Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Institute for Water management, Hydrology and Hydraulic Engineering

WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN HOCHWASSERABFLÜSSEN UND MORPHODYNAMISCHEN PROZESSEN

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

eingereicht von:
WAGNER BEATRICE

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.
HABERSACK HELMUT

Mitbetreuer:

Dipl.-Ing.
KRAPESCH GERALD

WIEN, JUNI 2009

Der Humor ist der Regenschirm der Weisen. (Erich Kästner)

Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Habersack für seine ausgezeichnete Betreuung, sein exzellentes Fachwissen und viel persönliches Engagement. Ich möchte mich auch ganz herzlich bei meinem Betreuer Gerald sowie meinen Kollegen am Institut bedanken. Durch meine Arbeit gewann ich neue Freunde, die mir bei meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um mich bei meiner Familie zu bedanken. Meine Eltern ermöglichten mir eine unvergessliche Studienzeit. Ihre Liebe und Aufopferung gab mir auch in anstrengenden Zeiten viel Kraft für mein Studium. Nicht zu vergessen ist die finanzielle Unterstützung ohne die ein Studium nur schwer möglich gewesen wäre. Mein Dank gilt ebenso Nina (*Quell der Inspiration*), Alice, Oma und Opa, die mir seit 26 Jahren zur Seite stehen, mich motivieren und tatkräftig unterstützen. Mit diesen Zeilen möchte ich mich auch bei meinem Freund Ronald bedanken.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen des Hochwasserereignisses vom August 2005 (bis zu 943 $m^3 s^{-1}$ Abfluss, 5000 Jährlichkeit) auf die Gerinnemorphologie des österreichischen Flusses Lech über eine Flusslänge von 49 km auf qualitativer und quantitativer Basis untersucht. Ziel war es, ein besseres Verständnis für die Wechselwirkung von Hochwasserabflüssen und morphodynamischen Prozessen zu entwickeln. Auf Basis des River Scaling Concept wurden im Untersuchungsgebiet 14 hochwasserbasierte morphodynamische Prozesse (10 Seitenerosionen, 3 Umlagerungen und 1 Verwerfung) ausgewiesen, die mit Hilfe des hydrodynamisch-numerischen Models HEC-RAS©, historischer Karten der Dritten Landesaufnahme von 1869 bis 1887 sowie Luftbildern aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 analysiert wurden. Der Vergleich morphodynamisch aktiver Prozessstellen mit nicht aktiven Flussabschnitten auf Basis der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 sowie die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 (Prozess 12) ermöglichten es, erste Erkenntnisse hinsichtlich der Eignung verschiedener Parameter als Indikator für morphodynamische Aktivität zu erhalten. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere die Parameter Specific Stream Power und Froude-Zahl gute Indikatortauglichkeit zeigten.
Ergänzend konnte mit Hilfe historischer Karten, der Regimegleichung nach BRAY sowie dem Ansatz zur Abschätzung der maximalen Gewässerbreite nach SCHMAUTZ Stabilität an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und Instabilität an Prozessstellen nachgewiesen werden.

Abstract

The impact of the extreme flood in August 2005 (up to 943 $m^3 s^{-1}$ discharge, with an approximated 5000 year return period flow) on the channel morphology of the Austrian gravel-bed river Lech (over 49 running kilometers) was investigated in terms of quality and quantity. The aim of this work was to develop a better understanding of the interaction between flood flows and morphodynamic processes. Based on the River Scaling Concept, 14 flood-based morphodynamic processes (10 lateral erosions, 3 sediment relocations und 1 natural dislocation) were determined. The hydrodynamic-numerical model HEC-RAS©, historical maps from the third surveying in the period 1869 to 1887 and aerial photographs from 2000 and the flood in 2005 were used to analyse the morphodynamic processes. The comparison of morphodynamically active and inactive river reaches, based on channel geometry data from 1992, as well as the analysis of the channel geometry data from 1992 and after the flood in 2005, allowed to estimate the ability of various parameters to act as indicators for morphodynamic effectiveness. In that context, it turned out that the parameters Specific Stream Power and Froude-number are good indicators.

Moreover, the stability of morphodynamically inactive river reaches as well as the instability of reaches with morphodynamic activity could be demonstrated by performing an analysis of historical maps, applying the regime-equation according to BRAY and a novel approach to estimate the maximum river width (SCHMAUTZ).

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG ..... **I**
ZUSAMMENFASSUNG ..... **II**
ABSTRACT ..... **III**
INHALTSVERZEICHNIS ..... **IV**
ABBILDUNGSVERZEICHNIS ..... **VI**
TABELLENVERZEICHNIS ..... **XVII**
SYMBOLE ..... **XIX**
ABKÜRZUNGEN ..... **XXI**

1 EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELE **1**
1.1 Einleitung 1
1.2 Problemstellung 2
1.3 Zielsetzung 3
2 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES **4**
2.1 Allgemeines 4
2.2 Geographische Lage 5
2.3 Untersuchungsgebiet im Detail 7
2.4 Flussmorphologie 8
2.5 Geologie 13
2.6 Boden und Bodenbedeckung 19
2.7 Flora und Fauna 20
2.8 Klima 25
2.9 Abflussregime 27
2.9.1 Niederwasserabfluss *28*
2.9.2 Mittelwasserabfluss *29*
2.9.3 Hochwasserabfluss *31*
2.10 Flussgeschichte 33
2.10.1 Historische Hochwasserereignisse *33*
2.10.2 Hochwasser 2005 ..... *33*
2.10.3 Projekte *37*
3 GRUNDLAGEN **40**
3.1 Morphologische Charakteristik von Fließgewässern 40
3.1.1 Begriffsbestimmungen *40*
3.1.2 Morphologische Rahmenbedingungen für Fließgewässerformen *40*
3.1.3 Bewegungsbeginn *41*
3.1.4 Erosion, Transport und Sedimentation *42*
3.1.5 Gewässerstabilität *43*
3.2 Morphodynamische Prozesse 45
3.2.1 Raum-zeitliche Abgrenzung *45*
3.2.2 Charakteristische Prozesse *45*

4 METHODIK 49

4.1 DATENBASIS 49
4.1.1 Bildmaterial 49
4.1.2 Vermessung 50
4.2 RIVER SCALING CONCEPT (RSC) 53
4.3 ABLEITUNG PROZESSRELEVANTER PARAMETER 55
4.3.1 Parameter der Gerinnegrundrissform 55
4.3.2 Parameter des Längenschnitts 57
4.3.3 Parameter der Querprofile 58
4.3.4 Parameter der Hydraulik 60
4.3.5 Parameter des Feststoffhaushalts 63
4.4 ANALYSE HISTORISCHER KARTEN 64
4.5 HYDRAULISCHE MODELLIERUNG 65
4.5.1 Hydraulische Grundlagen 65
4.5.2 Hydraulisches Modell 68
4.5.3 Inputdaten für das Modell 68
4.5.4 Gerinnegeometrie 69
4.5.5 Modellierungsabflüsse und Rauigkeiten 71
4.5.6 Randbedingungen 72
4.6 METHODEN ZUR ABSCHÄTZUNG DES RAUMBEDARFS 73
4.6.1 Regimegleichungen 73
4.6.2 Eigendynamische Aufweitung nach SCHMAUTZ (2003) 75

5 ERGEBNISSE 79

5.1 ANWENDUNG DES RIVER SCALING CONCEPT (RSC) 79
5.2 AUSWEISUNG MORPHODYNAMISCHER PROZESSE 82
5.3 AUSWEISUNG MORPHODYNAMISCH NICHT AKTIVER FLUSSABSCHNITTE 83
5.4 HISTORISCHE ANALYSE 91
5.4.1 Qualitative Analyse der Gerinnegrundrissform 91
5.4.2 Analyse der Lauflängen 102
5.4.3 Analyse der Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung 103
5.4.4 Analyse der Umlagerungsbreiten 104
5.5 ANALYSE PROZESSRELEVANTER PARAMETER 107
5.5.1 Analyse des Längenschnitts 107
5.5.2 Analyse der Querprofile 111
5.5.3 Analyse der Hydraulik 132
5.5.4 Analyse des Feststoffhaushalts 147
5.6 ZUSAMMENFASSUNG PROZESSRELEVANTER PARAMETER 152
5.6.1 Gegenüberstellung aktiver und nicht aktiver Flussabschnitte 152
5.6.2 Vergleich Gerinnegeometrie 1992 – nach Hochwasser 2005 158
5.7 ABSCHÄTZUNG DES FLUSSMORPHOLOGISCHEN RAUMBEDARFS 160
5.7.1 Regimegleichungen 160
5.7.2 Eigendynamische Aufweitung nach SCHMAUTZ (2003) 164

6 DISKUSSION 167

7 ZUSAMMENFASSUNG 173

8 REFERENZEN 176

9 ANHANG 183

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vorgehensweise 3

Abb. 2: Tiroler Lech bei Forchach (GAMERITH, 2002) 4

Abb. 3: Topographischer Überblick Gesamteinzugsgebiet Lech (ZETTL, 2001); A: Formarinsee (NASEMANN, 2007); B: Karstquellen im Lechquellengebirge (NASEMANN, 2007); C: Trogtal des jungen Lech oberhalb der Ortschaft Lech (NASEMANN, 2007); D: Tiroler Lechtal bei Forchach (NASEMANN, 2007); E: Lech bei Weißenbach (NASEMANN, 2007); F: Lech im Reuttener Talkessel (WAGNER, 2008); G: Lechfall bei Füssen (NASEMANN, 2007); H: Lech bei Augsburg (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2006) 6

Abb. 4: A: Topographischer Überblick Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Einzugsgebiet Lech (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008) 7

Abb. 5: A: Eiszeitlicher Lechgletscher (NASEMANN, 2007); B: Eiszeitfindling; kristallines Gestein der Wallgruppe (WAGNER, 2008) 8

Abb. 6: Flusstypen nach MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980) 9

Abb. 7: Flusslandschaften und ursprünglich morphologischer Flusstyp nach MUHAR et al., (2004) (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008) 10

Abb. 8: Flusslandschaften im Untersuchungsgebiet. A: Lechschlucht bei Steeg (NASEMANN, 2007); B: oberes Tiroler Lechtal; Gemeinden Holzgau und Steeg (NASEMANN, 2007); C: mittleres Tiroler Lechtal; Gemeinde Elbigenalp (NASEMANN, 2007); D: mittleres Tiroler Lechtal; Gemeinde Bach (NASEMANN, 2007); E: unteres Tiroler Lechtal; Gemeinde Weißenbach (NASEMANN, 2007); F: unteres Tiroler Lechtal; Mündungsbereich des Schwarzwasserbachs; Gemeinde Forchach (NASEMANN, 2007); G: Reuttener Talkessel und Füssener Bucht (NASEMANN, 2007) 12

Abb. 9: Tektonische Einheiten im Einzugsgebiet des Lech (NASEMANN, 2007) 13

Abb. 10: Schematische Darstellung der Gebirgsbildung (NASEMANN, 2007) 14

Abb. 11: Gesteine auf den Kiesbänken des Tiroler Lech (WAGNER, 2008).....15

Abb. 12: Gesteine. A: Hauptdolomit (WAGNER, 2008); B: Wettersteinkalk (WAGNER, 2008); C: Ammonit der Allgäuschichten (NASEMANN, 2007); D: Gestein der Aptychenschichten (NASEMANN, 2007); E: Radiolarit (WAGNER, 2008); F: Sandstein der Gosauschichten (WAGNER, 2008); G: Brekzie der Gosauschichten (WAGNER, 2008); H: roter Jurakalk (NASEMANN, 2007); I: roter Jurakalk mit Calzidadern (WAGNER, 2008); J: gerundeter Jurakalk (WAGNER, 2008); K: Kössener Korallenkalk (NASEMANN, 2007); L: Gestein der Kössener Schichten mit fossilen Einlagerungen (WAGNER, 2008); M: Sandstein der Raibler Schichten (NASEMANN, 2007); N: Gips der Raibler Schichten (NASEMANN, 2007); O: Rauhwacke der Raibler Schichten (WAGNER, 2008) 17

Abb. 13: Geologische Übersichtskarte des Einzugsgebiets Tiroler Lech (BMLF, 1996) 18

Abb. 14: A: Böden im Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST & PETICZKA; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Bodenbedeckung im Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008) 19

Abb. 15: Augebiet bei Pflach (WAGNER, 2008).....20

Abb. 16: Vegetation im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Knorpellattich (GAMERITH, 2002); B: Bachsteinbrech (GAMERITH, 2002); C: Zierliche Glockenblume (GAMERITH, 2002); D: Tamarisken (GAMERITH, 2002); D: Gelber Frauenschuh (LAND TIROL, 2007).....21

Abb. 17: Vögel im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Flussuferläufer (GAMERITH, 2002); B: Flussregenpfeifer (LAND TIROL, 2007); C: Gänsesäger (LAND TIROL, 2007); D: Bachstelze (LAND TIROL, 2007); E: Eisvogel (LAND TIROL, 2007); F: Teichralle (LAND TIROL, 2007); G: Hausrotschwanz (LAND TIROL, 2007); H: Wasseramsel (LAND TIROL, 2007); I: Wilde Hockerschwäne (WAGNER, 2008).....22

Abb. 18: Zusammensetzung Fischarten im Tiroler Lech 23

Abb. 19: Fische im Tiroler Lech. A: Bachforelle (STAUB, 2000); B: Regenbogenforelle (STAUB, 2000); C: Koppe (OEFG, 2008); D: Äsche (STAUB, 2000); E: Bachsaibling (STAUB, 2000).....24

Abb. 20: Insekten im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Kiesbank-Wolfsspinne (NABU-ERFTKREIS, 2008); B: Sandlaufkäfer (GAMERITH, 2002); C, D: Gefleckte Schnarrschrecke (GAMERITH, 2002); E: Gestreifte Quelljungfer (LAND TIROL, 2007); F: Logo EU-LIFE Projekt *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* (LAND TIROL, 2007).....25

Abb. 21: Durchschnittliche Monatssummen des Niederschlags an den Messstellen Holzgau und Reutte; Beobachtungsreihe 1895 - 2003 (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO DES BMLFUW, 2003).....26

Abb. 22: Durchschnittliche Monatsmittel der Lufttemperatur an den Messstellen Holzgau und Reutte; Beobachtungsreihe 1896/1923 - 2003 (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO DES BMLFUW, 2003) 26

Abb. 23: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für NW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003).....28

Abb. 24: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für NW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003) 29

Abb. 25: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für MW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003).....30

Abb. 26: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für MW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003) 30

Abb. 27: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für HW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003).....32

Abb. 28: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für HW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003) 32

Abb. 29: Jährlichkeiten Pegel Steeg und Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008) 33

Abb. 30: A: Niederschlagsverlauf vom 22. und 23. August 2005 an der Messstation Reutte (BMLFUW, 2006); B: Ganglinie vom Hochwasser 2005 an verschiedenen Pegeln im Außerfern (BMLFUW, 2006) 34

Abb. 31: Jährlichkeit (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008) .. 34

Abb. 32: A: Blick flussab von der Lechaschauer Brücke im November 2008 (WAGNER, 2008); B: Blick flussab von der Lechaschauer Brücke im August 2005 (Hochwasserereignis 22. – 23. 8. 2005) (LAND TIROL, 2007) 35

Abb. 33: A: Kindergarten und Volksschule in Pflach im November 2008 (WAGNER, 2008); B: Kindergarten und Volksschule in Pflach im August 2005 (Hochwasserereignis 22. – 23. 8. 2005) (LAND TIROL, 2007) 36

Abb. 34: Betontraversen; erbaut im Zuge des Generalprojekts der Lechregulierung 1905 (BAUBEZIRKSAMT REUTTE, 2008) 37

Abb. 35: "Naturbaustelle Lange Au"; EU-LIFE Projekt (LAND TIROL, 2007) 38

Abb. 36: Entwicklung der Flussgestalt nach MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980) 40

Abb. 37: Morphodynamische Zusammenhänge in Fließgewässern (LANE, 1995) 41

Abb. 38: Bewegungsbeginn nach SHIELDS (1936) 41

Abb. 39: HJULSTRÖM & SUNDBORG Diagramm (1956); mod. durch BRIEM (2002) 43

Abb. 40: Erosion, Auflandung und stabile Gewässersohle in Abhängigkeit des Belastungsverhältnisses (EISENHAUER, 2008) 43

Abb. 41: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; Grundtypen Stable (S), Depositional (D), Lateral Migration (M) und Enlarging (E) (DOWNS, 1992) 46

Abb. 42: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; abgeschwächte Formen depositional (d), lateral migration (m) und enlarging (e) (DOWNS, 1992) 46

Abb. 43: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; komplexe Prozesstypen Compound (C), Recovering (R) und Undercutting (U) (DOWNS, 1992) 47

Abb. 44: Ausschnitt aus der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (LAND TIROL, 2008) .. 49

Abb. 45: Georeferenziertes Luftbild; Gemeinde Holzgau; Luftbild: LAND TIROL; DKM: BEV, LAND TIROL (2007) 50

Abb. 46: Schnitt durch das, mit einem Luftbild überlagerte Laserscan-DGM; ArcGIS© (Easy Profiler 9.1); Luftbild: LAND TIROL; DGM: LAND TIROL 51

Abb. 47: Verschnitt terrestrische Vermessung – Laserscanvermessung 52

Abb. 48: Schematische Darstellung des RSC (HABERSACK et al., 2000) 54

Abb. 49: Sinuosität (BRIEM, 2002) 55

Abb. 50: Flusslänge, Tallänge und Luftlinie (WAGNER, 2009) 56

Abb. 51: Zusammenhang zwischen Sohl-, Wasserspiegel- und Energieliniengefälle bei ungleichförmiger Strömung (NACHTNEBEL, 2003) 57

Abb. 52: LPE (BRIEM, 2002) 57

Abb. 53: Wasserspiegelbreite W, Umlagerungsbreite W_U und Überflutungsbreite W_F (WAGNER, 2009) 58

Abb. 54: Parameter des Querprofils (WAGNER, 2009).....59

Abb. 55: Ermittlung der Parameter TSP und SSP (FONSTAD, 2002) 62

Abb. 56: Stromröhre (BRONSTERT, 2002) 65

Abb. 57: Ableitung des Impulssatzes anhand der Kräfteverhältnisse in einem Fließgewässerabschnitt (BRONSTERT, 2002) 66

Abb. 58: Schemadarstellung eines Querprofils mit Brücke bei FKM 207.395 69

Abb. 59: 3D-Ansicht Prozess 12; Querprofile 207.264, 206.977 und 206.752; Abfluss HQ_{100}; A: Gerinnegeometrie 1992; B: Gerinnegeometrie nach dem Hochwasser 2005 70

Abb. 60: A: Überlagerung der Gerinnegeometrie 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Prozess 12; Querprofil 206.977; B: Luftbild 2000 (LAND TIROL); C: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 70

Abb. 61: Ermittlung der Modellierungsabflusses $HQ_{1.5}$.....71

Abb. 62: Ermittlung der Modellierungsabflusses Q_{2005} 72

Abb. 63: A: Modellversuch (SCHMAUTZ, 2003); B: Gewässerbreite und Sohllage nach 25 Tagen für die Gewässerstrecke x in Abhängigkeit der Geschiebeeintragsrate (SCHMAUTZ, 2003) 75

Abb. 64: Berechnungsablauf und Ausgangssituation zur Abschätzung der maximalen Gerinnebreite nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008) 76

Abb. 65: Parameter f_U in Abhängigkeit des Breiten-Tiefen-Verhältnisses b^*_{eq}/h_m. Auswertung verschiedener Gewässergeometrien nach Erreichen einer stabilen Breite nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008).....77

Abb. 66: Maximale Gewässerbreite b* nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008) 78

Abb. 67: Kontinentale Ebene im RSC – Österreich/Alpen (GOTTERBARM, 2009; mod. durch WAGNER).....79

Abb. 68: Regionale Ebene im RSC – Tirol/Außerfern (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008).....80

Abb. 69: A: Einzugsgebietsebene im RSC – Tiroler Lechtal/ Allgäuer und Lechtaler Alpen (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Subeinzugsgebietsebene im RSC – Österreichischer Lech (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008).....80

Abb. 70: A: Sektionale Ebene im RSC – Geschiebetechnische Untersuchung/Längenschnitt (DONAUCONSULT, 2001; mod. durch WAGNER); B: Lokale Ebene im RSC – Umlagerung (FKM 214.0 – 213.5) (LAND TIROL; mod. durch WAGNER) 81

Abb. 71: Punktebene im RSC – Bewegungsbeginn nach SHIELDS (1936) 81

Abb. 72: Gegenüberstellung morphodynamischer Prozesse an Lech, Trisanna und Bregenzerach 83

Abb. 73: Prozess 1 – Seitenerosion 1; FKM 229.8 – 229.6; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 84

Abb. 74: Prozess 2 – Seitenerosion 2; FKM 229.5 – 229.4; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 84

Abb. 75: Prozess 3 – Verwerfung 1; FKM 229.3 - 228.9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....84

Abb. 76: Prozess 4 – Seitenerosion 3; FKM 227.8 – 227.7; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 85

Abb. 77: Prozess 5 – Seitenerosion 4; FKM 224.4 – 224.3; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 85

Abb. 78: Prozess 6 – Umlagerung 1; FKM 222.3 – 222.2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....85

Abb. 79: Prozess 7 – Umlagerung 2; FKM 220.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 86

Abb. 80: Prozess 8 – Seitenerosion 5; FKM 216.5 – 215.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 86

Abb. 81: Prozess 9 – Umlagerung 3; FKM 214.0 – 213.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....86

Abb. 82: Prozess 10 – Seitenerosion 6; FKM 212.7 – 211.9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 87

Abb. 83: Prozess 11 – Seitenerosion 7; FKM 210.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....87

Abb. 84: Prozess 12 – Seitenerosion 8; FKM 207.3 – 206.7; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 87

Abb. 85: Prozess 13 – Seitenerosion 9; FKM 203.3 – 202.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 88

Abb. 86: Prozess 14 – Seitenerosion 10; FKM 200.3 – 199.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL) 88

Abb. 87: Vergleichsstrecke 1; FKM 219.0 – 218.0; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....89

Abb. 88: Vergleichsstrecke 2; FKM 193.0 – 192.0; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....89

Abb. 89: Vergleichsstrecke 3; FKM 186.5 – 185.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL).....89

Abb. 90: Morphodynamische Prozesse und morphodynamisch nicht aktive Vergleichs-strecken im Untersuchungsgebiet; Luftbilder: LAND TIROL; mod. durch WAGNER .90

Abb. 91: Landbedeckungs- bzw. Landnutzungskategorien 91

Abb. 92: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Dritte Landesaufnahme 1869 -1887 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 93

Abb. 93: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 93

Abb. 94: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 93

Abb. 95: Prozess 3 – Verwerfung 1; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008).....94

Abb. 96: Prozess 3 - Verwerfung 1; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 94

Abb. 97: Prozess 3 – Verwerfung 1; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 94

Abb. 98: Prozess 6 – Umlagerung 1; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008).....96

Abb. 99: Prozess 6 - Umlagerung 1; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 96

Abb. 100: Prozess 6 – Umlagerung 1; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 96

Abb. 101: Prozess 11 – Seitenerosion 8; A: Dritte Landesaufnahme 1869 -1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008).....97

Abb. 102: Prozess 11 - Seitenerosion 8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 97

Abb. 103: Prozess 11 – Seitenerosion 8; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 97

Abb. 104: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Dritte Landesaufnahme 1869 -1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008).....99

Abb. 105: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierter Darstellung (WAGNER, 2008) 99

Abb. 106: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 99

Abb. 107: Vergleichsstrecke 2; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 101

Abb. 108: Vergleichsstrecke 2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 101

Abb. 109: Vergleichsstrecke 2; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008) 101

Abb. 110: Ermittlung der Lauflänge vom Hochwasser 2005 im Bereich der Flussaufweitung Johannesbrücke bei Weißenbach; Luftbild: LAND TIROL; mod. durch WAGNER.....102

Abb. 111: Lauflängen 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005.....102

Abb. 112: Ermittlung der Umlagerungsbreiten vom Hochwasser 2005; Luftbild: LAND TIROL; mod. durch WAGNER 104

Abb. 113: Gegenüberstellung der mittleren Umlagerungsbreite an Prozessstellen (1869 - 1887, 2000, Hochwasser 2005) 104

Abb. 114: Gegenüberstellung der mittleren Umlagerungsbreite an Vergleichsstrecken (1869 - 1887, 2000, Hochwasser 2005) 105

Abb. 115: Mittlere Umlagerungsbreite 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005 106

Abb. 116: Längenschnitt (DONAUCONSULT, 2001; mod. durch WAGNER, 2008) 107

Abb. 117: Energieliniengefälle an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 108

Abb. 118: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 109

Abb. 119: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 110

Abb. 120: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 110

Abb. 121: Wasserspiegelbreite an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 111

Abb. 122: Gegenüberstellung der Wasserspiegelbreite an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 112

Abb. 123: Gegenüberstellung der Wasserspiegelbreite an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 113

Abb. 124: Gegenüberstellung des Wasserspiegelbreite von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 113

Abb. 125: Mittlere Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 114

Abb. 126: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 115

Abb. 127: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 115

Abb. 128: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 116

Abb. 129: Maximale Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 117

Abb. 130: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 118

Abb. 131: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 118

Abb. 132: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 119

Abb. 133: Benetzter Umfang an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 120

Abb. 134: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 121

Abb. 135: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 121

Abb. 136: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 122

Abb. 137: Durchflossene Querschnittsfläche an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 123

Abb. 138: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 124

Abb. 139: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 124

Abb. 140: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 125

Abb. 141: Hydraulischer Radius an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 126

Abb. 142: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 127

Abb. 143: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 127

Abb. 144: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 128

Abb. 145: Breiten-Tiefen-Verhältnis an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 129

Abb. 146: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 130

Abb. 147: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 130

Abb. 148: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 131

Abb. 149: Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 132

Abb. 150: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 133

Abb. 151: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 133

Abb. 152: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 134

Abb. 153: Sohlschubspannung an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 135

Abb. 154: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 136

Abb. 155: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 136

Abb. 156: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 137

Abb. 157: Froude-Zahl an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 138

Abb. 158: Gegenüberstellung der Froude-Zahl an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 139

Abb. 159: Gegenüberstellung der Froude-Zahl an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 139

Abb. 160: Gegenüberstellung der Froude-Zahl von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 140

Abb. 161: TSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 141

Abb. 162: Gegenüberstellung der TSP an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 142

Abb. 163: Gegenüberstellung der TSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 142

Abb. 164: Gegenüberstellung der TSP von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 143

Abb. 165: SSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992 144

Abb. 166: Gegenüberstellung der SSP an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 145

Abb. 167: Gegenüberstellung der SSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 145

Abb. 168: Gegenüberstellung der SSP von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 146

Abb. 169: Gegenüberstellung der relativen Höhe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 147

Abb. 170: Gegenüberstellung der relativen Rauigkeit von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12 148

Abb. 171: Prozess 12; A: Luftbild aus dem Jahr 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); mod. durch WAGNER, 2008 148

Abb. 172: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 207.264 (Profil 12) 149

Abb. 173: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 206.977 (Profil 12) 149

Abb. 174: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 206.752 (Prozess 12) 150

Abb. 175: Eintiefungen und Auflandungen (Prozess 12) 151

Abb. 176: Gegenüberstellung der Gerinnebreiten nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) an morphodynamischen Prozessstellen 161

Abb. 177: Gegenüberstellung der Gerinnetiefen nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) an morphodynamischen Prozessstellen 161

Abb. 178: Gegenüberstellung der Gerinnebreiten nach BRAY (1982) mit der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 an morphodynamischen Prozessstellen 162

Abb. 179: Gegenüberstellung der Gerinnebreite nach BRAY (1982) mit der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005; A: Mittelwerte an morphodynamischen Prozessstellen; B: Mittelwerte an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten (FKM 230.000 - 200.000) ... 163

Abb. 180: Modifiziertes Diagramm nach SCHMAUTZ (2003); Parameter f_U in Abhängigkeit des Breiten-Tiefen-Verhältnisses b^*_{eq}/h_m; Auswertung der Gewässergeometrien an Prozessstellen nach Erreichen einer stabilen Breite 165

Abb. 181: Vergleich Umlagerungsbreite 2000, Hochwasser 2005 und 1869 - 1887 mit errechneter Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) an Flussabschnitten mit Seitenerosionen 165

Abb. 182: Vergleich Mittelwerte Umlagerungsbreite 2000, Hochwasser 2005 und 1869 - 1887 mit errechneter Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) an Flussabschnitten mit Seitenerosionen 166

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Hydrologisch-hydrographische Typisierung der Pegel Steeg und Lechaschau auf Basis der Hydrographischen Jahrbücher 1982, 1985 und 1990 (MADER et al., 1996) 27

Tab. 2: Messstellen im Einzugsgebiet (FÜRST; HAÖ, 2007) 27

Tab. 3: Hydrologische Kennwerte für Niederwasser (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008) 28

Tab. 4: Hydrologische Kennwerte für Mittelwasser (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008) 29

Tab. 5: Hydrologische Kennwerte der Erwartungswerte für HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_2, HQ_5, HQ_{30} und HQ_{100} (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008) 31

Tab. 6: Hochwasserabflüsse im August 2005 (BMLFUW, 2006) 34

Tab. 7: Räumliche und zeitliche Abgrenzung abiotischer Komponenten innerhalb der Skalenebenen des RSC (HABERSACK, 1997) 53

Tab. 8: Modellierungsabflüsse 72

Tab. 9: A: Prozesslängen und prozentueller Anteil am gesamten Untersuchungsgebiet; B: Aufteilung der morphodynamischen Prozesse auf die Prozessgruppen *Seitenerosion*, *Umlagerung* und *Verwerfung* 82

Tab. 10: Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005 103

Tab. 11: Eintiefungen und Auflandungen (Prozess 12) 150

Tab. 12: Kategorien 153

Tab. 13: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 156

Tab. 14: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und der Teilgruppe *Seitenerosion*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 156

Tab. 15: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und der Teilgruppe *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 156

Tab. 16: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 157

Tab. 17: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit der Teilgruppe *Seitenerosion*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 157

Tab. 18: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit der Teilgruppe *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992 157

Tab. 19: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter im Bereich des Prozess 12 auf Basis der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 und jener nach dem Hochwasser 2005; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005} 158

Tab. 20: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Prozess 12; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}.....159

Tab. 21: Eingangsdaten und Zwischenergebnisse des Handrechenverfahrens 164

Symbole

Symbol	Benennung	Einheit
A	durchflossene Querschnittsfläche	m^2
A_1, A_2	Stirnflächen der Stromröhre	m^2
b_0	Breite zu Beginn der Aufweitung	m
b^*	maximal zu erreichende Breite im Gewässerabschnitt (SCHMAUTZ)	m
b^*_{eq}	Regime-Breite (SCHMAUTZ)	m
B_{REL}	Breiten-Tiefen-Verhältnis	—
c	Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit	$m\ s^{-1}$
D	über das Querprofil gemittelte Wassertiefe	m
D_{50}	mittlerer Korndurchmesser; Siebdurchgang 50%	m
D_{90}	Korndurchmesser; Siebdurchgang 90%	m
D_m	maßgebender Korndurchmesser	m
D_{max}	maximale Wassertiefe	m
D_B	Regimetiefe nach BRAY	m
D_K	Regimetiefe nach KELLERHALS	m
D_{SA}	Regimetiefe nach SIMONS & ALBERTSON	m
f_U	Parameter zur Ermittlung der Regime-Breite nach SCHMAUTZ	—
F_G	Gewichtskraft des Wassers in der Stromröhre	kN
F_M	von der Mantelfläche auf das Wasser ausgeübte Druckkräfte	kN
F_R	von der Gewässersohle auf das Wasser ausgeübte Reibungskraft	kN
Fr	Froude-Zahl	—
FE	Flussentwicklung	—
g	Erdbeschleunigung (9.81 $m\ s^{-2}$)	$m\ s^{-2}$
h	Druckhöhe	m
h_m	mittlere Fließtiefe	m
h_{vi}	Energieverlust	m
H_{REL}	relative Höhe	—
I	Impuls	N s
I_0	Ausgangssohlgefälle	%
I_1, I_2	Impulsströme über die Stirnflächen der Stromröhre	N s
I_E	Energieliniengefälle	$m\ m^{-1}$
I_S	Sohlgefälle	$m\ m^{-1}$
I_W	Wasserspiegelgefälle	$m\ m^{-1}$
k	absolute Rauheit der Gerinnewand	m
k_2	Konstante aus dem Geschiebetransportformel	—
k_{r1}, k_{r2}	von Sohlbeschaffenheit abhängige Faktoren (1.75, 0.23)	—
k_{St}	Stricklerbeiwert	$m^{1/3}\ s^{-1}$
L_{b^*eq}	Regime-Länge	m
L_{FLUSS}	Flusslänge	m
L_{LUFT}	Luftlinien	m
L_{TAL}	Tallänge	m
L_{UU}	tatsächlich vorhandene Länge mit rückgebauten Ufern	m
LE	Laufentwicklung	—

LPE	Längsprofilentwicklung	—
m	Masse des Wassers im Fließgewässerabschnitt	kg
n	Manningwert	$s\ m^{-1/3}$
P	Druckkraft auf die Querschnittsflächen	kN
P_1, P_2	Druckkräfte auf die Stirnflächen der Stromröhre	kN
Q	Abfluss	$m^3\ s^{-1}$
Q_1, Q_2	Durchfluss in den Stirnflächen der Stromröhre	$m^3\ s^{-1}$
R	hydraulischer Radius	m
Re	Reynoldszahl	—
R_{REL}	relative Rauigkeit	—
S	Fließgewässerabschnitt	m
SI	Sinuosität	—
SK_{max}	Schwankungskoeffizient des Abflussmaximums; Quotient des abflussreichsten Doppelmonats zweier aufeinander folgender Monate und des mittleren Jahresabflusses	—
SK_{Jahr}	Schwankungskoeffizient des Jahres; Quotient aus dem Abfluss des abflussreichsten und des abflussärmsten Doppelmonats	—
t	Zeit	s
U	benetzter Umfang	m
v	über das Querprofil gemittelte Fließgeschwindigkeit	$m\ s^{-1}$
v_1, v_2	Fließgeschwindigkeiten in den Stirnflächen der Stromröhre	$m\ s^{-1}$
W	Wasserspiegelbreite	m
W_B	Regimebreite nach BRAY	m
W_F	Überflutungsbreite	m
W_K	Regimebreite nach KELLERHALS	m
W_{SA}	Regimebreite nach SIMONS & ALBERTSON	m
W_U	Umlagerungsbreite	m
x	Ort	—
z	geodätische Höhe	m
α	Winkel, mit dem S gegenüber der Horizontalen geneigt ist	°
γ_W	Wichte des Wassers	$N\ m^{-3}$
θ_{crit}	kritischer Shields-Parameter	—
$\theta_{m,U}$	gemittelter Shields-Parameter	—
$\theta'_{m,U}$	effektiver (transportwirksamer) Shields-Parameter	—
ρ_S	Feststoffdichte des Geschiebes	$kg\ m^{-3}$
ρ_W	Dichte des Wassers	$kg\ m^{-3}$
τ	Sohlschubspannung	$N\ m^{-2}$
τ_{crit}	kritische Sohlschubspannung (Erosionsbeginn)	$N\ m^{-2}$
ω	Specific Stream Power (SSP)	$W\ m^{-2}$
Ω	Total Stream Power (TSP)	$W\ m^{-1}$

Abkürzungen

Abkürzung	Benennung
ArcGIS©	Oberbegriff für GIS-Softwareprodukte der Firma ESRI
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BMLFUW	Bundesministerium für Land-, Forst-, Umwelt und Wasserwirtschaft
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DGM	Digitales Geländemodell
DKM	Digitale Katastralmappe
ESRI	Environmental Systems Research; Softwarehersteller von GIS
FKM	Flusskilometer
HAÖ	Hydrologischer Atlas Österreichs
HEC-RAS©	Hydraulic Engineering Center – River Analysis System
HMQ	höchster Monatsmittelwert des Abflusses im betrachteten ZA
HORA	Hochwasserrisikozonierung Austria
HQ	Hochwasserabfluss; höchster Abfluss im betrachteten ZA
HQ_1	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 1 Jahr
$HQ_{1.5}$	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 1.5 Jahren
HQ_2	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 2 Jahren
HQ_5	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 5 Jahren
HQ_{30}	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 30 Jahren
HQ_{100}	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren
HQ_{500}	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 500 Jahren
HQ_{5000}	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von 5000 Jahren
MHQ	mittleres Hochwasser; Mittel aller Hochwerte des Abfl. im betr. ZA
MJHQ	mittleres Jahreshochwasser; Mittel der Jahreshöchstwerte des Abflusses im betrachteten ZA
MNQ_T	mittlerer Tagesniederwasserabfluss im betrachteten ZA
MPM	Meyer-Peter Müller
MQ	Mittelwasserabfluss; mittlerer Abfluss im betrachteten ZA
NMQ	niederster Monatsmittelwert des Abflusses im betrachteten ZA
NQ	Niederwasserabfluss; niederster Abfluss im betrachteten ZA
NQ_T	niederster Tagesniederwasserabfluss im betrachteten ZA
Q_{2005}	Ereignisabfluss vom Hochwasser 2005
Q_{bv}	aktueller bordvoller Abfluss
$Q_{bv,NAT}$	bordvoller Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers
Q_d	dominanter Abfluss
RSC	River Scaling Concept (nach HABERSACK)
SP	Stream Power (Strömungsenergie)
SSP	Specific Stream Power
TSP	Total Stream Power
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung (die.wildbach)
WWF	World Wide Fund For Nature
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung, Problemstellung und Ziele

1.1 Einleitung

Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Talraum alpiner Flüsse ist es schwierig den flussmorphologischen Raumbedarf des Gewässers mit anthropogenen Nutzungsansprüchen abzustimmen.

In der Vergangenheit wuchs mit zunehmender Einwohnerdichte das Bedürfnis nach Raum für Siedlungs-, Gewerbe- und landwirtschaftliche Flächen. Folglich wurden fast alle alpinen Flüsse reguliert. Auch der Tiroler Lech wurde an einigen Stellen (z.B. im Reuttener Talkessel) verbaut. Bürgerinitiativen, Arbeitsgruppen und nicht zuletzt das EU-LIFE Projekt *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* trugen dazu bei das dynamische Gewässernetz mit seinen vielfältigen Augebieten, weiträumigen Umlagerungsstrecken und Retentionsräumen über weite Flussabschnitte hinweg zu erhalten.

Dennoch zeigten vergangene Hochwasserereignisse, wie das Hochwasser vom 22. und 23. August 2005, welche Dynamik der Lech mit zunehmendem Abfluss entwickeln kann. Im Mittelpunkt der medialen Berichterstattung standen Ausuferungen, großräumige Überflutungen und die daraus resultierende Zerstörung von Siedlungsgebieten und Infrastruktureinrichtungen. Die Bedeutung der Geomorphologie fand wenig mediales Interesse. Viele der materiellen Schäden standen jedoch im engen Zusammenhang mit morphodynamischen Prozessen.

In Österreich ist der morphologische Zustand eines Fließgewässers vielerorts nicht erfasst. Aufgrund Datenmangels ist keine optimale Planungsgrundlage für schutzwasserwirtschaftliche Projekte im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie vorhanden. Um die zukünftige Entwicklung der Flussmorphologie insbesondere bei Hochwasserereignissen abschätzen zu können und Gefahrenpotenziale zu erkennen, ist die Kenntnis über geomorphologische Vorgänge in Fließgewässern von großer Bedeutung.

1.2 Problemstellung

Die Anfälligkeit eines Flussabschnittes für morphodynamische Aktivität aufgrund eines Hochwassers ist von einer Vielzahl an, natürlich und anthropogen bedingten Faktoren abhängig. Die Problematik in der Abschätzung der maßgeblichen und ursächlichen Faktoren liegt darin, dass die Faktoren einerseits zeit- und ortsabhängig sind, und andererseits komplexe Wechselwirkungen auftreten können. Hinzu kommt, dass einige Faktoren, wie z.B. anthropogene Eingriffe schwer zu quantifizieren sind.

Neben der Stärke und dem Wiederkehrintervall des Hochwassers wird in wissenschaftlicher Literatur häufig auf die Bedeutung der Faktoren Strömungsenergie, Anteil und Menge der transportierten Feststoffe, Ausbildung der Gerinnegeometrie, Kontraktion-Expansionseffekte, Auftreten von flussbegleitender Vegetation sowie anthropogenen Faktoren wie Landnutzung und Gerinneverbauung verwiesen (WOLMAN & MILLER, 1960; BAKER 1977; WOLMAN & GERSON, 1978; BEVEN, 1981; NANSON, 1986; BAKER & COSTA, 1987; MILLER, 1990; NASH, 1994; BAKER & KALE, 1998; RICHARDS, 1999; WOHL, 2008; HAUER & HABERSACK, 2009).

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, ein besseres Verständnis für die Wechselwirkung zwischen Hochwasserabflüssen und morphodynamischen Prozessen zu entwickeln. Auf einer umfangreichen Datenbasis aufbauend, sollten mit Hilfe eines prozessorientierten Ansatzes morphodynamische Prozesse auf qualitativer und quantitativer Ebene analysiert werden. Im Zuge dieser Analysen sollten verschiedene Parameter auf deren Eignung als Indikator für morphodynamische Aktivität untersucht werden.

Ein übergeordnetes Ziel war es, Aussagen über den minimalen fluss-morphologischen Raumbedarf eines Fließgewässers ableiten zu können, und dadurch wertvolle Informationen für zukünftige Gefahrenabschätzungen zu erhalten.

Abb. 1 gibt einen Einblick in die Vorgehensweise der Arbeit.

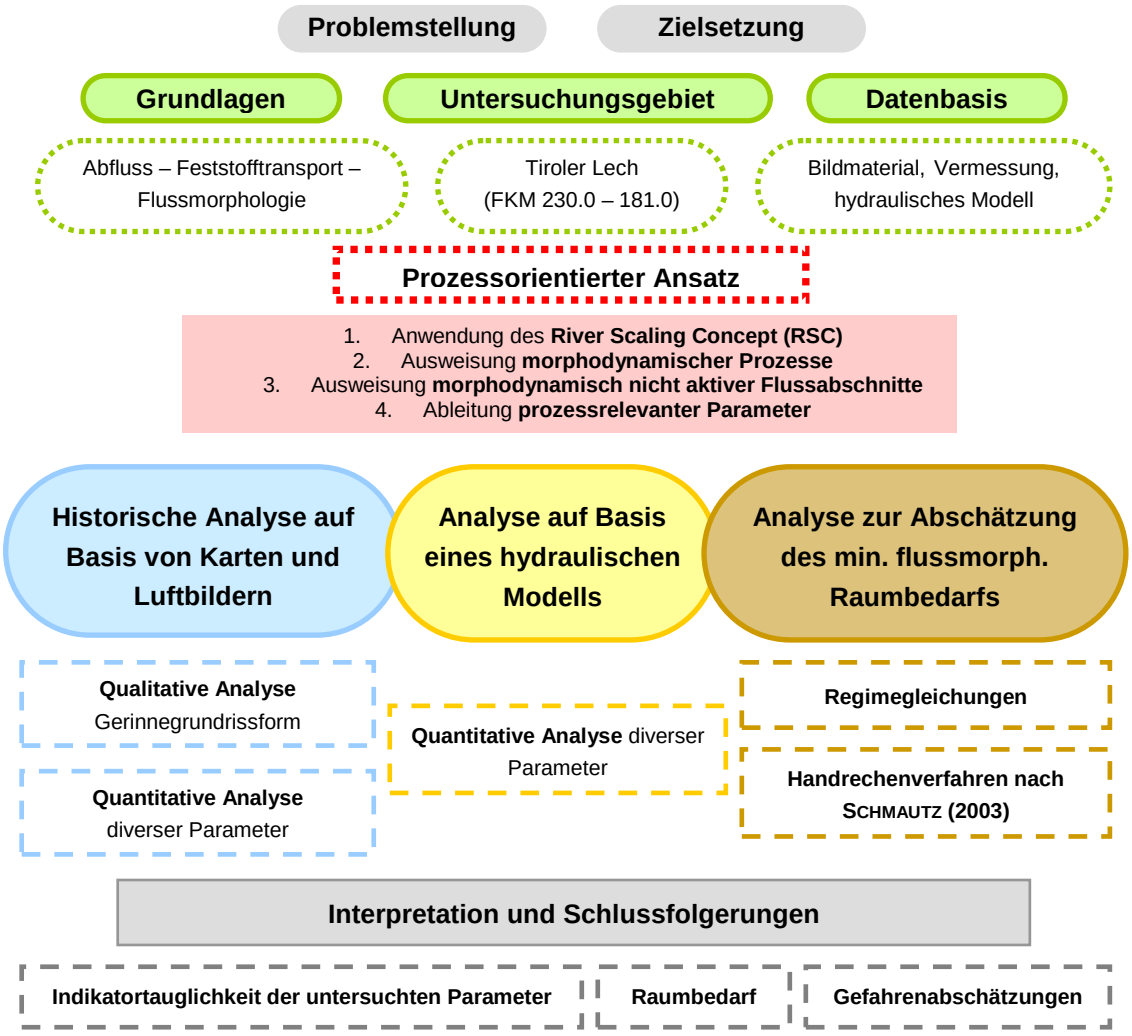


Abb. 1: Vorgehensweise

2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

2.1 Allgemeines

Hinsichtlich der Entstehung des Namens *Lech* existieren verschiedene Theorien. Im 2. Jahrhundert n. Chr. nannte Ptolemäus den Lech „Licias", im 8. Jahrhundert n. Chr. tauchte die Bezeichnung „Lecha", und zum ersten Mal der Name „Lech" auf. Neueste Untersuchungen alt-indogermanischer Dialekte bestätigen die Annahme, dass das deutsche Wort „Lech" aus dem keltischen „lik" oder dem lateinischen „licus" hervorgegangen ist. Übersetzt bedeutet das soviel wie; der „schnell Fließende" oder „Steinreiche" (NASEMANN, 2007).

Heute locken Auenlandschaften mit breiten Umlagerungsstrecken zahlreiche Erholungssuchende in das Tiroler Lechtal. Durch sein einzigartiges Erscheinungsbild im Bereich des Naturparks *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* wird der Lech häufig als einer der letzten Wildflüsse Europas bezeichnet. Die durchschnittlich positive Einstellung der Bevölkerung zum Lech war jedoch nicht immer so. Noch im 19. Jahrhundert wurde der Lech als „entarteter" und „verwilderter" Fluss bezeichnet. Den damaligen Zeitgeist verdeutlicht der Antrag des für das Generalprojekt der Lechregulierung 1910 beauftragten Landes-Oberbaurats Krapf (NASEMANN, 2007):

„Man besteige den Falkenstein bei Vils und betrachte das Land hüben und drüben der Grenzpfähle. Hier die endlose Schotterwüsteneien des Lech im Talboden, dort jeder Fluss und Bach reguliert und jeder Quadratmeter Boden der Kultur gewonnen. Warum dies so ist, hat leider auch seine triftigen Gründe. Aber sind wir es nicht den kommenden Geschlechtern schuldig mit Tatkraft und zielbewusst ein Werk in Angriff zu nehmen und es trotz unserer beschränkten Mittel zu fördern, wenn auch erst diese nachkommende Geschlechter ernten werden, was wir gesät."

Abb. 2: Tiroler Lech bei Forchach (GAMERITH, 2002)

(Antrag des Landes-Oberbaurats Krapf 1910)

2.2 Geographische Lage

Mit einer Gesamtlänge von ca. 255 Kilometern zählt der Lech zu einem der größten Zuflüsse der oberen Donau. Das gesamte Einzugsgebiet beträgt 3900 km².

Die Quellregion des Lech liegt in Vorarlberg nahe dem Formarinsee (1880 m ü.A.). Da der Lech aus dem Zusammenfluss mehrerer Rinnsale, die über die Alpe Formarin fließen entsteht, kann keine exakte Quelle definiert werden.
Nach ca. 12 Kilometern Fließstrecke verlässt der Lech bei der Ortschaft Warth das Bundesland Vorarlberg. Er durchquert das Tiroler Lechtal, welches im Nordwesten durch die Allgäuer Alpen und im Südosten durch die Lechtaler Alpen begrenzt ist. Im weiteren Verlauf durchfließt der Lech den Reuttener Talkessel und erreicht die deutsche Staatsgrenze. Auf seinem Weg durch Südbayern passiert er im Alpenvorland bereits nach einigen Kilometern die Lechschlucht bei Füssen. Kurz nach Füssen durchfließt er den Forggensee.
Der Lech mündet in Bayern östlich von Donauwörth bei Marxheim in die Donau.
Bekannte Städte am Lech sind Schongau, Landsberg am Lech und Augsburg.
Einen topographischen Überblick des Einzugsgebiets verschafft Abb. 3.

Die Länge des Lech in Vorarlberg und Tirol beträgt in etwa ein Drittel der gesamten Flusslänge. Vom Ursprung bis zur Staatsgrenze entwässert der Lech eine Fläche von ca. 1406 km² (BMLF, 1998).

Bei Betrachtung des Gesamteinzugsgebiets hat der Lech in Vorarlberg und Tirol Oberlaufcharakter. Die restlichen zwei Drittel Flussstrecke in Deutschland zählen zum Mittel- und Unterlauf.

Abb. 3: Topographischer Überblick Gesamteinzugsgebiet Lech (ZETTL, 2001); A: Formarinsee (NASEMANN, 2007); B: Karstquellen im Lechquellengebirge (NASEMANN, 2007); C: Trogtal des jungen Lech oberhalb der Ortschaft Lech (NASEMANN, 2007); D: Tiroler Lechtal bei Forchach (NASEMANN, 2007); E: Lech bei Weißenbach (NASEMANN, 2007); F: Lech im Reuttener Talkessel (WAGNER, 2008); G: Lechfall bei Füssen (NASEMANN, 2007); H: Lech bei Augsburg (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2006)

2.3 Untersuchungsgebiet im Detail

Das gegenständliche Untersuchungsgebiet, dessen topographische Lage in Abb. 4 (A) dargestellt ist, erstreckt sich von Prenten in der Gemeinde Steeg (FKM 230.000) flussab bis zur Marktgemeinde Reutte (FKM 181.000). Die untersuchte Flusslänge beträgt somit 49 km.

Flussgebietsbezogen liegt das Untersuchungsgebiet im *Donaugebiet oberhalb des Inn* (Abb. 4, B).

Datengrundlage der Fließgewässer sind topographische Karten des BEV aus dem Jahr 2001. Die dargestellten Teileinzugsgebiete sind aus dem Jahr 2004 (FÜRST; HAÖ, 2007).

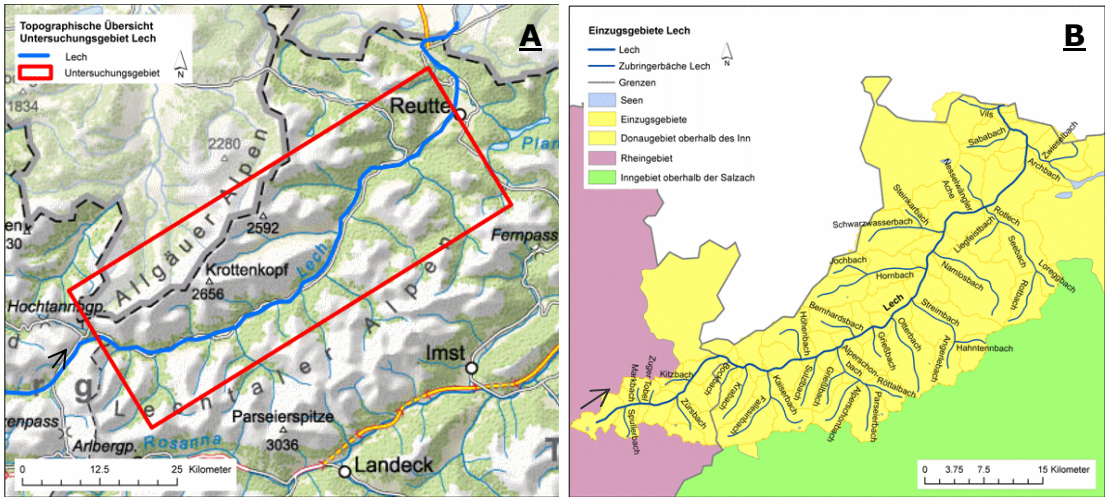


Abb. 4: A: Topographischer Überblick Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Einzugsgebiet Lech (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

2.4 Flussmorphologie

Das heutige Landschaftsbild des Lechtals entstand in den Eiszeiten im Quartär (vor 2.4 Millionen Jahre bis heute). Damals transportierte der Lechgletscher große Mengen an Geröll, formte Täler und bildete Terrassen.
Abb. 5 (A) zeigt den riesigen Eisschild, der sich in der Eiszeit über das gesamte Lechtal ausgebreitet hat (NASEMANN, 2007). Zur Zeit der stärksten Vergletscherung reichte der Eisschild vom Formarinsee in Vorarlberg (Scheitelhöhe 2300 m ü.A.) bis nach Reutte (Scheitelhöhe 1650 m ü.A.) (GROTH, 1989).
Heute sind im Lech Eiszeitfindlinge anzutreffen, die über weite Strecken durch den Lechgletscher transportiert wurden. Bei Abb. 5 (B) handelt es sich um ein gerundetes, kristallines Gestein der Wallgruppe südlich des Arlbergs, das auf Lechaschauer Kiesbänken gefunden wurde.

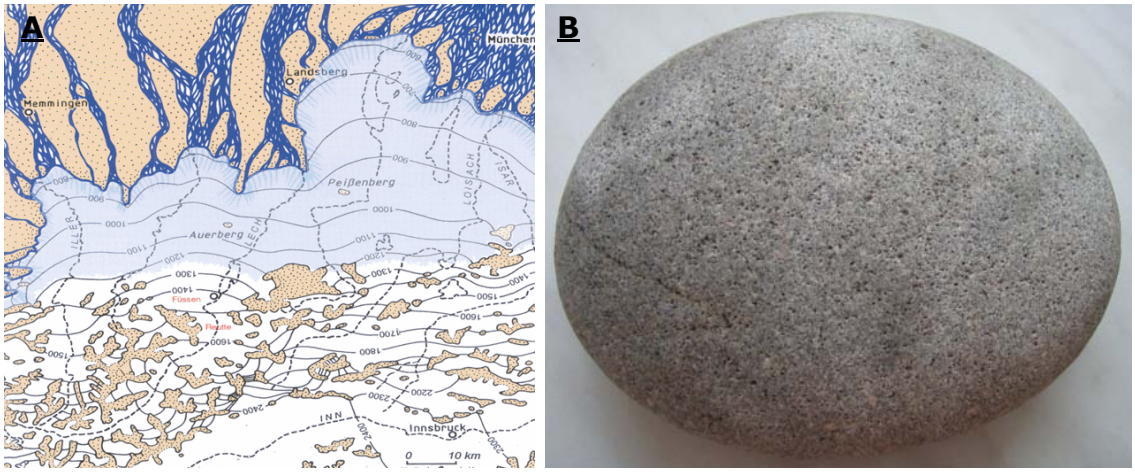


Abb. 5: A: Eiszeitlicher Lechgletscher (NASEMANN, 2007); B: Eiszeitfindling; kristallines Gestein der Wallgruppe (WAGNER, 2008)

Nach der Eiszeit entwickelten sich im Tiroler Lechtal verschiedene Fluss-landschaften, die wiederum unterschiedliche Flusstypen hervorbrachten.

Auf Basis historischer Kartenwerke der Zweiten Landesaufnahme (1806 - 1869) wurden von MUHAR et al. (2004) morphologische Charakteristika österreichischer Flusslandschaften im Rahmen des Forschungsprogramms *Kulturlandschaft* beschrieben. Anhand historischer Gerinnegrundrissformen und Faktoren wie Bettmorphologie, Feststoffhaushalt und Geologie des Einzugsgebiets konnte auch für den Lech der ursprünglich morphologische Flusstyp bestimmt werden.
Die Zuordnung zu den Flusstypen basierte auf der Klassifikation von MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980) (Abb. 6).

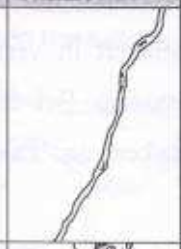
Flußtyp	Skizze	Beschreibung
Gestreckt		• Gerinne, die über kürzere/längere Strecken nur geringe Flußentwicklung aufweisen • Gerinneform ist durch hohes Gefälle und Taleinengung bedingt • häufig scharfe Richtungsänderungen – Knicke im Grundriß • Stromstrich kann kleinräumig pendeln, wodurch es zu alternierenden Ablagerungen kommt • tritt zumeist in den Talformen Klamm, Kerbtal, Sohlenkerbtal auf
Furkation		• Aufzweigung in zahlreiche Nebenarme und Seitengerinne, bedingt durch hohen Geschiebetrieb in Verbindung mit mittlerem bis hohem Gefälle • keine eindeutig festgelegten Ufer • häufig wird der gesamte Talboden eingenommen • mehrere Unterformen abgrenzbar (z. B. braiding, anastomosing,..) Spezialfall 'Umlagerungsstrecke': Strecke eines Geschiebestausees vor einem Hindernis (Geschiebegleichgewicht)
Gewunden		• Übergangstyp zwischen Furkation und Mäander • Flusslauf zeigt bereits Mäanderbögen, lokal sind aber immer wieder Flußbetterweiterungen mit Inselbildungen (Aufzweigungen) vorhanden
Pendelnd		• im Talboden besteht Raum für pendelndes Abweichen des Flusses von der Tallinie unter Ausbildung von prall- und gleituferähnlichen Situationen • Richtungsänderungen zumeist durch Talflanken, Schwemmkegel oder Terrassensysteme bedingt • In der Regel relativ geringer Geschiebetrieb in Kombination mit für Mäanderbildung noch zu hohem Gefälle
Mäander		• Freie Mäander (Flußmäander) – entwickelt sich in eigener Alluvion • Spezialfall 'Dammuferfluß': Freier Mäander mit natürlich aufgehöhten Ufern infolge Sedimentation im Hochwasserfall • Talmäander – durch Tiefenerosion von Mäandern entstanden

Abb. 6: Flusstypen nach MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980)

Abb. 7 gibt einen Überblick über die im Untersuchungsgebiet anzutreffenden Flusslandschaften und deren ursprünglich morphologischen Flusstyp nach MUHAR et al. (2004).

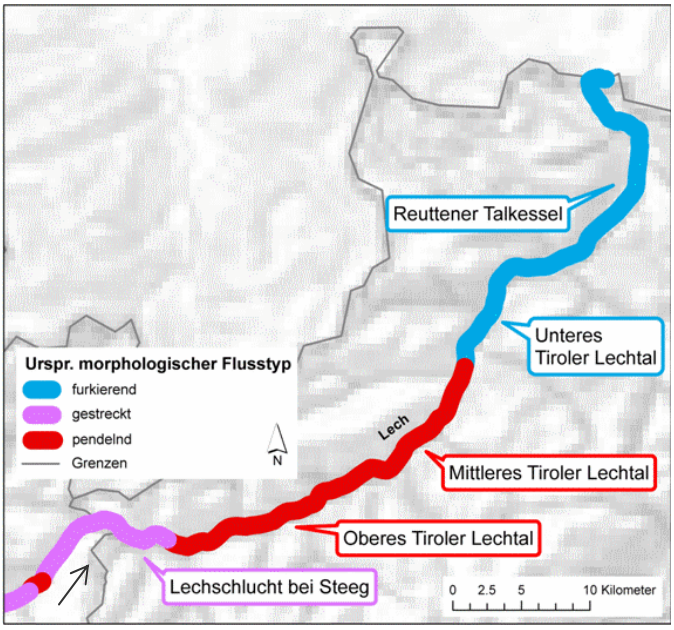


Abb. 7: Flusslandschaften und ursprünglich morphologischer Flusstyp nach MUHAR et al., (2004) (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

Aufgrund der unterschiedlichen Flusscharakteristik unterteilte NASEMANN (2007) das Untersuchungsgebiet in folgende Abschnitte:

- Lechschlucht bei Steeg
- Oberes Tiroler Lechtal
- Mittleres Tiroler Lechtal
- Unteres Tiroler Lechtal
- Reuttener Talkessel

Die **Lechschlucht bei Steeg** beginnt flussab der Ortschaft Warth in Vorarlberg und endet bei Steeg in Tirol. Wie in Abb. 8 (A) ersichtlich, hat sich der Lech tief in das Tal eingeschnitten. Mit einem durchschnittlichen Gefälle von 20‰ durchfließt er eine bis zu 50 m tiefe Schluchtstrecke, die schwer einsehbar und zugänglich ist (NASEMANN, 2007). Die flussmorphologische Talform ist eine Klamm bzw. ein Kerbtal. Der Flusstyp ist *gestreckt* (MUHAR et al., 2004).

Im **oberen Tiroler Lechtal** (Abb. 8, B) liegen die Gemeinden Steeg und Holzgau. Charakteristisch ist ein enges und schattiges Längstal, indem der Lech mit einem durchschnittlichen Gefälle von 6‰ fast ausschließlich im anstehenden Gestein fließt und somit wenig Platz für landwirtschaftliche Flächen zur Verfügung steht. Die

Schwemmfächer der Seitenbäche sind klein (NASEMANN, 2007). Die vorherrschende Talform ist ein Sohlenkerbtal und der Flusstyp ist *pendelnd* (MUHAR et al., 2004).

Im **mittleren Tiroler Lechtal** (Abb. 8, C, D) bestimmen Bergmähder und Wiesen das Erscheinungsbild des Talraums. Diese weichen Talformen sind auf die geologische Grundlage, die Allgäuschichten zurückzuführen. Genauso wie im obereren Tiroler Lechtal entspricht die Talform einem Sohlenkerbtal und der Flusstyp ist *pendelnd* (MUHAR et al., 2004). Im mittleren Tiroler Lechtal liegen die Gemeinden Bach, Elbigenalp, Häselgehr und Elmen.

Charakteristisch für das **untere Tiroler Lechtal** (Abb. 8, E, F) sind Bergwälder und schroffe, vegetationslose Gipfel. Da der Hauptdolomit kein guter Bodenbildner ist, fehlen im Vergleich zum mittleren Tiroler Lechtal Almen und Bergmähder.
Das typische Erscheinungsbild dieses Abschnitts ist eine Wildflusslandschaft mit ausgedehnten Umlagerungsstrecken und Augebieten. Zubringer, Schutthalden und Muren versorgen den Lech mit großen Mengen an Geschiebe. Im Mündungsbereich von Zubringerbächen, wie z.B. dem Horn- oder Schwarzwasserbach bilden sich großflächige Schwemmfächer. Da der Lech der „größte Grundbesitzer" des unteren Tiroler Lechtals ist, gibt es wenig Raum für landwirtschaftliche Flächen (NASEMANN, 2007).
Bei Betrachtung der Talform, ist im Bereich des Talbodens eine Aufweitung von bis zu 1 km zu verzeichnen. Das Sohlenkerbtal verändert sich allmählich zu einem Sohlental. Der ursprünglich morphologische Flusstyp ist *furkierend* (MUHAR et al., 2004).
Durch das EU-LIFE Projekt *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* (Kapitel 2.10.3) konnte der furkierende Flusstyp bewahrt bzw. wiederhergestellt werden. Im unteren Tiroler Lechtal liegen die Gemeinden Stanzach, Forchach und Weißenbach.

Der **Reuttener Talkessel** (Abb. 8, G) entstand, indem er in der Eiszeit durch den Lechgletscher ausgeräumt und danach mit Gletscher- und Lechgeschiebe verfüllt wurde (NASEMANN, 2007). Die Talform ist ein sehr weites Sohlental mit Aufweitungen von bis zu 5 km.
Ursprünglich hatte der Lech auch im Reuttener Talkessel den Charakter einer Wildflusslandschaft. Durch Regulierungen nach dem Hochwasser 1910 entstanden neue Siedlungs- und Gewerbeflächen. Die großräumigen Umlagerungsstrecken und Augebiete gingen jedoch großteils verloren (NASEMANN, 2007). Der ursprünglich morphologische Flusstyp *furkierend* wurde durch den aktuellen Flussverlauf *linear* oder *begradigt* abgelöst (MUHAR et al., 2004). Zu den (Markt-) Gemeinden im Reuttener Talkessel gehören Ehenbichl, Höfen, Lechaschau, Reutte und Pflach.

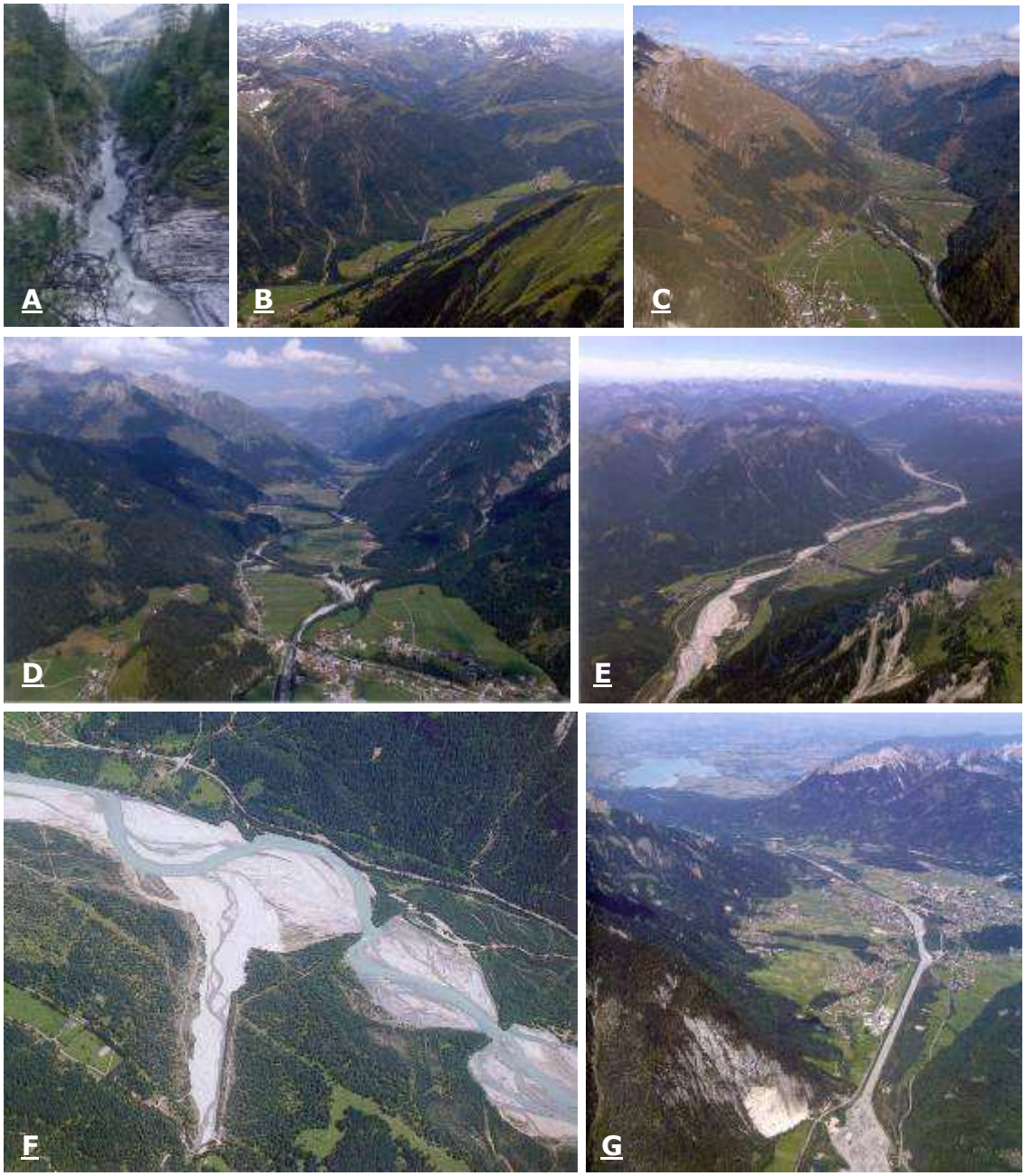


Abb. 8: Flusslandschaften im Untersuchungsgebiet. A: Lechschlucht bei Steeg (NASEMANN, 2007); B: oberes Tiroler Lechtal; Gemeinden Holzgau und Steeg (NASEMANN, 2007); C: mittleres Tiroler Lechtal; Gemeinde Elbigenalp (NASEMANN, 2007); D: mittleres Tiroler Lechtal; Gemeinde Bach (NASEMANN, 2007); E: unteres Tiroler Lechtal; Gemeinde Weißenbach (NASEMANN, 2007); F: unteres Tiroler Lechtal; Mündungsbereich des Schwarzwasserbachs; Gemeinde Forchach (NASEMANN, 2007); G: Reuttener Talkessel und Füssener Bucht (NASEMANN, 2007)

2.5 Geologie

Das Lechtal liegt in den Nördlichen Kalkalpen, eingebettet zwischen zwei Gebirgsketten, den Allgäuer Alpen im Nordwesten und den Lechtaler Alpen im Südosten.

Das Einzugsgebiet des Lech setzt sich aus den tektonischen Einheiten **Kalkalpin**, **Flysch**, **Helvetikum** und **Molasse** zusammen (Abb. 9). Da in der Gebirgsbildungsphase die tektonischen Einheiten über- und aneinander geschoben wurden, sind heute komplexe strukturgeologische Schichtfolgen anzutreffen (NASEMANN, 2007).

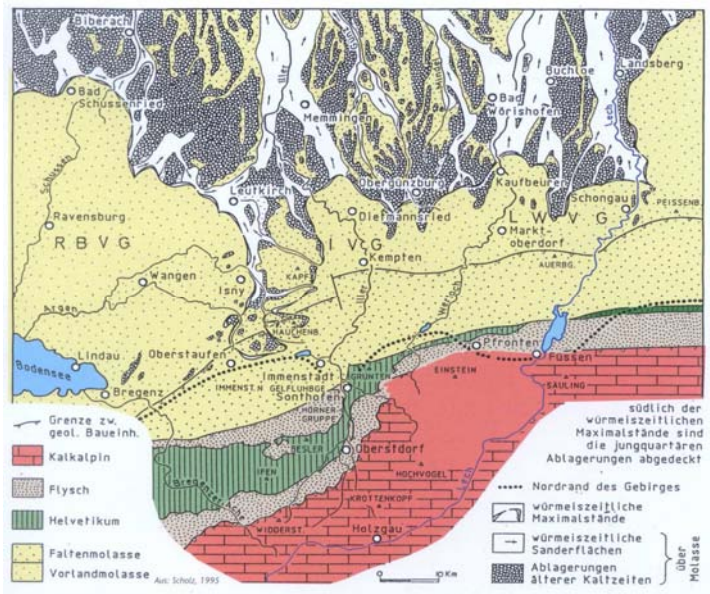


Abb. 9: Tektonische Einheiten im Einzugsgebiet des Lech (NASEMANN, 2007)

Die Allgäuer und Lechtaler Alpen wurden zum Großteil aus **Hauptdolomit**, **Wettersteinkalk** und **Allgäuschichten** aufgebaut (ZETTL, 2001). Die Entstehung dieser Gesteine liegt über Hundert Millionen Jahre zurück.

Als in der Triaszeit, zu Beginn des Erdmittelalters vor 240 - 208 Millionen Jahren der Superkontinent *Pangäa* zerbrach und sich Afrika und Europa langsam auseinander bewegten, öffnete sich das Tethysmeer. Auf dem Nordkontinent *Pangäas* kam es zur Ablagerung von Kalkstein, Dolomit, rotem Sandstein, Gips und Steinsalz. Im Süden entstanden im flachen Meer jene Gesteine, die heute auf den Kiesbänken des Tiroler Lech anzutreffen sind; **Wettersteinkalk**, **Raibler Schichten**, **Hauptdolomit** und **Kössener Schichten**.

In der Jurazeit, vor 208 - 146 Millionen Jahren kam es zu einer weiteren Aufweitung des Tethysmeeres infolge des fortsetzenden Auseinanderdriftens von Europa und Afrika. Dadurch bildete sich zwischen dem nördlichen und südlichen Schelfmeer ein tiefes Ozeanbecken. Im nördlichen Schelfmeer kam es an den Schwellen der europäischen Kontinentalplatte zur Ablagerung der **„Bunten Jurakalke"** (Hierlatzkalk, Liaskalk, Vilser Kalk). In tieferen Meeresbereichen wurden **Allgäuschichten**, **Radiolarite** oder **Aptychenkalke** abgelagert.

In der Mitte der Kreidezeit (146 - 65 Millionen Jahre), vor ca. 100 Millionen Jahren, kam dann der Wendepunkt. Europa und Afrika bewegten sich aufeinander zu. Dabei wurde die afrikanische unter die europäische Platte gedrückt. Die Gesteine wurden unter Wasser gepresst, gefaltet und schließlich in Decken übereinander geschoben. Dieser Vorgang wird als erste Gebirgsbildungsphase bezeichnet. Abb. 10 stellt den Vorgang (Phase 1 - 4) schematisch dar.

Im Nordwesten sanken die Decken in tiefe Meeresbecken ein. An der Stirnseite entstand Abtragungsschutt (sandige Mergel, Sandsteine, Brekzien, Konglomerate), der heute in Form von **Gosauschichten** im Einzugsgebiet des Lech anzutreffen ist.

Die **Flyschgesteine** lagerten sich in einem tiefen Meeresbecken im Norden, dem sog. Flyschtrog, ab. Weiter nördlich des Flyschtrogs entstanden am europäischen Schelfrand die Gesteine des **Helvetikums**.

In der Mitte der Tertiärzeit (65 - 2.4 Millionen Jahre), vor ca. 35 Millionen Jahren setzte die zweite Gebirgsbildungsphase ein. Die Alpen entstanden, in dem sich die alpinen Decken der nördlichen Kalkalpen relativ rasch nach Norden bewegten. Durch diese neuerliche Einengung kam es schließlich zum Abscheren des Deckenstapels von seinem Untergrund. Als Folge hoben sich die Gesteine um mehrere Tausend Meter. Das heutige Erscheinungsbild der Berglandschaft entstand durch die Abtragung, die der Anhebung folgte (Phase 5 - 6) (Abb. 10).

Die Gebirgsbildung ist bis heute nicht abgeschlossen. Die Hebung, die in etwa 2 mm im Jahr ausmacht, hält sich jedoch mit der Abtragung im Gleichgewicht (NASEMANN, 2007).

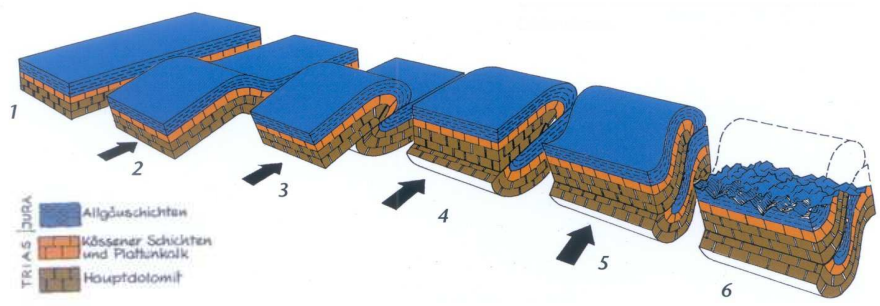


Abb. 10: Schematische Darstellung der Gebirgsbildung (NASEMANN, 2007)

Den letzten Schliff bekam das Tiroler Lechtal durch die verschiedenen Eiszeiten im Quartär. Welchen enormen Einfluss der Lechgletscher auf das Landschaftsbild hatte, wurde in Kapitel 2.4 erörtert.

Auf den Kiesbänken des Tiroler Lech lassen sich Gesteine unterschiedlichster Herkunft finden. Sie gelangen durch Geschiebeeintrag von Zubringerbächen, Verwitterung und Abtragungsprozesse in den Lech. Anzutreffen sind u.a. **Hauptdolomite**, **Wettersteinkalke**, **Allgäuschichten**, **Radiolarite**, **Aptychen-schichten**, **Gosauschichten**, **„Bunte Jurakalke"**, **Kössener Schichten** und **Raibler Schichten** (Abb. 11).

Abb. 11: Gesteine auf den Kiesbänken des Tiroler Lech (WAGNER, 2008)

Hauptdolomit (Abb. 12, A) ist das wichtigste Baumaterial der Allgäuer und Lechtaler Alpen. Er hat eine graue bis ockrige Färbung sowie weiße Calzidadern, die als Bruchlinien wirken und somit die Verwitterungsanfälligkeit des eigentlich harten Gesteins erhöhen. Durch seine hohe Schuttproduktion ist Hauptdolomit im Lech in großer Menge anzutreffen.

