 bis 55,8. In diesem Bereich sind sechs Schwellen zur Sohlstützung eingebaut. Im Nahbereich der Schwellen kommt es in Folge sprunghafter Veränderungen der Querprofilgeometrie zu sprunghaften Veränderungen der Summenlinien. In den Jahren 1986 bis 1993 findet kurz unterhalb der Schwellen eine Auflandung statt: dies ist auf Unterhaltmaßnahmen zur Bauwerkssicherheit (Auffüllung der Kolkbereiche) zurück zu führen. Bei genauer Betrachtung wird deutlich, dass in den Fließstrecken zwischen den Schwellen die Summenlinie 1986 - 1993 ein „negatives“ Gefälle vorhanden ist. Die Summenlinien aller anderen Jahre weisen nahezu durchgängig ein „negatives“ Gefälle auf. Im gesamten Abschnitt findet eine kontinuierliche Sohlerosion statt. Im Bereich flussabwärts des Flusskilometers 50,4 zeigt sich bei nahezu allen Summenlinien ein steilerer Abfall. Diese Strecke gilt als besonders problematisch. Das Korrektionsgefälle ist zu steil, und zusätzlich verursacht die Sohlschwelle 6 in Folge fehlender Energieumwandlung großräumige Erosionen.



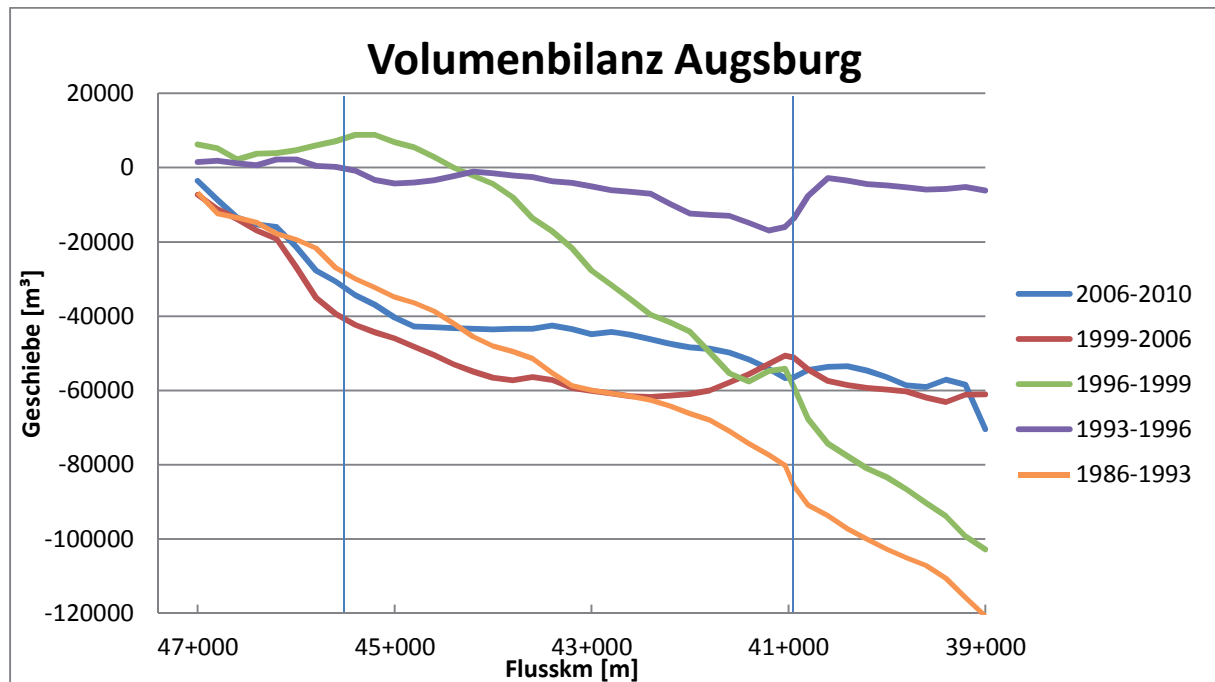


Abbildung 3.6 Summenlinie – Stadtbereich Augsburg

Ergänzend wurde auch der Bereich innerhalb Augsburgs von Fkm 39,0 bis 47,0 auf die Entwicklung der Sohlage hin untersucht. Als Fragestellung galt es zu beantworten, ob der Lech im Stadtbereich etwa eine Auflandungstendenz aufweist. Den Auswertungen ist eine derartige Entwicklung nicht zu entnehmen. Im Gegenteil, dieser Flussabschnitt neigt zu einer deutlichen Eintiefung mit all ihren Folgen. Im Hinblick auf die seitlich begrenzende und auch kreuzende Infrastruktur besteht ein sehr hohes Schadenspotential. Auswirkungen und Folgen für den Stadtbereich sind bereits bei einer Sanierung des Lechs südlich von Augsburg zu bedenken. Ein entkoppeltes Vorgehen könnte hier langfristig zu massiven Problemen und immensem finanziellen Sicherungsaufwand führen.

Ein mögliches Szenario: Der Lech südlich von Augsburg wird ausgebaut und die Sohle stabilisiert. So käme es ohne weitere Geschiebemobilisierung durch Seitenerosion oder Geschiebezugabe zu einem verminderten Geschiebeeintrag für den Bereich Augsburg. Bleibt die Hydraulik im Stadtbereich unverändert, so würde hier nach wie vor eine beachtliche Geschiebetransportkapazität herrschen. Dies hätte eine Zunahme der Sohleintiefung zur Folge. Konzeptionell sollte ein Lückenschluss zumindest mittelfristig angestrebt werden.

### 3.2 Sohldurchschlag

Schrumpft die schützende quartäre Sohlschicht auf ein kritisches Maß (in der Fachwelt gilt als Faustregel mindestens 1 m Restkiesauflage für jeden Sohlpunkt), so steigt die Wahrscheinlichkeit rapide an, dass während eines Hochwasserereignisses

ein Sohldurchschlag auftritt. Bei Erreichen der tertiären Schichten ist mit einer massiven Zunahme der Erosionsrate zu rechnen. Ein nicht zu unterschreitendes Maß für die Mindeststärke einer sicheren quartären Auflage für ein mittleres Hochwasser liegt zwischen 0,75 und 1,0 Metern. Lokal kann es unter strömungsungünstigen Umständen trotzdem zu kurzzeitigen kleinflächigen Sohldurchschlägen kommen. Kleinflächige Durchschläge werden, solange ausreichend Verfüllmaterial zur Verfügung steht vom Fluss selbst geheilt. (Englisch, 1997)

Geologische Aufschlussbohrungen ermöglichen eine grobe Abschätzung des Gefährdungspotentials hinsichtlich eines möglichen Sohldurchschlags. Für den Abschnitt 1 stehen 10 Bohrprofile, entnommen im Flussbettbereich, zur Verfügung. In Tabelle 2.1 ist die Differenz zwischen dem Talpunkt und der tertiären Oberkante berechnet. Die Bewertung der einzelnen Werte ist äußerst schwierig, da die zu Grunde liegende Datenbasis einen zu geringen Umfang aufweist. Unter Berücksichtigung des geologischen Entstehungsprozesses ist eine einfache lineare Approximation in Fließrichtung mit dem Ziel, zusätzliche Stützpunkte zu generieren, als unzureichend zu bewerten. Die Komplexität des geologischen Aufbaus (insbesondere eine hohe Reliefdynamik der Tertiäroberkante, vgl. umfangreiches beidufriges Bohrprogramm entlang der Salzach im Freilassingener Becken) könnte mit Hilfe dieser einfachen Betrachtungen nur sehr ungenügend berücksichtigt werden.

Für den Abschnitt 2 ist die Datengrundlage noch geringer. Lediglich drei Aufschlussbohrungen liegen im Untersuchungsgebiet. Der geologische Aufbau dessen lässt sich somit nur schwer abzuschätzen. Im Bereich oberstrom des Flusskilometers 50,6 liegt wahrscheinlich eine massive quartäre Auflage vor. Unterhalb der Sohlschwelle 6 liegt die derzeitige Sohle hingegen bereits gefährlich nahe am Tertiär. Im Kolkbereich der Sohlschwelle 6 treten bereits deutlich erkennbar tertiäre Schichten zum Vorschein.



**Abbildung 3.7 Tertiär**

### **3.3 Grundwasser**

Das Ökosystem Auwald ist auf relativ hohe im Nahbereich des Fließgewässers befindliche Grundwasserstände angewiesen. Die Entwicklung des Lechs der letzten Jahrzehnte bewirkte außerhalb der Bereiche mit sohlstützenden Maßnahmen wie auch dem Kraftwerksbau und der Stützschwelen oberhalb Fkm 50,4 sukzessive eine Absenkung des Grundwasserspiegels. Besonders im Uferbereich sind die Abstände der Geländeoberkante zum Grundwasser spürbar angewachsen, was sich in einer massiven Umstrukturierung der Flora widerspiegelt.

#### **Situation südlich Augsburg**

Die Grundwasserqualität und -quantität südlich von Augsburg ist für die Trinkwassergewinnung der Stadt Augsburg von essentieller Bedeutung. Einer massiven großflächigen Grundwasserabsenkung ist aus Sicht der Versorgungssicherheit entgegenzuwirken.

Auf sehr eindrückliche Weise sind an der Schwelle 50,4 im Unterwasserbereich seitlich Grundwasserzuströme in Form kleiner Quellen zu beobachten. Im Nahbereich der Schwelle 50,4 standen keine Messdaten zur Verfügung. Pegelstände nahegelegener Grundwassermessstellen (stromab der Schwelle 50,4 und orographisch auf der linken Seite gelegen) protokollieren eine kontinuierliche Absenkung des Grund-

wasserstandes mit teils starken Schwankungen. Die eingangs geäußerte Vermutung weitreichender Grundwasserabsenkungen in Folge der Sohleintiefungen kann nicht bestätigt werden. Beispielsweise berechnet sich die Sohleintiefungsrate im Querschnitt des Fkm 49,6 zu ca. 6,5 cm/a. Hingegen stellt sich am Grundwassermesspegel 7004 eine jährliche Absenkrate von 0,64 cm/a ein. Eine Gesetzmäßigkeit zwischen Grundwasserabsenkung und Sohleintiefung lässt sich nicht erkennen. Der Grundwasserstrom wird im Wesentlichen durch die Grundwasserverhältnisse der Lechterrasse bestimmt.

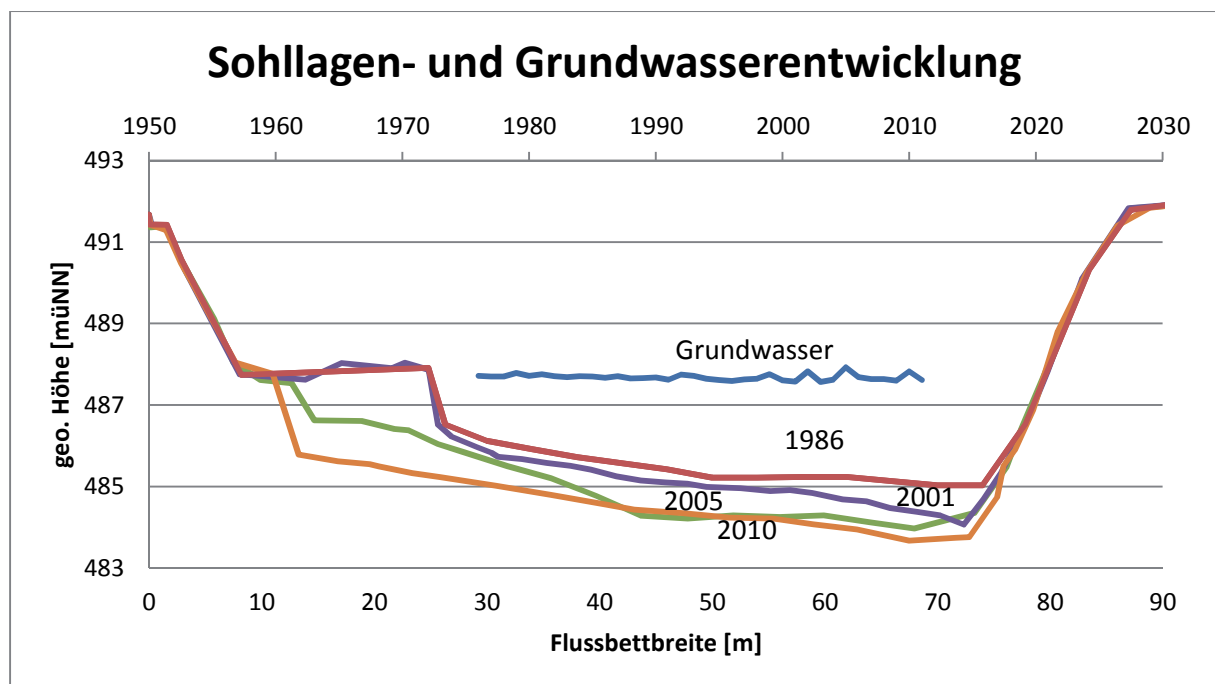


Abbildung 3.8 Sohllagen- (1986 – 2010) und Grundwasserentwicklung (1975 – 2010) bei Flusskilometer 49,6

Eine weitreichende, im hohen Maße stattfindende Grundwasserabsenkung als Folge der enormen Sohlerosionen kann an Hand der zur Verfügung gestandenen Daten nicht bestätigt werden. Inwiefern die Grundwasserabsenkungen Probleme in der Trinkwassergewinnung bereiten oder auch die Bewertung der Auswirkungen auf die Auwaldstruktur, das zu beurteilen obliegt den entsprechenden Fachbehörden und -gremien. Im Umkehrschluss bedeutet eine Sohlaufhöhung aber auch, dass mit primär lokalen Auswirkungen zu rechnen sein wird. Weitreichende Grundwasseränderungen sind ausgehend von dem derzeitigen Stand kaum zu erwarten.

### Situation nördlich von Augsburg

Die Trinkwassergewinnung spielt in diesem Bereich nicht die gewichtige Rolle wie im Bereich der Strecke 2. Der Fokus liegt hier neben der Sohlstabilisierung und der Verbesserung des ökologischen Zustandes im Ziel der Auwaldrevitalisierung. Messdaten

im Gebiet befindlicher Grundwassermessstellen standen für diesen Abschnitt nicht zur Verfügung.

Anmerkung: Im unmittelbaren Nahbereich des Flusses ist mit einer Grundwasserabsenkung zu rechnen, die sich größenordnungsmäßig im Bereich des Sohlabtrags bewegen wird. Dem Übergangsbereich zwischen Fluss und Aue kommt im Öko-Auwaldsystem eine ganz besondere Rolle zu. Er verknüpft den aquatischen und terrestrischen Lebensraum mit einer Vielzahl unterschiedlichster Lebensräume. Besonders sensibel reagiert er auf etwaige Änderungen des Wasserstandes. Die eingetretene Eintiefung ließ den Übergangsbereich verarmen. In beiden Untersuchungsabschnitten sind Übergangsstrukturen nur noch sehr vereinzelt vorhanden.

### **3.4 Geschiebekenngrößen**

Informationen über die Kornfraktionen, gewonnen aus Siebanalysen, dienen der Bestimmung der Sohlstabilität und von Transportraten. Der Lech dessen Flussbett sich im Untersuchungsbereich in einem glazialen Schotterbett bewegt und von einer oberstromigen Geschiebezufuhr abgeschnitten ist, kann zukünftig nur noch auf die eiszeitlichen Ablagerungsreserven zurückgreifen. Die Option besteht, die urzeitlich verfrachteten Geschiebevorkommen zu nutzen. Allerdings ist der zukünftige Geschiebehaushalt an die begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen anzupassen. In den Betrachtungen des flussmorphologischen Verhaltens von Bauer aus dem Jahre 1979 findet sich eine Zusammenstellung von Ergebnissen durchgeführter Siebanalysen. Sowohl der mittlere Korndurchmesser  $d_m$  als auch die Siebfraktion  $d_{90}$  weisen für die unterschiedlichen Jahre 1924, 1959 und 1965 teilweise deutliche Sprünge auf.

Am Hochablass zeigen sich Unterschiede von bis zu 20 % für die  $d_{90}$ -Siebfraktion, in der Ausleitungsstrecke sind sogar 25 % Abweichung festzustellen. Die Siebanalysen früherer Zeiten stammen ausschließlich aus Proben der Grundsicht. Aktuellere Untersuchungen differenzieren zwischen Deck- und Grundsicht. Betreffend die Deckschichtbildung gilt nach Müller (1944) - (Schöberl, 1981)

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)} > 1,35$$

Schöberl hat seinerzeit das Deckschichtkriterium  $\sigma_g > 1,35$  auf die Verhältnisgrößen

$$\frac{d_{90}}{d_{50}} > 1,55 \text{ und } \frac{d_{mGS}}{d_{50}} > 1,05$$

umgerechnet.

Für den Geltungsbereich der Ausleitungsstrecke liegen bereits umfangreiche Geschiebeuntersuchungen (Grünzner, 2007) vor.

Die Siebanalysen wurden für Grund- und Deckschichtmaterial getrennt vorgenommen. Die Ergebnisse der Deckschichtsiebungen weisen im Vergleich zu dem Grundsichtmaterial eine deutliche größere Streuung auf. Die Anzahl der Funktionsstützstellen im Auswertungsdiagramm ist sehr gering. Die abgeleiteten Mittelwerte sind demnach nur als grober Anhaltspunkt zu verstehen. Alle weiteren Berechnungsergebnisse sind mit einer entsprechenden Bandbreite zu sehen.

$d_{mGS}$	<b>18,5</b>
$d_{mDS}$	<b>47,3</b>

Im letzten Jahrzehnt kam es an unterschiedlichen Stellen unweit stromab des Gersthofener Wehrs immer wieder zu Uferanbrü-

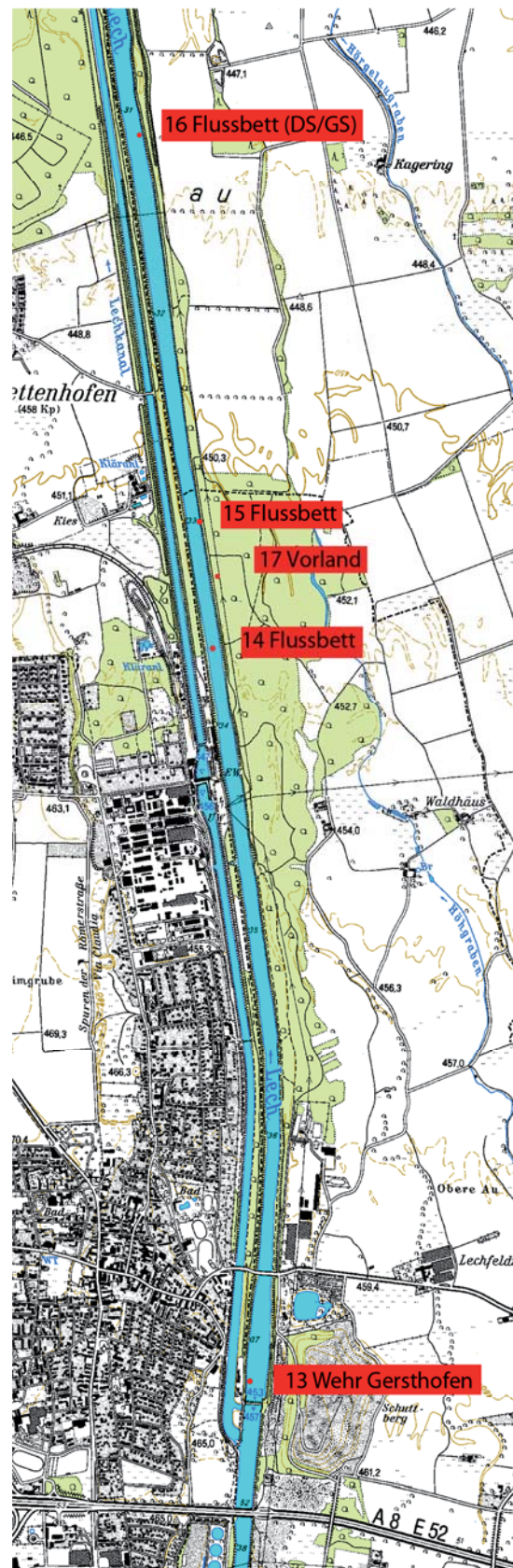
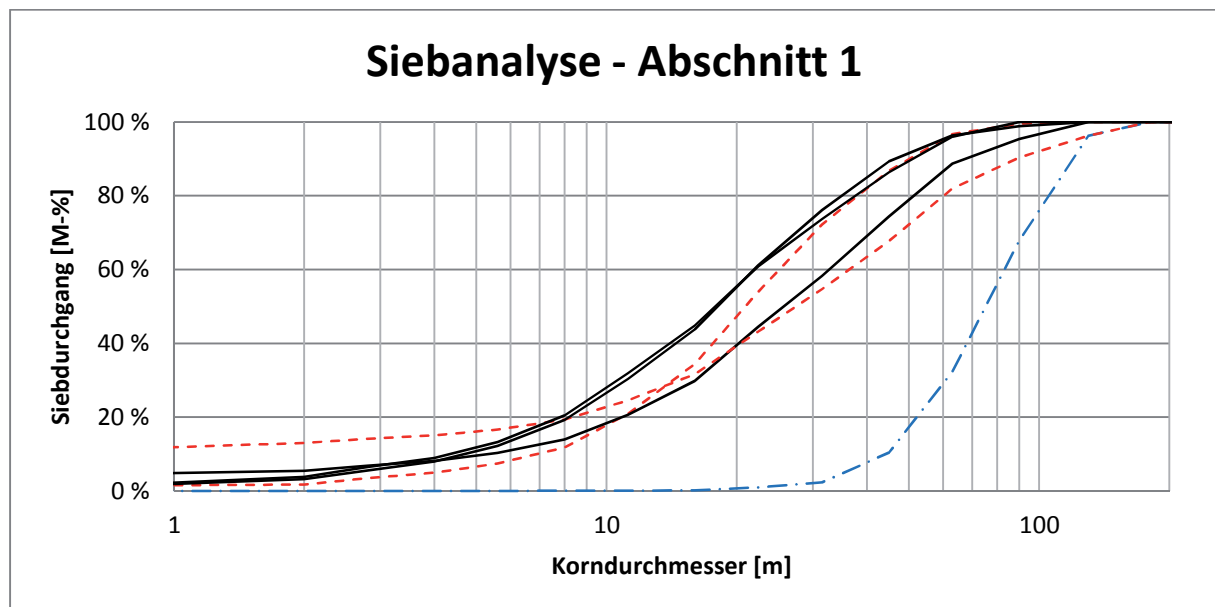


Abbildung 3.9 Lageplan – Geschiebeprobe nördlich Augsburg

chen. Welche Korngrößen mobilisiert wurden und welche Auswirkungen dies auf die Zusammensetzung des Geschiebes nahm sollte im Zuge einer erneuten Siebanalyse geklärt werden. Diese fand im Frühjahr 2011 statt. Für diesen Zweck wurden Geschiebeproben im Umfeld des jüngsten Uferanbruchs auf Höhe Gersthofen entnommen. Das mobilisierte Geschiebevolumen dürfte sich auf über 10000 m<sup>3</sup> belaufen: dies lässt sich auch aus der Volumenbilanzierung (siehe Abbildung 3.3) ablesen. Die Probenentnahme erfolgte für Deck- und Grundschichtmaterial sowie für die in den Vorländern anstehenden Kiesablagerungen. In den Auswertungsdiagrammen schlägt sich der Probenstandort in Form des Linientyps nieder. Strichpunktierte Linien markieren gebildete Deckschichten, gestrichelte Linien Entnahmen im Vorlandbereich, und bei den durchgezogene Linien handelt es sich um Standorte direkt im Flussbereich. Die Entnahmestandorte der Geschiebeproben sind in Abbildung 3.9 vermerkt.



