

**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

Vorstand: Univ. Prof. DI Dr. H.P. Nachtnebel



# **Physikalischer Modellversuch - Geschiebefalle Steyr (Geschiebetransportmodell mit teil-beweglicher Sohle)**

**Diplomarbeit**

**zur Erlangung des akademischen Grades**

**Diplomingenieur**

**eingereicht von:**

**Robert Koloseus**

**Betreuer: O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. H.P. Nachtnebel**

**Mitbetreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. C.J. Jugovic**

**Matrikelnummer 0025499**

**November 2009**

---

## **Abstract**

The aim of this thesis is to develop a highly effective, cost efficient and ecologically sound bedload trap to reduce the sediment transport downstream. The expected reduced sedimentation downstream the confluence of Enns and Steyr will improve the flood protection of the city Steyr. This bedload trap is situated on the edge of the town Steyr a few kilometers upstream the confluence of Enns and Steyr.

The investigation area covered by the model extends over a river length of 1,200 m and a width of 500 m. The physical scale model was built according to the model laws of JANSEN ET AL. (1979) and HRI (1997) that had proven successfully for bedload analysis. The model experiments were executed under different flood and low flow conditions. Black Basalt sand was used as bedload material while gravel was used for the moveable riverbed.

From 14 different bedload trap designs the optimal one was identified. The morphology of the river Steyr in the projected area will remain unchanged. The bedload is diverted into a newly created sidearm. The variety and the area of habitats for different species is increased.

The low flow experiment showed that more than 50 % of the water remains in the main river and only a small part is diverted to the side arm. Thus, there is no danger that the river Steyr might fall dry.

The optimal bedload trap combines a high trapping efficiency with low construction costs and small requirements for land for the construction site. The bedload trap is capable to extract 75 to 85 % of the bedload from the river Steyr. Only 15 to 25 % of the bedload are released downstream to the Enns river. Thus, the optimal bedload trap will support the flood protection of the city Steyr.

---

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau.

Mit besonderem Dank an O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. H.P. Nachtnebel und Ass.Prof.DI.Dr. C.J. Jugovic für die reibungslose Betreuung und Hilfestellung zur Entstehung dieser Arbeit.

Danke Herrn DI. Georg Schuster für die Unterstützung und die Freundschaft, die sich im Laufe der Versuchsarbeiten im Wasserbaulabor der Universität für Bodenkultur ergab.

Danke den Mitarbeitern des Instituts für Konstruktiven Wasserbau im Labor, die das Physikalische Modell errichtet haben.

Besonders gilt mein Dank meinem Kollegen DI Franz Steiner, für die gute Zusammenarbeit und die große Unterstützung während des Studiums, vor allem bei den Laborversuchen.

Meinen Eltern möchte ich für die persönliche und finanzielle Unterstützung während meines gesamten Studiums danken. Ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Robert Koloseus, Wien im November 2008

---

## **INHALT**

<b>1</b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>PROBLEMDARSTELLUNG</u></b>	<b>2</b>
2.1	ZIEL DER ARBEIT	2
2.2	BESCHREIBUNG DES PROJEKTSGEBIETES	3
2.2.1	STEYR EINZUGSGEBIET	3
2.2.2	HIMMLITZER AU	4
2.3	GESCHIEBEFALLE IN DER HIMMLITZER AU	6
2.3.1	STREICHWEHR	6
2.3.2	NEBENARM	7
2.3.3	NIEDERWASSER	8
2.3.4	NAHERHOLUNG	8
2.3.5	LANGZEITVERHALTEN	10
2.3.6	ÖKOLOGIE	10
<b>3</b>	<b><u>HYDRAULISCHE GRUNDLAGEN</u></b>	<b>11</b>
3.1	FESTSTOFFTRANSPORT	11
3.2	PHYSIKALISCHE MODELLÄHNLICHKEIT	15
3.3	GESCHIEBETRANSPORTMODELLE	17
3.3.1	ALTERNATIVE MAßSTABSBERECHNUNG NACH JANSEN ET AL. 1979 UND HRI 1997	18
<b>4</b>	<b><u>PHYSIKALISCHES MODELL</u></b>	<b>19</b>
4.1	FESTLEGUNG DER MODELLGRENZEN UND WAHL DES MAßSTABES	22
4.1.1	SOHLMODELLIERUNG	24
4.2	MODELLAUFBAU	24
4.2.1	KALIBRIERUNG UND VERIFIZIERUNG	26
4.2.1.1	VERWENDETE DATENBASIS	27

---

<b>4.3</b>	<b>EINBAU DER GESCHIEBEFALLE</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b><u>GESCHIEBEVERSUCHE UND ANALYSE DER ERGEBNISSE</u></b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>VARIANTE 1 – RECHTWINKELIGE ANORDNUNG DER GESCHIEBEGASSE</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>VARIANTE 2 – SCHRÄGE ANORDNUNG DER GESCHIEBEGASSE</b>	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>VARIANTE 3 – SCHRÄGE GESCHIEBEGASSE OHNE SOHLSCHWELLE</b>	<b>36</b>
<b>5.4</b>	<b>VARIANTE 4 – ABGESCHRÄGTE GESCHIEBEGASSE</b>	<b>38</b>
<b>5.5</b>	<b>VARIANTE 5 – ABGESCHRÄGTE GESCHIEBEGASSE IN ÜBERSTRÖMUNGSRICHTUNG</b>	<b>40</b>
<b>5.6</b>	<b>VARIANTE 6 – STREICHWEHRVERKÜRZUNG AUF 175 m LÄNGE</b>	<b>42</b>
<b>5.7</b>	<b>VARIANTE 7 – STREICHWEHRVERKÜRZUNG AUF 144 m LÄNGE</b>	<b>44</b>
<b>5.8</b>	<b>VARIANTE 8 – STREICHWEHRVERKÜRZUNG AUF 94 m LÄNGE</b>	<b>46</b>
<b>5.9</b>	<b>VARIANTE 9 – RECHTWINKELIGE GESCHIEBEGASSE UND STREICHWEHRLÄNGE 94 m</b>	<b>48</b>
<b>5.10</b>	<b>VARIANTE 10 – ÄNDERUNG DES EINLAUFBEREICHES 1</b>	<b>50</b>
<b>5.11</b>	<b>VARIANTE 11 – ÄNDERUNG DES EINLAUFBEREICHES 2</b>	<b>53</b>
<b>5.12</b>	<b>VARIANTE 12 – STREICHWEHR AUS BETON</b>	<b>55</b>
<b>5.13</b>	<b>VARIANTE 13 – ÄNDERUNG DES EINLAUFBEREICHES 3</b>	<b>57</b>
5.13.1	VARIANTE 13 – BEAUFSCHLAGUNG MIT HQ1	59
<b>5.14</b>	<b>VARIANTE 14 – STROMLINIENFÖRMIGER GRUNDRISS DES EINLAUFBEREICHES</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b><u>AUSWAHL DER OPTIMALEN VARIANTE</u></b>	<b>63</b>
<b>6.1</b>	<b>NIEDERWASSERANALYSE</b>	<b>70</b>
<b>6.2</b>	<b>LANGZEITVERSUCH AN DER OPTIMALEN VARIANTE</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b><u>DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE</u></b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b>78</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Blick in die Altstadt am Ennskai beim Hochwasser 2002 .....	1
Abbildung 2-1 Mittlere Monatsmittel in $m^3/s$ von 1951 bis 2005.....	3
Abbildung 2-2 Die Stadt Steyr und Projektgebiet Himmlitzer Au.....	4
Abbildung 2-3 Luftbild des Projektgebietes – Steyrfließrichtung von links nach rechts.....	5
Abbildung 2-4 Projektgebietmitte (Zukünftige Ausleitungsstrecke) - Blick flussab .....	5
Abbildung 2-5 Projektgebietanfang kurz nach dem Krugwehr- Blick flussab .....	5
Abbildung 2-6 Grund- und Aufriss des Einlaufbauwerkes der ersten Projektvariante.....	7
Abbildung 2-7 Touristen Informationstafel in der Himmlitzer Au .....	8
Abbildung 2-8 Landwirtschaftliche Nutzung.....	9
Abbildung 2-9 Naherholung.....	9
Abbildung 2-10 Auwaldbestand im Projektgebiet.....	9
Abbildung 3-1 Formen des Sedimenttransport (DVWK – Schriften H. 87, 1988, S 3).....	12
Abbildung 3-2 An einem Strömungselement der Länge $dl$ und der Querschnittsfläche $F$ angreifende Kräfte bei Normalabfluss (VISCHER und HUBER, 2002, S 60).....	12
Abbildung 3-3 Deckschicht .....	14
Abbildung 4-1 Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes im Labor .....	20
Abbildung 4-2 Luftbild mit Querprofilen und Modellgrenzen .....	24
Abbildung 4-3 Bau des Modells .....	25
Abbildung 4-4 Kalibrierungsprofile 2/3, 7 und 25.....	26
Abbildung 4-5 Verifizierung mit HQ1, HQ10, HQ30 und HQ100.....	27
Abbildung 4-6 Umbau des Modells.....	28
Abbildung 4-7 Umbau des Modells.....	28
Abbildung 5-1 Geschiebezugabevorrichtung .....	31
Abbildung 5-2 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle.....	31
Abbildung 5-3 Farbversuch Variante 1 - Gegenströmung.....	32
Abbildung 5-4 Geschiebeablagerungsbild Variante 1 .....	32
Abbildung 5-5 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Anpassung des Winkels der Geschiebegasse an die Überströmungsrichtung .....	34
Abbildung 5-6 Kehrströmung    Abbildung 5-7 Kehrströmung .....	35
Abbildung 5-8 Geschiebeablagerungsbild Variante 2 .....	35