Wettersteinkalk (Abb. 12, B) ist ein heller, aschgrauer bis rostbrauner Kalkstein. Bedingt durch seinen hohen Kalkgehalt ist Wettersteinkalk relativ hart und sehr gut verwitterungsresistent (ZETTL, 2001).

Allgäuschichten (Abb. 12, C) setzen sich vor allem aus wasserstauenden, schiefrigen, dunkelgrauen Mergel- und hellgrauen Kalksteinbänken zusammen (NASEMANN, 2007). Im Gegensatz zu Hauptdolomit und Wettersteinkalk haben Allgäuschichten eine geringere Festigkeit, sind weniger verwitterungsresistent und leicht erodierbar. Im Lechtal stellen sie wegen ihres Mergelreichtums eine häufige Grundlage der Grasberge dar und bestimmen besonders im oberen Tiroler Lechtal das Landschaftsbild (ZETTL, 2001).

Bedingt durch günstige Lebensbedingungen in der Entstehungsphase der Allgäuschichten wurden zahlreiche Fossilien (z.B. Schnecken, Muscheln und Ammoniten) in das Gestein miteingeschlossen (NASEMANN, 2007).

Aptychenschichten und **Radiolarite** (Abb. 12, D, E) sind dunkelrote, gelbliche oder dunkelgrüne Gesteine, die oft nur unvollständig gerundet sind und sich durch eine hohe Härte auszeichnen. Aptychenschichten sind nach den schaufelförmigen Klappen von Ammoniten benannt. Radiolarite bestehen aus Resten von Radiolarien („Strahlentierchen"). Das sind marine Einzeller, die in den oberen Wasserschichten der Meere leben. Nachdem sie absterben, sinken sie in die Tiefe und lagern sich am Meeresgrund ab. Da das Wasser in der Tiefsee durch den hohen Kohlensäuregehalt sehr aggressiv ist, lösen sich die kalkhältigen Radiolarien-Skelette auf. Aus den verbleibenden Hartteilen können Radiolarite entstehen. Bedingt durch die hohe Härte eigneten sich Radiolarite in der Steinzeit als häufig verwendete Werkzeuge.

Bei den Gesteinen der **Gosauschichten** (Abb. 12, F, G), die Zeugen der ersten Gebirgsbildungsphase sind, handelt es sich um grobe Sandsteine, Brekzien aus eckigen Gesteinstrümmern und Konglomerate aus gerundeten Gesteinen.

„Bunte Jurakalke", wie Hierlatzkalk, Liaskalk oder Vilser Kalk sind rote, grünliche oder weiße Kalksteine. Abb. 12 (H, I, J) zeigt verschiedene rote Jurakalke.

Die Gesteine der **Kössener Schichten** haben ein sehr unterschiedliches Erscheinungsbild. Manche bestehen aus dunklem Mergel, sind wenig verwitterungsbeständig und bilden die Grundlage für Bergmähder. Andere lagern Kalksteine in die tonigen Schichten ein und können dadurch Steilstufen oder Felswände formen. Wie Abb. 12 (K, L) zeigt, können Korallen oder Muscheln eingeschlossen sein.

Zu den Gesteinen der **Raibler Schichten** (Abb. 12, M, N, O) gehören Ton- und Sandsteine, Kalke, Rauhwacken, Dolomite und Gipse. Die Raibler Schichten haben die Eigenschaft, dass sie durch ihre weichen tonreichen oder gipsführenden Schichtfolgen leicht erodierbar sind. Wie die Allgäuschichten sind sie häufig Grundlage weicher Landschaftsformen (NASEMANN, 2007).

Die geologische Übersichtskarte des Einzugsgebiets Tiroler Lech (Abb. 13) wurde im Rahmen des regionalen Pilotprojekts „Lech-Außerfern" im Jahr 1996 veröffentlicht. Sie gibt Auskunft über die genaue Lage der verschiedenen Gesteinsformationen im Tiroler Lechtal.

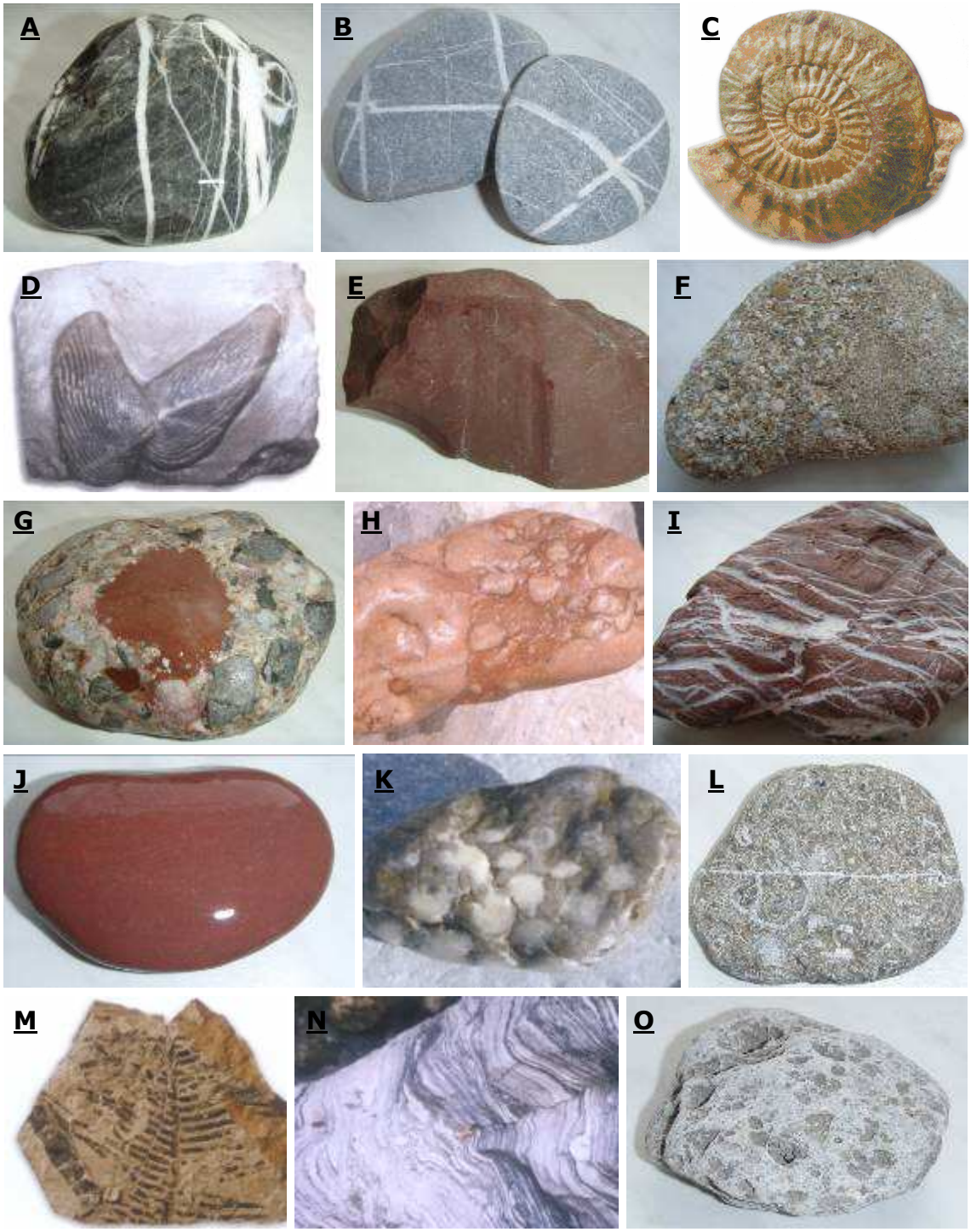


Abb. 12: Gesteine. A: Hauptdolomit (WAGNER, 2008); B: Wettersteinkalk (WAGNER, 2008); C: Ammonit der Allgäuschichten (NASEMANN, 2007); D: Gestein der Aptychenschichten (NASEMANN, 2007); E: Radiolarit (WAGNER, 2008); F: Sandstein der Gosauschichten (WAGNER, 2008); G: Brekzie der Gosauschichten (WAGNER, 2008); H: roter Jurakalk (NASEMANN, 2007); I: roter Jurakalk mit Calzidadern (WAGNER, 2008); J: gerundeter Jurakalk (WAGNER, 2008); K: Kössener Korallenkalk (NASEMANN, 2007); L: Gestein der Kössener Schichten mit fossilen Einlagerungen (WAGNER, 2008); M: Sandstein der Raibler Schichten (NASEMANN, 2007); N: Gips der Raibler Schichten (NASEMANN, 2007); O: Rauhwacke der Raibler Schichten (WAGNER, 2008)

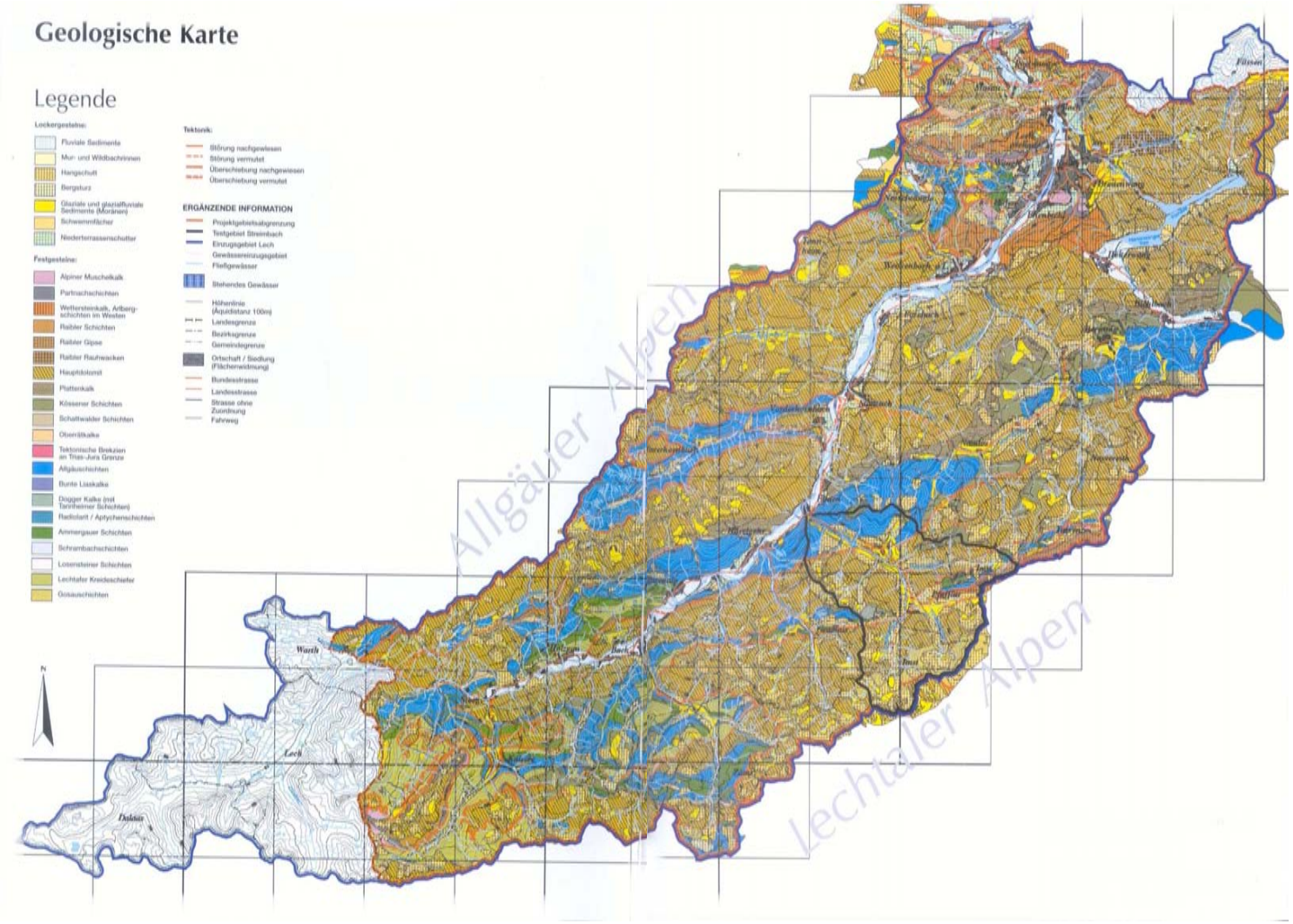


Abb. 13: Geologische Übersichtskarte des Einzugsgebiets Tiroler Lech (BMLF, 1996)

2.6 Boden und Bodenbedeckung

Im oberen und zum Teil mittleren Tiroler Lechtal wird der Lech von **Rendzinen** begleitet. Rendzinen sind Böden der Berg- und Gebirgsregionen. Sie bestehen aus flachgründigen, meist stark durchwurzelten A-Horizonten, die direkt auf C-Horizonten aufliegen. Diese Böden entwickeln sich durch Verwitterung von Kalk, Mergel und Dolomit. Aufgrund des hohen Karbonatanteils sind Rendzinen nicht sehr ertragreich und werden oft als Weidestandorte genutzt.
Weiter flussab im mittleren und unteren Tiroler Lechtal sowie im Reuttener Talkessel durchquert der Lech Augebiete mit carbonathaltigen **Auböden** unterschiedlicher Durchlässigkeit. Auböden sind Böden der Ebenen und Täler. Sie entstehen aus der Ablagerung von Schwemmmaterial. Charakteristisch für Auböden sind die ständige Beeinflussung durch das Grundwasser sowie periodische Überflutungen.
Basierend auf der Europa-Bodenkarte gibt Abb. 14 (A) einen Überblick über die im Untersuchungsgebiet anzutreffenden Böden. Der Kartierungsstand ist das Jahr 2004 (FÜRST & PETICZKA; HAÖ, 2007).

Abb. 14 (B) gibt die Bodenbedeckung im Untersuchungsgebiet wieder. Im Einzugsgebiet des Lech dominieren Nadel-, Laub- und Mischwälder, Grünland sowie vegetationsarme Flächen.
Datengrundlage ist der Datensatz CORINE Land Cover des CORINE Programms der Europäischen Union. CORINE Land Cover wurde auf Basis von Satellitenbildern (Landsat 5, TM) erstellt. Der zu Grunde liegende Datensatz ist aus dem Jahr 2000 (FÜRST; HAÖ, 2007).

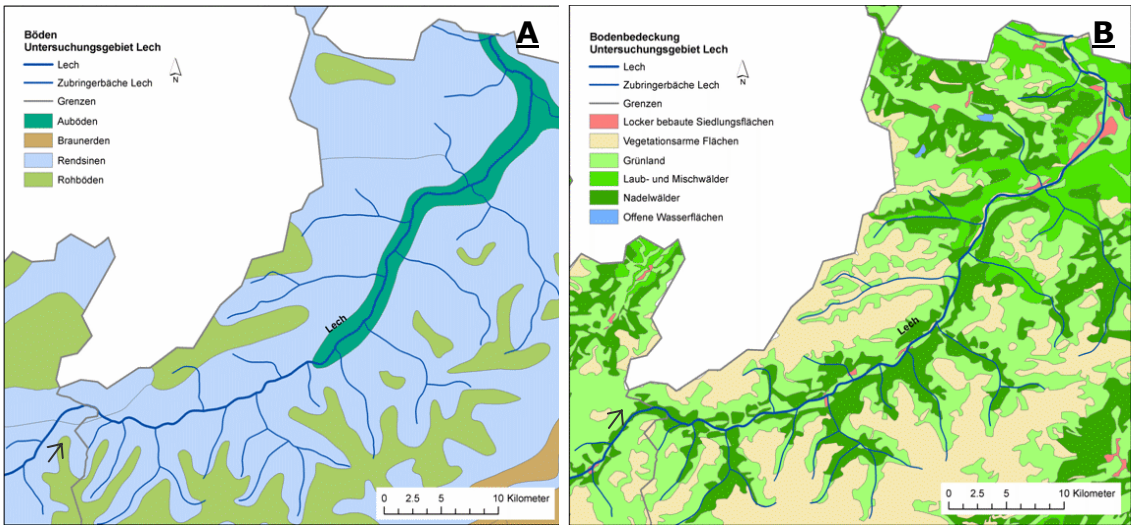


Abb. 14: A: Böden im Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST & PETICZKA; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Bodenbedeckung im Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

2.7 Flora und Fauna

Neben dem Hochwasserschutz gehört der Naturschutz zu einem der Kernpunkte des EU-LIFE Projekts *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* (Kapitel 2.10.3). Durch Erhaltung bzw. Wiederherstellung ursprünglicher Augebiete gelang es, den Lebensraum seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten zu wahren. Seit Beginn der Arbeiten sind im Naturschutzgebiet Tiroler Lech große Zuwächse in der Artenvielfalt zu verzeichnen (Abb. 15) (LAND TIROL, 2007).

Abb. 15: Augebiet bei Pflach (WAGNER, 2008)

Das natürliche Flusssystem des Lech ist durch ständig wechselnde Standortbedingungen gekennzeichnet. Hochwässer, die Augebiete überströmen, wechseln sich mit Trockenperioden ab. Mit diesen Standortfaktoren kommen nicht viele Lebewesen zurecht. Die im Einzugsgebiet des Lech beheimatete Flora und Fauna ist jedoch auf solche unsteten Standorte angewiesen. Auf den mehrmals im Jahr überschwemmten Kiesbänken siedeln sich Pionierpflanzen wie **Knorpellattich** (*Chondrilla chondrilloides*) (Abb. 16, A), **Bachsteinbrech** (*Saxifraga aizoides*) (Abb. 16, B) und **Zierliche Glockenblume** (*Campanula Cochlearii Folia*) an (Abb. 16, C) (GAMERITH, 2002).

Auf den etwas höher gelegenen Terrassen, die nur ein Mal im Jahr überschwemmt werden, sind **Weiden–Tamarisken-Gesellschaften** (*Salix sp. -Tamarix sp.*) (Abb. 16, D) zu finden. Bei seltenerer Überflutung entwickeln sich daraus **Kiefern-Weiden-Gebüsche** (*Pinus sp. - Salix sp.*) und in weiterer Folge **Schneeheide-Kiefern-Wälder** (*Erica carnea - Pinus sp.*). Oft gesellt sich auf sandigen Untergrund die **Grauerle** (*Alnus Incana*) hinzu.

Zu den Besonderheiten der Augebiete im Lechtal gehören **Wacholderbäume** (*Juniperus sp.*). In den Auwäldern bei Weißenbach gedeihen zahlreiche Orchideen, wie **Gelber Frauenschuh** (*Cypripedium calceolus*) (Abb. 16, E) und **Sumpfwurz** (*Epipactis sp.*) (GAMERITH, 2002).

Abb. 16: Vegetation im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Knorpellattich (GAMERITH, 2002); B: Bachsteinbrech (GAMERITH, 2002); C: Zierliche Glockenblume (GAMERITH, 2002); D: Tamarisken (GAMERITH, 2002); D: Gelber Frauenschuh (LAND TIROL, 2007)

Für viele alpine flussbewohnende Vögel zählt das Einzugsgebiet des Lech zum Hauptlebensraum. Im Bereich des Talbodens sind ca. 110 Brutvogelarten beheimatet. Etwa 15% der Flussuferläufer (Abb. 17, A) sowie 5-10% der Flussregenpfeifer (Abb. 17, B) und Gänsesäger (Abb. 17, C) Österreichs leben im Tiroler Lechtal. Für **Flussuferläufer**, **Flussregenpfeifer** und **Gänsesäger** stellen die Kiesbänke am Lech einerseits Brutgebiet und andererseits Ort der Nahrungssuche dar.
Ebenso finden **Bachstelzen** (Abb. 17, D), **Eisvögel** (Abb. 17, E), **Teichrallen** (Abb. 17, F), **Hausrotschwänze** (Abb. 17, G) und **Wasseramseln** (Abb. 17, H), die für ihren hohen Anspruch an Insekten-reichtum bekannt sind, optimale Bedingungen wieder.

Seit einigen Jahren ist das Außerfern auch Heimat wilder **Höckerschwäne** (Abb. 17, I) (LAND TIROL, 2007).

Abb. 17: Vögel im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Flussuferläufer (GAMERITH, 2002); B: Flussregenpfeifer (LAND TIROL, 2007); C: Gänsesäger (LAND TIROL, 2007); D: Bachstelze (LAND TIROL, 2007); E: Eisvogel (LAND TIROL, 2007); F: Teichralle (LAND TIROL, 2007); G: Hausrotschwanz (LAND TIROL, 2007); H: Wasseramsel (LAND TIROL, 2007); I: Wilde Hockerschwäne (WAGNER, 2008)

Nach der biozönotischen Gliederung gehört der Lech im Tiroler Lechtal zur Forellenregion. Diese Fischregion liegt im Oberlauf eines Fließgewässers und zeichnet sich durch sauerstoffreiche Verhältnisse mit starker Strömung aus.

Die im Rahmen des Pilotprojekts *Lech-Außerfern* 1996 (Kapitel 2.10.3) durchgeführte Befischung des Lech und seiner Seitenbäche, ergab die in Abb. 18 dargestellte Artenzusammensetzung (BMLF, 1996).

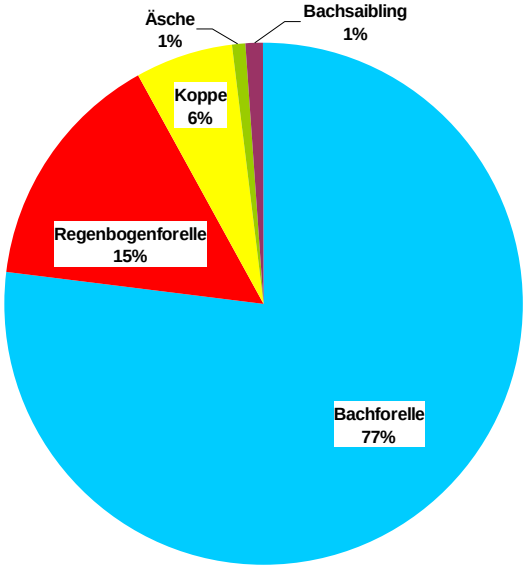


Abb. 18: Zusammensetzung Fischarten im Tiroler Lech

Der dominierende Fisch im Tiroler Lech ist die **Bachforelle** (Abb. 19, A). Ihre Hauptnahrungsquelle sind Fliegen und andere Insekten, die als Larven im Wasser leben. Sie hat eine Durchschnittsgröße von 20 - 35 cm und ein durchschnittliches Gewicht von 125 - 500 Gramm. Ihr Rücken ist dunkel olivgrün, die Seiten gelbgoldig mit schwarzen und roten Punkten und der Bauch schmutziggelb (STAUB, 2000).

Die ursprünglich aus Amerika stammende **Regenbogenforelle** (Abb. 19, B) verträgt erheblich wärmeres und sauerstoffärmeres Wasser als die Bachforelle. Daher hat sie in vielen Flüssen Österreichs die Bachforelle verdrängt. Auch im Lech findet sie gute Lebensbedingungen vor (LAND TIROL, 2007). Im Vergleich zur Bachforelle ist die Regenbogenforelle größer und schwerer. Ihr Rücken ist blau-grau, die Seiten rötlich-violett schimmernd mit schwarzen Flecken; der Bauch silbern (STAUB, 2000).

Die heimischen Fische **Koppe** (Abb. 19, C), **Äsche** (Abb. 19, D) und **Bachsaibling** (Abb. 19, E) sind anspruchsvoller. Sie ziehen sich zum Laichen in kühle Seitenbäche zurück. In der Vergangenheit war das kaum möglich, da Eintiefungen und Verbauungen im Lech und in den Zubringerbächen unüberwindbare Hindernisse darstellten. Durch Kleinmaßnahmen im Rahmen des EU-LIFE Projekts *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* (z.B. Aufstiegshilfe „Brunnwasser Häselgehr") kam es zu einer deutlichen Verbesserung der Laichsituation. Dennoch fehlen auch heute vielerorts geeignete Laichplätze (LAND TIROL, 2007).

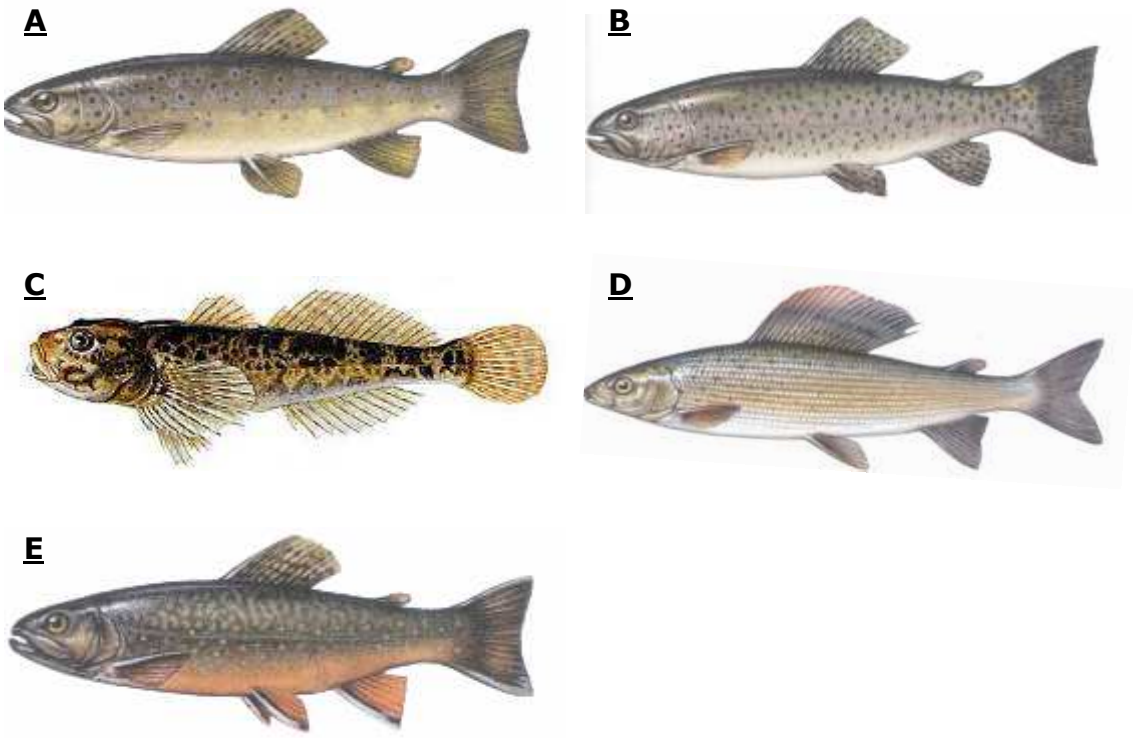


Abb. 19: Fische im Tiroler Lech. A: Bachforelle (STAUB, 2000); B: Regenbogenforelle (STAUB, 2000); C: Koppe (OEFG, 2008); D: Äsche (STAUB, 2000); E: Bachsaibling (STAUB, 2000)

Die Hauptnahrungsquelle vieler Vögel und Fische im Lechtal sind Insekten, wie Spinnen, Käfer, Würmer, Fliegen und Heuschrecken.

Die **Kiesbank-Wolfsspinne** (Abb. 20, A) lebt auf Kiesbänken. Sie hat sich an die ständig wechselnden Wasserstände angepasst, indem sie bei hoch auflaufendem Wasser ihr Erdloch verschließt und in einer Luftblase ausharrt bis das Wasser zurückgegangen ist (LAND TIROL, 2007).

Auch der **Sandlaufkäfer** (Abb. 20, B), der bevorzugt sandige und sonnige Flächen bewohnt, findet auf den Kiesbänken des Lech optimale Lebensbedingungen wieder.

Eine besonders auffällige Heuschreckenart ist die **Gefleckte Schnarrschrecke** (Abb. 20, C, D), die sich bei Gefahr und bei der Partnersuche durch lautes Schnarren und leuchtend rote Hinterflügel bemerkbar macht (GAMERITH, 2002).

Die **Gestreifte Quelljungfer** (Abb. 20, E) gehört mit einer Flügelspannweite von 10 cm zu den größten heimischen Insekten. Da ihr natürlicher Lebensraum, die Augebiete, in der Vergangenheit stark eingeschränkt wurde, ist die Population an Gestreiften Quelljungfern drastisch zurückgegangen. Durch Renaturierung ehemaliger Augebiete im Rahmen des EU-LIFE Projekts *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* konnte ihr natürlicher Lebensraum wieder hergestellt werden. Nicht ohne

Grund findet sich die Gestreifte Quelljungfer im Logo des EU-LIFE Projekts wieder (Abb. 20, F) (LAND TIROL, 2007).

Abb. 20: Insekten im Einzugsgebiet des Tiroler Lech. A: Kiesbank-Wolfsspinne (NABU-ERFTKREIS, 2008); B: Sandlaufkäfer (GAMERITH, 2002); C, D: Gefleckte Schnarr-schrecke (GAMERITH, 2002); E: Gestreifte Quelljungfer (LAND TIROL, 2007); F: Logo EU-LIFE Projekt *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* (LAND TIROL, 2007)

2.8 Klima

Das Tiroler Lechtal liegt im feucht-kühlen Klimagebiet des nordwestlichen Alpenrandes. Bedingt durch die geographischen Lage können Wetterfronten und Wind leichter als in inneralpinen Tälern durchgreifen. Die Niederschläge sind hoch, aber gegenüber den Staulagen des nicht weit entfernten Bregenzerwaldes bereits etwas reduziert (ZAMG, 2008).

Die im Untersuchungsgebiet liegenden Niederschlags-Messstellen Holzgau (Nr. 101154) und Reutte (Nr. 101238) zeichnen eine durchschnittliche Jahresniederschlagssumme von 1078 mm und 1198 mm auf. Die Monatssummen des Niederschlags für die Beobachtungsreihe 1895 - 2003 können Abb. 21 entnommen werden.

Das durchschnittliche Jahresmittel der Lufttemperatur liegt bei 6.2 °C (Messstelle Holzgau) bzw. 7.2 °C (Messstelle Reutte). Abb. 22 gibt einen Überblick über Monatsmittel der Lufttemperatur an beiden Messstellen (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO DES BMLFUW, 2003).

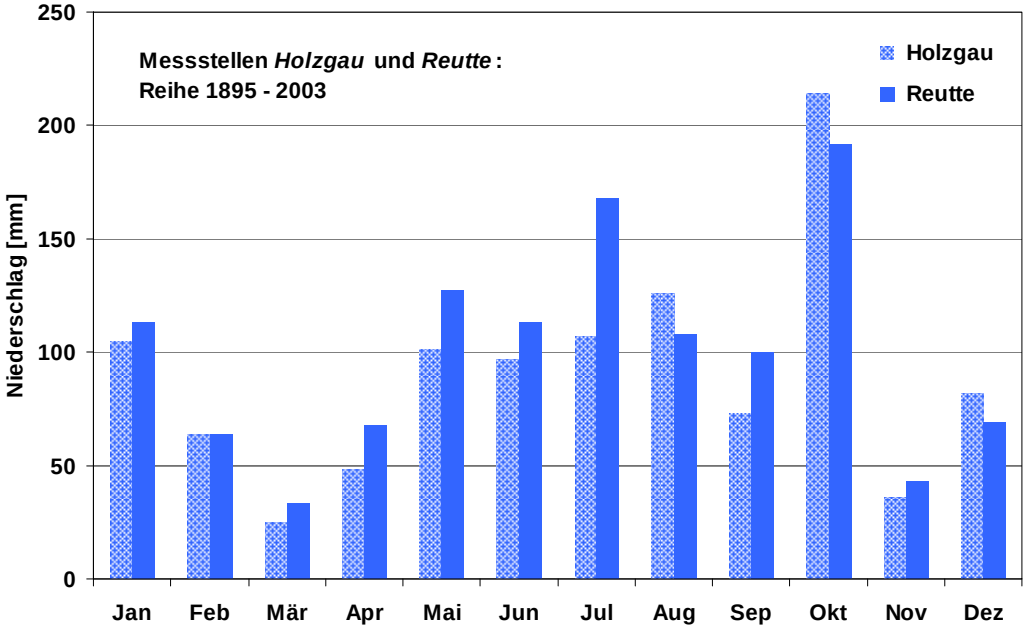


Abb. 21: Durchschnittliche Monatssummen des Niederschlags an den Messstellen Holzgau und Reutte; Beobachtungsreihe 1895 - 2003 (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO DES BMLFUW, 2003)

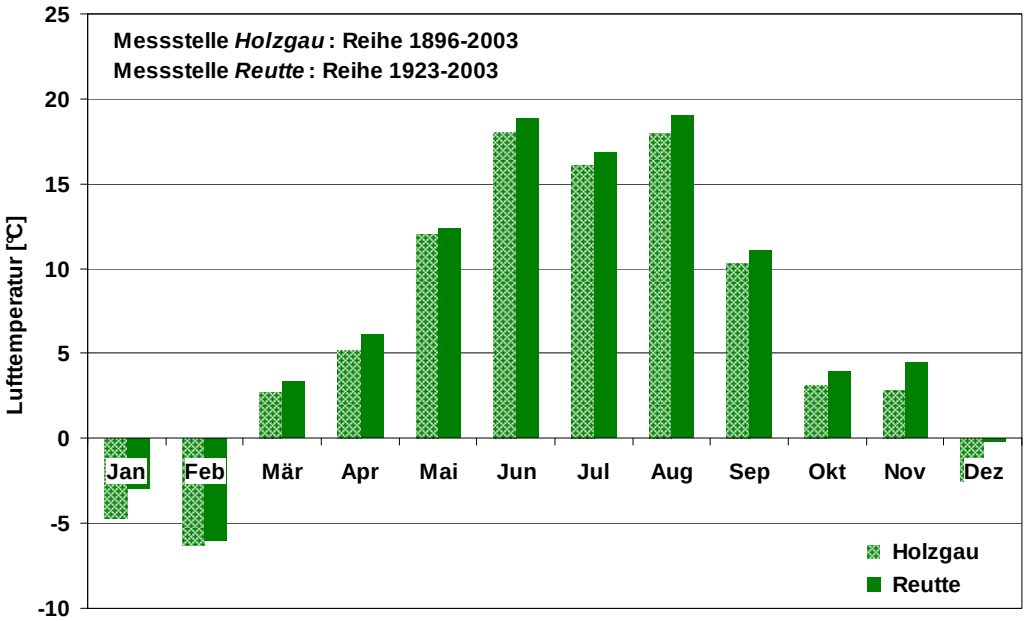


Abb. 22: Durchschnittliche Monatsmittel der Lufttemperatur an den Messstellen Holzgau und Reutte; Beobachtungsreihe 1896/1923 - 2003 (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO DES BMLFUW, 2003)

2.9 Abflussregime

Das Abflussregime wird definiert als der charakteristische Jahresgang des Abflusses eines Fließgewässers und ist durch standorttypische, maßgebliche Regimefaktoren geprägt. Dazu gehören klimatologische, geologische, geomorphologische, vegetative und anthropogene Gegebenheiten eines Einzugsgebietes.

Das natürliche Wasserdargebot im gegenständlichen Einzugsgebiet ist durch hohe Abflüsse im Mai und Juni sowie geringe Abflüsse in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) gekennzeichnet. Da der Lech überwiegend nival gespeist wird, ist die Periode der Schneeschmelze das bedeutende hydrologische Ereignis im Jahresgang. Nach PARDÉ (1947) ist das Abflussregime des Lech als **gemäßigt nival** einzustufen, das im Abflussgang eine Monatsrangfolge *Juni/Mai > Jul > April/Aug* aufweist (JUNGWIRTH et al., 2003).
MADER et al. (1996) stuft in der Publikation *Abflussregime österreichischer Fließgewässer*, basierend auf den von GRIMM (1968) untersuchten Schwankungskoeffizienten SK_{max} und SK_{Jahr}, den Charakter im Jahresgang als **ausgeprägt** ein. Einen Überblick verschafft Tab. 1.

Tab. 1: Hydrologisch-hydrographische Typisierung der Pegel Steeg und Lechaschau auf Basis der Hydrographischen Jahrbücher 1982, 1985 und 1990 (MADER et al., 1996)

Pegel	Hydrographisches Jahrbuch 1982				Hydrographisches Jahrbuch 1985				Hydrographisches Jahrbuch 1990			
	Regime	SK_m	SK_{Jahr}	Charakter	Regime	SK_m	SK_{Jahr}	Charakter	Regime	SK_m	SK_{Jahr}	Charakter
Steeg	gemäßigt nival	2.40	10.40	ausgeprägt	gemäßigt nival	2.33	10.10	ausgeprägt	gemäßigt nival	2.40	10.30	ausgeprägt
Lechaschau	gemäßigt nival	2.10	6.40	ausgeprägt	gemäßigt nival	2.08	6.20	ausgeprägt	gemäßigt nival	2.10	6.30	ausgeprägt

Im Einzugsgebiet liegen die Messstellen Tannbergbrücke, Steeg, Grießau, Unterhöf und Lechaschau. Sämtliche Informationen zu den Messstellen können Tab. 2 entnommen werden. Messstellen an Zubringerbächen, die innerhalb des Einzugsgebietes liegen wurden nicht aufgelistet.

Tab. 2: Messstellen im Einzugsgebiet (FÜRST; HAÖ, 2007)

Bundesland	Messstelle	HZBNR	Pegeltyp	Abflussermittlung	Sonstige Messungen
Vorarlberg	Tannbergbrücke	200378	Schreibpegel	Pegelschlüssel	Wasserstand, Temperatur
Tirol	Steeg	201012	Schreibpegel	Pegelschlüssel	Wasserstand, Temperatur
Tirol	Grießau	201038	Lattenpegel	keine Abflussbeobachtung	Wasserstand
Tirol	Unterhöf	201046	Lattenpegel	keine Abflussbeobachtung	Wasserstand
Tirol	Lechaschau	201087	Schreibpegel	Pegelschlüssel	Wasserstand, Temperatur

2.9.1 Niederwasserabfluss

Niederwasserabfluss NQ ist jener Abfluss, der das größte Jahresniederwasser unterschreitet.

Sommerliche Abflussminima gibt es hauptsächlich aufgrund der temperatur- und vegetationsbedingt hohen Verdunstung. Im Winter sind Abflussminima das Ergebnis der Retention durch Gletscher, Schneedecke und gefrorenen Untergrund (NACHTNEBEL, 2003).

In Abb. 23 und Abb. 24 sind die mittleren Monatsmittel für Niederwasser an den Pegeln Steeg und Lechaschau dargestellt.
Basierend auf der Auswertung des Projektes HORA, welches vom BMLFUW in Auftrag gegeben wurde, konnte der mittlere Erwartungswert für Niederwasser am Pegel Steeg mit 2.2 $m^3 s^{-1}$ sowie am Pegel Lechaschau mit 7.3 $m^3 s^{-1}$ abgeschätzt werden (Tab. 3).

Tab. 3: Hydrologische Kennwerte für Niederwasser (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008)

Pegel *Steeg*	bei Fkm 226.359
natürliches Einzugsgebiet	247.9 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1951-2005
Erwartungswert NW	2.2 m³/s

Pegel *Lechaschau*	bei Fkm 178.288
natürliches Einzugsgebiet	1012.2 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1971-2005
Erwartungswert NW	7.3 m³/s

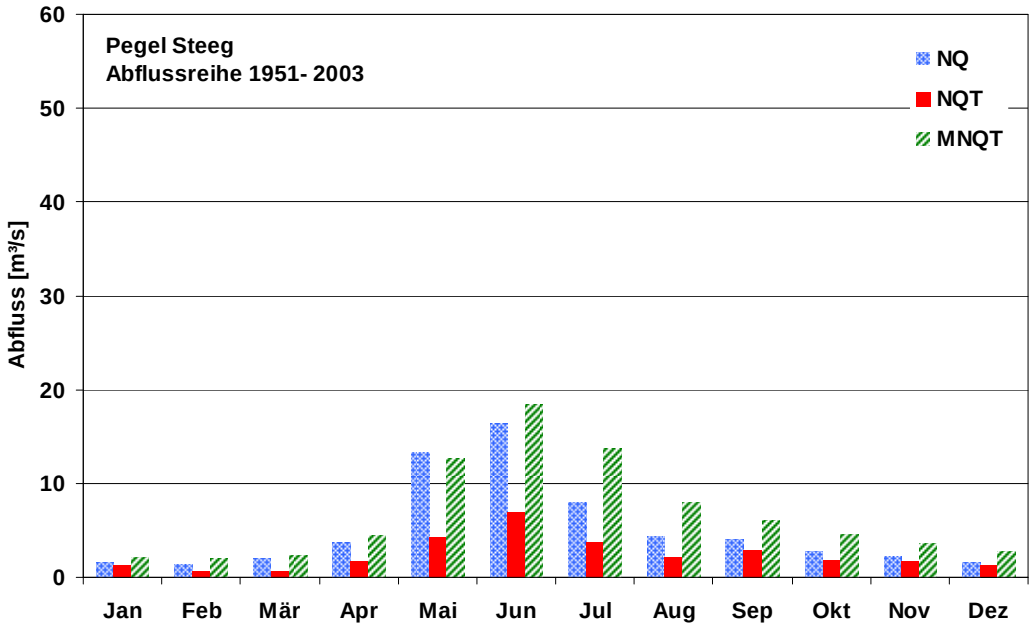


Abb. 23: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für NW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

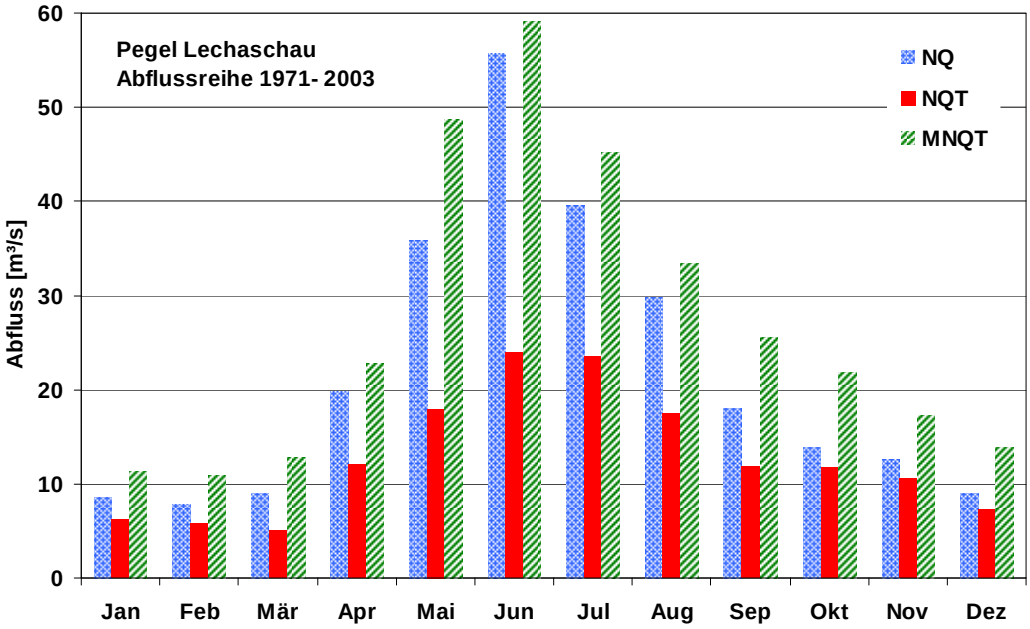


Abb. 24: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für NW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

2.9.2 Mittelwasserabfluss

Mittelwasserabfluss MQ ist das arithmetische Mittel aller Tagesmittel des Abflusses innerhalb eines anzugebenden längeren Zeitabschnittes (NACHTNEBEL, 2003).

Abb. 25 und Abb. 26 stellen die mittleren Monatsmittel für Mittelwasser der Pegel Steeg und Lechaschau dar.
Der Mittelwasserabfluss am Pegel Steeg bzw. Lechaschau beträgt 14 $m^3 s^{-1}$ bzw. 45 $m^3 s^{-1}$ (Tab. 4).

Tab. 4: Hydrologische Kennwerte für Mittelwasser (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008)

Pegel *Steeg*	bei Fkm 226.359
natürliches Einzugsgebiet	247.9 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1951-2005
Erwartungswert MW	14 m³/s

Pegel *Lechaschau*	bei Fkm 178.288
natürliches Einzugsgebiet	1012.2 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1971-2005
Erwartungswert MW	45 m³/s

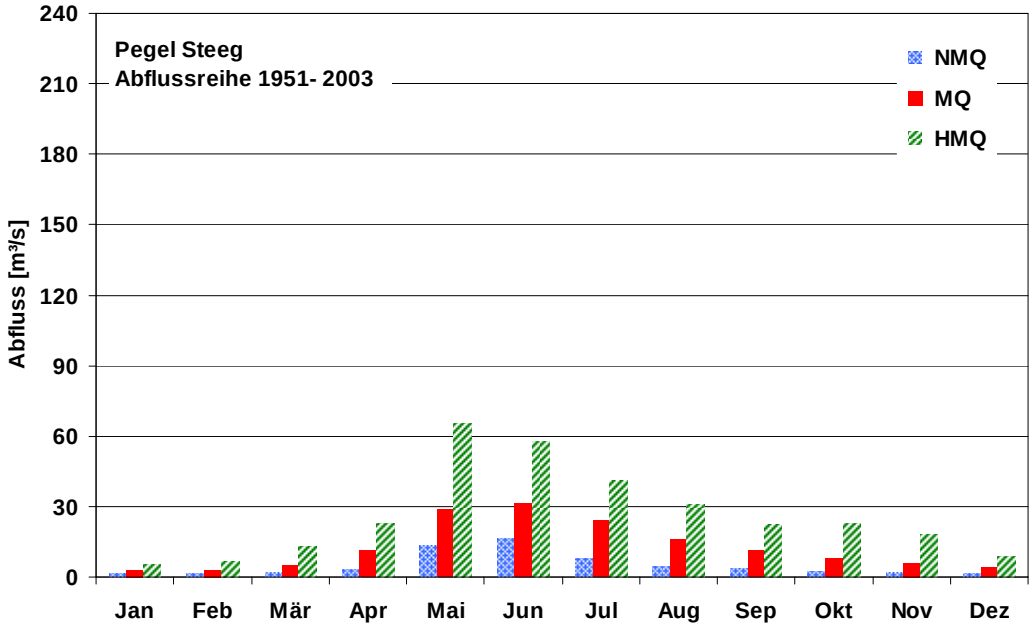


Abb. 25: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für MW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

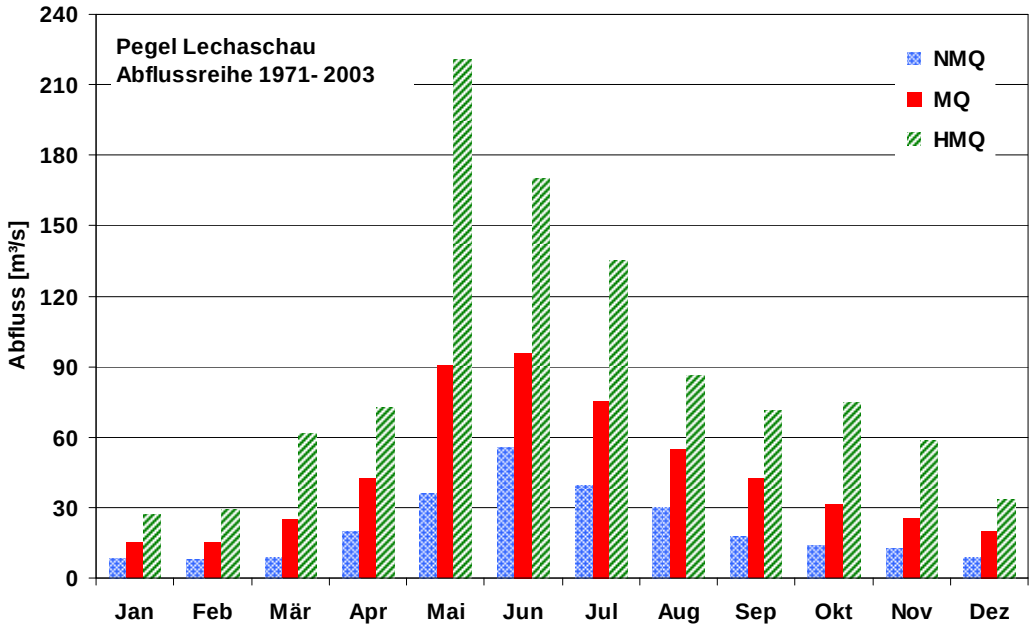


Abb. 26: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für MW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

2.9.3 Hochwasserabfluss

Hochwasserabfluss HQ ist der größte Abfluss innerhalb eines betrachteten Zeitabschnittes.

Im gegenständlichen Einzugsgebiet kommt es oft im Spätwinter und Frühjahr zu Abflussspitzen. Die Ursache dafür liegt in intensiven und lang anhaltenden Niederschlagsperioden, die zu einer vollständigen Sättigung des Bodens führen. Folglich ist der im Lech abfließende effektive Niederschlag sehr hoch. Hinzu kommen Schmelzwassermengen, die den Wasserspiegel stark ansteigen lassen (NACHTNEBEL, 2003). Im Sommer können Hochwässer durch Gewitterereignisse in Kombination mit längeren Niederschlagsperioden hervorgerufen werden. Häufig lösen kurze und intensive Gewitter Hochwasserwellen aus. Im Gegensatz zu Hochwasserabflüssen im Frühjahr klingen diese nach Beruhigung der Wettersituation wieder rasch ab (MEIER, 2000).

Das mittlere Jahreshochwasser MJHQ am Pegel Steeg (Reihe 1951 – 2003) bzw. Pegel Lechaschau (Reihe 1971-2003) beträgt 105.0 $m^3 s^{-1}$ bzw. 355.0 $m^3 s^{-1}$.
Abb. 27 und Abb. 28 zeigen die mittleren Monatsmittel für Hochwasser an den Pegeln Steeg und Lechaschau.

Als charakteristische Hochwasserkennwerte an den Pegeln Steeg und Lechaschau werden die in Tab. 5 dargestellten Erwartungswerte für HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_2, HQ_5, HQ_{30} und HQ_{100} vom Hydrographischen Dienst angegeben.
In Abb. 29 wird das Verhältnis von Jährlichkeit zu Abflusswert an den Pegeln Steeg und Lechaschau gegenübergestellt.

Tab. 5: Hydrologische Kennwerte der Erwartungswerte für HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_2, HQ_5, HQ_{30} und HQ_{100} (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008)

Pegel *Steeg*	bei Fkm 226.359
natürliches Einzugsgebiet	247.9 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1951-2005
Erwartungswert HQ_1	86 m³/s
Erwartungswert $HQ_{1,5}$	102 m³/s
Erwartungswert HQ_2	114 m³/s
Erwartungswert HQ_5	151 m³/s
Erwartungswert HQ_{30}	225 m³/s
Erwartungswert HQ_{100}	307 m³/s

Pegel *Lechaschau*	bei Fkm 178.288
natürliches Einzugsgebiet	1012.2 km²
Datenbasis	HORA Pegelauswertung
Abflussreihe (Serie der Jahreshöchstwerte)	1971-2005
Erwartungswert HQ_1	299 m³/s
Erwartungswert $HQ_{1,5}$	356 m³/s
Erwartungswert HQ_2	394 m³/s
Erwartungswert HQ_5	515 m³/s
Erwartungswert HQ_{30}	570 m³/s
Erwartungswert HQ_{100}	762 m³/s

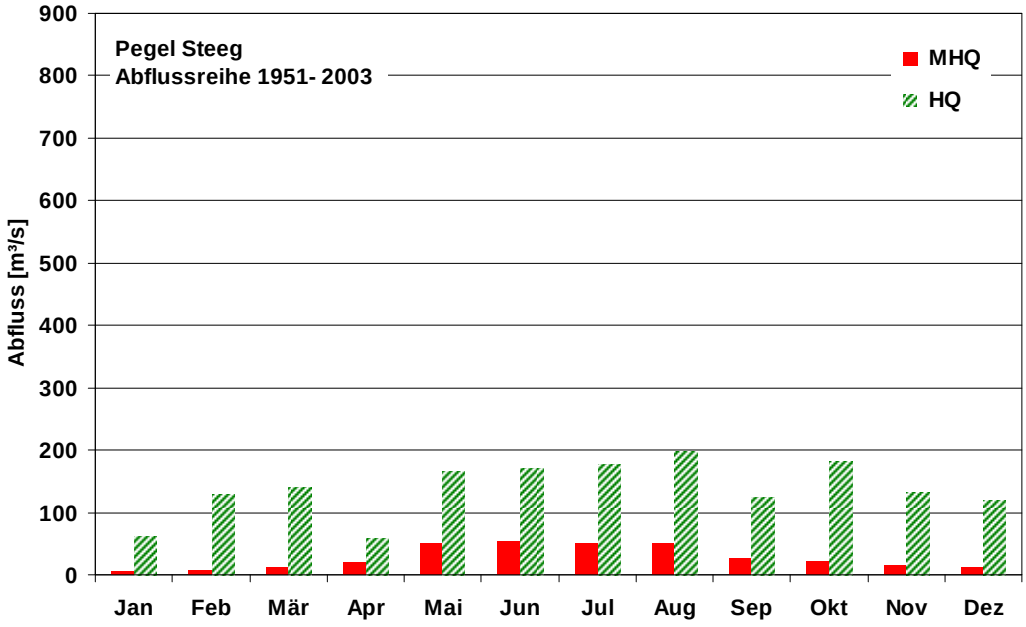


Abb. 27: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1951 - 2003 für HW am Pegel Steeg (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

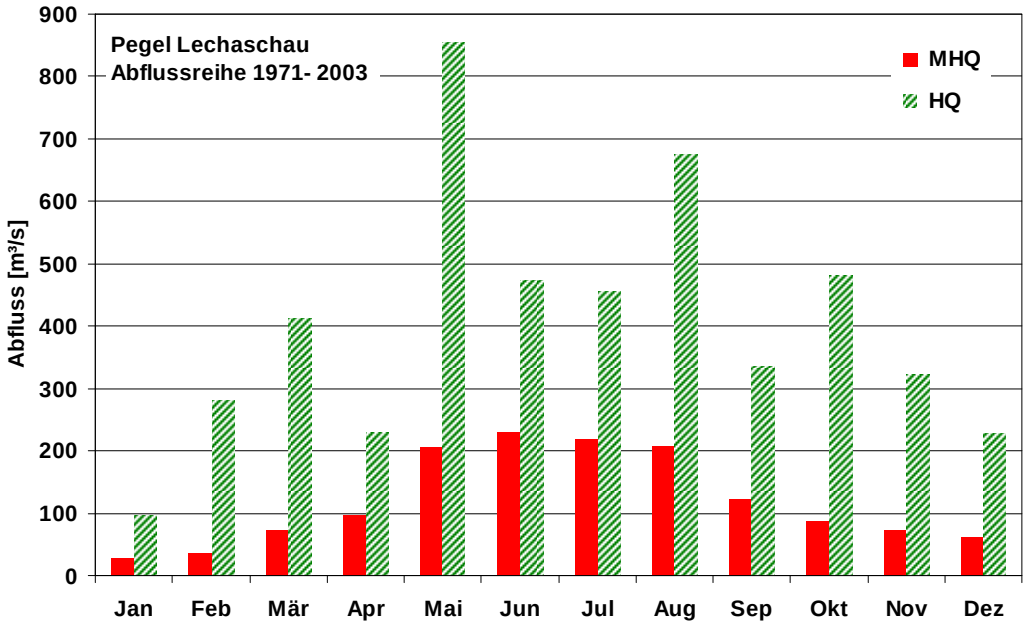


Abb. 28: Mittleres Monatsmittel der Abflussreihe 1971 - 2003 für HW am Pegel Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003)

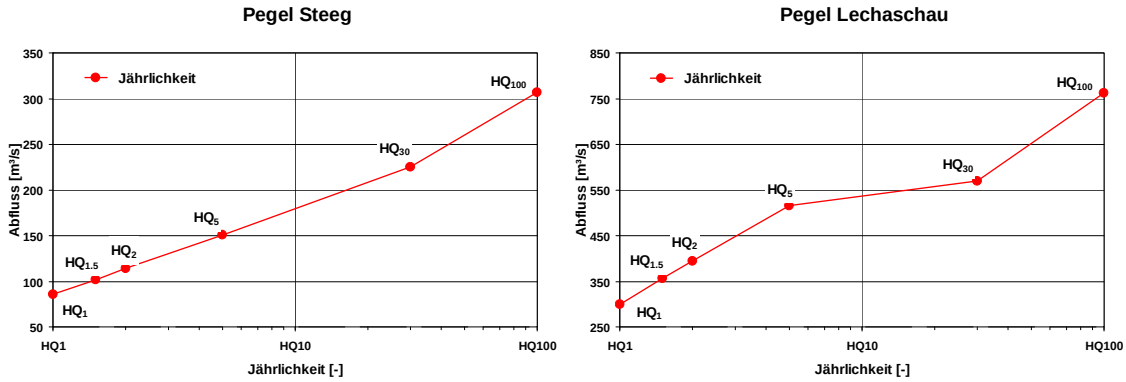


Abb. 29: Jährlichkeiten Pegel Steeg und Lechaschau (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008)

2.10 Flussgeschichte

2.10.1 Historische Hochwasserereignisse

Die Lechtaler Bevölkerung hat in der Vergangenheit bereits einige Hochwässer erlebt. Historische Hochwasserereignisse gab es in den Jahren 1901, 1910 und 1912.
Die großen Hochwasserereignisse der letzten Jahre 1999, 2002 und 2005 traten innerhalb von 6 Jahren auf und hatten verheerende Auswirkungen zur Folge (MEIER, 2000).

2.10.2 Hochwasser 2005

Die im Zuge der vorliegenden Arbeit durchgeführten Analysen basieren auf dem Hochwasserereignis aus dem Jahr 2005.

2.10.2.1 Ereignisablauf

Das Hochwasserereignis am Lech von 22. - 23. August 2005 wurde durch lang anhaltende und intensive Niederschläge im Außerfern hervorgerufen. In der Nacht zum 22. August setzten starke Regenfälle ein, die am Nachmittag eine Niederschlagstagessumme von 14 mm/h erreichten. Der Niederschlag hielt mit ähnlicher Intensität bis in die späten Abendstunden an. Auch am 23. August regnete es noch, jedoch mit geringerer Intensität. Das Maximum lag bei 8 mm/h. Um die Mittagszeit klangen die Niederschläge ab (Abb. 30, A).
Da der Boden bereits durch Regenfälle vor den Niederschlagsereignissen vom 22. und 23. August wassergesättigt war, stiegen die Wasserstände rasch an und es kam zu einer extremen und großflächigen Hochwassersituation (BMLFUW, 2006).

Die am Tiroler Lech aufgetretenen Hochwasserabflüsse waren die Größten seit Beginn der Aufzeichnungen. Die Abflussscheitelwerte wurden am 22. August

erreicht. Sie lagen deutlich über den bisherigen Höchstwerten aus dem Jahr 2002 (Abb. 30, B).

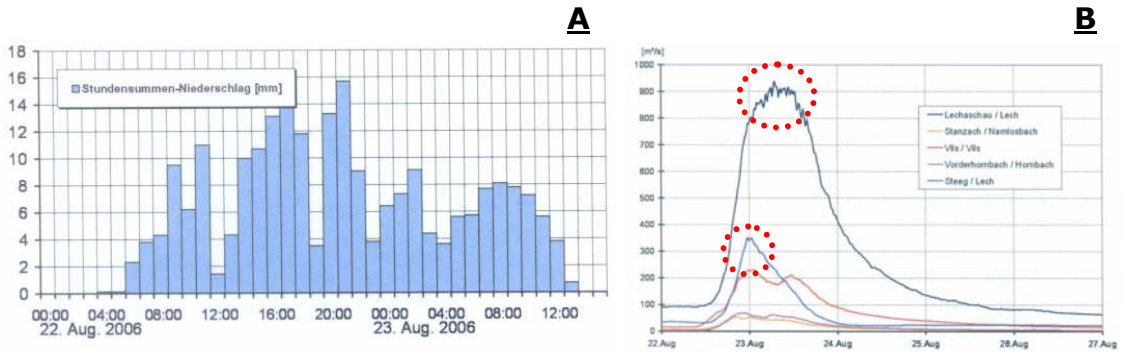


Abb. 30: A: Niederschlagsverlauf vom 22. und 23. August 2005 an der Messstation Reutte (BMLFUW, 2006); B: Ganglinie vom Hochwasser 2005 an verschiedenen Pegeln im Außerfern (BMLFUW, 2006)

Aufgrund der am Pegel Steeg registrierten Abflüsse wurde das Hochwasser 2005 in diesem Bereich als 5000-jährliches Ereignis eingestuft. Im Bereich des Pegels Lechaschau lag ein 500-jährliches Hochwasserereignis vor (Abb. 31, Tab. 6) (BMLFUW, 2006).

Tab. 6: Hochwasserabflüsse im August 2005 (BMLFUW, 2006)

Hochwasserabflüsse August 2005				
Pegel	HZBNR	HQ_{max} [m³/s]	Zeitpunkt	Einstufung Jährlichkeit
Tannbergbrücke	200378	-	-	-
Steeg	201012	361	22.8.2008, 23:30	> HQ 5000
Grießau	201038	-	-	-
Unterhöf	201046	-	-	-
Lechaschau	201087	943	23.8.2008, 07:00	>> HQ 500

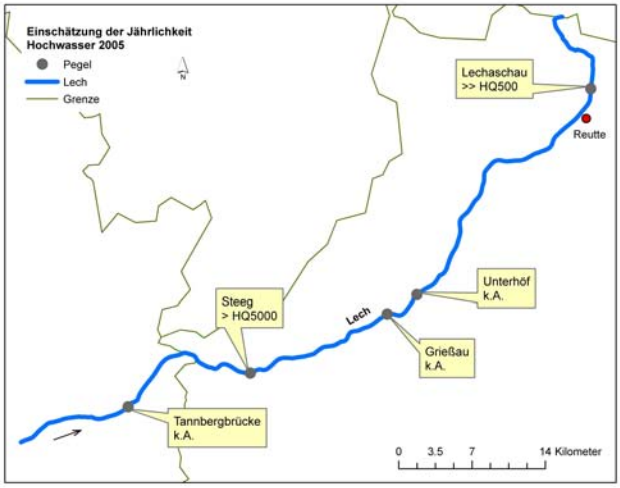


Abb. 31: Jährlichkeit (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

2.10.2.2 Schäden

Das Hochwasser 2005 hatte im Untersuchungsgebiet verheerende Folgen als Auswirkung. Bei Prenten gab es großflächige Überflutungen landwirtschaftlicher Flächen. Weiters uferte der Lech von Steeg bis Holzgau an mehreren Stellen aus, wobei in erster Linie landwirtschaftliche Flächen aber auch Gebäude und die Landesstraße betroffen waren. In Elbigenalp wurden einige Gebäude sowie die Bundesstraße B198 überflutet. Zwischen Häselgehr und Elmen uferte der Lech beidseitig großflächig aus (BMLFUW, 2006).

Ähnlich wie bei vorhergehenden Hochwasserereignissen waren die Gemeinden Lechaschau, Reutte und Pflach am stärksten vom Hochwasser betroffen. Kurz nach der Lechaschauer Brücke (Abb. 32) trat das Wasser über die Ufer und überflutete das komplette Ortsgebiet Unterlüss. Einige Gebäude wurden durch die Wassermassen schwer beschädigt. In etlichen Häusern setzte Grundwasser die Keller unter Wasser (FEUERWEHR REUTTE, 2008).

Abb. 32: A: Blick flussab von der Lechaschauer Brücke im November 2008 (WAGNER, 2008); B: Blick flussab von der Lechaschauer Brücke im August 2005 (Hochwasserereignis 22. – 23. 8. 2005) (LAND TIROL, 2007)

In der Gemeinde Pflach wurde das Gewerbegebiet Pflach nach einem Dammbruch meterhoch überflutet. Zahlreiche Gebäude und Infrastruktureinrichtungen, wie der örtliche Kindergarten und die Volksschule wurden durch die Wassermassen stark beschädigt (Abb. 33) (FEUERWEHR REUTTE, 2008).

Abb. 33: A: Kindergarten und Volksschule in Pflach im November 2008 (WAGNER, 2008); B: Kindergarten und Volksschule in Pflach im August 2005 (Hochwasserereignis 22. – 23. 8. 2005) (LAND TIROL, 2007)

Durch das Hochwasser wurden große Mengen an Feststoffen einerseits von Zubringerbächen, andererseits durch Erosion im Fluss transportiert. Diese lagerten sich auf überfluteten Wiesen und Feldern in Form von Feinmaterial ab. Besonders großen Schaden richteten die mobilisierten Feststoffe in Gebäuden an.
Im Fluss selbst entstanden durch das Hochwasser beträchtliche fluss-morphologische Veränderungen (BMLFUW, 2006).

Die im Rahmen des EU-LIFE Projekts *Wildflusslandschaft Tiroler Lech* zum Zeitpunkt des Hochwassers bereits fertig gestellte Flussaufweitung an der Johannesbrücke hat sich bewährt. Im Aufweitungsbereich konnte die Abflussspitze gedämpft und das Hochwasser schadlos abgeführt werden (KOCH, 2008). Durch die weiträumigen Umlagerungsstrecken und Retentionsräume konnten Feststoffe und Totholz abgelagert werden. Dadurch blieb die an der Johannesbrücke liegende Gemeinde Weißenbach, von Überflutungen verschont.

Die Flussaufweitung bei Martinau war zum Zeitpunkt des Hochwassers noch in Bau. Durch das Hochwasser wurde deutlich, dass im Bereich der geplanten Fluss-aufweitung das Potential zu geomorphologischer Aktivität sehr hoch war; es bildete sich eine ca. 500 m lange Seitenerosion (KOCH, 2008).

Insgesamt verursachte das Hochwasser 2005 tirolweit Schäden in einer Höhe von ca. 264 Mio. €. Im Verantwortungsbereich der Gemeinden betrugen die Schäden ca. 30.3 Mio. €, die flussbaulichen Schäden im Verantwortungsbereich der Bundes-wasserbauverwaltung beliefen sich auf ca. 29.0 Mio. € und die Schäden im Verantwortungsbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung betrugen ca. 4.3 Mio. € (BMLFUW, 2006).

2.10.3 Projekte

Über Jahrhunderte wurden die Lechufer mit Bauernarchen, Bruchsteinen und Holzwerkrahmen gesichert. Mit dem Tiroler Wassergesetz von 1870 wurde erstmals eine, über die Gemeindegrenzen hinaus projektbasierte Lechverbauung durchgeführt. Ab 1872 wurden von Elmen bis zur Staatsgrenze verschiedene Verbauungsprojekte, die in erster Linie eine Begradigung und Eintiefung des Flusses vorsahen, umgesetzt. In vielen Fällen war die Verbauung unzureichend und wurde vom nächsten Hochwasser zerstört.

Daher wurde im Jahr 1905 das **Generalprojekt der Lechregulierung** beantragt. Ziel war es den Lech bis zur Landesgrenze systematisch zu verbauen. Ab 1925 kamen die Verbauungsmaßnahmen ins Rollen. So entstanden in den Jahren 1928 bis 1933 Betontraversen in Reutte, Oberpinswang und Musau (Abb. 34) (NASEMANN, 2007).

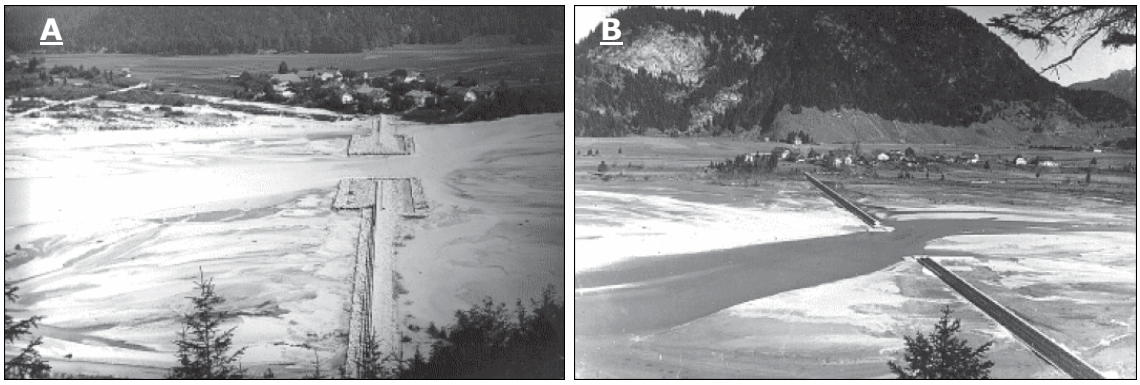


Abb. 34: Betontraversen; erbaut im Zuge des Generalprojekts der Lechregulierung 1905 (BAUBEZIRKSAMT REUTTE, 2008)

Weitere Kleinprojekte, wie die Errichtung des linksufrigen Leitwerks in Lechaschau sowie die Sanierungen und Erweiterungen von bestehenden Schutzbauten folgten.

Während dem 2. Weltkrieg wurden hauptsächlich Sanierungen, jedoch kaum Bauvorhaben durchgeführt (MEIER, 2000).

In der Nachkriegszeit wurden an vielen Stellen starke Flusseintiefungen festgestellt. Um den Geschiebehaushalt im Flussbett zu verbessern, sah das Projekt aus dem Jahr 1978 den Bau von 20 Sohlrampen vor. Nach dem Vorbild anderer alpiner Flüsse stand auch am Lech eine Kanalisierung des Flusses zur Diskussion. Schließlich wurde nur eine Sohlrampe, ca. 350 m flussab der Ulrichsbrücke errichtet. Zu hohen Kosten und eine beginnende Diskussion über die Bedeutung der Wildflusslandschaft verhinderten die Durchführung des Projekts. Am Lech wurde eine neue Epoche im Wasserbau eingeleitet.

Als um 1980 das Elektrizitätswerk Reutte den Bau von Wasserkraftwerken in den Seitentälern des Lech in Erwägung zog, wurde der Arbeitskreis **Lebensraum Lechtal** gegründet. Engagierte Bürger setzten sich mit der Thematik Wasserkraft und ihre Auswirkung auf das Einzugsgebiet des Tiroler Lech auseinander. Die Bedeutung des Lech als Lebensraum wurde neu entdeckt (NASEMANN, 2007).

Es folgte ein **regionales Pilotprojekt** zur Erhaltung, Pflege und Entwicklung des Kulturlandschaftsraums Lech-Außerfern. In den Jahren zwischen 1987 und 1996 wurden interdisziplinäre Grundlagen in Form von Karten, Plänen und Übersichtstabellen erstellt. Ziel war es, eine ökologisch-ökonomische Grundlage für künftige Projekte zu schaffen (BMLF, 1996).

Ein Jahr nach Fertigstellung des Pilotprojekts wurden 41.4 km² des Tiroler Lechtals durch die Tiroler Landesregierung zum **Natura 2000-Gebiet** erklärt (NASEMANN, 2007). Somit stellt das Tiroler Lechtal das viertgrößte der dreizehn, seit 1995 in Tirol gemeldeten Natura 2000–Gebiete dar.

Mit der Aufnahme zu den Natura 2000-Gebieten wurde die Basis für das **EU-LIFE Projekt Wildflusslandschaft Tiroler Lech** gelegt, welches im Juli 2001 durch die Europäische Union genehmigt, sowie mit einer Förderung im Ausmaß von 50% bei Gesamtkosten in Höhe von 7.82 Millionen Euro unterstützt wurde. Die zweite Hälfte der Kosten teilten sich die Projektpartner BMLFUW, LAND TIROL, WLV sowie der WWF ÖSTERREICH.

Im Rahmen des Projekts wurden bis zum Jahr 2006 in ca. 53 Einzelprojekten (Abb. 35) umfassende flussbauliche und ökologisch wirksame Maßnahmen realisiert. Neben den primären Zielen der Bewahrung und Schaffung von natürlichen Lebensräumen sowie der Erhaltung und Förderung der heimischen Tier- und Pflanzenarten, führten begleitende Maßnahmen zu einer verstärkten Sensibilisierung der Bevölkerung (SCHÖNHERR, 2005).

Abb. 35: „Naturbaustelle Lange Au"; EU-LIFE Projekt (LAND TIROL, 2007)

Mit dem grenzüberschreitenden **Schwerpunktprojekt Alpine Fließgewässer – Beispiel Lech**, das durch das EU-Interregg III B – Alpine Space Programme finanzielle Unterstützung fand, wurde ein weiteres Projekt am Lech durchgeführt.
Ziel war es, eine grenzüberschreitende Vernetzung von Schutzgebieten und Lebensräumen mit aktiver Einbeziehung der dort lebenden Bevölkerung

herzustellen. Veranstaltungen wie „Lechfloß 2005" zielten darauf ab den verbindenden Charakter des Lech zu betonen, das Wissen und Verständnis für die Landschaft zu erweitern, um damit den Naturschutz am Lech zu fördern. Das Projekt wurde in den Jahren 2003 bis 2005 erarbeitet (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2006).

3 Grundlagen

3.1 Morphologische Charakteristik von Fließgewässern

3.1.1 Begriffsbestimmungen

Die *Morphologie* ist die Lehre von der Gestalt. Den Begriff *Geomorphologie* definiert BRIEM (2002), als die Lehre von der Entstehung und Entwicklung der Erdoberflächenformen.
Die *Flussmorphologie* ist ein Teilgebiet der Geomorphologie, deren gestaltende Kraft das fließende Wasser ist. Sie umfasst sowohl kleinräumige Veränderungen im Bereich der Sohlstrukturen als auch großräumige Veränderungen der Gewässerformen.
Die *Morphodynamik* ist die Lehre von den formgestaltenden Bewegungen. In Bezug auf ein Fließgewässer werden raum-zeitliche Veränderungen der Flussformen beschrieben (BRIEM, 2002).

3.1.2 Morphologische Rahmenbedingungen für Fließgewässerformen

Die Form und Struktur eines Fließgewässers unterliegt verschiedenen naturräumlichen Grundlagen. Nach MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980) zählen dazu Tektonik, Gestein (Geologie), Klima und Vegetation. Auf Basis dieser Grundlagen ergeben sich Feststofftransport und Abfluss. Durch diese Größen entwickelt sich die Flussgestalt (Gerinnegeometrie), die anhand des Längenschnitts, Grundrisses und der Querschnitte beschrieben werden kann (Abb. 36).

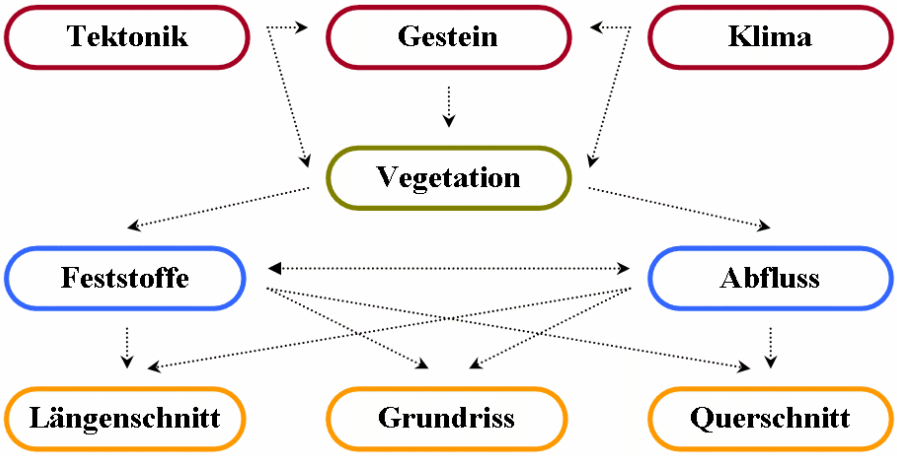


Abb. 36: Entwicklung der Flussgestalt nach MANGELSDORF & SCHEUERMANN (1980)

Auch LANE (1995) beschäftigte sich mit morphologischen Rahmenbedingungen, die die Form eines Fließgewässers bestimmen. Er untersuchte die Wechselwirkung zwischen Gerinneform, Bettstruktur und Geschiebetransport. Dabei entwickelte er das in Abb. 37 dargestellte Zyklusdiagramm. Es beschreibt morphodynamische Zusammenhänge im Fließgewässer, die durch das Wechselspiel von Erosion, Transport und Sedimentation geprägt sind und zeigt, welche Parameter zu einer Veränderung der Gerinnegeometrie führen können.