**Abbildung 3.10 Sieblinien für den Abschnitt 1 – Stand Frühjahr 2011**

$d_{mGS}$	<b>18,7</b>	Mittlerer Korndurchmesser der Grundschicht
$d_{mVorland}$	<b>26,6</b>	Mittlerer Korndurchmesser des Vorland Materials
$d_{mDS}$	<b>54,9</b>	Mittlerer Korndurchmesser der Deckschicht

Der gemittelte mittlere Korndurchmesser der Grundschicht für die aus dem Jahr 1999 und 2011 durchgeführten Siebanalysen ist nahezu identisch. Ein Vergleich des mittleren Korndurchmessers der Deckschicht ist auf Grund des unzureichenden Stichprobenumfangs wenig aussagekräftig. Für die weiteren Berechnungen wird daher der gemittelte, im Jahre 1999 ermittelte Durchmesser verwendet. Die Sieblinie des Vorlandmaterials weist einen gegenüber der Grundschicht geringfügig größeren mittleren Korndurchmesser auf. Auch hier gilt, dass der Stichprobenumfang zu gering ist, um eine vertrauenswürdige Aussage treffen zu können.

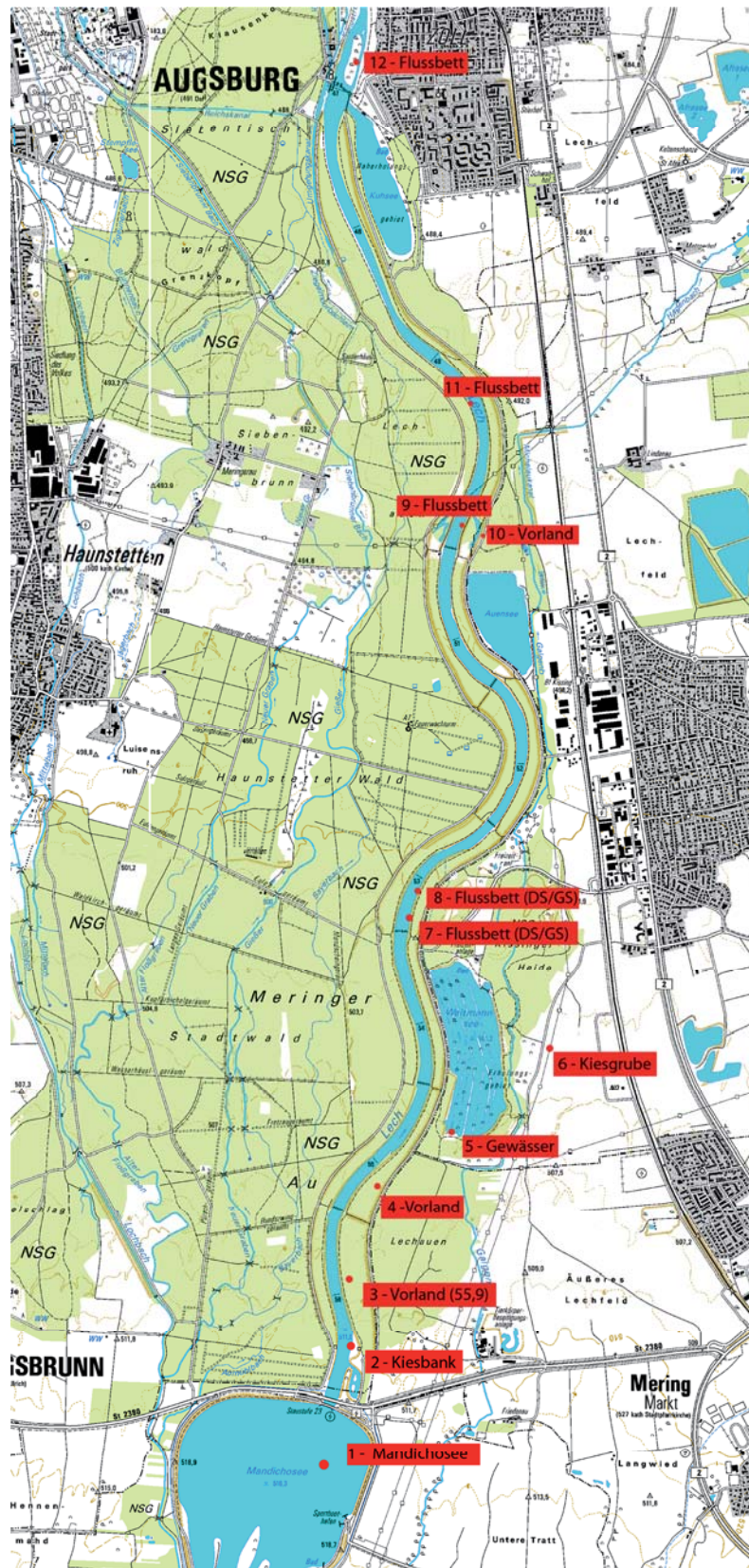


Abbildung 3.11 Lageplan – Geschiebeprobe südlich Augsburg



Insgesamt umfasst die Untersuchung für den Abschnitt südlich von Augsburg zwölf Standorte mit insgesamt 18 Proben. Darunter zwei Deckschichtproben und fünf Entnahmen aus den Vorländern. Die übrigen Geschiebeproben wurden direkt im Flussbett entnommen. Die ungefähre Lage der Probenentnahmen ist in Abbildung 3.11 gekennzeichnet.

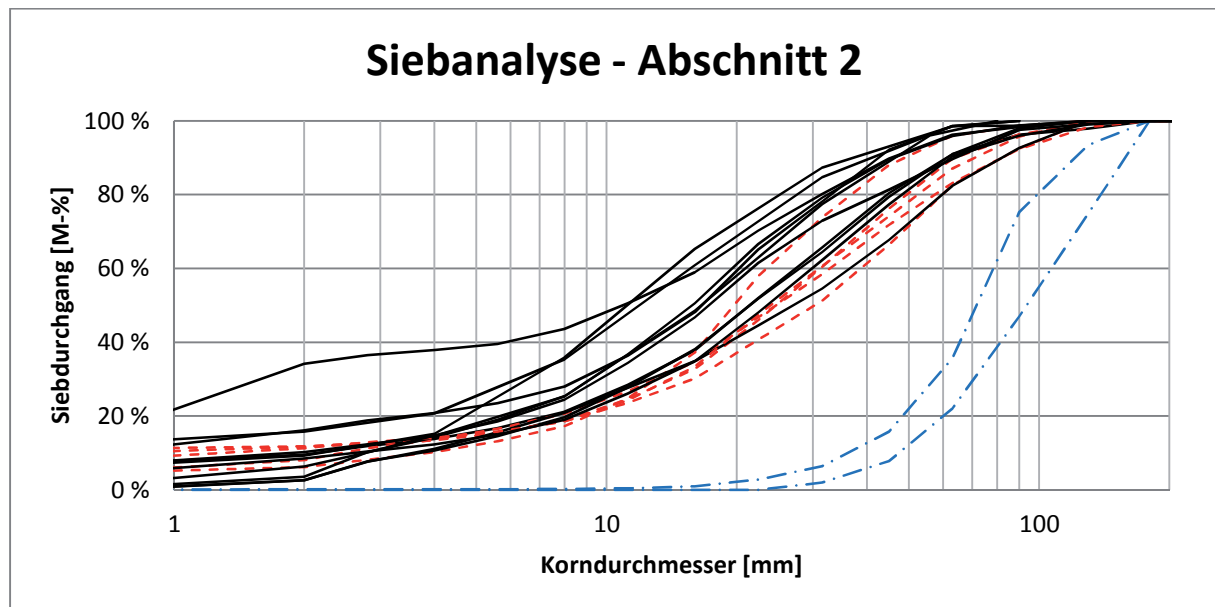


Abbildung 3.12 Sieblinie für den Abschnitt 2 – Stand Frühjahr 2011

$d_{mGS}$	<b>18,2</b>
$d_{mVorland}$	22,1
$d_{mDS}$	58,3

Der mittlere Korndurchmesser der Grundsicht ist in beiden Bereichen sehr ähnlich. Im Vorland anstehendes Material zeigt bezogen auf die Grundsicht einen geringfügig größeren mittleren Korndurchmesser. Die Siebanalysen der Deckschichtproben zeigen im Vergleich zu aus der Ausleitungsstrecke entnommenen Deckschichtproben einen deutlich größeren mittleren Korndurchmesser. Statistisch gesehen können auf Grund des zu geringen Stichprobenumfangs die örtlichen Gegebenheiten nur skizzenhaft wiedergegeben werden.

Im Bereich der Vorländer, die später als Sedimentdepots genutzt werden sollen, findet sich ähnliches, der Mischsohle entnommenes Geschiebematerial.

Alle bisherigen Betrachtungen und Bewertungen hinsichtlich der Sohlstabilität setzen eine Abpflasterungsfähigkeit des Sohlmaterials voraus. Ferner wurde in den Berechnungen von einer voll ausgebildeten Deckschicht ausgegangen. Die Ortsbesichtigung der zu untersuchenden Abschnitte im Frühjahr 2011 verdeutlichte, dass bisherige Annahmen der Deckschichtstabilität zu überdenken sind. Soll zukünftig Vorlandmaterial zur Stabilisierung der Sohlage genutzt werden, stellt sich die Frage, ob

dieses Material die Anforderung an deckschichtfähiges Kornmaterial erfüllt und welche Sohlstabilität (siehe Abschnitt 3.5) damit zu erwarten ist. Eine Bewertung an Hand der von Schöberl (Schöberl, 1981) festgelegten Grenzwerte stuft das Vorlandmaterial als „abpflasterungsfähig“ ein. Hinsichtlich des Transportbeginns unterscheiden sich das Vorland- und Deckschichtmaterial jedoch deutlich. Die quantitativen Auswirkungen hinsichtlich Sohlstabilität und transportiertem Geschiebe in Abhängigkeit der unterschiedlichen Geschiebeparameter der Grundsicht, Deckschicht und des Vorlandmaterials sind Gegenstand der folgenden Untersuchungen.

Die für die Berechnungen verwendeten Korngrößen sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

**Tabelle 3.1 Daten der Siebanalyse – Einheit [m]**

Daten - Siebanalyse			
Abschnitt 1			
	GS	VL	DS
$d_{90}$	0,040	0,052	0,073
$d_{50}$	0,015	0,018	0,046
$d_m$	0,019	0,024	0,047
$d_{max}$	0,058	0,102	0,094

Abschnitt 2			
	GS	VL	DS
$d_{90}$	0,041	0,050	0,088
$d_{50}$	0,014	0,018	0,059
$d_m$	0,018	0,022	0,058
$d_{max}$	0,091	0,091	0,098

### 3.5 Sohlstabilität

So lange der von der Sohle den erosiven Kräften des Wassers entgegengebrachte Widerstand größer oder gleich ist befindet sich die Sohle in Ruhe.

$$\tau_w < \tau_c$$

Schlägt das Kräftegleichgewicht um, so setzen Erosionsprozesse ein. Für den Sohlabtrag steht der Überschuss aus angreifenden Kräften abzüglich der Sohlwiderstandskräfte zur Verfügung. Die das Kräftegleichgewicht beherrschenden Parameter sind Geschiebekorngröße, Sohlneigung und Querschnittsgeometrie.

$$\tau_w = \rho_w \cdot g \cdot \left( \frac{k_{st}}{k_R} \right)^{3/2} \cdot R_S \cdot I$$

$$\tau_c = A'' \cdot (\rho_w - \rho_w) \cdot g \cdot d_m$$

Die kritische Sohlschubspannung  $\tau_c$  bestimmt den Beginn der Erosion. Für die noch zu quantifizierende Geschiebefracht ist der Zeitpunkt des Transportbeginns von maßgebender Bedeutung. In der DVWK Schrift 118 ist eine Zusammenstellung der wichtigsten Stabilitätsansätze enthalten. Die Ansätze von Meyer-Peter und Müller, Schöberl, Günter und Chin beschreiben die maximale Bettstabilität unter Berücksichtigung einer Deckschichtbildung.

Im Folgenden sind die maximalen Sohlbettstabilitäten für die Deckschicht und das Vorlandmaterial bestimmt worden. Für eine Bewertung der Sohlbettstabilität ist zu bedenken, dass aktuell eine sehr heterogene Fraktionierung als Deckschicht aufliegt, vor Ort deutlich erkennbar an Hand der stark variierenden mittleren Durchmesser der Deckschicht. Des Weiteren wird überlegt, zur Verfügung stehendes Kiesmaterial aus dem Vorland für das Geschiebemanagement zu nutzen.

Die Sohlbettstabilitäten (siehe auch Anhang 2) mit den Deckschichtkennwerten als Bestimmungsgrößen (siehe Tabelle 3.1) ergeben sich zu.

**Tabelle 3.2 Sohlstabilität der Deckschicht in [N/m<sup>2</sup>]**

DS	Abschnitt 1	Abschnitt 2
$\tau_{\text{MPM-dmD}}$	35,8	42,8
$\tau_{\text{Günter}}$	27,1	30,9
$\tau_{\text{Chin}}$	28,0	28,3
$\tau_{\text{Schöberl}}$	17,4	15,7

Die Ergebnisse der Ansätze von Günter und Chin passen sehr gut zusammen. Deutlich geringer schätzt der Ansatz von Schöberl die Geschiebestabilität ein. Dies liegt aber am Berechnungsvorgehen (DVWK 118, 1997), das die Geschwindigkeit enthält und äußerst sensibel auf Änderungen dieser reagiert. Für die MPM-Formel finden sich in der Literatur unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Sohlstabilität. Teilweise beruht die Bestimmung der Sohlstabilität auf der 90%-Fraktile des Siebdurchgangs der Mischsohle. Andere Ansätze wiederum verwenden den mittleren Korndurchmesser der Deckschicht. Allen aufgezeigten Ansätzen liegt die Annahme zu Grunde, dass die Deckschicht voll ausgebildet und gleichmäßig im Gewässerkörper vorliegt. Dies ist für den Lech im untersuchten Abschnitt definitiv nicht der Fall.

Ergänzend sind die Sohlstabilitäten des Vorlandmaterials ermittelt worden. Ausgehend von der Absicht zur Sohlstabilisierung des Lechs zukünftig auf das Vorlandmaterial zurückzugreifen sollte eine Abschätzung getroffen werden, was an Sohlstabilität dadurch zu erwarten ist.

**Tabelle 3.3 Sohlstabilität des Vorlands [N/m²]**

VL	Abschnitt 1	Abschnitt 2
$\tau_{MPM-dmx}$	17,9	16,1
$\tau_{Günter}$	17,4	16,6
$\tau_{Chin}$	13,7	13,0
$\tau_{Schöberl}$	18,7	22,4

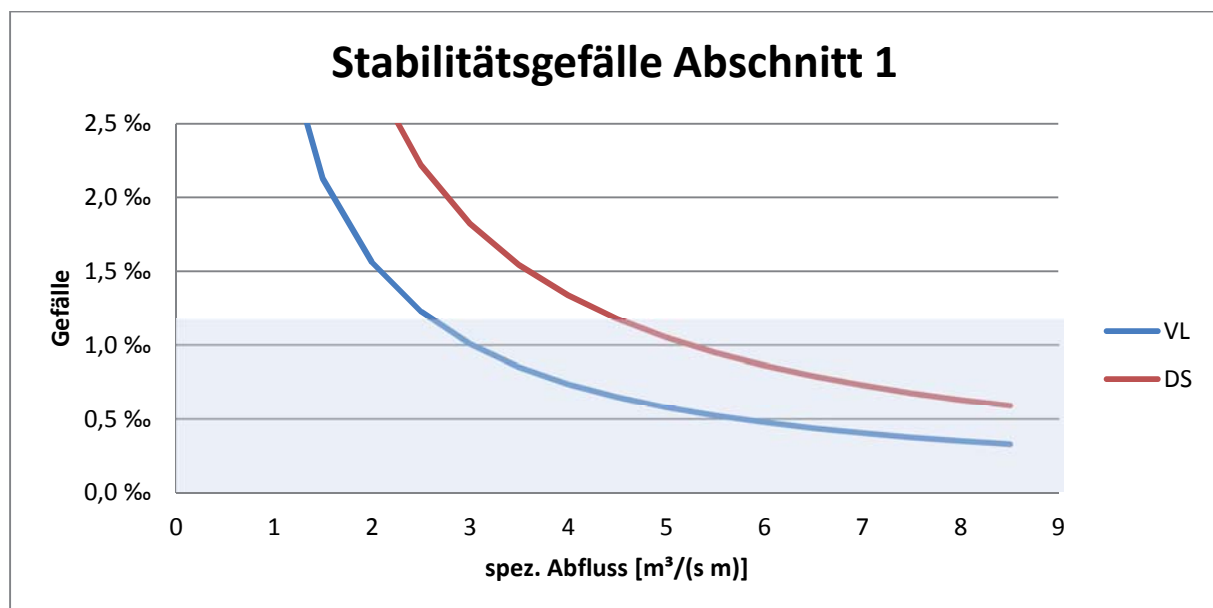
Herauszustellen ist an dieser Stelle, dass bisherige Überlegungen stets von einer intakten Sohlpanzerung ausgegangen sind. Eine Annahme, die zukünftig so nicht übernommen werden kann. Die Geschiebestabilität ist deutlich herabgesetzt mit der Folge, dass der Transport bereits bei deutlich kleineren Abflüsse beginnt.

### 3.5.1 Stabilitätsgefälle - (Schöberl, 1981)

Schöberl leitete aus seinen Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen der Strömungsbelastung und dem sich einstellenden Sohlengefälle ab. Die Gefällebeziehung ist durch die Funktion

$$J = \left( \frac{d_{mDS}^2 \cdot g}{a \cdot q^{7/5} \cdot K_s^{3/5}} \right)^{10/13}$$

beschrieben. Sie gilt in einem Bereich von 1,4 ‰ bis 2,0 ‰. Ausgewertet ergeben sich für die Abfluss-Gefälle-Beziehungen im Untersuchungsraum die in den Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14 verzeichneten Funktionsverläufe.



**Abbildung 3.13 Stabilitätsgefälle im Abschnitt 1 für Deckschicht- und Vorlandmaterial**

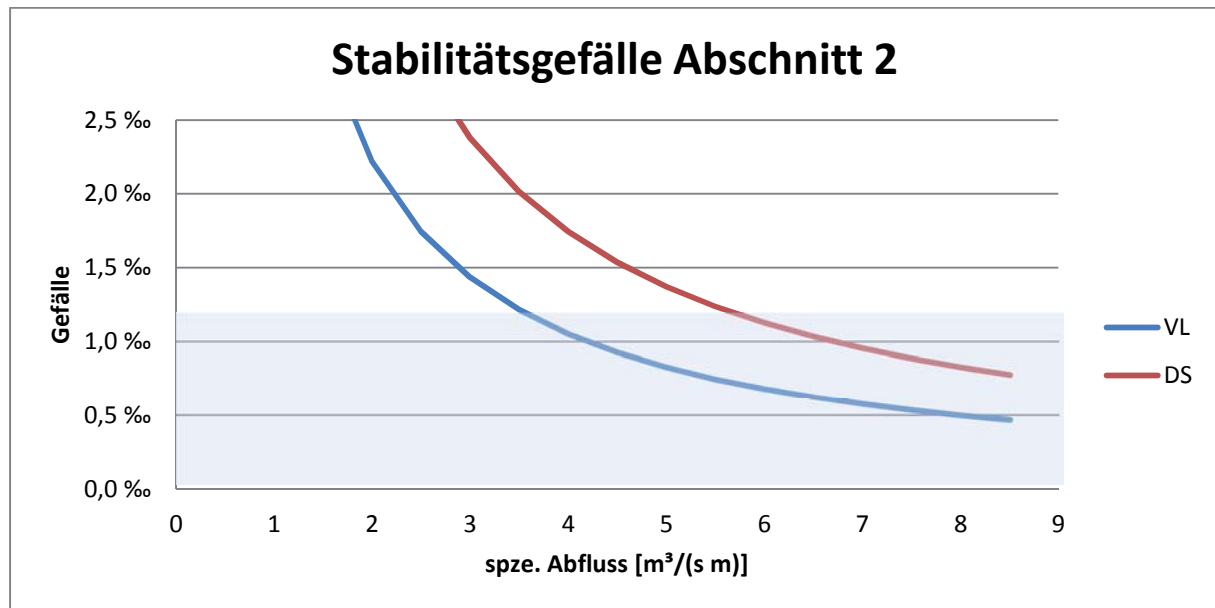


Abbildung 3.14 Stabilitätsgefälle im Abschnitt 2 für Deckschicht(DS) - und Vorlandmaterial(VL)

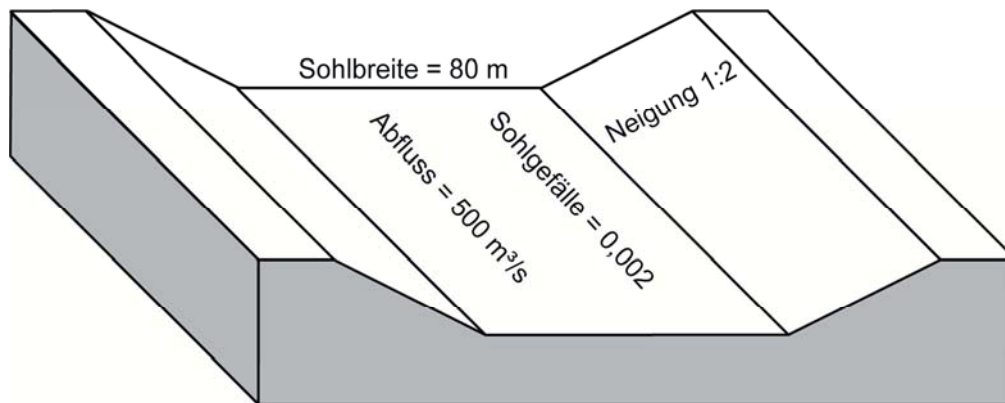
Als Stabilisierungsziel im Zuge der Abstimmungsgespräche zwischen der Wasserwirtschaftsverwaltung und dem Lehrstuhl wurde ein Abflussbereich zwischen 300 und 600 m<sup>3</sup>/s fixiert. Zum Vergleich setzt der Geschiebetransport aktuell bei ca. 100 bis 250 m<sup>3</sup>/s ein.