---

<i>Abbildung 5-9</i> Schnittdarstellung der Sohlmauer.....	37
<i>Abbildung 5-10</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 3.....	37
<i>Abbildung 5-11</i> Schnittdarstellung der Geschiebegasse.....	38
<i>Abbildung 5-12</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 4.....	39
<i>Abbildung 5-13</i> Geschiebeustrag.....	41
<i>Abbildung 5-14</i> Stark verstopfte Geschiebegasse.....	41
<i>Abbildung 5-15</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 5.....	41
<i>Abbildung 5-16</i> Schematische Ansicht des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle. Verkürzung des Streichwehrs. .....	42
<i>Abbildung 5-17</i> Verstopfte Geschiebegasse.....	43
<i>Abbildung 5-18</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 6.....	43
<i>Abbildung 5-19</i> Verkürzung des Streichwehrs unterhalb der Geschiebegasse.....	44
<i>Abbildung 5-20</i> Vergleich der Geschiebeablagerungen.....	45
<i>Abbildung 5-21</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 7.....	45
<i>Abbildung 5-22</i> Stark Verstopfte Geschiebegasse.....	45
<i>Abbildung 5-23</i> Schematischer Ansicht des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle. Erhöhung und Verkürzung des Streichwehrs. ....	46
<i>Abbildung 5-24</i> Einlaufbereich Variante 8.....	47
<i>Abbildung 5-25</i> Freie Geschiebegasse Variante 8.....	47
<i>Abbildung 5-26</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 8.....	47
<i>Abbildung 5-27</i> Verstopfte Geschiebegasse Variante 9.....	49
<i>Abbildung 5-28</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 9.....	49
<i>Abbildung 5-29</i> Farbversuch Variante 10.....	50
<i>Abbildung 5-30</i> Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich. ....	50
<i>Abbildung 5-31</i> Einlaufbereich Variante 10 – Kehrströmung.....	52
<i>Abbildung 5-32</i> Verstopfte Geschiebegasse Variante 10.....	52
<i>Abbildung 5-33</i> Geschiebeablagerungsbild Variante 10.....	52
<i>Abbildung 5-34</i> Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich. ....	53
<i>Abbildung 5-35</i> Kolkbildung bei Profil 22 – Variante 11.....	54

---

<i>Abbildung 5-36 und 5-37</i>	<i>Komplette Verstopfung der Geschiebegasse und Verlandung des Streichwehrs</i>	54
<i>Abbildung 5-38</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild Variante 11</i>	54
<i>Abbildung 5-39</i>	<i>Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm</i>	55
<i>Abbildung 5-40</i>	<i>Kolkbildung bei Profil 22 - Variante 12</i>	56
<i>Abbildung 5-41</i>	<i>Umlagerung der Flusssohle</i>	56
<i>Abbildung 5-42</i>	<i>Geschiebegasse Variante 12</i>	56
<i>Abbildung 5-43</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild Variante 12</i>	56
<i>Abbildung 5-44</i>	<i>Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich</i>	57
<i>Abbildung 5-45</i>	<i>Ansicht Variante 13</i>	58
<i>Abbildung 5-46</i>	<i>Geschiebegasse Variante 13</i>	58
<i>Abbildung 5-47</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild Variante 13</i>	58
<i>Abbildung 5-48</i>	<i>Einlaufbereich Variante 13 HQ1</i>	60
<i>Abbildung 5-49</i>	<i>Geschiebegasse Variante 13 HQ1</i>	60
<i>Abbildung 5-50</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild Variante 13 HQ1</i>	60
<i>Abbildung 5-51</i>	<i>Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Stromlinienförmige Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich</i>	61
<i>Abbildung 5-52 und 5-53</i>	<i>Geschiebegasse Variante 14</i>	62
<i>Abbildung 5-54</i>	<i>Präzisions-Mess-Ente (Fabrikat Robert Koloseus)</i>	62
<i>Abbildung 5-55</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild Variante 14</i>	62
<i>Abbildung 6-1</i>	<i>Umlandwassereinbringung</i>	65
<i>Abbildung 6-2</i>	<i>Geschiebegasse der optimalen Variante</i>	66
<i>Abbildung 6-2</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ30</i>	66
<i>Abbildung 6-4 und 6-5</i>	<i>Einlaufbereich der optimalen Variante</i>	66
<i>Abbildung 6-6</i>	<i>Geschiebegasse der Optimalen Variante - HQ1</i>	67
<i>Abbildung 6-7</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ1</i>	67
<i>Abbildung 6-8</i>	<i>Geschiebegasse der optimalen Variante HQ10</i>	68
<i>Abbildung 6-9</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ10</i>	68
<i>Abbildung 6-10</i>	<i>Geschiebegasse der optimalen Variante HQ100</i>	68
<i>Abbildung 6-11</i>	<i>Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ10</i>	68
<i>Abbildung 6-12</i>	<i>Schematischer Grundriss und Farbversuch der Niederwasserlösung</i>	70

---

---

<i>Abbildung 6-13 Ganglinie HQ1</i> .....	71
<i>Abbildung 6-14 Ganglinie HQ5</i> .....	72
<i>Abbildung 6-15 Ganglinie HQ100</i> .....	72
<i>Abbildung 6-16 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100</i> .....	73
<i>Abbildung 6-17 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5</i> .....	73
<i>Abbildung 6-18 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1</i> .....	73
<i>Abbildung 6-19 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1+HQ5</i> .....	73
<i>Abbildung 6-20 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1+HQ5+HQ100</i> .....	74

---

## Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Beschreibung
As	kg	Ablagerungsmasse des Sandes im Geschiebeversuch
Ast	kg	Ablagerungsmasse des Schotters im Geschiebeversuch
B	m	Geschiebegassenbreite in der Natur
Cr	-	Chezybeiwert (Rauhigkeit der Sohle)
d	m	Korndurchmesser
dl	m	Betrachteter Fließabschnitt
Eg	%	Effizienz der Variante gesamt inkl. Schotter
Es	%	Effizienz der Variante nur Sand ohne Schotter
Eu	-	Eulerzahl
F	m <sup>2</sup>	Fließquerschnitt
Fr	-	Kräftemaßstab
Fr	-	Froudezahl
Fr*	-	Feststoff-Froudezahl
g	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
h	m	Wassertiefe
Jr	-	Gefällemaßstab
J		Gefälle (Energiegradient) (im deutschsprachigen Raum wird eher $I$ verwendet)
ks	g/s	Geschiebefracht im Modell
L	m	Streichwehrlänge in der Natur
L und l	m	Länge des Fließabschnitts, Index M für Modell und N für Natur
Lr	-	Längenmaßstab
Q <sub>M</sub>	l/s	Durchfluss im Modell
Q <sub>N</sub>	m <sup>3</sup> /s	Durchfluss in der Natur
R	m	Hydraulischer Radius
Re	-	Reynoldszahl
Re*	-	Feststoff-Reynoldszahl
S	kg	Sandzugabemenge im Geschiebeversuch
Tr	-	Zeitmaßstab