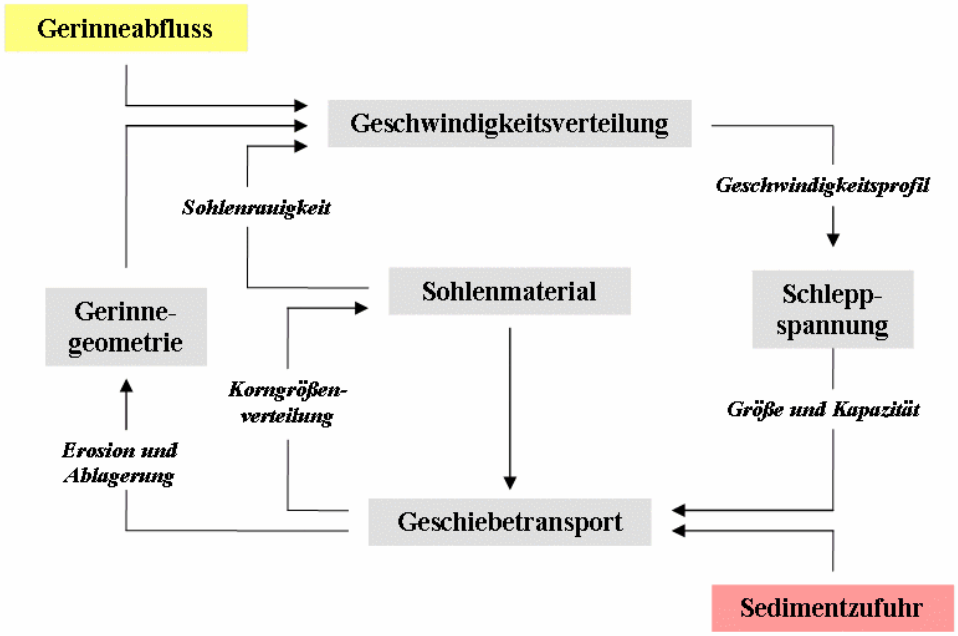


Abb. 37: Morphodynamische Zusammenhänge in Fließgewässern (LANE, 1995)

3.1.3 Bewegungsbeginn

Auf Basis von Laborversuchen gelang es SHIELDS (1936) eine Darstellung, aus welcher der Bewegungszustand der Sohle ersichtlich wird, zu entwickeln. Die dimensionslosen Kennzahlen (Re und Fr) korrelieren miteinander in der sog. SHIELDS-Kurve (LEHMANN, 2003) (Abb. 38).

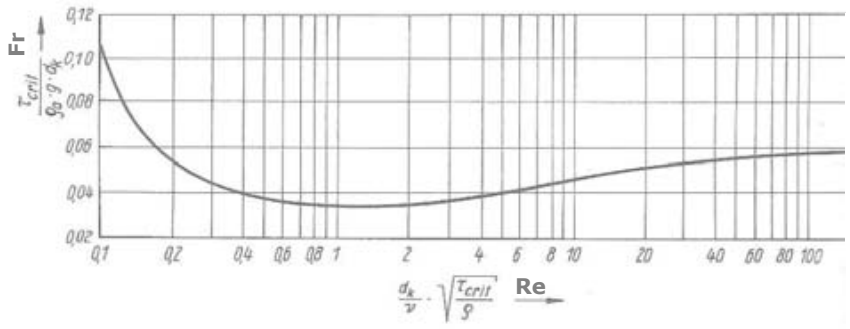


Abb. 38: Bewegungsbeginn nach SHIELDS (1936)

3.1.4 Erosion, Transport und Sedimentation

Die Vorgänge Erosion, Transport und Sedimentation spielen eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Stabilität bzw. Instabilität eines Fließgewässers.

Der Begriff **Erosion** ist ein allgemeiner Ausdruck für Abtragung (BRIEM, 2002).
In Fließgewässern wirken durch das fließende Wasser Scher- und Hebekräfte auf Gewässersohle und –ufer. Bei Überschreiten eines kritischen Wertes sind sie in der Lage, Material in Bewegung zu setzen (JUNGWIRTH et al., 2003). Durch die Erosion der Gewässersohle wird das Bett eingetieft. Erosion der Gewässerufer hat eine Aufweitung als Folge (BRIEM, 2002).

Beim **Transport** wird das vom fließenden Wasser aufgenommene Material solange transportiert, bis es aufgrund der Fließgeschwindigkeit bzw. Abflussverhältnisse oder der Korngröße zu einer Ablagerung kommt. Im Detail kann der Feststofftransport in zwei Teile unterteilt werden; dem Transport von Geschiebe an der Gewässersohle und dem Transport von Schwebstoffen in darüber liegenden Wasserschichten (SCHOBER, 2006).

Der Begriff **Sedimentation** bedeutet, dass das mit dem fließenden Wasser transportierte Material wegen der zu geringen Fließgeschwindigkeit oder des zu großen Korndurchmessers an der Gewässersohle abgelagert wird (BRIEM, 2002). Bei der Sedimentation gibt es eine Reihenfolge; in Abhängigkeit der Korngröße werden zunächst Steine, dann Sand, später Schluff und zuletzt Ton abgelagert. Eine räumliche Trennung der Kornfraktionen ist einerseits bedingt durch die häufige Bildung von Aggregaten, und andererseits durch die ständig wechselnden Abflussverhältnisse nicht möglich (SCHOBER, 2006).
Im Allgemeinen führt Sedimentation (auch Auflandung, Akkumulation) zu einer Höherlegung des Gewässerbettes (BRIEM, 2002).

Mit Hilfe des, auf Basis experimenteller Versuche entwickelten Diagramms nach HJULSTRÖM & SUNDBORG (1956) lassen sich die Vorgänge Erosion, Transport und Sedimentation gut veranschaulichen. Abb. 39 zeigt ein von BRIEM (2002) modifiziertes Diagramm, indem sich aus dem Verhältnis von Korngröße und Fließgeschwindigkeit drei, durch Kurven voneinander getrennte Bereiche (Erosion, Transport, Sedimentation) ergeben. Im obersten Bereich wird wegen der hohen Fließgeschwindigkeit Material erodiert und vom fließenden Wasser aufgenommen. Die Kurvenform verdeutlicht, dass die Sandfraktion (v.a. Feinsand) am leichtesten transportiert werden kann. Im mittleren Bereich findet Transport statt; d.h. bereits aufgenommenes Material wird weiterbewegt. Die Kurvenform zeigt, dass mit zunehmendem Korndurchmesser der Transport nur bei sehr hohen Fließgeschwindigkeiten möglich ist. Der unterste Bereich ist der Sedimentationsbereich. Hier wird Material, das nicht mehr transportiert werden kann, abgelagert.

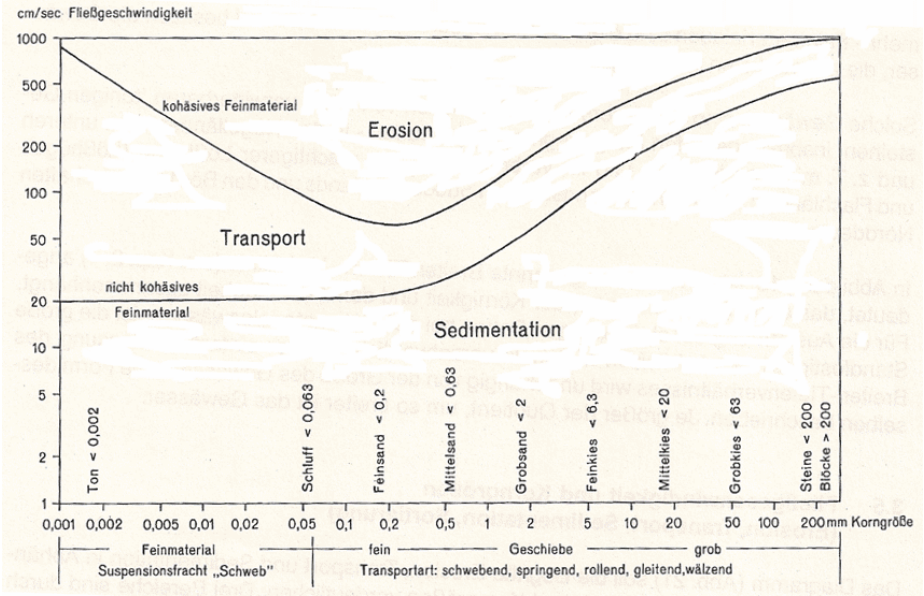


Abb. 39: HJULSTRÖM & SUNDBORG Diagramm (1956); mod. durch BRIEM (2002)

Obwohl das Diagramm nach HJULSTRÖM & SUNDBORG (1956) ein gutes Verständnis für die Vorgänge Erosion, Transport und Sedimentation ermöglicht, ist es kritisch zu betrachten. Natürliche Phänomene, wie z.B. eine Verklammerung der Sedimente sowie Sohlabpflasterungen lassen sich experimentell nicht nachbilden (BRIEM, 2002).

3.1.5 Gewässerstabilität

Wird durch einen Gewässerabschnitt genauso viel Geschiebe befördert wie Eintrag erfolgt, so entsteht kein Verlust oder Gewinn an Sohlmaterial, und die mittlere Höhenlage bleibt stabil (Abb. 40) (EISENHAUER, 2008).

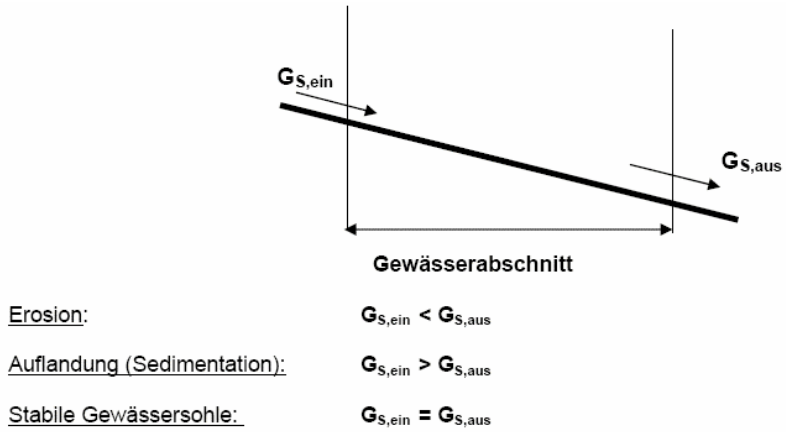


Abb. 40: Erosion, Auflandung und stabile Gewässersohle in Abhängigkeit des Belastungsverhältnisses (EISENHAUER, 2008)

Das Belastungsverhältnis ist ein Maß für die Stabilität oder Instabilität eines Fließgewässerabschnitts. Bei Überlast ist das Gewässer im Verhältnis zur Schleppkraft mit Geschiebe überlastet (*overfitted*). Durch den Geschiebeüberfluss kann es zur Bildung von Sedimentinseln und –bänken sowie zu einer gesamten Aufhöhung der Gewässersohle (Sedimentation) kommen. Das Belastungsverhältnis erreicht einen Wert > 1.

Bei Unterlast hingegen herrscht Geschiebemangel (*underfitted*). Bei Nicht-vorhandensein einer Deckschicht oder einer künstlich hergestellten Abpflasterung der Gewässersohle kann Geschiebemangel Erosion hervorgerufen, die eine Eintiefung des Gewässers herbeiführt. Bei Vorhandensein einer Deckschicht (Abpflasterung der Sohle durch gröberes Geschiebe) wird die Unterschicht durch den Deckschichtaufbau vor Erosion geschützt. Erst bei größeren Hochwasser-abflüssen reißt die Deckschicht auf und es kommt zur Erosion der Unterschicht und somit zu einem relativ plötzlichen Transport von großen Geschiebemengen.

Anthropogene Eingriffe in Fließgewässer (z.B. künstlich hergestellte Abpflasterung der Sohle durch Betonierung) können eine Störung des Geschiebehaushalts herbeiführen. Beispielsweise wird dem Gewässerabschnitt durch eine betonierte Sohle bei Geschiebemangel die Möglichkeit zur Erosion (Eintiefung) genommen und dadurch Instabilität hergestellt (LEHMANN, 2003).

3.2 Morphodynamische Prozesse

3.2.1 Raum-zeitliche Abgrenzung

Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern sind vielfältig. Da sie in verschiedenen Skalenebenen auftreten, ist der raum-zeitliche Maßstab, mit dem sie betrachtet werden von großer Bedeutung. So zählen langfristige Veränderungen der Landschaft, die durch plattentektonische Bewegungen hervorgerufen werden, genauso zu morphodynamischen Prozessen, wie Riffelbildungen an der Gewässersohle, die innerhalb weniger Sekunden entstehen. Im River Scaling Concept (RSC), das in Kapitel 4.2 näher behandelt wird, wird diese Problematik aufgegriffen.

Morphodynamischen Prozesse, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, liegen nach Anwendung des RSC in der lokalen Ebene. Im Allgemeinen liegt die raum-zeitliche Erstreckung dieser Ebene bei 0.01 - 1 km und 0.1 - 10 Jahren (HABERSACK et al., 2000). Im konkreten Fall beträgt das Zeitfenster, indem die untersuchten morphodynamischen Prozesse auftraten 2 Tage (22. und 23. August 2005). Das sind jene Tage, an denen der Lech morphodynamische Aktivität aufgrund des Hochwassers zeigte und morphologischen Veränderungen unterworfen war. Diese Veränderungen (morphodynamische Prozesse) sind Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen.

3.2.2 Charakteristische Prozesse

In wissenschaftlicher Literatur lassen sich viele Ansätze zur Definition morphodynamischer Prozesse finden. Der Ansatz von DOWNS (1992) (Abb. 41) sieht eine Einteilung lokaler Gerinneformen in die Grundtypen *Stabil*, *Anlandend*, *Seitliche Verlagerung* und *Ausdehnend* vor.

- Der Grundtyp *Stabil* (STABLE, S) beschreibt jene Gerinneform, bei der keine sichtbaren Indikatoren für einen morphodynamischen Prozess bzw. Anpassungsvorgang vorliegen und stellt somit eine Vergleichsgrundlage dar.
- Gerinneformen des Grundtyps *Anlandend* (DEPOSITIONAL, D) weisen eine gleichmäßige Abnahme der Gerinnebreite und/oder –tiefe auf.
- Beim Grundtyp *Seitliche Verlagerung* (LATERAL MIGRATION, M) kommt es zu einer seitlichen Verlagerung des gesamten Gerinnes, bei der die Querschnittsabmessungen jedoch erhalten bleiben.
- Der Grundtyp *Ausdehnend* (ENLARGING, E) beschreibt jene Gerinneform, bei der es durch Erosion zu einer gleichmäßigen Zunahme der Gerinnebreite und/oder –tiefe kommt.

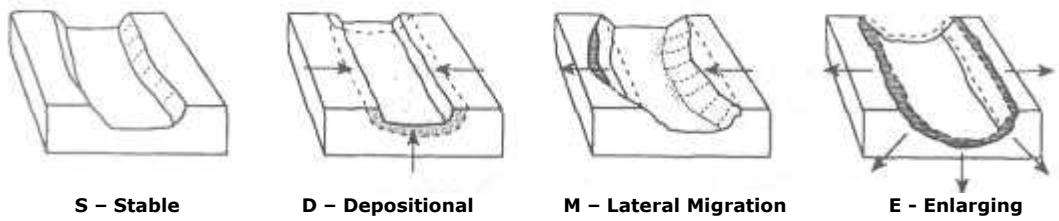


Abb. 41: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; Grundtypen Stable (S), Depositional (D), Lateral Migration (M) und Enlarging (E) (DOWNS, 1992)

Auf Basis der Grundtypen unterscheidet Downs (1992) drei Kategorien mit abgeschwächter Form (Abb. 42):

- Bei der abgeschwächten Form des Grundtyps *Anlandung* (depositional, d) kommt es zu einer selektiven Anlandung, die eine z.T. reduzierte Gerinnebreite mit sich bringt.
- Der abgeschwächten Form des Grundtyps *Seitliche Verlagerung* (lateral migration, m) können einerseits sich im Anfangsstadium befindende, alternierende Seitenerosionen in gestreckten Gerinnen, und andererseits durch starke Gerinnekrümmungen bedingte Erosionen zugeordnet werden.
- Die abgeschwächte Form des Grundtyps *Ausdehnend* (enlarging, e) ist der Beginn einer kontinuierlichen Erosion, die oft im Bereich der Gewässersohle ihren Ursprung findet.

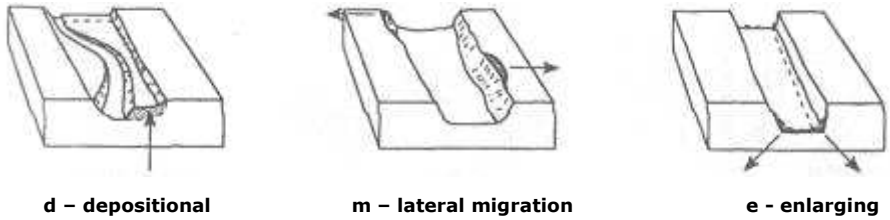
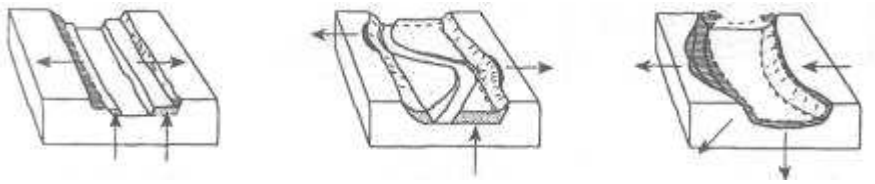


Abb. 42: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; abgeschwächte Formen depositional (d), lateral migration (m) und enlarging (e) (DOWNS, 1992)

Neben den Grundtypen und deren abgeschwächten Formen wurden drei weitere Prozesssysteme definiert, die eine Reaktion des Fließgewässers auf anthropogene Eingriffe darstellen (Abb. 43):

- Beim Prozesssystem *COMPOUND* (C) liegt eine Eintiefung des Gewässerbettes in Kombination mit einer Erosion der Gewässerufer vor.
- Beim Prozesssystem *RECOVERING* (R) handelt es sich um die Entwicklung einer gewundenen Gerinneform innerhalb eines gestreckten Gerinnes. Durch diese Entwicklung werden die Gewässerufer selektiv erodiert.
- Das Prozesssystem *UNDERCUTTING* (U) ist definiert als eine kontinuierliche Erosion und Verlagerung der gesamten Gerinnebreite, bedingt durch Anlandungen am inneren Gewässerufer.



C – Compound **R – Recovering** **U – Undercutting**

Abb. 43: Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern; komplexe Prozesstypen Compound (C), Recovering (R) und Undercutting (U) (DOWNS, 1992)

In Anlehnung an die Prozesseinteilung nach DOWNS (1992) wurden in der vorliegenden Arbeit folgende morphodynamischen Prozesse festgelegt:

- Tiefenerosion
- Seitenerosion
- Migration
- Verwerfung
- Umlagerung

Der Begriff **Tiefenerosion** beschreibt die Erosion der Gewässersohle und somit die Fähigkeit des fließenden Wassers die Sohle tiefer zu legen.
Bedingt durch die eingeschränkte Datenbasis konnten nur punktuell Informationen über hochwasserbasierte Veränderungen im Bereich der Gewässersohle gesammelt werden. Daher war es nicht möglich eine flächendeckende Analyse über mögliche Tiefenerosionen durchzuführen.

Der Begriff **Seitenerosion** (auch Breitenerosion) wird definiert als die Erosion der Gewässerufer durch die es zu einer Verbreiterung des Gewässers kommt. Durch Ablagerung des erodierten Ufermaterials im Sohlbereich führt der Prozess der Seitenerosion häufig zu einer Auflandung der Gewässersohle (BRIEM, 2002).
Eine abgeschwächte Form der Seitenerosion ist der Uferanriss.

Unter dem Begriff **Migration** wird eine großräumige Veränderung der Lage des Gewässerbettes verstanden. Analog zur Prozessdefinition nach DOWNS (1992) verlagert sich das gesamte Gerinne, wodurch die Querschnittsabmessungen erhalten bleiben.
Bei mäandrierenden Gewässern läuft der Prozess der Migration relativ langsam ab. Bei anthropogen beeinflussten Gewässern, denen die Möglichkeit gegeben wurde sich eigendynamisch zu verändern (z.B. durch das Entfernen von Uferbefestigungen) können Migrationen in einem kurzen Zeitraum stattfinden (SCHOBER, 2006).

Gewässerverzweigungen können verschiedene Ursachen haben:

- Großräumige Aufzweigungen (*Furkationen*) können Folge der Talform sein. Während ein Fluss in einer Klamm, bedingt durch die Taleinengung und das sehr hohe Gefälle wenig Möglichkeit zur Bildungen von Laufverlagerungen und Verzweigungen hat, kann es in einem Sohlental aufgrund des breiteren Talbodens, des mittleren bis hohen Gefälles sowie des hohen Geschiebetriebs zur Aufzweigung des Flusses in zahlreiche Nebenarme und Seitengerinne mit dazwischen liegenden Schotterbänken kommen. Furkationsstrecken zeichnen sich durch eine ständige Veränderung des Gewässerbetts (Verlagerung der einzelnen Gerinne durch Akkumulation und Erosion) aus. Charakteristisch sind keine eindeutig festgelegten Ufer. Häufig nehmen Furkationsstrecken den gesamten Talboden ein (MANGELSDORF & SCHEUERMANN, 1980; LEHMANN, 2003; NACHTNEBEL, 2003).
- Bei einer *Anastomose* handelt es sich, bedingt durch ein äußerst geringes Gefälle, um eine Verzweigung eines geschiebearmen bzw. geschiebefreien Gewässers in mehrere Arme. Dieser Prozess tritt häufig in Flussdeltas auf (BRIEM, 2002).
- Verzweigt sich ein Fließgewässer infolge einer Überlast, beispielsweise herbeigeführt durch ein Hochwasser, wird der Prozess *Verwerfung* genannt (BRIEM, 2002).

Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendete Begriff **Verwerfung** definiert einen Flussabschnitt, indem sich der Fluss aufgrund der starken Belastung durch ein Hochwasser verzweigt und meist parallel zum Hauptgerinne führende natürliche Erosionsmulden bildet. Ein solcher Verwerfungsbereich ist von starker Erosion, aber auch von Überlagerung bzw. Sedimentation geprägt (HAUER et al., 2006).

Der Begriff **Umlagerung** beschreibt die Kombination aus Erosion, Transport und Sedimentation von großen Feststoffmengen im Gewässerbett, die im Zuge eines einzigen Hochwasserereignisses auftritt.

4 Methodik

4.1 Datenbasis

4.1.1 Bildmaterial

4.1.1.1 Historische Karten

Für die historische Prozessanalyse wurden Kartenwerke der **Dritten Landesaufnahme** vom LAND TIROL zur Verfügung gestellt.

Die Dritte Landesaufnahme (Abb. 44), unter der Regentschaft Kaiser Franz Joseph, die daher auch Franzisko - Josephinische Landesaufnahme genannt wird, wurde in den Jahren 1869 bis 1887 erstellt. Tirol wurde zwischen 1869 und 1871 kartiert. Der Aufnahmemaßstab beträgt 1:25.000.
In Österreich - Ungarn wurden vermessungstechnische und kartographische Aufgaben vom Generalstab durchgeführt. Ziel war es, das gesamte Gebiet der österreichisch-ungarischen Monarchie einheitlich darzustellen, um militärische Vorteile zu erlangen.
Im Gegensatz zu vorhergehenden Landesaufnahmen konnte die Dritte Landesaufnahme flächendeckend fertig gestellt werden (LAND TIROL, 2008).

Abb. 44: Ausschnitt aus der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (LAND TIROL, 2008)

4.1.1.2 Luftbilder

Neben den historischen Karten wurden Orthofotos aus den Jahren 2000 und 2006 vom LAND TIROL zur Verfügung gestellt.
Da keine Orthofotos vom Hochwasser 2005 existieren, wurden Luftbilder (LAND TIROL) mit Hilfe einer Digitalen Katastralmappe (DKM) aus dem Jahr 2007 (BEV; LAND TIROL) entzerrt. Die Georeferenzierung (Abb. 45) wurde mit dem Programm ArcGIS© der Firma ESRI durchgeführt.

Abb. 45: Georeferenziertes Luftbild; Gemeinde Holzgau; Luftbild: LAND TIROL; DKM: BEV, LAND TIROL (2007)

4.1.2 Vermessung

4.1.2.1 Digitale Katastralmappe (DKM)

Durch die dargestellten Festpunkte und Grundstücksgrenzen in der Digitalen Katastralmappe (DKM) (BEV, LAND TIROL, 2007) war es möglich, die Luftbilder vom Hochwasser 2005 zu entzerren.

4.1.2.2 Terrestrische Vermessung

Im Auftrag von DONAUCONSULT wurde der Lech von FKM 228.390 - 167.162 terrestrisch vermessen. Insgesamt wurden 430 Profile aufgenommen. Die Vermessungsarbeiten, die Grundlage zur Erstellung des Wasserspiegellagen-modells (Kapitel 4.4) sind, wurden im Jahr 1992 durchgeführt.

Neben den Vermessungen aus dem Jahr 1992 wurden nach dem Hochwasser 2005 am Lech einige Profile erneut terrestrisch vermessen. Auf Basis dieser Vermessungsdaten konnten Veränderungen der Gerinnegeometrie im Zeitraum von 1992 bis zum Hochwasser 2005 analysiert werden.

4.1.2.3 Laserscan

Bei der Vermessung mittels Laserscan wird ein Laserstrahl aus einem Flugzeug ausgesandt und von der Erdoberfläche reflektiert. Durch die Messung der Laufzeit kann die Entfernung ermittelt werden. Zusätzlich wird für jeden ausgesandten Impuls die Horizontal- und Vertikalrichtung registriert. Dadurch werden X-, Y- und Z-Koordinaten des Raumpunktes erhalten.
Die Laserscanvermessung hat u.a. den Vorteil, dass eine großflächige Untersuchung mit einer hohen Aufnahmerate (100.000 - 500.000 Punkte/Sekunde) möglich ist. Bei der Flussvermessung gibt es jedoch einen bedeutenden Nachteil: Da an Wasseroberflächen keine Reflexion möglich ist, kann bei Vermessung mittels Laserscan im Flussprofil keine Tiefeninformation erhalten werden (FUCHS, 2008).

Im untersuchten Flussabschnitt lag der Abflussraum bei Hochwasserabflüssen an einigen Stellen im Vorland. Um exakte hydraulische Berechnungen zu gewährleisten, wurde der von DONAUCONSULT terrestrisch vermessene Flussschlauch an insgesamt 30 Profilen im Vorlandbereich mit Laserscandaten aus den Jahren 2006 und 2007 (LAND TIROL), die in Form eines DGM vorlagen, verschnitten.
Die für die Erweiterung erforderlichen Laserscan-Profile wurden mit Hilfe des Programms ArcGIS© (Easy Profiler 9.1) der Firma ESRI erstellt (Abb. 46).

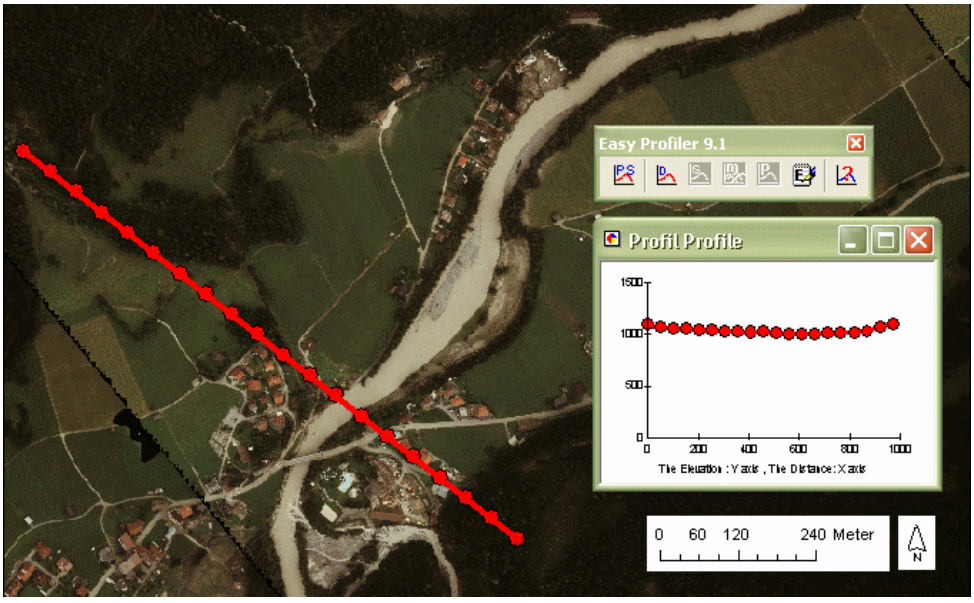


Abb. 46: Schnitt durch das, mit einem Luftbild überlagerte Laserscan-DGM; ArcGIS© (Easy Profiler 9.1); Luftbild: LAND TIROL; DGM: LAND TIROL

Am Beispiel des Profils 218.058 veranschaulicht Abb. 47 die Erweiterung der terrestrischen Vermessung durch die Laserscanvermessung.

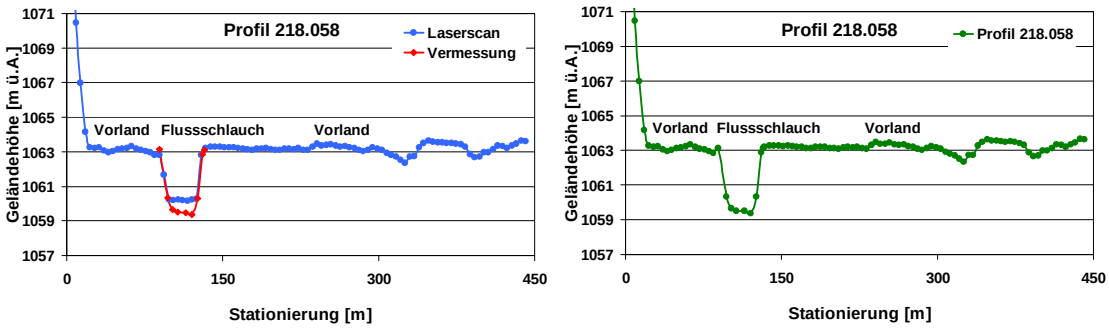


Abb. 47: Verschnitt terrestrische Vermessung – Laserscanvermessung

4.2 River Scaling Concept (RSC)

Nach LEVIN (1992) variieren morphodynamische Prozesse und prozessrelevante Parameter in Abhängigkeit der Auflösung mit der sie betrachtet werden. Auch HABERSACK et al. (2000) ist der Ansicht, dass Prozesse und Parameter charakteristisch für verschiedene Maßstäbe sind.

Das von HABERSACK et al. (2000) entwickelte River Scaling Concept (RSC) ist ein Ansatz zur skalenorientierten Bewertung abiotischer und biotischer Komponenten im Flusssystem. Der hierarchische Aufbau resultiert aus der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Komponenten. Tab. 7 stellt die räumliche und zeitliche Begrenzung abiotischer Komponenten innerhalb der verschiedenen Skalenebenen des RSC dar.

Tab. 7: Räumliche und zeitliche Abgrenzung abiotischer Komponenten innerhalb der Skalenebenen des RSC (HABERSACK, 1997)

Maßstab	räumlich	zeitlich
	Länge in km	(morphologische Veränderungen)
Kontinental-regionale Ebene	> 1000	Geologische Zeiteinheiten
Einzugsgebietsebene	100-10000	Geologische Zeiteinheiten
Sektional	1-100	10-1000 Jahre
Lokale Ebene	0.01-1	0.1-10 Jahre
Punktebene	0.0001-0.01	< 1 Jahr

Im ersten Schritt des RSC wird das Untersuchungsgebiet im Zuge des *downscaling* von der kontinental/regionalen Ebene bzw. zumindest von der Einzugsgebietsebene bis hin zur Punktebene betrachtet. In jeder Ebene werden hierarchisch voneinander abhängige Prozesse analysiert und gemessen. Im zweiten Schritt, dem *upscaling* werden die aus der Punktebene gewonnenen Informationen aggregiert und, in Hinblick auf eine erfolgreiche Zielerfüllung, Maßnahmen entwickelt (Abb. 48).

Im Vergleich zu anderen skalenorientierten Betrachtungsweisen, die das gleiche Ziel verfolgen, liegt die Besonderheit dieses Konzepts in der klaren Abgrenzung der Ebenen untereinander sowie der beiden Verfahrensschritte *downscaling* und *upscaling* (HABERSACK et al., 2000).

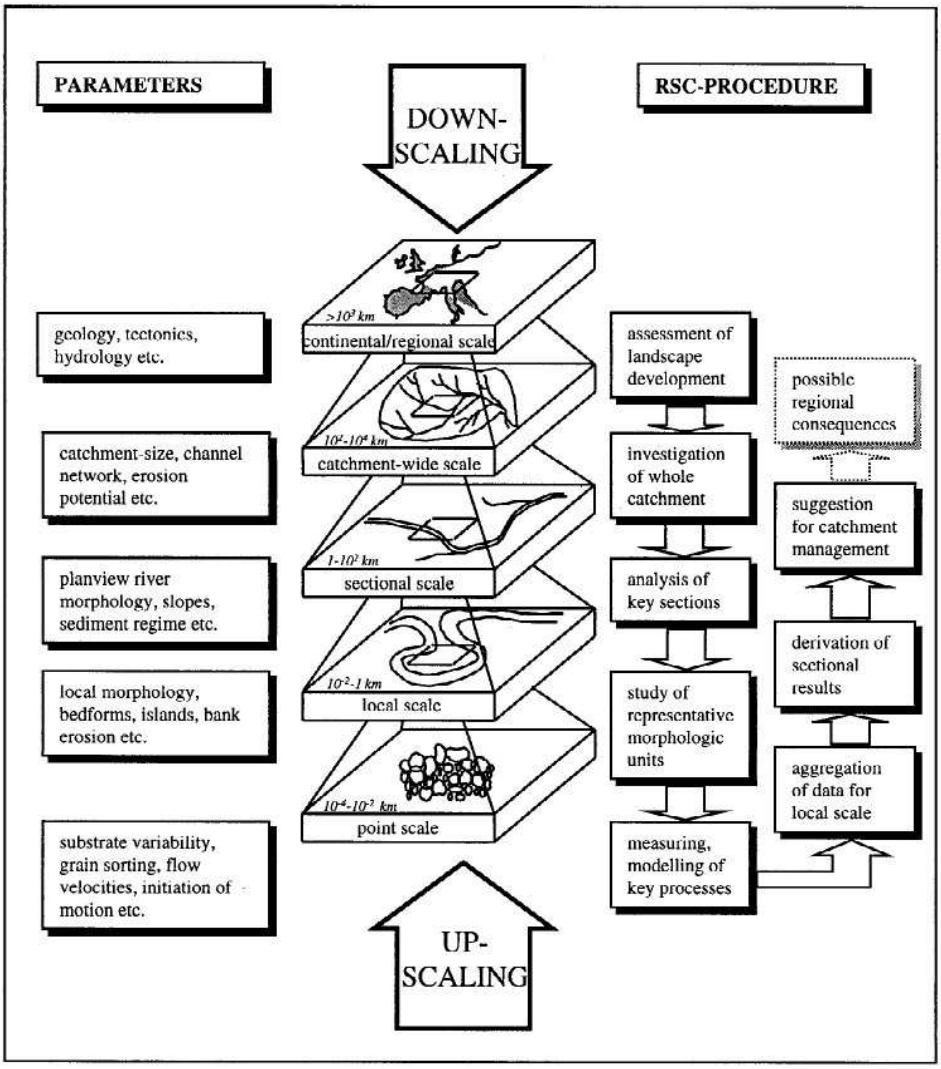


Abb. 48: Schematische Darstellung des RSC (HABERSACK et al., 2000)

4.3 Ableitung prozessrelevanter Parameter

Durch die Ableitung und Analyse prozessrelevanter Parameter sollen morphodynamische Prozesse beschreibbar gemacht werden, um in weiterer Folge Informationen bzgl. der Eignung der Parameter als Indikator für morphodynamische Aktivität zu erhalten.
Die Auswahl der untersuchten Parameter wurde nach deren Relevanz sowie Verfügbarkeit in der Datenbasis (Kapitel 4.1) getroffen.

4.3.1 Parameter der Gerinnegrundrissform

Alle Parameter, die der Analyse der Gerinnegrundrissform dienen, wurden durch Messungen auf Basis von Luftbildern erhoben.

Sinuosität

Die Sinuosität SI [-] (Formel 1), die ein häufig benutzter Parameter zur Analyse der Gerinnegrundrissform ist, beschreibt die Gewundenheit eines Flusses. Nach SCHUMM (1963) wird sie als das Verhältnis von Flusslänge L_{FLUSS} (tatsächlicher Lauflänge) [m] zu Tallänge L_{TAL} [m] definiert (Abb. 50).

$$SI = \frac{L_{FLUSS}}{L_{TAL}} \qquad [-] \qquad \text{(Formel 1)}$$

Eine Reduktion der Sinuosität kann Indikator eines veränderten Wasser- und Feststoffhaushalts sein (SCHUMM, 1977) oder durch ein großes Hochwasserereignis hervorgerufen werden (HOOKE & REDMOND, 1992).
Im Allgemeinen nimmt die Sinuosität im Längsprofil flussab zu. Es gilt: Mit Abnahme des Gefälles, der Fließgeschwindigkeit, der zu transportierenden Feststoffmenge und der Geschiebekorngröße, kommt es zu einer Zunahme der Sinuosität bis hin zur Mäanderbildung.
In Abhängigkeit des Windungsgrades können 5 Abstufungen unterschieden werden (Abb. 49) (BRIEM, 2002).

(a) gerade (SI 1)
(b) gestreckt (SI = 1.01 - 1.05)
(c) schwach gewunden (SI = 1.06 - 1.25)
(d) gewunden (SI = 1.26 - 1.5)
(e) mäandrierend (SI > 1.5)

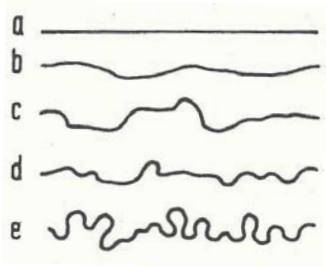


Abb. 49: Sinuosität (BRIEM, 2002)

Lauf- und Flussentwicklung

Weitere Größen zur Analyse der Gerinnegrundrissform sind die Parameter Laufentwicklung LE [-] (Formel 2) und Flussentwicklung FE [-] (Formel 3) (HABERSACK & SCHNEIDER, 2000), deren Eingangsdaten Flusslänge L_{FLUSS} [m], Tallänge L_{TAL} [m] und Luftline L_{LUFT} [m] sind (Abb. 50).

$$LE = \frac{L_{FLUSS} - L_{TAL}}{L_{TAL}} \quad [-] \quad \text{(Formel 2)}$$

$$FE = \frac{L_{FLUSS} - L_{LUFT}}{L_{LUFT}} \quad [-] \quad \text{(Formel 3)}$$

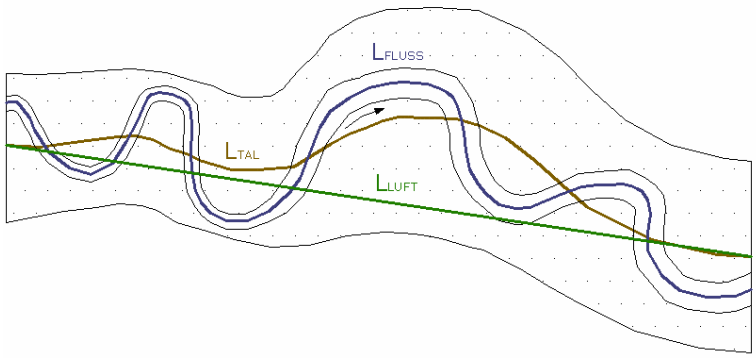


Abb. 50: Flusslänge, Tallänge und Luftlinie (WAGNER, 2009)

4.3.2 Parameter des Längenschnitts

Energieliniengefälle

Aufgrund des Reibungswiderstands des Gewässerbettes nimmt die Gesamtenergie des Wassers in Fließrichtung ab. Der dabei entstehende Energieverlust wird Verlusthöhe h_V (Formel 4) bezeichnet. Das Energieliniengefälle I_E [m m^{-1}] ergibt sich bei Division der Verlusthöhe zwischen zwei Gewässerquerschnitten 1 und 2 durch den horizontalen Abstand zwischen ihnen. Bei Zunahme der Fließgeschwindigkeit, erhöht sich auch das Energieliniengefälle (BRONSTERT, 2002).

$$h_V = \int_{x_1}^{x_2} I_E \cdot dx \qquad \text{(Formel 4)}$$

Abb. 51 ist eine Prinzipskizze, die den Zusammenhang zwischen Sohl-, Wasserspiegel- und Energieliniengefälle bei ungleichförmiger Strömung erläutert.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Energieliniengefälle den *Output-Tables* der hydraulischen Berechnung entnommen.

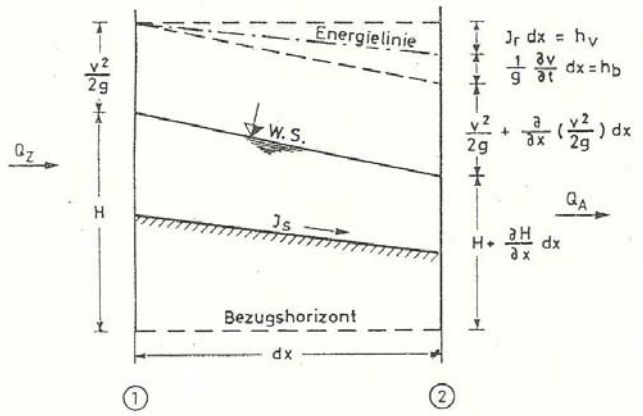


Abb. 51: Zusammenhang zwischen Sohl-, Wasserspiegel- und Energieliniengefälle bei ungleichförmiger Strömung (NACHTNEBEL, 2003)

Längsprofilentwicklung

Die dimensionslose Längsprofilentwicklung LPE ist ein Parameter, mit dem die Form des Längenschnitts qualitativ beschrieben werden kann. Nach BRIEM (2002) wird zwischen folgenden Formen der LPE unterschieden (Abb. 52):

(a) steil gestreckt
(b) flach konkav
(c) steil konkav
(d) flach gestreckt

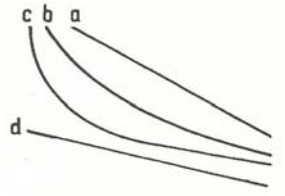


Abb. 52: LPE (BRIEM, 2002)

4.3.3 Parameter der Querprofile

Wasserspiegelbreite

Die Wasserspiegelbreite W [m] (Abb. 53) wurde den *Output-Tables* der hydraulischen Berechung entnommen.

Umlagerungsbreite

Die Umlagerungsbreite W_U [m] ist jene Breite, die im Zuge der Umlagerung eingenommen wird. Im Fall eines Hochwassers entspricht sie jener Breite, die durch flussmorphologische Erosions- bzw. Ablagerungsvorgänge entstanden ist. Sie ist jedoch nicht der Überflutungsbreite W_F [m], welche den überfluteten Querschnitt bemisst, gleichzusetzen (Abb. 53).

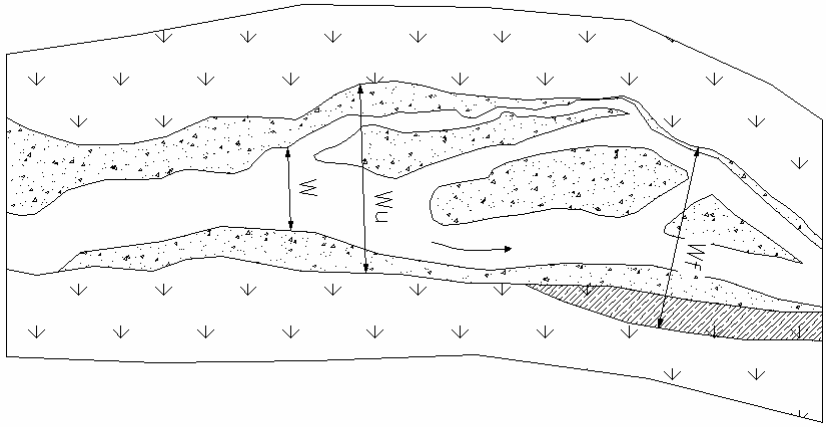


Abb. 53: Wasserspiegelbreite W, Umlagerungsbreite W_U und Überflutungsbreite W_F (WAGNER, 2009)

Im Gegensatz zur Wasserspiegelbreite, wurde die Umlagerungsbreite auf Basis von Luftbildern ermittelt.

Wassertiefe

Die Wassertiefe entspricht der maximalen Differenz zwischen Wasserspiegel und Flusssohle (Abb. 54). In der folgenden Analyse wurde einerseits die über das gesamte Querprofil gemittelte Wassertiefe D [m] und andererseits die maximale Wassertiefe D_{max} [m] analysiert.

Beide Größen wurden den *Output-Tables* der hydraulischen Berechnung entnommen.

Benetzter Umfang

Der benetzte Umfang U [m] (Abb. 54) ist jener Umfang des Gewässerprofils, der mit Wasser benetzt ist.

Der benetzte Umfang entstammt den *Output-Tables* der hydraulischen Berechung.

Durchflossene Querschnittsfläche

Die durchflossene Querschnittsfläche A [m²] (Abb. 54) entspricht jener Fläche, die vom vorliegenden Abfluss durchflossen wird.

Sie wurde den *Output-Tables* der hydraulischen Berechnung entnommen.

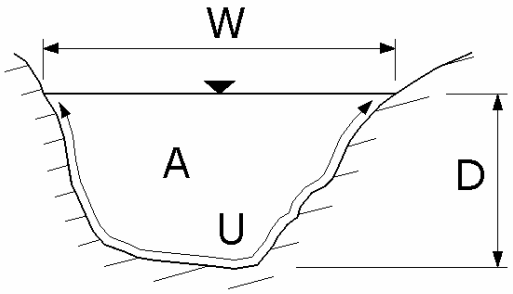


Abb. 54: Parameter des Querprofils (WAGNER, 2009)

Hydraulischer Radius

Der Quotient aus durchflossener Querschnittsfläche A [m²] und benetztem Umfang U [m] ist der hydraulische Radius R [m] (Formel 5). Da die Wassertiefe über den Gewässerquerschnitt nicht konstant ist und daher zur Kennzeichnung des Querschnitts nicht verwendbar ist, stellt der hydraulische Radius einen sinngemäßen Ersatz dar (BOLLRICH, 2007).

$$R = \frac{A}{U} \qquad [\text{m}] \qquad \text{(Formel 5)}$$

Breiten-Tiefen-Verhältnis

Das Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL} [-] (Formel 6) (engl.; *width-depth ratio*) ist ein Parameter zur Beschreibung der Querschnittsform. Sie ergibt sich aus der Division von Wasserspiegelbreite W [m] und maximaler Wassertiefe D_{max} [m]. Je größer der Wert desto flacher, und je kleiner desto tiefer ist das Gewässer (BRIEM, 2002).

$$B_{REL} = \frac{W}{D_{\max}} \qquad [-] \qquad \text{(Formel 6)}$$

4.3.4 Parameter der Hydraulik

Abfluss

Der Abfluss Q [m³ s^{-1}] wird definiert als jene Durchflussmenge, die pro Zeiteinheit mit einer bestimmten Fließgeschwindigkeit v [m s^{-1}] einen Querschnitt A [m²] passiert (Formel 7).

$$Q = v \cdot A \qquad [m^3\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 7)}$$

Im Zuge der hydraulischen Modellierung mit HEC-RAS© wurde das Fließgesetz nach *Gaukler-Manning-Strickler* (Formel 8), das in Kapitel 4.5.1 näher erläutert wird, verwendet. Eingangsdaten zur Berechnung des Abflusses sind die durchflossene Querschnittsfläche A [m²], der Stricklerbeiwert k_{St} [$m^{1/3}\ s^{-1}$] bzw. Manningwert n [$s\ m^{-1/3}$], der hydraulische Radius R [m] und das Energieliniengefälle I_E [m m^{-1}] (BOLLRICH, 2007).

$$Q = A \cdot k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot {I_E}^{1/2} = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot {I_E}^{1/2} \qquad [m^3\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 8)}$$

Fließgeschwindigkeit

Der Fließgeschwindigkeit v [m s^{-1}] (Formel 9) ergibt sich aus der Division des Abflusses Q [m³ s^{-1}] durch die durchflossene Querschnittsfläche A [m²].

$$v = \frac{Q}{A} \qquad [m\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 9)}$$

Analog zum Abfluss wurde die Fließgeschwindigkeit auf Basis des Fließgesetzes nach *Gaukler-Manning-Strickler* (Formel 10) ermittelt. Eingangsdaten sind der Stricklerbeiwert k_{St} [$m^{1/3}\ s^{-1}$], der hydraulische Radius R [m] und das Energieliniengefälle I_E [m m^{-1}].

$$v = k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot {I_E}^{1/2} \qquad [m\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 10)}$$

Sohlschubspannung

Durch die Reibung an der Gewässersohle und an den Ufern wird das fließende Wasser abgebremst. Der Reibungskraft pro Flächeneinheit wird als Sohlschubspannung τ [N m^{-2}] (Formel 11) bezeichnet (NACHTNEBEL, 2003).
Zu den Eingangsdaten gehören Wasserdichte ρ_W [kg m^{-3}], Erdbeschleunigung g [m s^{-2}], hydraulischer Radius R [m] und Energieliniengefälle I_E [m m^{-1}].

$$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E = \gamma_W \cdot R \cdot I_E \qquad [N\ m^{-2}] \qquad \text{(Formel 11)}$$

Die kritische Sohlschubspannung τ_{crit} [N m^{-2}] (Formel 12) ist ein Grenzwert, bei dessen Überschreitung die Schleppkräfte an der Sohle zu groß sind, dass Körner aus dem Sohlverbund herausgelöst und der Bewegungsbeginn eingeleitet wird. In der Transportformel nach MPM wird der Transportbeginn durch den Vergleich von Strömungsparametern und Widerstandsverhalten des Kornmaterials ermittelt. Eingangsdaten sind die Feststoffdichte des Geschiebes ρ_S [kg m^{-3}], die Wasserdichte ρ_W [kg m^{-3}], die Erdbeschleunigung g [m s^{-2}] und der maßgebende Korndurchmesser D_m [mm] (ATV-DVWK, 2000).

$$\tau_{crit} = 0.047 \cdot (\rho_S - \rho_W) \cdot g \cdot D_m \qquad \text{[N m}^{-2}\text{]} \qquad \text{(Formel 12)}$$

Froude-Zahl

Die dimensionslose Froude-Zahl Fr (Formel 13) ist eine Größe, die den Abflusszustand beschreibt. Die Abflussgeschwindigkeit v [m s^{-1}] wird mit der Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit c [m s^{-1}] in Verbindung gesetzt.
Liegt die Froude-Zahl unter dem Wert 1 (*Fr < 1*), ist der Abfluss strömend; alle Berechnungen müssen flussauf durchgeführt werden. Übersteigt die Froude-Zahl den Wert 1 (*Fr > 1*) herrscht ein schießender Abfluss vor und alle Berechnungen müssen flussab durchgeführt werden.

$$Fr = \frac{v}{c} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot \frac{A}{b}}} \qquad \text{[-]} \qquad \text{(Formel 13)}$$

Total Stream Power (TSP)

Nach BAGNOLD (1966) wird der Parameter Total Stream Power (TSP) Ω [W m^{-1}] (Formel 15) als die Energieumwandlung des fließenden Wassers von der potenziellen (Lageenergie) in die kinetische Form (Bewegungsenergie) pro Meter Flusslänge definiert. Eingangsdaten sind die Wasserwichte γ_W [N m^{-3}] (Formel 14), der Abfluss Q [m³ s^{-1}] und das Energieliniengefälle I_E [m m^{-1}].

$$\gamma_W = \rho_W \cdot g \qquad \text{[N m}^{-3}\text{]} \qquad \text{(Formel 14)}$$

$$\Omega = \gamma_W \cdot Q \cdot I_E \qquad \text{[W m}^{-1}\text{]} \qquad \text{(Formel 15)}$$

Um die Strömungsenergie an Flussabschnitten unterschiedlicher Größe miteinander vergleichen zu können, kann die TSP Ω [W m^{-1}] durch die Wasserspiegelbreite W [m] dividiert werden. Der dabei erhaltene Parameter Specific Stream Power (SSP) ω [W m^{-2}] (Formel 16) ermöglicht einen, von der Gerinnegröße unabhängigen Vergleich der Strömungsenergie (BROOKES, 2007).

$$\omega = \frac{\Omega}{W} = \frac{\gamma_W \cdot Q \cdot I_E}{W} \qquad [\text{W m}^{-2}] \qquad \text{(Formel 16)}$$

Bei breiten Flüssen ($W \geq 30 \cdot R$) kann bei der Berechnung der Sohlschubspannung τ anstelle des hydraulischen Radius R [m] die Wassertiefe D [m] angesetzt werden (Formel 17).

$$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E = \gamma_W \cdot R \cdot I_E \approx \gamma_W \cdot D \cdot I_E \qquad [\text{N m}^{-2}] \qquad \text{(Formel 17)}$$

Durch diese Vereinfachung kann die SSP wie folgt definiert werden:

$$\omega = \tau \cdot v \qquad [\text{W m}^{-2}] \qquad \text{(Formel 18)}$$

Zusammenfassend sind in Abb. 55 alle Eingangsgrößen zur Ermittlung der Parameter TSP und SSP schematisch anhand eines Gewässerabschnitts dargestellt.

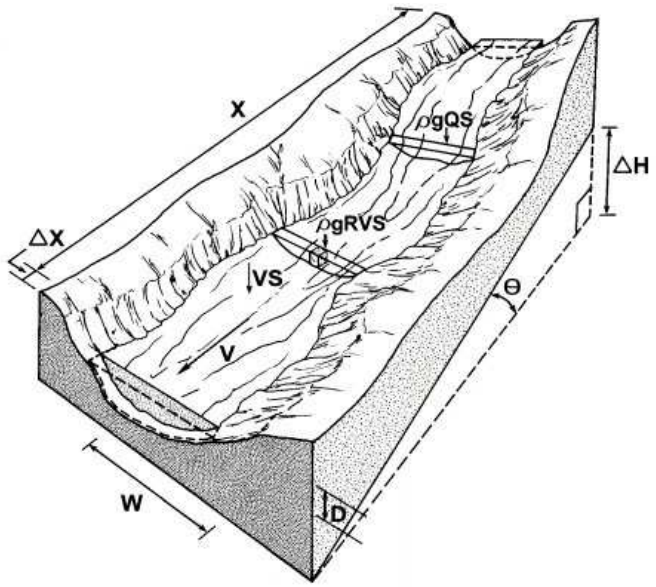


Abb. 55: Ermittlung der Parameter TSP und SSP (FONSTAD, 2002)

4.3.5 Parameter des Feststoffhaushalts

Korndurchmesser D_m, D_{50} und D_{90}

D_m [mm] od. [m] ist nach MEYER-PETER MÜLLER (1949) der maßgebende Korndurchmesser (Formel 19). Er wird u.a. zur Ermittlung des Stricklerbeiwerts k_{St} benötigt und entspricht meist D_{90}.
Eingangsparameter zur Ermittlung des maßgebenden Korndurchmessers sind der mittlere Korndurchmesser der Fraktionen D_{mi} und der prozentuale Anteil einer Kornfraktion Δp_i (BOLLRICH, 2007).

$$D_m = \sum D_{mi} \cdot \Delta p_i \qquad [-] \qquad \text{(Formel 19)}$$

Der mittlere Korndurchmesser D_{50} [mm] od. [m] ist jener Korndurchmesser für den gilt, dass 50% (Gewichtsanteil) der Teilchen des Korngemisches kleiner als dieser sind.

D_{90} [mm] od. [m] bedeutet, dass 90% (Gewichtsanteil) der Teilchen des Korngemisches einen kleineren Korndurchmesser haben.

Im Regelfall wird die Korngrößenverteilung aus der Linienzahlanalyse ermittelt.
Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendeten Korndurchmesser wurden den „Geschiebetechnischen Untersuchungen – Lech" von DONAUCONSULT aus dem Jahr 2004 entnommen.

Relative Höhe

Der dimensionslose Parameter relative Höhe H_{REL} (Formel 20) beschreibt das Verhältnis aus Wassertiefe D_{max} [m] und D_{50} [m] (RASSMANN, 2000).

$$H_{REL} = \frac{D_{\max}}{D_{50}} \qquad [-] \qquad \text{(Formel 20)}$$

Relative Rauigkeit

Die relative Rauigkeit R_{REL} [-] (Formel 21) ergibt sich, indem der Korndurchmesser D_{90} durch die Wassertiefe D_{max} [m] dividiert wird (RASSMANN, 2000).

$$R_{REL} = \frac{D_{90}}{D_{\max}} \qquad [-] \qquad \text{(Formel 21)}$$

4.4 Analyse historischer Karten

Bei der Analyse historischer Kartenwerke können aufschlussreiche Informationen über Fließgewässer erhalten werden. Historische Karten stellen jenen Zustand vor den systematischen Eingriffen durch den Menschen dar und geben u.a. Auskunft über historische Linienführung, Platzbedarf und natürliche Überflutungsräume.

Aus methodischer Sicht bringen historische Karten jedoch auch einige Probleme und Begrenzungen mit sich (HOOKE & REDMOND, 1989). Um Fehler zu vermeiden, wurden folgende Problemstellungen bei der historischen Analyse beachtet:

- Alle Informationen sind nur in der Grundriss-Perspektive erhältlich (URIBELARREA, 2003).
- Exakte Koordinaten, ein Referenzsystem und planimetrische Information sind selten vorhanden (URIBELARREA, 2003).
- Die Maßstäbe variieren häufig bei verschiedenen Flussabschnitten (HOOKE & KAIN, 1982).
- Die Karteninformationen unterliegen unterschiedlicher Aufnahmezeiten (HOOKE & KAIN, 1982).
- Kartenpapier verformt sich im Laufe der Zeit (DOWNWARD, 1995).

Durch Gegenüberstellung historischer Karten mit Luftbildern aus dem Jahr 2000 sowie vom Hochwasser 2005 war es möglich, Veränderungen der Gerinne-grundrissform und verschiedener Parameter innerhalb einer Zeitreihe zu beobachten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden sowohl qualitative als auch quantitative Analysen auf Basis historischer Kartenwerke der Dritten Landesaufnahme durchgeführt.

Im Zuge der qualitativen historischen Analyse, die eine deskriptive Aufarbeitung historischer Karten darstellte (HOOKE & REDMOND, 1989), wurden Veränderungen der Gerinnegrundrissform von 1869 bis zum Hochwasser 2005 analysiert (Kapitel 5.4.1).

Die quantitative historische Analyse beschäftigte sich mit der zahlenmäßigen Veränderung morphodynamischer Parameter von 1869 bis zum Hochwasser 2005. Untersucht wurden die Parameter Umlagerungsbreite (Kapitel 5.4.4), Lauflänge (Kapitel 5.4.2), Sinuosität sowie Lauf- und Flussentwicklung (Kapitel 5.4.3).

4.5 Hydraulische Modellierung

4.5.1 Hydraulische Grundlagen

Dem hydraulischen Modell liegen folgende Gesetze der Hydromechanik zugrunde:

- Kontinuitätsgesetz
- Impulssatz
- Energiesatz (Bernoulli Gleichung)
- Fließgesetz nach Gaukler-Manning–Strickler

Das **Kontinuitätsgesetz** (Formel 22) ist das Gesetz von der Erhaltung der Masse bei Flüssigkeitsströmungen. Es besagt, dass die zeitliche Änderung der Masse eines materiellen Volumens Null ist; d.h. die Masse kann weder erzeugt noch vernichtet werden.
Bei Übertragung des Kontinuitätsgesetzes auf eine Stromröhre (Abb. 56), lässt sich folgende Formel ableiten:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = Q \qquad \text{(Formel 22)}$$

Die Wassermenge pro Zeiteinheit, die durch die Stirnfläche A_1 mit der Fließgeschwindigkeit v_1 in die Stromröhre fließt, muss durch die Stirnfläche A_2 mit der Fließgeschwindigkeit v_2 wieder heraus fließen.

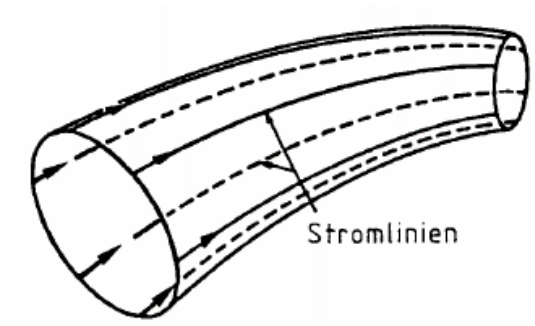


Abb. 56: Stromröhre (BRONSTERT, 2002)

Die Kontinuitätsgleichung für einen Fließgewässerabschnitt S (Formel 23) von Querschnitt 1 bis 2 unterscheidet sich von jener für eine Stromröhre durch die Tatsache, dass durch die freie Oberfläche des Fließgewässers eine Speicherung des Wassers möglich ist, indem sich eine Änderung im Wasserspiegel einstellt (BRONSTERT, 2002).

$$\frac{dS}{dt} = Q_1 - Q_2 = A_1 \cdot v_1 - A_2 \cdot v_2 \qquad \text{(Formel 23)}$$

Der **Impulssatz** (Formel 25) besagt, dass die zeitliche Änderung des Impulses I (Formel 24) eines materiellen Volumens gleich der Summe der am Volumen angreifenden Kräfte ist.

$$I = m \cdot v \qquad \text{(Formel 24)}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = m \cdot \frac{dv}{dt} = \sum F \qquad \text{(Formel 25)}$$

Im Fall einer Stromröhre basiert die Impulsänderung auf dem Massenfluss durch die Stirnflächen A_1 und A_2. Aufgrund des Kontinuitätsgesetzes ist der eintretende gleich dem austretenden Massenstrom. Wegen der unterschiedlichen Fließ-geschwindigkeiten v_1 uns v_2 in den Stirnflächen ergibt sich jedoch eine Differenz der Impulsströme zwischen Stirnfläche A_1 und A_2 (Formel 26).

$$\frac{dI}{dt} = \frac{dI_2 - dI_1}{dt} = \rho \cdot Q \cdot (v_2 - v_1) = P_1 + P_2 + F_G + F_M \qquad \text{(Formel 26)}$$

Unter einigen Annahmen kann der Impulssatz (Formel 27) auch auf einen Fließgewässerabschnitt S übertragen werden (Abb. 57):

- Die Strömung ist eindimensional.
- Über den Querschnitt ist die Fließgeschwindigkeit gleichmäßig verteilt.
- Nach dem Prinzip der hydrostatischen Druckverteilung nimmt der Druck mit der Tiefe linear zu.
- Innerhalb des Fließgewässerabschnitts variiert die Querschnittsfläche nicht.
- Der Winkel α, mit dem der Abschnitt gegenüber der Horizontalen geneigt ist, ist so klein, dass $sin\alpha \approx tan\alpha$ gilt und anstelle der Abschnittslänge ds die horizontale Projektion dx angenommen werden kann (BRONSTERT, 2002).

$$m = \frac{dv}{dt} = P - \left(P + \frac{dP}{ds} ds \right) - F_R + F_G \cdot \sin\alpha \qquad \text{(Formel 27)}$$

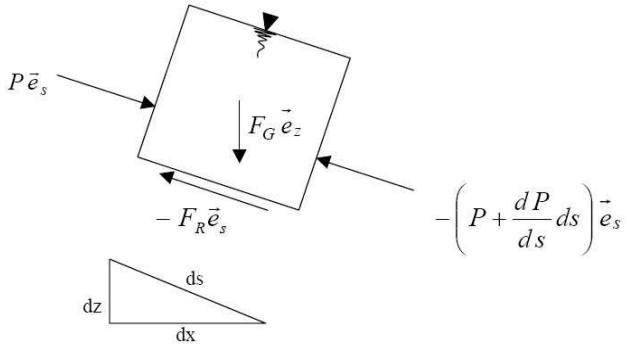


Abb. 57: Ableitung des Impulssatzes anhand der Kräfteverhältnisse in einem Fließgewässerabschnitt (BRONSTERT, 2002)

Bei Vereinfachung ergibt sich folgender Impulssatz:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + g \cdot \left(I_W + I_E - I_S \right) \qquad \text{(Formel 28)}$$

Durch Integration entlang einer Stromlinie bzw. eines Fließgewässerabschnittes von Querschnitt 1 bis 2 lässt sich der **Energiesatz** für isotherme Strömungen ableiten. Für instationäre Verhältnisse lautet die **Bernoulli Gleichung**:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial v}{\partial t} dx + \left(\frac{{v_2}^2}{2g} + h_2 + z_2 \right) - \left(\frac{{v_1}^2}{2g} + h_1 + z_1 \right) = -\int_{x_1}^{x_2} I_E \, dx = -h_{V1-2} \qquad \text{(Formel 29)}$$

Sie setzt sich aus verschiedenen Energieanteilen (Energiehöhen) zusammen:

- Geschwindigkeitshöhe: $\frac{v^2}{2g}$
- Druckhöhe: h
- Geodätische Höhe: z
- Verlusthöhe: $h_V = \int_{x_1}^{x_2} I_E \, dx$

Die stationäre Bernoulli Gleichung lautet:

$$\left(\frac{{v_2}^2}{2g} + h_2 + z_2 \right) - \left(\frac{{v_1}^2}{2g} + h_1 + z_1 \right) = -h_{V1-2} \qquad \text{(Formel 30)}$$

Das **Fließgesetz nach Gaukler-Manning-Strickler** (Formel 31) findet seinen Ursprung in einer Formel, die GAUKLER (1868) und MANNING (1891) unabhängig voneinander aus Messungen abgeleitet haben. In Abhängigkeit des verwendeten Beiwerts wird die Formel entweder *Gaukler-Strickler-Formel* (Stricklerbeiwert k_{St}) oder *Manningformel* (Manningwert n) genannt (BRONSTERT, 2002).

Eingangsdaten zur Berechnung des Abflusses sind die durchflossene Querschnittsfläche A [m²], der Stricklerbeiwert k_{St} [$m^{1/3}$ s^{-1}] bzw. der Manningwert n [$s\ m^{-1/3}$], der hydraulische Radius R [m] und das Energieliniengefälle I_E [$m\ m^{-1}$] (BOLLRICH, 2007).

$$Q = A \cdot k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot {I_E}^{1/2} = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot {I_E}^{1/2} \qquad [m^3\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 31)}$$

Der Stricklerbeiwert k_{St} kann nach GARBRECHT (1961) wie folgt berechnet werden:

$$k_{St} = \frac{26}{k^{1/6}} \qquad [m^{1/3}\ s^{-1}] \qquad \text{(Formel 32)}$$

Anstelle der Eingangsgröße k [m], welche die absolute Rauheit der Gerinnewand darstellt, kann bei sandigen oder kiesigen offenen Gerinnen der maßgebende Korndurchmesser D_m [m] angesetzt werden (BOLLRICH, 2007).

4.5.2 Hydraulisches Modell

Die verwendete Software HEC-RAS© (River Analysis System), Version 3.1.3 ist ein eindimensionales, numerisches Wasserspiegellagenmodell, welches am *Hydrologic Engineering Center, Davis* vom *US Army Corps of Engineers* entwickelt wurde. Es handelt sich um eine Freeware mit dem Betriebssystem Windows.

In einer eindimensionalen hydraulischen Spiegellagenberechnung wird jedem Profil eine Spiegelhöhe und eine Fließgeschwindigkeit zugeordnet. Daher gibt es innerhalb des Querschnitts keine Unterscheidung in Hinblick auf die Geschwindigkeitsverteilung. Die Änderung der Wassertiefe ist eine Funktion des Ortes x und der Zeit t (NACHTNEBEL, 2003).

Das von DONAUCONSULT zur Verfügung gestellte hydraulische Modell ist aus dem Jahr 1992 und wurde als Modellierungsgrundlage verwendet.

4.5.3 Inputdaten für das Modell

Für das hydraulische Modell sind folgende Inputdaten erforderlich (HABERSACK, 2007):

- Daten zum Gerinnesystem und zur Gerinnegeometrie
- Abflussdaten und Informationen zum Abflusszustand
- Daten zur Rauigkeit des gesamten Profils
- Informationen über Einbauten, wie z.B. Brücken
- Daten bzgl. der Wirksamkeit des Abflussraumes
- Energieverlustbeiwerte (Kontraktion, Expansion, Reibungsverluste)
- Angaben bzgl. der Trennfläche zwischen Hauptgerinne und Vorland bzw. Böschung mit Bewuchs und freiem Abflussquerschnitt
- Lage der Grenze zwischen Abflussquerschnitt und Retentionsbereich

4.5.4 Gerinnegeometrie

Die Gerinnegeometrie basiert auf terrestrisch vermessenen Querprofilen (FKM 228.390 bis 167.162) des Gewässerbetts aus dem Jahr 1992. Die Lage der Querprofile wurde so gewählt, dass die hydraulischen Gegebenheiten ausreichend repräsentiert wurden. Alle Querprofile liegen normal zur Fließrichtung. Der mittlere bzw. maximale Profilabstand liegt bei 142 m bzw. 477 m.
Zusätzlich wurden hydraulische Einbauten, wie z.B. Brücken in der Gerinnegeometrie erfasst. Abb. 58 zeigt ein charakteristisches Querprofil mit einer Brücke.

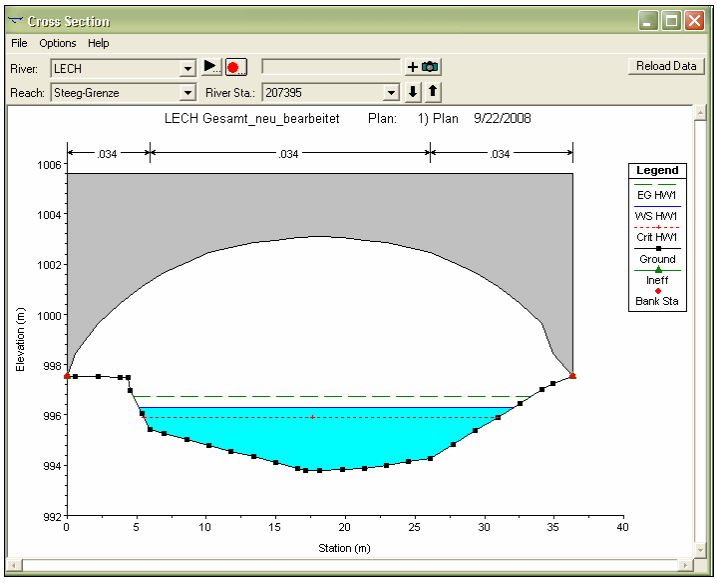


Abb. 58: Schemadarstellung eines Querprofils mit Brücke bei FKM 207.395

Wie in Kapitel 4.1.2.2 erwähnt, wurden nach dem Hochwasser 2005 weitere terrestrische Vermessungen im Flussschlauch durchgeführt. Auf Basis dieser Vermessungen konnte für einen Abschnitt (Prozess 12 - Seitenerosion 9) ein hydraulisches Modell mit der Gerinnegeometrie nach dem Hochwasser erstellt werden. Somit war es möglich, die Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zu vergleichen und diverse Parameter zu analysieren.

In Abb. 59 sind für Prozess 12 *X-Y-Z Perspective Plots* (HEC-RAS©) der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 sowie jener nach dem Hochwasser 2005 mit dem Modellierungsabfluss HQ_{100} dargestellt.

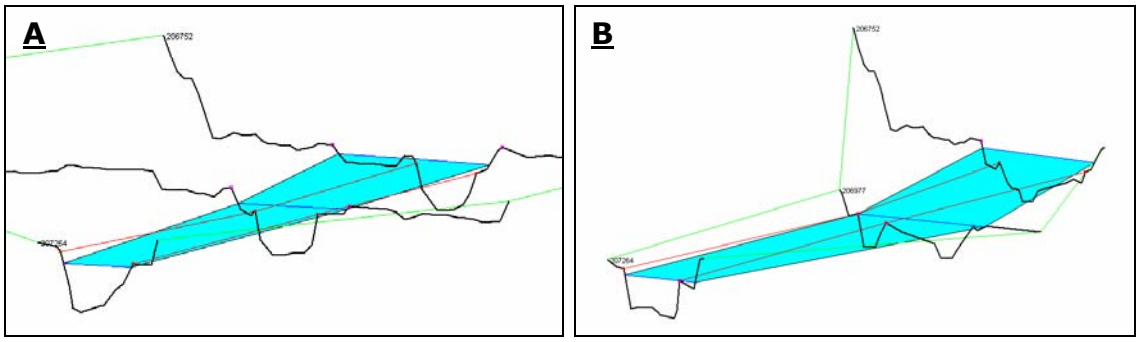


Abb. 59: 3D-Ansicht Prozess 12; Querprofile 207.264, 206.977 und 206.752; Abfluss HQ_{100}; A: Gerinnegeometrie 1992; B: Gerinnegeometrie nach dem Hochwasser 2005

Im Detail zeigt Abb. 60 anhand des Querprofils 206.977 (Prozess 12), wie sich die Gerinnegeometrie durch das Hochwasser 2005 verändert hat.

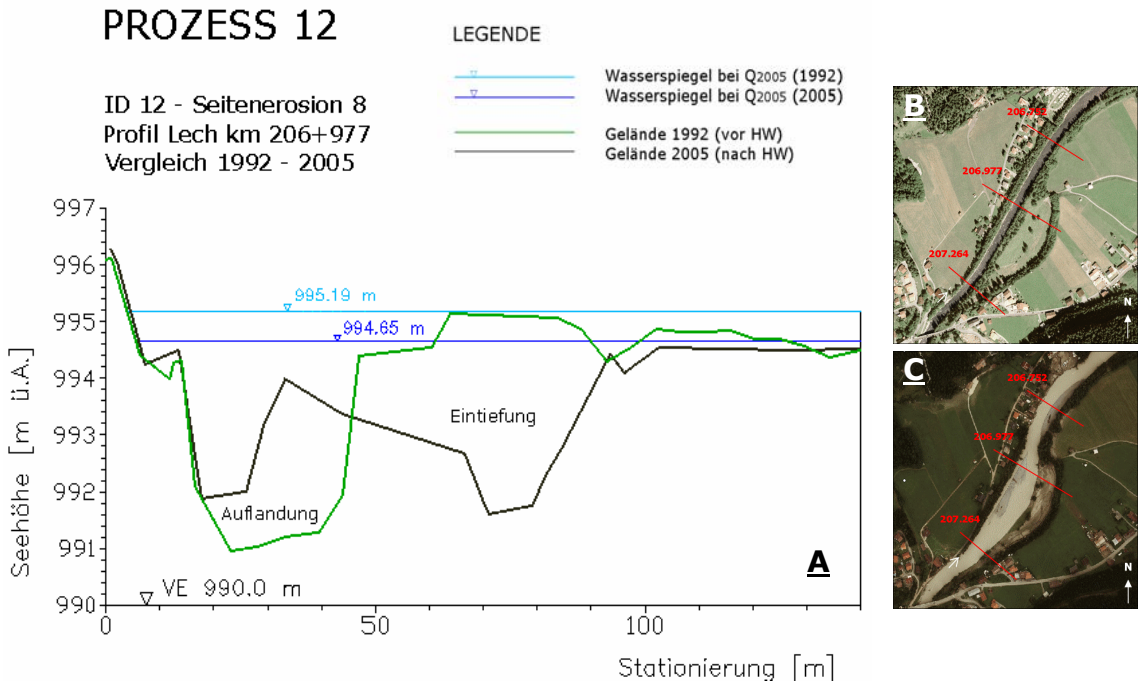


Abb. 60: A: Überlagerung der Gerinnegeometrie 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Prozess 12; Querprofil 206.977; B: Luftbild 2000 (LAND TIROL); C: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

4.5.5 Modellierungsabflüsse und Rauigkeiten

Neben den charakteristischen Modellierungsabflüssen **NQ**, **MQ**, **HQ_1**, **HQ_{30}** und **HQ_{100}** wurden die Abflüsse **Q_{bv}**, **$HQ_{1.5}$** und **Q_{2005}** berechnet.

Der Abfluss Q_{bv} repräsentiert den aktuellen bordvollen Abfluss des Fließgewässers. Er wurde im Zuge einer *Lamellenrechnung*, also einer Berechnung mit stufenweise ansteigenden Durchflüssen, an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten im Untersuchungsgebiet (Prozesse) ermittelt.

Zur Berechnung der Regimebreiten und –tiefen nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) (Kapitel 5.7.1) wird der bordvolle Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers $Q_{bv,NAT}$ benötigt. Da dieser jedoch vielerorts nicht mehr feststellbar ist, kann nach LEOPOLD et al. (1964), KNIGHTON (1999) und GOMEZ et al. (2007) näherungsweise anstelle des Abflusses $Q_{bv,NAT}$ der Abfluss $HQ_{1.5}$ angesetzt werden (Formel 33).

$$Q_{bv,NAT} \approx HQ_{1.5} \qquad \text{(Formel 33)}$$

Da bei $HQ_{1.5}$ nur die an den Pegeln Steeg und Lechaschau registrierten Abflüsse verfügbar waren, wurden die Abflüsse der dazwischen liegenden Querprofile durch stufenweise Interpolation ermittelt (Abb. 61).