Abhängig vom gewählten Ausbaukonzept ergeben sich für die angestrebten Stabilisierungsziele jeweils verschiedene spezifische Abflüsse. Zum Beispiel für ein Trapezgerinne mit einer Sohlbreite von 120 Metern und den Kenndaten des Lechs resultiert ein Spektrum des Abflussgeschehens mit einem spezifischen Abfluss von 2,5 bis 5,0 m<sup>3</sup>/(s m). In Kombination mit den zugehörigen Abfluss-Gefälle-Funktionen nach Schöberl resultieren daraus Stabilitätsgefälle von 2,7 ‰ bis 0,4 ‰. Problematisch ist die Stabilitätsfunktion hinsichtlich des Vorlandmaterials zu werten, da diese bereits für sehr kleine spezifische Abflüsse (ab ca. 1,5 m<sup>3</sup>/(s m)) außerhalb des von Schöberl empfohlenen Anwendungsbereichs liegt.

### 3.5.2 Parametersensitivität

Der qualitative und der quantitative Einfluss verschiedener Stellschrauben der Sohlstabilität sollen näher untersucht werden. Qualitativ sind die Einflüsse der Stellgrößen relativ gut abschätzbar. Quantitativ hingegen hängt eine Veränderung immer auch von situationsspezifischen Gegebenheiten (Gerinnedimension, Abfluss) ab. Exemplarisch sollen an Hand eines Musterquerschnitts die Wasserspiegellage sowie der Sohlwiderstand ausgewertet und einem Referenzfall gegenüber gestellt werden. Für den Referenzfall dient als Musterquerschnitt ein Trapezprofil mit einer Sohlbreite von 80 Metern und einer Böschungsneigung von 1:2. Ferner wird für den Referenzfall ein Sohlgefälle von  $I = 2,0 ‰$  und ein Stricklerbeiwert von  $k_{st} = 35$  gewählt. Der Abfluss

wird konstant mit  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  angesetzt. Der Musterquerschnitt orientiert sich an den im Untersuchungsgebiet vorzufindenden örtlichen Verhältnissen. Einzig die Uferneigung wurde bereits von 1:1 auf 1:2 abgeflacht.



**Abbildung 3.15 schematische Darstellung des Musterquerschnitts**

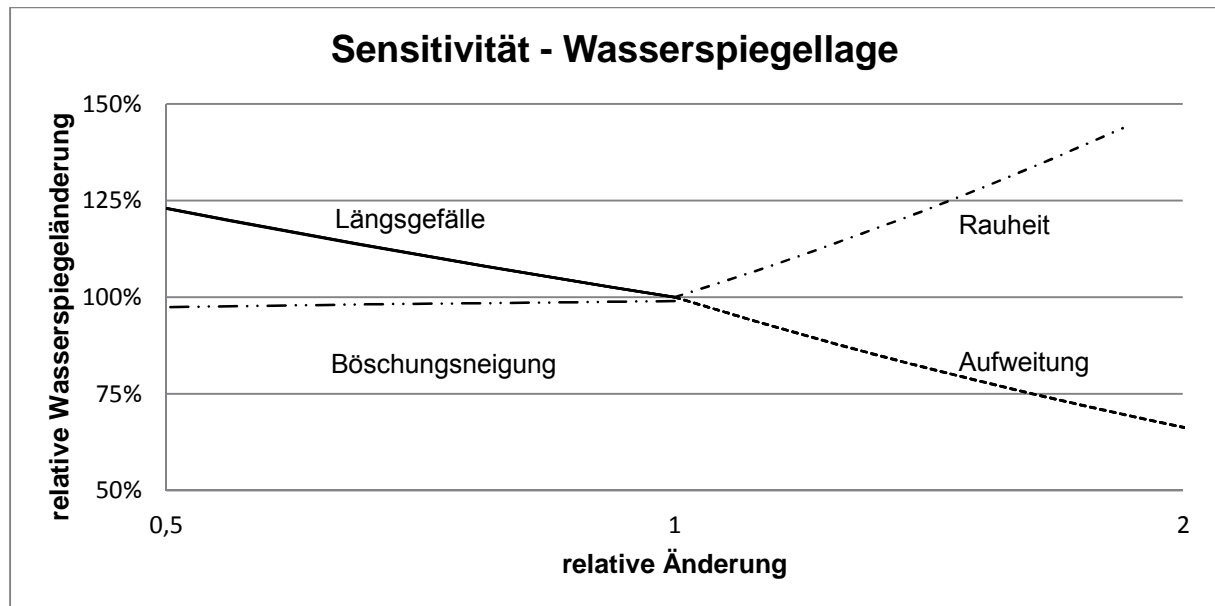
Im Rahmen der Parameterstudie werden durch Variation der zur Verfügung stehenden Stellgrößen im ersten Schritt die Auswirkungen auf die Abflusstiefe beleuchtet. Die Parametersensitivität der Wasserspiegellagenänderung am Beispiel des Musterquerschnitts ist graphisch in Abbildung 3.16 dargestellt. Auf der x-Achse ist die relative Änderung als Quotient aus Variations- und Referenzgröße bzw. dem reziproken davon aufgetragen.

**Tabelle 3.4 Berechnung der x-Abszissenabschnitte**

	Relative Änderung
Aufweitung	$B/80$
Böschungsneigung	$2/m$
Längsgefälle	$1/0,002$
Rauheit	$35/kst$

Im Falle einer Aufweitung auf 160 m ist mit Bezug auf die Referenzbreite von 80 Metern relativ eine Verdopplung festzustellen. Äquivalent kann von einer Halbierung des Gefälles gesprochen werden, wenn eine Abflachung von 2 Promille auf 1 Promille geplant wird. Die y-Achse zeigt die relative Wasserspiegellagenänderung. Die Ergebnisse der Untersuchung (siehe Abbildung 3.16) verdeutlichen, dass Aufweitungen zweckdienlich erscheinen, den Wasserspiegel effektiv zu senken. Wohingegen eine Abflachung der Böschungsneigung eine nur im geringen Maß wirksame Wasserspiegelabsenkung leisten wird. Stabilisierende Maßnahmen, die mit einer Abflachung des Fließwegs (Einbau von Sohlstützungen, Fließwegverlängerung) einhergehen, führen zu einer Anhebung des Wasserspiegels, ebenso wie die Einbringung von Grobmate-

rial (z.B. offenes Deckwerk). Unter dem Aspekt einer sicheren Hochwasserableitung bzw. des Ziels, den Hochwasserabfluss nicht nachteilig zu verändern sind entsprechende Gegenmaßnahmen zu bedenken.



**Abbildung 3.16 Parametersensitivität der Wasserspiegellagenänderung**

Ebenfalls wurde die Parametersensitivität hinsichtlich der Auswirkungen auf die Sohlschubspannung untersucht. Zur Auswertung kamen die gleichen Szenarien, wie für die Wasserspiegellagenänderung. Das Ergebnis ist in Abbildung 3.17 zu sehen. In Abbildung 3.17 ist das Maß der relativen Sohlschubspannungen bezogen auf die relativen Änderungen der geometrischen Größen (Gefälle, Rauheit, Breite) aufgetragen. Eine relative Sohlschubspannung kleiner 100 Prozent bedeutet, dass der Angriff der Sohle verhältnismäßig geringer ausfällt. Hingegen bei einer relativen Sohlschubspannung größer 100 Prozent der Angriff auf die Sohle verstärkt wird. Die Längsgefällereduktion und die Aufweitung bewirken eine deutliche Schubspannungsreduktion. Auf der anderen Seite kommt es bei einer Zunahme der Sohlrauheiten zu einer höheren Schubbeanspruchung. Mögliche Kombinationen aus Einzelmaßnahmen (Aufweitung, Sohlgefällereduktion, usw) können, mittels des Produkts der maßnahmenspezifischen relativen Sohlschubspannungsänderung, abgeschätzt werden.

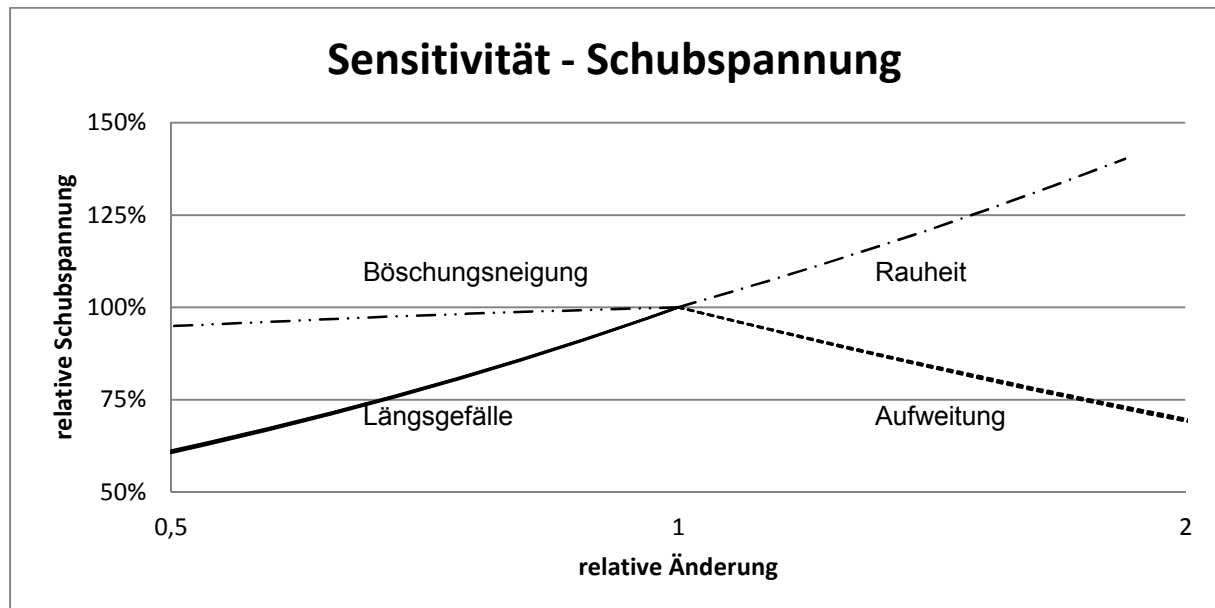


Abbildung 3.17 Parametersensitivität der Sohl Schubspannungen

### 3.5.3 Transportkapazität / Transportbeginn

Unter Voraussetzung entsprechender Strömungsverhältnisse wird Geschiebe gelöst und in Bewegung (springend, rollend, schwebend) versetzt. Das der Verfrachtung frei zur Verfügung stehende Transportpotential bestimmt sich aus der Differenz angreifender Kräfte abzüglich der Widerstandskräfte.

$$\tau_{\ddot{u}} = \tau_{\text{wasser}} - \tau_{\text{sohle}}$$

Der Wasserkörper übt während seiner Fließbewegung eine Schubbeanspruchung auf die Sohle aus. Liegt die Beanspruchung unterhalb des Sohlwiderstands, so befindet sich die Sohle in Ruhe. Wird diese Grenze überschritten, so wird die von der Sohle nicht aufnehmbare Energie dazu verwendet, Geschiebe zu mobilisieren.

Die mathematische Beschreibung der Sohlstabilität war und ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Die wichtigsten Ansätze zur Beschreibung der Stabilität einer kiesigen Sohle wurden im Abschnitt 3.5.1 dargestellt.

Der Geschiebetrieb [kg/s] für den Lech mit dem Parametersatz des Abschnitts 2 ist Abbildung 3.18 dargestellt (weitere Geschiebetriebdiagramme finden sich im Anhang 10). Auffällig ist die große Streubreite der einzelnen Funktionen. Der Ansatz von Shields ist dafür bekannt, eine Überschätzung der Stabilitäten zu liefern, folglich fällt der Geschiebetrieb zu gering aus. Der Ansatz von Mayer-Peter und Müller enthält zwei Kalibrierkonstanten. Die Streubreite der unterschiedlich in der Literatur gefundenen Ansätze zeigt auf, wie schwierig eine halbwegs aussagekräftige und belastbare Geschiebeberechnung ist. Die Frage, welche Geschiebetriebfunktion den naturgegebenen Zustand am besten abbildet bedarf einer Kalibrierung. Die Konstanten



werden an Hand bereits abgelaufener Ereignisse berechnet (so geschehen bei (Grünzner, 2007)). Bei der Bewertung der Ergebnisse sind die Unwägbarkeiten und Unsicherheiten der Kalibrierung zu berücksichtigen. Ferner gilt zu bedenken, dass strukturelle Änderungen der Sohlzusammensetzung (Korngröße, Kornverteilung) sich nicht abbilden lassen (bei den Geschiebetriebfunktionen handelt es sich um Momentaufnahmen).

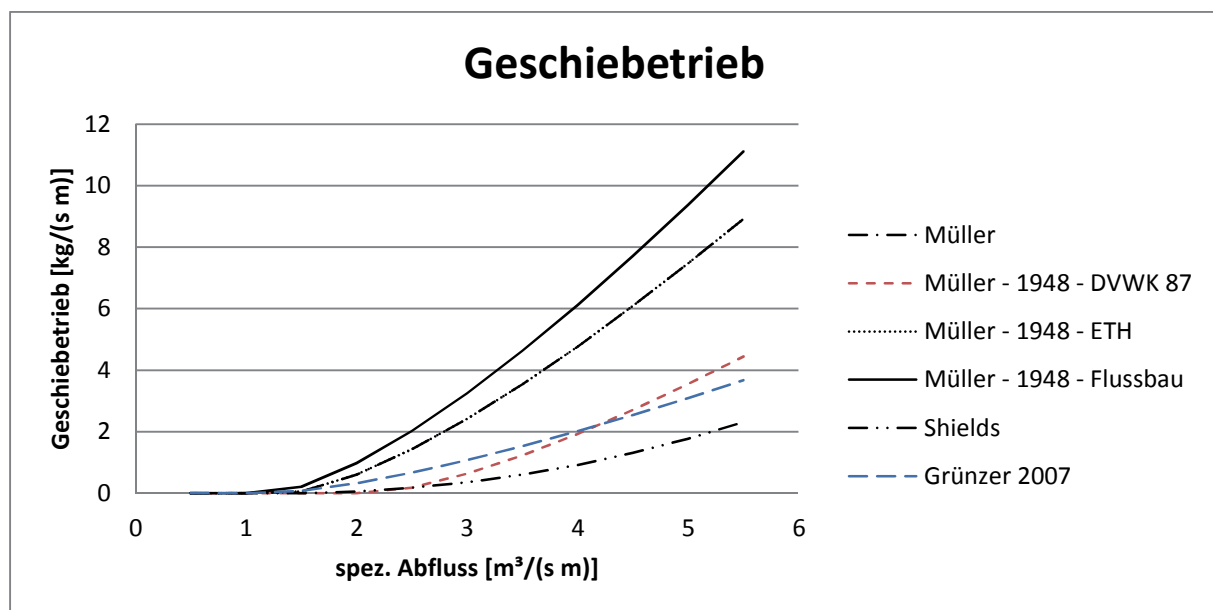


Abbildung 3.18 Geschiebetrieb – Abschnitt 2 (verschiedene Literaturansätze)

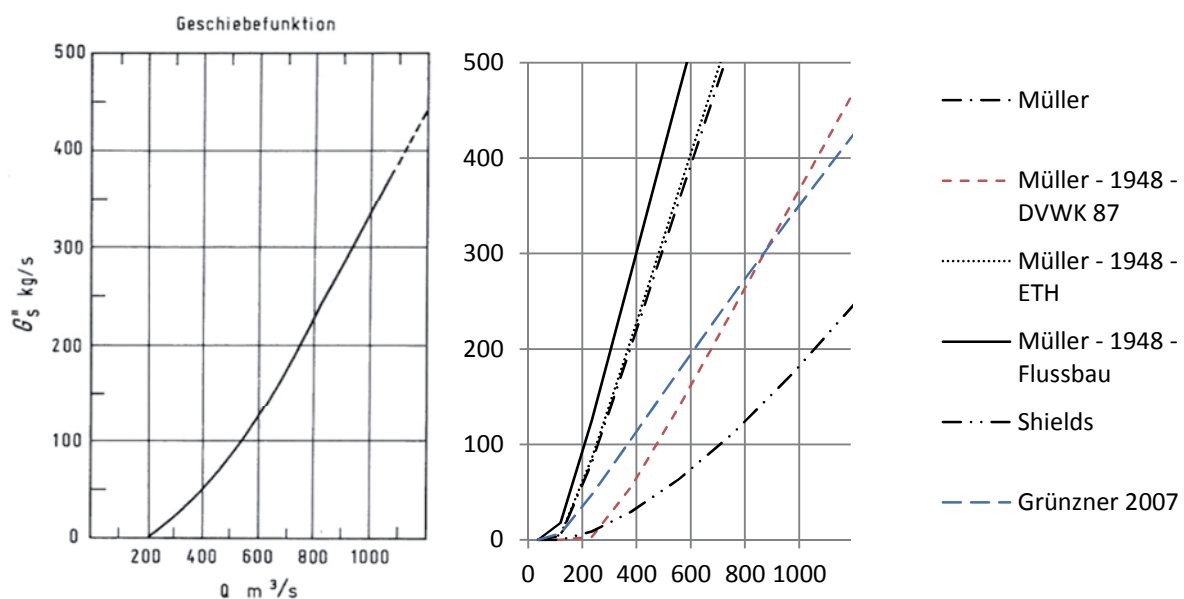


Abbildung 3.19 Vergleich des Geschiebetriebs bei Gersthofen links (Bauer, 1979 S. 16) vs. verschiedene Ansätze

In den Untersuchungen von Bauer findet sich eine Geschiebefunktion für den Lech bei Gersthofen (Abbildung 3.19). Ein Vergleich mit den theoretisch ermittelten Kurven zeigt, dass Bauer die Geschiebetransportfähigkeit des Lechs an der unteren Grenze der MPM-Formeln einstuft. Sowohl die in DVWK 87 als auch die von der TUM 2007 ermittelte Geschiebetriebfunktion (Grünzner, 2007) weisen eine hohe Ähnlichkeit auf.

Zu bedenken gilt, dass es in den letzten Jahren zu einer deutlichen Veränderung der Geschiebeparameter am Lech kam. Nach Austrag der Deckschicht beim Pfingsthochwasser 1999 ist vor allem im Bereich südlich von Augsburg mit einer deutlich erhöhten Erosionsrate zu rechnen.

### 3.6 Geschiebefracht

Die Quantifizierung der zu erwartenden Geschiebefracht ist äußerst diffizil. Diesbezügliche Messungen liegen nur indirekt in Form der Vermessungsdaten vor. Aus den Informationen der Sohlentwicklung Verfrachtungsmengen abzuleiten ist nur möglich, wenn eine Gebietsrandbedingung klar formuliert werden kann. Diese ist mit der Lechstaustufe 23 gegeben. Da allerdings die einzelnen Sohlaufnahmen einige Jahre auseinanderliegen, gelten die Verfrachtungsmengen nur für den jeweiligen Zeitraum. Eine aus diesen Daten errechnete mittlere jährliche Verfrachtungsmenge hat nur geringe Aussagekraft, da jährliche Transportraten durch die jeweils abgelaufenen Hochwasser geprägt sind. Die zu erwartenden Verfrachtungsmenge ist immer im Kontext des Abflussgeschehnisses zu sehen.

Für die rechnerische Abschätzung der Verfrachtungsmengen wird auf die in der Literatur bekannten Ansätze zurückgegriffen. Ergebnisse dieser einfachen Handformeln sind mit einer Unschärfe belegt. Als Koppelfunktionen dienen die in Abschnitt 2.3.2 vorgestellten Abflussdauerlinien. Systemspezifische Randbedingungen sind bei der Interpretation ebenfalls zu berücksichtigen.

Bauer verwendet zur Quantifizierung der jährlichen Geschiebefrachten eine von Meyer-Peter und Lichtenhahn formulierte Gleichung für den Geschiebetrieb (Bauer, 1979 S. 13). In der Berechnung finden der Grundschicht entstammende Geschiebekenngrößen Anwendung. Die zum damaligen Zeitpunkt vorliegende intakte Deckschicht findet im Berechnungsansatz keine Berücksichtigung. So sind die ermittelten Geschiebefrachten unter der Annahme einer korrekten Geschiebetransportfunktion als zu hoch zu werten. Genauere Aussagen über die damals angewandten Abflussdauerwerte sind (Bauer, 1979) nicht zu entnehmen.

Die Ermittlung der Geschiebefrachten erfolgt, indem die Abflussdauerlinien (siehe Abschnitt 2.3.2) mit einer entsprechenden Geschiebefunktion (siehe 3.5.3) über die jeweilig im System geltende hydraulische Beziehung  $h_{(Q)}$  gekoppelt werden. Die Anzahl von Eingangsparametern macht deutlich, dass die Geschiebefracht - weil abhängig von vielen Faktoren - nur schwer zu quantifizieren ist. Eine Ergebniszusam-

menstellung ermittelter Geschiebefrachten für unterschiedliche Szenarien ist im Anhang 3 aufgeführt. Feiner aufgelöste und genauere Aussagen hinsichtlich des Geschiebeverhaltes können mit Hilfe eines morphodynamischen Modells getroffen werden.

### Weiterführende Überlegungen

Die von Bauer zu seiner Zeit ermittelten Geschiebefrachten belaufen sich für ein mittleres Abflussjahr auf ca. 50 000 m<sup>3</sup>/a. Wie bereits erwähnt findet in den damaligen Berechnungen die Abpflasterung keine Berücksichtigung. Illustriert in Abbildung 3.20 ist eine fiktive Abflussganglinie eines Hochwassers. Das transportierte Geschiebe unter Annahme einer stabilen Deckschicht ist proportional zum Flächeninhalt des blauen Bereichs. Die Geschiebefracht der Mischsohle ist proportional zum Flächeninhalt beider markierter Bereiche (blau + grau). Im Vergleich zu früher ist in Folge der veränderten Geschiebeauflage von einer erhöhten Geschiebefracht auszugehen.

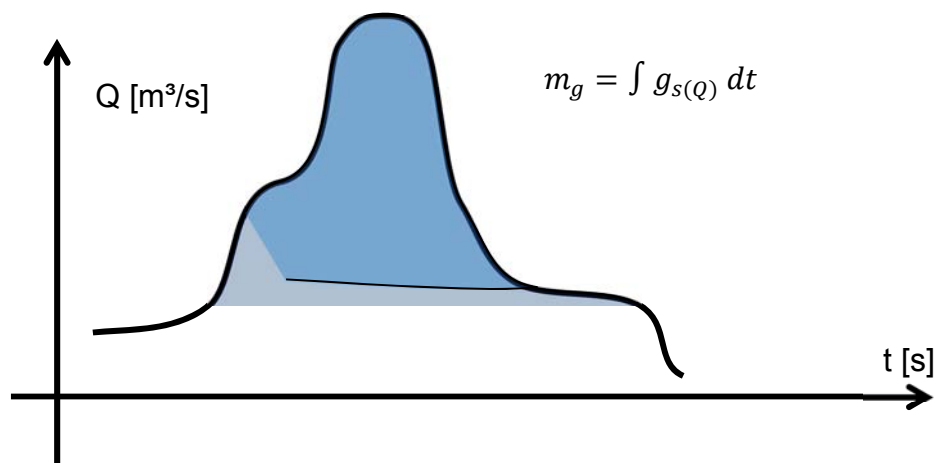


Abbildung 3.20 Hochwasserwelle

Darüber hinaus zeigt sich auch eine Veränderung im Hochwasserverhalten. Extremereignisse traten in den letzten Jahren mit einer gestiegenen Intensität auf. Bezogen auf Abbildung 3.20 schlägt sich dies in einer Zunahme der Fülle und des Spitzenwerts nieder. Beide Veränderungen führen zu einem weiteren Anstieg der Geschiebefracht.