---

U	m	Benetzter Umfang
v	m/s	Fließgeschwindigkeit
$v_{crit}$	m/s	Kritische Fließgeschwindigkeit - Beginn der Geschiebebewegung
$v_o^*$	m/s	Sohlschubspannungsgeschwindigkeit $v_o^*=(g \cdot R \cdot \tau)^{1/2}$ (wird auch mit $u^*$ bezeichnet)
$\nu$	$m^2/s$	Kinematische Zähigkeit
$\rho$	$kg/m^3$	Dichte (ohne Index meist für Wasser verwendet)
$\rho'$	-	Relative Dichte $\rho'=(\rho_F-\rho)/\rho$ (wird auch mit $\Delta$ bezeichnet)
$\rho_F$	$kg/m^3$	Feststoffdichte
$\rho_W$	$kg/m^3$	Wasserdichte
$\tau$	$N/m^2$	Schleppspannung (Sohlschubspannung)
$\tau_{crit}$	$N/m^2$	Kritische Schleppspannung - Beginn der Geschiebebewegung

## 1 Einleitung

Die Stadt Steyr liegt geographisch am Zusammenfluss der Enns und Steyr. Dies ist ein Grund dafür, dass bereits Hochwasserereignisse mit kleinem Wiederkehrintervall eine Gefahr darstellen, die durch zahlreiche Hochwassermarken in der Altstadt über Jahrhunderte dokumentiert wurden. Das Hochwasser 2002 traf die Stadt Steyr mit voller Härte. Folgendes Foto zeigt die Altstadt von Steyr die direkt an der Enns liegt.



**Abbildung 1-1 Blick in die Altstadt am Ennskai beim Hochwasser 2002**

Die Schäden veranlassten die Stadt Steyr Hochwasserschutzmaßnahmen mit numerisch hydraulischen Simulationen zu untersuchen. Diese Hochwasserstudie verglich viele mögliche Maßnahmen, wie die Errichtung von mehreren Dämmen oder die Entfernungen von Wehren, hinsichtlich der sich ausbildenden Wasserspiegelhöhen. Die Untersuchungen ergaben, dass im Stadtgebiet die Möglichkeit für eine Verbesserung der Hochwassersituation besteht. „Der Schlüssel für die Verbesserung des Hochwasserschutzes an der Enns ist die Absenkung der Ennssohle“ (Hochwasserstudie Stadt Steyr, 2004).

Um die Absenkung der Enns nachhaltig zu gestalten, ist der Geschiebeeintrag in diesem Gewässerabschnitt zu reduzieren. Die Enns selbst ist durch mehrere Kraftwerke verbaut, die

den Geschiebetrieb unterbinden. Deshalb liefert hauptsächlich die Steyr das Geschiebe ins Stadtgebiet.

Um den Geschiebeeintrag in den Siedlungsbereich zu reduzieren, wurde etwas außerhalb der Stadt, in der Himmlitzer Au, eine Geschiebefalle an der Steyr geplant, die das Geschiebe mehrerer Hochwasserereignisse aufnehmen soll und somit die Nachhaltigkeit der Ennsssohlabsenkung erhöht.

## **2 Problemdarstellung**

Der vorliegende hydraulische Modellversuch mit teil-beweglicher Sohle wurde im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung – Gewässerbezirk Linz durchgeführt. Die Geschiebefalle ist ein wichtiger Teil der großräumigen Schutzmaßnahmen, die durch die Hochwasserstudie Steyr aufgezeigt wurden.

Das Ingenieurbüro Gunz ZT GmbH wurde von der Landesregierung mit der Projektierung des Geschieberückhaltes an der Steyr beauftragt. Deshalb wurden die Versuche in Zusammenarbeit und Einvernehmen mit DI Gunz und seinen Mitarbeitern durchgeführt. Die notwendigen Unterlagen und Daten (Hydraulik, Feststofftransport etc.), sowie ein erster Projektierungsvorschlag, wurde vom Ingenieurbüro DI Gunz zur Verfügung gestellt.

### **2.1 Ziel der Arbeit**

Die geplante Geschiebefalle – Geschiebeentnahmestelle - soll so effizient wie möglich bei geringen Baukosten erstellt werden. Diese Optimierungsaufgabe und die Ausgestaltung des Einlaufbauwerkes und des Nebenarmes in dem das Geschiebe abgelagert werden soll, ist das Ziel des physikalischen Modellversuches.

Das physikalische Modell soll den Wirkungsgrad der Geschiebefalle in verschiedenen Bauausführungen vergleichen. Hierfür sollen verschiedene Hochwasser von HQ1 bis HQ100 das heißt Durchflüsse von 270 m<sup>3</sup>/s bis 830 m<sup>3</sup>/s (in Natur) untersucht werden.

## 2.2 Beschreibung des Projektgebietes

### 2.2.1 Steyr Einzugsgebiet

„Am Fuße der Kalkhochalpen entspringend, durchquert die Steyr im Bereich älterer Schotterplatten an den Talsohlen, häufig tief eingeschnitten, die Kalk- und dolomitreichen Voralpen.“(WERTH, 1992, Vorwort) „Die Steyr entspringt nach Höhenangaben auf der Österreichkarte 1:25.000 in 719 m Seehöhe in Baumschlagerreith am Fuße des zum Toten Gebirges zählenden Hebenkases (2.285 m) und mündet nach 68,2 km Lauf bei Kote 285,46 m.ü.A. bei der Stadt Steyr in die Enns. Ihr Gesamtgefälle beträgt also 433,54 m oder 6,35‰.“ (WERTH, 1992, S18)

Die Steyr berührt bzw. durchschneidet auf ihrem weitgehend nach Nord-Ost gerichteten Lauf vier geologische Zonen: die Kalkhochalpen, die Voralpen, die Flyschzone und die Molassezone. Das Einzugsgebiet der Steyr beträgt 915,2 km<sup>2</sup>. Die Abflussverhältnisse werden vom Hydrografischendienst an fünf Schreibpegeln gemessen. Für die vorliegende Arbeit ist der Pegel Pergern maßgebend, da er dem Projektgebiet am nächsten liegt. Dieser ist seit 1951 in Betrieb und für den Zeitraum von 1951 bis 2005 ergeben sich folgende hydrologischen Kennzahlen:

- NQ (Niedrigwasser): 3,3 m<sup>3</sup>/s
- MQ (Mittelwasser): 36,0 m<sup>3</sup>/s

Die Abflussverteilung der mittleren monatlichen Abflüsse (siehe Abbildung 2-1 Mittlere Monatsmittel in m<sup>3</sup>/s von 1951 bis 2005) zeigt Abflussspitzen im Frühling nach der Schneeschmelze und Niedrigwasserführung im Winter.

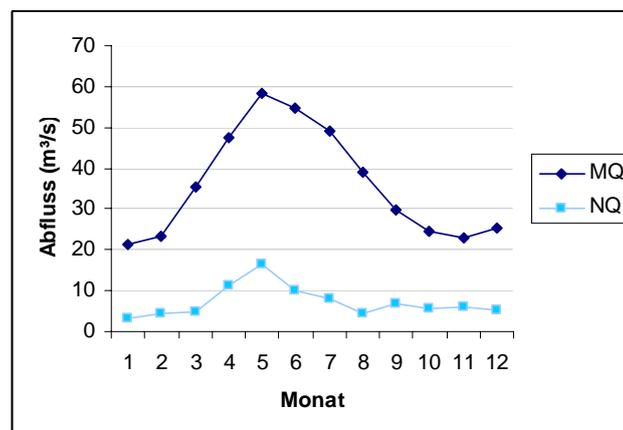


Abbildung 2-1 Mittlere Monatsmittel in m<sup>3</sup>/s von 1951 bis 2005

Die Steyr ist durch mehrere Kraftwerke verbaut (Kraftwerk Koglhof, Tambergerau, Klaus, Steyrdurchbruch, Agonitz, Steinbach/Grünburg, Sommerhubermühle) die das Wasser teilweise ausleiten oder aufstauen. (Nach Österreichischem Wasserkraftkataster: Steyr Robert KOLOSEUS

BMHuW, Wien 1952) Nicht nur deshalb ist es wichtig den Artikel 1 der WRRL besonders das Verschlechterungsverbot, wie es da lautet: „Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustandes der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängigen Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt..“ (Europäische Wasserrahmenrichtlinie Artikel 1) einzuhalten.