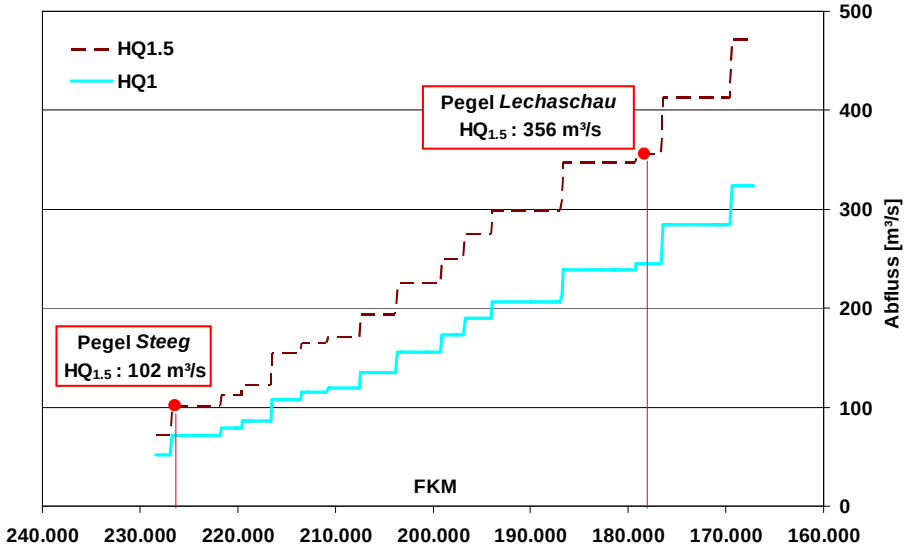


Abb. 61: Ermittlung der Modellierungsabflusses $HQ_{1.5}$

Auch beim Hochwasser-Ereignisabfluss Q_{2005} lagen lediglich an den Pegeln Steeg und Lechaschau aufgezeichnete Abflussdaten vor. Die dazwischen liegenden Abflüsse mussten ebenfalls interpoliert werden. Wie Abb. 62 zeigt, liegt der Ereignisabfluss vom Hochwasser 2005 deutlich über dem Abfluss HQ_{100}.

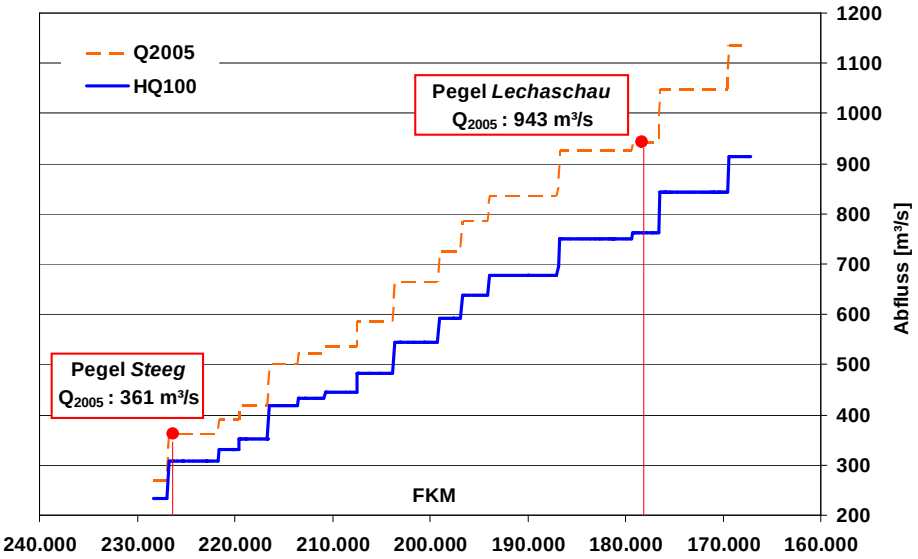


Abb. 62: Ermittlung der Modellierungsabflusses Q_{2005}

In Tab. 8 sind die Modellierungsabflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005} an ausgewählten Querprofilen (228.390, 205.402, 181.089) dargestellt.

Tab. 8: Modellierungsabflüsse

FKM	NQ [m³/s]	MQ [m³/s]	HQ_1 [m³/s]	$HQ_{1.5}$ [m³/s]	Q_{bv} [m³/s]	HQ_{30} [m³/s]	HQ_{100} [m³/s]	Q_{2005} [m³/s]
228.390	1.6	10.0	52.0	72.6	120.0	171.0	234.0	268.0
205.402	4.2	26.0	135.0	194.5	180.0	357.0	483.0	586.1
181.089	7.2	43.0	239.0	347.2	360.0	559.0	749.0	926.4

Die Rauigkeitsbeiwerte des hydraulischen Modells entstammen der Modellkalibrierung von DONAUCONSULT und werden nicht näher angeführt.

4.5.6 Randbedingungen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Randbedingungen des hydraulischen Modells zu definieren:

- bekannter Wasserspiegel
- Energieliniengefälle
- kritische Wassertiefe
- Schlüsselkurve

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde, unter Annahme eines stationären und gleichförmigen Abflusses, die Eingabe des Energieliniengefälles als Randbedingung gewählt.

4.6 Methoden zur Abschätzung des Raumbedarfs

4.6.1 Regimegleichungen

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Regime-Berechnungen entwickelt. Grundsätzlich wird zwischen Ansätzen, die auf empirischen Messungen beruhen, wie die Regimegleichung nach LEOPOLD & MADDOCK (1953) und rationalen Ansätzen, die von physikalischen Theorien abgeleitet werden, wie die Regime-Theorie nach EATON & MILLAR (2004) unterschieden.

Regimegleichungen verfolgen das Ziel flussmorphologische Gleichgewichtszustände auf Basis hydraulischer Input-Daten abzuschätzen. Die errechneten geometrischen Parameter (meist Gerinnebreite, -tiefe und Gefälle) sollen den untersuchten Flussabschnitt im stabilen Zustand repräsentieren. Vorteil der Regimegleichungen ist die einfache Handhabung. Aufgrund der stark variierenden Ansätze ist als Nachteil die breite Streuung der berechneten Parameter zu erwähnen. Dennoch stellen Regimegleichungen eine bewehrte Möglichkeit zur Untersuchung der Stabilität eines Fließgewässers dar.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Regimegleichungen nach SIMONS & ALBERTSON (1963), BRAY (1982) und KELLERHALS (1967) berechnet. Ziel war es, einerseits Abschätzungen bzgl. des minimalen flussmorphologischen Raumbedarf zu erhalten, und andererseits durch den Vergleich morphodynamisch aktiver Prozessstellen mit nicht aktiven Flussabschnitten, Instabilitäten wissenschaftlich zu fundieren.

Grundlage aller Regimeberechnungen war das hydraulische Modell von DONAUCONSULT, das die Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 abbildet (Kapitel 4.5.4).

Regimegleichung nach BRAY (1982)

BRAY (1982) entwickelte seine Regimegleichung auf Basis empirischer Untersuchungen an 23 Flüssen mit kiesigem Flussbett in Großbritannien.
Eingangsparameter ist der bordvolle Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers $Q_{bv,NAT}$ ($\approx HQ_{1.5}$) [m³ s^{-1}] (Kapitel 4.5.5).
Die erhaltenen Parameter sind Gerinnebreite W_B [m] (Formel 34) und Gerinnetiefe D_B [m] (Formel 35) (HABERSACK, 2007).

$$W_B = 3.73 \cdot Q_{bv,NAT}^{\ 0.446} \quad [m] \qquad \text{(Formel 34)}$$

$$D_B = 0.308 \cdot Q_{bv,NAT}^{\ 0.398} \quad [m] \qquad \text{(Formel 35)}$$

Regimegleichung nach KELLERHALS (1967)

Die Regimegleichung nach KELLERHALS (1967) basiert auf empirischen Messungen an 7 Flussabschnitten diverser Flüsse mit kiesigem Flussbett.
Die Gerinnebreite W_K [m] (Formel 36) wird auf Basis des dominanten Abflusses Q_d [m³ s^{-1}] (gerinneformender Abfluss) ermittelt. Da der dominante Abfluss nicht verfügbar war, wurde näherungsweise der bordvolle Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers $Q_{bv,NAT}$ ($\approx HQ_{1.5}$) [m³ s^{-1}] verwendet.
Eingangsdaten zur Ermittlung der Gerinnetiefe D_K [m] (Formel 37) sind ebenfalls Q_d [m³ s^{-1}] sowie der Korndurchmesser D_{90} [mm] (HABERSACK, 2007).

$$W_K = 1.8 \cdot Q_d^{0.5} \approx 1.8 \cdot Q_{bv,NAT}^{0.5} \quad [m] \quad \text{(Formel 36)}$$

$$D_K = 0.166 \cdot Q_d^{0.40} \cdot D_{90}^{0.12} \quad [m] \quad \text{(Formel 37)}$$

Regimegleichung nach SIMONS & ALBERTSON (1963)

Zu den Eingangsparametern der Regimegleichung nach SIMONS & ALBERTSON (1963) zählen der bordvolle Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers $Q_{bv,NAT}$ ($\approx HQ_{1.5}$) [m³ s^{-1}], der hydraulische Radius R [m] und die dimensionslosen Faktoren k_{r1} und k_{r2}, die abhängig von der Sohlbeschaffenheit sind. Bei nicht bindigen, grobkörnigen Sohlmaterial wird bei k_{r1} 1.75 und bei k_{r2} 0.23 angesetzt.

Die gewonnenen geometrischen Parameter sind Gerinnebreite W_{SA} [m] (Formel 38) und Gerinnetiefe D_{SA} [m] (Formel 39 und 40) (HABERSACK, 2007).

$$W_{SA} = 0.9 \cdot k_{r1} \cdot Q_{bv,NAT}^{0.5} \quad [m] \quad \text{(Formel 38)}$$

$$D_{SA} = 1.21 \cdot k_{r2} \cdot Q_{bv,NAT}^{0.36} \quad [m] \quad \text{bei R < 2.134 m} \quad \text{(Formel 39)}$$

$$D_{SA} = 2.0 + 0.93 \cdot k_{r2} \cdot Q_{bv,NAT}^{0.36} \quad [m] \quad \text{bei R > 2.134 m} \quad \text{(Formel 40)}$$

4.6.2 Eigendynamische Aufweitung nach SCHMAUTZ (2003)

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens untersuchte SCHMAUTZ (2003) den Prozess der eigendynamischen Aufweitung eines Fließgewässers. Er entwickelte ein Verfahren zur Abschätzung der, beim Aufweitungsprozess maximal zu erwarteten Gewässerbreite. Als Modellgrundlage wurde ein hydrodynamisch-numerisches Modell (HN-Modell) gewählt; es ermöglichte umfangreiche Parametervariationen. Um die Ergebnisse zu überprüfen, wurde parallel ein Modellversuch an eine Versuchsstrecke mit kohäsionslosem Bettmaterial (Abb. 63, A) durchgeführt.

SCHMAUTZ (2003) kam zu folgenden Erkenntnissen:

- Zunehmender Geschiebeeintrag führt zu höheren Sohllagen und größeren Gewässerbreiten. Außerdem ist bei ausreichender Streckenlänge die maximal zu erreichende Gewässerendbreite unabhängig von der Geschiebeeintragsrate (Abb. 63, B).
- Mit zunehmender Gefällereduktion reduziert sich das Aufweitungspotential des betrachteten Flussabschnittes (HAFNER, 2008).

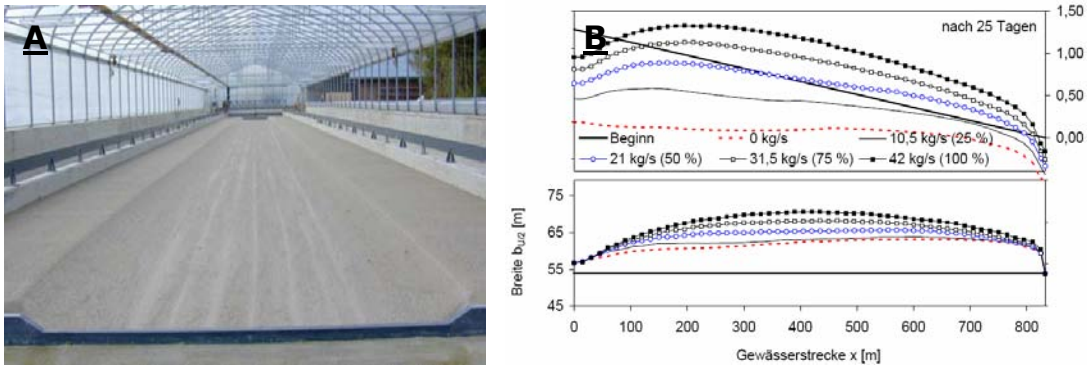


Abb. 63: A: Modellversuch (SCHMAUTZ, 2003); B: Gewässerbreite und Sohllage nach 25 Tagen für die Gewässerstrecke x in Abhängigkeit der Geschiebeeintragsrate (SCHMAUTZ, 2003)

Neben dem aufwändigen Modellversuch entwickelte SCHMAUTZ (2003) ein Handrechenverfahren zur Abschätzung der sich mit eigendynamischer Aufweitung maximal einstellenden Gewässerbreite b*. Für dieses Verfahren wurden folgende Voraussetzungen festgelegt:

- Sämtliche Einflüsse aus Gewässerkrümmungen, Deckschichtbildung und Uferbewuchs spielen eine untergeordnete Rolle.
- Die Bildung von Bänken und Flussverzweigungen ist nicht zu erwarten (SCHMAUTZ, 2003).

Abb. 64 gibt einen Überblick über den Berechnungsablauf des Handrechenverfahrens und dessen Ausgangssituation.

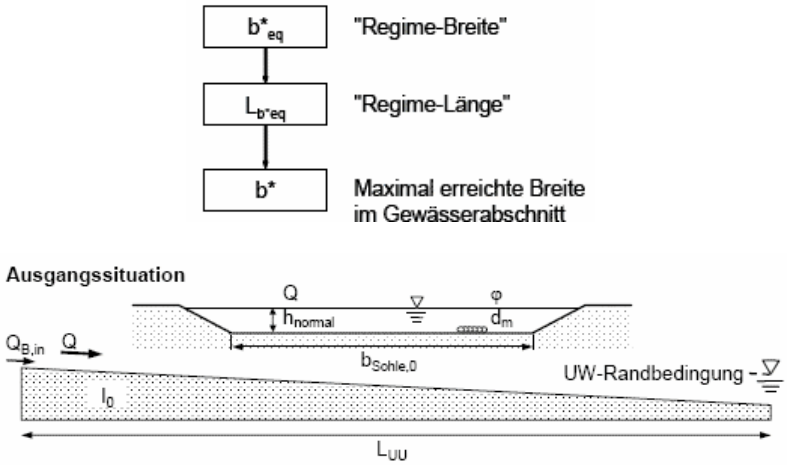


Abb. 64: Berechnungsablauf und Ausgangssituation zur Abschätzung der maximalen Gerinnebreite nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008)

Zu den Eingangsgrößen gehören Abfluss Q [m^3/s], Ausgangssohlgefälle I_0 [%], Stricklerbeiwert k_{St} [$m^{1/3}$ s^{-1}], Wasserdichte ρ_W [kg m^{-3}], maßgebender Korndurchmesser D_m [mm] und Feststoffdichte ρ_S des Geschiebes [kg m^{-3}].

Im ersten Berechnungsschritt wurde die Regime-Breite b^*_{eq} [m] (Formel 41) ermittelt. Die Regime-Breite ist ein Referenzwert, der in der Natur nur dann auftritt, wenn sich das Fließgewässer im Gleichgewichtszustand (*Regime*) befindet.
Ein bedeutender Eingangsparameter zur Ermittlung der Regime-Breite b^*_{eq} ist der, über die Sohlbreite gemittelte Shields-Parameter $\theta_{m,U}$ (Formel 43), der vom kritischen Shields-Parameter θ_{crit}, von einer dimensionslosen Konstante k_2 aus der Geschiebetransportformel nach MPM, sowie vom Parameter f_U abhängt. Der Parameter f_U (Formel 44) beschreibt das Verhältnis von effektiven (transportwirksamen) Shields-Parameter $\theta'_{m,U}$ (Formel 45) und kritischen Shields-Parameter θ_{crit}. Er gibt an, um welchen Faktor die Bettbelastung im Sohlbereich über dem für den Transportbeginn kritischen Wert liegen darf, sodass im Böschungsbereich gerade kein Transport und somit auch keine weitere Aufweitung mehr stattfindet.
Auf Basis dieses Parameters wurden von SCHMAUTZ (2003) zahlreiche Gewässergeometrien nach Erreichen einer stabilen Breite ausgewertet (Abb. 65) (HAFNER, 2008).

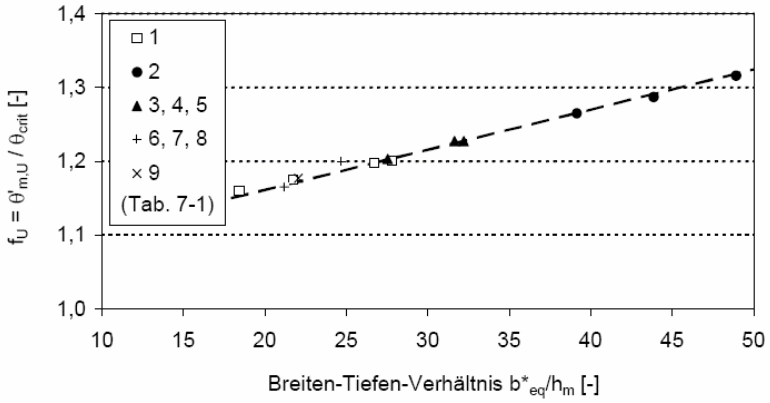


Abb. 65: Parameter f_U in Abhängigkeit des Breiten-Tiefen-Verhältnisses b^*_{eq}/h_m. Auswertung verschiedener Gewässergeometrien nach Erreichen einer stabilen Breite nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008)

Die Auswertungsergebnisse von SCHMAUTZ (2003) zeigen, dass der Parameter f_U maßgeblich vom Breiten-Tiefen-Verhältnis b^*_{eq}/h_m abhängt. Eine stabile Gewässerbreite ergibt sich demnach, wenn einerseits der effektive Shields-Parameter $\theta'_{m,U}$ im Sohlbereich in Abhängigkeit vom Breiten-Tiefen-Verhältnis b^*_{eq}/h_m eine bestimmte Größe annimmt, und andererseits das Breiten-Tiefen-Verhältnis b^*_{eq}/h_m die Abführung des Abflusses zulässt.
Auf Basis dieser Bedingungen (*Stabilitäts-, und Abflussbedingung*) wurde die Gleichung zur Ermittlung der Regime-Breite b^*_{eq} (Formel 41) abgeleitet.

$$b^*_{eq} \approx \frac{1.04 \cdot Q \cdot {I_0}^{7/6}}{k_{St} \cdot \rho'^{5/3} \cdot {D_m}^{5/3} \cdot {\theta_{m,U}}^{5/3}} \quad [\text{m}] \quad \text{(Formel 41)}$$

$$\rho' = \frac{(\rho_S - \rho_W)}{\rho_W} \quad [-] \quad \text{(Formel 42)}$$

$$\theta_{m,U} = f_U \frac{\theta_{crit}}{k_2} \quad [-] \quad \text{(Formel 43)}$$

$$f_U = \frac{\theta'_{m,U}}{\theta_{crit}} \quad [-] \quad \text{(Formel 44)}$$

$$\theta'_{m,U} = k_2 \cdot \theta_{m,U} \quad [-] \quad \text{(Formel 45)}$$

Der zweite Berechnungsschritt sah die Ermittlung der Regime-Länge L_{b^*eq} [m] (Formel 46) vor. Die Regime-Länge ist ein Maß für die Länge, die die Aufweitungsstrecke mindestens haben muss, damit die zuvor berechnete Regime-Breite b^*_{eq} beim eigendynamischen Aufweitungsprozess erreicht werden kann.

Für eine Gewässerstrecke ohne Geschiebeeintrag entspricht die Regime-Länge L_{b*eq} 33 bis 36 x der Regime-Breite $b*_{eq}$. Gewählt wurde ein Multiplikationsfaktor von 35.

$$L_{b*eq} = 35 \cdot b*_{eq} \quad [m] \quad \text{(Formel 46)}$$

Im letzten Berechnungsschritt wurde die tatsächlich erreichte, maximale Gewässerbreite b* [m] (Formel 47), auf Basis der zuvor ermittelten Regimegrößen und der tatsächlich vorhandenen Länge mit rückgebauten Ufern L_{UU} [m] ermittelt (HAFNER, 2008).

$$\frac{(b*-b_0)}{(b*_{eq}-b_0)} = \frac{L_{UU}}{L_{b*eq}} \leq 1.0 \quad [m] \quad \text{(Formel 47)}$$

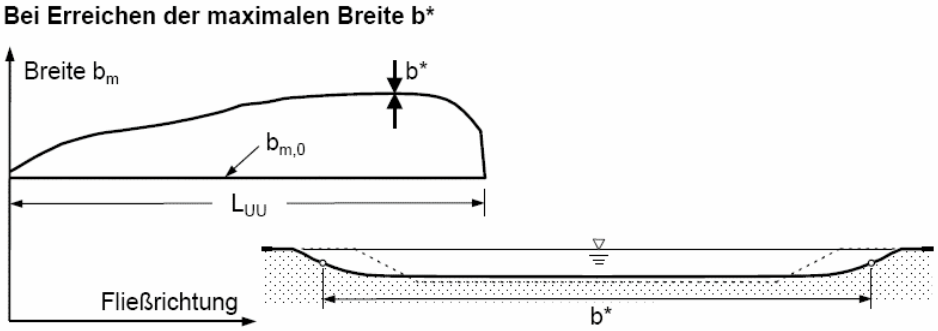


Abb. 66: Maximale Gewässerbreite b* nach SCHMAUTZ (2003); Abbildung in HAFNER (2008)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Handrechenverfahren nach SCHMAUTZ (2003) auf die im Untersuchungsgebiet liegenden morphodynamischen Prozessstellen übertragen. Da eine Verfahrens-Voraussetzung die Bildung von Bänken und Flussverzweigungen nicht erlaubt, wurden die Prozessarten *Umlagerung* und *Verwerfung* aus den Untersuchungen ausgeschlossen. Untersucht wurden somit die Prozesse 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13 und 14.

5 Ergebnisse

5.1 Anwendung des River Scaling Concept (RSC)

Mit dem Ziel morphodynamische Prozesse aufgrund des Hochwassers ganzheitlich zu erfassen, wurde das gegenständliche Untersuchungsgebiet auf den 5 Ebenen des RSC (kontinental/regional, Einzugsgebiet, sektional, lokal und punktuell) betrachtet. Das Augenmerk lag dabei auf abiotischen Systemkomponenten.

Die hierarchisch oberste Ebene mit einer räumlichen Auflösung von > 1000 km ist die **kontinental/regionale Ebene**. Morphodynamische Prozesse dieser Ebene sind entweder tektonisch und geologisch bedingt oder Folge klimatischer Veränderungen (Habersack et al., 2000).
Im konkreten Fall wurden in der kontinentalen Ebene Systemkomponenten, wie die Gebirgsbildung der *Österreichischen Alpen* (Kapitel 2.5) (Abb. 67) betrachtet. Gegenstand der regionalen Ebene sind Komponenten, wie die Entstehung der Flusslandschaften in der Region *Tirol/Außerfern* (Kapitel 2.4) (Abb. 68).

Abb. 67: Kontinentale Ebene im RSC – Österreich/Alpen (GOTTERBARM, 2009; mod. durch WAGNER)

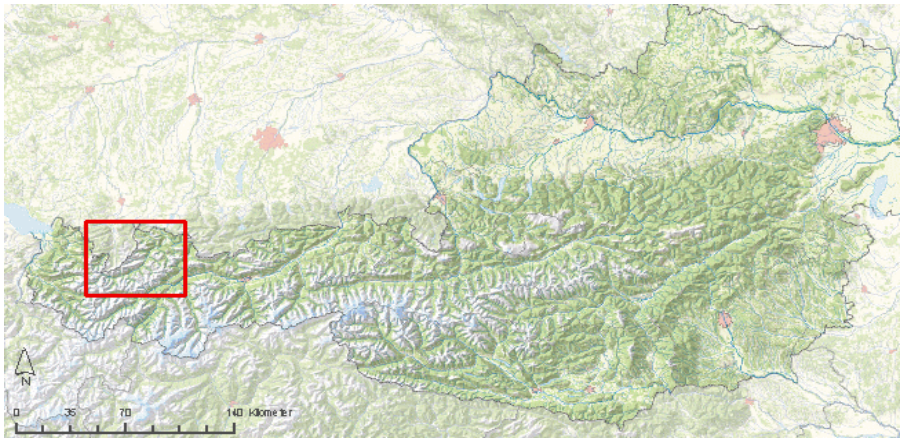


Abb. 68: Regionale Ebene im RSC – Tirol/Außerfern (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

Die hierarchisch darunter liegende Ebene ist die **Einzugsgebietsebene** mit einer räumlichen Auflösung von 100 - 10000 km. Das gegenständliche Einzugsgebiet, auf dessen Basis z.B. Boden und Bodenbedeckung (Kapitel 2.6) sowie Flora und Fauna (Kapitel 2.7) untersucht wurden, erstreckt sich vom Ursprung des Lech in Vorarlberg flussab bis zur Marktgemeinde Reutte in Tirol (Abb. 69, A).

Mit Hilfe eines DGM war es möglich, das gesamte Einzugsgebiet in **Subeinzugsgebiete** (Abb. 69, B). zu gliedern. Auf Basis dieser Subeinzugsgebiete können konkrete Schlüsselstellen und –variablen, wie z.B. Bereiche mit erhöhter Geschiebezufuhr oder -mobilisation abgeleitet und untersucht werden (HABERSACK et al., 2000).

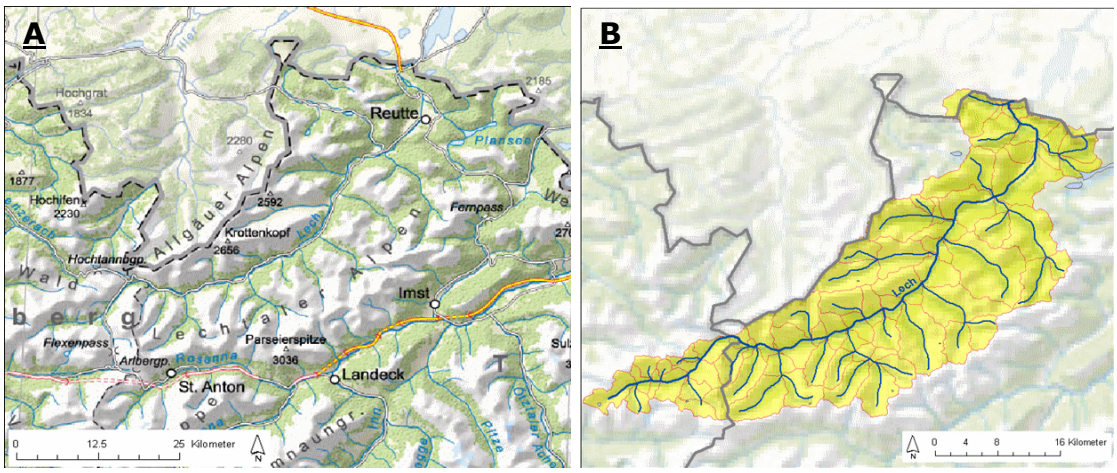


Abb. 69: A: Einzugsgebietsebene im RSC – Tiroler Lechtal/ Allgäuer und Lechtaler Alpen (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008); B: Subeinzugsgebietsebene im RSC – Österreichischer Lech (Kartengrundlage: FÜRST; HAÖ, 2007; mod. durch WAGNER, 2008)

Basierend auf den Informationen aus der darüber liegenden Ebene wurden in der **sektionalen Ebene** Flussabschnitte mit einer Länge von ca. 1 - 100 km

untersucht. Neben der Analyse des Feststoffhaushaltes (z.B. Untersuchung von Auflandungen, Eintiefungen und Entwicklung von Kiesbänken) können auch Besonderheiten im Längenschnitt (Abb. 70, A), wie z.B. Knickpunkte analysiert werden (HABERSACK et al., 2000).
In der vorliegenden Arbeit wurden auf Basis der sektionalen Ebene Parameter des Längenschnitts, wie die Längsprofilentwicklung (Kapitel 5.5.1.1) untersucht.

Charakteristische morphodynamische Prozesse der **lokalen Ebene** (Abb. 70, B), die eine räumliche Auflösung von 0.01 - 1 km hat, sind z.B. Umlagerungen und Verwerfungen (HABERSACK et al., 2000).
Die morphodynamischen Prozesse der gegenständlichen Arbeit wurden auf Basis der lokalen Ebene ausgewiesen (Kapitel 5.1).

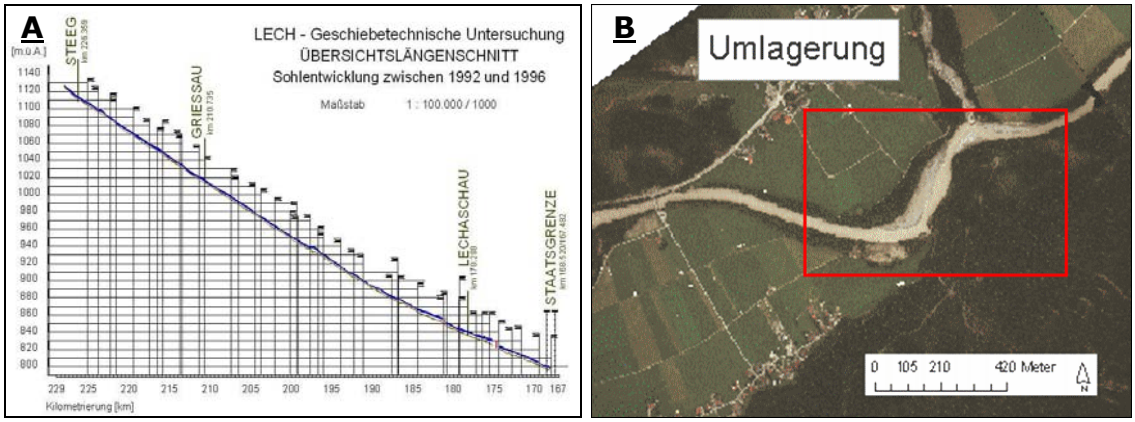


Abb. 70: A: Sektionale Ebene im RSC – Geschiebetechnische Untersuchung/Längenschnitt (DONAUCONSULT, 2001; mod. durch WAGNER); B: Lokale Ebene im RSC – Umlagerung (FKM 214.0 – 213.5) (LAND TIROL; mod. durch WAGNER)

Die **Punktebene** ist die hierarchisch unterste Ebene im RSC. Die räumliche Auflösung ist auf sehr kleine Flächen begrenzt und liegt bei 0.0001 - 0.01 km (10 cm - 10 m).
Die morphodynamischen Prozesse dieser Ebene werden durch kleinmaßstäbliches Monitoring von Stellen im Flussbett festgelegt. Der kleinste zu untersuchende Prozess ist der Bewegungsbeginn eines individuellen Korns, der beim Überschreiten der kritischen Sohlschubspannung τ_{crit} einsetzt (Abb. 71). In dieser Ebene dominieren deterministische Messmethoden (HABERSACK et al., 2000).

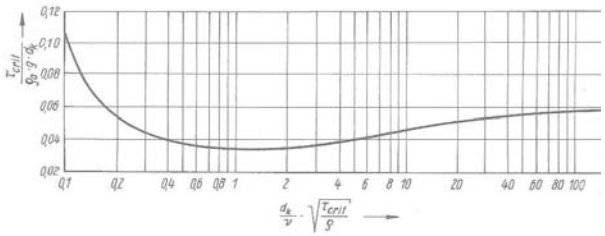


Abb. 71: Punktebene im RSC – Bewegungsbeginn nach SHIELDS (1936)

5.2 Ausweisung morphodynamischer Prozesse

Mit dem Programm ArcGIS© wurden Luftbilder während bzw. kurz nach dem Hochwasser 2005 mit jenen aus dem Jahr 2000 überlagert. Der direkte Vergleich der Gerinnegrundrissform ermöglichte es, den untersuchten Gewässerabschnitt auf das Auftreten der Prozessgruppen Tiefenerosion, Seitenerosion, Migration, Verwerfung und Umlagerung, die in Kapitel 3.2.2 definiert wurden, zu überprüfen.

Insgesamt konnten, auf Basis der lokalen Ebene des RSC (Kapitel 5.1) **14 morphodynamische Prozesse** infolge des Hochwassers ausgewiesen werden. Die Prozesse unterteilen sich in 10 Seitenerosionen, 3 Umlagerungen und 1 Verwerfung.
Die Prozessgruppe Migration konnte im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden. Da die Prozesse auf Basis von Luftbildern ausgewiesen wurden, konnte eine möglicherweise aufgetretene Tiefenerosion nicht erhoben werden.

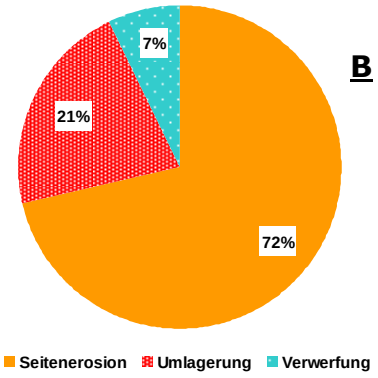
Statistisch betrachtet, konnte an ca. 5 von 49 untersuchten Flusskilometern morphodynamische Aktivität nachgewiesen werden. Das entspricht in etwa 10 % des untersuchten Flussschlauchs (Tab. 9).

Tab. 9: A: Prozesslängen und prozentueller Anteil am gesamten Untersuchungsgebiet; B: Aufteilung der morphodynamischen Prozesse auf die Prozessgruppen *Seitenerosion*, *Umlagerung* und *Verwerfung*

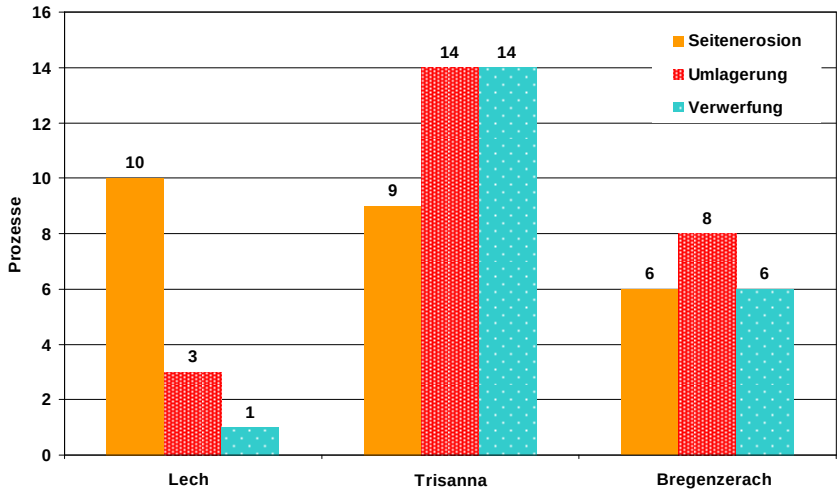
A

ID	Prozess	Flusskilometer	Länge [km]	Prozentueller Anteil am gesamten Untersuchungsgebiet
1	Seitenerosion 1	229.8 - 229.6	0.200	0.41%
2	Seitenerosion 2	229.5 - 229.4	0.100	0.20%
3	Verwerfung 1	229.3 - 228.9	0.400	0.82%
4	Seitenerosion 3	227.8 - 227.7	0.100	0.20%
5	Seitenerosion 4	224.4 - 224.3	0.100	0.20%
6	Umlagerung 1	222.3 - 222.2	0.100	0.20%
7	Umlagerung 2	220.5	0.200	0.41%
8	Seitenerosion 5	216.5 - 215.8	0.700	1.43%
9	Umlagerung 3	214.0 - 213.5	0.500	1.02%
10	Seitenerosion 6	212.7 - 211.9	0.800	1.63%
11	Seitenerosion 7	210.5	0.300	0.61%
12	Seitenerosion 8	207.3 - 206.7	0.600	1.22%
13	Seitenerosion 9	203.3 - 202.8	0.500	1.02%
14	Seitenerosion 10	200.3 - 199.8	0.500	1.02%
	Summe Prozesse	-	5.100	10.41%
	gesamtes Untersuchungsgebiet	230.0 - 181.0	49.000	100.00%

B



Obwohl das Untersuchungsgebiet mit 49 km am größten war, traten am Lech im Bezug zu anderen, vom Hochwasser 2005 betroffenen Flüssen, am wenigsten morphodynamische Prozesse auf. Insbesondere die Anzahl an Verwerfungen lag stark unter dem Durchschnitt (Abb. 72).



	Untersuchungsgebiet FKM	Länge [km]	Seitenerosion		Umlagerung		Verwerfung		Summe Prozesse	
			Anzahl	Proz. Anteil	Anzahl	Proz. Anteil	Anzahl	Proz. Anteil	Anzahl	Proz. Anteil
Lech	230.0 - 181.0	49.0	10	71%	3	21%	1	7%	14	100%
Trisanna	34.7 - 0.3	34.4	9	24%	14	38%	14	38%	37	100%
Bregenzerach	57.9 - 28.5	29.4	6	30%	8	40%	6	30%	20	100%

Abb. 72: Gegenüberstellung morphodynamischer Prozesse an Lech, Trisanna und Bregenzerach

Die am oberen Ende des untersuchten Flussschlauchs aufgetretenen Prozesse 1 (Seitenerosion 1), 2 (Seitenerosion 2) und 3 (Verwerfung 1) lagen außerhalb des terrestrischen Vermessungsbereichs und wurden daher im hydraulischen Modell von DONAUCONSULT nicht abgebildet. Aus diesem Grund konnten sie auch keiner quantitativen Analyse (hydraulischen Berechnung) unterzogen werden. Eine qualitative Analyse auf Basis von historischen Karten und Luftbildern war jedoch möglich.

5.3 Ausweisung morphodynamisch nicht aktiver Fluss-abschnitte

Die zwischen den Prozessen liegenden Abschnitte wurden als **morphodynamisch nicht aktive Flussabschnitte** ausgewiesen. Neben den 14 Prozessen stellen sie eine wichtige Grundlage für die folgenden Analysen dar.

Bei der historischen Analyse der Gerinnegrundrissform (Kapitel 5.4.1) konnten nicht alle, zwischen den Prozessen befindenden morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte qualitativ und quantitativ analysiert werden. Daher wurden speziell für diese Analysen 3 repräsentative Flussabschnitte (**Vergleichsstrecken**) definiert, die sich einerseits durch keine morphodynamische Aktivität auszeichnen und bei denen andererseits die erforderliche Datenbasis vorhanden war.

In weiterer Folge werden alle erhobenen Prozesse und festgelegten Vergleichs-strecken angeführt. Ihre Lage im Untersuchungsgebiet ist in Abb. 90 ersichtlich.

Abb. 73: Prozess 1 – Seitenerosion 1; FKM 229.8 – 229.6; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 74: Prozess 2 – Seitenerosion 2; FKM 229.5 – 229.4; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

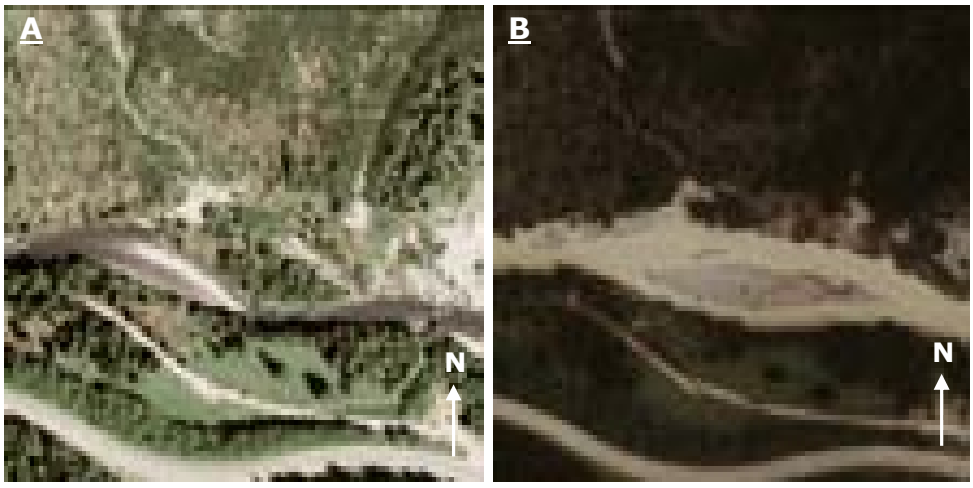


Abb. 75: Prozess 3 – Verwerfung 1; FKM 229.3 - 228.9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 76: Prozess 4 – Seitenerosion 3; FKM 227.8 – 227.7; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 77: Prozess 5 – Seitenerosion 4; FKM 224.4 – 224.3; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

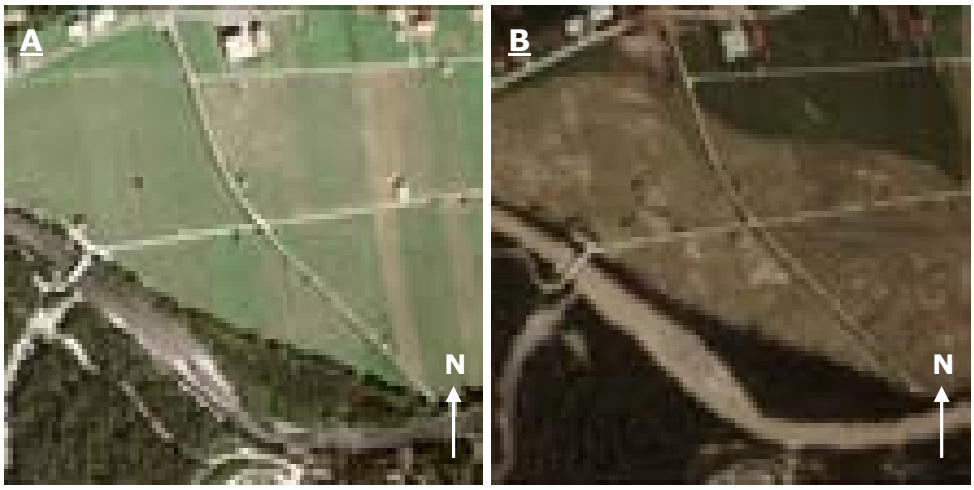


Abb. 78: Prozess 6 – Umlagerung 1; FKM 222.3 – 222.2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 79: Prozess 7 – Umlagerung 2; FKM 220.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

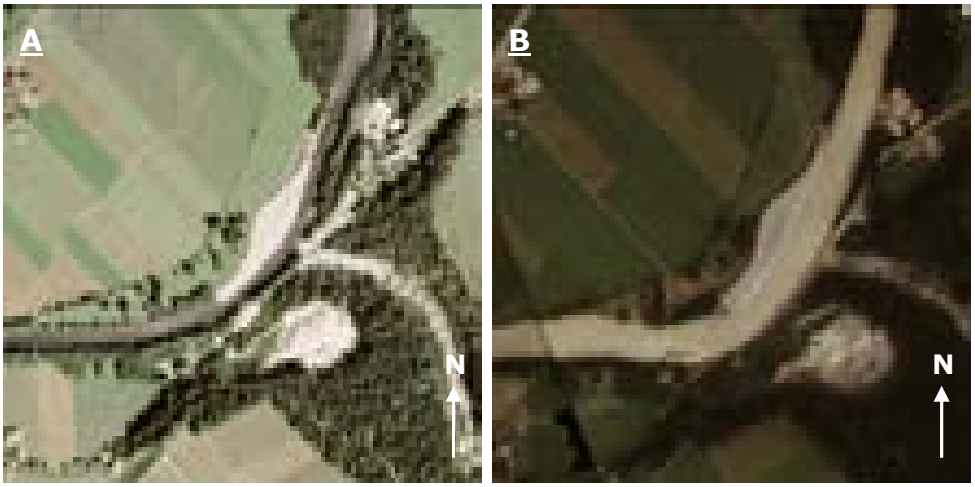


Abb. 80: Prozess 8 – Seitenerosion 5; FKM 216.5 – 215.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

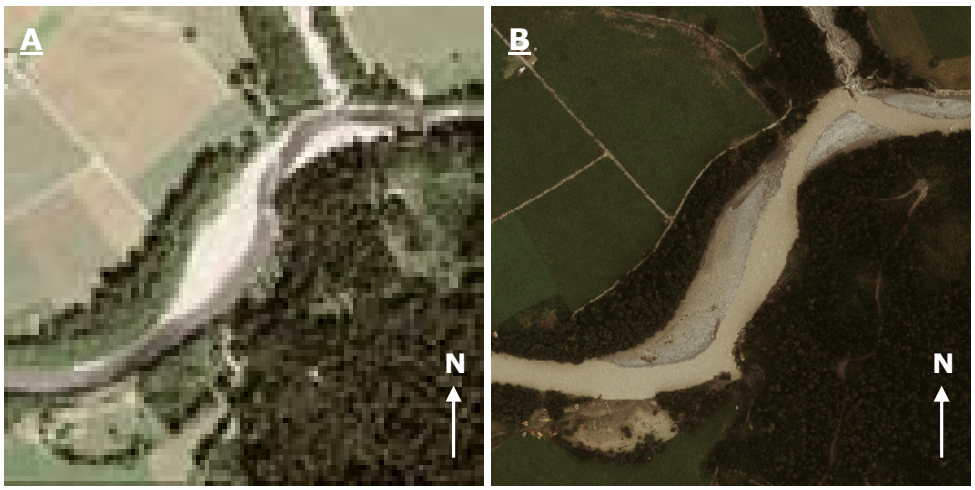


Abb. 81: Prozess 9 – Umlagerung 3; FKM 214.0 – 213.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 82: Prozess 10 – Seitenerosion 6; FKM 212.7 – 211.9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 83: Prozess 11 – Seitenerosion 7; FKM 210.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 84: Prozess 12 – Seitenerosion 8; FKM 207.3 – 206.7; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 85: Prozess 13 – Seitenerosion 9; FKM 203.3 – 202.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

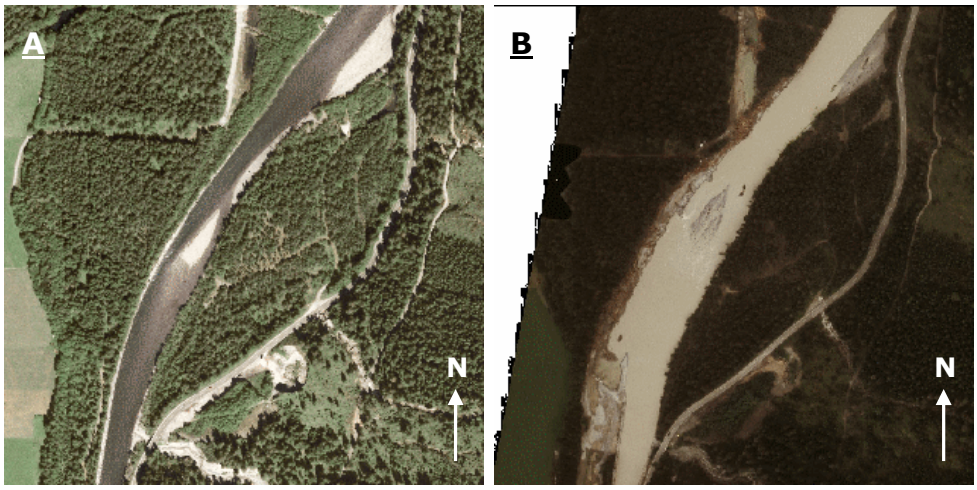


Abb. 86: Prozess 14 – Seitenerosion 10; FKM 200.3 – 199.8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 87: Vergleichsstrecke 1; FKM 219.0 – 218.0; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

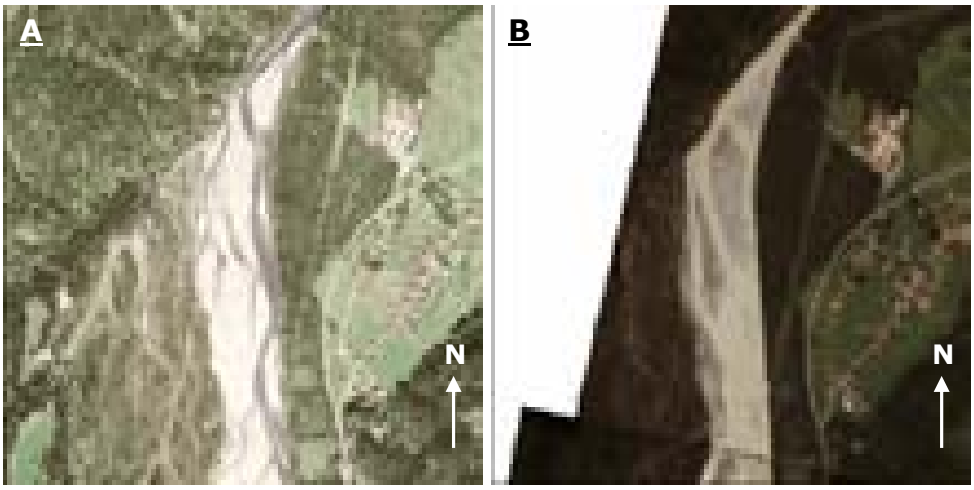


Abb. 88: Vergleichsstrecke 2; FKM 193.0 – 192.0; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

Abb. 89: Vergleichsstrecke 3; FKM 186.5 – 185.5; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL)

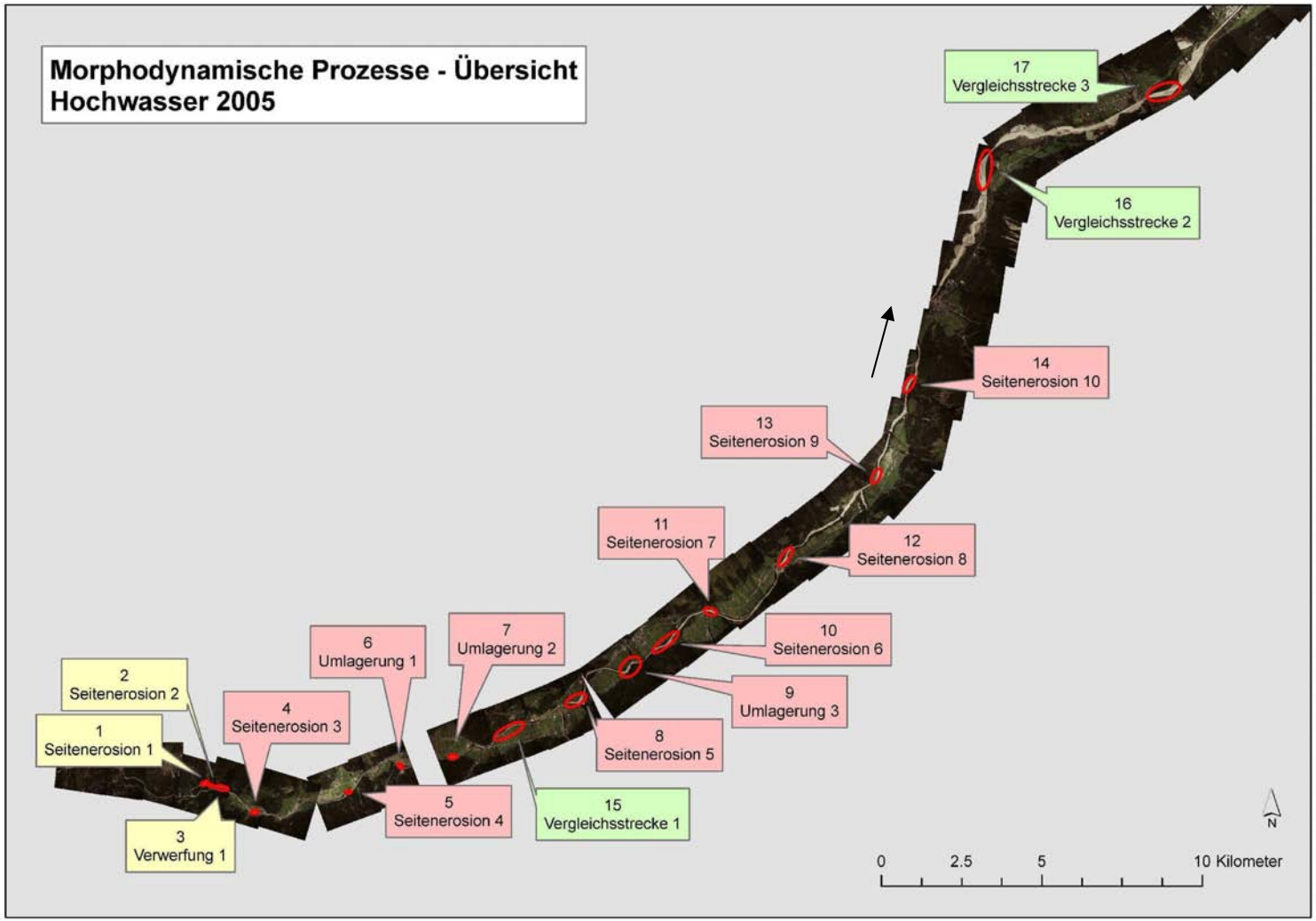


Abb. 90: Morphodynamische Prozesse und morphodynamisch nicht aktive Vergleichsstrecken im Untersuchungsgebiet; Luftbilder: LAND TIROL; mod. durch WAGNER

5.4 Historische Analyse

Die historische Analyse umfasst einerseits eine qualitative Analyse, bei der Veränderungen der Gerinnegrundrissform an ausgewählten Flussabschnitten beschrieben werden, und andererseits quantitative Analysen der Parameter Lauflänge, Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung sowie Umlagerungsbreite.

5.4.1 Qualitative Analyse der Gerinnegrundrissform

Veränderungen der Gerinneform können in einem relativ kurzen Zeitraum durch anthropogene Eingriffe, wie z.B. Flussbegradigungen entstehen, sie können im Zuge eines einzigen Hochwasserereignisses auftreten, aber auch Folge einer langfristigen, natürlichen Entwicklung der Flusslandschaft sein.

Die folgende historische Analyse konzentriert sich auf die Entwicklung der Gerinnegrundrissform an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten (Prozesse) sowie nicht aktiven Abschnitten (Vergleichsstrecken) im Untersuchungsgebiet. Das zeitliche Analysefenster liegt bei 136 Jahren (1869 - 2005). Nach PETTS (1989) fanden in diesem Zeitraum die meisten anthropogenen Eingriffe in Fließgewässer statt.

Untersucht wurden folgende Flussabschnitte:

- Prozess 2 (Seitenerosion 2); FKM 229.5 - 229.4
- Prozess 3 (Verwerfung 1); FKM 229.3 - 228.9
- Prozess 6 (Umlagerung 1); FKM 222.3 - 222.15
- Prozess 11 (Seitenerosion 7); FKM 210.5
- Prozess 12 (Seitenerosion 8); FKM 207.3 - 206.7
- Vergleichsstrecke 2; FKM 203.3 - 202.8

Um die Entwicklung der Gerinnegrundrissform besser zu veranschaulichen, wurden die vorherrschenden Landbedeckungen bzw. -nutzungen auf Basis der Luftbilder in Kategorien eingeteilt (Abb. 91).

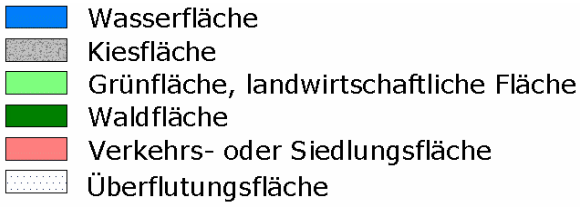


Abb. 91: Landbedeckungs- bzw. Landnutzungskategorien

Bei Steeg hat sich der Lech tief in das Tal eingeschnitten. Die Talform ist ein Kerbtal. Der ursprünglich morphologische Flusstyp nach MUHAR et al. (2004) ist *gestreckt*.
Der Ausschnitt aus den historischen Karten der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (Abb. 92) zeigt ebenfalls einen gestreckten Flussverlauf mit einer mittleren Umlagerungsbreite von 25 m.
Im Luftbild aus dem Jahr 2000 (Abb. 93) lassen sich kaum Veränderungen der Gerinnegrundrissform feststellen. Die mittlere Umlagerungsbreite liegt bei 20 m. Der hohe Waldanteil ist erhalten geblieben.
Durch das Hochwasser 2005 (Abb. 94) wurde das orographisch linke Ufer von FKM 229.5 bis 229.4 erodiert und überflutet (**Prozess 2**; Seitenerosion 2). Außerdem bildeten sich Ablagerungen in der Flussmitte. Die mittlere Umlagerungsbreite stieg auf 32 m.

Prozess 3 (Verwerfung 1) erstreckt sich von FKM 229.3 bis 228.9 und liegt ebenfalls in der Lechschlucht bei Steeg. Der ursprünglich morphologische Flusstyp nach MUHAR et al. (2004) ist *gestreckt* und die Talform ein Kerbtal.
In Abb. 95, dem Ausschnitt aus der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) ist ein hoher Waldanteil und ein großflächiger Schwemmfächer eines Zubringerbaches zu erkennen. Die Geschiebeablagerungen im Bereich des Schwemmfächers ergeben eine relativ große mittlere Umlagerungsbreite von 45 m.
Im Vergleich dazu liegt die mittlere Umlagerungsbreite 2000 bei nur mehr 20 m. Im Bereich des Schwemmfächers siedelten sich Sträucher und Bäume an, die zu einer Verminderung des Kiesanteils führten (Abb. 96).
Das Luftbild vom Hochwasser 2005 zeigt eine Verwerfung flussab des Schwemmfächers (Abb. 97). Der erhöhte Geschiebeeintrag des Zubringerbaches während dem Hochwasser führte zu Geschiebeablagerungen in der Flussmitte. Der Fluss verzweigte sich und das orographisch linke Ufer wurde überflutet. Die mittlere Umlagerungsbreite beträgt 36 m. Dieser Wert liegt deutlich über jenem aus dem Jahr 2000, jedoch unter der historischen Umlagerungsbreite.

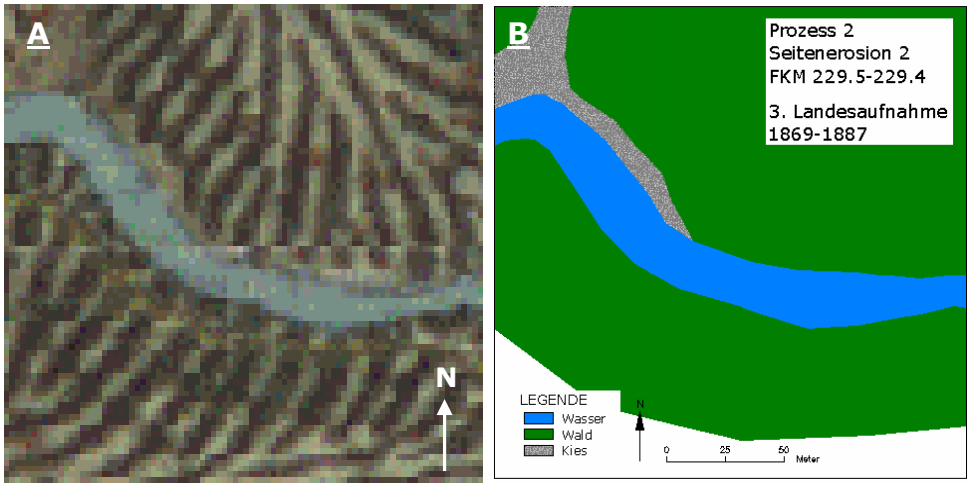


Abb. 92: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Dritte Landesaufnahme 1869 -1887 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

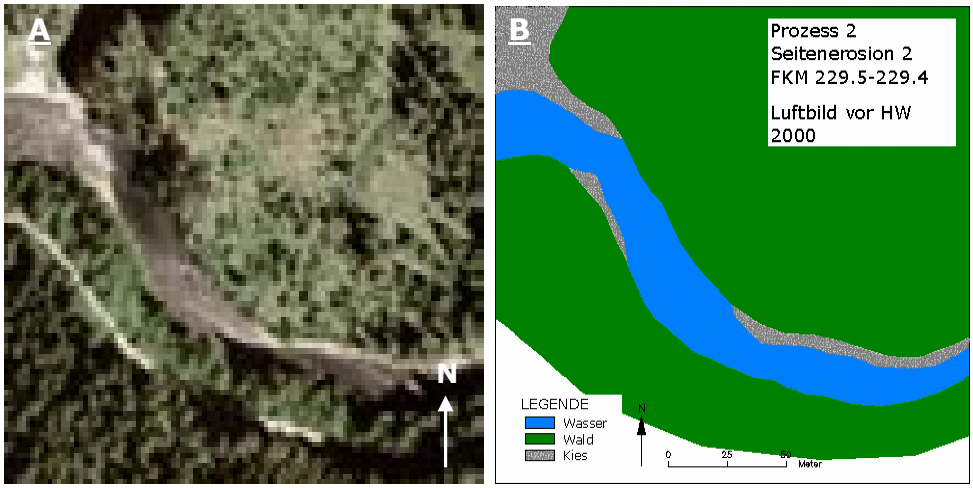


Abb. 93: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

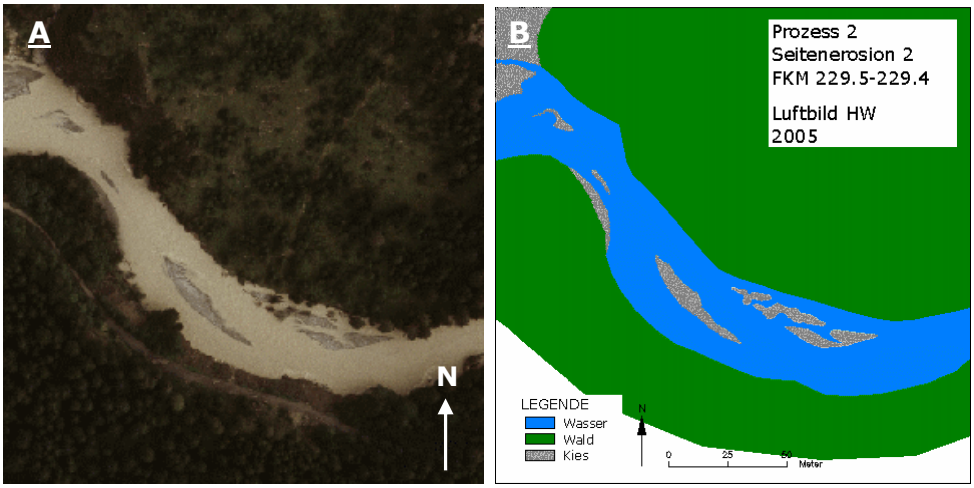


Abb. 94: Prozess 2 – Seitenerosion 2; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

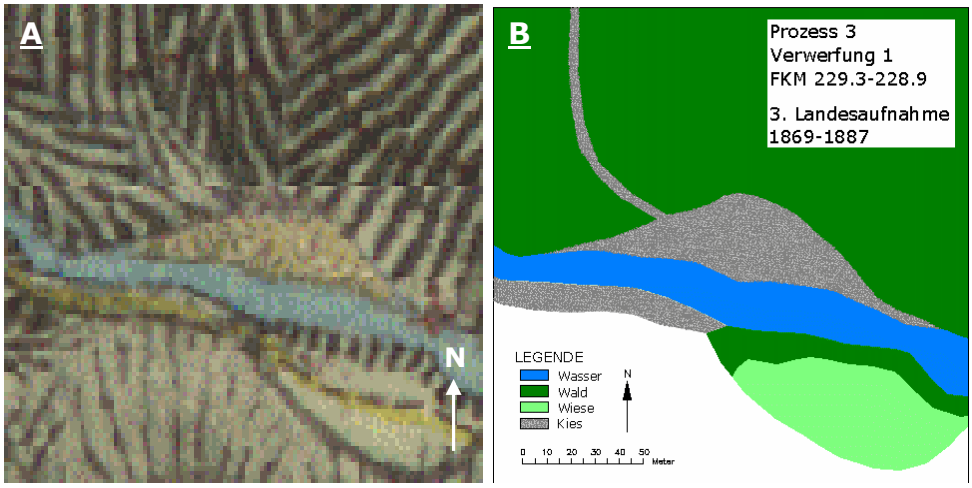


Abb. 95: Prozess 3 – Verwerfung 1; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

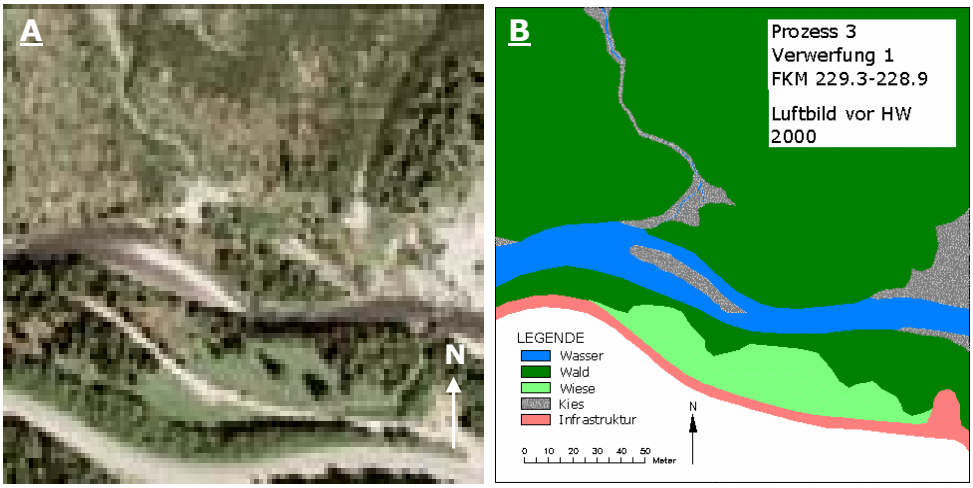


Abb. 96: Prozess 3 - Verwerfung 1; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

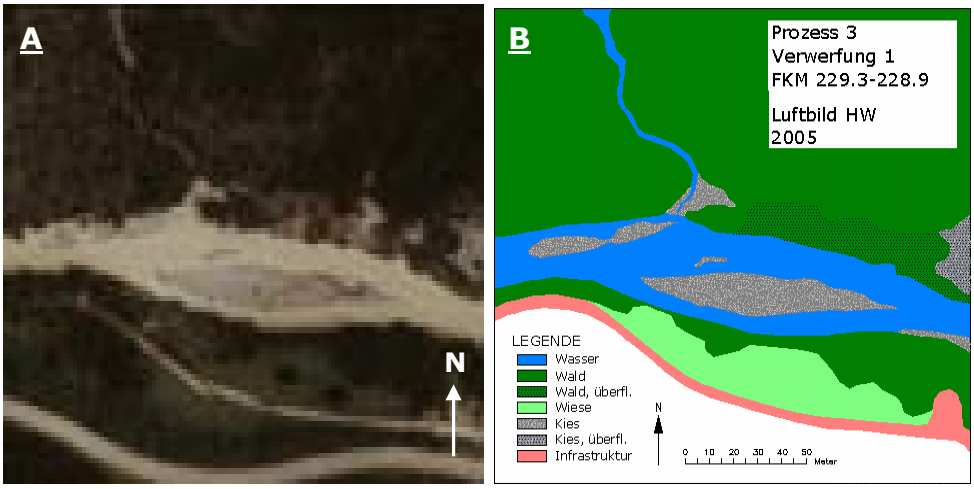


Abb. 97: Prozess 3 – Verwerfung 1; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

Bei Dürnau im oberen Tiroler Lechtal liegt nach MUHAR et al. (2004) ein ursprünglich *pendelnder* morphologischer Flusstyp vor. Die Talform ist ein Sohlenkerbtal.
Die historischen Karten der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (Abb. 98) zeigen an der Prozessstelle (**Prozess 6**; Umlagerung 1) von FKM 222.3 bis 222.15 eine Verwerfung mit einer ca. 150 m langen und 50 m breiten Kiesbank in der Flussmitte. Dadurch ergeben sich große Umlagerungsbreiten, die im Mittel 78 m betragen. Das orographisch linke und der Großteil des rechten Ufers werden durch einen bis zu 140 m breiten bewaldeten Uferstreifen begleitet.
Im Luftbild 2000 (Abb. 99) sind anthropogen bedingte Veränderungen zu verzeichnen. Der Wald aus der Zeit der Dritten Landesaufnhame am orographisch linken Ufer wurde durch landwirtschaftliche Flächen mit Siedlungsanteilen ersetzt. Im Bereich des orographisch rechten Zubringers wurde eine Brücke errichtet. Durch die Regulierung des Flusses ging ein Großteil der Kiesflächen verloren. Die mittlere Umlagerungsbreite 2000 lag bei nur mehr 33 m; das entspricht ca. 1/3 des historischen Werts.
Das Luftbild vom Hochwasser 2005 (Abb. 100) zeigt eine Umlagerung im Bereich der Verwerfung zur Zeit der Dritten Landesaufnahme, sowie großräumige Überschwemmungen des orographisch linken Ufers. Neben dem schmalen, bewaldeten Ufersaum wurden landwirtschaftliche Flächen und Siedlungsflächen überflutet. Die mittlere Umlagerungsbreite erhöhte sich auf 40 m.

Prozess 11 (Seitenerosion 8) bei FKM 210.5 befindet sich im mittleren Tiroler Lechtal. Die Talform ist ein Sohlenkerbtal und der ursprünglich morphologische Flusstyp nach MUHAR et al. (2004) ist *pendelnd*.
Zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (Abb. 101) befand sich im Prozessbereich am orographisch linken Ufer ein ca. 300 m langer Seitenarm, der bei Hochwasser als natürliches Entlastungsgerinne fungierte. Ingesamt ergab sich eine mittlere Umlagerungsbreite von 84 m.
Im Jahr 2000 (Abb. 102) wurde der Seitenarm durch Aufforstungen verdrängt. Die mittlere Umlagerungsbreite reduzierte sich auf 32 m.
Das Hochwasser 2005 brachte eine ca. 200 m lange Seitenerosion im Bereich des, aus den Kartenwerken der Dritten Landesaufnahme bekannten Seitengerinnes mit sich. Durch die Erosion vergrößerte sich die mittlere Umlagerungsbreite auf 53 m. Dabei wurde ein großer Anteil der Aufforstungen erodiert. In der Flussmitte lagerte sich Geschiebe ab.
Bei Betrachtung des Flussverlaufs lässt sich eine Annährung an die historische Linienführung feststellen (Abb. 103).

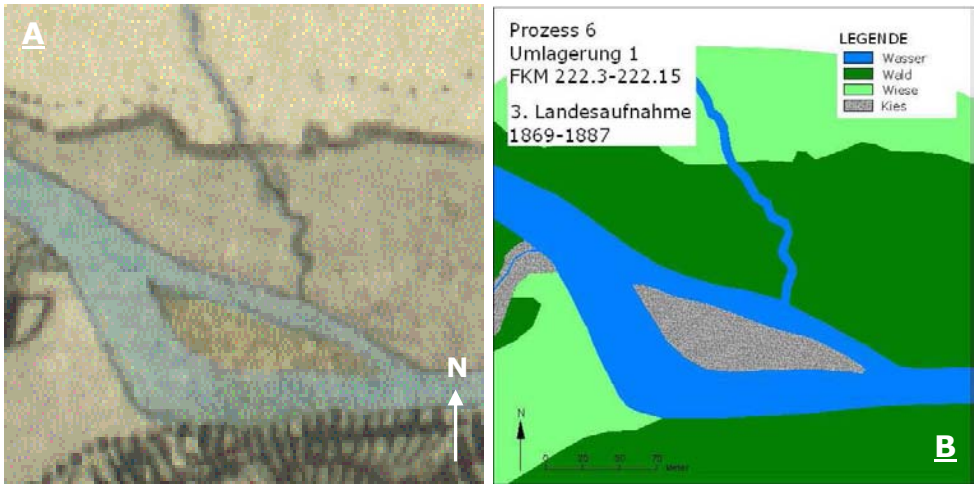


Abb. 98: Prozess 6 – Umlagerung 1; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

Abb. 99: Prozess 6 - Umlagerung 1; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

Abb. 100: Prozess 6 – Umlagerung 1; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

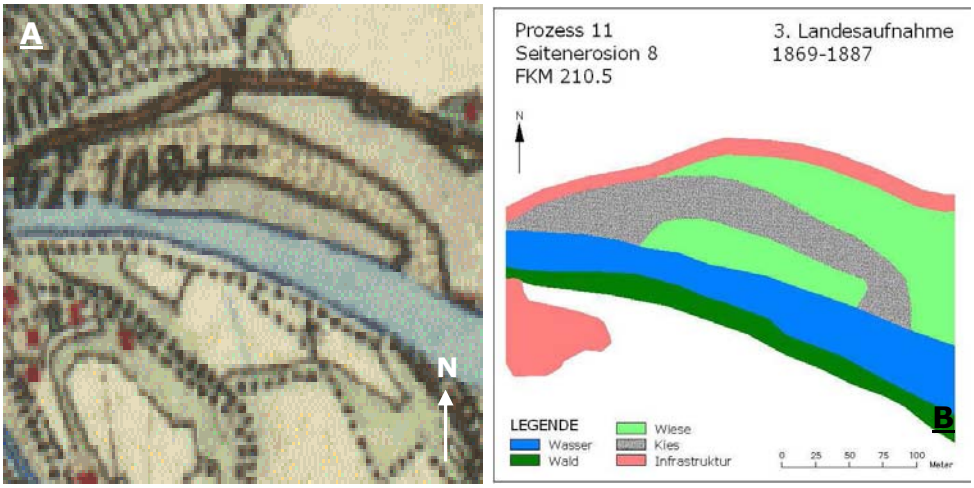


Abb. 101: Prozess 11 – Seitenerosion 8; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

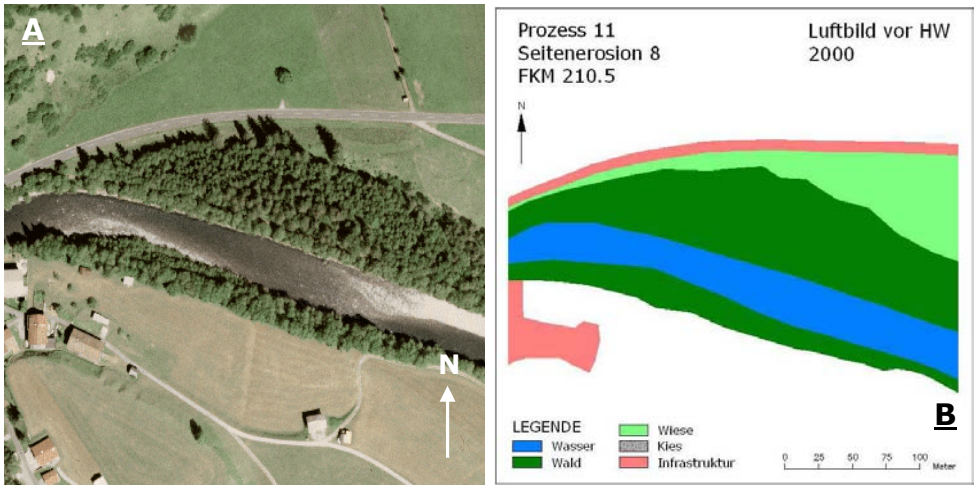


Abb. 102: Prozess 11 - Seitenerosion 8; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

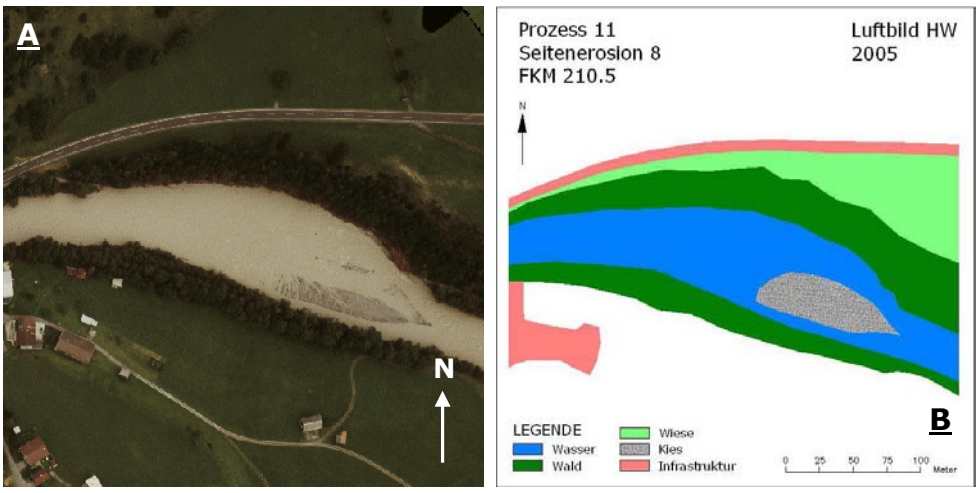


Abb. 103: Prozess 11 – Seitenerosion 8; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

Am Beispiel des **Prozesses 12** (Seitenerosion 9; FKM 207.3 bis 206.7) lassen sich anthropogene Eingriffe in das Fließgewässer und die Auswirkungen des Hochwassers 2005 gut veranschaulichen.