### Zusammenfassung

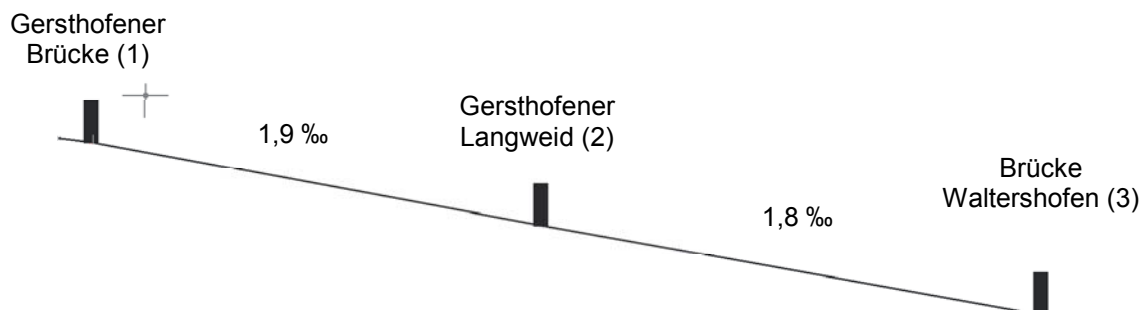
Alle eingetretenen Veränderungen sowohl die Abnahme des Korndurchmessers als auch die Zunahme der Hochwasserintensität führen zu einer Zunahme der Geschiebefracht.

### 3.7 Flussgeometrische Größen

#### 3.7.1 Längsprofil

Die einer historischen Karte aus dem Jahre 1879 (Oberste Baubehörde, 1888) entnommenen Sohlneigungen zeigen, dass der Lech nördlich von Augsburg ein Sohlgefälle von ursprünglich 1,94 ‰ und im südlich gelegenen Untersuchungsabschnitt von ehemals 2,62 ‰ besaß (vor der Korrektur). An Hand historischer Aufnahmen lässt sich ein relativ exaktes Bild der ursprünglichen Situation am Lech trotz der bereits 1860 begonnenen Korrekturmaßnahmen rekonstruieren.

Die aktuelle Sohlenlage ist durch Sohlfixpunkte (Zwangspunkte) wie Brücken oder Schwellen punktuell fixiert. Im Abschnitt 1 wird der Lech von drei Brücken gequert. Entlang den Verbindungsstraßen zwischen Waltershofen und Thierhaupten, zwischen Langweid Lech und Rehling, sowie südöstlich der Stadtgrenze von Gersthofen finden sich Brückenbauwerke, die den Lech queren. Bezogen auf die Brückenfundamente, die als Sohlfixpunkte gelten, ergibt sich rechnerisch zwischen diesen Zwangspunkten für die Strecke Langweid - Waltershofen eine Sohlneigung von 1,8 ‰. Flussaufwärts zwischen Gersthofen und Langweid errechnet sich die Sohlneigung zu 1,9 ‰ (siehe Abbildung 3.21).



**Abbildung 3.21 planerisches Längsgefälle – Abschnitt 1**

Die Auswertung (siehe Abbildung 3.22) der Querprofildaten zeigt ähnliche Gefälle. Die Sohlneigungen im gesamten Bereich liegen ungefähr bei 1,8 Promille. Bereiche größerer Abweichung sind nicht ersichtlich.

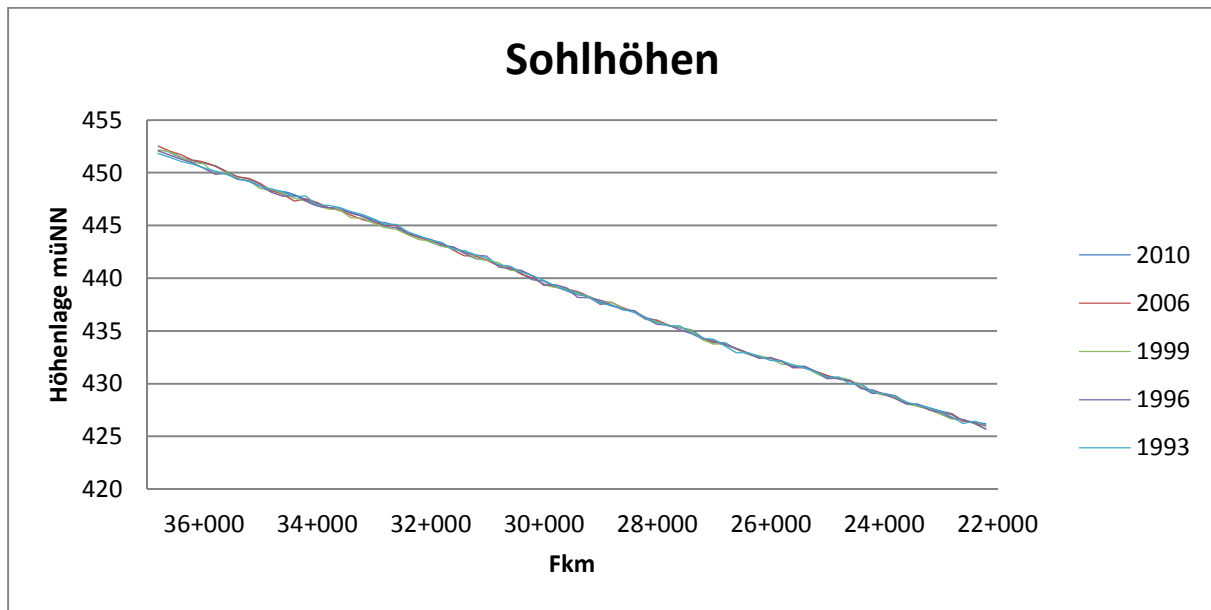


Abbildung 3.22 Sohlagenentwicklung – Abschnitt 1

Die Randbedingungen des Abschnitts 2 sind mit dem Hochablass und der Lechstaustufe 23 klar definiert. Rechnerisch ergibt sich das Sohlgefälle bezogen auf die Randbedingungen zu 2,264 ‰. Dazwischen befinden sich sechs Sohlswellen. Zwischen den einzelnen Stützbauwerken variiert die Sohlneigung zwischen 1,5 ‰ und 2,2 ‰ (ermittelt aus Bauwerkskoten). Eine Ausnahme bildet der Teilbereich zwischen der Lechstaustufe 23 und dem südlichsten Stützkörper (Schwelle bei Fkm 55,4). Die Berechnung aus den planerisch festgelegten Bauwerkskoten ergibt ein Gefälle von „minus“ 1,1 ‰. In Natura stellt sich im Bereich zwischen dem Tosbecken der Lechstaustufe 23 und der Schwelle 1 ein nahezu horizontales Sohlgefälle ein. Hintergründe der Konzeption unterschiedlicher Sohlenneigungen bei der Lechkorrektur (von 2,2 bis 1,5 Promille) sind nicht bekannt.

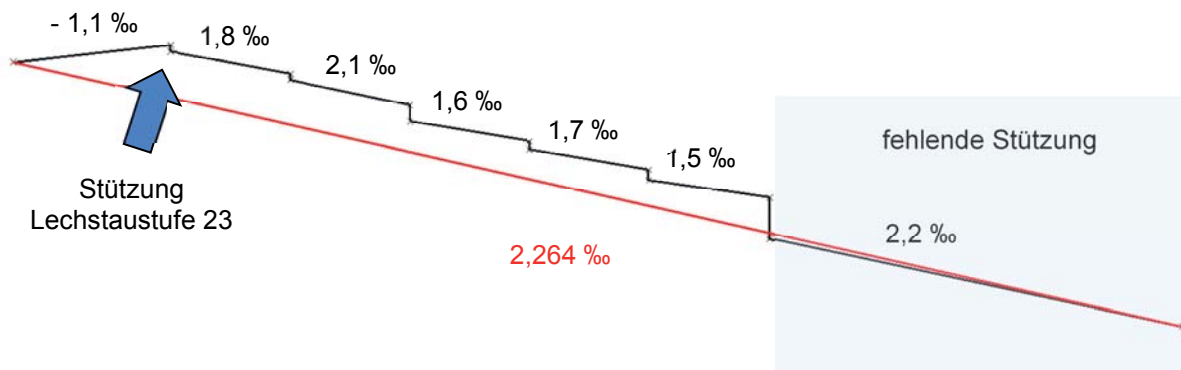
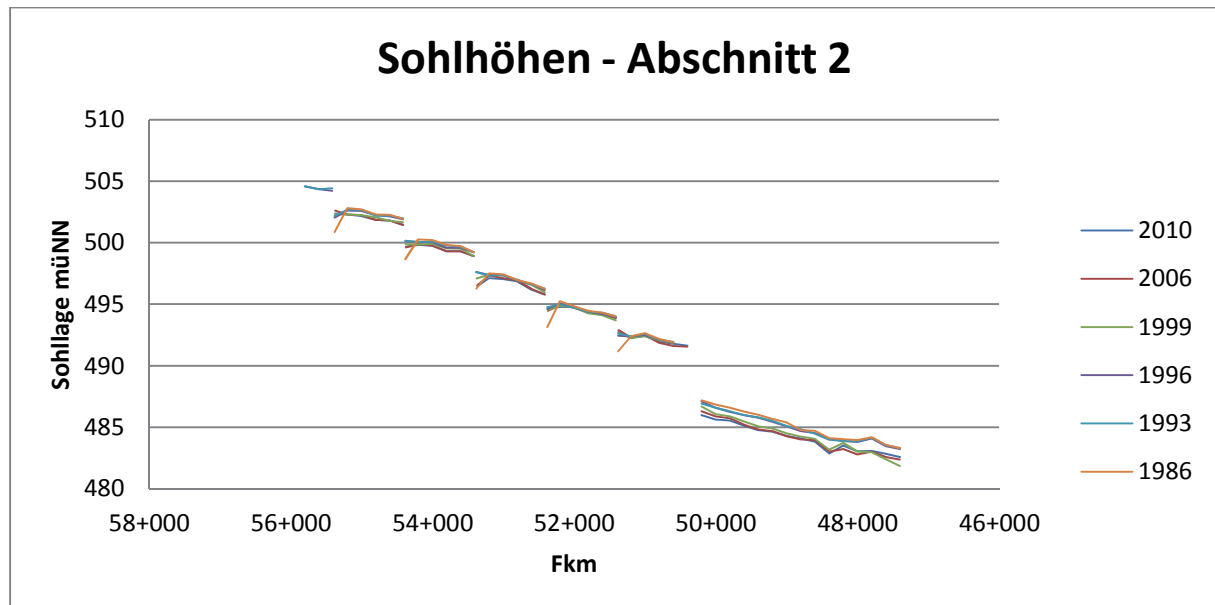


Abbildung 3.23 planerisches Längsgefälle – Abschnitt 2

Die Auswertung der Querschnittsdaten zeigt deutlich, dass die Sohlenlage nur in den flachen Bereichen als stabil gewertet werden kann. Steilere Teilbereiche versuchen

durch Abflachungen (Sohlerosion) einen stabileren Zustand herbeizuführen. Das Längsgefälle der mittleren Sohlage gewonnen aus den Messdaten stellt sich zwischen 0,8 und 1,2 Promille ein, welches deutlich unter dem durch die Bauwerkskoten vorgegebenen „Randbedingungsgefälle“ liegt.



**Abbildung 3.24 tatsächliche Sohlentwicklung**

Zur Abschätzung der aktuell vorhandenen Sohlstabilität wird der Ansatz von Schöberl (Schöberl, 1981) herangezogen. Mit den zugehörigen Geschiebekenngrößen und einem mittleren Bestandsgefälle von 1,85 Promille für den Abschnitt 1 (nördlich Augsburg) ergibt sich ein Stabilitätsabfluss von ca. 220 m<sup>3</sup>/s. Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung eines Stabilitätsabflusses bietet der Schubspannungsansatz. Geeignete Verfahren, die im Stande sind, die Abpflasterungsfähigkeit des Lechs abzubilden, werden von Meyer-Peter/Müller bzw. Günter bereitgestellt. (Dittrich, et al., 2007 S. 84)

Südlich von Augsburg (Abschnitt 1) ergibt sich mittels einer überschlägigen Berechnung nach Schöberl ein Stabilitätsabfluss von ca. 100 bis 250 m<sup>3</sup>/s.

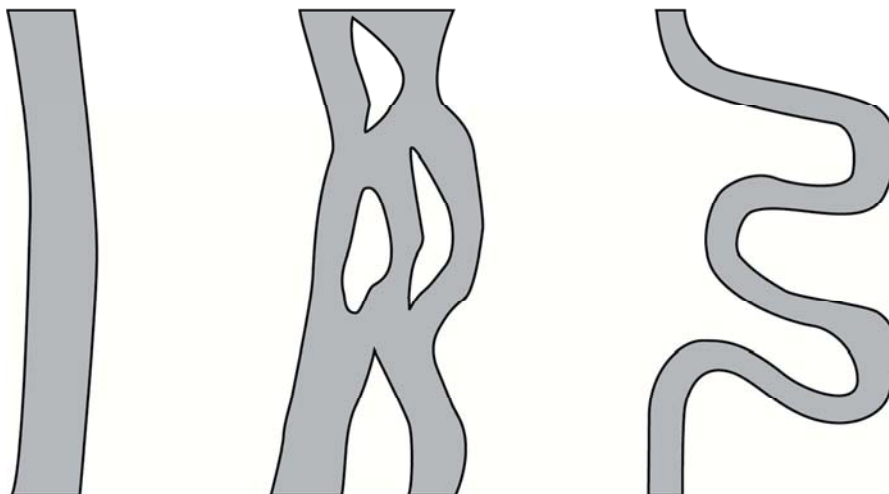
### 3.7.2 Querprofilgestaltung

Die uniforme Querprofilgestaltung im Zuge der Korrektionsmaßnahmen monotonisierte die ursprüngliche Strukturvielfalt. Sowohl in der Ausleitungsstrecke als auch zwischen Hochablass und Lechstaustufe 23 wurde das Korrektionsbett in Form eines Trapezgerinnes mit massiver Uferversteinung ausgeführt. Der Fluss wurde planmäßig in ein tiefergelegtes Bett gedrückt. Zusätzlich wurden zum Schutze der Bevölkerung vor Hochwasser Deiche errichtet.

Die Ausgestaltung des Trapezgerinnes nördlich von Augsburg erfolgte mit einer Sohlbreite von durchschnittlich 80 Metern. Etwas eingengter, mit ca. 70 Metern, verläuft die Hauptrinne im Abschnitt 2 südlich von Augsburg. Die unterschiedlichen Sohlbreiten basieren auf dem jeweils für den Abschnitt gewählten Bemessungsabfluss. Unterhalb von Augsburg mündet die Wertach in den Lech. Dem geschuldet ist der Querschnitt so zu dimensionieren, dass die im Hochwasserfall geforderte Leistungsfähigkeit gewährleistet ist.

### 3.7.3 Gerinneform

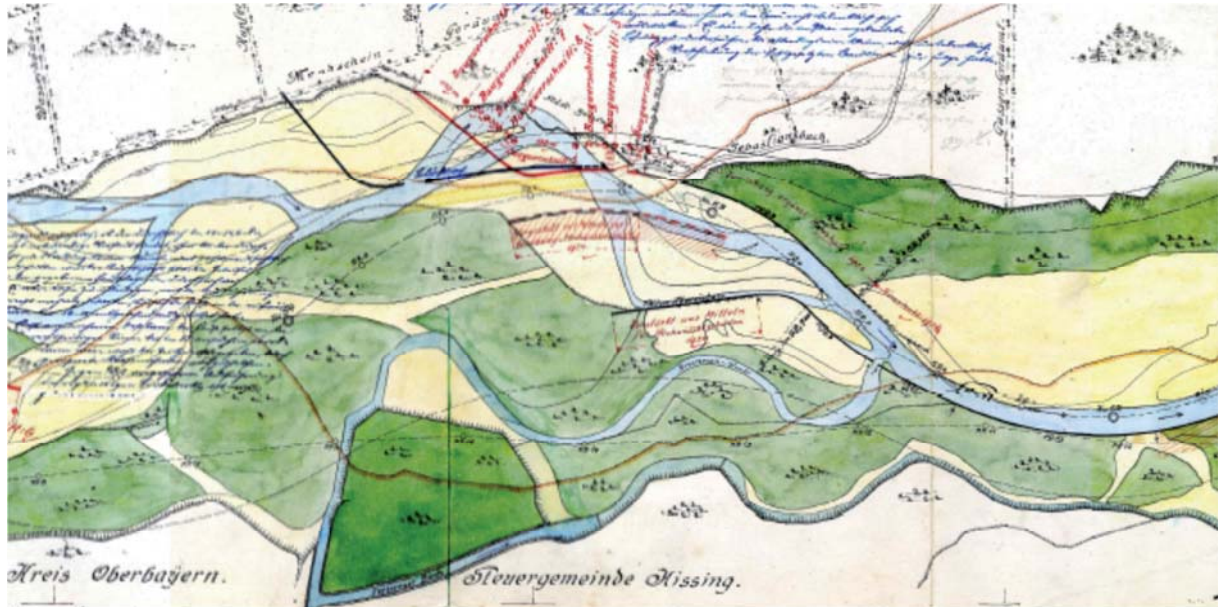
Die Gerinneform klassifiziert den Grundrissverlauf von Flüssen. Leopold und Wolman (1957) unterscheiden gerade, mäandrierende und verzweigte Gerinne. Felsen oder dichte Vegetation sind notwendig, um einen natürlich geraden Flusslauf zu formen. Gerade Flussläufe, wie im Abschnitt 1 zu finden, sind Ergebnis anthropogener Eingriffe. Die massiven Uferbefestigungen zwingen den Fluss in sein gerades Bett. Mäandrierende Grundrissformen, wie sie im Abschnitt 2 bei der Korrektur zur Anwendung kamen, sind durch ihre gewundene Gestalt charakterisiert. Im Fall verzweigter Gerinne teilt sich der Abfluss in mehrere Rinnen auf. Beim Eintreten des bettbildenden Abflusses verändert sich die Gerinnestruktur. Bestehende Rinnen werden zugeschüttet und neue Rinnen freigelegt (Mangelsdorf, et al., 1980 S. 111 ff). Verzweigte Gerinne weisen eine hohe morphologische Dynamik auf und bilden so ein wichtiges ökologisches Rückgrat.



**Abbildung 3.25 Gerinneformen (v.l.n.r) gestreckt, verzweigt, mäandrierend**

Historischen Karten und Plänen (siehe Abbildung 3.26 und Anhang 8) kann entnommen werden, dass der Lech im Untersuchungsgebiet in seiner ursprünglichen Gestalt ein verzweigtes Gerinne formte. Mit einer Korrektur erfolgt oftmals auch ein gewollter Regimewechsel. Welchem Regime zukünftig ein so stark von Menschenhand beeinflusstes Fließgewässer zugeschlagen werden soll, diese Fragestellung stellt sich

auch im Rahmen dieser Konzeptstudie. An dieser Stelle sei so viel vorweggenommen: Die Lösung ist nicht eindeutig.



**Abbildung 3.26** Ausschnitt aus einer historischen Karte aus dem Jahre 1925 – Die Lechkorrektion südlich von Augsburg

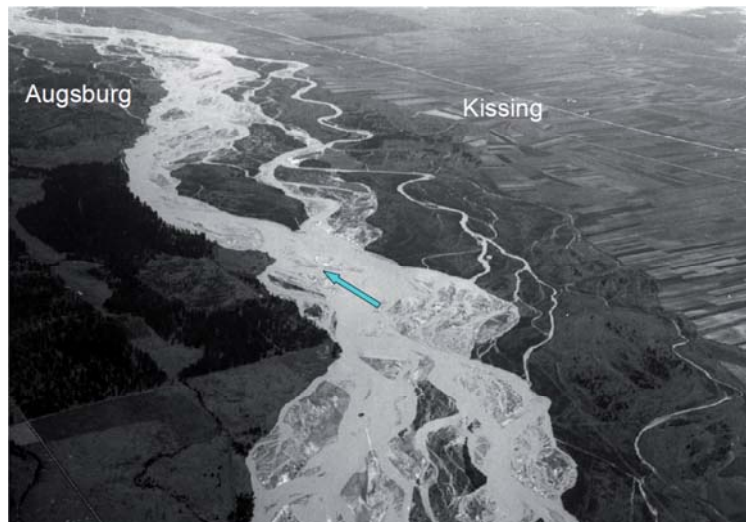
Überlegungen von Bauer im Jahr 1979 auf die Frage: „Wie würde man den Lech heute ausbauen?“ mündeten im Vorschlag, dass die Korrektion des Lechs nach den Regeln der Mäandergeometrie erfolgen müsse. Die mit der Mäandergestaltung verbundene Fließwegverlängerung, so die damalige Begründung, reduziert die Beanspruchung auf die Sohle. Die bestehende Fließwegverlängerung beläuft sich ausgehend von einem geradlinigen Flussverlauf bei einer solchen Mäandrierung auf ca. 10%. Das heißt die gewundene aktuell vorherrschende Mäanderform ist um den Faktor 1,1 länger als die direkte lineare Verbindung zwischen der Lechstaustufe 23 und dem Hochablass.

Zukünftig die Sohlstabilität alleine mit einer Fließwegverlängerung zu garantieren bedürfte eines Faktors von ca. Zwei. Die Überlegung den Lech noch stärker zu winden, würde beim Mittelwasserabfluss noch funktionieren können. Sohlmorphologisch ist mit Hinblick auf die Eintiefung allerdings der Hochwasserabfluss maßgebend. Bei diesem Lastfall könnten die Wassermassen den bei einer Modellierung wie oben beschriebenen engen Radien nicht folgen. Es würde zu schwer prognostizierbaren Ausuferungen kommen. Des Weiteren entspräche die notwendige Mäandergeometrie (enge Krümmungsradien) nicht den aus der Natur abgeleiteten Entwurfsvorgaben für die Linienführung mäandrierender Flüsse.

Hauptverantwortlich für den sohlstützenden Effekt sind bei der ausgeführten Korrektion die eingebrachten Sohlstützbauwerke.



Der Blick in historische Karten zeigt, dass der Lech im Untersuchungsgebiet früher einen Talraum von 300 bis 600 Metern für sich beanspruchte. Den zeichnerischen Aufnahmen ist des Weiteren zu entnehmen, dass der Lech ein verzweigtes Gewässer mit durchschnittlich zwei Hauptarmen ausbildete. Diese Einordnung stimmt mit den Untersuchungen von Zarn (Zarn, 1997 S. 94) überein.



**Abbildung 3.27** Luftbildaufnahme 20er Jahre 20. Jahrhundert

Die Zuordnung des Gerinneformtypus auf Basis geometrischer Größen eines Flusses kann an Hand des Da-Silva Diagramms oder des von Zarn überarbeitete Diagramms (Zarn, 1997 S. 109) erfolgen. Die beiden dimensionslosen Kenngrößen der relativen Breite  $Y = B_F/h$  und der relativen Höhe  $Z = h/d$  ermöglichen eine grobe Einordnung des Gewässers in die oben genannten Gerinneformklassen.