## 2.2.2 Himmlitzer Au

Die Himmlitzer Au wurde aus folgenden Gründen als Projektierungsort ausgewählt:

- Die Lage am Stadtrand führt das Geschiebe so weit wie möglich unbeeinflusst den Fluss entlang und reduziert den Einfluss auf den Geschiebehaushalt der Steyr auf die Fließstrecke im Stadtgebiet.
- Die Himmlitzer Au im Bereich Kruglwehr flussab bis zur Schwarzen Brücke ist ein beliebtes Naherholungsgebiet. Die landwirtschaftlichen Flächen weichen einem neu geschaffenen Nebenarm, der das ökologische Potential erhöht und das Naherholungsziel noch attraktiver macht.

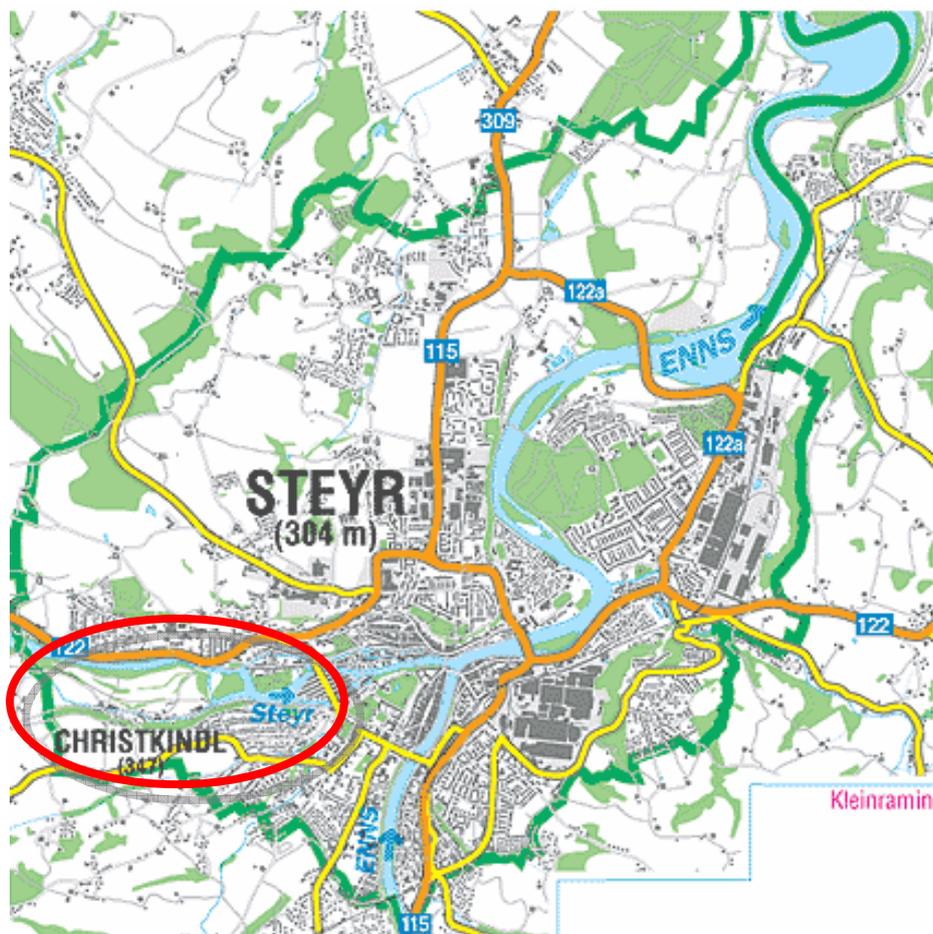


Abbildung 2-2 Die Stadt Steyr und Projektgebiet Himmlitzer Au



Abbildung 2-3 Luftbild des Projektgebietes – Steyrfließrichtung von links nach rechts

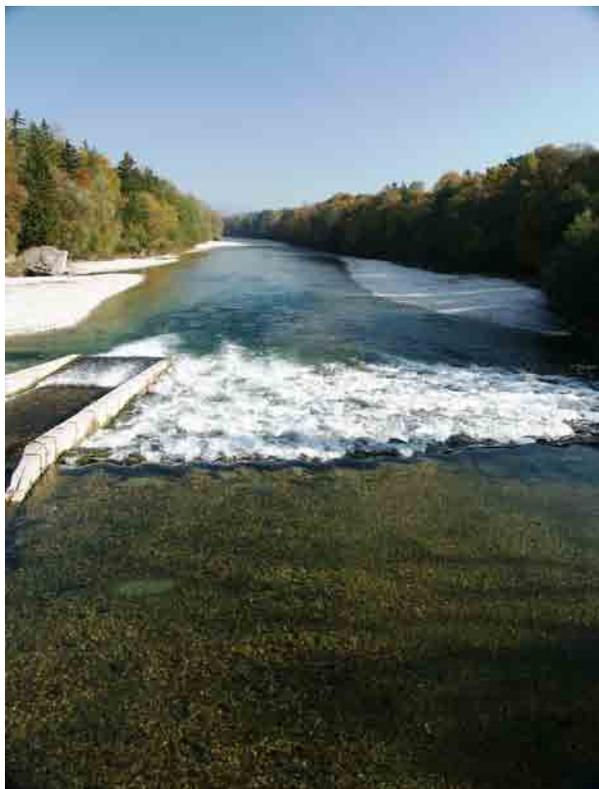


Abbildung 2-4 Projektgebietmitte (Zukünftige Ausleitungsstrecke) - Blick flussab

Abbildung 2-5 Projektgebietanfang kurz nach dem Kruglwehr- Blick flussab

Folgende Beschreibung der Steyr im Projektierungsgebiet stammt aus einer ökomorphologischen Gewässerkartierung, die 1992 durchgeführt wurde:

„Sehr schön und naturnah fließt die Steyr – obwohl bereits im Stadtgebiet von Steyr – in der Strecke zwischen „Kruglwehr“ und „Schwarzer Brücke“. Sie wird rechtsufrig von einem ausgedehnten, stellenweise auwaldartigen Gehölzstreifen mit mächtigen Weiden, Eschen und Eichen begleitet..“ (WERTH, 1992, S 30)

Die Ökomorphologie wurde im Projektierungsgebiet mit 1-2 d.h. zwischen „natürlich“ und „wenig beeinträchtigt“ eingestuft. In der Umlegung auf das neue Gewässergüteklassensystem nach der WRRL würde das einem ökomorphologischen „Guten Zustand“ entsprechen. Dieser Zustand darf durch die geplanten Maßnahmen keinesfalls verschlechtert werden damit das Verschlechterungsverbot im Artikel 1 der WRRL eingehalten wird.

## **2.3 Geschiebefalle in der Himmlitzer Au**

Als Geschiebefalle dient ein Nebenarm, der mit einem Einlaufbauwerk an den Hauptfluss angeschlossen ist und nach einer Strecke von 1,5 Kilometer wieder in den Hauptfluss führt. Das Einlaufbauwerk besteht aus einem Streichwehr und einer Sohlschwelle. In das Streichwehr ist eine Spülgasse eingebettet, durch die das Geschiebe ausgeleitet wird. Die Sohlschwelle quer über den Hauptfluss soll die Effizienz des Geschiebeeintrages in die Geschiebefalle verstärken.

### **2.3.1 Streichwehr**

Der Nebenarm, in dem das Geschiebe abgelagert werden soll, ist durch ein Längsbauwerk an den Hauptfluss angeschlossen. Das Längsbauwerk ist ein Streichwehr, in das eine Spülgasse eingebettet ist. Die Gasse ist auch bei Mittel- und Niederwasser durchflossen. Das Streichwehr mit einer Höhe von ca. 2 Meter wird erst bei Hochwasserereignissen überströmt. Die Festlegung der Höhe des Streichwehrs bildet eine der Fragestellungen im Modellversuch.

Das Wasser, das bei Hochwasser über die Streichwehroberkante fließt, soll das Geschiebe, das sich unmittelbar nach der Spülgasse ablagert, weiter in den Nebenarm transportieren. Der Einlaufbereich soll damit freigehalten werden. Die Geschiebegasse selbst soll möglichst frei von Geschiebeablagerungen bleiben, da sonst immer wieder Wartungsarbeiten anfallen. Ob eine Geschiebebewegung über die Oberkante des Streichwehrs stattfindet, ist Teil der Untersuchungen. Die (Abbildung 2-6 Grund- und Aufriss des Einlaufbauwerkes der ersten Projektvariante zeigt die Idee grafisch auf. Die angegebene Maße sind Naturwerte in m.ü.A.