Der betrachtete Bereich liegt im mittleren Tiroler Lechtal. Die vorherrschende Talform ist ein Sohlenkerbtal und der ursprünglich morphologische Flusstyp nach MUHAR et al. (2004) ist *pendelnd*.

Zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) entsprach der Lech in diesem Abschnitt dem ursprünglich morphologischen Flusstyp. Wie Abb. 104 zeigt, neigte der pendelnde Fluss aufgrund der morphologischen Gegebenheiten zu kleinräumigen Verzweigungen mit Geschiebeablagerungen. Im Bereich der späteren Seitenerosion lag eine Verwerfung mit einer ca. 200 m langen und 75 m breiten Kiesbank in der Flussmitte. Die mittlere Umlagerungsbreite lag bei 88 m. Der Siedlungsanteil war gering.

Der Ausschnitt des Luftbildes aus dem Jahr 2000 (Abb. 105) zeigt einen stark regulierten Fluss mit einheitlicher Flussbreite. Durch beidufrige Regulierungen wurde dem Fluss die Möglichkeit zur Umlagerung genommen. Der Verwerfungsbereich zur Zeit der Dritten Landesaufnahme wurde trockengelegt; lediglich der begleitende Ufersaum am orographisch rechten Ufer ist erhalten geblieben. Die mittlere Flussbreite liegt bei nur mehr 22 m. In Flussnähe ist es zu einer starken Zunahme des Siedlungsanteils gekommen.

Durch das Hochwasser 2005 (Abb. 106) wurde im Bereich der ehemaligen Verwerfung das orographisch rechte Ufer stark erodiert. Der trockengelegte Bereich der Verwerfung wurde bis zum erhalten gebliebenen Ufersaum überflutet. Der im Jahr 2000 vorherrschende gestreckte Flussverlauf wurde durch kleinräumige Erosionen an den Prallufern und Akkumulationen an den Gleitufern aufgelockert. Dadurch kam es im vorliegenden Flussabschnitt zu einer Annäherung an die historische Linienführung. Die mittlere Umlagerungsbreite während dem Hochwasser 2005 beträgt 51 m und liegt somit unter der Breite zur Zeit der Dritten Landesaufnahme aber deutlich über jener aus dem Jahr 2000.

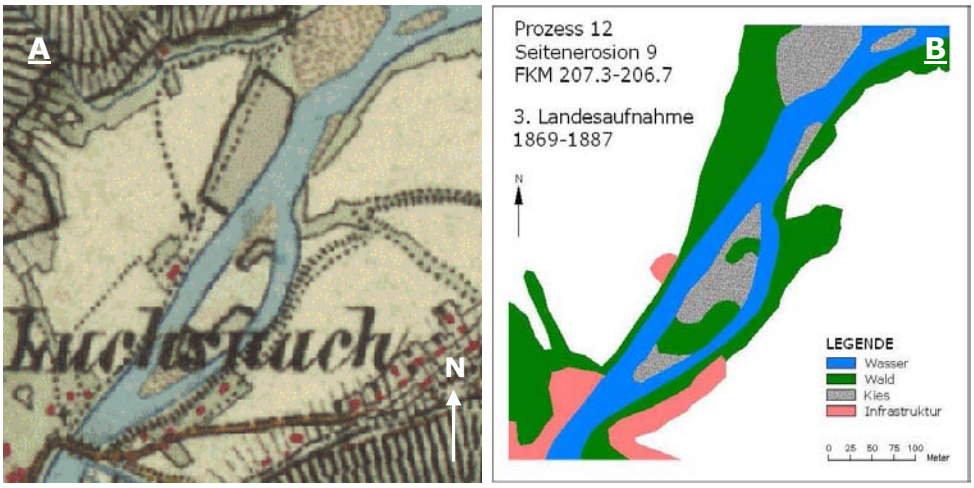


Abb. 104: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

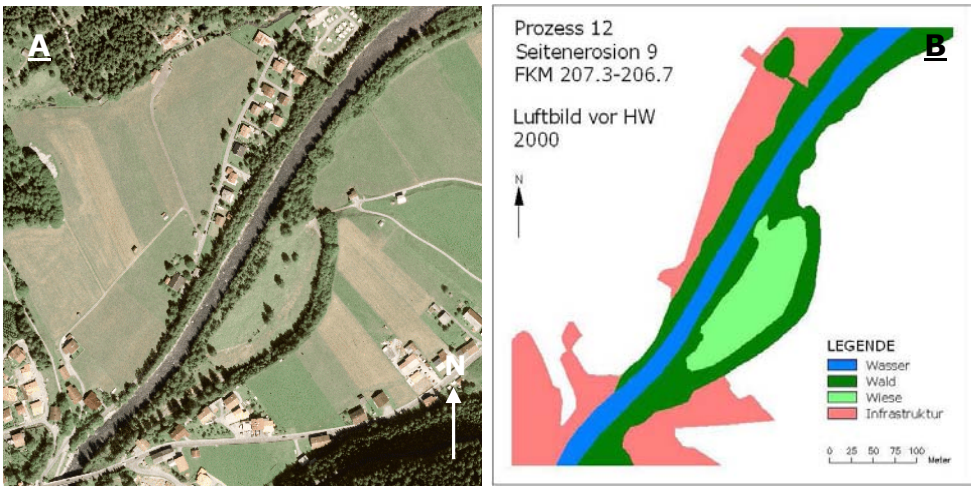


Abb. 105: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierter Darstellung (WAGNER, 2008)

Abb. 106: Prozess 12 - Seitenerosion 9; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

Die **Vergleichsstrecke 2**, die von FKM 203.3 bis 202.8 reicht, liegt in der Gemeinde Forchach im unteren Tiroler Lechtal. Die Talform ist ein Sohlental und der ursprünglich morphologische Flusstyp nach MUHAR et al. (2004) ist *furkierend*.
Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Prozessstellen handelt es sich bei einer Vergleichsstrecke um einen repräsentativen Flussabschnitt, der während dem Hochwasser 2005 morphodynamisch nicht aktiv war (Kapitel 5.3).
Der Ausschnitt aus der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) (Abb. 107) zeigt eine weiträumige Furkationsstrecke mit zahlreichen Kiesbänken. Die mittlere Umlagerungsbreite ist mit 509 m entsprechend groß; der Siedlungsanteil ist gering.
Im Jahr 2000 sind einige Veränderungen der Gerinnegrundrissform zu verzeichnen. Das orographisch rechte Ufer wurde reguliert. Am orographisch linken Ufer haben sich Auwälder entwickelt, die periodisch überflutet werden. Die mittlere Umlagerungsbreite liegt bei 172 m. Der Siedlungsanteil hat zugenommen (Abb. 108).
Im Luftbild vom Hochwasser 2005 (Abb. 109) ist lediglich ein Anstieg des Wasserspiegels festzustellen. Aufgrund der ausreichenden Flussbreite sowie der als Puffer wirkenden Auwälder, konnten die Abflussspitzen gedämpft und Feststoffe schadlos abgelagert werden. Die mittlere Umlagerungsbreite vom Hochwasser 2005 beträgt 175 m und entspricht in etwa jener aus dem Jahr 2000.

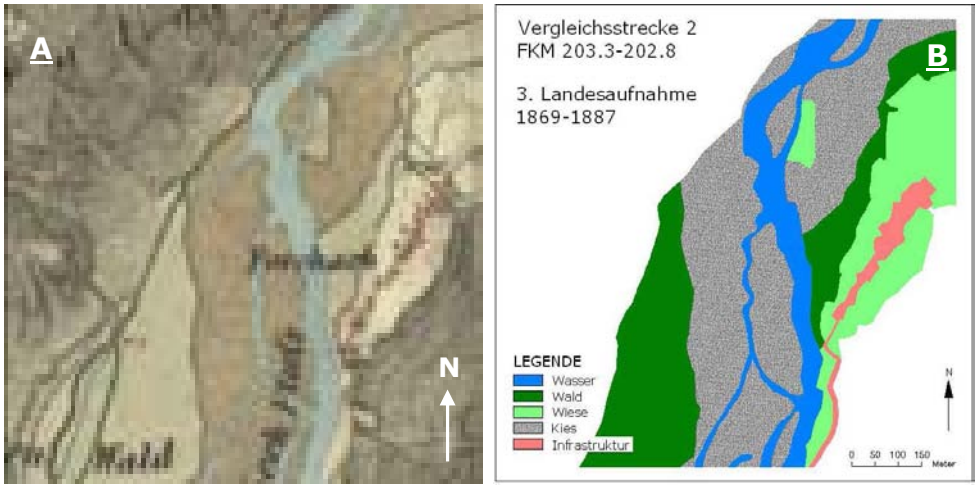


Abb. 107: Vergleichsstrecke 2; A: Dritte Landesaufnahme 1869 - 1887 (LAND TIROL, 2008); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

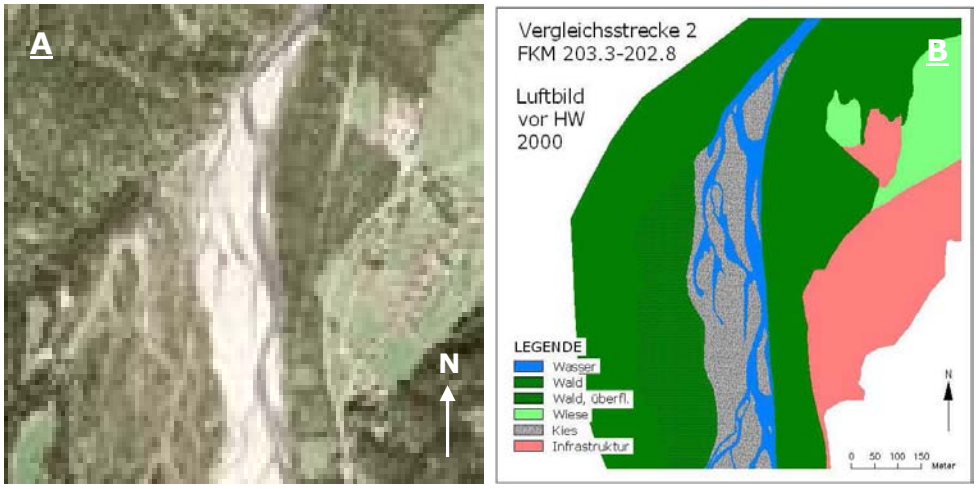


Abb. 108: Vergleichsstrecke 2; A: Luftbild 2000 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

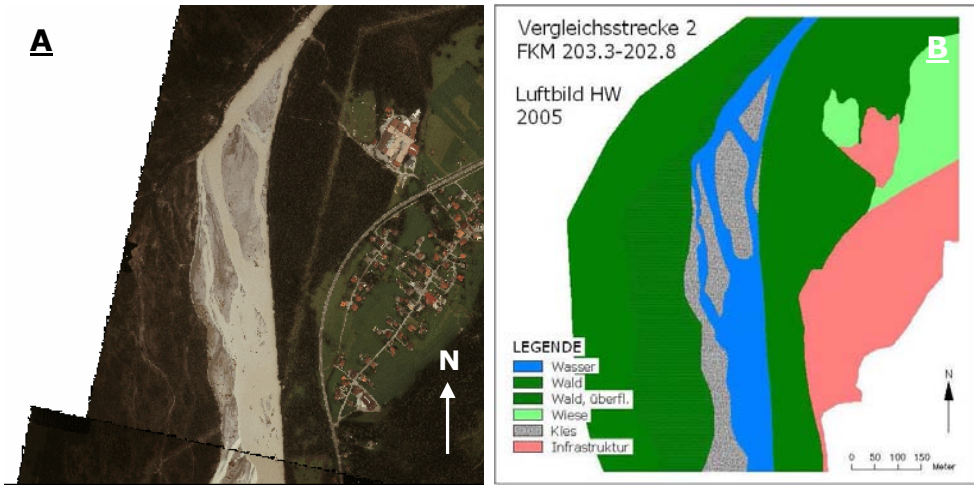


Abb. 109: Vergleichsstrecke 2; A: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); B: Modifizierte Darstellung (WAGNER, 2008)

5.4.2 Analyse der Lauflängen

Im Zuge der quantitativen historischen Analyse wurden die historischen Lauflängen der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) mit jenen aus dem Jahr 2000 sowie vom Hochwasser 2005 verglichen. Das Untersuchungsgebiet, das in Kapitel 2.3 vorgestellt wurde, erstreckt sich von FKM 230.000 bis 181.000.

Die Lauflängen wurden auf Basis von historischen Karten sowie Luftbildern aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 mit Hilfe des Programms ArcGIS© der Firma ESRI ermittelt. Bei Flussabschnitten, in denen der Lech ein eindeutig abgrenzbares Gewässerbett durchfließt, fanden die Messungen in der Flussmitte entlang der Achse statt. Bei furkierenden Abschnitten wurde der breiteste Gerinnearm für die Messungen herangezogen (Abb. 110).

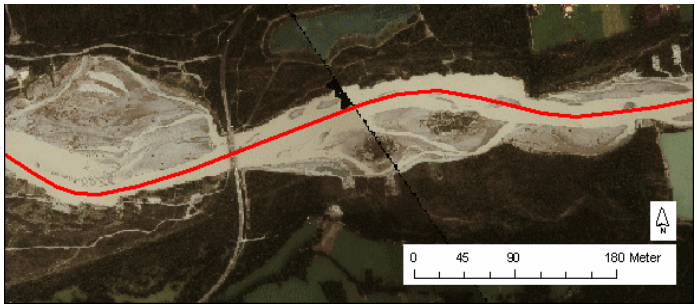


Abb. 110: Ermittlung der Lauflänge vom Hochwasser 2005 im Bereich der Flussaufweitung Johannesbrücke bei Weißenbach; Luftbild: LAND TIROL; mod. durch WAGNER

Die Ergebnisse zeigen, dass die historische Lauflänge aus der Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) mit ca. 50.4 km deutlich vor jener aus dem Jahr 2000 (ca. 49.0 km) lag. Diese Laufverkürzung resuliert v.a. aus Regulierungs-maßnahmen, wie z.B. die Flussbegradigung im Bereich des Prozess 12 (Kapitel 5.4.1). Bedingt durch zahlreiche Seitenerosionen sowie einer Verwerfung während dem Hochwasser 2005 verlängerte sich die Lauflänge um 800 m auf ca. 49.8 km. Somit kam es im untersuchten Abschnitt durch das Hochwasser zu einer Annäherung der Lauflänge an den historischen Wert (Abb. 111).

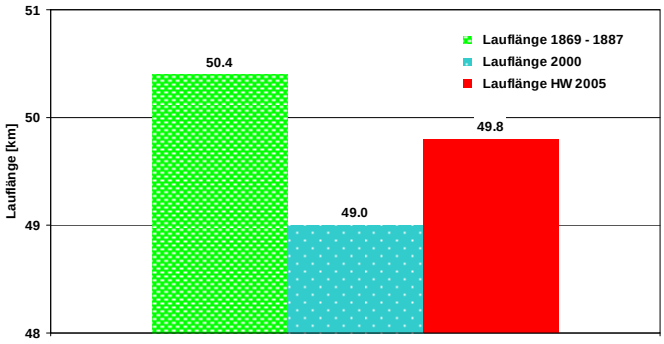


Abb. 111: Lauflängen 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005

5.4.3 Analyse der Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung

Analog zur Lauflänge wurden die Parameter Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung einer quantitativen historischen Analyse unterzogen. Die Messungen wurden ebenfalls auf Basis von historischen Karten sowie Luftbildern von 2000 und vom Hochwasser 2005 mit Hilfe des Programms ArcGIS© durchgeführt.

Wie in Tab. 10 ersichtlich, lag die Sinuosität im Untersuchungsgebiet zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) bei 1.12. Infolge der anthropogenen Eingriffe nahm sie im Laufe der Zeit ab und erreichte im Jahr 2000 einen Wert von 1.09.
Im Zuge der qualitativen historischen Analyse der Gerinnegrundrissform (Kapitel 5.4.1) konnte bereits festgestellt werden, dass es durch das Hochwasser 2005 an einigen Flussabschnitten zu einer Annäherung an die historische Linienführung kam. Diese Beobachtungen können nun im Rahmen der quantitativen Analyse bestätigt werden; die durch das Hochwasser entstandene Sinuosität liegt im Bereich des historischen Werts bei 1.11. Nach BRIEM (2002) entsprechen alle ermittelten Sinuositäten aus den Jahren 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005 (1.12, 1.09 und 1.11) einem schwach gewundenen Fluss (SI = 1.06 - 1.25).

Der Parameter Laufentwicklung zeigt die gleiche Entwicklung wie die Sinuosität; zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) liegt er bei 0.12, im Jahr 2000 bei 0.09 und nach den Hochwasser 2005 bei 1.11 (Tab. 10).

Die Flussentwicklung erreicht in den Jahren 1869 – 1887 einen Wert von 0.23, sinkt im Jahr 2000 auf 0.20 und nähert sich durch das Hochwasser 2005 ebenfalls dem historischen Wert an (0.21) (Tab. 10).

Tab. 10: Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005

			1869-1887	2000	HW 2005
Lauflänge	L_{FLUSS}	[m]	50400	49000	49800
Tallänge	L_{TAL}	[m]	45000	45000	45000
Luftlinie	L_{LUFT}	[m]	41000	41000	41000
Sinuosität	SI	[-]	1.12	1.09	1.11
Laufentwicklung	LE	[-]	0.12	0.09	0.11
Flussentwicklung	FE	[-]	0.23	0.20	0.21

5.4.4 Analyse der Umlagerungsbreiten

Im gesamten Untersuchungsgebiet (FKM 230.000 - 181.000) wurden Umlagerungsbreiten aus der Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887), aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 in einem Abstand von ca. 200 m erhoben (Abb. 112). Die Messungen wurden mit dem Programm ArcGIS© der Firma ESRI durchgeführt.

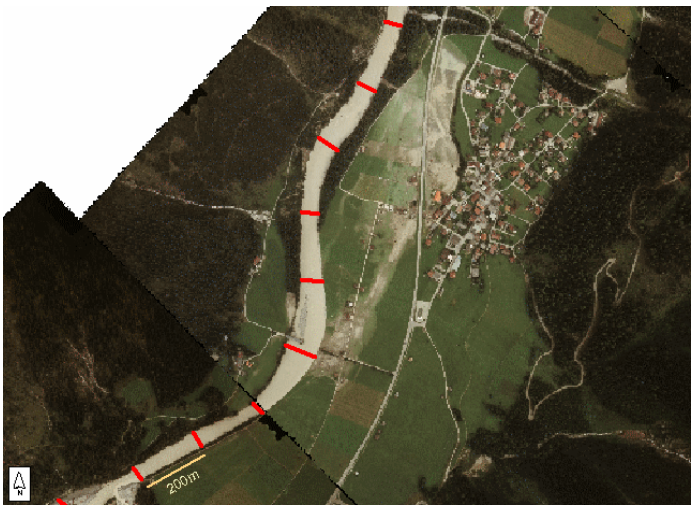


Abb. 112: Ermittlung der Umlagerungsbreiten vom Hochwasser 2005; Luftbild: LAND TIROL; mod. durch WAGNER

Die Ergebnisse zeigen, dass die mittleren Umlagerungsbreiten an allen 14 morphodynamischen Prozessstellen im Jahr 2000 die niedrigsten Werte erreichten; die mittlere Umlagerungsbreite vom Hochwasser 2005 lag über jener aus dem Jahr 2000. Mit Ausnahme der Prozesse 1, 2 und 13 erreichte die Umlagerungsbreite zur Zeit der Dritten Landesaufnahme die größten Werte (Abb. 113).

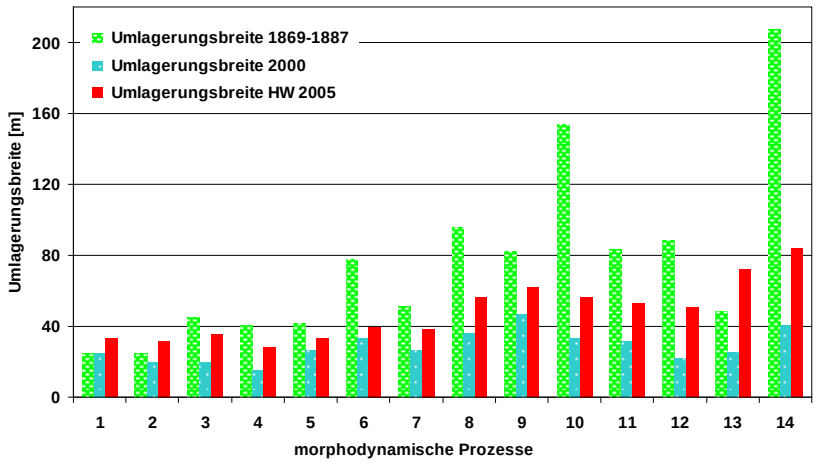


Abb. 113: Gegenüberstellung der mittleren Umlagerungsbreite an Prozessstellen (1869 - 1887, 2000, Hochwasser 2005)

An repräsentativen Vergleichsstrecken (Kapitel 5.3) kann eine leicht abweichende Entwicklung beobachtet werden. Während bei Vergleichsstrecke 1 keine großen Differenzen zwischen den Umlagerungsbreiten aus den Jahren 1869 – 1887, 2000 und beim Hochwasser 2005 festzustellen sind, lagen bei Vergleichsstrecke 2 und 3 die historischen Umlagerungsbreiten deutlich über jenen aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005. Im Gegensatz zu den zuvor analysierten Prozessstellen zeigte sich außerdem dass, die Umlagerungsbreiten vom Hochwasser 2005 nur geringfügig größer als jene aus dem Jahr 2000 waren (Abb. 114).

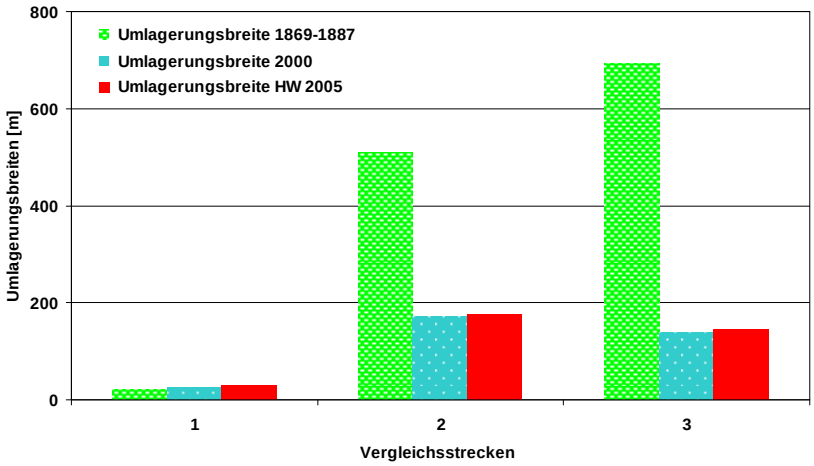


Abb. 114: Gegenüberstellung der mittleren Umlagerungsbreite an Vergleichsstrecken (1869 - 1887, 2000, Hochwasser 2005)

Durch Gegenüberstellung des Mittelwerts der Umlagerungsbreite an morphodynamischen Prozessstellen mit jenem des gesamten Untersuchungsgebiets (inkl. Prozesse) wird deutlich, dass Flussabschnitte mit morphodynamischer Aktivität geringere Umlagerungsbreiten als nicht aktive Abschnitte zeigten.
Bei Betrachtung der zeitlichen Entwicklung sind die größten Mittelwerte während der Dritten Landesaufnahme (1869 - 1887) festzustellen. An Prozessstellen lag die mittlere Umlagerungsbreite bei 76 m; der Mittelwert des gesamten Untersuchungsgebiets (inkl. Prozesse) lag bei 118 m.
Im Jahr 2000 reduzierte sich der Mittelwert der Umlagerungsbreite an Prozessstellen auf 29 m und im gesamten Untersuchungsgebiet auf 78 m.
Infolge der Seitenerosionen während dem Hochwasser 2005 kam es zu einer Erhöhung der mittleren Umlagerungsbreite auf 48 m (Prozesse) bzw. 87 m (gesamtes Untersuchungsgebiet; inkl. Prozesse) (Abb. 115).

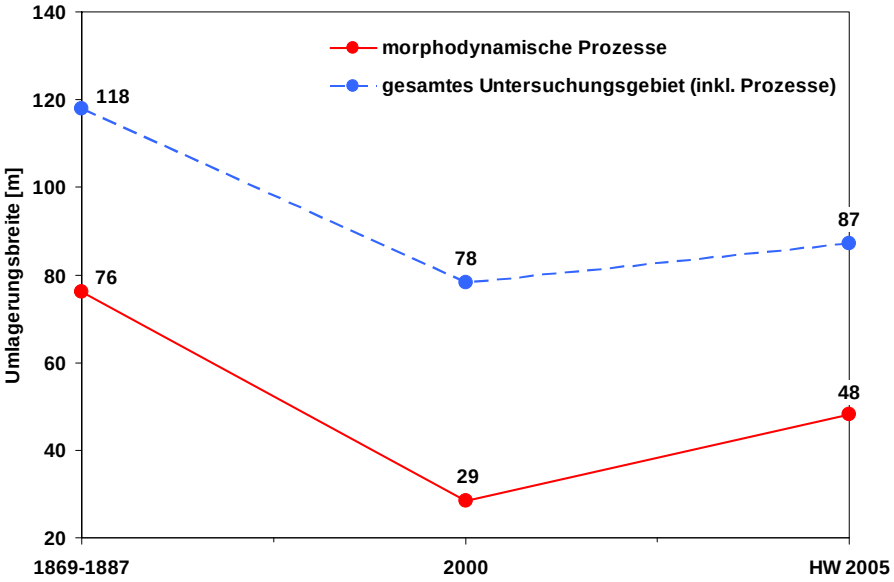


Abb. 115: Mittlere Umlagerungsbreite 1869 - 1887, 2000 und vom Hochwasser 2005

5.5 Analyse prozessrelevanter Parameter

5.5.1 Analyse des Längenschnitts

In diesem Kapitel werden morphodynamische Prozesse in Abhängigkeit des Längenschnitts untersucht. Durch Analyse der Längsprofilentwicklung sowie des Energieliniengefälles sollen Informationen über einen möglichen Zusammenhang zwischen Parametern des Längenschnitts und morphodynamischer Aktivität gesammelt werden.

5.5.1.1 Längsprofilentwicklung

Abb. 116 zeigt einen, von DONAUCONSULT zur Verfügung gestellten Übersichtslängenschnitt der geschiebtechnischen Untersuchung aus dem Jahr 2001. Auf Basis dieses Längenschnitts kann die LPE, ein qualitativer Parameter, der die Form des Längenschnitts beschreibt, ermittelt werden.
Innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes (FKM 230.000 - 181.000) wurde die LPE als *steil gestreckt* eingestuft.

Da die LPE dem typischen Charakter eines Fließgewässers im Oberlauf entspricht, wurden keine vertiefenden Analysen durchgeführt.

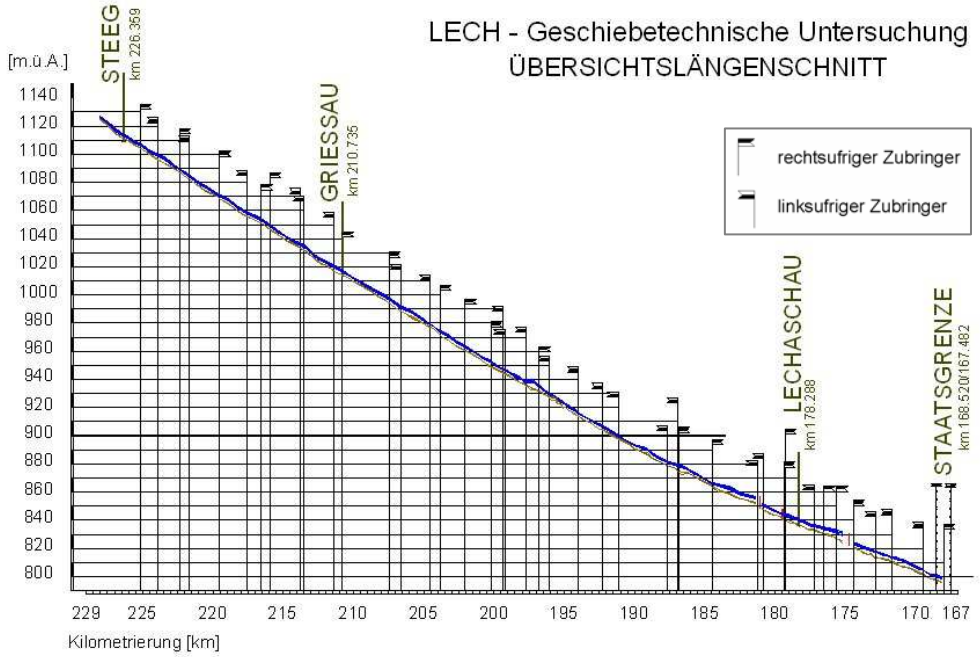


Abb. 116: Längenschnitt (DONAUCONSULT, 2001; mod. durch WAGNER, 2008)

5.5.1.2 Energieliniengefälle

In Abb. 117 ist das mittlere Energieliniengefälle bei bordvollem Abfluss Q_{bv} aller im Untersuchungsgebiet liegenden morphodynamischen Prozesse dargestellt. Der Vergleich der Seitenerosionen mit den Umlagerungen zeigt, dass das Energieliniengefälle bei Q_{bv} an Flussabschnitten mit Umlagerungen während dem Hochwasser 2005 höhere Werte als an Abschnitten mit Seitenerosionen erreichte. Mit 3.23% konnte bei Prozess 13 (Umlagerung 2) ein überdurchschnittlich hohes Energieliniengefälle festgestellt werden.

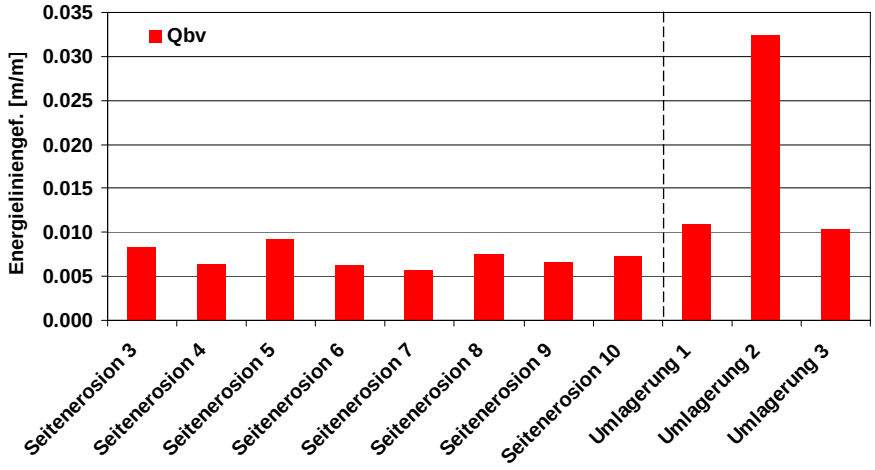


Abb. 117: Energieliniengefälle an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der direkte Vergleich des Energieliniengefälles an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten (Kapitel 5.3) mit jenem an Prozessstellen (Kapitel 5.1) bringt basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992, folgende Erkenntnisse (Abb. 118):

- Bei Nieder- und Mittelwasserabfluss gab es keine signifikanten Unterschiede im Energieliniengefälle zwischen morphodynamisch aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten.
- Von HQ_1 bis HQ_{30} lag das Energieliniengefälle an morphodynamisch aktiven Prozessstellen deutlich über jenem an nicht aktiven Flussabschnitten.
- Der Maximalwert des Energieliniengefälles an Prozessstellen wurde erwartungsgemäß beim bordvollen Abfluss Q_{bv} (0.87%) erreicht, da hier der Fluss die größte Belastung erfuhr.
- Der größte Unterschied zwischen aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten konnte bei $HQ_{1.5}$ festgestellt werden. Hier lag das Energieliniengefälle an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten im Mittel bei 0.61%; an Prozessstellen erreichte es einen Mittelwert von 0.82%.

- Durch vermehrte Ausuferungen bei den Hochwasserabflüssen HQ_{100} und Q_{2005} kam es zu einer Zunahme der Wasserspiegelbreite sowie zu einer Abnahme der über das Querprofil gemittelten Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe. Das wiederum führte zu einer Abnahme des Energieliniengefälles. Wie Abb. 117 zeigt, liegt das Energieliniengefälle bei HQ_{100} und Q_{2005} an Prozessstellen nur mehr leicht über jenem an nicht aktiven Flussabschnitten.
- Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass das Energieliniengefälle bei allen bedeutenden Abflüssen an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten im Durchschnitt höhere Werte als an nicht aktiven Abschnitten annahm.

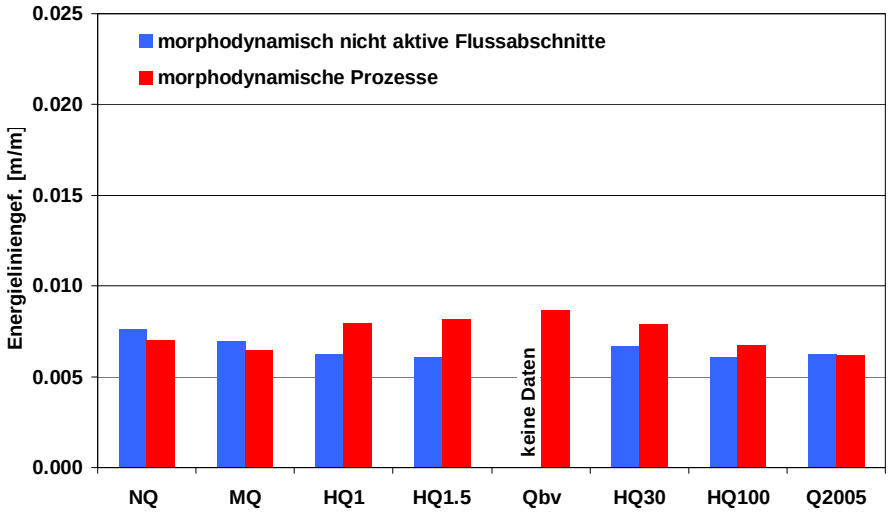


Abb. 118: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die separate Auswertung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* spiegelt die Ergebnisse der einzelnen Prozesse (Abb. 117) wider. Wie in Abb. 119 ersichtlich, lag das Energieliniengefälle der Prozessgruppe *Umlagerung*, mit Ausnahme der Abflüsse NQ und MQ deutlich über jenem der Prozessgruppe *Seitenerosion*. Aufgrund des überdurchschnittlich hohen Werts bei Umlagerung 2 ist die Größenordnung jedoch relativ zu sehen.

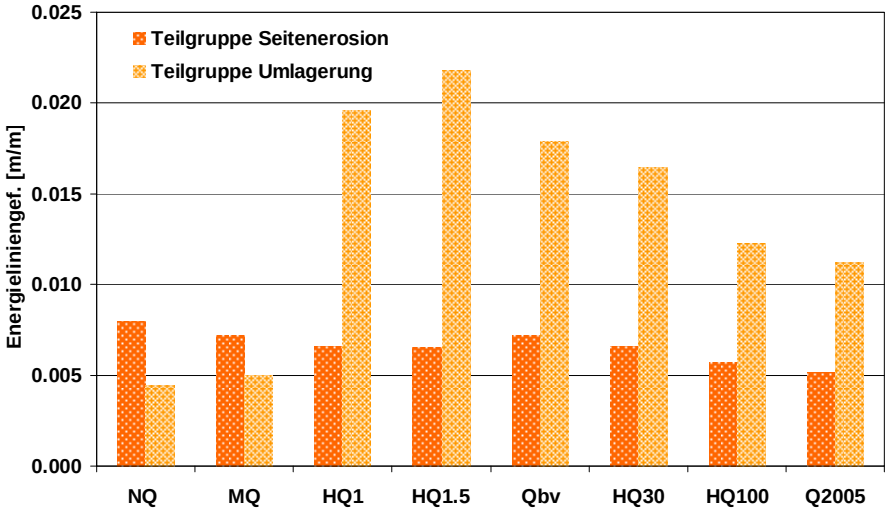


Abb. 119: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Auf den bereits gewonnenen Erkenntnissen aufbauend wurde eine weitere Analyse durchgeführt. Durch den Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 wurden Veränderungen der Parameter (z.B. Energieliniengefälle) analysiert.

Bei Prozess 12, einer Seitenerosion, lag das Energieliniengefälle beim Abfluss $HQ_{1.5}$ im Jahr 1992 bei 0.67%. Durch die geomorphologische Arbeit (Seitenerosion) während dem Hochwasser veränderte sich der Abflussquerschnitt so, dass das durchschnittliche Energieliniengefälle auf 0.62% abnahm (Abb. 120, B).

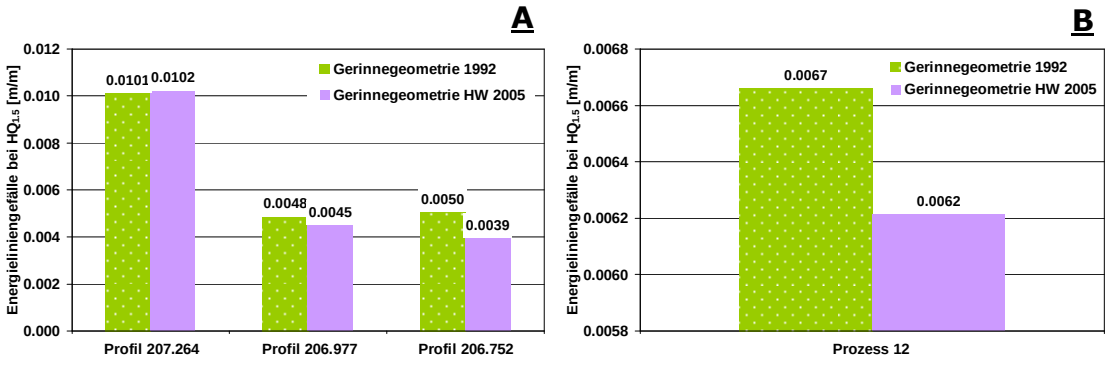


Abb. 120: Gegenüberstellung des Energieliniengefälles von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2 Analyse der Querprofile

Durch Analyse der Querprofile können aufschlussreiche Informationen zur Entwicklung der Gerinnegeometrie erhalten werden. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen umfassen quantitative Analysen der Parameter Wasserspiegelbreite, mittlere und maximale Wassertiefe, benetzter Umfang, durchflossene Querschnittsfläche, hydraulischer Radius und Breiten-Tiefen-Verhältnis.
Weiters wurden auf Basis von Querprofilen nach dem Hochwasser 2005 Veränderungen im Feststoffhaushalt (Eintiefungs- und Auflandungstendenzen) untersucht, die jedoch erst in Kapitel 5.5.4.3 näher erörtert werden.

5.5.2.1 Wasserspiegelbreite

Die Analyse der Wasserspiegelbreite aller morphodynamischen Prozesse beim bordvollen Abfluss Q_{bv} zeigt keine Auffälligkeiten (Abb. 121). Die mittleren Wasserspiegelbreiten variieren von 29 m bei Prozess 4 (Seitenerosion 3) bis zu 57 m bei Prozess 10 (Seitenerosion 6).

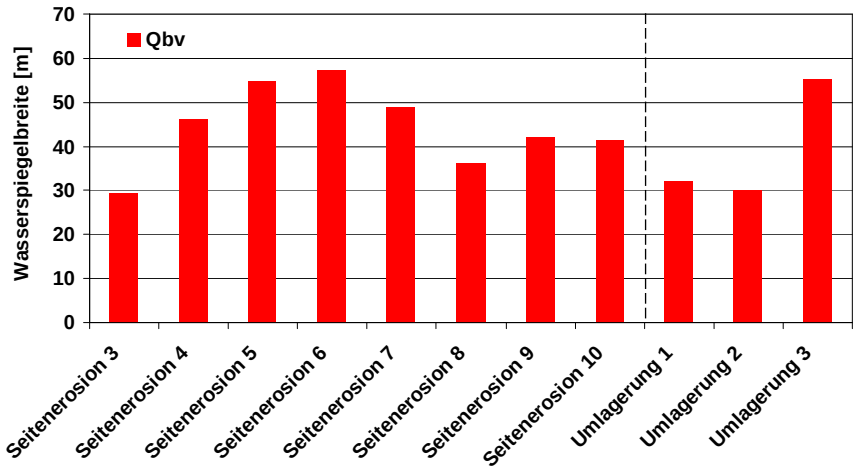


Abb. 121: Wasserspiegelbreite an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Durch Gegenüberstellung der Wasserspiegelbreite an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen, lassen sich folgende Informationen ableiten (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 122):

- Sowohl an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten als auch an Prozessstellen stieg die Wasserspiegelbreite mit zunehmendem Abfluss.
- Dennoch gibt es einen Unterschied in der Form des Anstiegs:
  An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten lässt sich mit zunehmendem Abfluss ein relativ kontinuierlicher Anstieg verzeichnen.

Beispielsweise beträgt die Wasserspiegelbreite bei NQ 20 m, bei $HQ_{1.5}$ 64 m und bei Q_{2005} 104 m.
An Prozessstellen hingegen lag die Wasserspiegelbreite bis zum Abfluss HQ_{30} unter jener an morphodynamisch nicht aktiven Abschnitten. Ab dem Abfluss HQ_{100} führten Ausuferungen zu einer massiven Erhöhung der Wasserspiegelbreite. Daher lagen die Wasserspiegelbreiten bei HQ_{100} und Q_{2005} deutlich über den Vergleichswerten der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte. Beim Ereignisabfluss vom Hochwasser 2005 lag die Wasserspiegelbreite an Prozessstellen im Mittel bei 175 m.

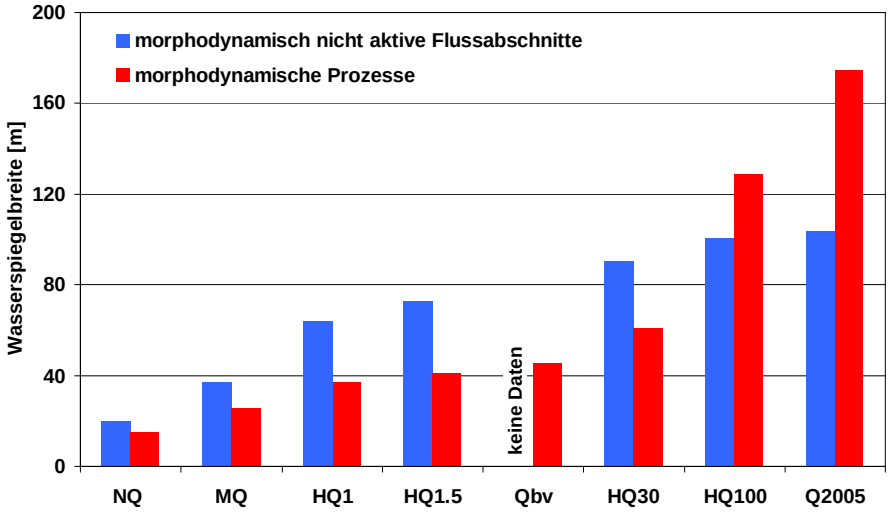


Abb. 122: Gegenüberstellung der Wasserspiegelbreite an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Betrachtung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* lassen sich bis zum Abfluss HQ_{30} keine signifikanten Unterschiede der Wasserspiegelbreite feststellen. Bei HQ_{100} und Q_{2005} lag die durchschnittliche Wasserspiegelbreite der Umlagerungen mit 177 m bei HQ_{100} und 180 m bei Q_{2005} jedoch über dem Durchschnittswerten der Seitenerosionen (119 m bei HQ_{100}; 163 m bei Q_{2005}) (Abb. 123).

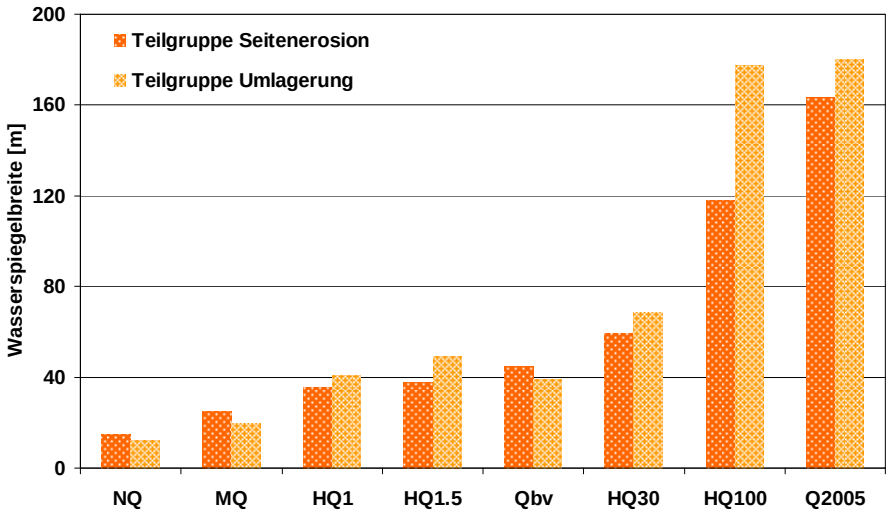


Abb. 123: Gegenüberstellung der Wasserspiegelbreite an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 brachte ein erwartetes Ergebnis:
Durch die Seitenerosion (Prozess 12) kam es zu einer Aufweitung des betrachteten Flussabschnitts. Die mittlere Wasserspiegelbreite bei $HQ_{1.5}$ erhöhte sich von 31 m auf 61 m (Abb. 124, B).

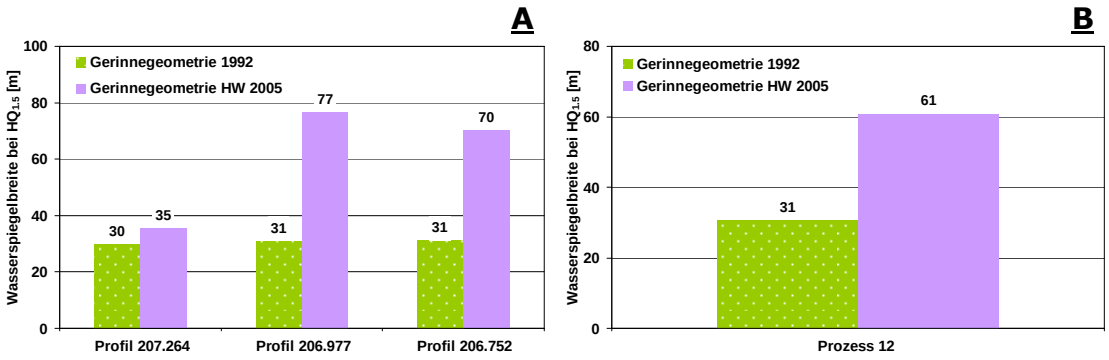


Abb. 124: Gegenüberstellung des Wasserspiegelbreite von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.2 Mittlere Wassertiefe

Der Vergleich der mittleren Wassertiefe an den untersuchten morphodynamischen Prozessstellen zeigt, dass beim bordvollen Abfluss Q_{bv} an Umlagerungsstellen tendenziell geringere mittlere Wassertiefen als an Flussabschnitten mit Seitenerosionen auftraten (Abb. 125).

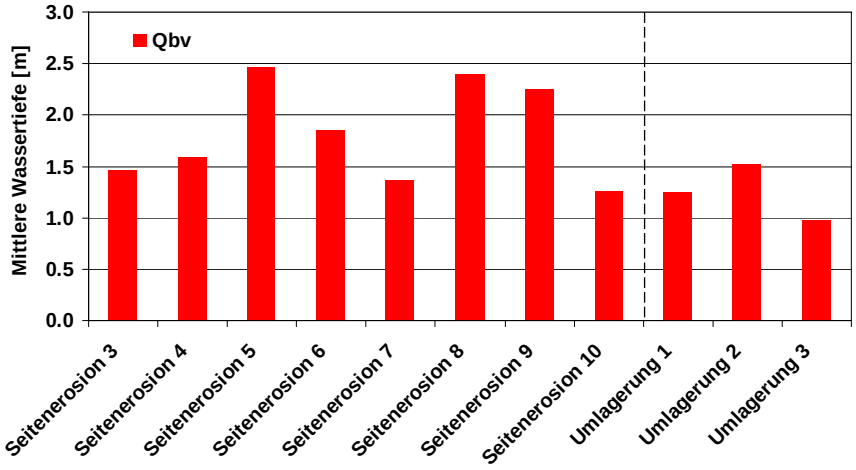


Abb. 125: Mittlere Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen lassen sich folgende Erkenntnisse feststellen (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 126):

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg die mittlere Wassertiefe mit zunehmendem Abfluss relativ kontinuierlich bis zum Ereignisabfluss vom Hochwasser 2005 an. Beispielsweise lagen die Werte bei MQ bei 0.6 m, bei HQ_{30} bei 1.9 m und bei Q_{2005} bei 2.5 m.
- An Prozessstellen stieg die mittlere Wassertiefe mit zunehmendem Abfluss zunächst auch an; erreichte jedoch bei HQ_{30} einen Maximalwert von 1.9 m und nahm danach bis zum Ereignisabfluss vom Hochwasser 2005 leicht ab. Diese Entwicklung resultiert aus den relativ großen Wasserspiegelbreiten bei HQ_{100} und Q_{2005}, die infolge der Ausuferungen an Prozessstellen zustande kamen (Kapitel 5.5.2.1).

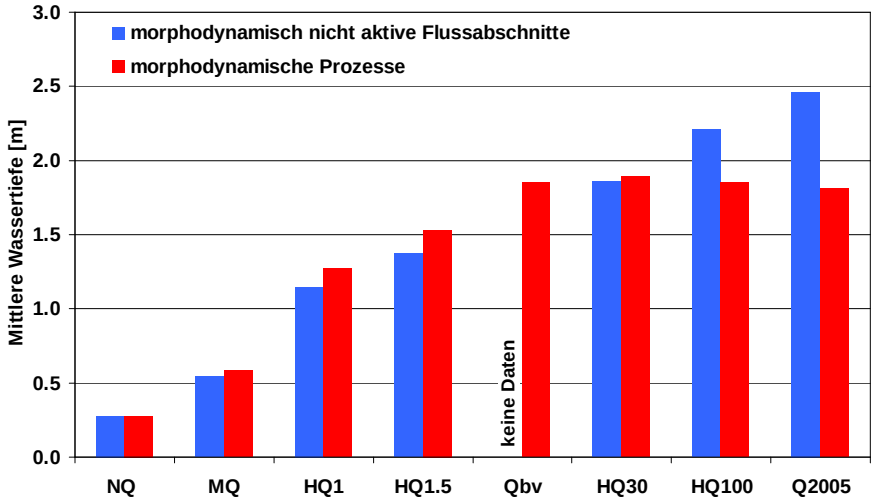


Abb. 126: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die separate Auswertung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass die mittlere Wassertiefe bei den beiden Prozessgruppen einer stark abweichenden Entwicklung unterlag. Während der Maximalwert der mittleren Wassertiefe in Flussabschnitten mit Seitenerosionen bei HQ_{30} (1.9 m) lag, fiel er bei Abschnitten mit Umlagerungen auf Q_{2005} (1.7 m) (Abb. 127). Eine mögliche Ursache für diese Entwicklung liegt darin, dass es an Flussabschnitten mit Seitenerosionen ab dem Abfluss HQ_{30} vermehrt zu Ausuferungen kam und dadurch die mittlere Wassertiefe abnahm. Im Gegensatz dazu konnten an Flussabschnitten mit Umlagerungen keine großflächigen Ausuferungen festgestellt werden; daher nahm die mittlere Wassertiefe auch bis zum Ereignisabfluss Q_{2005} zu.

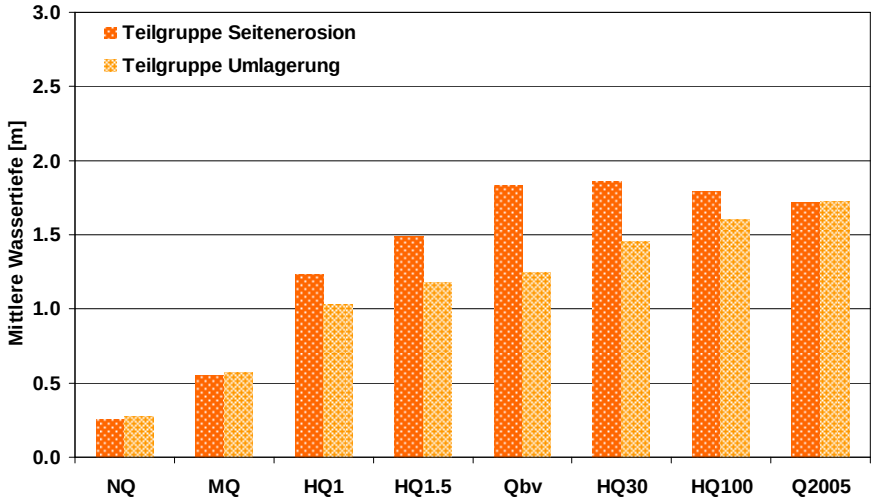


Abb. 127: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass die mittlere Wassertiefe bei $HQ_{1.5}$ im Bereich des Prozesses 12 infolge der Seitenerosion und der damit verbundenen Gerinneverbreiterung von 1.9 m im Jahr 1992 auf 1.3 m nach dem Hochwasser 2005 sank (Abb. 128, B).

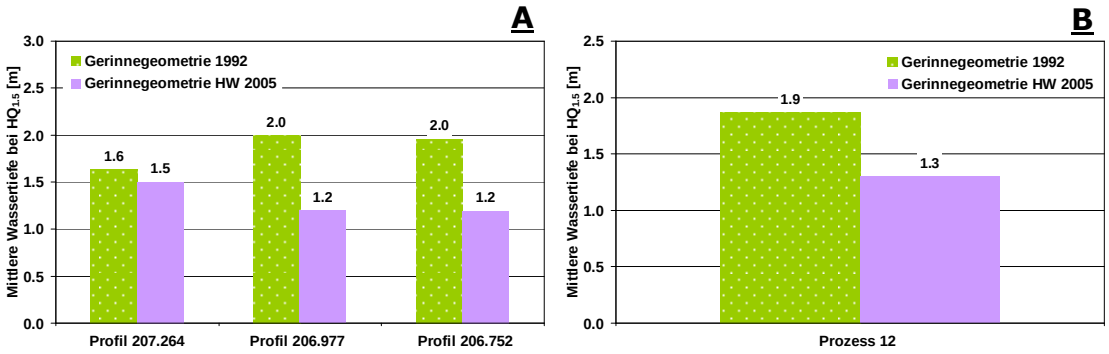


Abb. 128: Gegenüberstellung der mittleren Wassertiefe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.3 Maximale Wassertiefe

Neben der, über das Querprofil gemittelten Wassertiefe wurde auch die maximale Wassertiefe im Flussschlauch untersucht. Abb. 129 stellt die Mittelwerte der maximalen Wassertiefe bei Q_{bv} an allen morphodynamischen Prozessstellen dar. Sie variieren von 1.9 m bei Prozess 6 (Umlagerung 1) bis 3.9 m bei Prozess 8 (Seitenerosion 5).

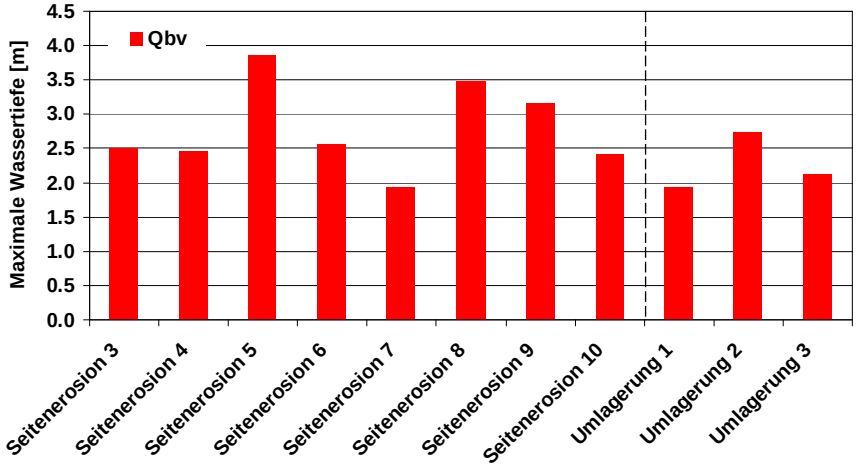


Abb. 129: Maximale Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der Vergleich der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte mit den morphodynamischen Prozessstellen bringt folgende Erkenntnisse (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 130):

- Erwartungsgemäß nahm die maximale Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit zunehmendem Abfluss zu. So lag sie bei MQ bei 1.0 m, bei HQ_{30} bei 3.0 m und bei Q_{2005} bei 3.8 m.
- Auch an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität stieg die maximale Wassertiefe mit zunehmendem Abfluss. Die Entwicklung ähnelt jener an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten. Unterschiedlich ist jedoch, dass ab dem Abfluss HQ_1 die maximale Wassertiefe an Prozessstellen leicht über jener an morphodynamisch nicht aktiven Abschnitten lag. Bei Q_{2005} wurde ein Mittelwert von 4.1 m erreicht.

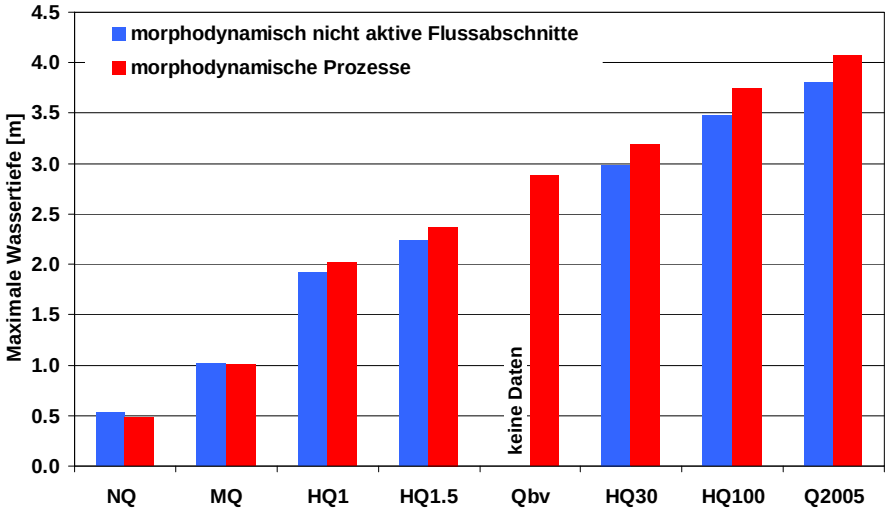


Abb. 130: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die vertiefende Analyse der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass die maximale Wassertiefe an Flussabschnitten mit Seitenerosionen ähnliche Mittelwerte wie an Abschnitten mit Umlagerungen annahm. Lediglich beim bordvollen Abfluss Q_{bv} lag der Mittelwert der maximalen Wassertiefe der Teilgruppe *Umlagerung* mit 2.3 m deutlicher unter jenem der Teilgruppe *Seitenerosion* (2.8 m) (Abb. 131).

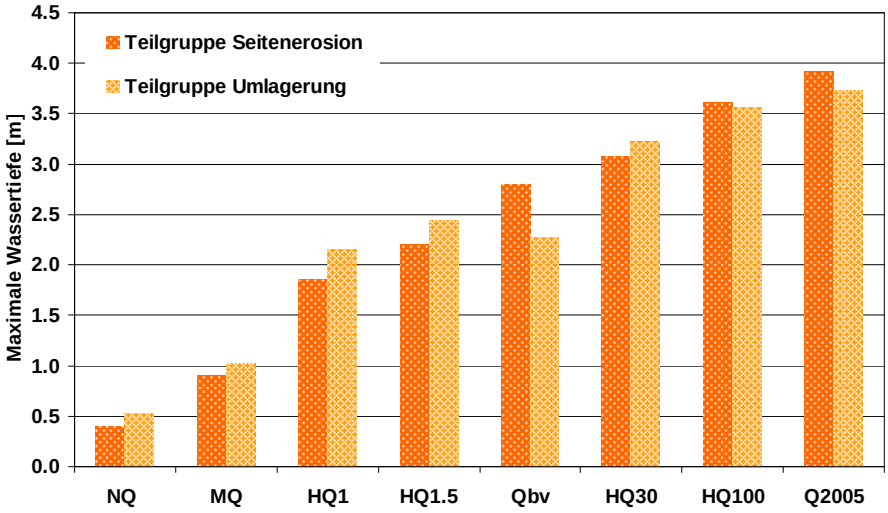


Abb. 131: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Auch die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt ähnliche Ergebnisse wie beim Parameter mittlere Wassertiefe. Wie in Abb. 132 (B) ersichtlich, sank die maximale Wassertiefe nach dem Hochwasser infolge der Gerinneverbreiterung im Bereich des Prozesses 12 im Mittel um 0.3 m ($HQ_{1.5}$).

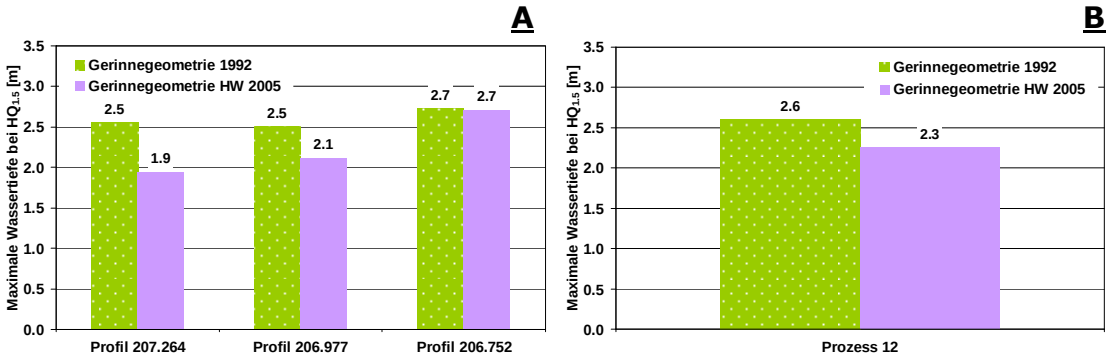


Abb. 132: Gegenüberstellung der maximalen Wassertiefe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.4 Benetzter Umfang

Bei Betrachtung des benetzten Umfangs lassen sich bei Q_{bv} an morphodynamischen Prozessstellen keine Auffälligkeiten verzeichnen.
Der kleinste Mittelwert des benetzten Umfangs wurde bei Prozess 4 (Seitenerosion 3) mit 30 m und der größte Wert bei Prozess 8 (Seitenerosion 5) mit 49 m festgestellt (Abb. 133).

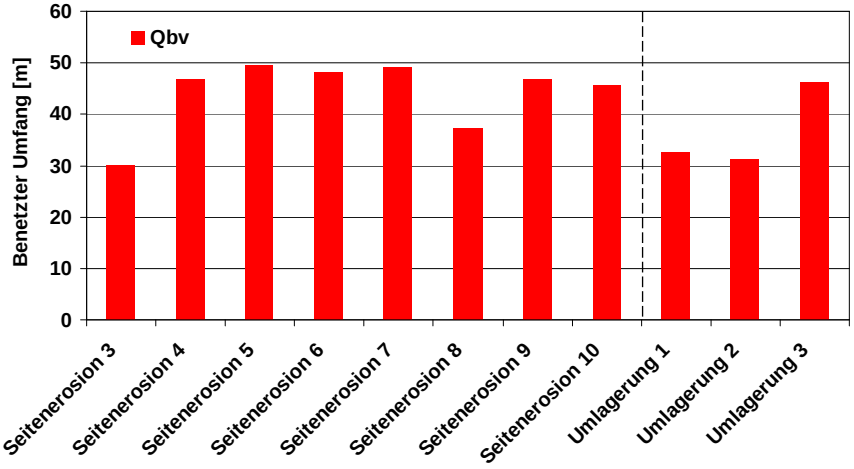


Abb. 133: Benetzter Umfang an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der in Abb. 134 dargestellte Vergleich morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit morphodynamischen Prozessstellen, basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992, bringt folgende Erkenntnisse:

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg der benetzte Umfang mit zunehmendem Abfluss. So wurde bei MQ ein Mittelwert von 37 m, bei HQ_{30} 92 m und bei Q_{2005} 107 m erreicht.
- Infolge des zunehmenden Abflusses nahm der benetzte Umfang auch an Prozessstellen zu. Bis zum Abfluss HQ_{30} lagen die Mittelwerte jedoch deutlich unter jenen an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten. Bedingt durch vermehrte Ausuferungen überstieg der benetzte Umfang ab HQ_{100} jenen an nicht aktiven Abschnitten.
  Beim Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005} lag der benetzte Umfang an Prozessstellen im Mittel bei 185 m und war somit beinahe doppelt so groß wie an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten.

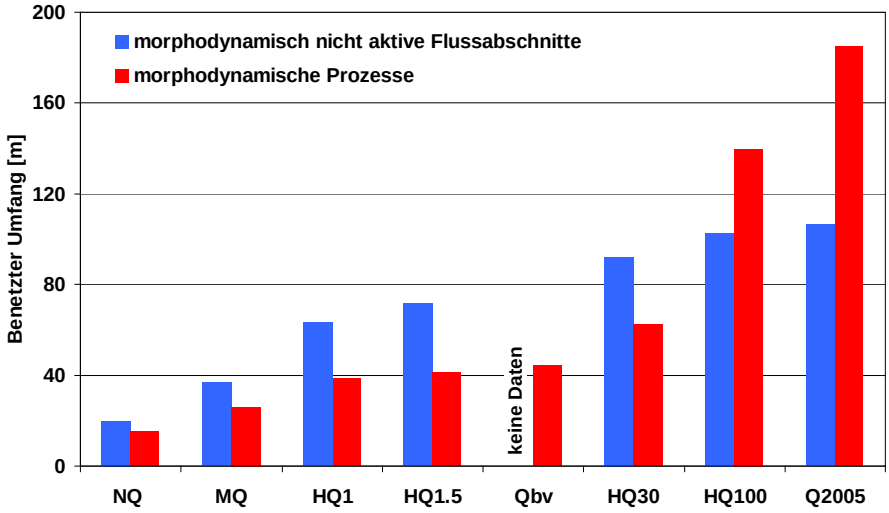


Abb. 134: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die separate Auswertung der Prozessgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass speziell bei HQ_{100} Flussabschnitte mit Umlagerungen einen im Mittel größeren benetzten Umfang als Abschnitte mit Seitenerosionen erreichten. Bei HQ_{100} lagen die Mittelwerte für die Teilgruppe *Seitenerosion* bei 125 m und für die Teilgruppe *Umlagerung* bei 179 m (Abb. 135).

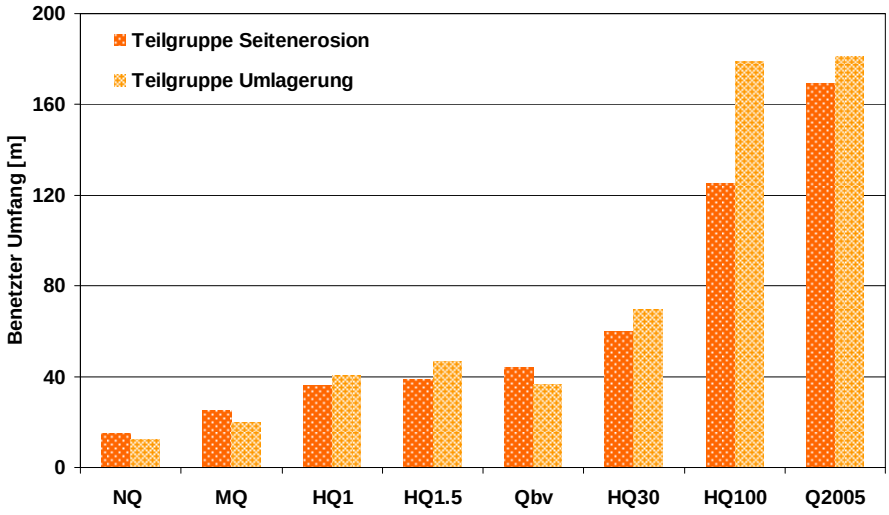


Abb. 135: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Bei der Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 wurde deutlich, dass die Seitenerosion (Prozess 12) die Gerinnegeometrie so veränderte, dass es zu einer Vergrößerung des benetzten Umfangs kam. Im Jahr 1992 lag der Mittelwert bei $HQ_{1.5}$ bei 32 m; nach dem Hochwasser 2005 erhöhte er sich auf 62 m (Abb. 136; B).

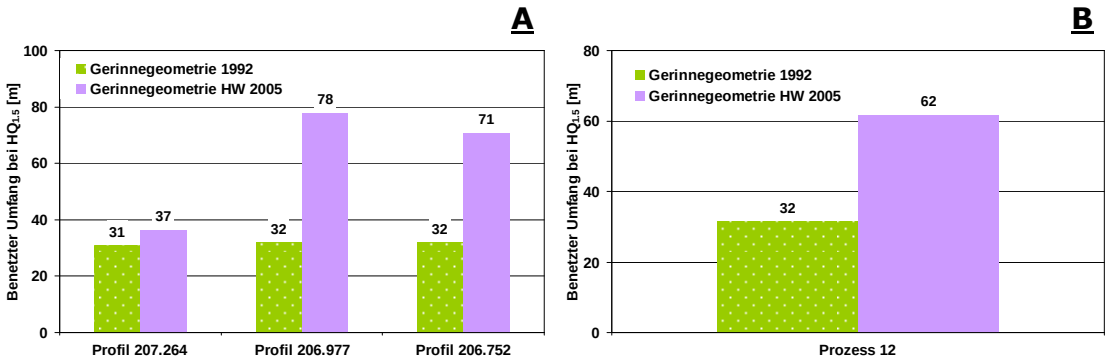


Abb. 136: Gegenüberstellung des benetzten Umfangs von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.5 Durchflossene Querschnittsfläche

Wie in Abb. 137 ersichtlich, nahm die durchflossene Querschnittsfläche beim bordvollen Abfluss Q_{bv} an den ausgewiesenen Umlagerungsstellen im Durchschnitt geringere Werte als an den Flussabschnitten mit Seitenerosionen an.

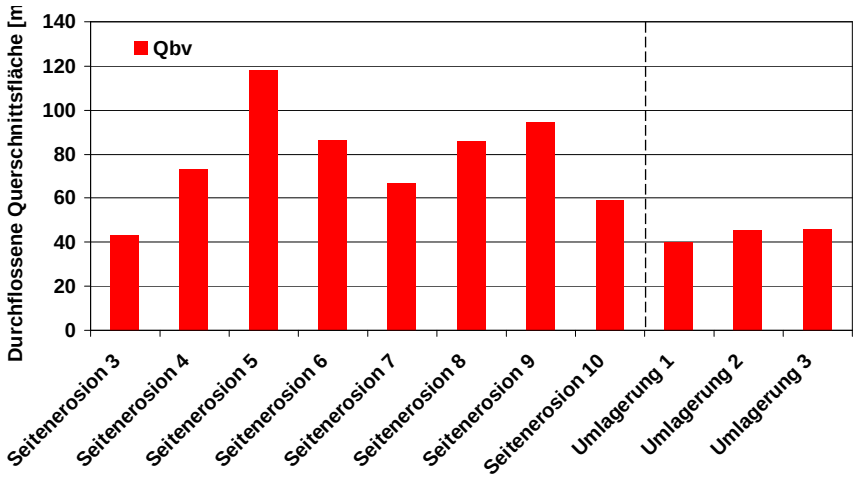


Abb. 137: Durchflossene Querschnittsfläche an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der direkte Vergleich der durchflossenen Querschnittsfläche an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen führt zu folgenden Erkenntnissen (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 138):

- Erwartungsgemäß stieg die durchflossene Querschnittsfläche an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit zunehmendem Abfluss. Bei MQ wurde ein Mittelwert von 18 m², bei HQ_{30} 136 m² und bei Q_{2005} 215 m² erreicht.
- An morphodynamischen Prozessstellen zeigte sich, dass mit Ausnahme des Abflusses Q_{2005} die Mittelwerte leicht unter jenen an morphodynamisch nicht aktiven Abschnitten lagen. Es lässt sich somit eine ähnliche Entwicklung wie an nicht aktiven Flussabschnitten feststellen. Lediglich bei Q_{2005} lag der Mittelwert der durchflossenen Querschnittsfläche mit 251 m² leicht über dem Vergleichswert (215 m²) an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten. Als Ursache können vermehrte Ausuferungen an Prozessstellen infolge des großen Abflusses (Q_{2005}), die zu einer Vergrößerung der durchflossenen Querschnittsfläche führten, genannt werden.

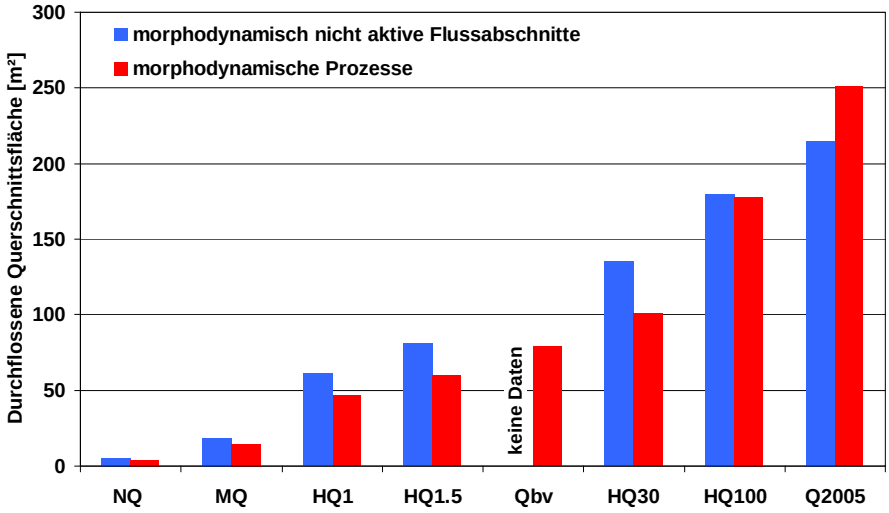


Abb. 138: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Betrachtung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* lassen sich bei den Abflüssen NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30} und Q_{2005} keine signifikanten Unterschiede der durchflossenen Querschnittsfläche feststellen.

Beim bordvollen Abfluss Q_{bv} konnten an Flussabschnitten mit Seitenerosionen größere Mittelwerte des durchflossenen Querschnitts als an Abschnitten mit Umlagerungen festgestellt werden. Bei HQ_{100} ist es genau umgekehrt; hier lagen die Mittelwerte der Teilgruppe *Umlagerung* über jenen der Teilgruppe *Seitenerosion* (Abb. 139).

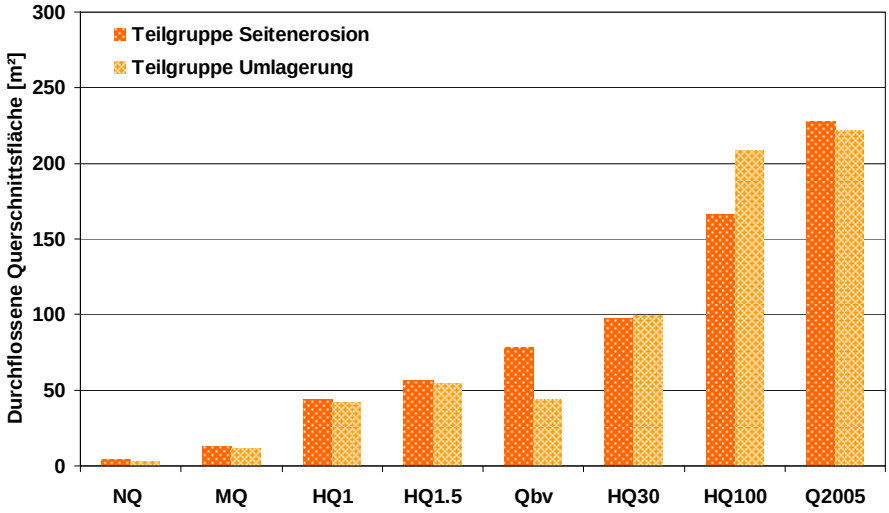


Abb. 139: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass es infolge der veränderten Geometrie im Bereich des Prozesses 12 zu einer Erhöhung der durchflossenen Querschnittsfläche kam. Im Jahr 1992 lag der Mittelwert beim Abfluss $HQ_{1.5}$ bei 57 m²; nach dem Hochwasser 2005 wurde ein Wert von 76 m² erreicht (Abb. 140, B).