Unter den aktuell gegebenen Umständen ist der Lech lehrbuchmäßig dem Regime der alternierenden Bänke zuzuordnen. Bei einer Neukonzeptionierung und einem damit verbundenen Eingriff in den Bestand besteht die Möglichkeit, das Flussregime erneut zu wechseln.

### **Welches Regime soll zukünftig angestrebt werden?**

Wünsche und Vorstellungen vieler Projektinteressierten orientieren sich am Ursprungszustand des verzweigten Gerinnes. Charakteristisch für diese Gerinneform sind große Kiesflächen und ein in mehrere Äste gegliederter Abfluss. Eine beachtliche Sohldynamik gestaltet und formt das Flussbett bei jedem Hochwasser neu. Die ständigen Umlagerungen halten die Kiesflächen mobil. Verkräutung wird somit effektiv verhindert.

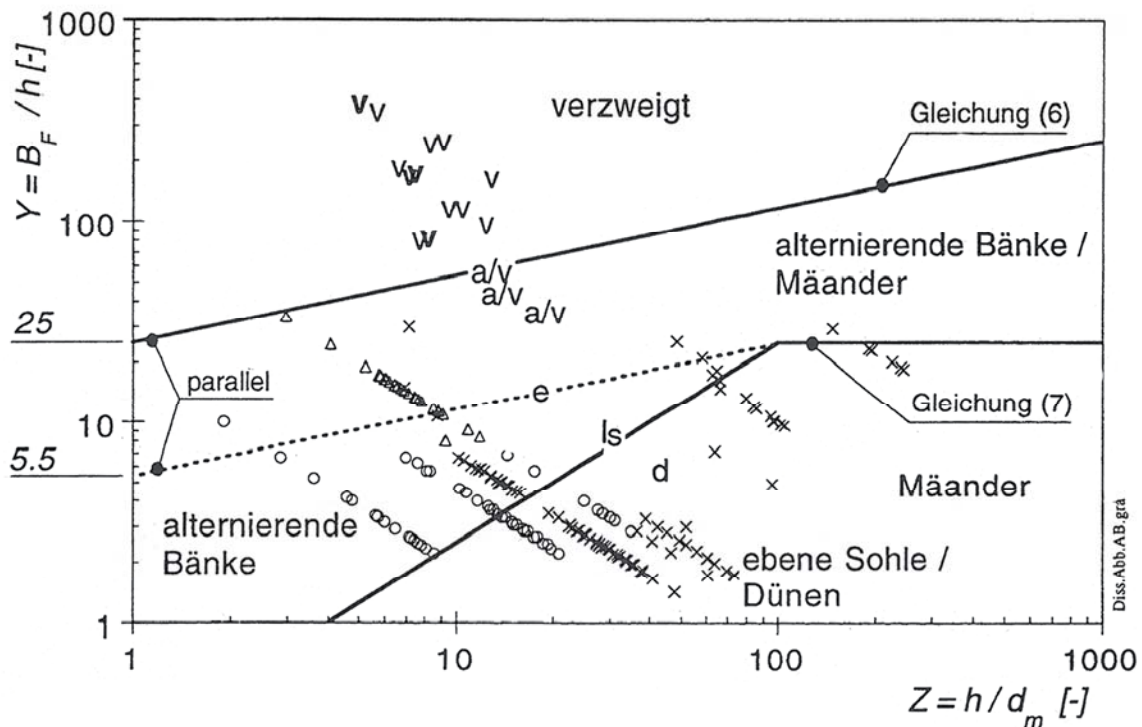


Abbildung 3.28 nach Zarn modifiziertes Da-Silva-Diagramm (Zarn, 1997 S. 109)

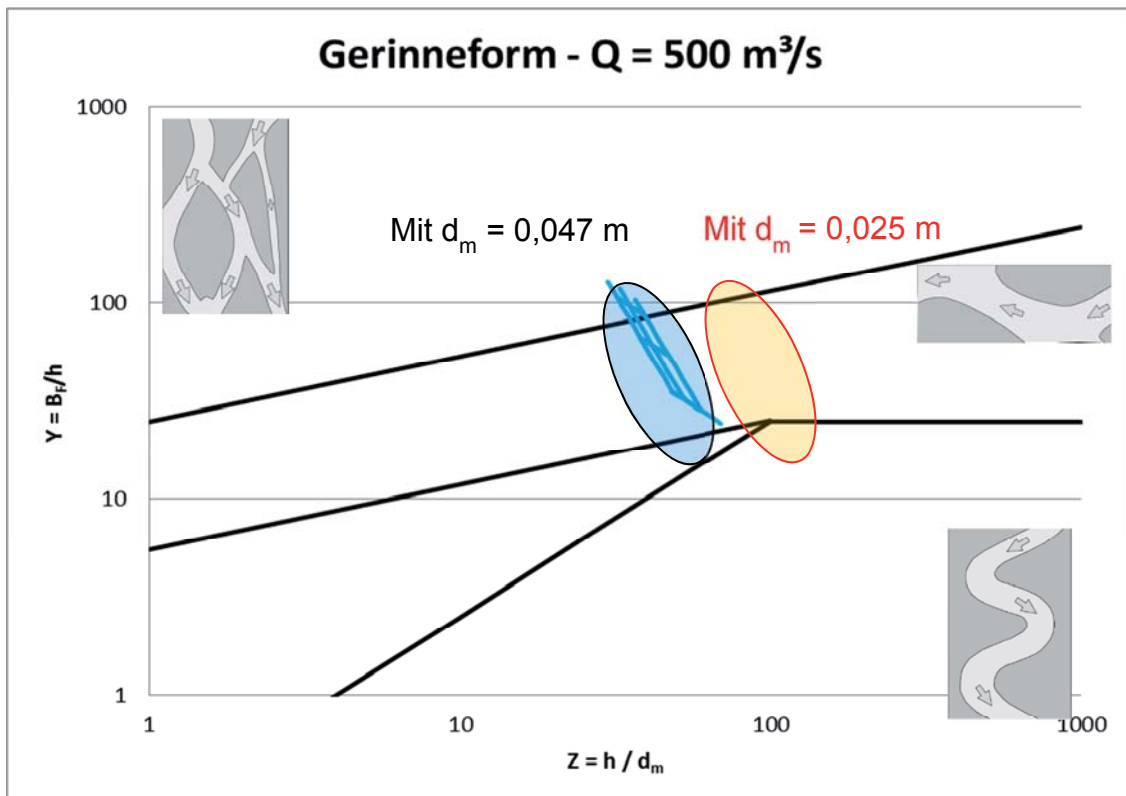
Die im letzten Jahrhundert durchgeführte flussbauliche Korrektur, einhergehend mit dem sukzessiven Ausbau der Wasserkraft, veränderte die Morphologie des Lechs grundlegend.

Eine natürliche Geschiebezufuhr aus den Quellgebieten ist unterbunden. Somit fehlt ein funktionaler Bestandteil des verzweigten Gerinnes, welches für die notwendige Dynamik auf stetig Geschiebezufuhr angewiesen ist.

Zweite wesentliche Änderung ist das Hochwasserverhalten. Kleine bis mittlere Hochwasser werden durch den Förgensee sehr effektiv gedämpft oder gar zurückgehalten. Dies hat zur Folge, dass der notwendige Abfluss zur Mobilisierung des Geschiebes und somit zur Umgestaltung (Umlagerung der Kiesbänke) nur noch sehr selten auftritt.

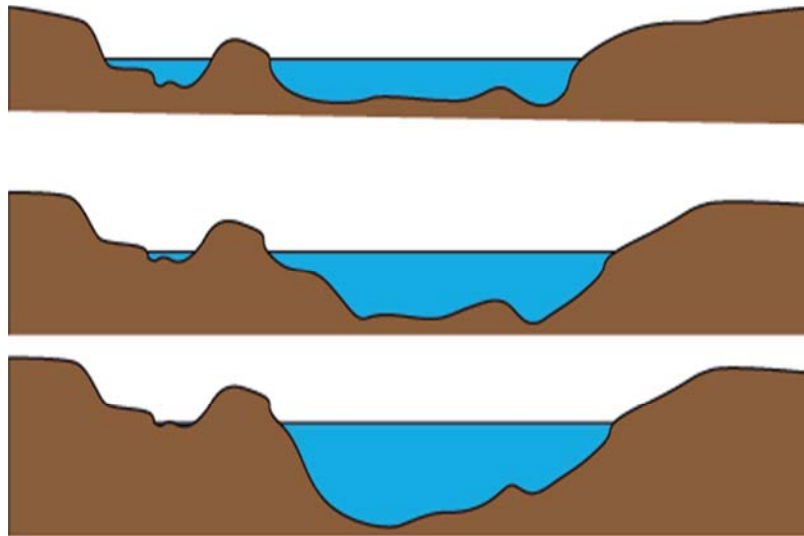
Fehlender Geschiebeeintrag und verändertes Hochwasserverhalten befördern einerseits die Eintiefung, andererseits die Verkräutung bzw. die Verbuschung. Vor den Korrekturmaßnahmen kam es sehr regelmäßig zu kleinen und auch mittleren Hochwassern, welche in der Lage waren, das Flussbett entsprechend zu mobilisieren und damit auch umzugestalten. Fehlt dies, so kann schnellwachsende Vegetation die offenen Kiesflächen besiedeln und verfestigen. Die Stabilität verkräuteter und ver-

buschter Bereiche ist um ein vielfaches höher, so dass eine Mobilisierung deutlich mehr Energie erfordert.



**Abbildung 3.29 Gerinneform (blau: mit Deckschicht, gelb: ohne Deckschicht)**

Ungeachtet dessen, dass kein Geschiebeeintrag stattfindet und Verkräutung und Verbuschung Bereiche erosionsstabiler machen, besitzt der Fluss nach wie vor eine spezifische Transportkapazität (abhängig von Sohlgeometrie, Längsgefälle), die er zu sättigen versucht. Als einzige Quelle verbleibt die Erosion der Sohle mit dem Ergebnis, dass sich der Hauptarm des Gewässers eintieft. Tatsächliche oder potentielle Nebenarme fallen sukzessive trocken. Der Abfluss konzentriert sich dann allein auf das Hauptgerinne. Mit fortschreitender Entwicklung fallen letztendlich alle Nebenarme trocken.



**Abbildung 3.30 Flussbettentwicklung bei gleichem HQ (oben: ursprüngliche Situation; mittig: verkrautete Nebenarme; unten: vollständig trockengefallene Nebenarme)**

Im Rahmen von Gewässerpflegemaßnahmen, wäre vorstellbar, dass Verkrautungen und Verbuschungen der Kiesflächen in regelmäßigen Intervallen mechanisch entfernt werden. Um einen Beitrag zur Dynamisierung leisten zu können, müsste jedoch auch sichergestellt werden, dass die Verwurzelung effektiv aufgelöst wird, um so die Kiesfläche im Hochwasserfall mobilisieren zu können.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen ist ein wie im ursprünglichen Zustand vorherrschendes verzweigtes Gerinne als nicht „natürlich stabil“ zu bewerten. Eine denkbare Option, die sich im Rahmen der Steuerungsmöglichkeiten eines modernen Hochwasserschutzes bieten, wäre die „Erzeugung“ kleinerer künstlicher Hochwasser. Maßgabe hierfür wäre, eine morphologisch untergeordnete lokale Mobilisierung anzustreben, die jedoch einen ökologischen Nutzen haben sollte. Von größeren künstlichen Hochwassern ist aus Sicht der Gesamtstabilität abzusehen. Die Herstellung einer völligen Geschiebedurchgängigkeit auf der Gesamtlänge ist momentan und auch künftig nicht zu realisieren, somit als illusorisch zu bewerten.

Ergänzend noch die Idee, der gewundenen Laufform: Die konzeptionelle Vorstellung dessen ist eine sich talwärts schlängelnde Laufform, mit ortsfesten Kolken und Bänken. Erreicht wird dies, indem mittels Leitbauwerken und Uferbefestigungen die Strömung in die gewünschten Bahnen gelenkt wird. Der Vorteil: Sohlentwicklung und somit auch die Gefahren eines Sohdurchschlags können auf Grund der baulichen Vorgaben besser abgeschätzt werden.

## 4 Maßnahmenkatalog

Der Sohlerosion entgegenwirkende Maßnahmen gestalten sich vielfältig. Die Relevanz von naturnahen Gewässerstabilisierungsmaßnahmen als Antwort auf die durch die Korrektur verursachten Eintiefungen wurde bereits in den frühen Neunzigern erkannt. Daraufhin hat der Fachausschuss „Sedimenttransport in Fließgewässern“ des Deutschen Verbands für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) ein umfangreiches Werk mit dem Titel „Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung“ erarbeitet (DVWK 118, 1997). Neben rein gestalterischen Elementen werden auch umfangreiche technische Fragestellungen behandelt.

Die Gruppierung der Maßnahmen umfasst technische Ausführungen und rein naturnahe Ansätze. Technische Eingriffe umfassen Sohlstufen, Schwellen und offenes Deckwerk. Naturnahe Umgestaltungen sind in Form von Querprofilaufweitungen, Fließwegverlängerungen oder Entlastungen über Nebenarme denkbar (DVWK 118, 1997).

Praxiserfahrungen zeigen, dass normalerweise ein aufeinander abgestimmtes Maßnahmenpaket zur Ausführung kommt. Der Übersicht halber werden einzelne Möglichkeiten isoliert betrachtet und vorgestellt. Die Abstimmung möglicher auszuführender Maßnahmenpakete wird eigens im Abschnitt 5 aufgezeigt.

Grundsätzlich sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass die begradigten und eingeeengten Flüsse des Voralpenlandes den auftretenden hydraulischen Belastungen nicht gewachsen sind. Eine Ertüchtigung in Bezug auf die Gewässerstabilität ist daher unerlässlich. Zugleich scheint die Zielvorgabe einer vollständigen Rückkehr zum Wildfluss aus heutiger Sicht völlig abwegig (WWA Donauwörth, 2008 S. 23). Die eingetretenen anthropogenen Veränderungen sind im Hinblick auf Wirtschaft und Industrie nicht mehr rückbaubar.

Die Wasserwirtschaft hat sich bereits seit den 1980er Jahren intensiver mit Fragen der Sohlstabilisierung des Lechs befasst und verschiedene Ansätze untersucht. Ein neuer Ansatz wurde mit dem seit dem Jahr 2004 am Wasserwirtschaftsamt Donauwörth entwickelten Projekt „Licca liber“ verfolgt, das neben dem Ziel der Sohlstabilisierung gleich mehrere Ziele verfolgt wie die Renaturierung des Lechs unter den Vorgaben der EU - Wasserrahmenrichtlinie und die Verbesserung des Hochwasserschutzes.

### 4.1 Sohlenbauwerke

Sohlenbauwerke gliedern sich in Sohlstufen und Schwellen. Schwellen ändern das Sohlengfälle nicht. Sohlstufen raffen den Höhenunterschied auf eine kleine Strecke zusammen, anders gesagt, ein vorhandener Höhenunterschied wird räumlich kom-

primiert abgebaut. Wie Überlegungen zur Sohlstabilität im Abschnitt 3.5 gezeigt haben, ist im Falle des Lechs das Sohlgefälle an die neuen Umstände anzupassen. Insofern bleiben für weitere Betrachtungen Schwellenbauwerke außen vor. Die Sohlstufen ihrerseits gliedern sich nach DIN 4047-5 in Absturz, Absturztreppe, Sohlenrampe und Sohlgleite. Im Abschnitt 2 südlich von Augsburg finden sich bereits heute Bauwerke, die den Absturz- und Absturztreppebauwerken zugeordnet werden können. Aus ökologischer Sicht wirken Absturzbauwerke mit einer senkrechten Wand als unüberwindbare Hindernisse. Kleinstlebewesen ist es nicht möglich diese Querbauwerke zu durchwandern. Mit Blick auf die europäische Wasserrahmenrichtlinie, welche allgemein anstrebt den Gewässerzustand in einen guten Zustand oder in das gute ökologische Potential zu überführen, sind Bauwerke gefragt, welche die ökologische Durchgängigkeit gewährleisten. Bauformen von Sohlenstufen, die diesen Anforderungen genügen, sind Sohlenrampen und Sohlgleiten. Die Einordnung erfolgt laut DIN 4047 an Hand des Gefälles. Für Sohlenrampen gilt ein Gefälle bis etwa 1:10, das Gefälle der Sohlgleite beginnt ab einem Bereich von 1:20.

### **Rampenbauwerke**

Die hydraulische Wirksamkeit ist laut DIN 19 661 Teil 2 gegeben, wenn der Strömungswechsel Strömen-Schießen-Strömen erreicht wird. Der Abfluss ist so zu beschleunigen, dass er ins Schießen gerät und anschließend durch gezielte Energieumwandlung abgebremst ins Strömen übergeht. Ein stabiler Wechselsprung sorgt für eine optimale Energieumwandlung. Dieser kann aber nur in einem Froude-Bereich von 4,5 bis 9,0 existieren. Dem entgegen steht die Idee der Rampe, welche versucht, mittels einer möglichst rauen Oberfläche die Energie bereits auf dem Rampenbauwerk umzuwandeln. Die Folge ist ein gewellter Wechselsprung, der als hydraulisch unwirksam gilt. (Gebler, 1991 S. 45)

Des Weiteren zeigen Überlegungen von Gebler zur Abflusscharakteristik, dass das hydraulische Verhalten einer Rampe sehr stark vom Abflusszustand beeinflusst wird. Für relativ geringe Abflüsse zeigt sich, dass die Energieumwandlung sehr gut funktioniert. Mit zunehmendem Abfluss steigt der Unterwasserspiegel. Die Einstauung bewirkt ab einem bauwerksspezifischen Abfluss, dass sich der Schussstrahl von der Rampenoberfläche ablöst. Die Ablösung hat zur Folge, dass die Energieumwandlung nicht mehr auf der Rampe stattfindet, sondern entfernt vom Rampenkörper geschieht. Im Hochwasserfall ist der unterwasserseitige Einstau einfluss so stark ausgeprägt, dass kein Fließwechsel mehr stattfindet (Gebler, 1991 S. 41). Die Energieumwandlung konzentriert sich nicht länger auf den Rampenkörper, sondern nimmt die stromabliegenden Sohl- und Uferbereiche in Beschlag. Ergebnis sind Uferabbrüche und Kolkbildung. Insbesondere bei erosionsgefährdeten Flüssen führt dies zur massiven Austragung von Geschiebe. Dem gilt es in Form von Aufweitungen sowie von Ufer- und Sohlsicherungen entgegenzuwirken. Einen für die Bauwerkssicherheit

kritischen Punkt stellt der Schwellenfuß dar; dieser ist gegen Auskolkung konstruktiv zu sichern.

### Bauweise

Der Blick auf die Entwicklung der zur Anwendung gebrachten Sohlstufenbauwerke offenbart einen radikalen Wandel. Die Fortentwicklung der Sohlabstürze des 20. Jahrhunderts zu konventionellen Rampenbauwerken oder aufgelösten Sohlgleiten orientiert sich am gestiegenen ökologischen Bewusstsein. Die Wiederherstellung bzw. der Erhalt der ökologischen Durchgängigkeit ist die treibende Kraft des Bestrebens moderne Rampenbauwerke so zu gestalten, dass die Durchwanderbarkeit von Fischen und Kleinstlebewesen gewährleistet werden kann. Der Anspruch an Strömungsvielfalt sowie die Durchgängigkeit der Sohle stehen für die Ausbildung des Bauwerks an erster Stelle.

Rampen stellen bei falscher Konzeption ebenfalls eine unüberwindbare Barriere dar. Fehlende Ruhezeiten und zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten versagen die Durchwanderbarkeit für Jung- und sohlennah lebende Tiere. Homogene Querschnitte weisen für die im Jahresverlauf stark schwankenden Abflussgeschehnisse gleichermaßen variierende Durchwanderbarkeiten auf. Besser verhalten sich querschnittsdifferenzierte Bauwerke, die eine konstante Bandbreite an notwendigen Strömungsfeldern für unterschiedliche Abflüsse aufweisen können. Aus Sicht der Ökologie sind Sohlgleiten in Form von lockeren Rampen die erste Wahl (Patt, et al., 2011 S. 308 ff).

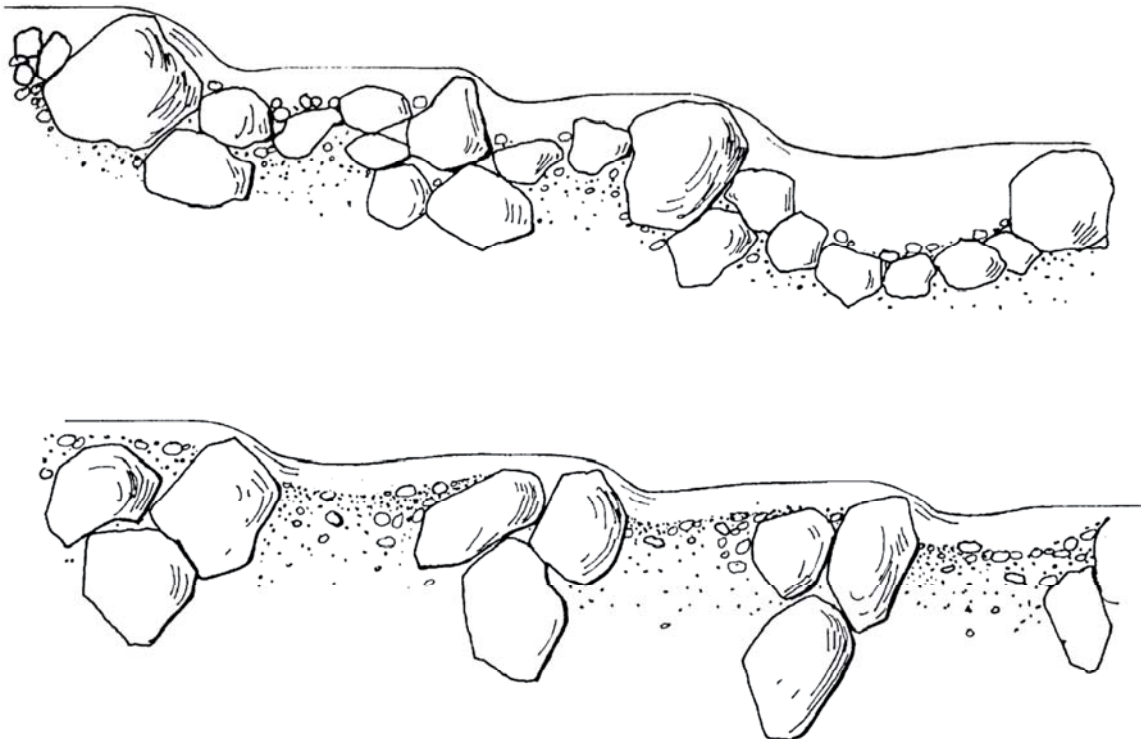


Abbildung 4.1 Kaskadenrampe (oben) und offene Kaskade (unten) (Patt, et al., 2011)

Offene Kaskadenrampen bestehen aus einer aneinander Reihung von Becken, die geformt durch einen Steinsatz künstlich ausgebildet sind. Die Beckenbegrenzungen wirken wie kleine Wasserfälle. Die Becken selbst entstehen durch Auskolkung zwischen den Steinsätzen. Die Durchgängigkeit der Sohle und die geringen Absturzhöhen der Mini-Wasserfälle stellen die Durchwanderbarkeit für unterschiedlichste Lebewesen sicher. Die Bauwerksstabilität offener Rampen ist verglichen mit geschichteten Rampen als versagenstoleranter einzustufen (Patt, et al., 2011).