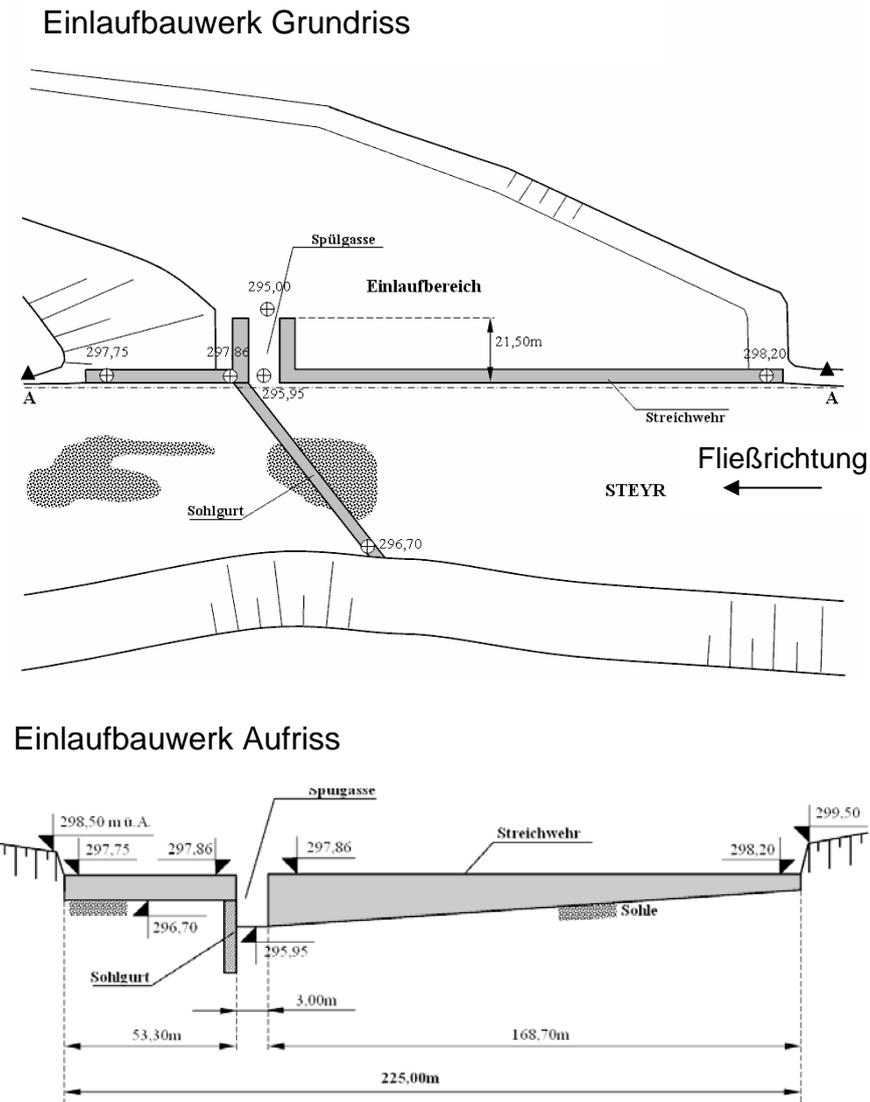


Abbildung 2-6 Grund- und Aufriss des Einlaufbauwerkes der ersten Projektvariante

### 2.3.2 Nebenarm

Der Nebenarm soll das Geschiebe aufnehmen. Damit sich das Geschiebe ablagert, muss die hydraulische Transportkraft die auf das Geschiebe wirkt, sprich die Schleppspannung, verringert werden. Die Schleppspannung muss unter die kritische Schleppspannung für den charakteristischen Geschiebedurchmesser sinken. Nach der vereinfachten Formel für Schubspannung kann dies durch Verringerung von  $R$  oder  $J$  erreicht werden.  $R$  kann durch Aufweitung und damit Wasserstandsverringern,  $J$  durch Sohlgefällereduzierung verkleinert werden.

Wenn der Nebenarm nach vielen Jahren mit Geschiebe gefüllt ist, muss dieser ausgebaggert werden. Allgemein sind Baggerungen schlecht für das Flussökosystem und das Flusskontinuum: „Die Baggerung von Kiesbänken bedeutet den Verlust selten gewordener Primärstandorte. Geschiebebeeinträchtigung bedeutet Substratbeeinträchtigung und damit

Einfluss auf den makrozoobenthischen Bereich. Geschieberückhalt oder -entnahme bedeutet Geschiebemangel und bringt die Gefahr von Sohleintiefungen. Eine Reihe von Sekundärfolgen auf Vegetation und Grundwasser sind möglich.“ (PELIKAN, 1991, S 33)

Da das Geschiebe nicht im Hauptfluss, sondern in einem neuen, „künstlichen“ Nebenarm entnommen wird, stellt die Baggerung keinen Eingriff in die bestehende Ökologie des Flusses dar. Durch die Schaffung eines Nebenarmes wird das ökologische Potential sogar deutlich erhöht. Die Sekundärfolge der Sohleintiefung ist im Projektierungsgebiet und flussabwärts erwünscht, da es sich um eine Hochwasserschutzmaßnahme handelt. Das Geschiebedefizit in der Enns ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Ein Hinweis auf die Vielzahl von Enns-Kraftwerken, die einen ungestörten Geschiebehaushalt schon lange Zeit verhindern, erscheint jedoch angebracht.

### 2.3.3 Niederwasser

Die Auswirkung der Geschiebefalle bei kleinen Abflüssen, d.h. Durchflüsse unter 20 m<sup>3</sup>/s in Natur, sollen im Modellversuch ebenfalls untersucht werden. Der Hauptfluss darf durch die dauernde Dotierung des Nebenarmes nicht trocken fallen. Es ist unbedingt erforderlich, dass genügend Wasser, d.h. mehr als die Hälfte des Niederwassers, in der Steyr verbleibt. Da das Modell für Hochwasseruntersuchungen und Geschiebetransport vorgesehen ist, wird dies vereinfacht durch die benetzte Oberfläche des Flussbettes nachgewiesen.

### 2.3.4 Naherholung

Die Himmlitzer Au ist ein beliebtes Naherholungsgebiet für die Bevölkerung von Steyr. Spaziergeher, Hundebesitzer, Schwimmer, Ausflügler und Radfahrer nutzen die Wege neben den kleinen Wiesen und Äckern.



Abbildung 2-7 Touristen Informationstafel in der Himmlitzer Au

Die gesamte Au ist derzeit landwirtschaftlich genutzt. Die landwirtschaftlichen Flächen weichen einem neu geschaffenen Nebenarm, der das ökologische Potential erhöht und das Naherholungsziel noch attraktiver macht. Die Flachwasserbereiche im Nebenarm bieten Lebensräume für juvenile Fischstadien. Amphibien dient der Nebenarm ebenfalls als Brutstätte. Es wird ein Biotop geschaffen, das für den Zeitraum zwischen den Räumungen der Geschiebefälle Bestand hat und sich dann wieder neu ausbilden wird.



**Abbildung 2-8 Landwirtschaftliche Nutzung**



An der gesamten Strecke des Nebenarmes werden Schwimmmöglichkeiten geschaffen. Die Geschiebeablagerungen werden Schotterbänke bilden, die zum Sonnen und Ausruhen einladen. Die Strömung im Nebenarm wird sehr gering sein und das Wasser seicht, ideal für junge Familien die mit Kindern einen Tag am Fluss verbringen möchten.

**Abbildung 2-9 Naherholung**

Das Luftbild des Projektgebietes (Abbildung 2-10 Auwaldbestand im Projektgebiet) zeigt den schmalen Auwaldbestand am rechten Ufer der Steyr, bestehend aus Weiden, Eschen, Pappeln und Eichen. Dieser soll weitgehend erhalten bleiben. In der Geschiebefalle kommt es durch die wechselnden Hoch- und Niederwasserstände zu einer Aktivierung der natürlichen Auvegetation. Auf den Ufern können dadurch Pioniergehölzer Fuß fassen.