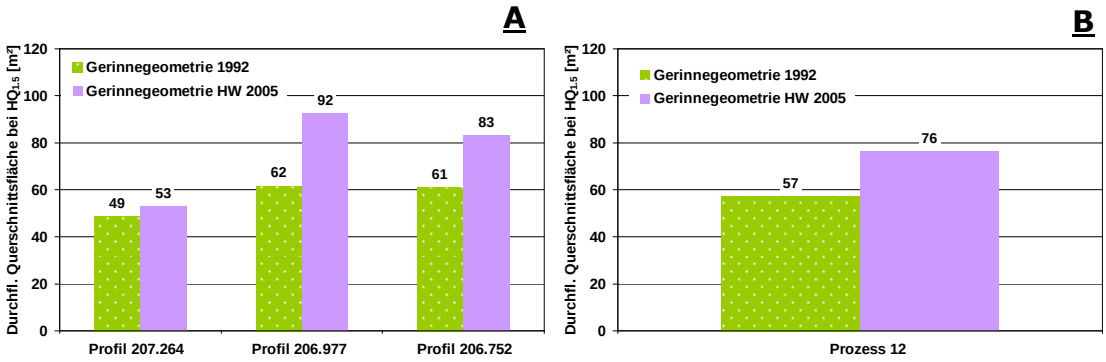


Abb. 140: Gegenüberstellung der durchflossenen Querschnittsfläche von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.6 Hydraulischer Radius

Abb. 141 zeigt den hydraulischen Radius bei Q_{bv} an allen morphodynamischen Prozessstellen. Die Werte variieren zwischen 0.96 m bei Prozess 9 (Umlagerung 3) und 2.39 m bei Prozess 8 (Seitenerosion 5).

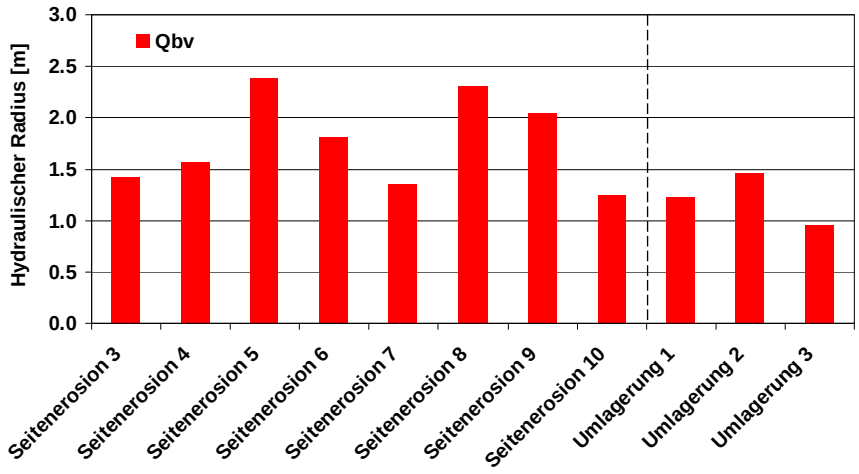


Abb. 141: Hydraulischer Radius an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Die Gegenüberstellung der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte mit den Prozessstellen, basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 brachte folgende Erkenntnisse (Abb. 142):

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg der hydraulische Radius mit zunehmendem Abfluss relativ kontinuierlich. Beispielweise lag der Mittelwert des hydraulischen Radius beim Ereignisabfluss Q_{2005} bei 2.30 m.
- An Prozessstellen hingegen stieg der hydraulische Radius zunächst auch, erreichte jedoch bei HQ_{30} einen Maximalwert und sank danach leicht ab. Diese Entwicklung ist auf die zunehmenden Ausuferungen bei den Abflüssen HQ_{100} und Q_{2005} zurückzuführen.
  Bei Q_{2005} beträgt der Mittelwert des hydraulischen Radius 1.75 m.

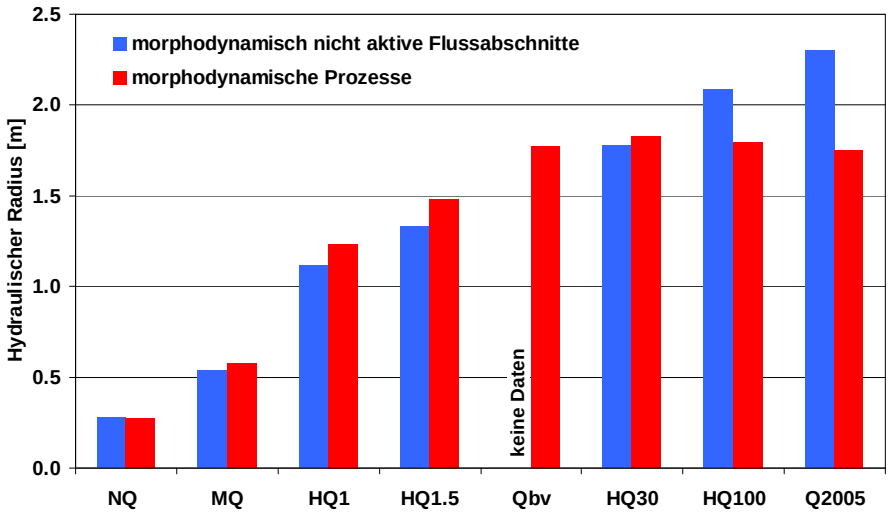


Abb. 142: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die vertiefende Analyse der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* verdeutlicht, dass bei den beiden Teilgruppen eine abweichende Entwicklung mit zunehmendem Abfluss vorliegt. Wie in Abb. 143 ersichtlich, lag der Maximalwert der Teilgruppe *Seitenerosion* bei HQ_{30} (1.83 m); jener der Teilgruppe *Umlagerung* wurde hingegen erst beim Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005} (1.69 m) erreicht.

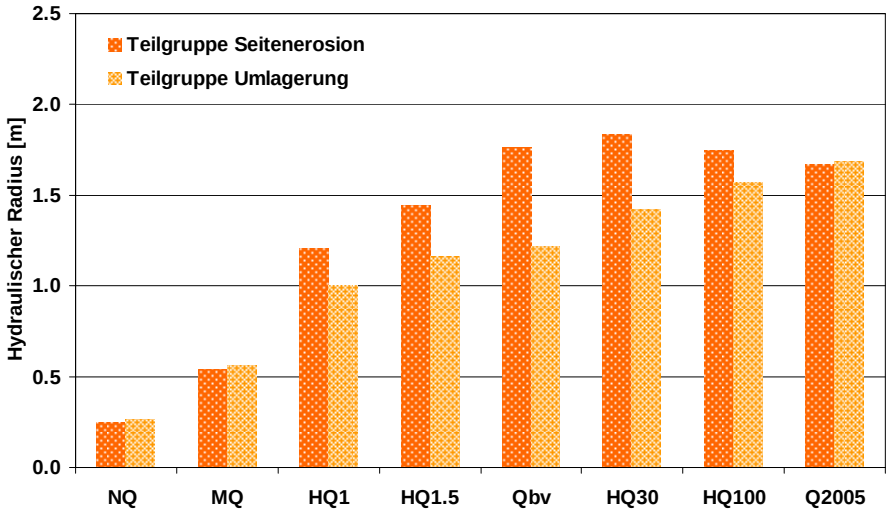


Abb. 143: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die in weiterer Folge durchgeführte Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass der hydraulische Radius infolge der Seitenerosion (Prozess 12) von durchschnittlich 1.81 m im Jahr 1992 auf 1.27 m nach dem Hochwasser 2005 abnahm (Abb. 144, B).

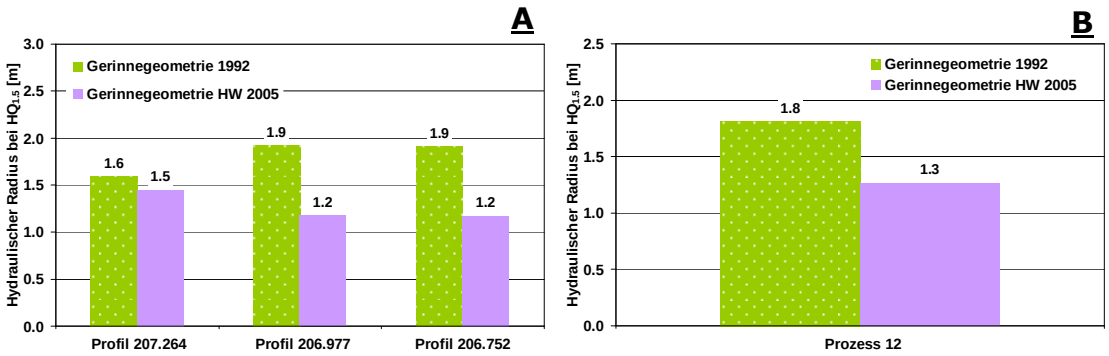


Abb. 144: Gegenüberstellung des hydraulischen Radius von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.2.7 Breiten-Tiefen-Verhältnis

Bei Analyse des Breiten-Tiefen-Verhältnisses an allen morphodynamischen Prozessstellen bei Q_{bv} lassen sich keine Auffälligkeiten feststellen. Die Mittelwerte variieren zwischen 10.5 bei Prozess 12 (Seitenerosion 8) und 28.8 bei Prozess 9 (Umlagerung 3) (Abb. 145).

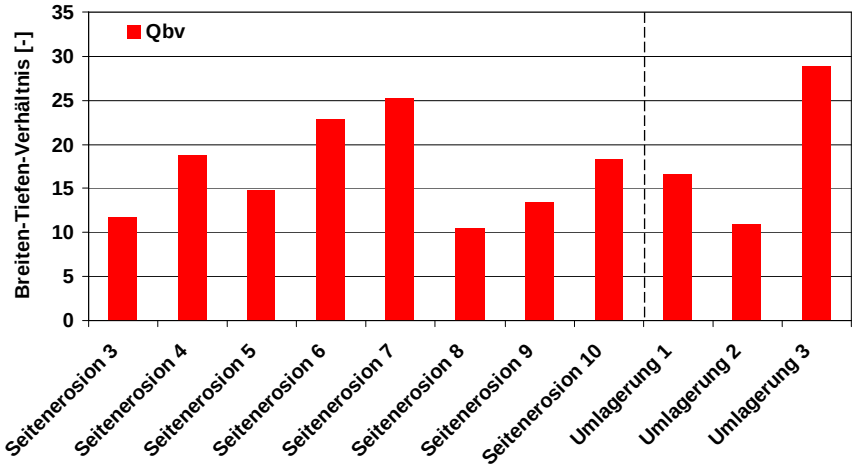


Abb. 145: Breiten-Tiefen-Verhältnis an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Durch Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit Prozessstellen können folgende Informationen abgeleitet werden (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 146):

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten wurde der Maximalwert des Breiten-Tiefen-Verhältnisses beim Niederwasserabfluss NQ (48.4) erreicht. Mit zunehmendem Abfluss sank das Breiten-Tiefen-Verhältnis bis auf 31.2 beim Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005}.
- An Prozessstellen kann eine vollkommen andere Entwicklung festgestellt werden. Nachdem das Breiten-Tiefen-Verhältnis bei NQ noch bei 37.3 lag, sank sie bis zu Q_{bv} auf ihren Minimalwert von 17.2. Mit zunehmendem Abfluss stieg das Breiten-Tiefen-Verhältnis wieder an, und erreichte beim Ereignisabfluss vom Hochwasser den Maximalwert von 42.1.

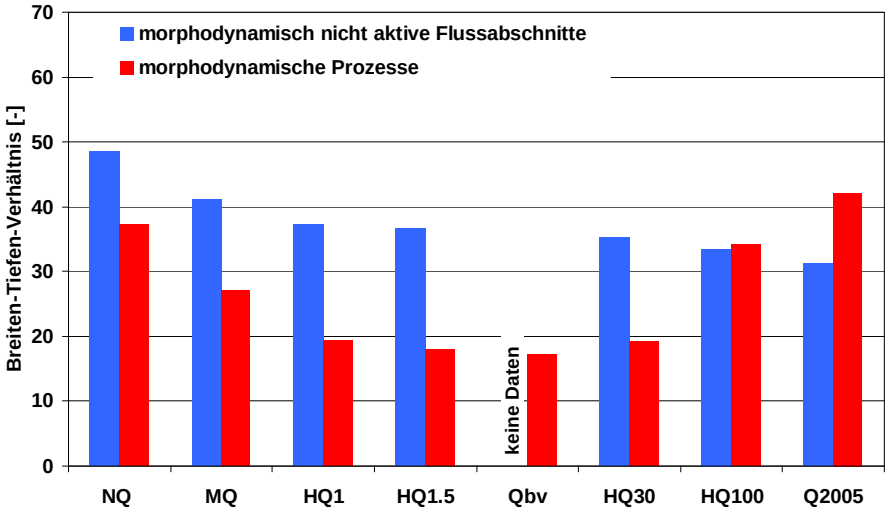


Abb. 146: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jenem an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Durch den Vergleich der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* wird deutlich, dass bei den Abflüssen HQ_{100} und Q_{2005} an Flussabschnitten mit Umlagerungen größere Mittelwerte des Breiten-Tiefen-Verhältnisses als an Abschnitten mit Seitenerosionen auftraten (Abb. 147).

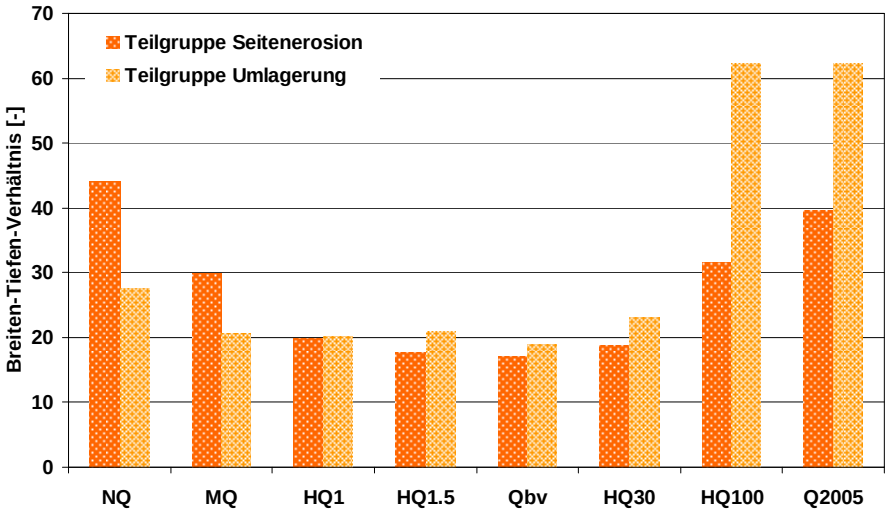


Abb. 147: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass es infolge der veränderten Geometrie im Bereich des Prozesses 12 bei $HQ_{1.5}$ im Mittel zu einem Anstieg des Breiten-Tiefen-Verhältnisses von 16.5 auf 48.8 kam (Abb. 148, B).

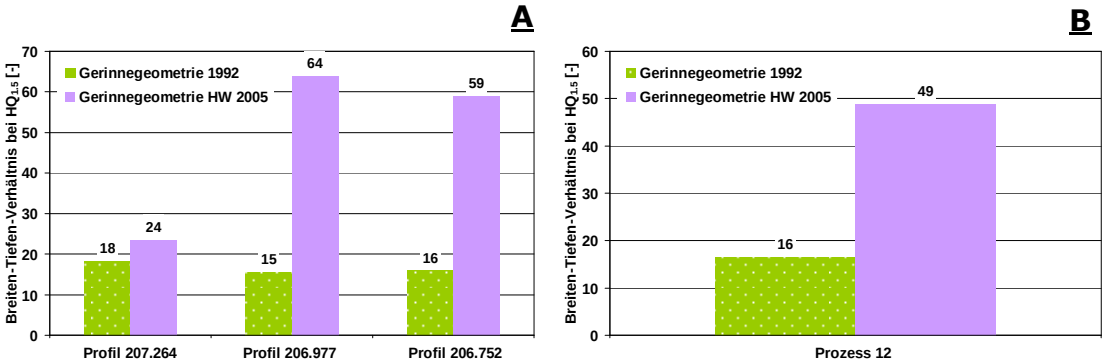


Abb. 148: Gegenüberstellung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.3 Analyse der Hydraulik

In diesem Kapitel werden Parameter der Hydraulik untersucht. Dazu zählen Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Froude-Zahl, Total Stream Power (TSP) und Specific Stream Power (SSP). Sie wurden im Zuge der hydraulischen Modellierung mit HEC-RAS© ermittelt.

5.5.3.1 Fließgeschwindigkeit

Abb. 149 stellt die, über das Querprofil gemittelte Fließgeschwindigkeit an allen morphodynamischen Prozessstellen dar. Die Mittelwerte variieren bei Q_{bv} zwischen 1.31 m s^{-1} bei Prozess 13 (Umlagerung 2) und 4.79 m s^{-1} bei Prozess 6 (Seitenerosion 5).

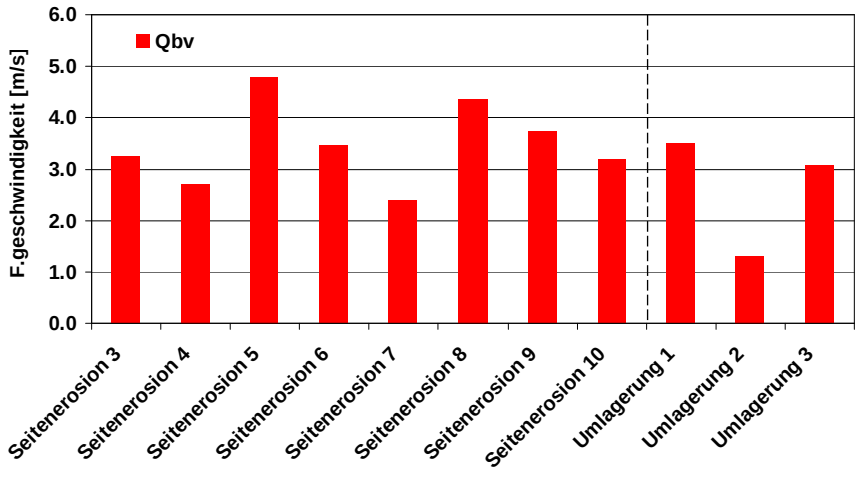


Abb. 149: Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit morphodynamischen Prozessstellen lassen sich, basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 folgende Erkenntnisse ableiten (Abb. 150):

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg die Fließgeschwindigkeit mit zunehmendem Abfluss. Beispielsweise lagen die Mittelwerte bei MQ bei 1.56 m s^{-1}, bei HQ_{30} bei 3.45 m s^{-1} und bei Q_{2005} bei 3.95 m s^{-1}.
- An Prozessstellen ist die Entwicklung mit zunehmendem Abfluss eine Ähnliche. Unterschiedlich ist jedoch, dass die Fließgeschwindigkeit ab Erreichen des bordvollen Abflusses Q_{bv} keine signifikanten Veränderungen in der Größenordnung mehr zeigte. Bei den Abflüssen Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und

Q_{2005} beträgt die, über das Querprofil gemittelte Fließgeschwindigkeit 3.59 m s^{-1}, 3.63 m s^{-1}, 3.56 m s^{-1} und 3.73 m s^{-1}.

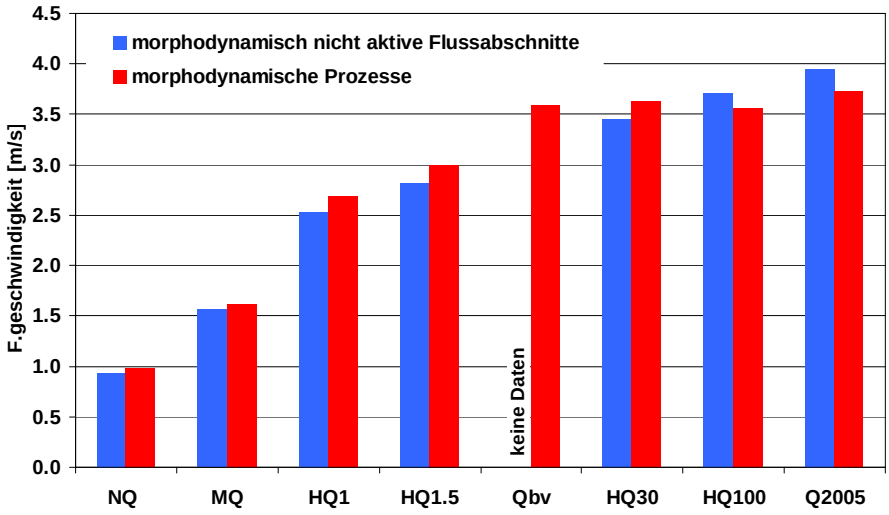


Abb. 150: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die separate Auswertung der Prozessgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass bei allen Modellierungsabflüssen an Flussabschnitten mit Umlagerungen im Mittel geringere Fließgeschwindigkeiten als an Abschnitten mit Seitenerosionen auftraten. Die größte Differenz konnte bei HQ_{100} festgestellt werden; hier lag die mittlere Fließgeschwindigkeit der Teilgruppe *Seitenerosion* bei 3.52 m s^{-1} und der Teilgruppe *Umlagerung* bei 2.20 m s^{-1} (Abb. 151).

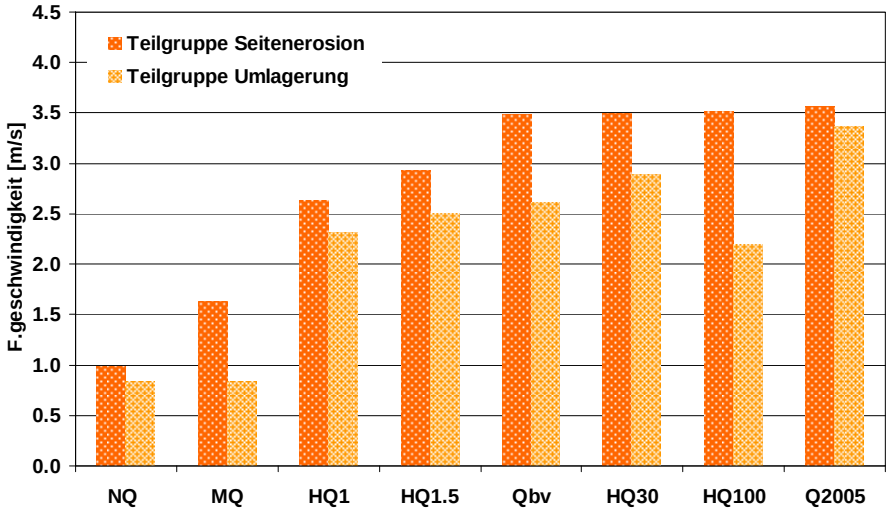


Abb. 151: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Durch den Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 konnten im Bereich des Prozesses 12 auch Veränderungen der Fließgeschwindigkeit festgestellt werden. Infolge der, durch das Hochwasser 2005 hergestellten Seitenerosion nahm bei $HQ_{1.5}$ die Fließgeschwindigkeit ab. Wie in Abb. 152 (B) ersichtlich, sank die mittlere Fließgeschwindigkeit von 3.45 m s^{-1} im Jahr 1992 auf 2.71 m s^{-1} nach dem Hochwasser 2005.

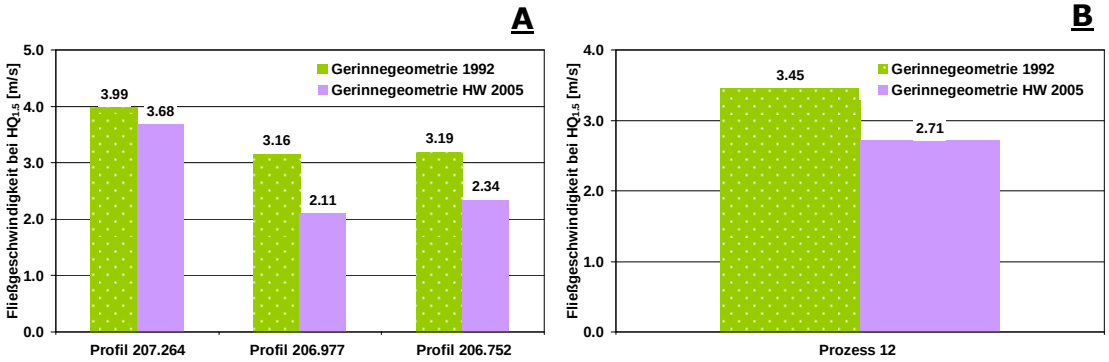


Abb. 152: Gegenüberstellung der Fließgeschwindigkeit von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.3.2 Sohlschubspannung

Die Analyse der, über das Querprofil gemittelten Sohlschubspannung an allen morphodynamischen Prozessstellen bei Q_{bv} zeigt eine stark erhöhte Sohlschubspannung bei Prozess 13 (Umlagerung 2) (Abb. 153). Dieser hohe Wert kann auf das ebenso erhöhte Energieliniengefälle zurückgeführt werden (Kapitel 5.5.1.2).

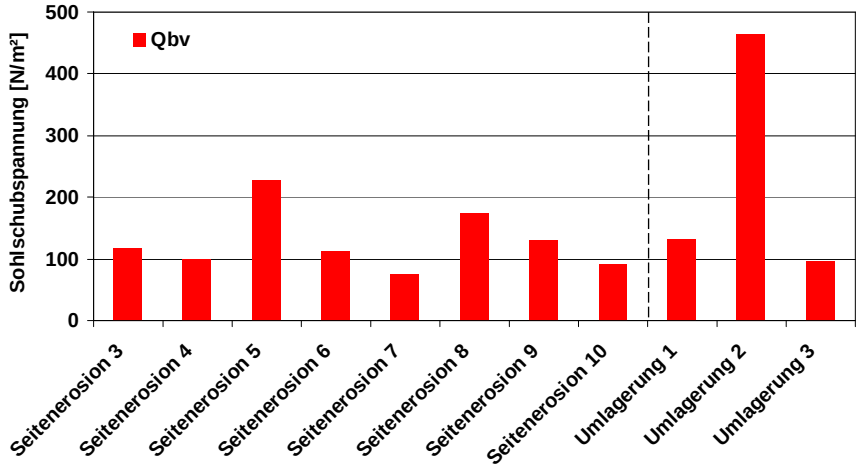


Abb. 153: Sohlschubspannung an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der in Abb. 154 dargestellte Vergleich morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit Prozessstellen bringt folgende Erkenntnisse (Gerinnegeometrie 1992):

- Analog zur Fließgeschwindigkeit stieg die Sohlschubspannung an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit zunehmendem Abfluss. Bei MQ, HQ_{30} und Q_{2005} wurden im Mittel 32.9 N m^{-2}, 116.2 N m^{-2} und 144.7 N m^{-2} erreicht.
- An morphodynamisch aktiven Prozessstellen stieg die Sohlschubspannung bis zum Abfluss HQ_{30} stärker als an nicht aktiven Abschnitten an, pendelte sich jedoch dann um 160 - 170 N m^{-2} bis zu Q_{2005} ein.

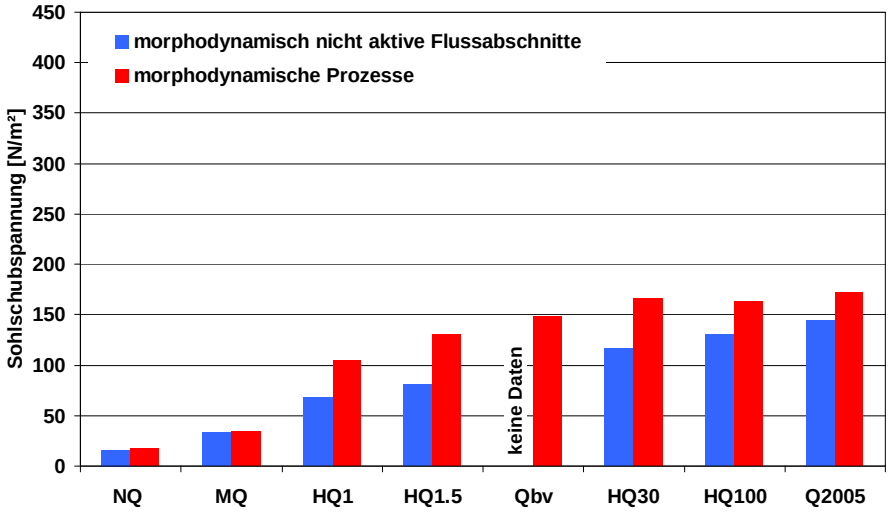


Abb. 154: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die vertiefende Analyse der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass analog zum Energieliniengefälle, an Flussabschnitten mit Umlagerungen höhere Sohlschubspannungen als an Abschnitten mit Seitenerosionen erreicht wurden. Die größte Differenz ließ sich bei $HQ_{1.5}$ feststellen (Abb. 155).

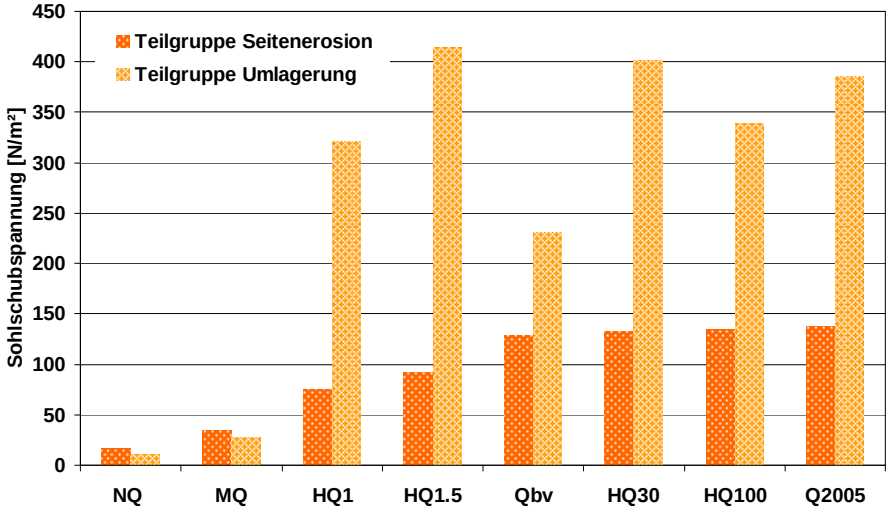


Abb. 155: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 brachte ein erwartetes Ergebnis: Im Mittel nahm die Sohlschubspannung bei $HQ_{1.5}$ infolge der Seitenerosion (Prozess 12) von 114.3 N m^{-2} auf 80.8 N m^{-2} ab. (Abb. 156, B)

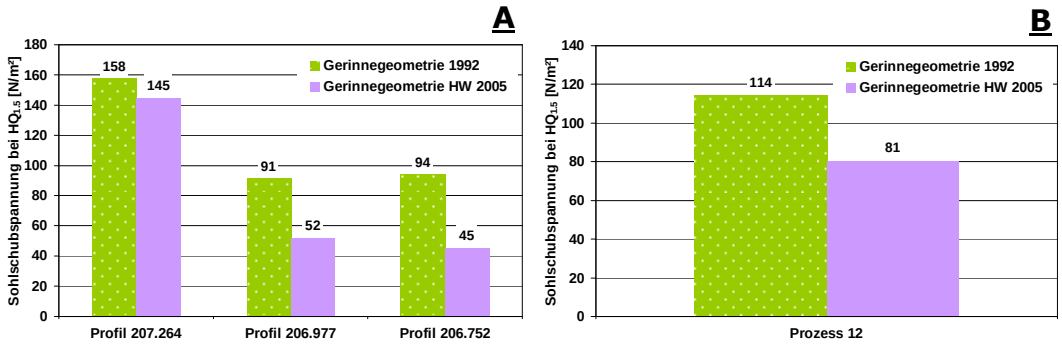


Abb. 156: Gegenüberstellung der Sohlschubspannung von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.3.3 Froude-Zahl

Wie Abb. 157 zeigt, variiert die Froude-Zahl aller morphodynamischen Prozesse bei Q_{bv} zwischen 0.34 (Prozess 13; Umlagerung 2) und 1.00 (Prozess 12; Umlagerung 1).

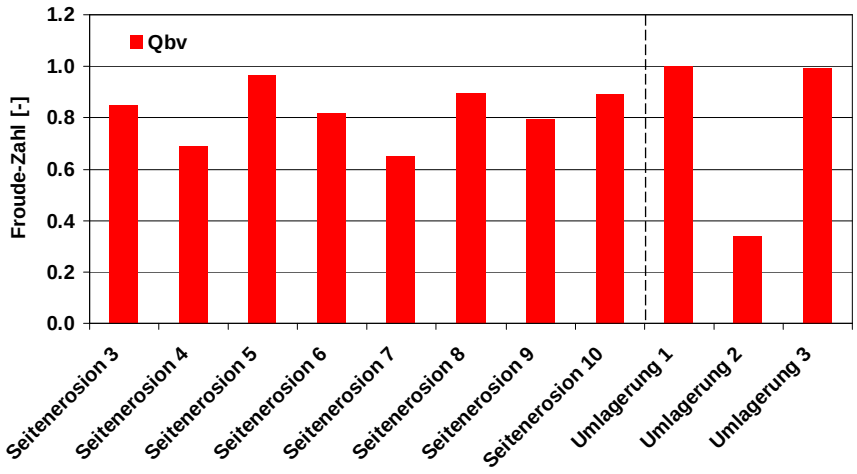


Abb. 157: Froude-Zahl an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Durch Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit morphodynamischen Prozessstellen lassen sich folgende Informationen ableiten (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 158):

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg die Froude-Zahl mit zunehmendem Abfluss, erreichte im Bereich des bordvollen Abflusses Q_{bv} den Maximalwert und sank bis zum Abfluss Q_{2005} wieder. Bei Q_{2005} beträgt die Froude-Zahl 0.77.
- An morphodynamischen Prozessstellen lässt sich eine ähnliche Entwicklung feststellen. Der Maximalwert der Froude-Zahl wurde bei Q_{bv} erreicht (0.85). Beim Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005} lag die Froude-Zahl im Mittel bei nur mehr 0.73.

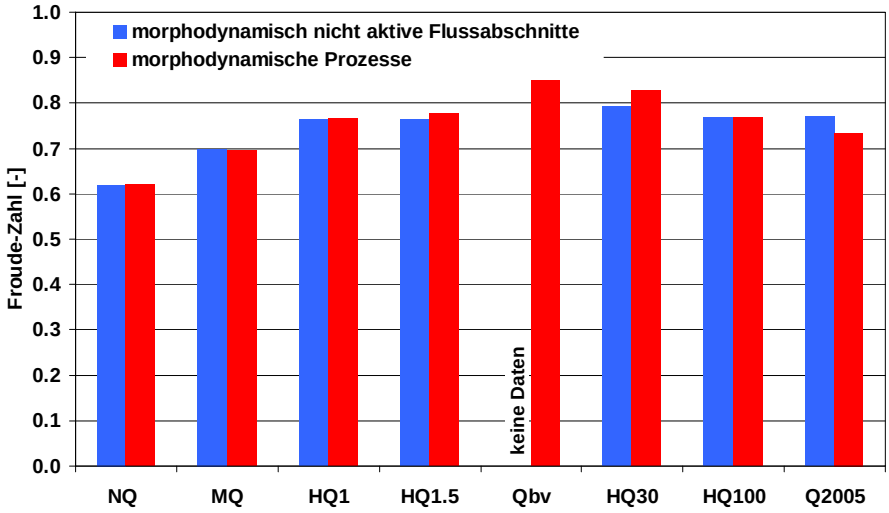


Abb. 158: Gegenüberstellung der Froude-Zahl an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Durch die Gegenüberstellung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* wird deutlich, dass mit Ausnahme des Abflusses HQ_{30} an Flussabschnitten mit Umlagerung im Mittel geringere Froude-Zahlen als an Abschnitten mit Seitenerosion erreicht wurden (Abb. 159).

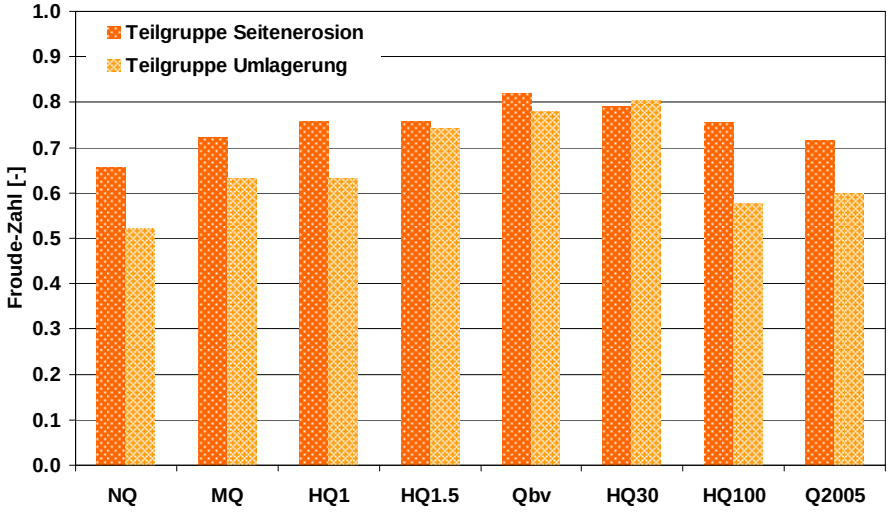


Abb. 159: Gegenüberstellung der Froude-Zahl an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass es im Bereich des Prozesses 12 bei $HQ_{1.5}$ infolge der Seitenerosion zu einer Abnahme der Froude-Zahl von 0.81 im Jahr 1992 auf 0.75 nach dem Hochwasser 2005 kam (Abb. 160, B).

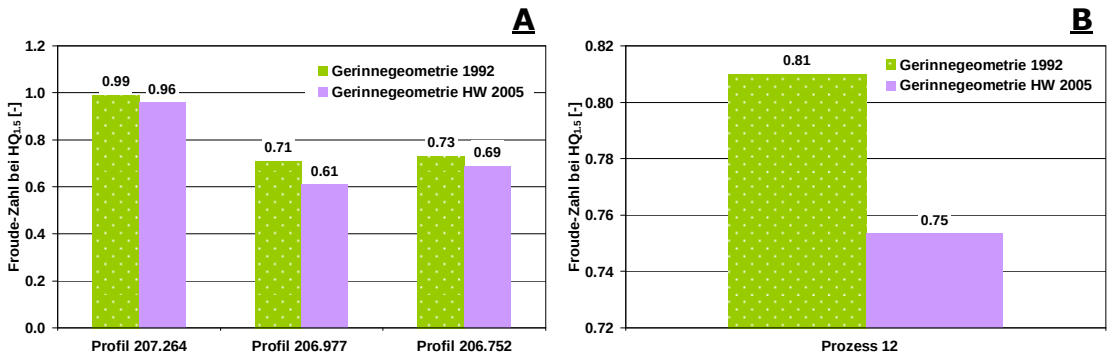


Abb. 160: Gegenüberstellung der Froude-Zahl von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.3.4 Total Stream Power

Die Analyse des Parameters Total Stream Power (TSP) an allen morphodynamischen Prozessstellen zeigt beim bordvollen Abfluss Q_{bv} eine große Schwankungsbreite. Die Mittelwerte variieren zwischen 8871 W m^{-1} bei Prozess 8 (Seitenerosion 7) und 62529 W m^{-1} bei Prozess 6 (Seitenerosion 5) (Abb. 161).

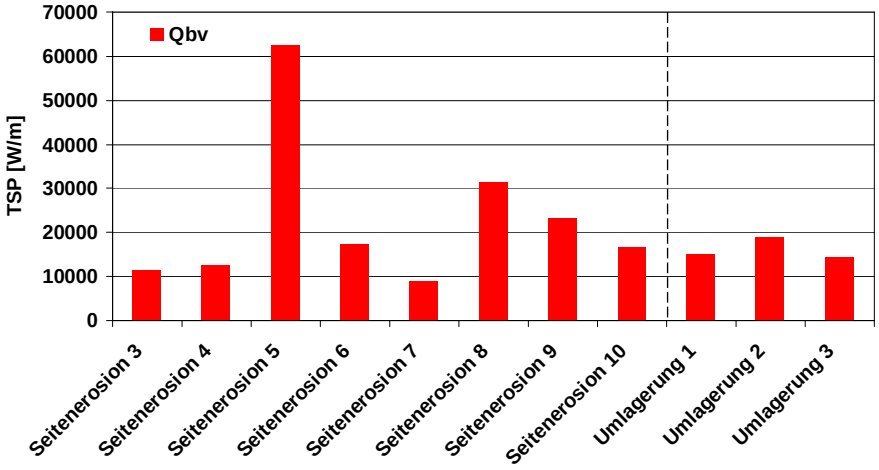


Abb. 161: TSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Der in Abb. 162 dargestellte Vergleich morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit Prozessstellen, basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992, bringt folgende Erkenntnisse:

- An morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten stieg die TSP mit zunehmendem Abfluss. Bei MQ wurde ein Mittelwert von 1767 W m^{-1}, bei HQ_{30} 23406 W m^{-1} und bei Q_{2005} 35831 W m^{-1} erreicht.
- Auch an morphodynamisch aktiven Prozessstellen nahm die TSP mit zunehmendem ebenfalls Abfluss zu. Beispielsweise lag sie bei MQ bei 1490 W m^{-1}, bei HQ_{30} bei 24961 W m^{-1} und bei Q_{2005} bei 31816 W m^{-1}.
- Zwischen morphodynamisch nicht aktiven und aktiven Flussabschnitten ist kein signifikanter Unterschied festzustellen. Lediglich beim Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005} lag der Mittelwert der TSP an Prozessstellen leicht unter jenem an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten.

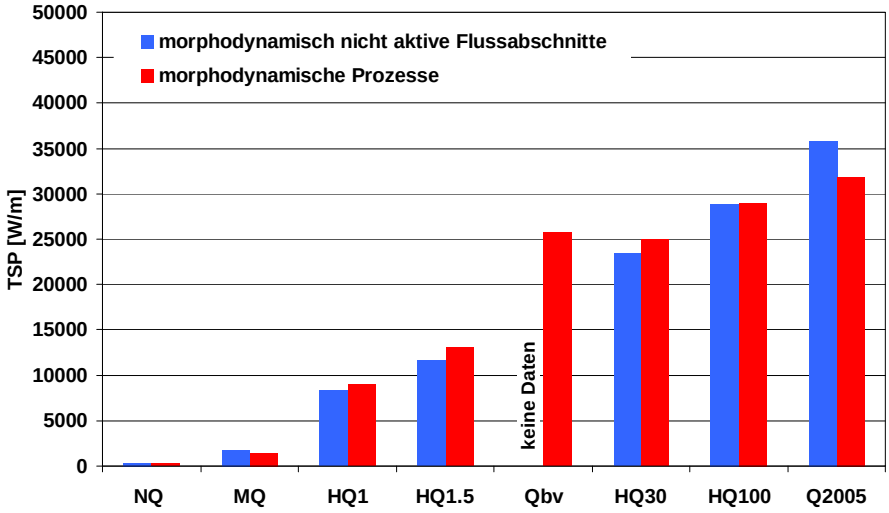


Abb. 162: Gegenüberstellung der TSP an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Gegenüberstellung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* lassen sich eindeutige Unterschiede verzeichnen. Bei den Abflüssen HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005} lag der Mittelwert der Teilgruppe *Umlagerung* deutlich über jenem der Teilgruppe *Seitenerosion*. Bei Q_{bv} ist das genau umgekehrt; hier lag die mittlere TSP an Flussabschnitten mit Umlagerung unter jener an Abschnitten mit Seitenerosionen (Abb. 163).

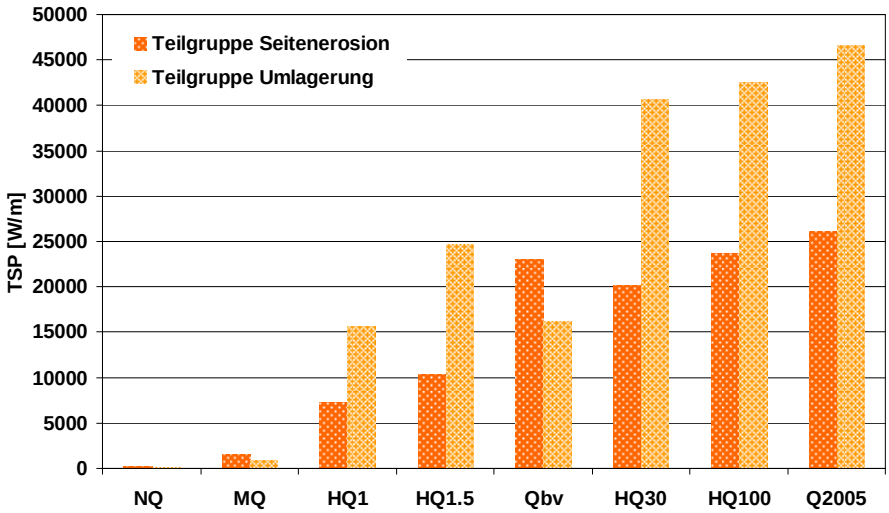


Abb. 163: Gegenüberstellung der TSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die in weiterer Folge durchgeführte Analyse der Gerinnegeometrie zeigt, dass es durch die Gerinneveränderung (Prozess 12) zu einer Abnahme der TSP kam. Im Durchschnitt reduzierte sich die TSP bei $HQ_{1.5}$ von 12707 W m^{-1} aus dem Jahr 1992 auf 11855 W m^{-1} nach dem Hochwasser 2005 (Abb. 164, B).

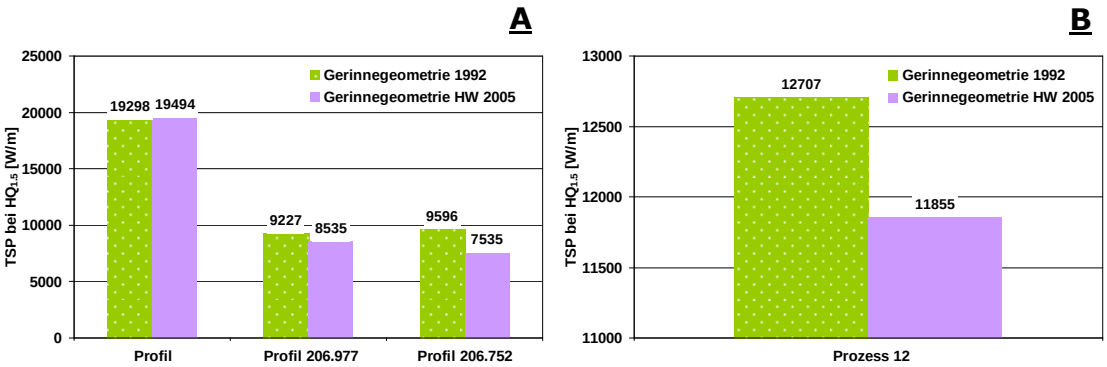


Abb. 164: Gegenüberstellung der TSP von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.3.5 Specific Stream Power

Der Parameter Specific Stream Power (SSP) variiert bei Q_{bv} an morphodynamisch aktiven Prozessstellen zwischen 181 W m^{-2} bei Prozess 8 (Seitenerosion 7) und 1229 W m^{-2} bei Prozess 6 (Seitenerosion 5) (Abb. 165).

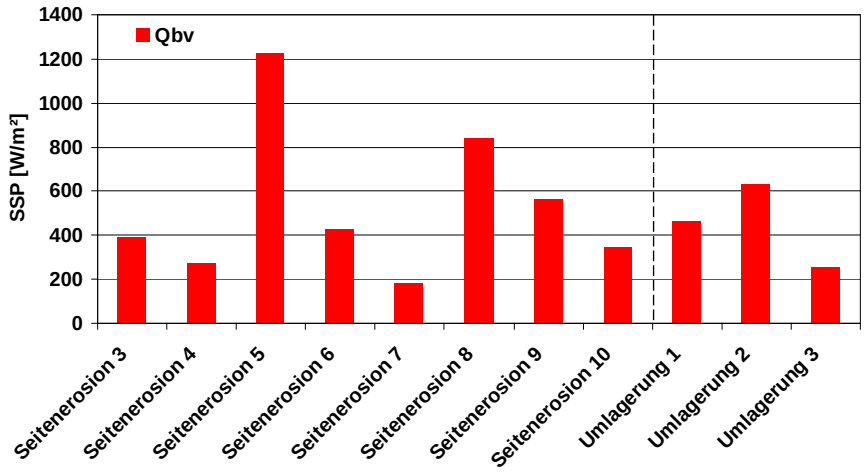


Abb. 165: SSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (*Seitenerosion* und *Umlagerung*) bei Q_{bv}; Gerinnegeometrie 1992

Bei Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitten mit morphodynamischen Prozessstellen ergeben sich folgende Erkenntnisse (Gerinnegeometrie 1992) (Abb. 166):

- Bei Nieder- und Mittelwasserabfluss gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen morphodynamisch aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten.
- Ab dem Abfluss $HQ_{1.5}$ zeigten morphodynamisch nicht aktive Flussabschnitte eine andere Entwicklung mit zunehmendem Abfluss als Prozessstellen.
- An Flussabschnitten mit keiner morphodynamischen Aktivität kam es mit zunehmendem Abfluss zu einem relativ kontinuierlichen Anstieg des Parameters SSP. Bei MQ wurde ein Mittelwert von 60 W m^{-2}, bei $HQ_{1.5}$ 235 W m^{-2} und bei Q_{2005} 609 W m^{-2} erreicht.
- An morphodynamisch aktiven Prozessstellen stieg die SSP zunächst auch, erreichte jedoch beim bordvollen Abfluss Q_{bv} einen Maximalwert (588 W m^{-2}) und sank bis zum Ereignisabfluss vom Hochwasser Q_{2005} wieder ab. Die Mittelwerte bei MQ, $HQ_{1.5}$ und Q_{2005} lagen bei 59 W m^{-2}, 325 W m^{-2} und 429 W m^{-2}.
- Diese klar abweichende Entwicklung resultiert daraus, dass bei morphodynamisch aktiven Prozessstellen das Flussbett beim bordvollen Abfluss die größte Belastung erfuhr. Danach führten Ausuferungen zu einer

Vergrößerung der Wasserspiegelbreite sowie einer Verringerung des Energieliniengefälles. Daher nahm auch der Parameter SSP ab.

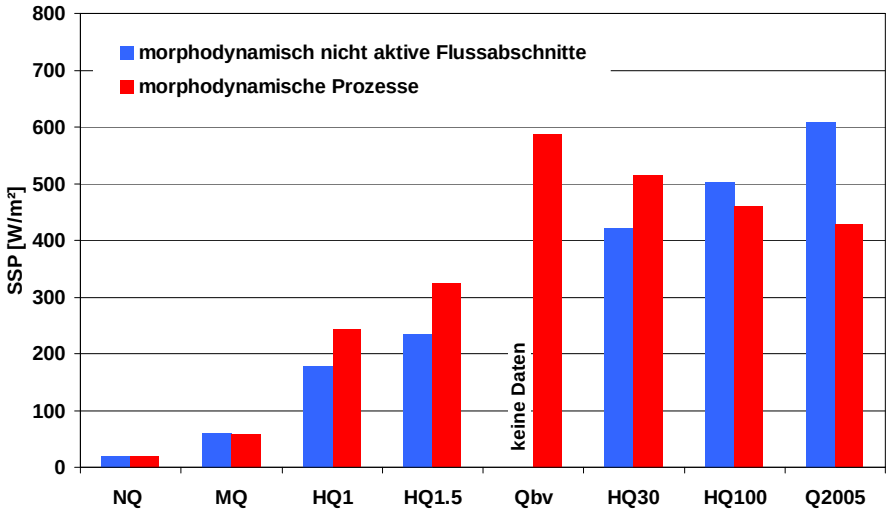


Abb. 166: Gegenüberstellung der SSP an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten mit jener an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Der Vergleich der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt, dass bei den Abflüssen HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005} an Flussabschnitten mit Umlagerungen höhere Mittelwerte der SSP als an Abschnitten mit Seitenerosionen erreicht wurden. Bei den Abflüssen NQ, MQ und Q_{bv} ist es genau umgekehrt; hier lagen die Mittelwerte der Teilgruppe *Seitenerosion* über jenen der Teilgruppe *Umlagerung* (Abb. 167).

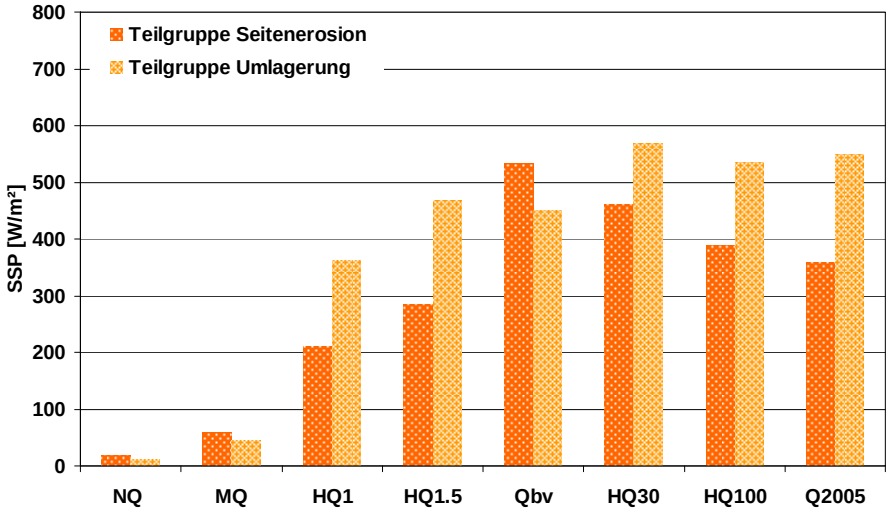


Abb. 167: Gegenüberstellung der SSP an morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ, HQ_1, $HQ_{1.5}$, Q_{bv}, HQ_{30}, HQ_{100} und Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 bestätigt die vorangegangenen Analysen. Durch die Seitenerosion (Prozess 12) veränderte sich die Gerinnegeometrie so, dass es zu einer Verringerung des Parameters SSP kam. Im Jahr 1992 lag der Mittelwert für $HQ_{1.5}$ bei 419 W m^{-2} und nach dem Hochwasser 2005 bei 257 W m^{-2} (Abb. 168; B).

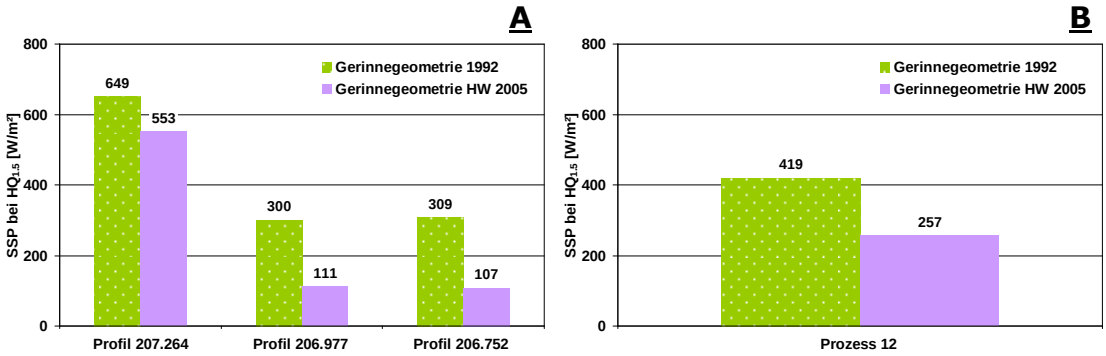


Abb. 168: Gegenüberstellung der SSP von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.4 Analyse des Feststoffhaushalts

In diesem Kapitel werden zunächst die Parameter relative Höhe und relative Rauigkeit quantitativ analysiert. Eingangsdaten dieser beiden Parameter sind die Korndurchmesser D_{50} und D_{90}. Da diese Größen nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet zur Verfügung standen, konnte lediglich jene Analysemethode, bei der ein kleiner Flussabschnitt (Prozess 12; Seitenerosion) untersucht wurde, durchgeführt werden. Auf Basis von Veränderungen der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 und vom Hochwasser 2005 wird die Entwicklung der Parameter relative Höhe und relative Rauigkeit analysiert. Zu erwähnen ist, dass die dafür erforderlichen Korndurchmesser (D_{50}, D_{90}) der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 entsprechen. Da es durch das Hochwasser 2005 möglicherweise zu einer Veränderung der Korngrößen kam, sind die Ergebnisse der relativen Höhe und relativen Breite nach dem Hochwasser mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.
Abschließend werden durch das Hochwasser 2005 entstandene Eintiefungen und Auflandungen (Prozess 12) beschrieben und analysiert.

5.5.4.1 Relative Höhe

Wie in den vorhergehenden Kapiteln wurden auch bei den Parametern relative Höhe und relative Rauigkeit Veränderungen der Gerinnegeometrie untersucht. Der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt, dass es bei Prozess 12 zu einer Abnahme der relativen Höhe kam. Durch die Seitenerosion sank die relative Höhe bei $HQ_{1.5}$ von 64 im Jahr 1992 auf 45 nach dem Hochwasser 2005 (Abb. 169, B).

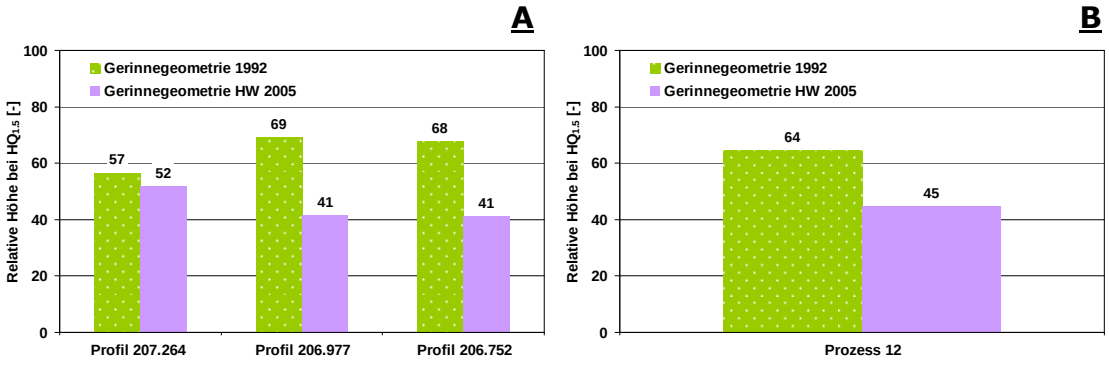


Abb. 169: Gegenüberstellung der relativen Höhe von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.4.2 Relative Rauigkeit

Die Gerinnegeometrie im Bereich des Prozesses 12 veränderte sich so, dass es zu einer Zunahme des Parameters relative Rauigkeit kam. Im Jahr 1992 lag die mittlere relative Rauigkeit $HQ_{1.5}$ bei 0.08; nach dem Hochwasser 2005 erhöhte sich der Wert auf 0.12 (Abb. 170, B).

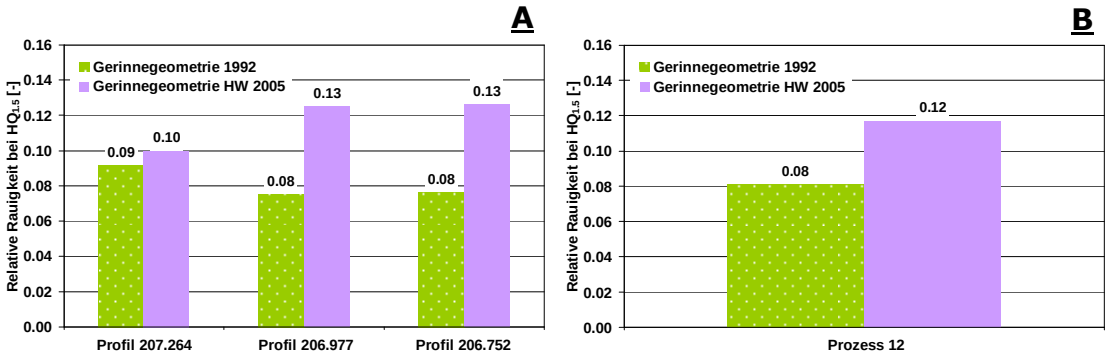


Abb. 170: Gegenüberstellung der relativen Rauigkeit von Gerinnegeometrie 1992 und nach dem Hochwasser 2005 für $HQ_{1.5}$; A: Querprofile Prozess 12 (FKM 207.264, 206.977 und 206.752); B: Mittelwert Prozess 12

5.5.4.3 Eintiefungen und Auflandungen

Nach PICKUP & WARNER (1976) sind Veränderungen des Gerinnebettes ein Messinstrument für die geomorphologische Effektivität von Hochwasserabflüssen. Am Beispiel des Prozesses 12 lassen sich Veränderungen der Gerinnegeometrie von 1992 bis zum Hochwasser 2005 veranschaulichen (Abb. 171).

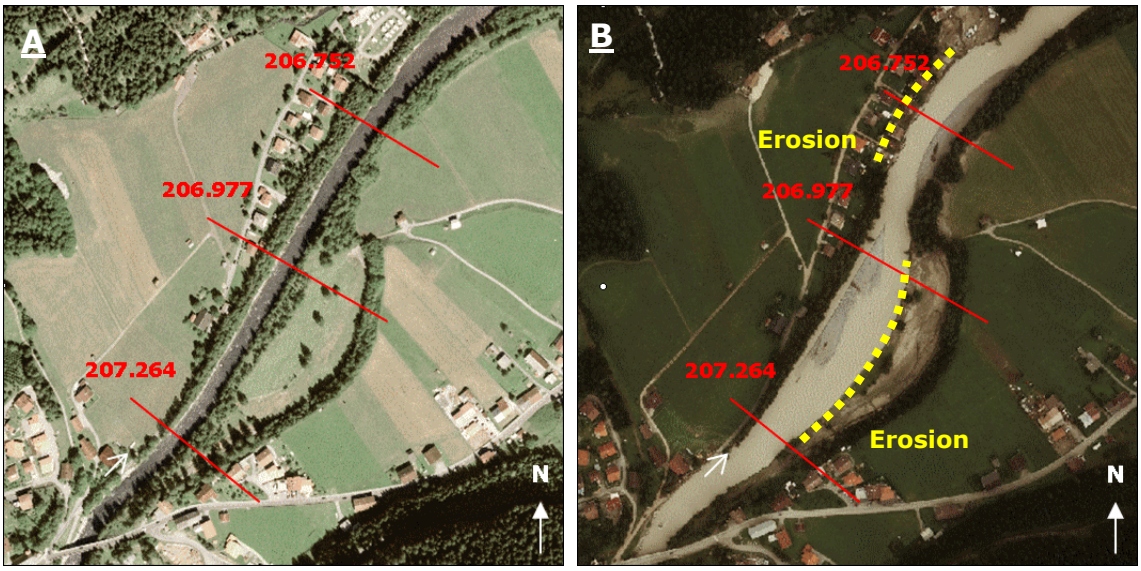


Abb. 171: Prozess 12; A: Luftbild aus dem Jahr 2000 (LAND TIROL); B: Luftbild vom Hochwasser 2005 (LAND TIROL); mod. durch WAGNER, 2008

Im Zuge des Hochwassers wurde von FKM 207.3 – 206.7 (Querprofile 207.264, 206.977 und 206.752) das orographisch rechte Ufer über eine Länge von ca. 200 m und das orographisch linke Ufer über eine Länge von ca. 100 m erodiert. Am jeweilig gegenüberliegenden Ufer kam es zu Auflandungen. Die Seitenerosion führte zu einer Verbreiterung des Gerinnes. Dadurch stand mehr Abflusskapazität zur Verfügung.

Einen Überblick verschaffen die folgenden Abbildungen (Abb. 172 bis Abb. 174), in denen die Gerinnegeometrien der Querprofile 207.264, 206.977 und 206.752 aus dem Jahr 1992 mit jenen nach dem Hochwasser 2005 überlagert wurden.

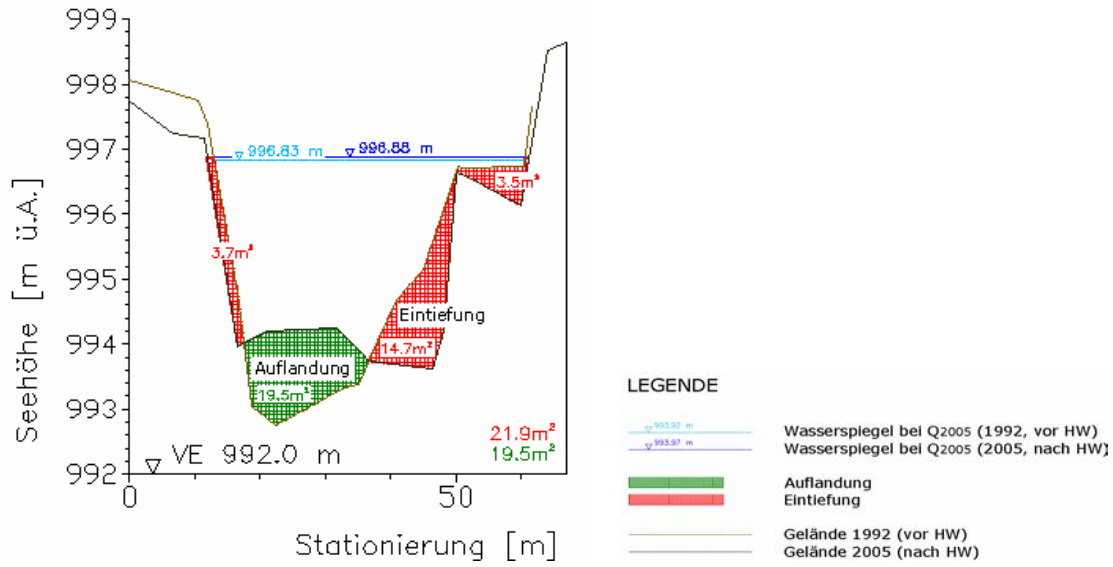


Abb. 172: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 207.264 (Profil 12)

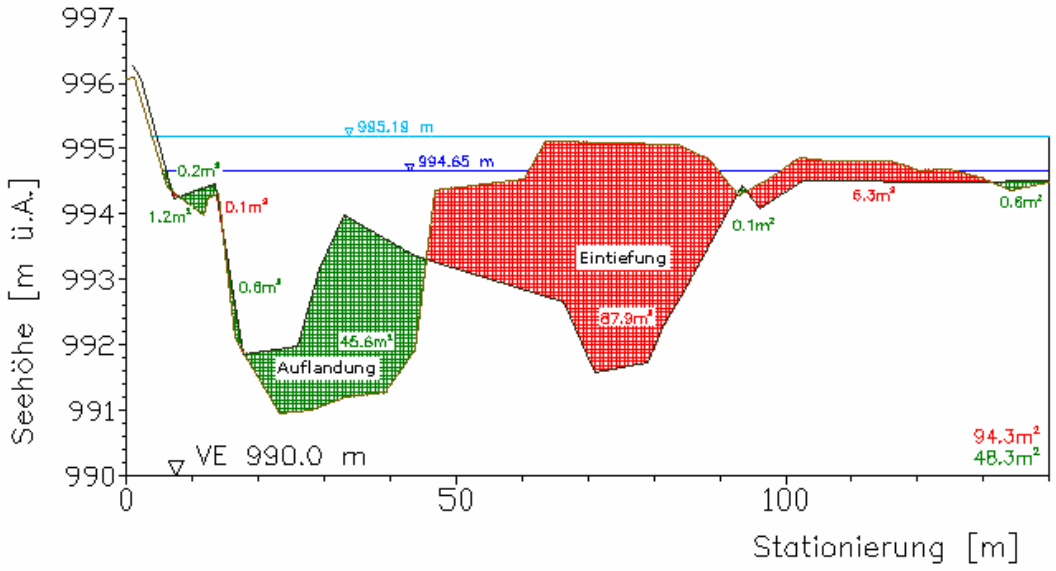


Abb. 173: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 206.977 (Profil 12)

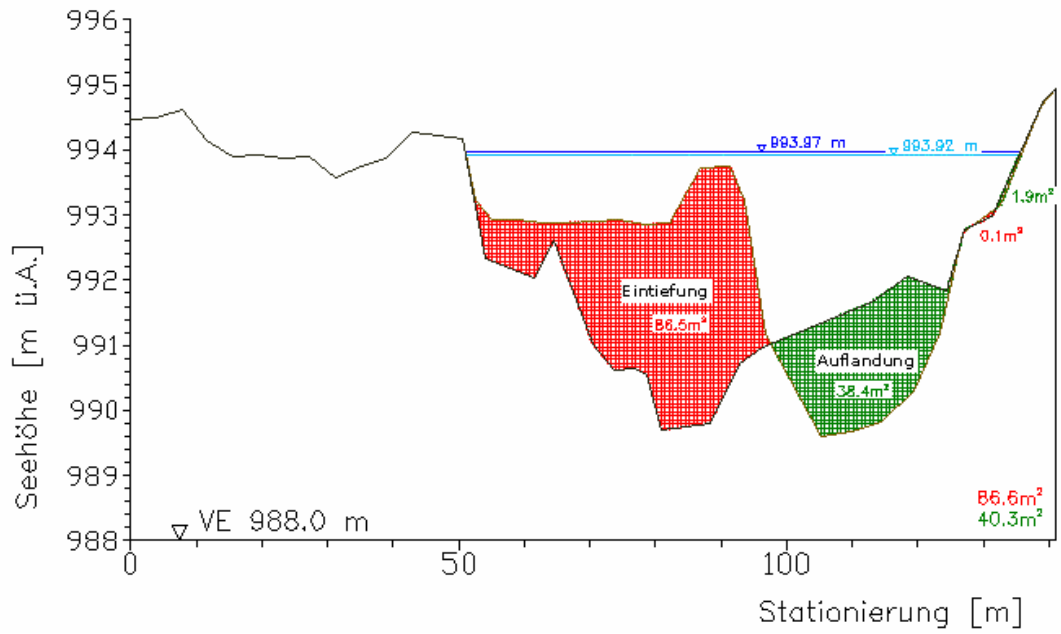


Abb. 174: Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Querprofil 206.752 (Prozess 12)

Die durch das Hochwasser 2005 veränderte Gerinnegeometrie (Seitenerosion) führte auch zu Veränderungen diverser Parameter. Bei $HQ_{1.5}$ kam es zu einer Zunahme der Parameter Wasserspiegelbreite, benetzter Umfang, durchflossene Querschnittsfläche, Breiten-Tiefen-Verhältnis und relative Rauigkeit sowie zu einer Abnahme de Parameter Energieliniengefälle, mittlere und maximale Wassertiefe, hydraulischer Radius, Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Froude-Zahl, TSP, SSP und relative Höhe. Nähere Informationen sind den jeweiligen Kapiteln (5.5.1.2 bis 0) zu entnehmen.

Zusammenfassend zeigt Tab. 11 eine Auflistung der Eintiefungen und Auflandungen aller Querprofile, die innerhalb des Prozesses 12 liegen. Die größte Eintiefung wird in Querprofil 206.752 mit -3.9 m registriert. Die größte Auflandung liegt im Querprofil 206.977 und beträgt 2.8 m.

Tab. 11: Eintiefungen und Auflandungen (Prozess 12)

Querprofil [FKM]	Eintiefung [m²]	Auflandung [m²]	max. Eintiefung [m]	max. Auflandung [m]	mittl. Eintiefung [m]	mittl. Auflandung [m]	Total [m]
207.264	21.9	19.5	-1.9	1.5	-0.8	1.2	0.4
206.977	94.3	48.3	-3.5	2.8	-1.3	0.1	-1.2
206.752	86.6	40.3	-3.9	1.9	-2.1	1.3	-0.8

Abb. 175 gibt die Ergebnisse in grafischer Form wieder. Auf der Ordinate ist die Sohlhöhenänderung [m] aufgetragen und auf der Abszisse finden sich die Werte für die Eintiefung, Auflandung sowie die Totalwerte der betrachteten Querprofile 207.264, 206.977 und 206.752 von Prozess 12.

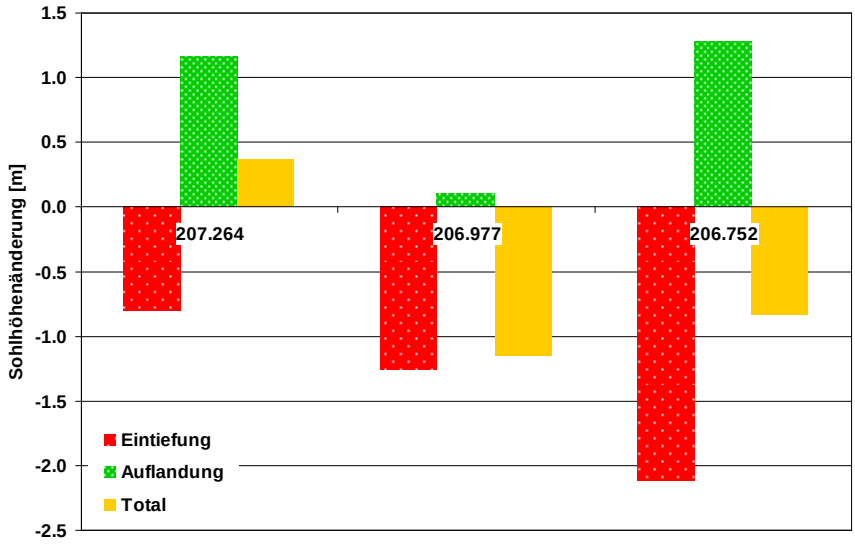


Abb. 175: Eintiefungen und Auflandungen (Prozess 12)

5.6 Zusammenfassung prozessrelevanter Parameter

In den vorangegangenen Kapiteln (Kapitel 5.5.1.2 bis 5.5.4.2) wurden zahlreiche Parameter auf quantitativer Basis analysiert. Ziel dieses Kapitels ist es, die im Zuge der quantitativen Analyse ermittelten Ergebnisse zusammenzufassen und einen Überblick zu verschaffen. Dadurch sollen erste Erkenntnisse über die Eignung der untersuchten Parameter als Indikator für morphodynamische Aktivität abgeleitet werden.

5.6.1 Gegenüberstellung aktiver und nicht aktiver Flussabschnitte

Zunächst werden die Ergebnisse jener Analysemethode, bei der morphodynamisch aktive und nicht aktive Flussabschnitte miteinander verglichen wurden, zusammengefasst. Grundgedanke dieser Methode ist es, morphodynamische Aktivität anhand charakteristischer Parameterwerte bzw. auffälliger Veränderungen hinsichtlich der Größenordnung, bereits vor dem Auftreten des Hochwassers zu erkennen.
Als Grundlage fungierte das hydraulische Modell mit der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992. Untersucht wurden die Parameter Energieliniengefälle, Wasserspiegelbreite, mittlere und maximale Wassertiefe, benetzter Umfang, durchflossene Querschnittsfläche, hydraulischer Radius, Breiten-Tiefen-Verhältnis, Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Froude-Zahl, TSP und SSP.

In Tab. 13 sind die Mittelwerte der untersuchten Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten sowie an aktiven Prozessstellen aller Modellierungsabflüsse zusammengestellt. Tab. 14 und Tab. 15 zeigen neben den Mittelwerten der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte, jene der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung*.

Um die Unterschiede zwischen morphodynamisch aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten besser zu veranschaulichen, wurden den Parametern, in Abhängigkeit des Schwankungsbereichs Kategorien zugeteilt. Dadurch war es möglich, Veränderungen der Mittelwerte an morphodynamischen Prozessstellen im Vergleich zu morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten anhand 7 verschiedener Zeichen zu analysieren.
Nach Tab. 12 wird zwischen *keiner signifikanten Veränderungen* (~), einer *geringen Zunahme* (+), einer *Zunahme* (++), einer *starken Zunahme* (+++), einer *geringen Abnahme* (–), einer *Abnahme* (––) und einer *starken Abnahme* (–––) unterschieden.
Beispielsweise bedeutet das Zeichen ~, dass kein bzw. ein vernachlässigbarer Unterschied (0 ± 2%) zwischen den Parameter-Mittelwerten der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte und der aktiven Abschnitte besteht.