Die ökologische Durchwanderbarkeit ist bei geschichteten, ebenen Systemen abhängig vom Abfluss. Zur Kompensation dieses für die Ökologie ungünstigen Verhaltens wurden Rampen mit differenziertem Querschnitt entwickelt. Ziel war es für ein möglichst großes Abflussspektrum optimale Bedingungen zu schaffen. Auch bei der Planung aufgelöster Rampen ist auf eine Querschnittsdifferenzierung zu achten, die Becken sind entsprechend anzuordnen.

## 4.2 Aufweitung

Der steinerne Uferverbau vieler voralpiner Flüsse wirkt wie ein Korsett, indem der Fluss eingeschnürt nicht „frei atmen“ kann. Ein Rückbau bestehender Uferbefestigungen befreit den Fluss. Das Mehr an Raum wirkt sohlstabilisierend und bietet Dank der gewonnenen neuen Fließgewässerdynamik eine größere Lebensraumdiversität. Menschliche Schutzgüter (von landwirtschaftlichen Flächen bis hin zu Chemiefabriken) stehen entgegen großzügiger Aufweitungen. Entwicklungsräume sind meist nur in sehr begrenztem Umfang vorhanden. Ausgeführte Musterstrecken zeigen, dass der Fluss zwar mehr Raum in Anspruch nehmen darf. Selten jedoch kann ihm sein ursprünglich zur Verfügung gestandener Raum zugesprochen werden.

Aufweitungen machen sich das grundlegende Prinzip zu nutzte, dass mit einem vergrößerten Abflussquerschnitt eine Reduktion der Fließtiefe und -geschwindigkeit eintritt. Die verminderte Transportkapazität initialisiert einen Umstrukturierungsprozess. Anfänglich bildet sich im Übergangsbereich vom bestehenden Gewässer in die Aufweitung ein Auflandungskeil. Mit fortschreitender Hochwassereinwirkung stellt sich dieser Geschiebekeil weiter auf und schiebt sich langsam die Aufweitung hinunter. Der Rückhalt des transportierten Geschiebes führt stromab des Auflandungskeils zu teils erheblich Kolkbildungen. Vor allem im Bereich der Verengung, am Ende der Aufweitung, bewirkt das Wiedererlangen der Transportkapazität massive Erosionen. Der Fluss versucht durch Aufnahme von Geschiebe aus Sohl- und/oder den Uferbereichen dies zu stillen. Oftmals sind daher technische Schutzmaßnahmen zur Gewährleistung der Hochwassersicherheit oder dem Schutz stromab liegender baulicher Anlagen erforderlich.



Untersuchungen von Hunzinger (Hunzinger, 1998) legen dar, dass ein aufgeweitetes Gerinne die für den Fließquerschnitt charakteristische Gerinneform annimmt. Eine Klassifizierung erfolgt nach dem bereits erwähnten Da-Silva-Diagramm oder nach dem von Zarn modifizierten Diagramm. Zur vollständigen Ausbildung der Gerinneform ist sowohl sicherzustellen, dass ausreichend Platz vorhanden, als auch die notwendige Entwicklungslänge gegeben ist (Hunzinger, 1998 S. 83ff). Eine Klassifizierung der Gerinneform ohne eine Prognose der Auflandungs- bzw. Eintiefungstendenz führt zu einem falschen Beurteilungsergebnis. So ergibt sich für ein verzweigtes Gewässer unter der Annahme eines sich im Erosionszustands befindlichen Flusses folgender Entwicklungsfortgang:

Fehlender Geschiebeeintrag führt zu einer überproportionalen Erosion des Hauptarmes. Auf den Hauptarm fokussierte Eintiefungen bündeln den Abfluss. Nebenarme fallen indessen trocken.

### **Bauweisen**

Aufweitungen sind den natürlichen Gestaltungsmaßnahmen zuzuordnen. Intensität und Umfang des technischen Eingriffs sind an die jeweilige Ausführungsvariante gekoppelt. Eine Übersicht der verschiedenen Aufweitungsverfahren bietet der von Rohde 2005 veröffentlichte Synthesebericht (Rohde, 2005 S. 38ff). Im Fall der dynamischen Eigenentwicklung werden lediglich die Uferversteinung entnommen und notwendige Leitstrukturen im Bereich der Verengung eingebaut. Das Gegenteil, die maschinelle Aufweitung, stellt den gewünschten Endzustand künstlich her. Zur Vermeidung ungewollter Seitenerosionen sind Uferschutzmaßnahmen vorzusehen. Eine Zwischenlösung bietet die Eigenentwicklung mit Initialmaßnahmen. Ferner wird von Rohde vorgeschlagen, sogenannte Diskussions- und Interventionslinien zu definieren. Diskussionslinien sind als weiche Begrenzungen der Dynamisierungsprozesse zu sehen. Es gilt vorrangig zu beobachten und bewerten, wenn notwendig auch entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Schreitet das Ufer bis zur Interventionslinie vor, so sind wasserbauliche Sofortmaßnahmen zu ergreifen. Empfehlenswerterweise sind adäquate Maßnahmen im Voraus zu entwerfen, so dass schnelles und dennoch durchdachtes Einschreiten möglich ist.

In der Veröffentlichung zum Thema Sohlenmorphologie in Flussaufweitungen (Requena, 2005) wird explizit auf sich im Erosionszustand befindliche Gewässer eingegangen. Der Artikel macht deutlich, dass die Eintiefung eines sich eingrabenden Flusses nicht über die Aufweitungsstrecke hinaus wirksam gestoppt werden kann. Die Wirkung der Aufweitung ist auf den Aufweitungsbereich beschränkt. Eine für das Gewässer weitreichend nach oberstrom stützende Wirkung kann nicht erwartet werden. Die Standortwahl ist hinsichtlich des Abstands zum nächst gelegenen unterstromigen Fixpunkt von entscheidender Bedeutung. Die Gegenüberstellung zweier Aufweitungsszenarien, die sich lediglich im Abstand zum unterstromigen Fixpunkt

unterscheiden, belegt klar, je näher die Aufweitung am Fixpunkt liegt, desto höher kommt die Sohle auch oberhalb des aufgeweiteten Bereichs zu liegen. Eine weitere Kernaussage des Artikels ist, dass die vorhandene Erosionstendenz im Oberwasser durch die Aufweitung verstärkt wird. Von Requena empfohlene Gegenmaßnahmen für den Bereich unterhalb der Aufweitung bestehen aus flächenhaften Sohlenschutzmaßnahmen und einer Reduktion des Geschieberückhalts. Oberhalb besteht der Vorschlag, Material einzubringen, um so den Entwicklungsprozess zu verkürzen. Darüber hinaus wird empfohlen, eine sukzessive Vergrößerung des Gewässers (mittels Etappierung oder eigendynamischer Aufweitung) anzustreben. Die Idee ist, der Fluss wächst nach und nach in sein neues Bett hinein. So hat er die Möglichkeit, die der neuen Breite geschuldeten notwendigen Anpassungen in ausreichender Zeit durchzuführen.

### Bemessung

Die Dimensionierung von Aufweitungen mit Hilfe einfacher Handformeln ermöglicht im Rahmen dieser Konzeptstudie verschiedene Varianten durchzuspielen, ohne Anspruch auf eine detailgenaue Modellierung Wert zu legen. Für eine erste Grobdimensionierung wurden Untersuchungsergebnisse in einfach anwendbare Handformeln überführt. Genauere Aussagen lassen sich nur mit Verwendung eines gut kalibrierten numerischen Modells treffen. Ansätze zur numerischen Modellierung eigendynamischer Aufweitungsprozesse und Untersuchungsergebnisse für eine gerade Gewässerstrecke finden sich in dem von Schmautz veröffentlichten Bericht (Schmautz, 2003). Darüber hinaus entwickelte Schmautz ein einfaches Handrechenverfahren zur Abschätzung der Regimebreite und -länge.

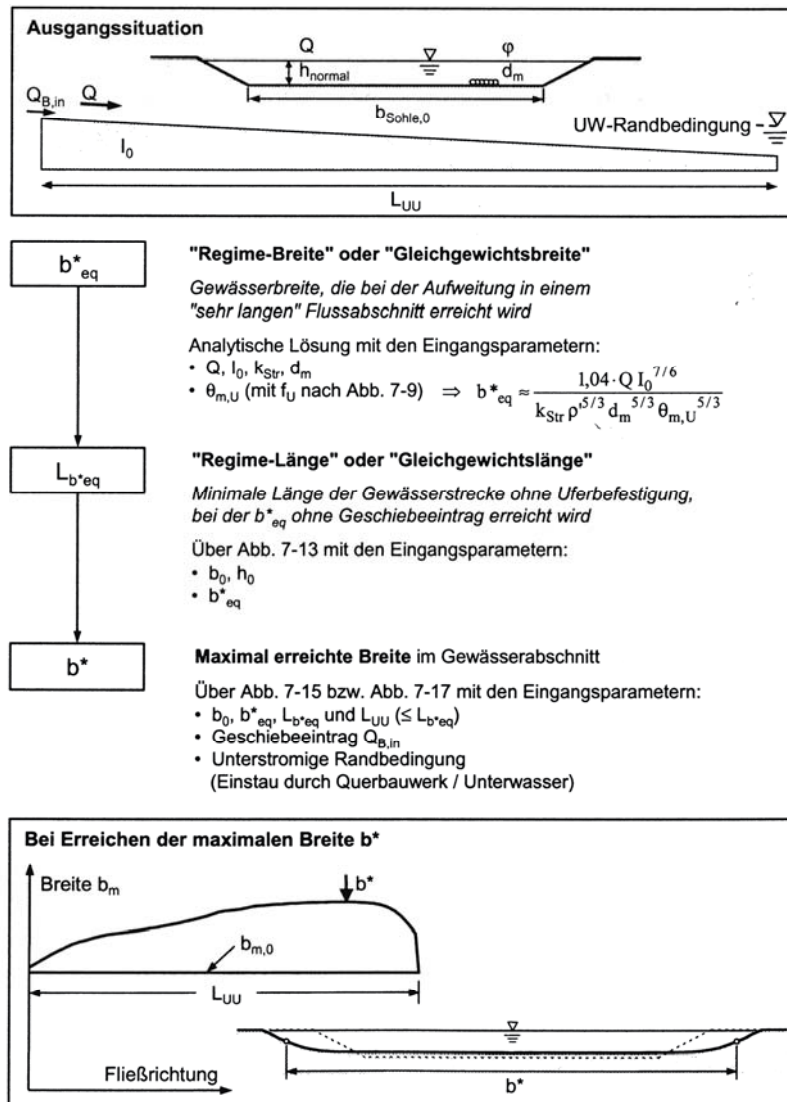


Abbildung 4.2 Berechnungsablauf zur Bestimmung der maximalen Gewässerbettbreite  $b^*$  (Schmautz, 2003 S. 136)

Im Fall von verzweigten Gerinnen bilden die numerischen Modelle auf Grund der getroffenen Vereinfachung die Realität oftmals nur sehr ungenügend nach. Verlässliche Vorhersagen sind nur mittels hochauflösender anwendungsangepasster Simulationen zu treffen.

Hunzinger zeigt, dass die Kolkgefahr und der Abflussverlauf in einem verzweigten Gewässer keiner linearer Gesetzmäßigkeit folgt. Bereits in einem Zwischenzustand verursachen Querströmungen im Fließgewässer ein Maximum an Erosionen (Hunzinger, 1998 S. 172). Im Zusammenhang mit begrenzenden Leit- und Schutzbauwerken ist es erforderlich, die Gründungen entsprechend den zu erwartenden Kolkiefen ausreichend tief auszubilden.

### Bemessungshilfen

Der Zusammenhang des Transportbeginns und der Kombination aus Aufweitung und Sohlneigung ist in Abbildung 4.3 illustriert. Einen konstanten Abfluss zu Grunde gelegt sind für unterschiedliche Parameter die zugehörigen Sohlbeanspruchungen aufgetragen. Ergänzt wurde das Diagramm um die Information des sich theoretisch einstellenden Flussregimes (Rechteck = alternierende Bänke; Dreieck = verzweigtes Gerinne). Der Regimeübergang ist gleitend zu sehen. Misch- und Zwischenformen sind ebenfalls denkbar.

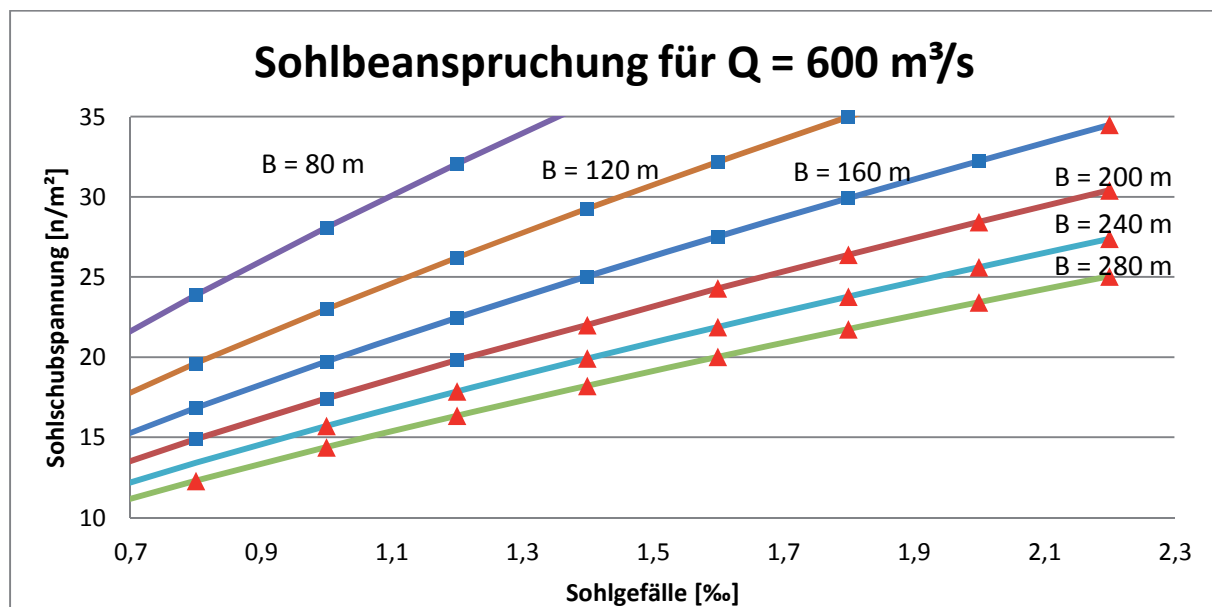


Abbildung 4.3 Sohlbeanspruchung für  $Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$  –  $dm = 0,027 \text{ m}$

Im Anhang 4 findet sich ein weiteres Diagramm mit einem Stabilitätsabfluss von  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **Bemerkung**

Bei Aufweitungen als sohlstabilisierender Maßnahme ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob diese mit dem Ziel einer eigendynamischen Entwicklung oder in Begleitung eines offenen Deckwerks zur Anwendung kommen. Im Unterschied zur eigendynamischen Entwicklung, welche die Sohle nicht fixiert, wird das Flussbett beim Bau des offenen Deckwerks in einem definierten Zustand stabilisiert. Weiterführende Überlegungen hinsichtlich eigendynamischer Entwicklung werden im Rahmen des Geschiebemanagements (siehe 4.4) diskutiert.

In der Schweiz wurden bereits zahlreiche Aufweitungen ausgeführt. Als Forderung gilt: „Daher ist langfristig die Geschiebezufuhr aus dem Einzugsgebiet sicher zu stellen bzw. wieder herzustellen. Erst durch Beheben des Geschiebedefizits und die damit verbundene Sohlenerosion können die Ziele dauerhafter Hochwasserschutz, Sohlenstabilität und Schaffung autotypischer Arten- u. Lebensgemeinschaften erreicht werden“ (Rohde, 2005 S. 49). Eine Forderung, die für den Lech so nicht zu erfüllen ist. Der Konzepttransfer von der Schweiz an den Unterlauf des Lechs ist unter diesen Umständen ohne Modifikation nicht sinnvoll.

### **4.3 Offenes Deckwerk**

Ein vergleichsweise neues Verfahren zur Sohlstabilisierung bietet das offene Deckwerk. Im Gegensatz zu einem konventionell ausgeführten geschlossenen Deckwerk wird nur ein Teil der Sohle mit Steinen belegt. Dies reicht jedoch aus, um auftretende Erosionserscheinungen an der ungeschützten Flusssohle fast vollständig zu unterbinden. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise und umfangreiche Versuchsergebnisse zu offenen Deckwerken finden sich im Band 85 der Veröffentlichungsreihe des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft (Hartlieb, 1999). Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte an Hand dieser Quelle herausgearbeitet.

Geschiebeführende voralpine Flüsse sind in der Regel fähig, Abpflasterungsschichten auszubilden. Im Ablauf eines Extremereignisses werden die Kornfraktionen auf natürliche Weise sortiert und bilden so die Abpflasterungsschicht. Grobe Bestandteile, die dem Strömungsangriff widerstehen, verharren an Ort und Stelle. Kleinere Kornfraktionen werden ausgeschwemmt und abtransportiert. Die so entstandene Sohlpanzerung besteht aus dem Größtkornanteil des Geschiebes. Tritt erneut eine Hochwassersituation ein, so ist das unter der Sohlpanzerung liegende feinere Geschiebe so lange geschützt, bis der für die Bildung der Panzerung abgelaufene Abfluss überschritten wird. Das offene Deckwerk macht sich dieses Prinzip zu Nutze. Die künstlich eingebrachten Steine halten einem Strömungsangriff während eines Hochwassers stand. Zugleich schützen sie das darunterliegende Sohlmaterial. Die Widerstandsfähigkeit der natürlichen Abpflasterungsschicht ist durch das größte zu

erwartende Hochwasserereignis bestimmt. Die künstlichen Sohlpanzerungen werden hingegen für ein definiertes Hochwasserszenario dimensioniert.

Die eingebrachten Steine sind trotz ihrer exponierten Lage fähig, die angreifenden Strömungskräfte aufzunehmen. Außerdem für die Funktion des offenen Deckwerks entscheidend bildet sich im Strömungsschatten ein Bereich aus, der die frei liegende Sohle schützt. Hinter den einzelnen Steinen entstehende Minikolke werden räumlich durch die eingesetzte Steingröße und deren Abstand zueinander begrenzt. Die zwischen den Steinen erhöhte Turbulenz führte in den Versuchen kurzzeitig zu lokalen Sohlumstrukturierungen. Erosionen im größeren Maßstab konnten jedoch nicht beobachtet werden. Für die Dimensionierung gilt die einfache Faustformel: Jeder Stein des offenen Deckwerks mit seinem Strömungsschatten schützt einen Bereich der Sohle, der etwa seiner Größe entspricht (Hartlieb, 1999 S. 120).

Ein wesentlicher Vorteil offenen gegenüber geschlossenen Deckwerks ergibt sich aus Sicht der Ökologie. Im Fall mehrlagig ausgeführter geschlossener Deckwerke ist eine Geschiebeentnahme notwendig, was mit einem erheblichen Eingriff verbunden ist. Nach Ausführung stellt sich eine eintönige verödende Sohlstruktur dar. Die punktweise Belegung der vorhandenen Sohle mit Steinen im Verfahren des offenen Deckwerks bewahrt hingegen die ökologisch wertvollen Sohlbereiche im Strömungsschatten der Steine. Darüber hinaus besteht Dank der hervorgerufenen Strukturdiversität eine Strömungsvielfalt, die positiv im Sinne der Ökologie zu werten ist. Für den Hochwasserfall wirkt die erhöhte Rauheit des Flussbettes ungünstig, was den Wasserstand betrifft.

Der Stricklerbeiwert  $k_{st}$  ist auf Grund der erhöhten Rauheit kleiner. Der lineare Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und dem Strickler-Beiwert bewirkt eine Reduktion der Fließgeschwindigkeit. Respektive steigt der Wasserspiegel im Gewässer, so dass unter Umständen die Leistungsfähigkeit des bestehenden Hochwasserschutzes geschmälert wird.

Abhilfe schafft eine Deicherhöhung oder Querschnittsaufweitung. Ökologisch gesehen ist die bei kleineren Abflüssen früher eintretende Ausuferung, die auf die geänderte Wasserstand-Abfluss-Beziehung zurückzuführen ist, für das Ökosystem unwürdiger von Vorteil.

Der Bau erster Teststrecken unter Realbedingungen im Rahmen des Forschungsvorhabens von Hartlieb gestaltete sich auf Grund komplizierter Apparaturen und personalintensiver Verfahren sehr schwierig. Im Verlauf umfangreicherer Maßnahmen an Wertach und Iller konnte ein für die Baustelle praktikables Vorgehen entwickelt werden. Die theoretisch ermittelte Menge an einzubauenden Steinen für einen Bereich wird dem Baggerfahrer seitlich als Haufen zur Verfügung gestellt. Dieser verteilte diese dann unter der Maßgabe einer gleichmäßigen Besetzungsdichte. Das erziel-

te Ergebnis erfüllt die Anforderungen. Voraussetzung zur Anwendung dieser sehr einfachen Methode ist, dass die eingesetzten Gerätschaften das Gewässer durchfahren können. Für ausreichend große Bagger sollte es kein Problem darstellen, den Lech in der Niedrigwasserzeit zu durchfahren.

Untersuchungen hinsichtlich der Sohlgeometrieänderungen und Einbaufehler zeigen, dass das offene Deckwerk ein fehlertolerantes System ist. Im Fall von Querneigungswechsel zeigen sich im Vergleich zur ebenen Sohle keine Zunahmen hinsichtlich der Sohlerosionen. Bei Einbaufehlern, die in Form von Fehlstellen während der Erstellung wohl nie völlig zu vermeiden sind, ist die in Längsrichtung akzeptable Fehlertoleranz im Vergleich zur Querrichtung deutlich geringer. Globales Versagen, die großflächige Zerstörung der Steinauflage, wurde im Rahmen der von Hartlieb durchgeführten Untersuchungen an einigen Versuchsanordnungen gezielt herbeigeführt. Auswertungen dieser Untersuchungsergebnisse ergaben ein sehr stabiles System. Das Versagensverhalten ist vorrangig im Bauzustand von Interesse.