**Abbildung 2-10 Auwaldbestand im Projektgebiet**

### 2.3.5 Langzeitverhalten

Die Langzeitentwicklung der Geschiebefalle soll so natürlich wie möglich erfolgen und die notwendigen Räumungen des Nebenarmes sollten viele Jahre auseinander liegen. Je nach Größe der auftretenden Hochwässer sollten die Baggerungen in einem Abstand von 5 bis 20 Jahren oder sogar darüber hinaus erfolgen. Das hydraulische Modell kann aufzeigen, wie lange die Geschiebefalle wirksam bleibt. Das heißt bis zu welcher Position kann das Geschiebe im Nebenarm abgelagert werden, ohne dass es am unteren Ende zurück in den Hauptfluss gelangt oder die Effizienz der Geschiebeausleitung beeinträchtigt wird.

### 2.3.6 Ökologie

Die geplante Geschiebeentnahme erfolgt in einem Nebenarm. D.h. die Fläche, die dem Gewässer zur Verfügung steht, wird verdoppelt, die Wassertiefe nimmt ab und somit auch die Schleppkraft, die auf die Gewässersohle wirkt. Man kann somit von einer Gewässeraufweitung sprechen. Pionierarten der Vegetation finden Lebensräume auf Schotterbänken, Fische finden Rückzugsräume und Laichplätze im neuen Nebenarm. Wie folgende Ausführungen zeigen wirkt sich der Nebenarm positiv auf die Ökologie aus: „Am Beispiel von Gewässeraufweitungen an der Oberen Drau werden die positiven Auswirkungen .. (z.B. Anstieg der Fischartenzahl, Biomasse, Dichte) dargestellt.“ (Habersack et.al., 2007, S 128) „Aufweitungen erhöhen die Habitat- und Strukturvielfalt im Fluss. .. Damit werden zum einen die Reproduktionsverhältnisse.. verbessert und zum anderen stehen vermehrt Nahrungs- und Rückzugshabitate für verschiedene Fische bzw. deren unterschiedliche Stadien zur Verfügung.“ (Rohde, 2007, S140) Die Laichplätze der Bachforelle sind nur in Bereichen geringer Wassertiefen zu finden und die juvenile Bachforelle braucht Flachwasserzonen um sich vor Räubern zu schützen. „Die Laichplätze liegen in einer Wassertiefe von ca. 30 cm (10-50 cm)“ „Versuche in Fließrinnen zeigen, dass emergierende Bachforellenbrütlinge, während des Tages seichte (2 cm) und strömungsarme (0-2 cm/s) Randbereiche als Rastorte bevorzugen und in der Nacht in tiefere (12 cm) stärker durchströmte (2-4 cm/s) Bereiche wechseln.“ (Jungwirth et.al., 2003, S 231, S 238) Diese Bedingungen werden in dem Nebenarm alle vorhanden sein, und somit wird der Nebenarm die Bachforellenpopulation im Abschnitt zwischen dem Kraftwerk Agonitz und der Enns erhöhen.

Wie folgende Untersuchungen aus der Schweiz zeigen werden für Benthosorganismen zusätzliche neue Lebensräume geschaffen. „Sowohl der Flächenzuwachs als auch die bessere Strukturierung des Gewässers erhöhen die Besiedlungsdichte, die Überlebenswahrscheinlichkeit der Organismen im Falle eines Hochwassers und die Wiederbesiedlung nach abklingen des Hochwasserereignisses.“ (Rohde, 2007, S.131,

S139) „Von der Ausbildung der Sohle werden sowohl die Lebensbedingungen *benthischer Invertebraten* (wirbellose Bewohner der Gewässersohle) geformt als auch die dort lebenden Organismen unmittelbar betroffen.“ (PATT H., et.al., 2004, S 222)

Die Wasserausleitung aus dem Hauptfluss stellt auch keine Gefahr für die Biozönosen des hyporheischen Interstitials dar, wie folgende Untersuchung aus Deutschland beweist. Dabei wurde eine Ausleitungsstrecke an der Prien mit ähnlichem Gefälle wie im Projektgebiet untersucht. Die Dotation dieser Ausleitungsstrecke wurde in einem zweijährigen Abflussversuch verdreifacht, d.h. die ausgeleitete Wassermenge reduziert. „Die Auswirkungen des zweijährigen Abflussversuches (ca. 2-3 fache Erhöhung des Mindestabflusses) auf die benthische Biozönose waren sehr gering. Der SORENSEN-Index zeigte große Ähnlichkeiten der Probeserien an (62-75 %). Zudem waren die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten größer als die zwischen Ausleitungsstrecke und Referenzstrecke.“ (Schmedtje, 1995, S 80)

Die Auvegetation im Projektgebiet wird in ihrer Zusammensetzung durch autypische Pionierarten bereichert werden. Die bereits erwähnte Untersuchung aus der Schweiz beschäftigte sich auch mit der Vegetation an Rhon, Thur und anderen Flüssen. Diese weisen auf einen positiven Einfluss des neuen Nebenarmes auf die Vegetation hin. „Die Vegetationsuntersuchungen weisen darauf hin, dass Aufweitungen einen wichtigen Beitrag zur Förderung und zum Schutz autypischer Arten leisten .. Die meisten Arten sind (Pionier-)Pflanzen der Kiesbänke und Ufer.“ (Rohde, 2007, S 131, S 139)

### **3 Hydraulische Grundlagen**

#### **3.1 Feststofftransport**

Feststoffe werden in Fließgewässern als Schwimmstoffe, Schwebstoffe, in gelöster Form und als Geschiebe transportiert. Schwimmstoffe schwimmen, wie der Name sagt, auf der Wasseroberfläche – Beispiele dafür sind Bäume, Äste, Gras, Laub, Tierkadaver und anthropogene Stoffe wie Plastik, Dosen, Flaschen. Feststoffe, die aus Erosion des Gerinnes, aus Sedimentation/Resuspension, und Verwitterung/Erosion/Oberflächenabfluss stammen, werden als Geschiebe und als Schwebstoff transportiert. „Die gröberen Bestandteile (Geschiebe) gleiten, rollen oder springen in der Nähe der Sohle talwärts; die feineren Teilchen (Schwebstoffe) hingegen werden vom Wasser aufgewirbelt, ständig durchmischt und schwebend fortgetragen.“(LANGE G. und LECHNER K, 1993, S 106)

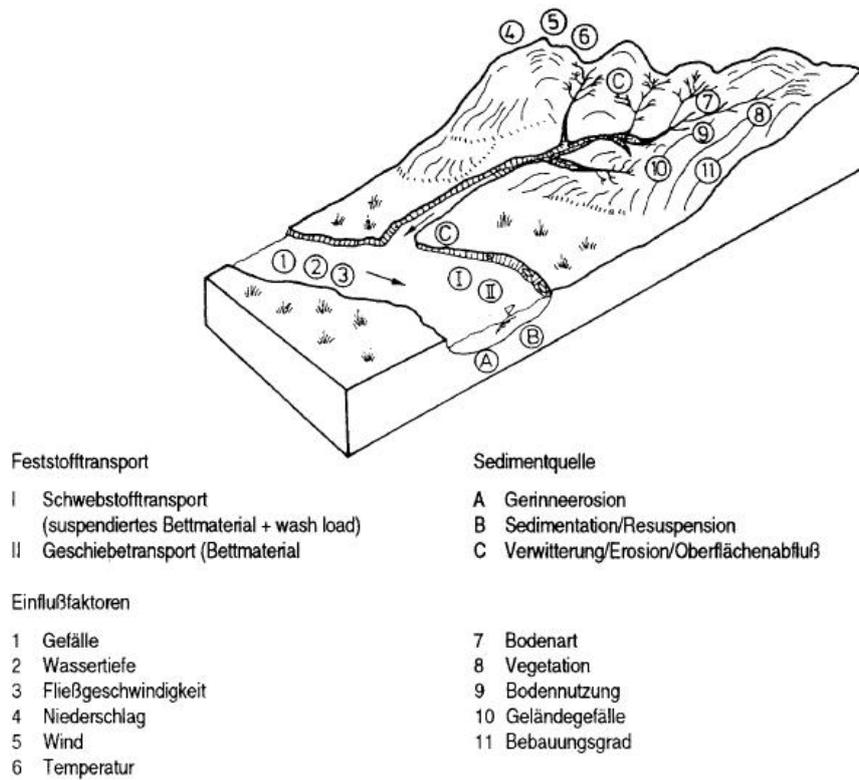


Abbildung 3-1 Formen des Sedimenttransport (DVWK – Schriften H. 87, 1988, S 3)

### Geschiebetransport

Im Weiteren wird nur mehr das Geschiebe betrachtet, da dies Gegenstand des vorliegenden Modellversuches ist. Zur Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebstoffen wird der Korndurchmesser  $d_{gr}$  verwendet. Dieser ist in der Literatur mit 0,2 – 1 mm angegeben.