Ein +++ hingegen, steht für einen stark erhöhten Mittelwert an morphodynamischen Prozessstellen im Vergleich zum Mittelwert an nicht aktiven Flussabschnitten.

Tab. 12: Kategorien

Zeichen	Kategorie	Schwankungsbereich
~	*keine signifikante Veränderung*	0-2% Zu- oder Abnahme
+	*geringe Zunahme*	2-15% Zunahme
+ +	*Zunahme*	15-50% Zunahme
+ + +	*starke Zunahme*	> 50% Zunahme
−	*geringe Abnahme*	2-15% Abnahme
− −	*Abnahme*	15-50% Abnahme
− − −	*starke Abnahme*	> 50% Abnahme

In Tab. 16 sind die Veränderungen der untersuchten Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte und aktiver Prozessstellen aller Modellierungsabflüsse kategorisch dargestellt.
Tab. 17 und Tab. 18 fassen Veränderungen der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zusammen.

Wie in Tab. 16 bis Tab. 18 ersichtlich, variieren die Zeichen bei unterschiedlichem Abfluss stark. Beispielsweise nimmt die Fließgeschwindigkeit an aktiven Prozessstellen im Vergleich zu nicht aktiven Flussabschnitten bei $HQ_{1.5}$ geringfügig zu (+), bei Q_{2005} jedoch geringfügig ab (−). Diese unterschiedliche Entwicklung ist darauf zurückzuführen, dass bei $HQ_{1.5}$ die Belastung im Flussabschnitt relativ groß ist; im Vergleich dazu führen vermehrte Ausuferungen an Prozessstellen bei Q_{2005} zu einer Entlastung des Flussabschnitts und in weiterer Folge zu einer Abnahme der, über das Querprofil gemittelten Fließgeschwindigkeit.

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Entwicklung der Parameter-Mittelwerte mit zunehmendem Abfluss bereits im Detail erörtert. Daher liegt der Fokus dieser Analyse auf der Interpretation jenes Abflusses, bei dem der Fluss die größte Belastung erfährt. Da der aktuelle bordvolle Abfluss Q_{bv}, der am besten geeignet wäre, nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet verfügbar war, wurde auf den bordvollen Abflusses eines anthropogen unbeeinflussten Gewässers $Q_{bv,NATUR}$ zurückgegriffen. Nach LEOPOLD et al. (1964), KNIGHTON (1999) und GOMEZ et al. (2007) kann anstelle von $Q_{bv,NATUR}$ näherungsweise der Abfluss $HQ_{1.5}$ verwendet werden. Die in weiterer Folge durchgeführte Interpretation basiert auf dem Abfluss $HQ_{1.5}$.

Das **Energieliniengefälle** liegt im Mittel an morphodynamisch aktiven Prozessstellen 34% (++) über jenem Wert an nicht aktiven Abschnitten. Bei der Teilgruppe *Seitenerosion* erhöht sich das Energieliniengefälle an Prozessstellen im Mittel etwas

geringer (+). Bei der Teilgruppe *Umlagerung* kommt es hingegen zu einem starken Anstieg (+++).

Die mittlere **Wasserspiegelbreite** bei $HQ_{1.5}$ liegt an morphodynamisch aktiven Prozessstellen um 44% unter jener an nicht aktiven Flussabschnitten (––). Bei den Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* gibt es keine abweichende Entwicklung.

Die über das Querprofil gemittelte **Wassertiefe** erreicht an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität geringfügig größere Mittelwerte als an nicht aktiven Abschnitten (11%; +). Bei der Teilgruppe *Seitenerosion* kann ebenfalls eine geringfügige Zunahme (+), bei der Teilgruppe *Umlagerung* jedoch eine geringfügige Abnahme (–) des Mittelwerts an Prozessstellen verzeichnet werden.

Auch die **maximale Wassertiefe** ist an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität geringfügig größer als an nicht aktiven Abschnitten (6%; +). Bei der Teilgruppe *Umlagerung* kann die gleiche Entwicklung festgestellt werden. An Flussabschnitten mit Seitenerosionen sind im Mittel keine signifikanten Unterschiede bei der maximalen Wassertiefe zwischen aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten zu erkennen (~).

Die Parameter **benetzter Umfang** und **durchflossene Querschnittsfläche** liegen an morphodynamisch aktiven Prozessstellen im Mittel unter jenen Werten an nicht aktiven Flussabschnitten (-43% bzw. -36%; ––). Die Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigen keine abweichende Entwicklung.

Der **hydraulische Radius** liegt im Mittel an morphodynamisch aktiven Prozessstellen 11% (+) über jenem Wert an nicht aktiven Flussabschnitten. Bei der Teilgruppe *Seitenerosion* liegt eine ähnliche Entwicklung vor (+). Bei der Teilgruppe *Umlagerung* kommt es hingegen zu einer geringfügigen Abnahme des Mittelwerts (–).

Das **Breiten-Tiefen-Verhältnis** ist an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität deutlich kleiner als an nicht aktiven Abschnitten (-51%; –––). Im Gegensatz zur Teilgruppe *Seitenerosion* (–––) ist bei der Teilgruppe *Umlagerung* eine nicht so starke Abnahme an Prozessstellen (––) festzustellen.

Die über das Querprofil gemittelte **Fließgeschwindigkeit** erreicht an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität bei $HQ_{1.5}$ geringfügig höhere Werte als an nicht aktiven Flussabschnitten (6%; +). Leicht abweichend ist wieder die Entwicklung der Teilgruppe *Umlagerung*; hier liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten geringfügig unter jener an nicht aktiven Abschnitten (–).

Die **Sohlschubspannung** ist an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität deutlich größer als an nicht aktiven Abschnitten (62%; +++). Im Unterschied zur Teilgruppe *Umlagerung* (+++) liegt die mittlere Sohlschubspannung bei der

Teilgruppe *Seitenerosion* an Prozessstellen nur leicht über jenem Wert an nicht aktiven Abschnitten (+).

Die **Froude-Zahl** liegt im Mittel an morphodynamisch aktiven Prozessstellen 3% (+) über jenem Wert an nicht aktiven Flussabschnitten. Bei der Teilgruppe *Seitenerosion* liegt kein signifikanter Unterschied zwischen morphodynamisch aktiven und nicht aktiven Flussabschnitten vor (~). Bei der Teilgruppe *Umlagerung* kommt es hingegen zu einer geringfügigen Abnahme (–).

Der Parameter **TSP** weist an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten einen um 13% (+) größeren Mittelwert als an nicht aktiven Flussabschnitten auf. Die separate Analyse der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* zeigt eine unterschiedliche Entwicklung. Während an Flussabschnitten mit Seitenerosionen die TSP im Vergleich zu morphodynamisch nicht aktiven Abschnitten geringfügig abnimmt (–), kommt es an Abschnitten mit Umlagerungen zu einer starken Zunahme (+++).

Der Parameter **SSP** erreicht an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten einen um 38% (++) größeren Mittelwert als an nicht aktiven Flussabschnitten. Bei Betrachtung der Teilgruppen *Seitenerosion* und *Umlagerung* kann bei Fluss-abschnitten mit Umlagerungen ein höherer Mittelwert der SSP (+++) als an jenen mit Seitenerosionen (++) festgestellt werden.

Tab. 13: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

		Verhalten an morphodynamischen Prozessstellen													
Parameter	Einheit	NQ		MQ		HQ_1		**$HQ_{1.5}$**		HQ_{30}		HQ_{100}		Q_{2005}	
		nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	**nicht akiv**	**aktiv**	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	0.0077	0.0070	0.0070	0.0065	0.0063	0.0080	**0.0061**	**0.0082**	0.0067	0.0079	0.0061	0.0068	0.0062	0.0062
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	20	15	37	26	64	37	**73**	**41**	91	61	100	129	104	175
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	0.3	0.3	0.6	0.6	1.2	1.3	**1.4**	**1.5**	1.9	1.9	2.2	1.9	2.5	1.8
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	0.5	0.5	1.0	1.0	1.9	2.0	**2.2**	**2.4**	3.0	3.2	3.5	3.7	3.8	4.1
Benetzter Umfang U	*[m]*	20	15	37	26	63	38	**72**	**41**	92	63	103	140	107	185
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	5	4	18	15	61	47	**81**	**60**	136	101	180	178	215	151
Hydraulischer Radius R	*[m]*	0.27	0.27	0.54	0.57	1.12	1.23	**1.33**	**1.48**	1.78	1.83	2.09	1.8	2.3	1.75
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	48.4	37.3	41.3	27.1	37.4	19.3	**36.6**	**18.0**	35.4	19.3	33.4	34.2	31.2	42.1
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	0.93	0.99	1.56	1.62	2.53	2.68	**2.82**	**3.00**	3.45	3.63	3.72	3.56	3.95	3.73
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	15.9	16.9	32.9	33.7	67.3	104.8	**80.4**	**130.6**	116.2	166	130.1	163.4	144.7	172.2
Froude-Zahl Fr	*[-]*	0.62	0.62	0.70	0.69	0.76	0.77	**0.76**	**0.78**	0.79	0.83	0.77	0.77	0.77	0.73
TSP Ω	*[W/m]*	316	263	1767	1490	8332	8911	**11568**	**13103**	23406	24961	28849	28952	35831	31816
SSP ω	*[W/m²]*	19	20	60	59	179	242	**235**	**325**	421	515	503	460	609	429

Tab. 14: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und der Teilgruppe *Seitenerosion*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

		Verhalten Teilgruppe *Seitenerosion*													
Parameter	Einheit	NQ		MQ		HQ_1		**$HQ_{1.5}$**		HQ_{30}		HQ_{100}		Q_{2005}	
		nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	**nicht akiv**	**aktiv**	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	0.0077	0.0080	0.0070	0.0072	0.0063	0.0066	**0.0061**	**0.0065**	0.0067	0.0066	0.0061	0.0057	0.0062	0.0052
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	20	15	37	25	64	36	**73**	**38**	91	59	100	118	104	163
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	0.3	0.3	0.6	0.6	1.2	1.2	**1.4**	**1.5**	1.9	1.9	2.2	1.8	2.5	1.7
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	0.5	0.4	1.0	0.9	1.9	1.9	**2.2**	**2.2**	3.0	3.1	3.5	3.6	3.8	3.9
Benetzter Umfang U	*[m]*	20	15	37	25	63	36	**72**	**39**	92	60	103	125	107	170
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	5	4	18	14	61	44	**81**	**56**	136	97	180	167	215	228
Hydraulischer Radius R	*[m]*	0.27	0.25	0.54	0.54	1.12	1.21	**1.33**	**1.45**	1.78	1.83	2.09	1.75	2.30	1.67
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	48.4	44.1	41.3	29.9	37.4	19.8	**36.6**	**17.9**	35.4	18.8	33.4	31.5	31.2	39.7
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	0.93	0.99	1.56	1.63	2.53	2.63	**2.82**	**2.93**	3.45	3.50	3.72	3.52	3.95	3.57
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	15.9	17.2	32.9	34.7	67.3	75.5	**80.4**	**92.2**	116.2	131.9	130.1	134.7	144.7	137.2
Froude-Zahl Fr	*[-]*	0.62	0.66	0.70	0.72	0.76	0.76	**0.76**	**0.76**	0.79	0.79	0.77	0.76	0.77	0.72
TSP Ω	*[W/m]*	316	271	1767	1535	8332	7276	**11568**	**10405**	23406	20097	28849	23650	35831	26067
SSP ω	*[W/m²]*	19	20	60	60	179	211	**235**	**285**	421	463	503	390	609	359

Tab. 15: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten und der Teilgruppe *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

		Verhalten Teilgruppe *Umlagerung*													
Parameter	Einheit	NQ		MQ		HQ_1		**$HQ_{1.5}$**		HQ_{30}		HQ_{100}		Q_{2005}	
		nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	**nicht akiv**	**aktiv**	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv	nicht akiv	aktiv
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	0.0077	0.0044	0.0070	0.0050	0.0063	0.0196	**0.0061**	**0.0218**	0.0067	0.0165	0.0061	0.0123	0.0062	0.0112
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	20	13	37	20	64	41	**73**	**49**	91	69	100	177	104	180
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	0.3	0.3	0.6	0.6	1.2	1.0	**1.4**	**1.2**	1.9	1.5	2.2	1.6	2.5	1.7
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	0.5	0.5	1.0	1.0	1.9	2.2	**2.2**	**2.4**	3.0	3.2	3.5	3.6	3.8	3.7
Benetzter Umfang U	*[m]*	20	13	37	20	63	41	**72**	**47**	92	70	103	179	107	182
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	5	3	18	11	61	42	**81**	**55**	136	100	180	208	215	222
Hydraulischer Radius R	*[m]*	0.27	0.27	0.54	0.57	1.12	1.01	**1.33**	**1.16**	1.78	1.42	2.09	1.57	2.30	1.69
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	48.4	27.5	41.3	20.6	37.4	20.2	**36.6**	**20.9**	35.4	23.0	33.4	62.2	31.2	62.2
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	0.93	0.84	1.56	0.84	2.53	2.32	**2.82**	**2.51**	3.45	2.88	3.72	2.20	3.95	3.36
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	15.9	11.3	32.9	27.4	67.3	321.7	**80.4**	**414.6**	116.2	401.3	130.1	339.6	144.7	385.3
Froude-Zahl Fr	*[-]*	0.62	0.52	0.70	0.63	0.76	0.63	**0.76**	**0.74**	0.79	0.81	0.77	0.58	0.77	0.60
TSP Ω	*[W/m]*	316	123	1767	839	8332	15630	**11568**	**24669**	23406	40654	28849	42600	35831	46533
SSP ω	*[W/m²]*	19	11	60	44	179	363	**235**	**467**	421	569	503	534	609	549

Tab. 16: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit morphodynamisch aktiven Prozessstellen; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Parameter	Einheit	Verhalten an morphodynamischen Prozessstellen						
		NQ	MQ	HQ_1	**$HQ_{1.5}$**	HQ_{30}	HQ_{100}	Q_{2005}
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	–	–	+ +	+ +	+ +	+	~
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ +	+ + +
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	~	+	+	+	~	– –	– –
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	–	~	+	+	+	+	+
Benetzter Umfang U	*[m]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ +	+ + +
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	– –	– –	– –	– –	– –	~	– –
Hydraulischer Radius R	*[m]*	~	+	+	+	+	–	– –
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	– –	– –	– –	– – –	– –	+	+ +
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	+	+	+	+	+	–	–
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	+	+	+ + +	+ + +	+ +	+ +	+ +
Froude-Zahl Fr	*[-]*	~	~	~	+	+	~	–
TSP Ω	*[W/m]*	– –	– –	+	+	+	~	–
SSP ω	*[W/m²]*	+	~	+ +	+ +	+ +	–	– –

Tab. 17: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit der Teilgruppe *Seitenerosion*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Parameter	Einheit	Verhalten Teilgruppe *Seitenerosion*						
		NQ	MQ	HQ_1	**$HQ_{1.5}$**	HQ_{30}	HQ_{100}	Q_{2005}
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	+	+	+	+	~	–	– –
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ +	+ + +
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	–	~	+	+	~	– –	– –
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	– –	–	–	~	+	+	+
Benetzter Umfang U	*[m]*	– –	– –	+ +	– –	– –	+ +	+ + +
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	– –	– –	+ +	– –	– –	–	+
Hydraulischer Radius R	*[m]*	–	~	+	+	+	– –	– –
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	–	– –	– –	– – –	– –	–	+ +
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	+	+	+	+	~	–	–
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	+	+	+	+	+	+	–
Froude-Zahl Fr	*[-]*	+	+	~	~	~	~	–
TSP Ω	*[W/m]*	–	–	–	–	–	– –	– –
SSP ω	*[W/m²]*	+	~	+ +	+ +	+	– –	– –

Tab. 18: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung morphodynamisch nicht aktiver Flussabschnitte mit der Teilgruppe *Umlagerung*; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}; Gerinnegeometrie 1992

Parameter	Einheit	Verhalten Teilgruppe *Umlagerung*						
		NQ	MQ	HQ_1	**$HQ_{1.5}$**	HQ_{30}	HQ_{100}	Q_{2005}
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	– –	– –	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ + +	+ + +
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	–	+	–	–	– –	– –	– –
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	~	~	+	+	+	+	~
Benetzter Umfang U	*[m]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ + +	+ + +
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ +	+
Hydraulischer Radius R	*[m]*	~	+	–	–	– –	– –	– –
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	– –	– –	– –	– –	– –	+ + +	+ + +
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	–	– –	–	–	– –	– –	–
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	– –	– –	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Froude-Zahl Fr	*[-]*	– –	–	– –	–	+	– –	– –
TSP Ω	*[W/m]*	– – –	– – –	+ + +	+ + +	+ + +	+ +	+ +
SSP ω	*[W/m²]*	– –	– –	+ + +	+ + +	+ +	+	–

5.6.2 Vergleich Gerinnegeometrie 1992 – nach Hochwasser 2005

Dieses Kapitel zielt darauf ab, die Ergebnisse einer weiteren quantitativen Analysemethode zusammenzufassen. Im Zuge dieser Analyse wurde im Bereich des Prozesses 12 (Seitenerosion 8) die Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 jener nach dem Hochwasser 2005 gegenübergestellt. Analog zu Kapitel 5.6.1 wurden verschiedene Parameter untersucht. Mögliche Veränderungen der Größenordnung sollen Aufschluss über ihre Eignung als Indikator für morphodynamische Aktivität geben.

Zu den untersuchten Parametern zählen Energieliniengefälle, Wasserspiegelbreite, mittlere und maximale Wassertiefe, benetzter Umfang, durchflossene Querschnittsfläche, hydraulischer Radius, Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Froude-Zahl, TSP, SSP, relative Höhe und relative Rauigkeit.

In Tab. 19 sind die Parameter-Mittelwerte für Prozess 12 basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 und jener nach dem Hochwasser 2005 aller Modellierungsabflüsse dargestellt.

Tab. 19: Gegenüberstellung prozessrelevanter Parameter im Bereich des Prozess 12 auf Basis der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 und jener nach dem Hochwasser 2005; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}

Parameter	Einheit	Prozess 12													
		NQ		MQ		HQ_1		**$HQ_{1.5}$**		HQ_{30}		HQ_{100}		Q_{2005}	
		1992	HW 05	1992	HW 05	1992	HW 05	**1992**	**HW 05**	1992	HW 05	1992	HW 05	1992	HW 05
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	0.0066	0.0081	0.0059	0.0065	0.0067	0.0197	**0.0067**	**0.0062**	0.0072	0.0071	0.0077	0.0080	0.0077	0.0083
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	16	13	22	24	28	48	**31**	**61**	49	65	57	73	92	89
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	0.3	0.3	0.7	0.7	1.6	1.0	**1.9**	**1.3**	1.9	1.8	2.1	1.9	1.7	1.9
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	0.5	0.5	1.0	1.1	2.2	1.8	**2.6**	**2.3**	3.4	2.9	3.9	3.2	4.2	3.4
Benetzter Umfang U	*[m]*	16	13	22	24	29	49	**32**	**62**	51	66	59	75	94	91
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	4	4	15	16	44	53	**57**	**76**	87	109	111	134	143	157
Hydraulischer Radius R	*[m]*	0.29	0.32	0.68	0.68	1.51	1.02	**1.80**	**1.30**	1.80	1.74	1.98	1.81	1.67	1.87
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	60.7	40.4	33.1	35.1	18.3	46.2	**16.5**	**48.8**	29.6	40.4	30.2	41.0	62.3	57.3
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	0.95	1.11	1.73	1.80	3.10	3.38	**3.45**	**2.71**	4.17	3.37	4.44	3.84	4.31	4.03
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	15.9	22.7	38.0	45.2	96.8	162.4	**114.3**	**80.8**	131.0	115.8	155.8	136.0	136.2	140.6
Froude-Zahl Fr	*[-]*	0.59	0.64	0.67	0.68	0.80	1.13	**0.81**	**0.75**	0.99	0.81	0.99	0.91	1.05	0.96
TSP Ω	*[W/m]*	272	329	1497	1656	8888	26119	**12707**	**11855**	25303	24763	36252	38070	44524	47623
SSP ω	*[W/m²]*	16	32	68	106	322	754	**419**	**257**	597	430	773	599	689	677
Relative Höhe H_{REL}	*[-]*	10	11	24	24	54	36	**64**	**46**	64	62	71	64	59	66
Relative Rauigkeit R_{REL}	*[-]*	0.55	0.47	0.22	0.22	0.10	0.15	**0.08**	**0.12**	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09

Auch bei dieser Analyse wurde eine veranschaulichende Kategorisierung nach Tab. 12 durchgeführt (Tab. 20). Demnach bedeutet eine ~, dass der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener vom Hochwasser 2005 keine signifikante Veränderung des Parameter-Mittelwerts hervorbrachte. Die Zeichen +, ++, und +++ weisen auf eine Zunahme des Mittelwerts nach dem Hochwasser 2005 hin; die Zeichen –, ––, ––– für eine Abnahme.

Tab. 20: Veränderungen prozessrelevanter Parameter auf Basis der Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005; Prozess 12; Abflüsse NQ, MQ HQ_1, $HQ_{1.5}$, HQ_{30}, HQ_{100}, Q_{2005}

Parameter	Einheit	Prozess 12						
		NQ	MQ	HQ_1	$HQ_{1.5}$	HQ_{30}	HQ_{100}	Q_{2005}
Energieliniengefälle I_E	*[m/m]*	+ +	+	+ + +	–	–	+	+
Wasserspiegelbreite W	*[m]*	– –	+	+ + +	+ + +	+ +	+ +	–
Mittlere Wassertiefe D	*[m]*	+	~	– –	– –	–	–	+
Maximale Wassertiefe D_{max}	*[m]*	–	+	– –	–	– –	– –	– –
Benetzter Umfang U	*[m]*	– –	+	+ + +	+ + +	+ +	+ +	–
Durchflossene Querschnittsfläche A	*[m²]*	–	+	+ +	+ +	+ +	+ +	+
Hydraulischer Radius R	*[m]*	+	~	– –	– –	–	–	+
Breiten-Tiefen-Verhältnis B_{REL}	*[-]*	– –	+	+ + +	+ + +	+ +	+ +	–
Fließgeschwindigkeit v	*[m/s]*	+ +	+	+	– –	– –	–	–
Sohlschubspannung τ	*[N/m²]*	+ +	+ +	+ + +	– –	–	–	+
Froude-Zahl Fr	*[-]*	+	~	+ +	–	– –	–	–
TSP Ω	*[W/m]*	+ +	+	+ + +	–	–	+	+
SSP ω	*[W/m²]*	+ + +	+ + +	+ + +	– –	– –	– –	~
Relative Höhe H_{REL}	*[-]*	+	~	– –	– –	–	–	+
Relative Rauigkeit R_{REL}	*[-]*	–	–	+ + +	+ +	+	+	–

Für $HQ_{1.5}$ können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Der Vergleich der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener vom Hochwasser 2005 zeigt, dass das **Energieliniengefälle** im Bereich des Prozesses 12 im Mittel leicht abnimmt (-8%; –).
- Die mittlere **Wasserspiegelbreite** hingegen nimmt um 97% (+++) zu.
- Sowohl die **mittlere** als auch die **maximale Wassertiefe** erfahren im Vergleich zum Jahr 1992 eine Abnahme (-32%; –– bzw. -12%; –).
- Die Parameter **benetzter Umfang** und **durchflossene Querschnittsfläche** nehmen aufgrund der erhöhten Wasserspiegelbreite ebenso zu (94%; +++ bzw. 33%; ++).
- Der **hydraulische Radius** zeigt eine abnehmende Entwicklung (28%; ––).
- Der Mittelwert des **Breiten-Tiefen-Verhältnisses** nimmt im Bereich des Prozesses 12 nach dem Hochwasser 2005 um 206% (+++) zu.
- Die Parameter **Fließgeschwindigkeit**, **Sohlschubspannung** und **Froude-Zahl** nehmen ab (-21%; –– bzw. -29%; –– bzw. -8%; –).
- Während es beim Parameter **TSP** zu einer geringfügigen Abnahme (-7%; –) kommt, liegt bei der **SSP** eine deutliche Abnahme um 39% (––) vor.
- Die Entwicklung der **relativen Höhe** zeigt nach dem Hochwasser im Bereich des Prozesses 12 einen um 28% (––) niedrigeren Mittelwert als im Jahr 1992.
- Im Fall der **relativen Rauigkeit** kommt es hingegen zu einer Zunahme des Mittelwerts um 50% (++).

5.7 Abschätzung des flussmorphologischen Raumbedarfs

Die Frage wieviel Raum ein Fließgewässer braucht, ist aus zweierlei Hinsicht von Bedeutung. Einerseits muss ausreichend Raum zur Verfügung stehen, um größere Hochwässer schadlos abführen zu können. Ein Fließgewässer wird u.a. durch ausreichende Stabilität gekennzeichnet. Stabilität setzt ein dynamisches Gleichgewicht voraus, in dem zwar kleinräumige Erosionen und Ablagerungen auftreten können, die durchschnittliche Gerinnegeometrie über einen längeren Zeitraum jedoch erhalten bleibt (MILLAR, 2004).
Andererseits muss die ökologische Funktionsfähigkeit eines Fließgewässers im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000) sichergestellt sein (AGR, 2004). Mit dieser Richtlinie wurde auf europäischer Ebene erstmals ein umfangreicher Ordnungsrahmen für Maßnahmen im Bereich der Wasserwirtschaft erarbeitet. Die Umsetzung der Richtlinie in das nationale Recht erfolgte mit einer Novelle zum Wasserrechtsgesetz im Jahr 2003. Wesentliche Inhalte sind das Verschlechterungsverbot sowie das Verbesserungsgebot im Sinne der Zielerreichung des „Guten Zustandes" bzw. des „Guten ökologischen Potenzials" eines Gewässers (BMLFUW, 2007).

Auf Basis der Auswertung von Regimegleichungen sowie dem Ansatz der eigendynamischen Aufweitung nach SCHMAUTZ (2003) sollen erste Erkenntnisse zur Abschätzung des Raumbedarfs eines, im Gleichgewicht stehenden Fließgewässers, erhalten werden.
Nähere Informationen bzgl. Methodik können Kapitel 4.6 entnommen werden.

5.7.1 Regimegleichungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Regimegleichungen nach SIMONS & ALBERTSON (1963), BRAY (1982) und KELLERHALS (1967) berechnet. Ziel war es, einerseits Abschätzungen bzgl. des minimalen flussmorphologischen Raumbedarf zu erhalten, und andererseits durch den Vergleich morphodynamisch aktiver Prozessstellen mit nicht aktiven Flussabschnitten, Instabilitäten wissenschaftlich zu fundieren.
Informationen zum Aufbau der eingesetzten Regimegleichungen und deren Anwendbarkeit können dem Kapitel 4.6.1 entnommen werden.

Der direkte Vergleich der ermittelten Gerinnebreiten nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) bestätigt die große Variabilität der Berechnungsergebnisse.
Abb. 176 zeigt die berechneten Gerinnebreiten der 14 morphodynamischen Prozesse. Auffällig ist, dass die Gerinnebreite nach BRAY (1982) bei allen Prozessen deutlich über jener nach KELLERHALS (1967) liegt. Die geringsten Gerinnebreiten wurden bei der Regimegleichung nach SIMONS & ALBERTSON (1963) erreicht.

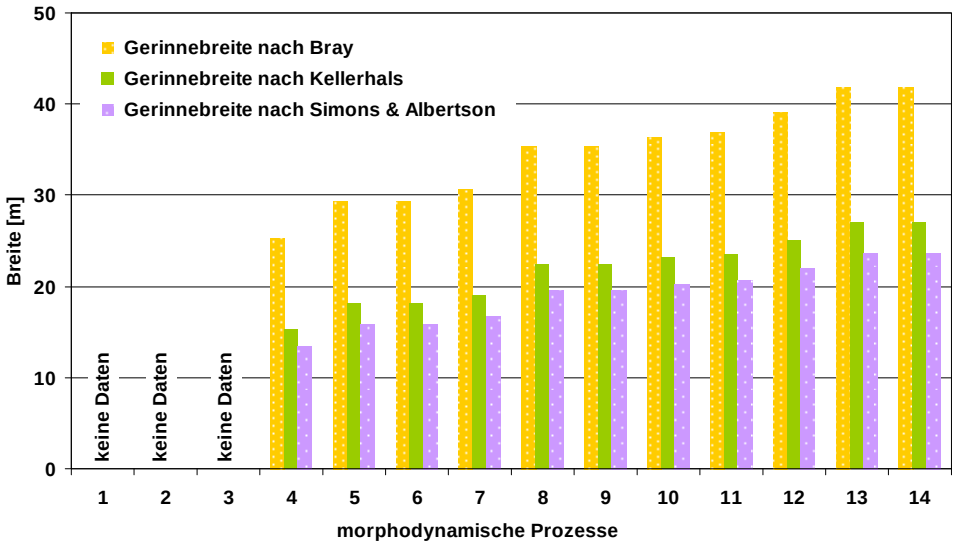


Abb. 176: Gegenüberstellung der Gerinnebreiten nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) an morphodynamischen Prozessstellen

Analog zu den Gerinnebreiten traten auch bei den berechneten Gerinnetiefen starke Schwankungen auf. Mit Ausnahme der Prozesse 11, 12 und 13 erreichten die Gerinnetiefen nach BRAY (1982) und KELLERHALS (1967) ähnliche Werte; die Tiefen nach SIMONS & ALBERTSON (1963) lagen darunter (Abb. 177).

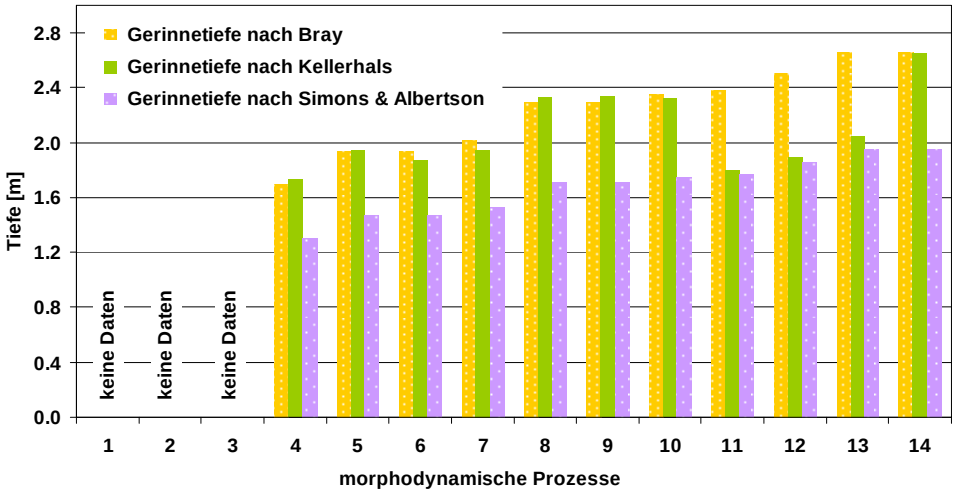


Abb. 177: Gegenüberstellung der Gerinnetiefen nach BRAY (1982), KELLERHALS (1967) und SIMONS & ALBERTSON (1963) an morphodynamischen Prozessstellen

Da die Regimegleichung nach BRAY (1982) am besten auf das vorliegende Untersuchungsgebiet übertragbar ist, beziehen sich alle weiteren Untersuchungen auf die Ergebnisse dieser Regimegleichung.

In Abb. 178 wird die Gerinnebreite nach BRAY (1982) mit der, auf Basis von Luftbildern erhobenen Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 sowie vom Hochwasser 2005 an den Prozessstellen verglichen.
Dabei wird deutlich, dass bei allen Prozessen die Umlagerungsbreite vom Hochwasser über der berechneten Gerinnebreite nach BRAY (1982) lag.
Der Vergleich der Gerinnebreite nach BRAY (1982) mit der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 zeigt jedoch dass, mit Ausnahme der Prozesse 6, 8 und 9, die errechnete Breite nach BRAY (1982) größere Werte erreichte.

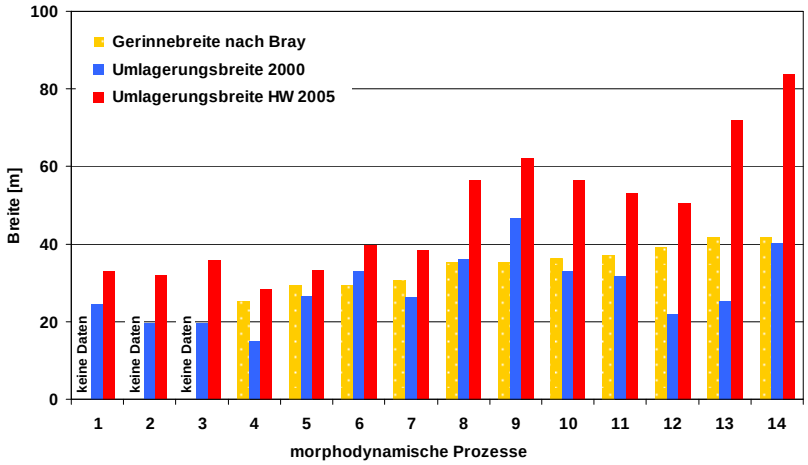


Abb. 178: Gegenüberstellung der Gerinnebreiten nach BRAY (1982) mit der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 an morphodynamischen Prozessstellen

Um Instabilitäten wissenschaftlich zu untermauern, wurden neben den Prozessstellen auch die dazwischen liegenden morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte (FKM 230.000 - 200.000) ausgewertet. In Abb. 179 wurden einerseits die Mittelwerte der Gerinnebreite nach BRAY (1992), der Umlagerungsbreite 2000 und nach dem Hochwasser 2005 an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (A), und andererseits jene an nicht aktiven Flussabschnitten (B) gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, dass die Gerinnebreite nach BRAY (1982) an morphodynamisch aktiven Prozessstellen (35 m) im Mittel über der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 (29 m) lag. Der Vergleich dieser Mittelwerte an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten zeigt hingegen, dass die Gerinnebreite nach BRAY (1982) (35 m) im Mittel der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 (35 m) entsprach.

Durch das Hochwasser 2005 kam es im gesamten Untersuchungsgebiet zu einem Anstieg der Umlagerungsbreite. So lag die mittlere Umlagerungsbreite nach dem Hochwasser 2005 sowohl an Prozessstellen (48 m) als auch an den dazwischen liegenden morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten (44 m) über der mittleren Gerinnebreite nach BRAY (1982).

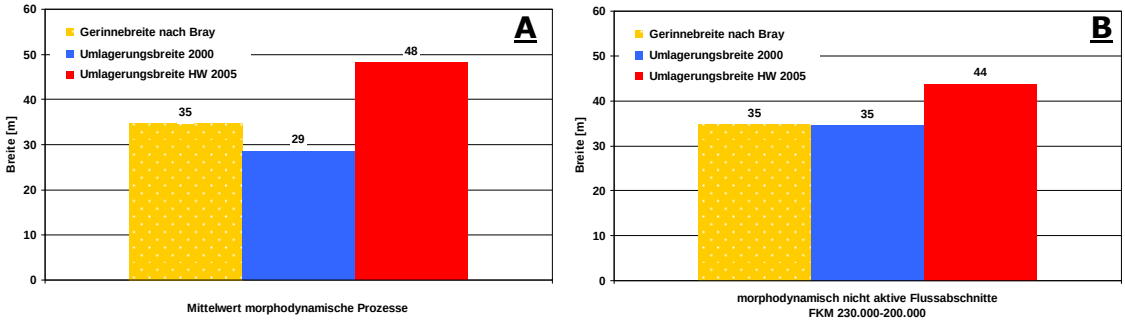


Abb. 179: Gegenüberstellung der Gerinnebreite nach BRAY (1982) mit der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005; A: Mittelwerte an morphodynamischen Prozessstellen; B: Mittelwerte an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten (FKM 230.000 - 200.000)

Die Ergebnisse bestätigen die Erwartungen. Während die Gerinnebreite nach BRAY (1982) an morphodynamischen Prozessstellen im Mittel 6 m über der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 lag, sind die beiden Breiten an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten im Mittel ident.

Somit konnte auf Basis der Regimegleichung nach BRAY (1982) Stabilität der morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitte, sowie Instabilität der Prozessstellen nachgewiesen werden.

5.7.2 Eigendynamische Aufweitung nach SCHMAUTZ (2003)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Handrechenverfahren nach SCHMAUTZ (2003) (Kapitel 4.6.2) auf die im Untersuchungsgebiet liegenden morphodynamischen Prozessstellen übertragen. Da eine Verfahrens-Voraussetzung die Bildung von Bänken und Flussverzweigungen nicht erlaubt, wurden die Prozessarten *Umlagerung* und *Verwerfung* aus den Untersuchungen ausgeschlossen. Untersucht wurden somit die Prozesse 4, 5, 8, 10, 11, 12, 13 und 14.

In Tab. 21 sind sämtliche Eingangsdaten und Zwischenergebnisse zur Ermittlung der maximalen Gewässerbreite b* aufgelistet.

Tab. 21: Eingangsdaten und Zwischenergebnisse des Handrechenverfahrens

Parameter	Symbol	Einheit	morphodynamische Prozesse							
			4	5	8	10	11	12	13	14
Eingangsdaten										
Abfluss	Q	*[m³/s]*	268.0	361.0	501.7	522.2	536.2	586.1	665.4	665.4
Ausgangsgefälle	I_0	*[%]*	0.871	0.878	0.582	0.632	0.542	0.611	0.467	1.03
Stricklerbeiwert	k_{St}	*[$m^{1/3}/s$]*	28	31	32	32	32	29	30	30
Maßgebender Korndurchmesser	D_m	*[mm]*	57	57	57	57	54	54	66	50
Wasserdichte	ρ_W	*[kg/m³]*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Feststoffdichte	ρ_S	*[kg/m³]*	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
kritischer Shields-Parameter	θ_{crit}	*[-]*	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Parameter	f_U	*[-]*	2.13	1.72	1.63	1.69	1.78	1.86	1.77	2.25
Konstante aus Geschiebetransportformel	k_2	*[-]*	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
mittlere Fließtiefe	h_m	*[m]*	0.75	2.09	2.16	2.15	1.46	1.71	1.70	1.72
tatsächlich vorhand. Länge (rückgebaute Ufer)	L_{UU}	*[m]*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Breite zu Beginn der Aufweitung	b_0	*[m]*	15	27	36	33	32	22	25	40
Zwischenergebnisse										
Shields-Parameter (Sohlbereich, gemittelt)	$\theta_{m,U}$	*[-]*	0.113	0.091	0.087	0.090	0.095	0.099	0.094	0.120
Breiten-Tiefen-Verhältnis	b^*_{eq}/h_m	*[-]*	186	115	102	111	127	140	124	205
Regime-Breite	b^*_{eg}	*[m]*	140	241	220	238	186	239	210	353
Regime-Länge	L_{b^*eg}	*[m]*	4891	8441	7694	8325	6511	8373	7359	12355

Da der Parameter f_U vom Breiten-Tiefen-Verhältnis b^*_{eq}/h_m abhängt, wurde er auf Basis des von SCHMAUTZ (2003) entwickelten Auswertungs-Diagramms (Abb. 65) iterativ bestimmt. Das in Abb. 180 links unten dargestellte „Basis" - Rechteck entspricht SCHMAUTZ's (2003) Diagramm (Abb. 65). Das rechts oben dargestellte „Erweiterungs" - Rechteck zeigt die, im Zuge des Handrechenverfahrens iterativ ermittelten Parameter nach Erreichen einer stabilen Breite (*Stabilitäts-, und Abflussbedingungen*; Kapitel 4.6.2).

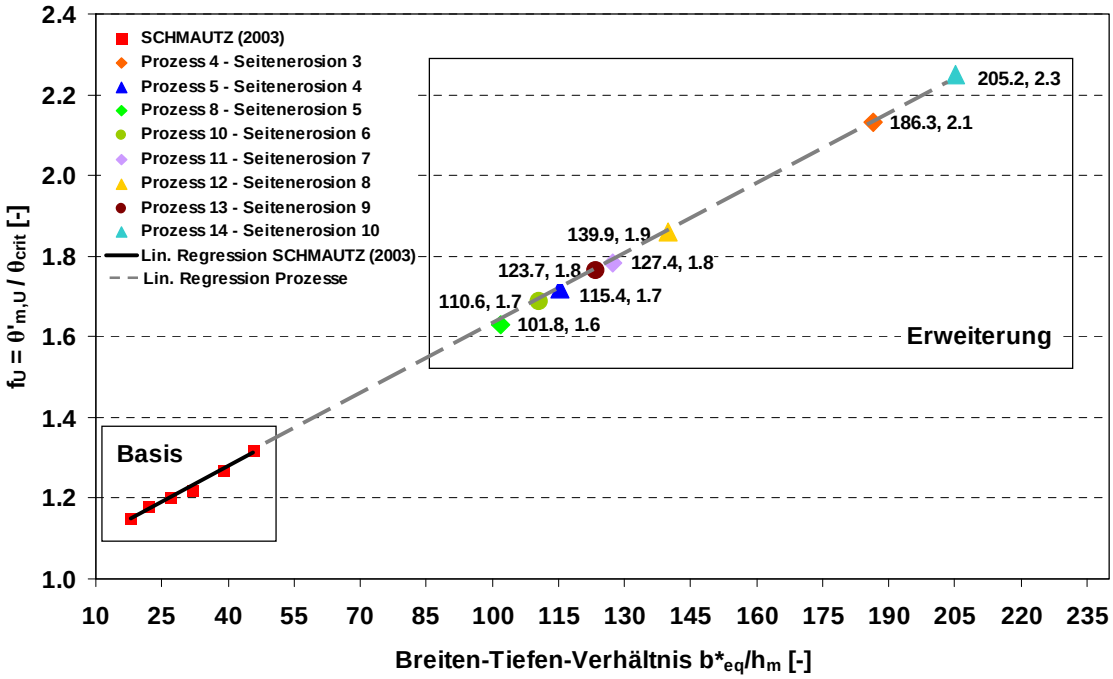


Abb. 180: Modifiziertes Diagramm nach SCHMAUTZ (2003); Parameter f_U in Abhängigkeit des Breiten-Tiefen-Verhältnisses b^*_{eq}/h_m; Auswertung der Gewässergeometrien an Prozessstellen nach Erreichen einer stabilen Breite

In Abb. 181 wird die errechnete Gewässerbreite b* nach SCHMAUTZ (2003) den Umlagerungsbreiten aus verschiedenen Jahren (1869 – 1887; 2000; Hochwasser 2005) gegenübergestellt.

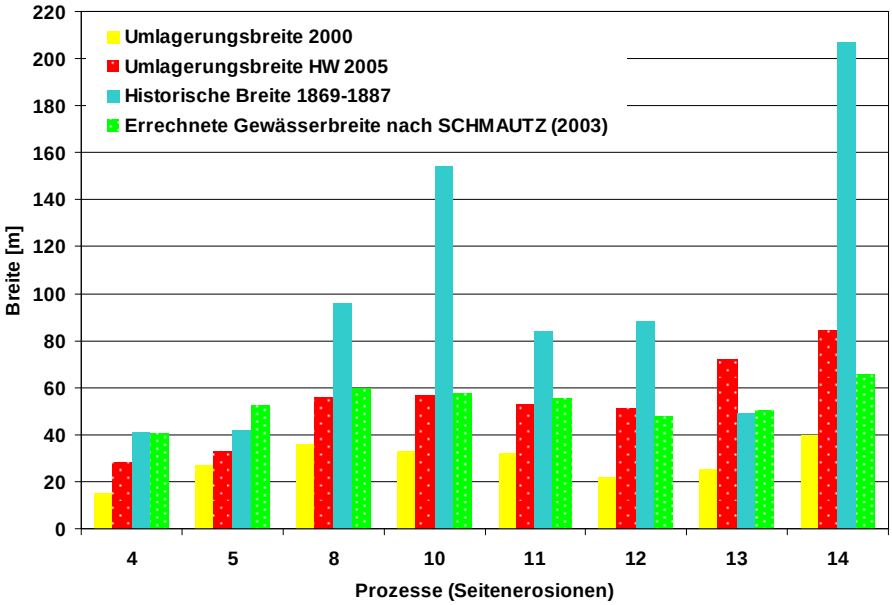


Abb. 181: Vergleich Umlagerungsbreite 2000, Hochwasser 2005 und 1869 - 1887 mit errechneter Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) an Flussabschnitten mit Seitenerosionen

Zusammenfassend zeigt die Gegenüberstellung der Mittelwerte (Abb. 182) dass, die errechnete Gewässerbreite b* größer als die Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000, kleiner als die Umlagerungsbreite zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 – 1887) und ident mit der Umlagerungsbreite vom Hochwasser 2005 war.

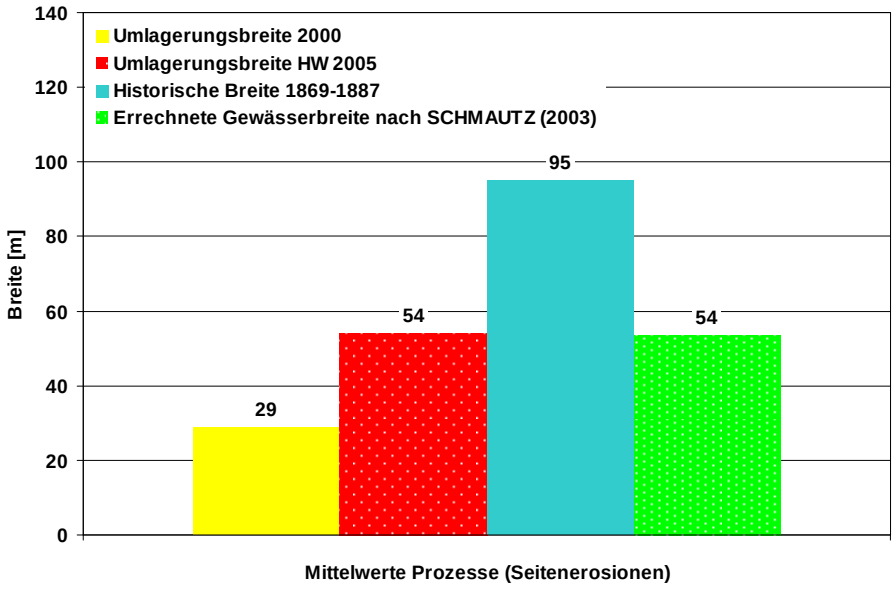


Abb. 182: Vergleich Mittelwerte Umlagerungsbreite 2000, Hochwasser 2005 und 1869 - 1887 mit errechneter Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) an Flussabschnitten mit Seitenerosionen

Da die errechnete maximale Gewässerbreite b* nach SCHMAUTZ (2003) jedoch stark von Randbedingungen beeinflusst wird, und mögliche Geschiebeeintragsraten im Zuge dieses Verfahrens nicht berücksichtigt werden konnten, sind die Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet (HAFNER, 2008).

6 Diskussion

In den letzten Jahrzehnten beschäftigten sich zahlreiche Studien mit den Wirkungszusammenhängen von Hochwasserabflüssen und morphodynamischen Prozessen in Fließgewässern. Bedingt durch die Komplexität der Wirkungszusammenhänge gestaltet sich die Abschätzung der ursächlichen und maßgeblichen Auslösefaktoren für das Auftreten von morphodynamischen Prozessen als schwierig.
WOLMAN & GERSON (1978) sowie KALE & HIRE (2004) sind der Ansicht, dass hochwasserbasierte geomorphologische Veränderungen der Gerinneform nicht als isolierte naturräumliche Phänomene zu betrachten, sondern abhängig von einer Vielzahl an Faktoren und deren Kombinationen sind. Nach NEWSON (1980), KOCHEL (1988) und MAGILLIGAN et al. (1998) variieren diese Faktoren von Fluss zu Fluss und sind außerdem zeitabhängig. Hinzu kommt, dass einige der Faktoren, wie z.B. anthropogene Eingriffe, schwer zu quantifizieren sind. Nach KALE & HIRE (2004) liegt die Lösung in einer separaten Untersuchung der Faktoren, da nur über das Verständnis der einzelnen Auslösefaktoren ganzheitliche kombinierte Auswirkungen abzuleiten sind.

In wissenschaftlicher Literatur häufig diskutierte Faktoren sind Stärke und Wiederkehrintervall des Hochwassers, Strömungsenergie, Anteil und Menge der transportierten Feststoffe, Ausbildung der Gerinnegeometrie, Auftreten von flussbegleitender Vegetation sowie anthropogenen Faktoren wie Landnutzung und Gerinneverbauung verwiesen (WOLMAN & MILLER, 1960; BAKER 1977; WOLMAN & GERSON, 1978; BEVEN, 1981; NANSON, 1986; BAKER & COSTA, 1987; MILLER, 1990; NASH, 1994; BAKER & KALE, 1998; RICHARDS, 1999; WOHL, 2008).

HARVEY's (1984), CENDERELLI's & WOHL's (2003) und KALE's & HIRE's (2004) Untersuchungen ergaben, dass das Wiederkehrintervall von großer Bedeutung für das Auftreten von morphodynamischen Prozessen in Fließgewässern ist. Nach HARVEY (1984) sowie CENDERELLI & WOHL (2003) ist ein Fließgewässer nur bei Hochwasserereignissen mit großer Stärke und seltenen Wiederkehrintervall geomorphologisch aktiv. Ergänzend dazu stellten KALE & HIRE (2004) fest, dass ein Flussabschnitt, der im Zuge eines großen Hochwasserereignisses geomorphologisch verändert wurde, beim darauffolgenden Hochwasser trotz ähnlichen Ausmaßes keine oder nur sehr geringfügige Veränderungen der Gerinneform zeigte. BAKER's (1977) Forschungen stellten einen Zusammenhang zwischen der Morphodynamik und der Größe des Einzugsgebiets her. Demnach ist das Potenzial für morphodynamische Veränderungen in Flüssen mit kleinen Einzugsgebieten und stark variierenden Wiederkehrintervallen am größten (BROOKS & BRIERLEY, 1997).

Bereits in frühen Jahren fand der Parameter Stream Power (SP) (engl.; *stream power*) in wissenschaftlicher Literatur Beachtung. Neben seinen vielfältigen

Anwendungen in verschiedenen Bereichen der Flussmorphologie erwähnten BAGNOLD (1977) und BULL (1979) den Parameter erstmals in Zusammenhang mit geomorphologischen Veränderungen in Fließgewässern. BAKER & COSTA (1987), die vertiefende Analysen durchführten, kamen zu der Erkenntnis, dass morphodynamische Prozesse, wie Verwerfungen, Sohl- und Ufererosionen vermehrt dann auftreten, wenn die Strömungsenergie den erosiven Grenzwert des Gewässerbettes überschreitet. Kommt es hingegen zu keiner Überschreitung des Grenzwerts, so haben nach BAKER & COSTA (1987) auch deutlich stärkere Hochwasserabflüsse keine oder nur minimale Auswirkungen auf die Flussmorphologie. Im Zuge ihrer Untersuchungen konnten erhöhte SSP-Werte an Flussabschnitten mit Seitenerosionen darauf zurückgeführt werden, dass der Parameter SSP verkehrt proportional zur Wasserspiegelbreite ist, und eine Breitenzunahme des Gerinnes (z.B. hervorrufen durch eine Seitenerosion) zu einer Abnahme der spezifischen Energie führt.

Auch KALE's & HIRE's (2004) Untersuchungen zeigten, dass nur bei großen Hochwassereignissen in Kombination mit einem hohen Grad an Energiefreisetzung, grobes Sediment bewegt und bedeutende Veränderungen der Gerinneform und –kapazität hervorgerufen werden können. In HUANG's & NANSON's (2000, 2002) sowie HUANG's et al. (2004) Forschungen konnten an Flussabschnitten mit Gerinneanpassungen infolge großer Hochwasserabflüsse, nach Abklingen der Hochwässer geringere SP-Werte als vor der Gerinneveränderung festgestellt werden.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit konnte eine ähnliche Entwicklung beobachtet werden. Die Untersuchung des Parameters SSP von 1992 bis zum Hochwasser 2005 an einem morphodynamisch aktiven Prozess (Prozess 12; FKM 207.3 - 206.7) ergab, dass es infolge der geomorphologischen Arbeit (Seitenerosion) beim Abfluss $HQ_{1.5}$ zu einer Zunahme der Wasserspiegelbreite (31 m; 61 m) sowie zu einer Abnahme des Energieliniengefälles (0.67%; 0.62%) und des hydraulischen Radius (1.8 m; 1.3 m) kam. Folglich nahmen auch die Parameter TSP und SSP ab (12707 W m^{-1}; 11855 W m^{-1}; 419 W m^{-2}; 257 W m^{-2}).

Hinsichtlich des Grenzwerts, bei dessen Überschreitung im Zuge eines einzigen Hochwasserereignisses signifikante Veränderungen der Gerinneform entstehen, gibt es mehrere Theorien. Basierend auf Forschungen von MILLER (1990) und MAGILLIGAN (1992) liegt der kritische SSP-Wert für bedeutende morphodynamische Veränderungen bei 300 W m^{-2}. Als maßgebender Abfluss wird der bordvolle Abfluss eines anthropogen unbeeinflussten Fließgewässers ($Q_{bv,NAT} \approx HQ_{1.5}$) genannt. Nach MEYER (2001) liegt der Grenzwert jedoch bereits bei 50-200 W m^{-2}. Vertiefende Untersuchungen von KALE (2007), die an den indischen Flüssen Tapi, Narmada und Godavari durchgeführt wurden, ergaben an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten ähnlich hohe SSP-Werte (290, 325 und 310 W m^{-2}) wie MILLER (1990) und MAGILLIGAN (1992). COSTA & O'CONNOR (1995) sind der Ansicht, dass erhöhe SSP-Werte eine mögliche Indikatorfunktion für morphodynamische Aktivität haben, sehen jedoch unüberwindbare Schwierigkeiten darin, die Höhe des Grenzwerts

exakt zu definieren. Auch STACEY's & RUTHERFURD's (2007) sowie BREITENBAUMER's (2008) Forschungen ergaben, dass es schwer möglich ist, einen exakten SSP-Grenzwert für Erosionstätigkeit zu finden.
Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Analysen bestätigen MILLER's (1990) und MAGILLIGAN's (1992) Theorie. Im Allgemeinen erreichte die SSP ($HQ_{1.5}$) an morphodynamischen Prozessstellen höhere Werte als an nicht aktiven Flussabschnitten. So lagen die SSP-Werte an Prozessstellen im Mittel (325 W m^{-2}) leicht über dem, von MILLER (1990) und MAGILLIGAN (1992) definierten Grenzwert für morphodynamische Aktivität (300 W m^{-2}). Im Vergleich dazu erreichte die SSP an nicht aktiven Flussabschnitten, trotz stellenweise höherer Werte, im Mittel 235 W m^{-2} und lag somit im Durchschnitt unter dem Grenzwert.
Die durchgeführten Analysen bestätigen somit einerseits die Indikatortauglichkeit des Parameters SSP, und andererseits die Höhe des, von MILLER (1990) und MAGILLIGAN (1992) definierten SSP-Grenzwert (300 W m^{-2}) für morphodynamische Aktivität. MEYER's (2001) etwas darunter liegender 50-200 W m^{-2} – Grenzwert konnte nicht bestätigt werden.

Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen zwischen Gerinnebreite, Gefälle, Gerinnestrukturen, räumlicher Gliederung, verschiedener Rauigkeiten und lokaler Durchflusshindernisse sieht MILLER (1990) eine gewisse Problematik darin, den Parameter SSP als alleinigen und verlässlichen Indikator für morphodynamische Aktivität zu erklären. Trotz aussagekräftiger Forschungsergebnisse teilen auch KALE & HIRE (2007) diese Meinung.
Die eigenen Ergebnisse zeigten beispielsweise, dass die Parameter Sohlschubspannung und Froude-Zahl ebenfalls eine gewisse Indikatortauglichkeit aufweisen. Ähnlich wie bei der SSP konnten auch beim Parameter Sohlschubspannung an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten höhere Werte als an nicht aktiven Abschnitten festgestellt werden. Bei $HQ_{1.5}$ lagen die Werte an Prozessstellen im Mittel 51 N m^{-2} über jenen an nicht aktiven Abschnitten (131 N m^{-2}; 80 N m^{-2}). Die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 zeigt im Bereich des Prozesses 12, dass es bei $HQ_{1.5}$ infolge der abnehmenden Eingangsparameter Energieliniengefälle (0.67%; 0.62%) und hydraulischer Radius (1.8 m; 1.3 m) ebenso zu einer Abnahme der Sohlschubspannung kam (114 N m^{-2}; 81 N m^{-2}).
Der Parameter Froude-Zahl fand in diverser wissenschaftlicher Literatur Beachtung. KALE et al. (1994) und BAKER & KALE (1998) untersuchten einen möglichen Zusammenhang zwischen erosiven Tätigkeiten während extremen Hochwasserereignissen und dem Parameter Froude-Zahl. Am Fluss Tapi konnten bei größeren Hochwasserabflüssen (HQ_{30} – HQ_{50}) höhere Werte verzeichnet werden (KALE & HIRE, 2004). Einen direkten Zusammenhang zwischen morphodynamischer Aktivität und erhöhten Froude-Zahlen konnten HAUER & HABERSACK (2009) im Zuge ihrer Untersuchungen am österreichischen Fluss Kamp feststellen. Die während dem

Hochwasser 2002 entstandenen Seitenerosionen konnten u.a. mit erhöhten Froude-Zahlen, in Verbindung gebracht werden. Ursache für die erhöhte Werte, die z.T. im schießenden Bereich (Fr > 1) lagen, waren Kontraktionen und Expansionen im Fließgewässer (HAUER & HABERSACK, 2009). HUANG's & NANSON's (2000, 2002) sowie HUANG's et al. (2004) Forschungen zeigten, dass es an Flussabschnitten mit Gerinneanpassungen infolge großer Hochwasserabflüsse, nach Abklingen der Hochwässer neben einer Abnahme der SP-Werte auch zur Abnahme der Froude-Zahlen kam.
Die eigenen Ergebnisse bestätigen die zuvor erwähnten Untersuchungen. Bei $HQ_{1.5}$ lag die Froude-Zahl an morphodynamisch aktiven Prozessstellen im Mittel geringfügig über jener an nicht aktiven Flussabschnitten (0.78; 0.76).
Bei Betrachtung der Entwicklung von 1992 bis zum Hochwasser 2005, lässt sich im Bereich des Prozesses 12, bei veränderter Gerinnegeometrie und gleich bleibenden Abflussverhältnissen ($HQ_{1.5}$) nach dem Hochwasser ebenfalls eine geringere Froude-Zahl feststellen (0.81 auf 0.75).

Die Bedeutung der Faktoren Gerinnegeometrie und Zusammensetzung des Bettmaterials wurde u.a. von WOLMAN & MILLER (1960), BAKER (1977), GUPTA (1995), ROSGEN (1996) sowie KALE & HIRE (2004) untersucht. Während in Gerinnen mit sandigen Flussbett bereits Mittelwasserabflüsse als effektiv angesehen werden (WOLMAN & MILLER, 1960; GUPTA, 1995), findet in Gerinnen mit überwiegend groben, kiesigen Bettmaterial sowie in Gerinnen auf Festgestein, geomorphologische Aktivität nur bei außergewöhnlich großen Abflüssen in Kombination mit einem hohen Grad an Energiefreisetzung statt (BAKER, 1977; KALE & HIRE, 2004). Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass aufgrund des hohen Grenzwiderstands Nieder- und Mittelwasserabflüsse nicht ausreichen, grobes Bettmaterial zu transportieren sowie Veränderungen der Gerinneform hervorzurufen (BAKER & COSTA, 1987). Infolgedessen treten geomorphologisch relevante Abflüsse wegen des größeren Wiederkehrintervalls in Gerinnen mit grobem Bettmaterial seltener als in sandigen Gerinnen auf (TINKLER, 1971; KALE & HIRE, 2004). BAKER & KALE (1998) konnten außerdem nachweisen, dass entlang eines relativ geraden oder eingeschränkten Flussabschnitts um ein Vielfaches mehr Energie als an sinuosen oder mäandrierenden Abschnitten freigesetzt wird.
ROSGEN (1996), dessen Untersuchungen in erster Linie der Klassifikation von Fließgewässern dienten, setzte sich intensiv mit der Bedeutung des, den Gerinnequerschnitt beschreibenden Parameters Breiten-Tiefen-Verhältnis (engl.; *width-depth ratio*) auseinander. Er ist der Ansicht, dass die Untersuchung des Breiten-Tiefen-Verhältnisses eine gute und einfache Methode ist, um ein Verständnis für die Verteilung der vorhandenen Strömungsenergie im Gerinne zu entwickeln. Nach ROSGEN (1996) kann die Analyse der relativen Breite hilfreich zur raschen Abschätzung der Gerinnestabilität sein. Auch DEODHAR's & KALE's (1999) Untersuchungen konzentrierten sich auf den Zusammenhang von morpho-

dynamischer Aktivität und dem Breiten-Tiefen-Verhältnis. Durch große Hochwasserabflüsse hergestellte Veränderungen der Gerinnegeometrie konnten durch ein verändertes Breiten-Tiefen-Verhältnis beschrieben werden. Bei Seitenerosionen wurde, im Vergleich zu nicht aktiven Flussabschnitten eine Abnahme des Parameters beobachtet.
Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführte Analyse zeigt bei $HQ_{1.5}$ an Flussabschnitten mit morphodynamischer Aktivität im Mittel geringere Werte als an nicht aktiven Abschnitten (18; 37). Die veränderte Gerinnegeometrie (1992 – Hochwasser 2005) im Bereich des Prozesses 12 führt bei $HQ_{1.5}$ zu einer Abnahme des Breiten-Tiefen-Verhältnisses (16; 49) und bestätigt somit DEODHAR's & KALE's (1999) Untersuchungen.

Ebenfalls von Bedeutung sind die Faktoren Landnutzung, Ufervegetation und anthropogene Eingriffe. Neben WOHL (2008) setzten sich u.a. CHIN & GREGORY (2001) und WYZGA (1996) mit dem Zusammenhang dieser Faktoren und geomorphologischen Veränderungen der Gerinneform auseinander.
Aktuelle oder historische Landnutzung, Ufervegetation und Bauwerke im Fluss können einen starken Einfluss auf erosive Grenzwerte während eines Hochwassers haben (WOHL, 2008). Beispielsweise kann der erosive Grenzwert im Gerinne durch Stabilisationstechniken wie Steinschlichtungen (KRESAN, 1988) oder uferfestigende Vegetation (WENDE & NANSON, 1998) erhöht werden. Einbauten wie Dämme, Brücken und Straßenquerungen (ANTHONY & JULIAN, 1999; CHIN & GREGORY, 2001), sowie Regulierungsmaßnahmen im Gerinne (BROOKES, 1988; WYZGA, 1996) können ebenso einen Einfluss auf den Erosionsbeginn haben. Aus unterschiedlichsten Gründen kann die Stabilität des betroffenen Flussabschnitts während eines Hochwassers verbessert oder verschlechtert, und somit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von morphodynamischen Prozessen beeinflusst werden. Beispielsweise kann ein hoher Bebauungsgrad (z.B. befestigte Wege) in Flussnähe, eine Reduktion der Sedimentzufuhr während eines Hochwassers als Folge haben. Das dabei entstehende Geschiebedefizit kann wiederum morphodynamische Aktivität im Gerinne begünstigen (ROBERTS, 1989; BOOTH, 1990).
Auch die Anwesenheit von großen Mengen an transportiertem Totholz im Fluss bei einem außergewöhnlichen Hochwasserereignis kann Instabilitäten, in Form von Tiefen- und Seitenerosion als Folge haben (BROOKES et al., 2003).
MORISAWA (1985) entwickelte ein Flussdiagramm, mit dem die Auswirkungen anthropogener Eingriffe im Flusshaushalt zu verschiedenen Zeitpunkten analysiert werden können. Demnach führt Urbanisierung im Allgemeinen zu einem Anstieg des Abflusses und der Fließgeschwindigkeit. Als kurzfristige Folgeerscheinung auf die veränderten Rahmenbedingungen kann es zu morphodynamischen Gerinneanpassungen (z.B. Aufweitung, Tiefenerosion) kommen. Diese Anpassungsvorgänge können wiederum zu einer Abnahme der Fließgeschwindigkeit führen. Langfristig kann dadurch die Gerinnestabilität wieder hergestellt werden.

Da sowohl Landnutzung als auch anthropogene Eingriffe schwer zu quantifizieren, und daher mit großen Unsicherheiten behaftet sind, konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine quantitativen Analysen dieser Faktoren durchgeführt werden. Der Faktor Landnutzung wurde jedoch auf qualitativer Basis in Kapitel 5.4.1 beleuchtet.

Keineswegs von vernachlässigbarer Bedeutung ist der Einfluss geomorphologischer Veränderungen der Gerinneform auf die aquatische und uferbewohnende Tier- und Pflanzenwelt (BROOKES, 1996; WOHL, 2008).
BROOKES (1996) macht auf die sowohl saisonale als auch geographische Variation abiotischer und biotischer Faktoren aufmerksam und betont die Schwierigkeit biologische Veränderungen ohne Kenntnisse der komplexen Wechselwirkungen zwischen abiotischen und biotischen Faktoren im Flusshaushalt zu verstehen.
WOHL (2008) beschäftigte sich intensiv mit den Wirkungszusammenhängen abiotischer und biotischer Komponenten im Flusshaushalt. Sie unterscheidet zwischen zwei Arten von Folgeerscheinungen, die durch große Hochwasserabflüsse im Fluss hervorgerufen werden können; einerseits geomorphologische Auswirkungen, deren Kennzeichen Erosion und Sedimentation sind, und andererseits daraus resultierende ökologische Folgen, die sich durch Veränderungen der Artenmenge und –zusammensetzung manifestieren. Im Fall eines regulierten Flusses ist geomorphologische Aktivität infolge eines Hochwassers von großer Bedeutung für aquatische und uferbewohnende Organismen, da durch das Auftreten morphodynamischer Prozesse ehemalige Habitate wiederhergestellt werden können.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen des Hochwasserereignisses vom August 2005 auf die Gerinnemorphologie des Lech über eine Flusslänge von 49 km untersucht. Ziel war es, ein besseres Verständnis für die Wechselwirkung zwischen Hochwasserabflüssen und morphodynamischen Prozessen zu entwickeln.

Auf Basis des River Scaling Concept (RSC) nach HABERSACK et al. (2000) wurde die morphodynamische Aktivität systemanalytisch von der kontinental/regionalen Ebene bis hin zur Punktebene analysiert. Basierend auf der lokalen Ebene wurden insgesamt 14 morphodynamische Prozesse (10 Seitenerosionen, 3 Umlagerungen, 1 Verwerfung), die durch das Hochwasser 2005 im Untersuchungsgebiet (FKM 230.0 – 181.0) entstanden sind, erhoben.

Ein prozessorientierter Ansatz ermöglichte es, die 14 morphodynamischen Prozesse mit Hilfe des hydrodynamisch-numerischen Models HEC-RAS©, historischer Karten der Dritten Landesaufnahme von 1869 – 1887, sowie Luftbildern aus dem Jahr 2000 und vom Hochwasser 2005 auf qualitativer und quantitativer Ebene zu analysieren.

Die historische Analyse gewährte einen Einblick in die, großteils anthropogen unbeeinflusste Flussmorphologie des Untersuchungsgebiets und ermöglichte den direkten Vergleich zum derzeitigen Zustand.
Die qualitative historische Analyse konzentrierte sich auf die Entwicklung der Gerinnegrundrissform an morphodynamischen Prozessstellen sowie an nicht aktiven Flussabschnitten im Untersuchungsgebiet. Es zeigte sich, dass dem Lech zur Zeit der Dritten Landesaufnahme (1869 – 1887) im Bereich der untersuchten Flussabschnitte mehr Raum zur Verfügung stand als vor dem Hochwasser 2005. Insbesondere an morphodynamisch aktiven Flussabschnitten lagen stark veränderte Gerinnegrundrissformen vor. Es konnte festgestellt werden, dass es durch die geomorphologische Aktivität im Zuge des Hochwassers zu einer Annäherung an die historische Gerinnegrundrissform kam.
Bei der historischen Analyse konnten diese Erkenntnisse auf quantitativer Basis bestätigt werden. Die Parameter Lauflänge, Sinuosität, Lauf- und Flussentwicklung sowie Umlagerungsbreite näherten sich ebenfalls den historischen Werten an.
Da eine Flusslandschaft einer natürlich oder anthropogen bedingten Weiterentwicklung unterliegt, kann der historische Flussverlauf und Raumbedarf zwar als Richtwert, darf jedoch nicht als SOLL-Zustand interpretiert werden.

Daher wurde neben dem historischen Ansatz auf Basis von Karten und Luftbildern ein Ansatz zur Analyse prozessrelevanter Parameter basierend auf dem

hydraulischen Modell HEC-RAS© entwickelt. Zu den untersuchten Parametern zählten Energieliniengefälle, Wasserspiegelbreite, mittlere und maximale Wassertiefe, benetzter Umfang, durchflossene Querschnittsfläche, hydraulischer Radius, Breiten-Tiefen-Verhältnis, Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Froude-Zahl, Total Stream Power (TSP), Specific Stream Power (SSP), relative Höhe und relative Rauigkeit.

Der Vergleich morphodynamisch aktiver Prozessstellen mit nicht aktiven Flussabschnitten auf Basis der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 sowie die Gegenüberstellung der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 mit jener nach dem Hochwasser 2005 (Prozess 12) ermöglichte es, bei bestimmten Parametern gute Indikatortauglichkeit für morphodynamische Aktivität festzustellen. Insbesondere die Parameter SSP und Froude-Zahl zeigten gute Indikatortauglichkeit.

Der vorliegenden Arbeit übergeordnet ist das Ziel, Aussagen über den minimalen flussmorphologischen Raumbedarf eines Fließgewässers ableiten zu können, und dadurch wertvolle Informationen für zukünftige Gefahrenabschätzungen zu erhalten. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das Untersuchungsgebiet mit Hilfe von Regimegleichungen sowie dem Ansatz zur Abschätzung der maximalen Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) untersucht.

Die Ergebnisse der Regimegleichung nach BRAY (1982) zeigten, dass die berechneten Regimebreiten an morphodynamisch nicht aktiven Flussabschnitten im Mittel den Umlagerungsbreiten aus dem Jahr 2000 entsprachen, an den Prozessstellen hingegen im Mittel deutlich darüber lagen. Auf Basis der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 konnten somit an Prozessstellen Instabilitäten festgestellt werden.
Die geomorphologische Aktivität im Zuge des Hochwassers 2005 führte nach BRAY's (1982) Regimegleichung zu einer Stabilisierung der zuvor instabilen Prozessstellen; die durch das Hochwasser erreichten Umlagerungsbreiten überstiegen an allen 14 Prozessstellen die berechneten Regimebreiten.

Das abschließend durchgeführte Handrechenverfahren nach SCHMAUTZ (2003) zur Abschätzung, der beim eigendynamischen Aufweitungsprozess maximal zu erwartenden Gewässerbreite zeigte, dass die Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) an allen Flussabschnitten mit Seitenerosionen unter der historischen Breite (1869 – 1887), jedoch über der Umlagerungsbreite aus dem Jahr 2000 lag. Im Mittel entsprach die errechnete Gewässerbreite nach SCHMAUTZ (2003) der Umlagerungsbreite, die sich nach dem Hochwasser 2005 eingestellt hat. Nach SCHMAUTZ (2003) führte demnach das Hochwasser 2005 infolge der geomorphologischen Arbeit an Flussabschnitten mit Seitenerosionen zum Erreichen der maximal erwarteten Gewässerbreiten. Zu erwähnen ist jedoch, dass die im Zuge des Handrechenverfahrens erhaltenen Breiten mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, da sie

stark von Randbedingungen beeinflusst werden und mögliche Geschiebeeintragsraten nicht berücksichtigt werden konnten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die durchgeführten Analysen die Erwartungen bestätigten. Obwohl die komplexen Wirkungszusammenhänge von Hochwasserabflüssen und morphodynamischen Prozessen nicht vollständig geklärt werden konnten, war es möglich Zusammenhänge zu diskutieren, prozessrelevante Parameter abzuleiten und deren Indikatortauglichkeit für morphodynamische Aktivität zu überprüfen.

8 Referenzen

AGR, 2004. Sicherung des Raumbedarfs und Uferbereichs von Fließgewässern. Empfehlungen zur Umsetzung im Kanton Bern. Bern, S. 1-4.

ANTHONY, E.J., JULIAN, M., 1999. Source-to-sink sediment transfers, environmental engineering and hazard mitigation in the steep Var River catchment, French Riviera, southeastern France. Geomorphology 31, S. 337-354.

ATV-DVWK, 2000. Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern. Arbeitsbericht. GFA, Hennef.

BAGNOLD, R.A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. Geological Survey Professional Paper 422-I, S. I1-137.

BAGNOLD, R.A., 1977. Bed load transport by natural rivers. Water Resources Research 13, S. 303-312.

BAKER, V.R., 1977. Stream channel response to floods with examples from central Texas. Geological Society of American Bulletin 88, S. 1057-1070.

BAKER, V.R., COSTA, J.E., 1987. Flood Power. In: Mayer, L., Nash, D. (Hrsg.): Catastrophic Flooding. Allen and Unwin, London, S. 1-24.

BAKER, V.R., KALE, V.S., 1998. The role of extreme floods in shaping bedrock channels. In: Tinkler, K.J., Wohl, E.E. (Hrsg.): Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels. Monographie 107. American Geophysical Union, Washington, DC, S. 153-165.

BAUBEZIRKSAMT REUTTE, 2008. Historisches Bildmaterial.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM F. UMWELT, GESUNDHEIT U. VERBRAUCHERSCHUTZ, 2006. Lebensraumvernetzung an Fließgewässern am Beispiel Lech. Infojournal. Interreg IIIB Lebensraumvernetzung.

BEV, LAND TIROL, 2007. Digitale Katastralmappe.

BEVEN, K., 1981. The effect of ordering on the geomorphic effectiveness of hydrologic events. International Association of Hydrologists Science Publication 132, S. 510-526.

BMLF, 1996. Regionales Pilotprojekt Lech-Außerfern. Ökologisch-ökonomische Entscheidungsgrundlagen zur Erhaltung, Pflege und Entwicklung des alpinen Kulturlandschaftsraumes nach Schwerpunkten. Infojournal.

BMLFUW, 2006. Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation der Bundeswasserbauverwaltung, des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung und des Hydrographischen Dienstes. Wien.

BMLFUW, 2007. Hochwasserschutz. Ziele – Strategien – Maßnahmen. Dokumentation des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser. Wien.

BOLLRICH, G., 2007. Technische Hydromechanik. 6.Aufl., Bd.1, Huss-Medien GmbH, Berlin.

BOOTH, D.B., 1990. Stream-channel incision following drainage-basin urbanization. Water Resources Bulletin 26, S. 407-417.

BRAY, D.I., 1982. Regime equations for gravel-bed rivers. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Hrsg.): Gravel-Bed Rivers. John Wiley and Sons, Chichester, England, S. 517-552.

BREITENBAUMER, G., 2008. Testing the applicability of the specific stream power tool in river morphology – with a primary focus on Austrian river data sets Vienna. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur, Wien.

BRIEM, E., 2002. Formen und Strukturen der Fließgewässer. Ein Handbuch der morphologischen Fließgewässerkunde. Arbeitsbericht. GFA, Hennef.

BROOKES, A., 1988. River Channelization: perspectives for environmental management. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

BROOKES, A., 1996. River Channel Change. In: Petts, G., Calow, P. (Hrsg.): River Flows and Channel Forms. Blackwell Science. S. 221-242

BROOKES, A., BRIERLEY, G.J., MILLAR, R.G., 2003. The long-term control of vegetation and woody debris on channel and flood-plain evolution: Insights from a paired catchment study in southeastern Australia. Geomorphology 51, S. 7-29.

BROOKES, A., 2007. A guide to the use of the stream power tool in river management: Preliminary user guide. Entwurf. Jacobs, UK limitiert.

BROOKS, A.P., BRIERLEY, G.J., 1997. Geomorphic responses of lower Bega River to catchment disturbance, 1851-1926. Geomorphology 18, S. 291-304.

BRONSTERT, A., 2002. Einführung in die Gewässerhydraulik. Vorlesungsunterlagen. Institut für Geoökologie, Lehrstuhl für Hydrologie und Klimatologie. Universität Potsdam.

BULL, W.B., 1979. The threshold of critical stream power in streams. Geological Society of American Bulletin 90, S. 453-464.

CENDERELLI, D.A., WOHL, E.E., 2003. Flow hydraulics and geomorphic effects of glacial-lake outburst floods in the Mount Everest region, Nepal. Earth Surface Processes and Landforms 28, S. 385-407.

CHIN, A., GREGORY, K.J., 2001. Urbanization and adjustment of ephemeral stream channels. Bericht der Association of American Geographers 91, S. 595-608.