„Die erforderliche Belegungsichte erwies sich in den Modellversuchen als weitgehend unabhängig von Abfluss, Sohlmaterial und Sohlgefälle; nur die Größe der Belegungssteine spielt insoweit eine wichtige Rolle, dass kleinere Belegungssteine einen geringeren Belegungsfaktor ermöglichen.“ (Hartlieb, 1999 S. 120)

#### **4.4 Geschiebezugabe und –management**

Geschiebedefizitäre Gewässer unter Beibehaltung hoher Sohlmobilität zu stabilisieren ist kontraproduktiv. Im Fall des Lechs ist der Geschiebefluss vollständig und nachhaltig unterbrochen. Um Stabilisierungskonzepte, die einen Geschiebefluss voraussetzen, nicht von vornherein ausschließen zu müssen, besteht die Möglichkeit, gezielt Geschiebe zuzugeben oder zu mobilisieren. Die Schwierigkeit einer Geschiebebeigabe liegt in der quantitativen Schätzung des Ausmaßes der eigendynamischen Entwicklung. Weiterhin ist sicherzustellen, dass das auftretende Geschiebepotential des Flusses mittels der Geschiebezugabe gestillt werden kann. Zusammenfassend besteht die Forderung: Erforderliches Geschiebe zur Dynamisierung ist dem Fluss in einem Bereich hohen Sättigungsbedarfs in ausreichender Menge bereitzustellen. Als Zugabepunkte eignen sich Bereiche hoher Turbulenzen und/oder Strömungsgeschwindigkeiten, wie sie zum Beispiel im Nachgang eines Tosbeckens, im Nachbett von Rampen oder in Einengungen vorliegen. Aufgeweitete und somit langsam fließende Bereiche ermöglichen keine Geschiebezugabe, diese wirken umgekehrt als mögliche Geschiebefallen.

Eigendynamische Seitenerosionen als mögliche Geschiebequellen können einen nur geringen Beitrag zur Geschiebedefizitminderung leisten. Der Grund liegt in dem mit der Erosion verbundenem Sortierprozess, welcher eine Abpflasterung herbeiführt. Mit fortschreitendem Entwicklungsstadium abhängig vom anstehenden Vorlandmaterial

findet ein Selbststabilisierungsprozess statt. Zudem entstehen großräumige Strukturen wie etwa ein sich eingrabender Prallhang. Das Wasser verschafft sich sukzessive mehr Raum. Die Deckschichtbildung und das Mehr an Raum reduzieren die angreifenden Kräfte an der Sohle. Die Erosionsraten nehmen ab.

### **Eigendynamik**

Sind zukünftig eigendynamische Prozesse gewollt, so ist dies mit einem Mindestangebot an Geschiebe abzusichern. Naheliegender wäre die Verwendung von Material aus den Vorlandbereichen. Die eiszeitlich gebildeten Geschiebereserven zu nutzen funktioniert allerdings nur im begrenzten Umfang. Ab einem Entwicklungspunkt der eigendynamischen Aufweitung unterschreiten die erosiven Kräfte den für die Mobilisierung notwendigen Schwellenwert. Der Geschiebeeintrag stoppt. Ab diesem Stadium müsste das Geschiebe dem Lech an entsprechender Stelle zur Verfügung gestellt werden.

Konzepte, die den Sohlbereich nicht explizit zu schützen, sind denkbar, verlangen aber ein entsprechend dichtes Monitoringprogramm. Veränderung der Sohlage müssen frühzeitig registriert und die für den Ausgleich notwendigen Geschiebemengen bereitgestellt werden.

### **Dauerhaftigkeit**

Das urzeitliche Materialdepot ist endlich. Folgekonzepte der Geschiebedefizitkompensation im Szenario erschöpfter Depotreserven sind frühzeitig entwickeln. Wie lange spezifische Lösungen tatsächlich funktionieren hängt stark von den eintretenden Hochwasserereignissen ab.

### **Stresstest**

Was passiert wenn die Geschiebezufuhr versagt? Welche Auswirkungen hat dies auf die einzelnen Stabilisierungskonzepte?

Im Fall einer Längsgefällereduktion mit Stützbauwerken wird die Sohlbeanspruchung zwar reduziert, erfolgt die Geschiebezufuhr jedoch nicht im erforderlichen Maß, so sind weitere Erosionen in den ungeschützten Zwischenbereichen zu erwarten. Abhängig von der Sohlbeschaffenheit und der erosiven Kapazität eines Hochwassers kann es zu massiven Schädigungen kommen.

In der Konzeption vorgesehene Stützbauwerke sind mit einer ausreichenden Energieumwandlung und standsicheren Nachbettsicherung zu versehen. Anderenfalls kommt es in Hochwasserfall zu lokalen Erosionen, die im Fall mangelnder Geschiebezufuhr die Standsicherheit des Bauwerks gefährden könnten.

Eigendynamische Aufweitungen reagieren am sensibelsten auf Fehlen des Geschiebeeintrags. Lokale Sohldurchschläge oder Kolkerscheinungen können hier zu massiven Schädigungen führen. Zusätzlich kann eine Aufweitung als Geschiebefalle wir-



ken und Erosionen flussabwärts noch verstärken. Hingegen stellen Flussaufweitungen mit gleichzeitiger Fixierung, wie es in einer kombinierten Ausführung bei einem offenen Deckwerk zur Ausführung kommt, keinerlei Probleme dar.

Das toleranteste System bildet das offene Deckwerk. Sofern das Bemessungshochwasser nicht überschritten wird, besteht allerhöchstens die Gefahr, dass die Deckwerkzwischenräume ausgeräumt werden.

#### **4.5 Strahlwirkung (Deutscher Rat für Landespflege, 2008)**

Bisher vorgestellte Maßnahmen wenden sich konkret gegen das Problem der Sohleintiefungen. Als Nebenbedingung gilt die Vorgabe, dass alle vorgeschlagenen Sanierungsvarianten auch eine Verbesserung des ökologischen Gewässerzustands zu leisten haben. Zur Zielerreichung sind aufwendige, umfangreiche und kostenintensive Baumaßnahmen zu tätigen.

Eine Auswertung abgeschlossener Renaturierungs- und Sanierungsmaßnahmen legt dar, dass die Maßnahmen entweder zu klein oder überzogen geplant und ausgeführt wurden. In den wenigsten Fällen gab es ein zu Grunde liegendes Gesamtkonzept, welches die einzelnen Bausteine zusammenführt.

Gezielte Untersuchung der Gewässerstruktur im Einzugsgebiet der Ruhr legen die Vermutung nahe, dass strukturell überprägte Gewässer durch naturnahe Abschnitte eine Zustandsverbesserung erfahren. Im Fokus des Strahlwirkungskonzepts stehen weniger Einzelmaßnahmen, als vielmehr ein zusammenhängendes Gesamtkonzept für ein Gewässer. (Deutscher Rat für Landespflege, 2008)

Strahlwirkung ist definiert als: „*das Ergebnis des Prozesses der aktiven oder passiven Migration von Tieren und Pflanzen mit überwiegend hoher (Dispersions-) Dynamik aus dauerhafter Besiedelung im Gewässer oder Gewässerumfeld*“ (Deutscher Rat für Landespflege, 2008 S. 8). In gutem oder sehr gutem Zustand befindliche Gewässerabschnitte ermöglichen direkt oder indirekt angebundene, minder guten Gewässerstrukturen einen guten ökologischen Zustand. Der Umkehrschluss, dass mäßige Zustandsbereiche in Gewässerabschnitten mit gutem ökologischen Potential negativ einstrahlen gilt, gleichermaßen. Ein vom Deutschen Rat für Landespflege ausgearbeitetes Konzept befasst sich ausschließlich mit der positiven Strahlwirkung. Vielzahl und Vielfalt an Fischen, Kleinstlebewesen und Mikroorganismen sind ausschlaggebend für die Zustandsbeurteilung nach der EU-WRRL. Wirksamkeit und Reichweite der Strahlwirkung wird durch Qualifizierung und Quantifizierung der Leitorganismen bestimmt.

Eine weitere Idee der Strahlwirkung ist die Verknüpfung wertevoller Lebensräume guter oder sehr guter Gewässerabschnitte. Hauptaugenmerk liegt auf dem Aus-

tausch zwischen den lebenswerten Gebieten. Weniger einladende Bereiche sollen zügig durchwandert werden.

### Elemente

Der Ausgangsbereich wird als **Strahlursprung** bezeichnet. Dieser umfasst ein breites Spektrum an gewässertypischen Pflanzen und Tieren und übernimmt so die ökologische Quellfunktion. Die Mindestlänge des Strahlursprungs liegt bei ca. 0,5 bis 1,5 km. „Der sich anschließende **Strahlweg** ist die Gewässerstrecke, auf der sich Organismen vom Strahlursprung ausgehend passiv oder aktiv fortbewegen“ (Deutscher Rat für Landespflege, 2008 S. 5). **Trittsteine** dienen dank ihrer kleinräumig guten Habitatsigenschaften als Ruhe- und Erholungszonen und verlängern somit den Strahlweg.

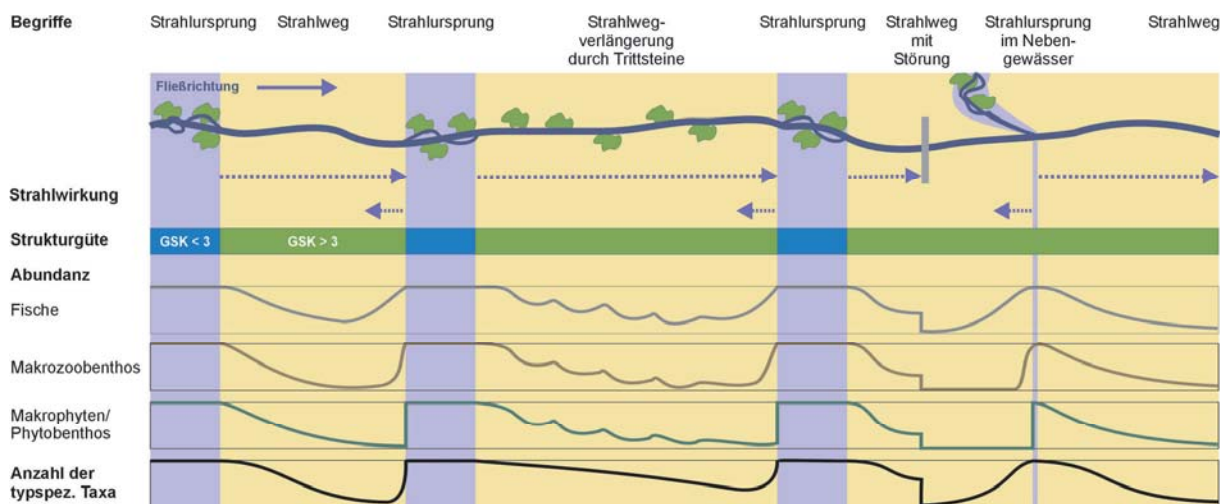


Abbildung 4.4 Strahlwirkungskonzept (Deutscher Rat für Landespflege, 2008 S. 13)

Das Konzept der Strahlwirkung eröffnet die Chance, die in der europäischen WRRL geforderten Ziele unter Einsatz der finanziell knappen Mittel zu optimieren. Schmutz und teure Insellösungen partieller Renaturierungen können so vermieden werden. Gleichzeitig eröffnet dieses Konzept durch den nachhaltigeren Einsatz der Haushaltsmittel eine flächendeckende Verbesserung der Flussökologie. Letzten Endes profitiert der Fluss als Ganzes.

## 5 Spezifikation der Sanierungskonzepte & Leitgedanken

Die im vorangegangenen Abschnitt aufgezeigten, grundsätzlich denkbaren Sohlstabilisierungsmaßnahmen sollen im Folgenden mit den untersuchungsgebietspezifischen Parametern konkretisiert werden. Dazu sind Konzeptideen, die sich im Rahmen der festgelegten Parameter-Variationsbreiten entwickeln lassen, aufgegriffen und ausgearbeitet worden. Die Intention der skizzenhaft aufbereiteten Konzeptüberlegungen besteht in der Absicht den Leser sohlmorphologisch zu sensibilisieren und weiter die sinnvollen Grenzen des möglichen Entwicklungsraums aufzuzeigen. Die Optimierung hinsichtlich der sekundären Zielvorgaben (Hochwasserschutz, EU-WRRL, Fischerei, uvm) sind als Nebenbedingungen bei einer endgültigen Konzeption zu berücksichtigen.

### 5.1 Zielvorgaben

Primäres Untersuchungsziel ist es, mögliche Wege - aus wasserbaulicher Sicht - aufzuzeigen, um die Sohlerosion aufzuhalten und flussbaulich ein System vorzugeben, das wenig nachjustiert werden muss und weitgehend sich selber überlassen werden kann. Neben der Sohlstabilisierung als Hauptziel galt es, ein breites Spektrum an Zusatzforderungen und -bedingungen zu berücksichtigen.

- Hochwasserschutz (HQ 100) sichern und wo nötig verbessern
- Zielerfüllung der EU-WRRL zu unterstützen
- Fischereiliche Belange berücksichtigen
- Varianz der Grundwasserstände stabilisieren bzw. Anhebung des Grundwassers in deutlich eingetieften Flusstrecken
- Abstimmen mit Zielen der Naherholung

Die Bandbreite der Nebenbedingungen und die Anzahl an Steuerungsparametern lässt die kombinatorische Vielfalt und deren wechselseitige Wirkungen erahnen.

Alle im Folgenden vorgestellten Konzeptionen zielen gleichermaßen auf eine Reduktion der Sohldynamik. In Kombination mit Geschiebemobilisierungen (Restdynamik) kann so eine langfristig funktionierende und unter den gegebenen Umständen optimale Lösung erzielt werden.

### 5.2 Abschnitt 1 – nördlich Augsburg

Nördlich von Augsburg erstreckt sich das Untersuchungsgebiet von Fkm 17,0 bis Fkm 37,3. Der Bereich zwischen dem Kraftwerk Ellgau und dessen Stauwurzel (Fkm 21,5) ist morphologisch stabil. Somit sind für diesen Bereich unter flussmorphologischen Aspekten keine Sanierungsmaßnahmen notwendig. (Randbedingung Kraftwerk Ellgau fehlen)

Die der Konzeptionierung zu Grunde liegende Zielgröße ist die zu erwartende Geschiebefracht infolge der neu festzulegenden Transportkapazität. Basis der Geschiebeberechnungen bildet die in Abbildung 3.18 rot markierte Geschiebefunktion. Die Sohlbeanspruchungen sind aus zugehörigen Pegeldaten (Lechpegel unterhalb der Wertachmündung) der Hochwasserjahre 1999 und 2005 errechnet. Die Kopplung der Abflussdauerlinien und Geschiebefunktion für verschiedene Designsets (Längsgefälle und Querschnitt) ergibt kombinationsspezifische Jahresgeschiebefrachten.

**Rahmen- und Randbedingungen**

Der zur Hochwasserabfuhr zur Verfügung stehende Raum ist nördlich von Langweid vergleichsweise groß. Auf Höhe der Brücke Langweid-Rehling misst der Abstand zwischen den Hochwasserschutzdeichen 250 m. Flussabwärts der Engstelle weitet sich der Hochwasserschutzraum rasch auf bis zu über 700 m auf (siehe bläulich transparente Fläche in Abbildung 5.2). Infrastruktureinrichtungen finden sich in Form von Brücken, Hochspannungsleitungen, Sportanlagen und Schrebergärten wieder.

**Tabelle 5.1 Legende für Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2**

	Infrastruktur
	Landwirtschaft
	Naturschutzgebiet



**Abbildung 5.1 Bestand – Infrastruktur, Landwirtschaft und Naturschutz für Abschnitt 1 – Gersthofen-Langweid**



**Abbildung 5.2 Bestand – Infrastruktur, Landwirtschaft und Naturschutz für Abschnitt 1 - Langweid-Waltershofen**

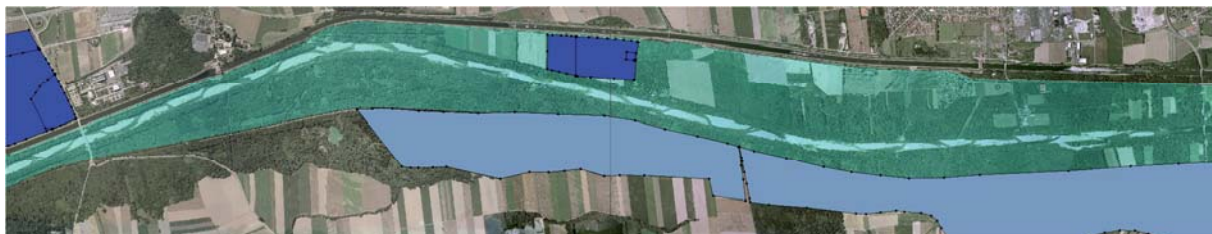
Landwirtschaftliche Nutzflächen im größeren Umfang existieren östlich des Lechs zwischen Langweid und Gersthofen sowie zwischen Lech und Lechkanal auf Höhe

Meitingen und Herbertshofen. Weiterhin existieren kleinparzellige Ackerbauflächen auf Höhe Waltershofen. Das ausgewiesene Naturschutzgebiet liegt außerhalb der bestehenden Hochwasserschutzdeiche. In Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 sind Infrastruktureinrichtungen, Landwirtschaftsnutzflächen und Naturschutzgebiete dargestellt.

Wasserschutzgebiete sind zum einen zwischen Lech und Lechkanal gelegen auf Höhe Herbertshofen gelegen und zum anderen südwestlich der Brücke Langweid-Rehling ausgewiesen. Trinkwasservorbehaltsflächen befinden sich ausschließlich östlich des orographisch rechten Hochwasserschutzdeiches gelegen.

**Tabelle 5.2 Legende für Abbildung 5.3 und Abbildung 5.4**

	Trinkwasserschutz
	Trinkwasservorbehalt
	Hochwasserraum



**Abbildung 5.3 Bestand – Wasserschutz, Trinkwasservorbehaltsflächen für Abschnitt 1 – Gerstshofen-Langweid**



**Abbildung 5.4 Bestand – Wasserschutz, Trinkwasservorbehaltsflächen für Abschnitt 1 – Langweid-Waltershofen**

Die im gesamten Bereich geringe tertiäre Überdeckung lässt tiefere Geländeeinschnitte im Zuge einer Längsgefällekorrektur zur Sicherung des Hochwasserschutzes nicht zu. Sohlstützende Maßnahmen führen zu einer Anhebung des Wasserspiegels. Aufweitungen entschärfen diese Problematik bis zu einem gewissen Grad. Der dem Entwurf verbleibende Spielraum ist begrenzt. Die Leistungsfähigkeit des gewählten

Sanierungskonzepts ist hinsichtlich des Hochwasserschutzes im Detail erneut zu prüfen.

### **Sinnvolle Variationsintervalle:**

Sohlbreiten: 80 – 160 m

Sohlneigung: 1,0 ‰ bis 1,9 ‰

## **5.2.1 konzeptionelle Überlegungen / Ideen**

### **Idee 1 – minimale Transportrate**

Aufweitung – Sohlbreite: 140 m

Sohlneigung: 1,25 ‰

Geschiebefracht: 10 000 m<sup>3</sup> (Ermittlung, wie im Abschnitt 3.6 beschrieben)

Motivation dieses Konzepts war, ein Szenario mit minimaler Geschiebefracht durchzuspielen. Mit ca. 10 000 m<sup>3</sup> Geschiebefracht im Hochwasserfall sind enorme Veränderungen der geometrischen Parameter (Längsgefällereduktion + Sohlstützung) notwendig, um die Sohlbeanspruchungen ausreichend reduzieren zu können. Nördlich der Brücke Langweid-Rehling wird der Lech auf 140 m aufgeweitet. Die korrespondierende Sohlneigung ergibt sich zu 1,25 Promille. Südlich der Brücke steht der Entwicklungsraum nicht im gleichen Umfang zur Verfügung. Deshalb wurde ein eingenger Querschnitt mit gleicher Transportkapazität ausgebildet. Im Stadtbereich von Gersthofen ist auf Grund der im unmittelbaren Umfeld befindlichen Schutzgüter (Gewerbeflächen) eine Aufweitung nicht möglich. Hier könnte die Sohle mittels eines offenen Deckwerks geschützt werden. Östlich von Gersthofen steht eine Fläche, welche als Geschiebedepot genutzt werden kann, zur Verfügung. Eigendynamische Entwicklungen des Flussbetts sind somit in einem begrenzten Rahmen denkbar.

Auf Grund der notwendigen Sohlstützungen wird sich der Hochwasserschutz verschlechtern. Die massiven Rampenbauwerke (große Stützhöhe) ermöglichen lange, ungestörte Fließstrecken, aber heben zugleich den Wasserspiegel deutlich an. (Anhang 5 – Idee 1)

## **Idee 2 – offenes Deckwerk**

Aufweitung – Sohlbreite: 155 m

Sohlneigung: 1,45 ‰

Geschiebefracht: 15 000 m<sup>3</sup> (Ermittlung, wie im Abschnitt 3.6 beschrieben)

Hauptaugenmerk dieses Konzepts liegt auf der Verwendung des offenen Deckwerks. Theoretisch wäre es dank dieser künstlichen Sohlsicherung möglich, noch steilere Gefälle zu realisieren. Jedoch steht dies dem Wunsch einer Sohldynamik entgegen, da eine steilere Sohle Umlagerungsprozesse im Querschnitt erschwert. Geschiebe wird mit zunehmendem Sohlgefälle eher aus dem steilen Abschnitt ausgetragen.

Die Aufweitung wurde im Vergleich zur Idee 1 nochmals vergrößert, da keine eigen-dynamische Entwicklung des Querschnitts möglich ist. Die volle Aufweitung findet sich auch bei dieser Idee nur nördlich der Brücke Langweid-Rehling wieder. Südlich davon wurde auf Grund der beengten Raumsituation die Flusssohle auf 110 m bemessen. Die Designparameter aller Bereiche sind so gewählt, dass eine gleichmäßige Transportkapazität gewährleistet ist. Im Stadtbereich von Gersthofen kommt ein offenes Deckwerk ohne großzügige Aufweitung zur Anwendung (Platzproblematik).

Der Hochwasserschutz wird bei dieser Variante ebenfalls verschlechtert. Obgleich die mittlere Rampenhöhe auf Grund des steileren Sohlgefälles kleiner ausfällt, reicht der aus der Aufweitung gewonnene Abflussquerschnitt nicht aus, um einen Anstieg des Wasserspiegels im Hochwasserfall zu kompensieren.

(Anhang 5 – Idee 2)

### **Idee 3 – Hochwasserneutralität**

Aufweitung – Sohlbreite: 140 m

Sohlneigung: 1,6 ‰

Geschiebefracht: 20 000 m<sup>3</sup> (Ermittlung, wie im Abschnitt 3.6 beschrieben)

In der Idee 3 wurde die Zielgröße der Geschiebefracht für die Hochwasserszenarien auf 20 000 m<sup>3</sup> gesteigert und liegt somit bei ca. 50 % der aktuell vorherrschenden Verfrachtungsmenge. Die notwendigen Sohlstützungen sind so konzipiert, dass die Hochwasserneutralität (die Veränderungen im Flussbett bedingen keine Änderung der Hochwassersicherheit) gewährleistet ist. Ergo keine Nachbesserungen an den Deichsystemen notwendig sind. Im Bereich nördlich von Gersthofen bis hin zur Brücke Langweid-Rehling ist auf Grund der räumlichen Enge die Sohlneigung zu 1,45 ‰ gewählt. Eine Aufweitung auf 140 Meter würde ermöglichen, die Anzahl an Stützbauwerken in diesem Bereich zu reduzieren.