Betrachtet man ein einzelnes Korn im Wasser wirken folgende Kräfte:

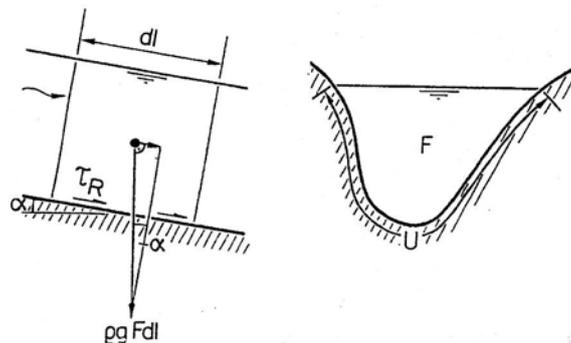


Abbildung 3-2 An einem Strömungselement der Länge  $dl$  und der Querschnittsfläche  $F$  angreifende Kräfte bei Normalabfluss (VISCHER und HUBER, 2002, S 60)

„Die Strömung eines Flusses wird durch die Reibung gebremst. Gemäß dem Prinzip actio=reactio setzt die Strömung das Flussbett dieser Reibung aus. Deren Wert pro

Flächeneinheit wird als Sohlschubspannung oder Schleppspannung bezeichnet. Diese Schleppspannung  $\tau_R$  bewirkt den Geschiebetrieb und lässt sich für Normalabfluss quantifizieren.“(VISCHER und HUBER, 2002, S 60)

Die Schleppspannung wird nach folgender Formel berechnet:

$$\tau = I \cdot g \cdot R \cdot \rho \quad \text{Formel (3-1)}$$

### **Beginn des Geschiebetransportes**

Erreicht die Schleppspannung den kritischen Wert  $\tau_{\text{crit}}$ , beginnt die Geschiebebewegung. Dieser Wert ist abhängig von der Sohlbeschaffenheit und dem Geschiebekorndurchmesser  $d$  im betrachteten Flussabschnitt. „Die Schleppspannung  $\tau_{\text{crit}}$  nimmt mit zunehmendem Durchmesser und zunehmender Dichte der Gerinnwandteilchen zu. Ein durch Steinschüttung oder Abpflasterung zu sichernder Wasserlauf wird umso widerstandsfähiger gegen Ausspülung sein, je größer und je schwerer die einzelnen Steine sind.“ (BOLLRICH G., 2000, S 270)

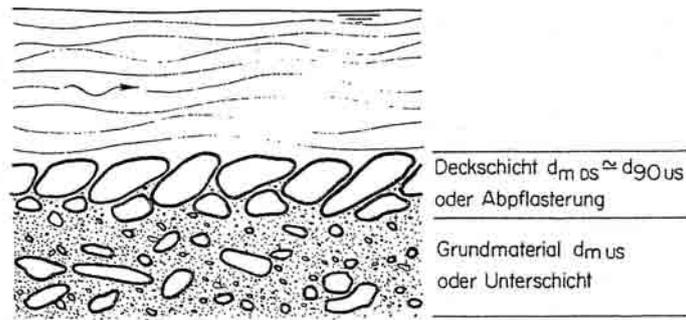
Ebenso kann die Fließgeschwindigkeit betrachtet werden. Die Geschiebebewegung beginnt bei dem Wert  $v_{\text{crit}}$ . „Im Versuch liegt  $v_{\text{crit}}$  dann vor, wenn der Beginn des Feststofftransportes zu beobachten ist ..  $v_{\text{crit}}$  nimmt bei gleicher Sohlbeschaffenheit offenbar mit der Wassertiefe zu.“ (BOLLRICH G., 2000, S 265) Die Wassertiefe  $h$  ist somit neben dem Korndurchmesser ein weiterer Faktor, ob Geschiebe transportiert wird. In die Gleichung

Formel (3-1)

geht die Wassertiefe  $h$  im hydraulischen Radius  $R$  ein. Nachfolgende Formel gilt nur für Rechteckquerschnitte.

$$R = \frac{F}{U} = \frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h} \quad \text{Formel (3-2)}$$

Das Geschiebe eines Flusses ist nicht gleichkörnig, sondern kann durch eine Kornverteilungskurve beschrieben werden. Je größer die Schleppspannung ist, umso größere Geschiebeteilchen werden bewegt. Beim Abklingen einer Hochwasserwelle bedeutet dies, dass zuerst die größeren Steine liegen bleiben und eine Deckschicht bilden, die eine Art Pflasterung der Sohle bewirkt.



**Abbildung 3-3 Deckschicht**

„Die Ausbildung einer *Deckschicht* hat große Bedeutung für die Stabilität der Sohle, aber auch für die Austauschvorgänge zwischen Wasser- und dem Porenwasserraum unter der Gewässersohle (Interstitial). (PATT H., et.al., 2004, S 222)

Für die Ingenieurpraxis ist die Menge an transportiertem Geschiebe von großer Bedeutung. Deshalb wurden folgende Begriffe eingeführt:

- Geschiebetransport  $m_G$  (kg/s)
- Geschiebefracht  $M_G$  (t/Jahr)
- Geschiebetrieb  $m_G$  (kg/sm)

### Formel von MEYER-PETER & MÜLLER

Der Geschiebetrieb kann nach Meyer-Peter und Müller (1949) wie folgt berechnet werden.

$$m_G = \frac{8}{g} \cdot \frac{\rho_F}{\rho_F - \rho_W} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho_W}} \cdot (\tau - \tau_{crit})^{\frac{3}{2}} \quad \text{Formel (3-3)}$$

Die Meyer-Peter & Müller Formel ist die wohl bekannteste Transportformel für kiesiges Sohlmaterial, jedoch ist ihre Anwendung begrenzt. „Aus der analytischen Lösung von Zanke (1999) lassen sich die Anwendungsgrenzen wie folgt ermitteln:  $Re_d^* \geq 70$  und  $\tau / \tau_{crit} \geq 1,3$  sowie  $h/d \geq 28(\tau^* - \tau_{crit}^*)$ . Die analytische Lösung deckt sich mit diesem Wertebereich gut mit den Ergebnissen der Meyer-Peter & Müller Formel.“ (PATT H., et.al., 2004, S 225)

Die Meyer-Peter & Müller Formel ist nicht die einzige zur Berechnung des Geschiebetransportes. Die Untersuchungen von Zanke zeigen dass es eine Vielzahl von Formeln gibt, die aber unterschiedliche Ergebnisse liefern. „Berechnet man den Geschiebetrieb mit verschiedenen Transportformeln und vergleicht die Resultate, weichen die Ergebnisse in der Regel mehr oder weniger stark voneinander ab“ (Zanke, 1992). Die genauen Ausführungen von Zanke zeigen auf, dass jede Formel einen gewissen Einsatzbereich

abdeckt. Durchfluss, Korngröße, Geschiebemenge, Gefälle etc. müssen im Bereich liegen wofür die Formel entwickelt wurde, ansonsten wird die Berechnung ungenau.

### 3.2 Physikalische Modellähnlichkeit

Jedes Modell ist eine Vereinfachung der Natur und der in der Natur ablaufenden Prozesse. Ein Modell wird durch Verkleinerung und Abstraktion erschaffen. Verkleinerung bedeutet, dass alle Abmessungen der Natur mit einem Maßstabsfaktor in die Modellabmessungen umgerechnet werden. Die geometrischen, hydraulischen, zeitlichen und anderen Maße weisen nicht denselben Maßstab auf. Aufgrund der Modellähnlichkeitsgesetze ergeben sich unterschiedliche Maßstabszahlen. Alle Messungen und Versuchsergebnisse können mit den Maßstabsfaktoren wieder auf Naturwerte umgerechnet werden. Die Maßstabszahlen  $\Phi_r$  sind nach folgender Definition meist größer als eins:

$$\Phi_r = \frac{\Phi_{n(Natur)}}{\Phi_{m(Modell)}} \quad \text{Formel (3-4)}$$

Abstraktion bedeutet, die Natur vereinfacht nachbilden. In erster Linie werden naturnahe Materialien wie Sand, Schotter oder Kies aber auch Beton und PVC-Platten für die Erstellung des Physikalischen Modells verwendet. Die geometrischen Maßstabszahlen sind in erster Linie durch das Platzangebot im Labor gegeben. „Die geometrische Ähnlichkeit genügt jedoch nicht. Die Strömung muss auch dynamisch ähnlich sein. Dies bedeutet, dass in ähnlich gelagerten Punkten von Modell und Natur die wirkenden Kräfte im Verhältnis stehen, damit die Resultierende aller Kräfte und somit die Beschleunigung eines Wasserteilchens in beiden Fällen die gleiche Richtung hat“(JUGOVIC 2005, S 7). Ein Modell muss genaue definierte Modellgrenzen aufweisen, um die Berechnung bzw. die Modellierung zu ermöglichen.