COSTA, J.E., O'CONNOR, J.E., 1995. Geomorphically effective floods. In: Costa, J.E., Miller, A.J., Potter, K.W., Wilcock, P. (Hrsg.): Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology. Monographie 89. American Geophysical Union, Washington, DC, S. 45-56.

DEODHAR, L.A., KALE, V.S., 1999. Downstream adjustments in allochthonous rivers: Western Deccan Trap upland region, India. In: Miller, A.J., Gupta, A. (Hrsg.): Varieties of Fluvial Form. Wiley, Chichester, S. 292-315.

DONAUCONSULT, 2001. Diverse Projektunterlagen.

DOWNS, P.W., 1992. Spatial variations in river channel adjustments: implications for channel management in south-east England. Dissertation. Universität Southampton, UK.

DOWNWARD, S.R., 1995. Information from topographic survey. In: Gurnell, A., Petts, G. (Hrsg.): Changing River Channels. Wiley, Chichester, S. 303-323.

EATON, B.C., MILLAR, R.G., 2004. Optimal alluvial channel width under a bank stability constraint. Geomorphology 62, S. 35-45.

EISENHAUER, N., 2008. Morphodynamische Prozesse in Fließgewässern, Kapitel 4. Vorlesungsunterlagen. Hochschule Technik und Wirtschaft, Karlsruhe.

FEUERWEHR REUTTE, 2008. Hochwassereinsatz vom 22. - 24. August 2005. Einsatzbericht. http://www.feuerwehr-reutte.at (Zugriff am 20.11.2008).

FONSTAD, M.A., 2002. Spatial variation in the power of mountain streams in the Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. Geomorphology 55, S. 75-96.

FUCHS, H., 2008. Vermessungskunde für Forstwirte. Vorlesungsunterlagen. Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation. Universität für Bodenkultur, Wien.

FÜRST, J.; HAÖ, 2007. Hydrologischer Atlas Österreichs. Computer Software, Version 3.0.1., Universität für Bodenkultur, Wien.

FÜRST, J., PETICZKA, R.; HAÖ, 2004. Informationen zur Bodenübersichtskarte im Hydrologischen Atlas Österreichs. Computer Software, Version 3.0.1., Universität für Bodenkultur, Wien.

GAMERITH, W., 2002. Lechtal. Eine Landschaft erzählt ihre Geschichte. 3.Aufl., Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien.

GARBRECHT, G., 1961. Abflussberechnung für Flüsse und Kanäle. Die Wasserwirtschaft 51, S. 40-77.

GOMEZ, B., COLEMAN, S. E., SY, V. W. K., PEACOCK, D. H., KENT, M., 2007. Channel change, bankfull and effective discharges on a vertically accreting, meandering, gravel-bed river. Earth Surface Processes and Landforms 32 (5), S. 770-785.

GOTTERBARM, J., 2009. Alpen. Abbildung. http://www.juergengotterbarm.de (Zugriff am 18.1.2009)

GROTH, H., 1989. Alpenvereinsführer. Lechtaler Alpen. 4.Aufl., Bergverlag Rudolf Rother, München, S. 32-38.

GUPTA, A., 1995. Magnitude, frequency, and special factors affecting channel form and processes in the seasonal tropics. In: Costa, J.E., Miller, A.J., Potter, K.W., Wilcock, P. (Hrsg.): Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology, Monographie 89. American Geophysical Union, Washington, DC, S. 125-136.

HABERSACK, H., 1997. Catchment-wide, sectional and local aspects in sediment transport modeling and monitoring. J. Sediment Res. 12, S. 120-130.

HABERSACK, H., JUNGWIRTH, M., MUHAR, S., SCHMUTZ, S., 2000. The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments. Hydrobiologia 422/423, S. 49-60, Kluwer Academic Publishers, Niederlanden.

HABERSACK, H., SCHNEIDER, J., 2000. Ableitung und Analyse flussmorphologisch relevanter Parameter von historischen Karten. Wasser & Boden, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

HABERSACK, H., 2007. Computerunterstützte Gewässermodellierung. Vorlesungsunterlagen. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur, Wien.

HAFNER, T., 2008. Uferrückbau und eigendynamische Gewässerentwicklung. Aspekte der Modellierung und Abschätzungsmöglichkeiten in der Praxis. Bericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. Bd. 117, S. 125-129.

HARVEY, A.M., 1984. Geomorphological response to an extreme flood: A case study from southeast Spain. Earth Surface Processes and Landforms 9, S. 267-279.

HAUER, C., FRANZGEZ, C., JUNGWIRTH, M., HOFBAUER, S., MUHAR, S., PREIS, S., UNFER, G., HABERSACK, H., 2006. Flussmorphologische Veränderungen am Kamp durch das Hochwasser 2002 und ihre Bedeutung für Hochwasserschutz und Fischökologie. Österreichs Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 11-12, S. 175-183.

HAUER, C., HABERSACK, H., 2009. Morphodynamics of a 1000-year flood in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain morphology. Earth Surface Processes and Landforms 34, S. 654-682.

HOOKE, J.M., KAIN, R.J.P., 1982. Historical Changes in the Physical Environment: A Guide to Sources and Techniques. Butterworths, Sevenoaks.

HOOKE, J.M., REDMOND, C.E., 1989. Use of cartographic sources for analyzing river channel change with examples from Britain. In: Petts, G.E., Möller, M., A.L.Roux, M. (Hrsg.): Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe. Wiley & Sons, Chichester, S. 79-113.

HOOKE, J.M., REDMOND, C.E., 1992. Causes and nature of river planform change. In: Billi, P., Hey, R.D., Thorne, C.R., Tacconni, P. (Hrsg.): Dynamics of Gravel-Bed Rivers. Wiley, Chichester, S. 557-472.

HUANG, H.Q., NANSON, G.C., 2000. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action. Earth Surface Processes and Landforms 25, S. 1-13.

HUANG, H.Q., NANSON, G.C., 2002. A stability criterion inherent in laws governing alluvial channel flow. Earth Surface Processes and Landforms 27, S. 929-944.

HUANG, H.Q., CHANG, H.H., NANSON, G.C., 2004. Minimum energy as the general form of critical flow and maximum flow efficiency and for explaining variations in river channel pattern. Water Resources Research 40, W04502.

HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2003. Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2003, Bd. 111, Wien.

HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO IM BMLFUW, 2008. Persönliche Mitteilung; Email.

JUNGWIRTH, M., HAIDVOGL, G., MOOG, O., MUHAR, S., SCHMUTZ, S., 2003. Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien.

KALE, V.S., ELY, L.L., ENZEL, Y., BAKER, V.R., 1994. Geomorphic and hydrologic aspects of monsoon floods on the Narmada and Tapi Rivers in central India. Geomorphology 10, S. 157-168.

KALE, V.S., HIRE, P.S., 2004. Effectiveness of large monsoon floods on the Tapi River, India: role of channel geometry and hydrologic regime. Geomorphology 57, S. 275-291.

KALE, V.S., HIRE, P.S., 2007. Temporal variations in the specific stream power and total energy expenditure of a monsoonal river: The Tapi River, India. Geomorphology. Artikel in Druck.

KELLERHALS, R., 1967. Stable channels with paved gravel beds. Journal of the Waterways and harbors Division 93 (1), S. 63-83.

KNIGHTON, A.D., 1999. Downstream variation in stream power. Geomorphology 29, S. 293-306.

KOCH, B., 2008. Persönliche Mitteilung; Email.

KOCHEL, R.C., 1988. Geomorphic impact of large floods: review and new perspectives on magnitude and frequency. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Hrsg.): Flood Geomorphology. Wiley, New York, S. 169-187.

KRESAN, P.L., 1988. The Tucson, Arizona, flood of October 1983. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Hrsg.): Flood Morphology. John Wiley and Sons, New York, S. 465-489.

LAND TIROL. Luftbilder aus 2000, 2005 und 2006. Digitales Geländemodell aus 2006/2007.

LAND TIROL, 2007. Der Fluss und der Fluss der Zeit. Infojournal des EU-LIFE Projekts „Wildflusslandschaft Tiroler Lech".

LAND TIROL, 2008. Historische Kartenwerke, Hinweise. http://www.tirol.gv.at/tiris (Zugriff am 13.10.2008).

LANE, S.T., 1995. The Dynamics of Dynamic River Channels. Journal of the Geographical Association 80 (2).

LEHMANN, B., 2003. Morphodynamik von Fließgewässern. Vorlesungsunterlagen. Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Universität Karlsruhe (TH).

LEOPOLD, L.B., MADDOCK, T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. United States Geological Survey Professional Paper 242, Washington, DC, S. 57ff.

LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G., MILLER J.P., 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. Freeman & Company, San Francisco.

LEVIN, S.A., 1992. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology 73, S. 1943-1967.

MADER, H., STEIDL, T., WIMMER, R., 1996. Abflussregime österreichischer Fließgewässer. Beitrag zu einer bundesweiten Fließgewässertypologie. Monographien, Bd. 82, Wien.

MAGILLIGAN, F.J., 1992. Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods. Geomorphology 5, S. 373-390.

MAGILLIGAN, F.J., PHILLIPS, J.D., JAMES, L.A., GOMEZ, B., 1998. Geomorphic and sedimentological controls on the effectiveness of an extreme flood. Journal of Geology 106, S. 87-95.

MANGELSDORF, J., SCHEUERMANN, K., 1980. Flussmorphologie: Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. München, Oldenburg.

MEIER, I., 2000. Leben mit dem Hochwasser. Ausgewählte Hochwasserereignisse im Tiroler Lechtal. Bericht. http://www.uibk.ac.at/geographie (Zugriff am 10.10.2008).

MEYER, G.A., 2001. Recent large-magnitude floods and their impact on valley floor environments of north-eastern Yellowstone. Geomorphology 40, S. 271-290.

MILLAR, R.G., 2004. Theoretical regime equations for mobile gravel-bed rivers with stable banks. Geomorphology 64, S. 207-220.

MILLER, A.J., 1990. Flood hydrology and geomorphic effectiveness in the central Appalachians. Earth Surface Processes and Landforms 15, S. 119-134.

MORISAWA, M., 1985. Rivers: Form and Process. Geomorphology Texts No. 7. Longman Group Ltd., New York. S. 200-221.

MUHAR, S., POPPE, M., EGGER, G., SCHMUTZ, S., MELCHER, A., 2004. Flusslandschaften Österreichs. Ausweisung von Flusslandschaftstypen anhand des Naturraums, der Fischfauna und der Auenvegetation. Publikation im Rahmen des Forschungsprogramms *Kulturlandschaft*. Wien.

NABU-ERFTKREIS, 2008. Kiesbank-Wolfsspinne. Abbildung. http://www.nabuerftkreis.de (Zugriff am 10.10.2008).

NACHTNEBEL, H.P., 2003. Gewässerplanung und konstruktiver Wasserbau. Vorlesungsunterlagen. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur, Wien.

NANSON, G.C., 1986. Episodes of vertical accretion and catastrophic stripping: a model of disequilibrium floodplain development. Geological Society America Bulletin 97, S. 1467-1475.

NASEMANN, P., 2007. Der Lech im Gebirge. Lechkiesel erzählen eine geologische Heimatgeschichte. Edition Koch.

NASH, D.B., 1994. Effective sediment-transporting discharge from magnitude-frequency analysis. The Journal of Geology 102, S. 79-95.

NEWSON, M., 1980. The geomorphical effectiveness of floods – a contribution stimulated by two recent events in mid-Wales. Earth Surface Processes 5, S. 1-16.

OEFG, 2008. Koppe. Abbildung. http://www.oefg1880.at (Zugriff am 10.10.2008).

PARDÉ, M., 1947. Fleuves et rivières. Paris

PETTS, G.E., 1989. Perspectives for ecological management of regulated rivers. In: Gore, J.A., Petts, G.E. (Hrsg.): Alternatives in Regulated River Management. Boca Raton, Florida, S. 3-24.

PICKUP, G., WARNER, R.F., 1976. Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. Journal of Hydrology 29, S. 51-75.

RASSMANN, A., 2000. Vorarbeiten zu einer flussmorphologischen Klassifikation österreichischer Fließgewässer. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur, Wien.

RICHARDS, K.S., 1999. The magnitude-frequency concept in fluvial geomorphology: a component of a degenerating research programme? Zeitschrift für Geomorphologie SB 115, S. 1-18.

ROBERTS, C.R., 1989. Flood frequency and urban-induced channel change: Some British examples. In: Beven, K., Carling, P. (Hrsg.): Floods: Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications. John Wiley and Sons, Chichester, UK, S. 57-82.

ROSGEN, D., 1996. Applied River Morphology. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado, USA.

SCHMAUTZ, M., 2003. Eigendynamische Aufweitung in einer geraden Gewässerstrecke – Entwicklung und Untersuchung an einem numerischen Modell. Bericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München. S. 1-4.

SCHOBER, S., 2006. Flussmorphologische Prozesse am Beispiel alpiner Einzugsgebiete. Dissertation am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Universität für Bodenkultur, Wien.

SCHÖNHERR, J., 2005. LIFE-Projekt Wildflusslandschaft Tiroler Lech. Kleinmaßnahmen an Nebengewässern Projekt A2 Blockau. Technischer Bericht des Einreich- projekts.

SCHUMM, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. Geological Society of America Bullentin 74, S. 1089-1100.

SCHUMM, S.A., 1977. The Fluvial System. Wiley, New York, S. 338ff.

SHIELDS, A., 1936. Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenz-forschung auf die Geschiebebewegung. Berlin: Eigenverlag (Mitteilung der Preussischen Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffsbau, 26).

SIMONS, S.B., ALBERTSON, M.L., 1963. Uniform water conveyance channels in alluvial material. Transactions of the American Society of Civil Engineers 128 (1), S. 65-167.

STACEY, M., RUTHERFURD, I., 2007. Testing specific stream power thresholds of channel stability with GIS. 5th Annual Australian Stream Management Conference, Albury, Australia.

STAUB, E., 2000. Farbatlas der Anglerfische. 6.Aufl., Kosmos Verlag.

TINKLER, K.J., 1971. Active valley meanders in south-central Texas and their wider significance. Geological Society of American Bullentin 82, S. 1783-1800.

URIBELARREA, D., PÉREZ-GONZÁLEZ, A., BENITO, G., 2003. Channel changes in the Jarama and Targus rivers (central Spain) ober the past 500 years. Quaternary Science Reviews 22/20, S. 2209-2221.

WAGNER, B., 2008 / 2009. Diverses Bildmaterial aus eigenen Quellen.

WENDE, R., NANSON, G.C., 1998. Anabranching rivers: Ridge-form alluvial channels in tropical northern Australia. Geomorphology 22, S. 205-224.

WOHL, E.E., 2008. Review of effects of large floods in resistant-boundary channels. In: Habersack, H., Piegay, H., Rinaldi, M. (Hrsg.): Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration. Elsevier, S. 181-212.

WOLMAN, M.G., GERSON, R., 1978. Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. Earth Surface Processes 3, S. 189-208.

WOLMAN, M.G., MILLER, J.P., 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. Journal of Geology 68, S. 54-74.

WYZGA, B., 1996. Changes in the magnitude and transformation of flood waves subsequent to the channelization of the Raba River, Polish Carpathians. Earth Surface Processes and Landforms 21, S. 749-763.

ZAMG, 2008. Klima Reutte. http://www. zamg.ac.at (Zugriff am 1.12.2008).

ZETTL, R., 2001. Lechauf – lechab: Wissenswertes, Liebenswertes. Wißner Verlag, Augsburg.

9 Anhang

Auf der beigelegten CD finden sich die Diplomarbeit in PDF-Format sowie die Übersichtstabellen 8.1 – 8.8, basierend auf der Gerinnegeometrie aus dem Jahr 1992 und vom Hochwasser 2005 (8.9 – 9.16) in Excel-, PDF- und AutoCAD-Format (2008).

Ergänzend wird die Tabelle 8.4 in Planform beigelegt.

8.1 Übersichtstabelle NQ - Gerinnegeometrie 1992

8.2 Übersichtstabelle MQ - Gerinnegeometrie 1992

8.3 Übersichtstabelle HQ_1 - Gerinnegeometrie 1992

8.4 Übersichtstabelle $HQ_{1.5}$ - Gerinnegeometrie 1992

8.5 Übersichtstabelle Q_{bv} - Gerinnegeometrie 1992

8.6 Übersichtstabelle HQ_{30} - Gerinnegeometrie 1992

8.7 Übersichtstabelle HQ_{100} - Gerinnegeometrie 1992

8.8 Übersichtstabelle Q_{2005} - Gerinnegeometrie 1992

8.9 Übersichtstabelle NQ - Gerinnegeometrie HW 2005

8.10 Übersichtstabelle MQ - Gerinnegeometrie HW 2005

8.11 Übersichtstabelle HQ_1 - Gerinnegeometrie HW 2005

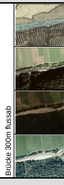
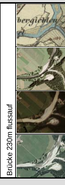
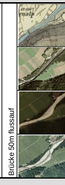
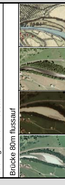
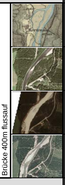
8.12 Übersichtstabelle $HQ_{1.5}$ - Gerinnegeometrie HW 2005

8.13 Übersichtstabelle Q_{bv} - Gerinnegeometrie HW 2005

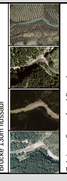
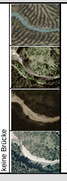
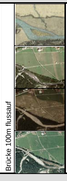
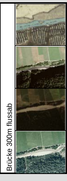
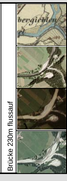
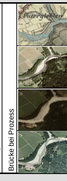
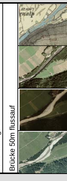
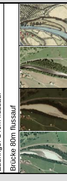
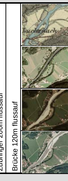
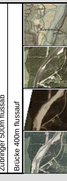
8.14 Übersichtstabelle HQ_{30} - Gerinnegeometrie HW 2005

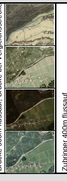
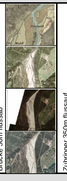
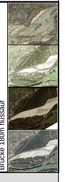
8.15 Übersichtstabelle HQ_{100} - Gerinnegeometrie HW 2005

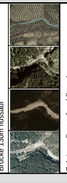
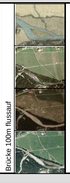
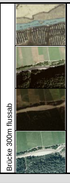
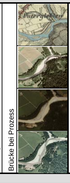
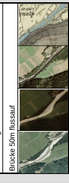
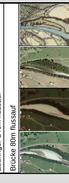
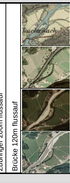
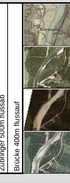
8.16 Übersichtstabelle Q_{2005} - Gerinnegeometrie HW 2005

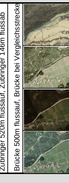
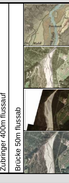
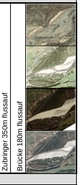
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					229.8-229.6	229.5-229.4	229.3-228.9	227.8-227.7	224.4-224.3	222.3-222.2	220.5	216.5-215.8	214.0-213.5	212.7-211.9	210.5	207.3-206.7	203.3-202.8	200.6-199.8
Geschiebeeintrag																		
Brücke																		
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																		
Luftbild Hochwasser 2005																		
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)																		
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energielinengefälle	I_E	-	[m/m]	0.0070	-	-	-	0.0048	0.0137	0.0036	0.0030	0.0058	0.0067	0.0089	0.0093	0.0066	0.0070	0.0078
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	76	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	29	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	48	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	15	-	-	-	10	13	15	10	15	13	17	20	16	16	14
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	0.3	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	0.5	-	-	-	0.3	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5
Benetzter Umfang	U	-	[m]	15	-	-	-	10	13	15	10	15	13	18	20	16	16	14
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	4	-	-	-	2	2	3	3	4	3	4	4	4	5	4
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	0.27	-	-	-	0.22	0.16	0.20	0.31	0.24	0.29	0.22	0.19	0.29	0.32	0.34
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	37.3	-	-	-	32.4	55.7	34.8	16.2	31.5	31.5	62.3	70.2	34.7	29.5	36.5
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	NQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	3.8	-	-	-	1.6	2.2	2.2	2.4	3.3	3.3	3.6	3.7	4.2	4.8	4.8
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	0.99	-	-	-	0.71	1.06	0.71	0.78	0.97	1.02	0.96	1.01	0.95	1.02	1.22
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	16.9	-	-	-	10.5	20.9	7.2	9.0	14.0	17.6	15.6	16.9	15.9	18.7	25.4
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	0.62	-	-	-	0.48	0.86	0.50	0.45	0.62	0.62	0.69	0.75	0.59	0.60	0.67
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	263	-	-	-	73	296	77	71	191	220	309	335	272	330	365
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	20	-	-	-	8	22	5	7	15	19	16	17	16	25	40
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	0.058	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	0.033	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	0.158	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	8	-	-	-	5	5	8	13	4	7	6	7	10	9	14
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.67	-	-	-	0.96	0.81	0.59	0.39	0.91	0.63	0.72	0.75	0.50	0.60	0.51

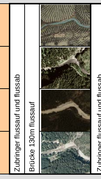
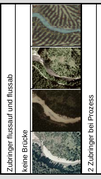
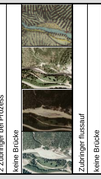
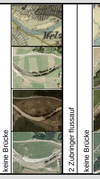
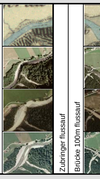
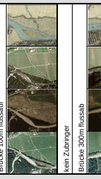
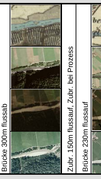
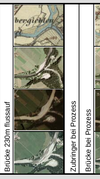
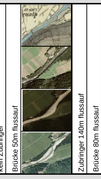
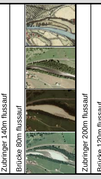
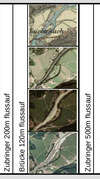
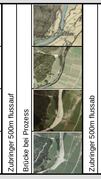
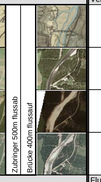
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
Vergleichsstrecke							
ID					15	16	17
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
FKM					219.0-218.0	193.0-192.0	186.5-185.5
Geschiebeeintrag							
Brücke							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-
Längenschnitt (1992)							
Energielinengefälle	I_E	-	[m/m]	0.0080	0.0063	0.0095	0.0094
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	408	22	509	694
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	112	25	172	139
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	116	29	175	145
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	31	15	39	47
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	0.3	0.3	0.3	0.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	0.6	0.5	0.5	0.7
Benetzter Umfang	U	-	[m]	30	15	37	47
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	7	4	7	10
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	0.28	0.28	0.27	0.27
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	75.3	38.2	117.8	92.2
Hydraulik (1992)							
Abfluss	NQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	4.9	2.6	6.3	7.2
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	0.80	0.72	1.00	0.75
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	14.0	10.6	19.1	14.2
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	0.56	0.49	0.68	0.54
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	418	161	579	666
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	15	10	25	13
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	0.045	0.042	0.051	0.043
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	0.025	0.023	0.029	0.022
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	0.125	0.115	0.138	0.121
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	12	13	10	14
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.42	0.38	0.46	0.40

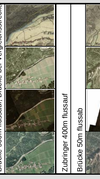
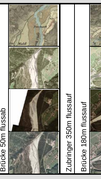
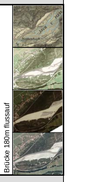
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					229.8-229.6	229.5-229.4	229.3-228.9	227.8-227.7	224.4-224.3	222.3-222.2	220.5	216.5-215.8	214.0-213.5	212.7-211.9	210.5	207.3-206.7	203.3-202.8	200.6-199.8
Morphodynamischer Prozess					Geschiebeeintrag: Zubringer flussauf und flussab Brücke: Brücke 10m flussauf	Geschiebeeintrag: Zubringer flussauf und flussab Brücke: keine Brücke	Geschiebeeintrag: Zubringer bei Prozess Brücke: Zufl. Brücke	Geschiebeeintrag: Zubringer flussauf Brücke: keine Brücke	Geschiebeeintrag: 2 Zubringer flussauf Brücke: keine Brücke	Geschiebeeintrag: Zubringer flussauf Brücke: Brücke 100m flussauf	Geschiebeeintrag: kein Zubringer Brücke: Brücke 300m flussab	Geschiebeeintrag: Zufl. 150m flussauf, Zufl. bei Prozess Brücke: Brücke 210m flussauf	Geschiebeeintrag: Zubringer bei Prozess Brücke: Brücke bei Prozess	Geschiebeeintrag: kein Zubringer Brücke: Brücke 50m flussauf	Geschiebeeintrag: Zubringer 140m flussauf Brücke: Brücke 80m flussauf	Geschiebeeintrag: Zubringer 200m flussauf Brücke: Brücke 210m flussauf	Geschiebeeintrag: Zubringer 500m flussauf Brücke: Brücke bei Prozess	Geschiebeeintrag: Zubringer 500m flussab Brücke: Brücke 400m flussauf
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																		
Luftbild Hochwasser 2005																		
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)																		
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0065**	-	-	-	0.0046	0.0102	0.0042	0.0034	0.0060	0.0073	0.0073	0.0104	0.0059	0.0059	0.0072
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**76**	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**29**	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**48**	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**26**	-	-	-	14	22	20	17	25	22	31	29	22	30	27
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**0.6**	-	-	-	0.6	0.4	0.5	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	0.7
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**1.0**	-	-	-	0.8	0.6	0.8	1.2	1.0	1.1	0.8	0.6	1.0	1.1	1.2
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**26**	-	-	-	14	22	20	17	25	22	31	29	22	32	28
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**15**	-	-	-	8	8	10	11	13	12	14	12	15	20	17
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	**0.57**	-	-	-	0.55	0.38	0.50	0.64	0.53	0.56	0.49	0.43	0.68	0.62	0.67
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**27.1**	-	-	-	18.3	37.5	24.2	14.3	25.5	23.4	40.0	44.6	21.9	26.6	24.8
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	MQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**23.3**	-	-	-	10.0	14.0	14.0	15.0	20.0	20.0	22.0	23.0	26.0	30.0	30.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**1.62**	-	-	-	1.26	1.66	1.41	1.35	1.57	1.72	1.57	1.87	1.73	1.60	1.79
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**33.7**	-	-	-	24.6	38.0	20.6	21.4	28.9	40.2	31.1	43.7	38.0	33.0	40.0
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.69**	-	-	-	0.54	0.86	0.63	0.54	0.70	0.73	0.73	0.91	0.67	0.65	0.72
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**1490**	-	-	-	448	1397	579	499	1170	1437	1565	2341	1497	1734	2130
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**59**	-	-	-	31	63	29	29	50	73	52	82	68	60	75
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.058**	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.033**	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.158**	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**19**	-	-	-	15	11	21	29	11	14	15	14	24	17	33
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.29**	-	-	-	0.32	0.40	0.23	0.17	0.36	0.32	0.29	0.38	0.21	0.30	0.22

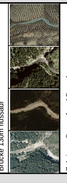
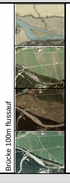
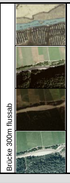
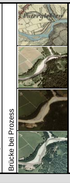
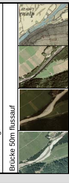
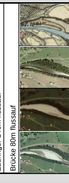
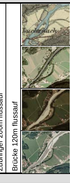
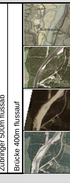
Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				219.0-218.0	193.0-192.0	186.5-185.5
Vergleichsstrecke				Geschiebeeintrag: Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab Brücke: Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke	Geschiebeeintrag: Zubringer 400m flussauf Brücke: Brücke 50m flussab	Geschiebeeintrag: Zubringer 350m flussauf Brücke: Brücke 180m flussauf
						
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	**0.0060**	0.0059	0.0074	0.0049
LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**408**	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**112**	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**116**	29	175	145
W	-	[m]	**64**	22	82	113
D	-	[m]	**0.5**	0.5	0.4	0.4
D_{max}	-	[m]	**1.0**	1.0	1.0	1.3
U	-	[m]	**62**	23	74	113
A	-	[m²]	**26**	12	30	44
R	$R = A / U$	[m]	**0.48**	0.54	0.43	0.44
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**74.3**	26.3	109.8	115.6
Hydraulik (1992)						
MQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**30.2**	16.0	40.0	43.0
v	$v = Q / A$	[m/s]	**1.28**	1.39	1.35	1.03
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**24.6**	26.8	26.0	19.6
Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.61**	0.63	0.70	0.51
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**1795**	928	2898	2078
ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**34**	43	34	21
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	**0.045**	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	**0.025**	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	**0.125**	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**18**	22	14	18
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.29**	0.23	0.35	0.30

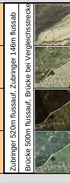
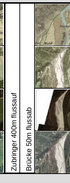
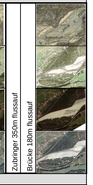
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					Geschiebeeinzug: Bäche 229.8-229.6	Geschiebeeinzug: Bäche 229.5-229.4	Geschiebeeinzug: Bäche 229.3-228.9	Geschiebeeinzug: Bäche 227.8-227.7	Geschiebeeinzug: Bäche 224.4-224.3	Geschiebeeinzug: Bäche 222.3-222.2	Geschiebeeinzug: Bäche 220.5	Geschiebeeinzug: Bäche 216.5-215.8	Geschiebeeinzug: Bäche 214.0-213.5	Geschiebeeinzug: Bäche 212.7-211.9	Geschiebeeinzug: Bäche 210.5	Geschiebeeinzug: Bäche 207.3-206.7	Geschiebeeinzug: Bäche 203.3-202.8	Geschiebeeinzug: Bäche 200.6-199.8
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																		
Luftbild Hochwasser 2005																		
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)					Zubringer flussauf und flussab 	Zubringer flussauf und flussab kleine Brücke 	2 Zubringer bei Prozess Zufl. Brücke 	Zubringer flussauf keine Brücke 	2 Zubringer flussauf keine Brücke 	Zubringer flussauf Brücke 100m flussauf 	kein Zubringer Brücke 300m flussab 	Zufl. 150m flussauf, Zufl. bei Prozess Brücke 250m flussauf 	Zubringer bei Prozess Brücke bei Prozess 	kein Zubringer Brücke 50m flussauf 	Zubringer 140m flussauf Brücke 80m flussauf 	Zubringer 200m flussauf Brücke 120m flussauf 	Zubringer 500m flussauf Brücke bei Prozess 	Zubringer 500m flussab Brücke 400m flussauf
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0080**	-	-	-	0.0066	0.0081	0.0103	0.0408	0.0059	0.0075	0.0061	0.0056	0.0067	0.0061	0.0073
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**76**	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**29**	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**48**	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**37**	-	-	-	21	33	29	49	35	44	40	47	28	37	42
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.3**	-	-	-	1.1	0.9	0.9	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.6	1.5	1.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**2.0**	-	-	-	1.6	1.4	1.4	3.0	2.0	2.0	1.7	1.6	2.2	2.2	2.3
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**38**	-	-	-	21	33	29	51	36	43	41	47	29	41	43
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**47**	-	-	-	22	31	25	57	43	43	44	53	44	56	55
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	**1.23**	-	-	-	1.07	0.92	0.85	1.12	1.23	1.05	1.13	1.13	1.51	1.39	1.28
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**19.3**	-	-	-	13.0	24.3	20.2	16.3	18.5	24.2	25.2	28.5	13.1	17.2	18.4
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	HQ_3	Q = v · A	[m³/s]	**122.4**	-	-	-	52.0	72.0	72.0	79.0	108.0	108.0	115.0	119.0	135.0	156.0	156.0
Fließgeschwindigkeit	v	v = Q / A	[m/s]	**2.68**	-	-	-	2.32	2.35	2.92	1.42	2.53	2.61	2.67	2.25	3.10	2.83	2.99
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**104.8**	-	-	-	69.3	72.7	86.4	802.8	65.2	75.9	67.8	61.6	96.8	80.9	89.5
Froude-Zahl	Fr	Fr = v / c	[-]	**0.77**	-	-	-	0.71	0.78	1.00	0.41	0.74	0.80	0.79	0.67	0.80	0.74	0.84
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**8911**	-	-	-	3377	5709	7296	31657	6244	7936	6890	6507	8888	9387	11203
Specific Stream Power (SSP)	ω	ω = Ω / W	[W/m²]	**242**	-	-	-	164	172	255	640	171	194	180	139	322	255	285
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.058**	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.033**	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.158**	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**38**	-	-	-	28	24	38	50	28	26	32	38	55	43	62
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.14**	-	-	-	0.17	0.18	0.13	0.10	0.14	0.17	0.13	0.14	0.09	0.12	0.12

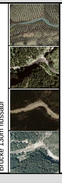
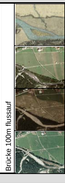
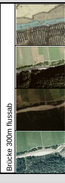
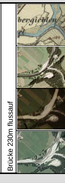
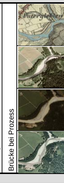
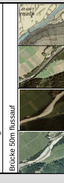
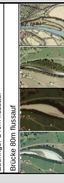
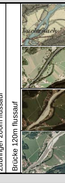
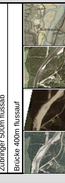
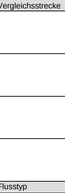
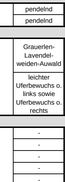
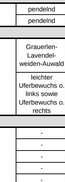
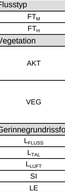
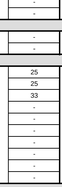
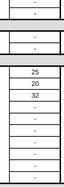
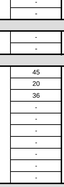
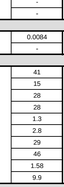
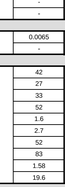
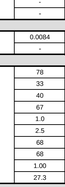
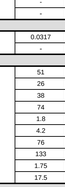
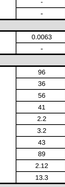
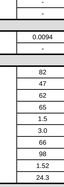
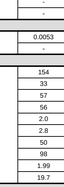
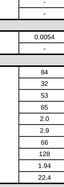
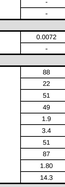
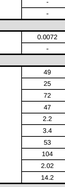
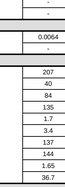
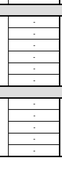
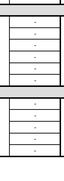
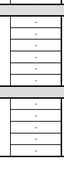
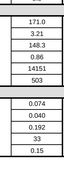
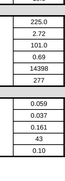
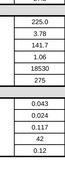
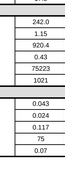
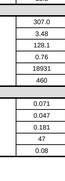
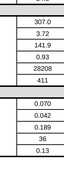
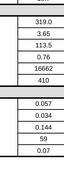
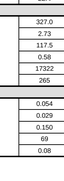
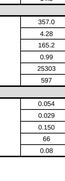
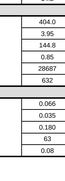
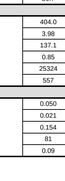
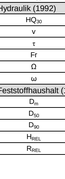
Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichsstrecken	15	16	17
Vergleichsstrecke						
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				Geschiebeeinzug: Bäche 219.0-218.0	Geschiebeeinzug: Bäche 193.0-192.0	Geschiebeeinzug: Bäche 186.5-185.5
				Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke 	Zubringer 400m flussauf Brücke 50m flussab 	Zubringer 350m flussauf Brücke 180m flussauf 
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	**0.0054**	0.0053	0.0061	0.0049
LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**408**	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**112**	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**116**	29	175	145
W	-	[m]	**109**	31	151	190
D	-	[m]	**1.0**	1.2	0.9	0.9
D_{max}	-	[m]	**1.9**	1.9	1.8	1.9
U	-	[m]	**109**	32	152	190
A	-	[m²]	**94**	38	124	155
R	R = A / U	[m]	**1.01**	1.19	0.86	0.86
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**66.2**	17.2	95.7	114.9
Hydraulik (1992)						
HQ_3	Q = v · A	[m³/s]	**161.8**	86.0	206.0	239.0
v	v = Q / A	[m/s]	**2.01**	2.33	1.83	1.69
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**51.1**	59.0	49.1	40.4
Fr	Fr = v / c	[-]	**0.64**	0.68	0.63	0.58
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**8583**	4451	12388	11388
ω	ω = Ω / W	[W/m²]	**105**	144	82	66
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	**0.045**	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	**0.025**	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	**0.125**	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**41**	52	31	41
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.13**	0.10	0.15	0.13

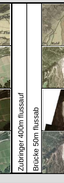
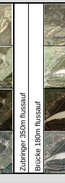
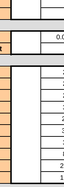
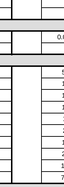
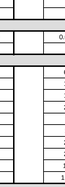
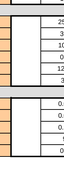
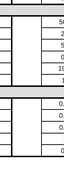
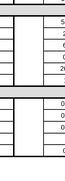
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					Geschiebeeinleitung: Brücke: 229.8-229.6	Geschiebeeinleitung: Brücke: 229.5-229.4	Geschiebeeinleitung: Brücke: 229.3-228.9	Geschiebeeinleitung: Brücke: 227.8-227.7	Geschiebeeinleitung: Brücke: 224.4-224.3	Geschiebeeinleitung: Brücke: 222.3-222.2	Geschiebeeinleitung: Brücke: 220.5	Geschiebeeinleitung: Brücke: 216.5-215.8	Geschiebeeinleitung: Brücke: 214.0-213.5	Geschiebeeinleitung: Brücke: 212.7-211.9	Geschiebeeinleitung: Brücke: 210.5	Geschiebeeinleitung: Brücke: 207.3-206.7	Geschiebeeinleitung: Brücke: 203.3-202.8	Geschiebeeinleitung: Brücke: 200.6-199.8
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																			
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																			
Luftbild Hochwasser 2005																			
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)					Zubringer flussauf und flussab: Brücke 130m flussauf	Zubringer flussauf und flussab: keine Brücke	Zubringer bei Prozess: keine Brücke	Zubringer flussauf: keine Brücke	2 Zubringer flussauf: keine Brücke	Zubringer flussauf: Brücke 100m flussauf	kein Zubringer: Brücke 300m flussab	Zubr. 150m flussauf, Zubr. bei Prozess: Brücke 230m flussauf	Zubringer bei Prozess: Brücke bei Prozess	Zubringer 140m flussauf: Brücke 80m flussauf	Zubringer 200m flussauf: Brücke 270m flussauf	Zubringer 500m flussauf: Brücke bei Prozess	Zubringer 500m flussab: Brücke 400m flussauf	Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab: Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LE	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0082**	-	-	-	0.0071	0.0076	0.0105	0.0475	0.0060	0.0074	0.0056	0.0056	0.0067	0.0064	0.0073
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**76**	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**29**	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**48**	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**41**	-	-	-	22	36	30	62	37	55	43	53	31	39	44
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.5**	-	-	-	1.3	1.1	1.1	1.2	1.5	1.3	1.4	1.3	1.9	1.8	1.6
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**2.4**	-	-	-	1.8	1.7	1.7	3.3	2.3	2.3	2.0	2.0	2.6	2.6	2.7
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**41**	-	-	-	22	37	31	64	38	47	43	54	32	43	45
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**60**	-	-	-	28	41	32	74	56	58	58	71	57	70	69
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	**1.48**	-	-	-	1.25	1.11	1.04	1.16	1.50	1.28	1.40	1.32	1.81	1.66	1.53
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**18.0**	-	-	-	11.8	22.0	18.2	18.6	16.5	25.8	22.2	26.5	11.8	15.4	16.8
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	$HQ_{1.5}$	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**176.0**	-	-	-	73.0	102.0	102.0	112.0	155.0	155.0	165.0	171.0	195.0	225.0	225.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.00**	-	-	-	2.63	2.50	3.19	1.48	2.81	2.86	2.97	2.42	3.45	3.23	3.44
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**130.6**	-	-	-	87.5	82.4	107.1	1047.8	82.5	89.1	79.7	78.5	114.3	101.7	110.9
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.78**	-	-	-	0.74	0.75	0.99	0.44	0.74	0.80	0.77	0.67	0.81	0.77	0.87
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**13103**	-	-	-	5077	7561	10499	52325	9060	11183	9021	9416	12707	14234	16157
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**325**	-	-	-	236	207	346	845	240	209	231	177	419	370	399
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.058**	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.033**	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.158**	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**45**	-	-	-	33	30	46	50	32	31	41	45	66	51	76
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.11**	-	-	-	0.15	0.15	0.11	0.10	0.12	0.15	0.10	0.12	0.08	0.10	0.10
Regimegleichungen																		
Gerinnebreite nach Bray (1982)	W_B	$W_B = 3.73 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.446}$	[m]	**35**	-	-	-	25	29	29	31	35	35	36	37	39	42	42
Gerinnetiefe nach Bray (1982)	D_B	$D_B = 0.308 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.398}$	[m]	**2.2**	-	-	-	1.7	1.9	1.9	2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.7	2.7
Gerinnebreite nach Kellerhals (1967)	W_K	$W_K = 1.8 \cdot Q_B^{0.5} \sim 1.8 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.5}$	[m]	**22**	-	-	-	15	18	18	19	22	22	23	24	25	27	27
Gerinnetiefe nach Kellerhals (1967)	D_B	$D_K = 0.166 \cdot Q_B^{0.40} \cdot D_{50}^{0.12} \sim 0.166 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.40} \cdot D_{50}^{0.12}$	[m]	**2.1**	-	-	-	1.7	1.9	1.9	1.9	2.3	2.3	2.3	1.8	1.9	2.1	2.7
Gerinnebreite nach Simons & Albertson (1963)	W_{SA}	$W_{SA} = 0.9 \cdot k_1 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.5}$	[m]	**19**	-	-	-	13	16	16	17	20	20	20	21	22	24	24
Gerinnetiefe nach Simons & Albertson (1963)	D_{SA}	$D_{SA} = 1.21 \cdot k_2 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.36}$ (R < 2.134 m) bzw. $D_{SA} = 2 + 0.93 \cdot k_2 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.36}$ (R > 2.134 m)	[m]	**1.7**	-	-	-	1.3	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.7	1.8	1.9	2	2
Eigendynamische Aufweitung nach Schmautz (2003)																		
Maximal zu erreichende Gewässerbreite	b*	-	[m]	**54**	-	-	-	41	**52**	-	-	**60**	-	**58**	**56**	**48**	**50**	**65**

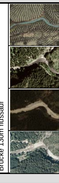
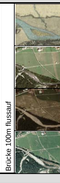
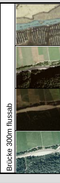
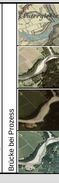
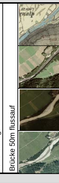
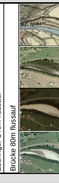
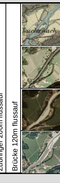
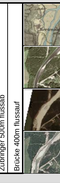
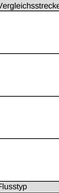
Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-streckeen	15	16	17
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				Geschiebeeinleitung: Brücke: 219.0-218.0	Geschiebeeinleitung: Brücke: 193.0-192.0	Geschiebeeinleitung: Brücke: 186.5-185.5
Vergleichsstrecke						
						
				Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab: Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke	Zubringer 400m flussauf: Brücke 50m flussab	Zubringer 350m flussauf: Brücke 280m flussauf
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	**0.0050**	0.0052	0.0049	0.0048
LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**408**	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**112**	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**116**	29	175	145
W	-	[m]	**125**	32	159	240
D	-	[m]	**1.2**	1.5	1.1	0.9
D_{max}	-	[m]	**2.2**	2.2	2.1	2.1
U	-	[m]	**126**	33	159	241
A	-	[m²]	**127**	48	169	210
R	R = A / U	[m]	**1.20**	1.45	1.12	0.89
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**65.7**	15.2	85.0	127.3
Hydraulik (1992)						
$HQ_{1.5}$	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**233.9**	122.6	298.7	347.2
v	$v = Q / A$	[m/s]	**2.24**	2.61	1.94	1.94
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**60.0**	72.1	50.6	50.0
Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.63**	0.69	0.59	0.60
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**11288**	6275	14266	16330
ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**130**	195	85	70
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	**0.045**	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	**0.025**	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	**0.125**	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**48**	65	38	41
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.11**	0.08	0.13	0.13
Regimegleichungen						
W_B	$W_B = 3.73 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.446}$	[m]	-	-	-	-
D_B	$D_B = 0.308 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.398}$	[m]	-	-	-	-
W_K	$W_K = 1.8 \cdot Q_B^{0.5} \sim 1.8 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.5}$	[m]	-	-	-	-
D_B	$D_K = 0.166 \cdot Q_B^{0.40} \cdot D_{50}^{0.12} \sim 0.166 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.40} \cdot D_{50}^{0.12}$	[m]	-	-	-	-
W_{SA}	$W_{SA} = 0.9 \cdot k_1 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.5}$	[m]	-	-	-	-
D_{SA}	$D_{SA} = 1.21 \cdot k_2 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.36}$ (R < 2.134 m) bzw. $D_{SA} = 2 + 0.93 \cdot k_2 \cdot Q_{Bq,NAT}^{0.36}$ (R > 2.134 m)	[m]	-	-	-	-
Eigendynamische Aufweitung nach Schmautz (2003)						
b*	-	[m]	-	-	-	-

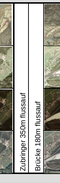
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					Geschiebeeinzug: Bricke: 229.8-229.6	Geschiebeeinzug: Bricke: 229.5-229.4	Geschiebeeinzug: Bricke: 229.3-228.9	Geschiebeeinzug: Bricke: 227.8-227.7	Geschiebeeinzug: Bricke: 224.4-224.3	Geschiebeeinzug: Bricke: 222.3-222.2	Geschiebeeinzug: Bricke: 220.5	Geschiebeeinzug: Bricke: 216.5-215.8	Geschiebeeinzug: Bricke: 214.0-213.5	Geschiebeeinzug: Bricke: 212.7-211.9	Geschiebeeinzug: Bricke: 210.5	Geschiebeeinzug: Bricke: 207.3-206.7	Geschiebeeinzug: Bricke: 203.3-202.8	Geschiebeeinzug: Bricke: 200.6-199.8
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																		
Luftbild Hochwasser 2005																		
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)																		
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	0.0087	-	-	-	0.0084	0.0064	0.0109	0.0323	0.0093	0.0103	0.0063	0.0057	0.0075	0.0066	0.0073
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	76	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	29	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	48	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	46	-	-	-	29	46	32	30	55	55	57	49	36	42	42
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	1.9	-	-	-	1.5	1.6	1.3	1.5	2.5	1.0	1.9	1.4	2.4	2.2	1.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	2.9	-	-	-	2.5	2.5	1.9	2.7	3.9	2.1	2.6	1.9	3.5	3.2	2.4
Benetzter Umfang	U	-	[m]	44	-	-	-	30	47	33	31	49	46	48	49	37	47	46
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	79	-	-	-	43	74	40	46	118	46	86	67	86	95	59
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	1.77	-	-	-	1.43	1.57	1.23	1.46	2.39	0.96	1.80	1.36	2.30	2.05	1.24
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	17.2	-	-	-	11.7	18.8	16.7	11.0	14.8	28.8	22.9	25.1	10.5	13.4	18.4
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	Q_{hy}	Q = v · A	[m³/s]	306.7	-	-	-	140.0	200.0	140.0	60.0	595.0	147.0	287.0	160.0	380.0	353.0	213.0
Fließgeschwindigkeit	v	v = Q / A	[m/s]	3.59	-	-	-	3.25	2.72	3.49	1.31	4.79	3.06	3.47	2.39	4.36	3.73	3.19
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	148.3	-	-	-	117.4	99.1	132.3	464.2	228.8	95.7	111.7	75.5	173.5	130.6	91.9
Froude-Zahl	Fr	Fr = v / c	[-]	0.85	-	-	-	0.85	0.69	1.00	0.34	0.97	0.99	0.82	0.65	0.90	0.79	0.89
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	25780	-	-	-	11473	12614	15037	19026	62529	14304	17227	8871	31376	23326	16747
Specific Stream Power (SSP)	ω	ω = Ω / W	[W/m²]	588	-	-	-	391	272	467	634	1229	254	430	182	839	567	346
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	0.058	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	0.033	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	0.158	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	53	-	-	-	38	43	54	63	53	24	56	48	83	63	62
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.10	-	-	-	0.13	0.10	0.09	0.08	0.07	0.19	0.08	0.11	0.06	0.08	0.12

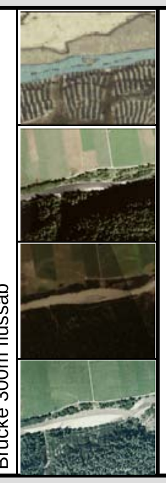
Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				Geschiebeeinzug: Bricke: 219.0-218.0	Geschiebeeinzug: Bricke: 193.0-192.0	Geschiebeeinzug: Bricke: 186.5-185.5
Vergleichsstrecke						
						
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	0.0047	0.0053	0.0039	0.0045
LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	408	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	112	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	116	29	175	145
W	-	[m]	118	40	187	174
D	-	[m]	1.7	2.6	1.5	0.6
D_{max}	-	[m]	2.8	3.7	2.6	1.7
U	-	[m]	115	42	174	175
A	-	[m²]	149	102	263	111
R	R = A / U	[m]	1.68	2.46	1.49	0.62
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	62.2	11.0	90.0	116.2
Hydraulik (1992)						
Q_{hy}	Q = v · A	[m³/s]	313.3	355.0	400.0	160.0
v	v = Q / A	[m/s]	2.37	3.45	1.66	1.34
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	75.6	125.9	43.9	26.8
Fr	Fr = v / c	[-]	0.60	0.69	0.50	0.55
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	13710	18962	11284	7734
ω	ω = Ω / W	[W/m²]	236	467	65	38
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	0.045	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	0.025	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	0.125	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	64	113	52	27
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.11	0.04	0.09	0.20

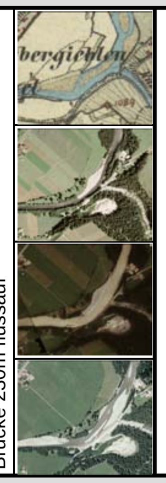
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					Geschiebeeintrag: Bäche 229.8-229.6	Geschiebeeintrag: Bäche 229.5-229.4	Geschiebeeintrag: Bäche 229.3-228.9	Geschiebeeintrag: Bäche 227.8-227.7	Geschiebeeintrag: Bäche 224.4-224.3	Geschiebeeintrag: Bäche 222.3-222.2	Geschiebeeintrag: Bäche 220.5	Geschiebeeintrag: Bäche 216.5-215.8	Geschiebeeintrag: Bäche 214.0-213.5	Geschiebeeintrag: Bäche 212.7-211.9	Geschiebeeintrag: Bäche 210.5	Geschiebeeintrag: Bäche 207.3-206.7	Geschiebeeintrag: Bäche 203.3-202.8	Geschiebeeintrag: Bäche 200.6-199.8
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					 Zubringer flussauf und flussab: Bäche 10m flussauf	Zubringer flussauf und flussab: keine Bäche	Zubringer bei Prozess: Zufl. Bäche	Zubringer flussauf: keine Bäche	2 Zubringer flussauf: keine Bäche	 Zubringer flussauf: Bäche 100m flussauf	 kein Zubringer: Bäche 300m flussab	 Zufl. 150m flussauf, Zufl. bei Prozess: Bäche 210m flussauf	 Zubringer bei Prozess: Bäche bei Prozess	 kein Zubringer: Bäche 50m flussauf	 Zubringer 140m flussauf: Bäche 80m flussauf	 Zubringer 200m flussauf: Bäche 210m flussauf	Zubringer 500m flussauf: Bäche bei Prozess	 Zubringer 500m flussab: Bäche 400m flussauf	
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																			
Luftbild Hochwasser 2005																			
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)																			
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	0.0079	-	-	-	0.0084	0.0065	0.0084	0.0317	0.0063	0.0094	0.0053	0.0054	0.0072	0.0072	0.0064
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	76	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	29	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	48	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	61	-	-	-	28	52	67	74	41	65	56	65	49	47	135
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	1.9	-	-	-	1.3	1.6	1.0	1.8	2.2	1.5	2.0	2.0	1.9	2.2	1.7
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	3.2	-	-	-	2.8	2.7	2.5	4.2	3.2	3.0	2.8	2.9	3.4	3.4	3.4
Benetzter Umfang	U	-	[m]	63	-	-	-	29	52	68	76	43	66	50	66	51	53	137
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	101	-	-	-	46	83	68	133	89	98	98	128	87	104	144
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	1.83	-	-	-	1.58	1.58	1.00	1.75	2.12	1.52	1.99	1.94	1.80	2.02	1.65
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	19.3	-	-	-	9.9	19.6	27.3	17.5	13.3	24.3	19.7	22.4	14.3	14.2	36.7
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	HQ_{30}	Q = v · A	[m³/s]	333.4	-	-	-	171.0	225.0	225.0	242.0	307.0	307.0	319.0	327.0	357.0	404.0	404.0
Fließgeschwindigkeit	v	v = Q / A	[m/s]	3.63	-	-	-	3.21	2.72	3.78	1.15	3.48	3.72	3.65	2.73	4.28	3.95	3.98
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	166.0	-	-	-	148.3	101.0	141.7	920.4	128.1	141.9	113.5	117.5	165.2	144.8	137.1
Froude-Zahl	Fr	Fr = v / c	[-]	0.83	-	-	-	0.86	0.69	1.06	0.43	0.76	0.93	0.76	0.58	0.99	0.85	0.85
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	24961	-	-	-	14151	14398	18530	75223	18931	28208	16662	17322	25303	28687	25324
Specific Stream Power (SSP)	ω	ω = Ω / W	[W/m²]	515	-	-	-	503	277	275	1021	460	411	410	265	597	632	557
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	0.058	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	0.033	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	0.158	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	56	-	-	-	33	43	42	75	47	36	59	69	66	63	81
Relative Rauhigkeit	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.09	-	-	-	0.15	0.10	0.12	0.07	0.08	0.13	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09

Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				Geschiebeeintrag: Bäche 219.0-218.0	Geschiebeeintrag: Bäche 193.0-192.0	Geschiebeeintrag: Bäche 186.5-185.5
Vergleichsstrecke						
				Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab: Bäche 500m flussauf, Bäche bei Vergleichsstrecke	 Zubringer 400m flussauf: Bäche 50m flussab	 Zubringer 350m flussauf: Bäche 180m flussauf
						
						
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	0.0047	0.0051	0.0039	0.0048
LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	408	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	112	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	116	29	175	145
W	-	[m]	140	37	185	261
D	-	[m]	1.8	2.2	1.6	1.2
D_{max}	-	[m]	2.9	3.2	2.8	2.5
U	-	[m]	139	38	179	262
A	-	[m²]	195	82	276	296
R	R = A / U	[m]	1.71	2.16	1.56	1.15
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	58.6	11.9	75.5	116.5
Hydraulik (1992)						
HQ_{30}	Q = v · A	[m³/s]	409.9	258.0	504.0	559.0
v	v = Q / A	[m/s]	2.66	3.21	2.13	2.31
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	83.0	108.3	58.6	67.0
Fr	Fr = v / c	[-]	0.62	0.68	0.54	0.59
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	18305	12948	19047	26135
ω	ω = Ω / W	[W/m²]	212	348	104	104
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	0.045	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	0.025	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	0.125	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	68	96	55	55
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.08	0.05	0.09	0.10

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen																		
ID					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM					Geschiebeeintrag: 229.8-229.6 Brücke:	Geschiebeeintrag: 229.5-229.4 Brücke:	Geschiebeeintrag: 229.3-228.9 Brücke:	Geschiebeeintrag: 227.8-227.7 Brücke:	Geschiebeeintrag: 224.4-224.3 Brücke:	Geschiebeeintrag: 222.3-222.2 Brücke:	Geschiebeeintrag: 220.5 Brücke:	Geschiebeeintrag: 216.5-215.8 Brücke:	Geschiebeeintrag: 214.0-213.5 Brücke:	Geschiebeeintrag: 212.7-211.9 Brücke:	Geschiebeeintrag: 210.5 Brücke:	Geschiebeeintrag: 207.3-206.7 Brücke:	Geschiebeeintrag: 203.3-202.8 Brücke:	Geschiebeeintrag: 200.6-199.8 Brücke:
Morphodynamischer Prozess																		
3. Landesaufnahme 1869 - 1887																			
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)																			
Luftbild Hochwasser 2005																			
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)					Zubringer flussauf und flussab Brücke 10m flussauf	Zubringer flussauf und flussab keine Brücke	Zubringer bei Prozess Zufl. Brücke	Zubringer flussauf keine Brücke	2 Zubringer flussauf keine Brücke	Zubringer flussauf Brücke 100m flussauf	kein Zubringer Brücke 300m flussab	Zufl. 150m flussauf, Zufl. bei Prozess Brücke 210m flussauf	Zubringer bei Prozess Brücke bei Prozess	kein Zubringer Brücke 50m flussauf	Zubringer 140m flussauf Brücke 80m flussauf	Zubringer 200m flussauf Brücke 270m flussauf	Zubringer 500m flussauf Brücke bei Prozess	Zubringer 500m flussab Brücke 400m flussauf	
Flusstyp																		
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation																		
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)																		
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)																		
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	0.0068	-	-	-	0.0061	0.0059	0.0010	0.0255	0.0065	0.0103	0.0050	0.0039	0.0077	0.0045	0.0060
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)																		
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	76	25	25	45	41	42	78	51	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	29	25	20	20	15	27	33	26	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	48	33	32	36	28	33	40	38	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	129	-	-	-	176	57	382	77	45	74	72	131	57	211	198
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	1.9	-	-	-	0.6	1.9	0.9	2.2	2.5	1.8	1.9	2.0	2.1	1.7	1.6
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	3.7	-	-	-	3.2	3.1	2.6	4.7	3.7	3.4	3.3	3.5	3.9	4.2	4.0
Benetzter Umfang	U	-	[m]	140	-	-	-	177	57	382	79	46	75	73	133	59	256	200
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	178	-	-	-	106	108	335	165	111	124	133	264	111	258	241
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	1.80	-	-	-	0.60	1.88	0.88	2.09	2.44	1.75	1.90	1.98	1.98	1.63	1.56
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	34.2	-	-	-	55.1	18.3	145.1	16.5	12.4	25.1	21.5	37.9	14.6	46.2	46.2
Hydraulik (1992)																		
Abfluss	HQ_{100}	Q = v · A	[m³/s]	451.6	-	-	-	234.0	307.0	307.0	330.0	417.0	417.0	433.0	444.0	483.0	545.0	545.0
Fließgeschwindigkeit	v	v = Q / A	[m/s]	3.56	-	-	-	2.94	2.84	1.39	1.02	3.83	4.19	3.96	2.49	4.82	3.17	4.09
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	163.4	-	-	-	122.3	108.6	18.7	826.4	156.3	173.6	128.7	102.1	201.1	107.4	151.0
Froude-Zahl	Fr	Fr = v / c	[-]	0.77	-	-	-	0.91	0.66	0.31	0.43	0.77	0.99	0.80	0.38	0.99	0.66	0.87
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	28952	-	-	-	13895	17709	3066	82707	26608	42027	21220	16983	36252	24275	32257
Specific Stream Power (SSP)	ω	ω = Ω / W	[W/m²]	460	-	-	-	79	312	8	1077	603	518	386	130	773	294	539
Feststoffhaushalt (1992)																		
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	0.058	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	0.033	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	0.158	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	56	-	-	-	15	51	38	92	53	43	56	69	72	49	76
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.11	-	-	-	0.32	0.08	0.13	0.05	0.07	0.11	0.08	0.08	0.07	0.11	0.10

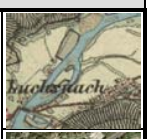
Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
Vergleichsstrecke						
ID				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				Geschiebeeintrag: 219.0-218.0 Brücke:	Geschiebeeintrag: 193.0-192.0 Brücke:	Geschiebeeintrag: 186.5-185.5 Brücke:
Vergleichsstrecke						
				Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke	Zubringer 400m flussauf Brücke 50m flussab	Zubringer 350m flussauf Brücke 180m flussauf
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	49000	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	45000	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	41000	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	1.09	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	0.09	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	0.20	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	0.0046	0.0052	0.0035	0.0048
LPE	-	[-]	steil gestreckt	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	408	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	112	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	116	29	175	145
W	-	[m]	167	42	263	270
D	-	[m]	1.9	2.4	1.6	1.4
D_{max}	-	[m]	3.3	3.7	3.3	2.8
U	-	[m]	168	44	264	271
A	-	[m²]	258	103	400	365
R	R = A / U	[m]	1.87	2.36	1.56	1.38
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	58.3	11.6	84.3	107.1
Hydraulik (1992)						
HQ_{100}	Q = v · A	[m³/s]	552.8	352.0	678.0	749.0
v	v = Q / A	[m/s]	2.90	3.53	2.22	2.56
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	98.0	130.0	64.5	80.3
Fr	Fr = v / c	[-]	0.62	0.71	0.53	0.58
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	24261	17913	23496	35184
ω	ω = Ω / W	[W/m²]	259	422	121	136
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	0.045	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	0.025	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	0.125	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	74	104	55	64
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	0.07	0.05	0.09	0.09

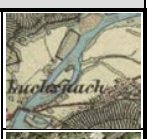
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozesse	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6	Prozess 7
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen											
ID					1	2	3	4	5	6	7
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke					Seitenerosion 1	Seitenerosion 2	Verwerfung 1	Seitenerosion 3	Seitenerosion 4	Umlagerung 1	Umlagerung 2
FKM					229.8-229.6	229.5-229.4	229.3-228.9	227.8-227.7	224.4-224.3	222.3-222.2	220.5
Geschiebeeintrag					Zubringer flussauf und flussab	Zubringer flussauf und flussab	2 Zubringer bei Prozess	Zubringer flussauf	2 Zubringer flussauf	Zubringer flussauf	kein Zubringer
Brücke					Brücke 130m flussauf	keine Brücke	keine Brücke	keine Brücke	keine Brücke	Brücke 100m flussauf	Brücke 300m flussab
Morphodynamischer Prozess											
3. Landesaufnahme 1869 - 1887											
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)											
Luftbild Hochwasser 2005											
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)											
Flusstyp											
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-	gestreckt	gestreckt	gestreckt	gestreckt	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation											
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Weiden-Grünerlen-Augebüsch	Grauerlen-Silberweiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs orographisch links	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)											
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)											
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0062**	-	-	-	0.0048	0.0056	0.0014	0.0220
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)											
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**76**	25	25	45	41	42	78	51
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**29**	25	20	20	15	27	33	26
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**48**	33	32	36	28	33	40	38
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**175**	-	-	-	176	59	382	80
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.8**	-	-	-	0.8	2.1	0.9	2.4
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**4.1**	-	-	-	3.3	3.4	2.6	5.0
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**185**	-	-	-	178	60	382	83
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**251**	-	-	-	132	124	335	188
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.75**	-	-	-	0.74	2.06	0.88	2.28
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**42.1**	-	-	-	52.8	17.5	145.1	16.2
Hydraulik (1992)											
Abfluss	Q_{2005}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**546.0**	-	-	-	268.0	361.0	361.0	390.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.73**	-	-	-	2.71	2.92	4.62	0.94
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**172.2**	-	-	-	103.3	113.3	197.5	761.2
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.73**	-	-	-	0.75	0.64	0.37	0.43
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**31816**	-	-	-	12727	19839	4983	84421
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**429**	-	-	-	72	335	13	1053
Feststoffhaushalt (1992)											
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.058**	-	-	-	0.074	0.059	0.043	0.043
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.033**	-	-	-	0.040	0.037	0.024	0.024
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.158**	-	-	-	0.192	0.161	0.117	0.117
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**55**	-	-	-	20	57	38	100
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.10**	-	-	-	0.24	0.08	0.13	0.05

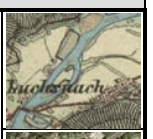
Parameter	Prozess 8	Prozess 9	Prozess 10	Prozess 11	Prozess 12	Prozess 13	Prozess 14
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID	8	9	10	11	12	13	14
morphodynamischer Prozess bzw. Vergleichsstrecke	Seitenerosion 5	Umlagerung 3	Seitenerosion 6	Seitenerosion 7	Seitenerosion 8	Seitenerosion 9	Seitenerosion 10
FKM	216.5-215.8	214.0-213.5	212.7-211.9	210.5	207.3-206.7	203.3-202.8	200.6-199.8
Geschiebeeintrag	Zubr. 150m flussauf, Zubr. bei Prozess	Zubringer bei Prozess	kein Zubringer	Zubringer 140m flussauf	Zubringer 200m flussauf	Zubringer 500m flussauf	Zubringer 500m flussab
Brücke	Brücke 230m flussauf	Brücke bei Prozess	Brücke 50m flussauf	Brücke 80m flussauf	Brücke 120m flussauf	Brücke bei Prozess	Brücke 400m flussauf
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887							
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005							
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd	pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	leichter Uferbewuchs o. links sowie Uferbewuchs o. rechts	beidseitiger Uferbewuchs	Uferbewuchs o. links sowie t.w. Uferbewuchs o. rechts	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	leichter beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	-	-	-	-	-	-	-
Tallänge	-	-	-	-	-	-	-
Luftlinie	-	-	-	-	-	-	-
Sinuosität	-	-	-	-	-	-	-
Laufentwicklung	-	-	-	-	-	-	-
Flussentwicklung	-	-	-	-	-	-	-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	0.0067	0.0102	0.0048	0.0033	0.0077	0.0031	0.0055
Längsprofilentwicklung	-	-	-	-	-	-	-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	96	82	154	84	88	49	207
Umlagerungsbreite 2000	36	47	33	32	22	25	40
Umlagerungsbreite HW 2005	56	62	57	53	51	72	84
Wasserspiegelbreite	93	78	77	233	92	316	259
Mittlere Wassertiefe	2.2	1.9	2.1	1.5	1.7	1.7	1.7
Maximale Wassertiefe	4.0	3.6	3.7	3.8	4.2	4.8	4.2
Benetzter Umfang	87	80	79	236	94	361	262
Durchflossene Querschnittsfläche	134	141	159	341	143	471	319
Hydraulischer Radius	2.09	1.91	2.10	1.45	1.67	1.58	1.68
Breiten-Tiefen-Verhältnis	23.3	25.4	20.9	61.5	21.7	62.3	57.3
Hydraulik (1992)							
Abfluss	502.0	502.0	522.0	536.0	586.0	665.0	665.0
Fließgeschwindigkeit	4.08	4.53	4.16	2.50	5.14	2.75	4.26
Sohlschubspannung	177.0	197.5	138.0	98.9	222.7	86.8	157.2
Froude-Zahl	0.90	1.00	0.76	0.42	1.05	0.52	0.70
Total Stream Power (TSP)	33150	50195	24395	17586	44524	20195	36119
Specific Stream Power (SSP)	453	581	409	75	689	223	615
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	0.071	0.070	0.057	0.054	0.054	0.066	0.050
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	0.047	0.042	0.034	0.029	0.029	0.035	0.021
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	0.181	0.189	0.144	0.150	0.150	0.180	0.154
Relative Höhe H_{REL}	47	45	62	52	59	49	81
Relative Rauhigkeit R_{REL}	0.08	0.10	0.07	0.10	0.09	0.11	0.09

Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Vergleichs-strecken	15	16	17
				15	16	17
				Vergleichs-strecke 1	Vergleichs-strecke 2	Vergleichs-strecke 3
				219.0-218.0	193.0-192.0	186.5-185.5
Geschiebeeintrag				Zubringer 520m flussauf, Zubringer 146m flussab	Zubringer 400m flussauf	Zubringer 350m flussauf
Brücke				Brücke 500m flussauf, Brücke bei Vergleichsstrecke	Brücke 50m flussab	Brücke 180m flussauf
Vergleichsstrecke						
Flusstyp						
FT_M	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
FT_H	-	[-]	-	pendelnd	furkierend	furkierend
Vegetation						
AKT	-	[-]	-	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald	Rotföhren-Lavendel-weiden-Auwald
VEG	-	[-]	-	o. links Uferbewuchs, o. rechts schmaler Ufersaum	beidseitiger Uferbewuchs	beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)						
L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**	-	-	-
L_{TAL}	-	[m]	**45000**	-	-	-
L_{LUFT}	-	[m]	**41000**	-	-	-
SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**	-	-	-
LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**	-	-	-
FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**	-	-	-
Längenschnitt (1992)						
I_E	-	[m/m]	**0.0046**	0.0053	0.0033	0.0049
LPE	-	[-]	**steil gestreckt**	-	-	-
Querprofile (1992)						
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**408**	22	509	694
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**112**	25	172	139
W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**116**	29	175	145
W	-	[m]	**175**	49	277	273
D	-	[m]	**2.1**	2.5	1.9	1.6
D_{max}	-	[m]	**3.6**	4.0	3.7	3.0
U	-	[m]	**176**	51	279	274
A	-	[m²]	**314**	116	525	421
R	$R = A / U$	[m]	**2.01**	2.36	1.88	1.57
B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**55.6**	12.5	80.3	99.7
Hydraulik (1992)						
Q_{2005}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**675.4**	418.6	835.6	926.4
v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.08**	3.78	2.27	2.79
τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**109.8**	146.0	68.8	93.0
Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.63**	0.75	0.50	0.58
Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**29628**	21833	26994	44735
ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**285**	455	127	172
Feststoffhaushalt (1992)						
D_m	-	[m]	**0.045**	0.042	0.051	0.043
D_{50}	-	[m]	**0.025**	0.023	0.029	0.022
D_{90}	-	[m]	**0.125**	0.115	0.138	0.121
H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**82**	109	66	73
R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.06**	0.05	0.07	0.08

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	**12**
morphodynamischer Prozess							**Seitenerosion 8**
FKM							**207.3-206.7**
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf	Brücke 120m flussauf	
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005							
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0081**			0.0081
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**13**			13
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**0.3**			0.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**0.5**			0.5
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**13**			13
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**4**			4
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**0.32**			0.32
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**40.4**			40.4
Hydraulik (1992)							
Abfluss	NQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**4.2**			4.2
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**1.11**			1.11
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**22.7**			22.7
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.64**			0.64
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**329**			329
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**32**			32
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**10**			10
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.55**			0.55

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0065**			0.0065
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**24**			24
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**0.7**			0.7
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**1.1**			1.1
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**24**			24
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**16**			16
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**0.68**			0.68
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**35.1**			35.1
Hydraulik (1992)							
Abfluss	MQ	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**26.0**			26.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**1.80**			1.80
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**45.2**			45.2
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.68**			0.68
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**1656**			1656
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**106**			106
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**24**			24
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.22**			0.22

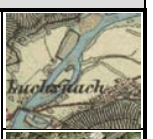
Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0197**			0.0197
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**48**			48
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.0**			1.0
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**1.8**			1.8
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**49**			49
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**53**			53
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.02**			1.02
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**46.2**			46.2
Hydraulik (1992)							
Abfluss	HQ_1	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**135.0**			135.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.38**			3.38
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**162.4**			162.4
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**1.13**			1.13
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**26119**			26119
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**754**			754
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**36**			36
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.15**			0.15

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	-			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	-			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	-			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	-			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0062**			0.0062
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**61**			61
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.3**			1.3
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**2.3**			2.3
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**62**			62
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**76**			76
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.30**			1.30
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**48.8**			48.8
Hydraulik (1992)							
Abfluss	$HQ_{1.5}$	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**195.0**			195.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**2.71**			2.71
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**80.8**			80.8
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.75**			0.75
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**11855**			11855
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**257**			257
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**46**			46
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.12**			0.12

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0088**			0.0088
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**67**			67
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.6**			1.6
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**2.8**			2.8
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**68**			68
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**102**			102
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.55**			1.55
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**25.0**			25.0
Hydraulik (1992)							
Abfluss	Q_{bv}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**380.0**			380.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.74**			3.74
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**137.9**			137.9
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.93**			0.93
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**35712**			35712
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**620**			620
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**55**			55
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.10**			0.10

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0071**			0.0071
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**65**			65
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.8**			1.8
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**2.9**			2.9
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**66**			66
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**109**			109
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.74**			1.74
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**40.4**			40.4
Hydraulik (1992)							
Abfluss	HQ_{30}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**357.0**			357.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.37**			3.37
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**115.8**			115.8
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.81**			0.81
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**24763**			24763
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**430**			430
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**62**			62
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.09**			0.09

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0080**			0.0080
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**73**			73
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.9**			1.9
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**3.2**			3.2
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**75**			75
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**134**			134
Hydraulischer Radius	R	$R = A / U$	[m]	**1.81**			1.81
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**41.0**			41.0
Hydraulik (1992)							
Abfluss	HQ_{100}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**483.0**			483.0
Fließgeschwindigkeit	v	$v = Q / A$	[m/s]	**3.84**			3.84
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**136.0**			136.0
Froude-Zahl	Fr	$Fr = v / c$	[-]	**0.91**			0.91
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**38070**			38070
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**599**			599
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**64**			64
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.08**			0.08

Parameter	Abkürz.	Formel	Einheit	Mittelwert Prozess	Prozess 12		
Einteilung nach morphodynamischen Prozessen							
ID					Geschiebeeintrag	Brücke	12
morphodynamischer Prozess							Seitenerosion 8
FKM							207.3-206.7
Morphodynamischer Prozess							
3. Landesaufnahme 1869 - 1887					Zubringer 200m flussauf		
Luftbild 2000 (vor Hochwasser)							
Luftbild Hochwasser 2005						Brücke 120m flussauf	
Luftbild Juli 2006 (nach Hochwasser)							
Flusstyp							
Ursprünglich morphologischer Flusstyp nach Muhar (2. L.A.)	FT_M	-	[-]	**-**			pendelnd
Historischer Flusstyp auf Basis der 3. Landesaufnahme	FT_H	-	[-]	**-**			pendelnd
Vegetation							
Ursprünglicher Auwaldkomplextypen nach Muhar et al. (2004)	AKT	-	[-]	**-**			Grauerlen-Lavendel-weiden-Auwald
Uferbewuchs	VEG	-	[-]	**-**			leichter beidseitiger Uferbewuchs
Gerinnegrundrissform (2000)							
Lauflänge	L_{FLUSS}	-	[m]	**49000**			-
Tallänge	L_{TAL}	-	[m]	**45000**			-
Luftlinie	L_{LUFT}	-	[m]	**41000**			-
Sinuosität	SI	$SI = L_{FLUSS} / L_{TAL}$	[-]	**1.09**			-
Laufentwicklung	LE	$LE = (L_{FLUSS} - L_{TAL}) / L_{TAL}$	[-]	**0.09**			-
Flussentwicklung	FE	$FE = (L_{FLUSS} - L_{LUFT}) / L_{LUFT}$	[-]	**0.20**			-
Längenschnitt (1992)							
Energieliniengefälle	I_E	-	[m/m]	**0.0083**			0.0083
Längsprofilentwicklung	LPE	-	[-]	**steil gestreckt**			-
Querprofile (1992)							
Historische Umlagerungsbreite zur Zeit der 3. Landesaufnahme	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**88**			88
Umlagerungsbreite 2000	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**22**			22
Umlagerungsbreite HW 2005	W_U	Anm. : Abfluss nicht bekannt.	[m]	**51**			51
Wasserspiegelbreite	W	-	[m]	**89**			89
Mittlere Wassertiefe	D	-	[m]	**1.9**			1.9
Maximale Wassertiefe	D_{max}	-	[m]	**3.4**			3.4
Benetzter Umfang	U	-	[m]	**91**			91
Durchflossene Querschnittsfläche	A	-	[m²]	**157**			157
Hydraulischer Radius	R	R = A / U	[m]	**1.87**			1.87
Breiten-Tiefen-Verhältnis	B_{REL}	$B_{REL} = W / D_{max}$	[-]	**57.3**			57.3
Hydraulik (1992)							
Abfluss	Q_{2005}	$Q = v \cdot A$	[m³/s]	**586.0**			586.0
Fließgeschwindigkeit	v	v = Q / A	[m/s]	**4.03**			4.03
Sohlschubspannung	τ	$\tau = \rho_W \cdot g \cdot R \cdot I_E$	[N/m²]	**140.6**			140.6
Froude-Zahl	Fr	Fr = v / c	[-]	**0.96**			0.96
Total Stream Power (TSP)	Ω	$\Omega = \gamma * Q * I_E$	[W/m]	**47623**			47623
Specific Stream Power (SSP)	ω	$\omega = \Omega / W$	[W/m²]	**677**			677
Feststoffhaushalt (1992)							
Maßgeblicher Korndurchmesser	D_m	-	[m]	**0.054**			0.054
Korndurchmesser Siebdurchgang 50%	D_{50}	-	[m]	**0.029**			0.029
Korndurchmesser Siebdurchgang 90%	D_{90}	-	[m]	**0.150**			0.150
Relative Höhe H_{REL}	H_{REL}	$H_{REL} = D / D_{50}$	[-]	**66**			66
Relative Rauhigkeit R_{REL}	R_{REL}	$R_{REL} = D_{90} / D$	[-]	**0.09**			0.09