(Anhang 5 – Idee 3)

### **5.3 Abschnitt 2 – südlich Augsburg**

Südlich von Augsburg erstreckt sich der zu untersuchende Abschnitt von Fkm 46,95 bis Fkm 56,7. Die gewählte Ausbaustabilität dieses Abschnittes orientiert sich an dem in der Natur vorzufindenden abschnittsweisen stabilen Istzustand zwischen den Sohlwellen. Das Sohlängsgefälle gemittelt aus Vermessungsdaten 2010 ergibt sich für diese Bereiche zu ca. 1,0 Promille. In Abbildung 5.5 ist die Sohlagenentwicklung im Zeitraum von 1993 bis 2010 dargestellt. Aus dieser Langzeitaufnahme lässt sich die Erkenntnis gewinnen, dass sich Flussabschnitte, die bereits ein entsprechend abgeflachtes Längsgefälle aufweisen, in einem quasi stationären Zustand befinden. Die Parameter der Neukonzeption werden so gewählt, dass der aktuell bestehende Zustand nochmals geringfügig in Richtung stabilerer Sohlenlage ausgerichtet wird. Die Transformation der Stabilitätsinformation erfolgt mittels der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Diagramme. Die Vorgehensweise der Auswertungen zur Sohlstabilität ist im Anhang 4 magentafarben skizziert.





Abbildung 5.5 Sohlentwicklung 1993 bis 2010

### Rand- und Rahmenbedingungen

Unterhalb der Schwelle 50,4 erwägt das WWA Donauwörth eine Sohlaufrhöhung auf das Niveau von 1999. Dies soll zukünftig wenigstens ein Grundmaß an Sicherheit der Sohlstabilität gewährleisten. Aktuell ist in diesem Bereich nahezu überall die schützende Kiesauflage als Folge des Hochwassers 1999 ausgetragen.

Tabelle 5.3 Legende für Abbildung 5.6

	Infrastruktur
	Landwirtschaft
	Naherholung

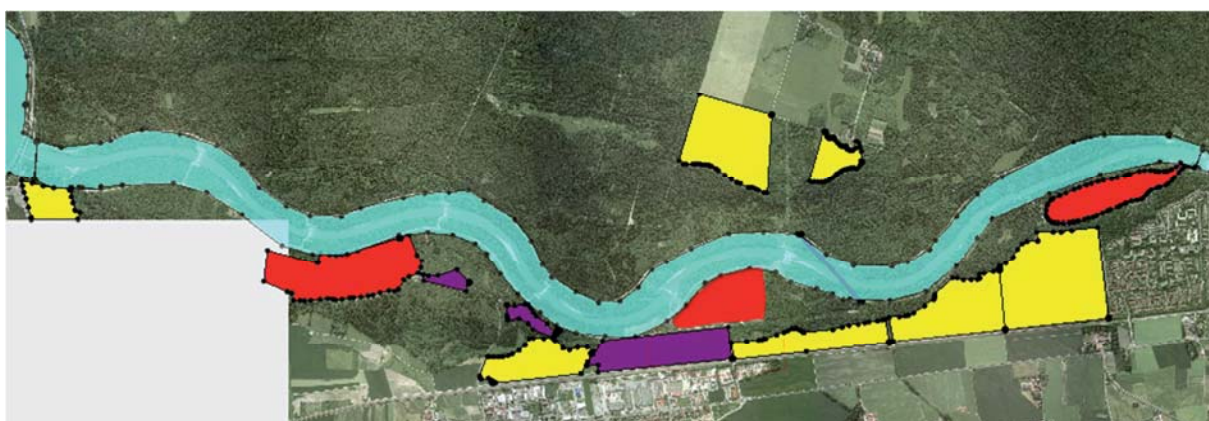


Abbildung 5.6 Bestandsübersicht – Infrastruktur, Landwirtschaft und Naherholung

Bestehende Nutzungen und infrastrukturelle Einrichtungen sind in Abbildung 5.6 dargestellt. Westlich des Lechs befindet sich das Trinkwasserschutzgebiet der Städte Augsburg und Königsbrunn. Der östliche Vorland- und Auenbereich ist von einer mä-ßigen Nutzung durch Naherholung und Landwirtschaft geprägt.



**Abbildung 5.7 Bestandsübersicht – Infrastruktur, Landwirtschaft und Naherholung**



**Abbildung 5.8 Bestandsübersicht – Wasserschutzgebiete für Details siehe Anhang 9**

Im Abschnitt 2 befinden sich bereits Sohlstützungen. Bei einer Veränderung der Stützkonzeption kann der bestehende Hochwasserschutz, ohne Nachbesserungen am Deichsystem, aufrecht erhalten werden, sofern südlich der Schwelle 50,4 gemäßigte Einschnitte ins Gelände akzeptiert und gleichzeitig Querschnittsaufweitungen durchgeführt werden. Die Mächtigkeit der quartären Auflage ließ ein solches Vorgehen zu. Um eine verlässliche Aussage hinsichtlich der Hochwassersicherheit zu bekommen, bedarf es einer nach abgeschlossener Konzeption durchzuführenden Hochwassersimulation.

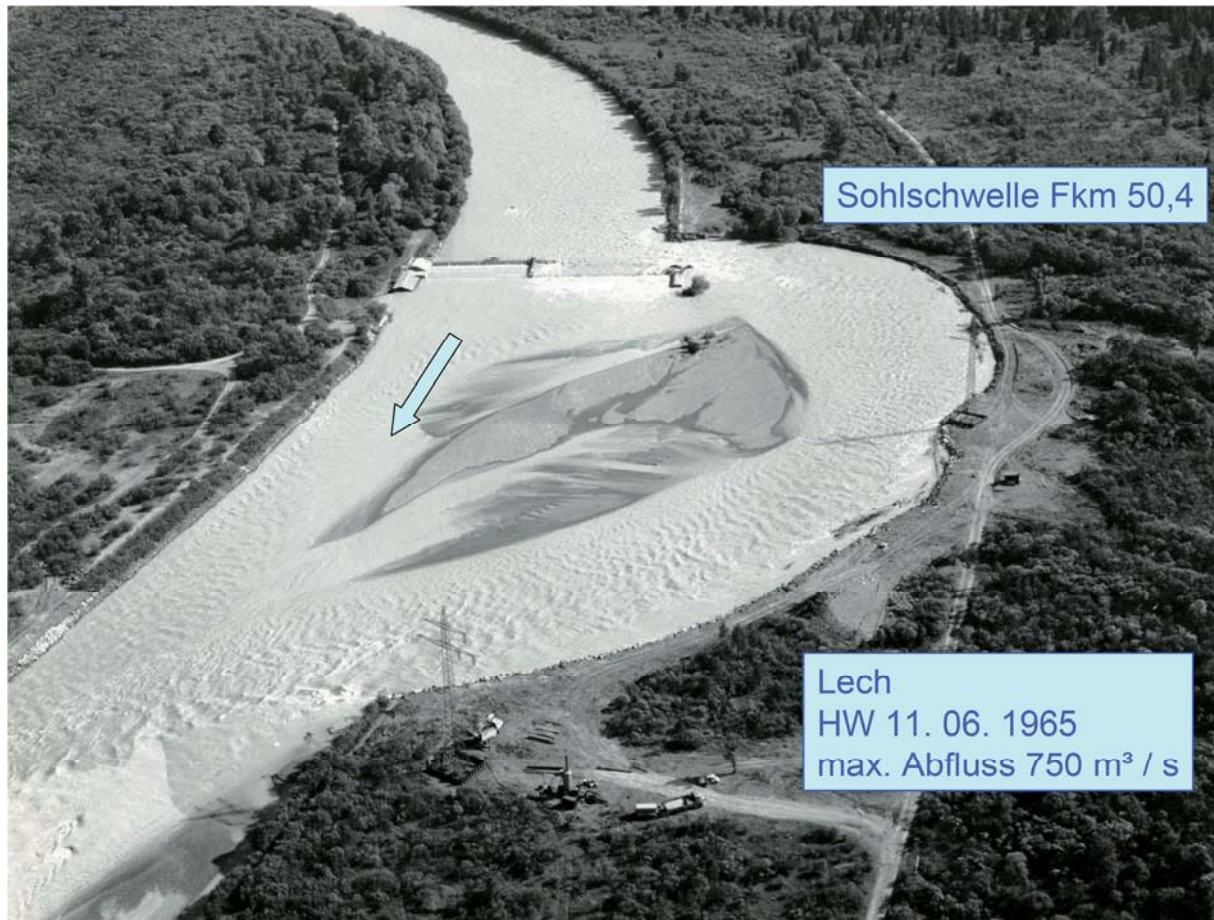


Abbildung 5.9 Umspülung der Schwelle 50,4 bei Hochwasser 1965

**Sinnvolle Variationsintervalle:**

Sohlbreiten: 70 – 140 m

Sohlneigung: 1,0 ‰ bis 2,3 ‰

### 5.3.1 konzeptionelle Überlegungen / Ideen

#### Idee 1: Aufweitung + Sohlstützung

Aufweitung: 110 m

Sohlneigung: 1,2 ‰

Der Leitgedanke dieser Idee ist eine möglichst eigendynamische Entwicklung. Im Initialzustand sollten das Gewässer aufgeweitet und die Uferbefestigungen entfernt werden. Optional könnten bauliche Maßnahmen unterstützend der Dynamisierung unter die Arme greifen. Zugleich ist dem Flussbett zukünftig ein in Grenzen definierter Entwicklungsraum zuzugestehen (bis zu den Interventionslinien). Es gilt die Maßgabe, dass sowohl die Standsicherheit der Hochwasserschutzeinrichtungen keinesfalls gefährdet sein darf als auch ausreichend Sicherheitspuffer vorzusehen ist. Die Entwicklung ist zu begleiten und ggf. sind Gegenmaßnahmen zu treffen. Unterhalb der Staustufe 23 ist ein Bereich zur Geschiebesättigung (Geschiebezugabe) vorgesehen. Im Abschnitt der Geschiebezugabe bis zur ersten Schwelle ist mitunter auf Grund des Einpendelvorgangs des Geschiebehaushalts mit einem erhöhten Unterhaltsbedarf zu rechnen. Ober- und unterhalb der Sohlstützungen ist der Fließkörper durch Leitmaßnahmen an das Bauwerk zu binden. Überbreite Rampen, die den ganzen Entwicklungsraum überspannen, haben keinen stabilitätswirksamen Mehrnutzen, welcher die finanziellen Aufwendungen rechtfertigen würde. Ferner sind derart großräumige Bauwerke ökologisch eher kritisch zu beäugen (V-Rampen Diss Niedermair).

Die Gesamtanzahl an stützenden Bauwerken wurde reduziert. Die räumliche Zusammenfassung kleinerer Bauwerke schafft Platz zur Entwicklung größerer frei fließender Bereiche.

(siehe Anhang 6 – Idee 1)

**Idee 2: offenes Deckwerk + stützende Bauwerke**

Aufweitung: 140 m

Sohlneigung: 1,45 ‰

Motivation dieses Konzepts ist es, einen künstlich stabilen Zustand zu schaffen. Der Fluss wird aufgeweitet, abgeflacht und mit einem offenen Deckwerk belegt. Die Sohlneigung wird trotz des offenen Deckwerks relativ flach ausgeführt, so dass zumindest theoretisch eine Kiesbankdynamik ermöglicht wird. Unterstützt wird dies durch eine Geschiebezugabe im Unterwasser der Staustufe 23. Der Herstellungsaufwand im Vergleich zur Idee 1 liegt deutlich höher, wenngleich der Unterhalt geringer ausfällt.

Die Gesamtanzahl an stützenden Bauwerken wurde reduziert. Die räumliche Zusammenfassung kleinerer Bauwerke schafft Platz zur Entwicklung größerer frei fließender Bereiche.

(siehe Anhang 6 – Idee 2)

**Idee 3: Offenes Deckwerk ohne stützende Bauwerke**

Die Variante ohne Querbauwerke entstand an Anlehnung an den ursprünglich ungestörten Zustand und unter der Vorgabe des Randbedingungsgefälles. Die Höhendifferenz zwischen Hochablass und Staustufe 23 unter den vorliegenden Rahmenbedingungen zu überbrücken bedarf einer durchgehenden Sohlsicherung in Form eines offenen Deckwerks. Die mit dieser Variante verbundenen Massenbewegungen sind enorm. Der Materialüberschuss würde sich auf ca. 400 000 bis 500 000 m<sup>3</sup> Aushubmaterial belaufen. Oberhalb der Schwelle 50,4 müsste der Lech deutlich tiefer gelegt werden. Was wiederum eine drastische Grundwasserabsenkung im Nahbereich hervorrufen würde. Die Herstellungskosten wären immens. Die morphologische Struktur wäre wenig interessant. Das zu steile Sohlgefälle würde eine Bankbildung verhindern und das offene Deckwerk würde freigespült werden.

(siehe Anhang 6 – Idee 3)

**Anmerkung:** Technisch machbar, jedoch weder ökologisch noch ökonomisch empfehlenswert besitzt das in der Idee 3 ausgearbeitet Konzept einen eher akademischen Charakter.

## 5.4 Leitgedanken

### 5.4.1 Hochwasserschutz, Sohlstabilität und Ökologie

Im weiteren Verfahren bleibt abzuwägen, ob möglichst lang frei-fließende Flussstrecken geschaffen werden sollen oder kaskadenähnliche Strukturen Akzeptanz finden. Bei einer Beibehaltung des bestehenden Hochwasserschutzes sind die Sohlstützungen entsprechend niedrig auszubilden. Die Realisierung langer, frei fließender Gewässerabschnitte bedarf punktueller, hoher Sohlstützungsmaßnahmen, welche Nachbesserungen im Hochwasserschutz unumgänglich machen. Im Fall einer Realisierung des durchgehend offenen Deckwerks wäre denkbar, die Transportrate hochzusetzen, um so entsprechend niedrige Bauwerke realisieren zu können. Allerdings könnte auf längerfristige Sicht betrachtet das Deckwerk freigespült und somit sichtbar werden.

Ferner gilt zu bedenken, dass eine angestrebte Sohlabflachung in jedem Fall die Fließgeschwindigkeit vermindert und im Gegenzug eutrophierende Tendenzen bestärkt.

### 5.4.2 Gewässeranbindung und –vernetzung

Aus Sicht der Sohlstabilität spielt die gewünschte Anbindung der Seitengewässer eine untergeordnete Rolle. Zukünftig den Weidmann-, Auen- und Kuhsee stärker mit dem Lech zu vernetzen stellt aus technischer Sicht kein Problem dar. Im entsprechenden Planungsstadium ist sowohl der Zweck als auch die Art und Weise des Gewässeranschlusses näher zu konkretisieren, des Weiteren die Abgabemenge zu quantifizieren. Die bauliche Ausgestaltung unterscheidet zwei wesentliche Herangehensweisen. Einerseits die rein technische Anbindung, welche hauptsächlich der Ein- und Ausleitung von Wasser dient und so einen Verbund der Wasserkörper ermöglicht. Andererseits naturnah gestaltete Zu- bzw. Abläufe, die darüberhinaus in der Lage sind, gewässerökologische Vernetzungsaufgaben wahrzunehmen.

Von einer vollständigen (morphologischen) Integration der Seitengewässer in den Lech ist auf Grund der daraus resultierenden Überbreite abzusehen. Begründet liegt dies in der morphologisch wichtigen Zielvorgabe einer konstanten Transportkapazität, welche bei sich ändernden Fließquerschnitten nur schwer herzustellen ist.

Überlegungen, die Seitengewässer als Retentionsraum zu nutzen, sind hinsichtlich der konkurrierenden Ziele (Nährstoffeintrag vs. Lechwasserzugabe) abzuwägen. Im Hochwasserfall würde eine große Menge an zum Teil sehr nährstoffhaltigen Feinsedimenten ins angeschlossene Seitengewässer gespült (könnte eutrophierend Erscheinungen hervorrufen). Der Detailplan im Anhang 6 enthält denkbare Gewäs-

seranbindungsmöglichkeiten. Sofern vorhanden können Altarmstrukturen reaktiviert werden.

### **5.4.3 Wasserkraftnutzung**

Nach Einschätzung der TUM ist eine Variante, die ohne jegliche Sohlstützung auskommt, theoretisch zwar möglich, jedoch weder ökologisch noch ökonomisch ratsam. Allein die enormen Massenbewegungen, die im Zuge einer Variante ohne Querbauwerke getätigt werden müssten, lassen den damit verbundenen Eingriff als unverhältnismäßigen erscheinen.

Es besteht keine grundsätzliche Konkurrenzsituation zwischen einer möglichen Wasserkraftnutzung und gleichzeitiger Gewährleistung der Sohlstabilität. Aus Sicht der Sohlstabilität spricht nichts gegen eine Nutzung des nach der flussbaulichen Sanierung zur Verfügung stehenden energetischen Potentials. Eine rechtsverbindliche Bewertung, ob eine Wasserkraftnutzung für einen konkreten Standort möglich ist, obliegt der zuständigen Genehmigungsbehörden (WHG § 35 Abs 3). Dies ist explizit nicht Aufgabe der TUM.

### **5.4.4 Konzeptabstimmung**

Die vorgestellten Konzepte beider Abschnitte versuchen, möglichst viele Vorgaben und abschnittsspezifische Rahmen- und Randbedingungen gleichermaßen zu berücksichtigen. Die Kopplung beider Abschnitte steht bislang noch aus. Die Abstimmung beider Konzepte aufeinander soll verhindern, dass an den Kopplungsstellen ungewollte Störungen auftreten. Auflandungs- oder Erosionsbereiche an den Planungsraumgrenzen gilt es zu verhindern. Unterhaltsaufwendungen sollen für die Gesamtstrecke minimiert werden.

Ein Weg, die zukünftigen Konzepte aufeinander abzustimmen, ist das Gleichsetzen der Geschiebetransportkapazitäten. Sind diese für den Bereich von Staustufe 23 bis zum Wasserkraftwerk in Ellgau gleich und kann die Zugabe der notwendigen Geschiebefrachten sichergestellt werden, so ist für den Gesamtbereich mit einer über einen längeren Zeitraum konstanten Sohlage zu rechnen. Als Unbekannte tritt die Wertach noch in Erscheinung. Die zu erwartenden Geschiebefrachten der Wertach sind ab Gersthofen noch zusätzlich abzutransportieren, bzw. eventuell vorhandene Geschiebedefizite auszugleichen.

## **6 Anhang**

**Anhang 1 Stammdaten – Eine Übersicht über die vorgenommenen Korrekturen und Fehlstellen in dem gelieferten Rohdatenpaketen**

**Anhang 2 Sohlstabilitäten – Übersicht der Berechnungsergebnisse**

**Anhang 3 Geschiebefrachten – Ergebniszusammenfassung unterschiedlicher Szenarien**

**Anhang 4 Sohl Schubbeanspruchungen für konstante Abflüsse bei Parametervariation**

**Anhang 5 Planunterlagen – Konzeptideen Abschnitt 1**

**Anhang 6 Planunterlagen – Konzeptideen Abschnitt 2**

**Anhang 7 Grundwassermessstellen**

**Anhang 8 historische Karten und Pläne**

**Anhang 9 Trinkwasserschutzschutzgebietskarte der Städte Augsburg und Königsbrunn**

**Anhang 10 Geschiebetriebfunktionen für Abschnitt 1 und 2**



## 7 Literatur

**Bauer Franz** Das flussmorphologische Verhalten des bayerischen Lechs [Journal]. - [s.l.] : Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, 1979. - Heft 9.

**Deutscher Rat für Landespflege** Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch Strahlwirkung [Buch]. - [s.l.] : SCHRIFTENREIHE DES DEUTSCHEN RATES FÜR LANDESPFLEGE, 2008. - Bd. 81.

**Dittrich A., Aberle J. und Koll K.** Berechnungsverfahren naturnah gestalteter Fließgewässer [Buchabschnitt] // Flussbau. - Weimar : [s.n.], 2007.

**DVWK 118** Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung [Buch]. - Bonn : [s.n.], 1997.

**Englich Robert** Flußmorphologische Bestandsaufnahme des Lechs - Erosionsproblematik und tendenzielle Entwicklung der Ausleitungsstrecke bei Gersthofen [Buch]. - [s.l.] : Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, 1997.

**Gebler Rolf-Jürgen** Sohlrampen und Fischaufstiege [Buch]. - Walzbachtal : [s.n.], 1991.

**Grünzner Markus** "Licca Liber, der freie Lech" - morphologische Voruntersuchung zu den flussbaulichen Gestaltungsmöglichkeiten am Lech [Buch]. - [s.l.] : Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU München, 2007.

**Hartlieb Arnd** Offene Deckwerke - Eine naturnahe Methode zur Sohlstabilisierung eintiefungsgefährdeter Flußabschnitte [Buch]. - Obernach : Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 1999. - Bd. 85.

**Hunzinger Lukas Manuel** Flussaufweitungen - Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung [Buch]. - Zürich : Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH, 1998.

**Mangelsdorf Joachim und Scheuermann Karl** Flußmorphologie - Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure [Buch]. - Wien : Oldenbourg Verlag München, 1980.

**Oberste Baubehörde** Wasserbau an den öffentlichen Flüssen im Königreich Bayern [Buch]. - [s.l.] : Bayerisches Staatsministerium, 1888.

**Patt Heinz, Jürging Peter und Kraus Werner** Naturnaher Wasserbau [Buch]. - [s.l.] : Springer, 2011.

**Requena Patricia** Sohlenmorphologie in Flussaufweitungen [Artikel] // Wasser Energie Luft. - Baden : [s.n.], 2005. - 97. Jahrgang. - Heft 7/8.

**Rohde Sigrun** Flussaufweitungen lohnen sich! Ergebnisse einer Erfolgskontrolle aus ökologischer Sicht [Artikel] // Wasser Energie Luft. - Baden : [s.n.], 2005. - Bde. 97. Jahrgang, Heft 3/4.

**Rohde Sigrun** Integrales Gewässermanagement - Erkenntnisse aus dem Rhône-Thur Projekt [Buch]. - Birmensdorf : Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2005.

**Scheuermann** Untersuchung zur Festsetzung der Mindestwasserführung im Fluß-Auwald-Ökosystem des Lechs unterhalb des Wehres Gersthofen [Buch]. - [s.l.] : Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1989.

**Schmautz Markus** Eigendynamische Aufweitung in einer graden Gewässerstrecke [Buch]. - München : Wasserbau und Wasserwirtschaft TUM, 2003. - Bd. 96.

**Schöberl Friedrich** Abpflasterungs- und Selbststabilisierungsvermögen erodierender Gerinne [Artikel] // Österreichische Wasserwirtschaft. - 1981. - Heft 7/8.

**WWA Donauwörth** Der Lech südlich von Augsburg - Stauregelung oder Wildfluss [Buch]. - [s.l.] : Wasserwirtschaftsamt Donauwörth, 1990.

**WWA Donauwörth** Veranlassung und Aufgabenstellung zum Projekt "Licca Liber" - der freie Lech [Buch]. - [s.l.] : Wasserwirtschaftsamt Donauwörth, 2004.

**WWA Donauwörth** Vorbericht "Licca Liber - der freie Lech" [Buch]. - [s.l.] : Wasserwirtschaftsamt Donauwörth, 2008.

**Zarn Benno** Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität [Buch]. - Zürich : ETH Zürich, 1997. - Bde. VAW - Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie - Band 154.