Die Verkleinerung erfolgt aufgrund physikalischer Formeln, die gewährleisten, dass das Modell und die Prozesse im Modell der Natur ähnlich sind. Man spricht dann von *Modellähnlichkeit*. Entsprechend den Basiseinheiten Länge, Zeit, Masse im SI-System unterscheidet man drei Ähnlichkeiten zwischen Natur und Modell:

„*Geometrische Ähnlichkeit* bedeutet, dass alle Längen eines Modells  $L_m$  mit der gleiche Maßstabszahl in die Längen der Natur  $L_n$  übertragen werden. Ähnliche Geometrie in Modell und Natur. (Längenmaßstab)“(JUGOVIC 2005, S 7)

$$L_r = \frac{L_n}{L_m} \quad \text{Formel (3-5)}$$

„*Kinematische Ähnlichkeit* bedeutet, dass alle Geschwindigkeitsvektoren bzw. Zeitintervalle vom Modell mit gleicher Maßstabszahl  $v_r$  bzw.  $T_r$  in die Natur übertragen werden. Ähnliche Strömungsbilder in Modell und Natur (Zeitmaßstab)“ (JUGOVIC 2005, S 7).

$$T_r = \frac{T_n}{T_m} \quad \text{Formel (3-6)}$$

„*Dynamische Ähnlichkeit* bedeutet, dass alle Kräfte in einem Modell mit der gleichen Maßstabszahl in die Natur übertragen werden, d.h. ähnliche Kräfte in Modell und Natur (Kräftemaßstab)“ (JUGOVIC 2005, S 7).

$$F_r = \frac{F_n}{F_m} \quad \text{Formel (3-7)}$$

Diese drei Grundmaßstäbe drücken aus, dass die Prozesse im Modell schneller ablaufen und wirkenden Kräfte kleiner sind als in der Natur.

Für flussbauliche Fragen sind folgende Kräfte bezogen auf die Masseneinheit wichtig:

- Trägheitskraft
- Druckkraft
- Reibungskraft
- Schwerkraft

Hieraus lassen sich drei unabhängige (dimensionslose) Kräfteverhältnisse bilden: (Bundesanstalt für Wasserbau, 1984)

$$E_u = \frac{\rho}{\rho \cdot v^2} \quad \text{Euler-Zahl}$$

$$R_e = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad \text{Reynolds-Zahl} \quad \text{Formeln (3-8)}$$

$$F_r^2 = \frac{v^2}{g \cdot L} \quad \text{Froude-Zahl}$$

„Für volle dynamische Ähnlichkeit müssten alle Kräfteverhältnisse einander gleichen. Selbst unter der Annahme das Dichte  $\rho$ (kg/m<sup>3</sup>), Fallbeschleunigung  $g$ (m/s<sup>2</sup>) und dynamische Viskosität  $\eta$ (Pa\*s) im Modell und Natur gleich groß sind, ist diese Voraussetzung nur beim Maßstab 1:1 gegeben.“ (JUGOVIC 2005, S 8) Das bedeutet, dass bei einer Verkleinerung keine volle Ähnlichkeit erreicht werden kann. „Eine angenäherte dynamische Ähnlichkeit ist aber dann erreichbar, wenn *nur die jeweils zwei dominierenden Kräftearten berücksichtigt* werden und der Einfluss der übrigen zu vernachlässigen ist.“ (JUGOVIC 2005, S 8)

Die Modellähnlichkeit muss gewährleistet sein, um fundierte Aussagen aus dem Modell ableiten zu können. Es gibt eine große Zahl von Möglichkeiten die Modellähnlichkeit zu erreichen. „ ... die Schwierigkeiten liegen im Wesentlichen in der Definition der Ähnlichkeitskriterien, d.h. jenen Randbedingungen, die maßstäbliche Relationen zwischen Natur und Modell gewährleisten.“(ATV-DVWK 2003, S. 225) Im Modellversuchswesen hängt die Wahl der Modellähnlichkeiten von der Aufgabenstellung ab, sprich von dem Problem das zu untersuchen ist.

### 3.3 Geschiebetransportmodelle

Man spricht von einer Zweiphasenströmung, wenn man Geschiebetransport im fließenden Medium Wasser betrachtet. Die mechanischen Prozesse in dieser Strömung müssen durch physikalische Einflussgrößen beschrieben werden. Da diese Prozesse in natürlichen Gerinnen im turbulenten Strömungsbereich ablaufen und die Rauigkeit der Sohle nicht konstant ist, sind die Prozesse sehr komplex und müssen für das Modell vereinfacht werden. D.h. die Zahl der Einflussgrößen muss beschränkt werden. Für die Kornform und die Kornverteilung werden entweder ähnliche Verhältnisse in der Natur und im Modell angenommen oder der Einfluss dieser Größen wird vernachlässigt. Außerdem sollen nur stationär gleichförmige Strömungen untersucht werden. (Vgl. ATV-DVWK 2003, S. 225)

Folgende Einflussgrößen für die Zweiphasenströmung werden betrachtet:

- Fluideigenschaften                      kinematische Zähigkeit  $\nu$ , Dichte  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>)
- Sedimenteigenschaften                Korndurchmesser  $d$  (m), Dichte  $\rho_s$  (kg/m<sup>3</sup>)
- Gerinnegeometrie                        Wassertiefe  $h$  (m), Gefälle  $J$  (%)
- Fallbeschleunigung                       $g$  (m/s<sup>2</sup>)

Durch die Dimensionsanalyse -  $\pi$ -Theorem (Buckingham 1915) sind die Zusammenhänge der physikalischen Einflussgrößen berechenbar. Die zwei wichtigsten dimensionslosen Parameter auf die Flusssohle bezogen sind:

$$R_e^* = \frac{v_0^* \cdot d}{\nu} \quad \text{Feststoff-Reynolds-Zahl}$$

**Formeln (3-9)**

$$F_r^* = \frac{v_0^{*2}}{\rho \cdot g \cdot d} \quad \text{Feststoff Froude-Zahl}$$

Jedoch hat die Dimensionsanalyse ihre Grenzen, wie die Ausführungen von ZIEREP (1972) zeigen. „Aus der Dimensionsanalyse lässt sich nicht mehr herausholen, als an

physikalischen Überlegungen – Anzahl der physikalischen dimensionsbehafteten Größen – hineingesteckt wird.

Dies bedeutet in der Theorie, je mehr Variablen betrachtet werden, umso besser ist die Nachbildung der Natur. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die Rauigkeit der Gewässersohle nicht genau zu berechnen ist. „Trotz der physikalisch gut begründeten Ausgangsbasis sind die Maßstabsberechnungen relativ unsicher. Schwierigkeiten bereiten vor allem Fließwiderstände infolge von Riffeln, Dünen, Bänken., also jene Anteile, die durch die Formwiderstände der Gewässersohle entstehen“ (ATV-DVWK März 2003, S. 232).

Um diesen Umstand zu beherrschen, wird im vorliegenden Modellversuch eine alternative Maßstabsberechnung angewandt, die sich für flussmorphologische Probleme bereits in der Praxis bewährt hat.

### 3.3.1 Alternative Maßstabsberechnung nach JANSEN ET AL. 1979 und HRI 1997

Für flussmorphologische Fragen haben sich Maßstabsberechnungen nach JANSEN ET AL 1979 und HRI 1997 bewährt. Bei diesem Verfahren wird der Formwiderstand der Sohle in Natur und Modell durch Laborversuche experimentell ermittelt. Die Modellähnlichkeit beruht auf drei einfachen Maßstabsberechnungen (ATV-DVWK 2003, S 232):

- Für die Strömungsvorgänge in der Natur und im Modell gilt die CHEZY-Gleichung. Daraus lässt sich folgende Maßstabsrelation ableiten:

$$v_r = C_r \cdot h_r^{1/2} \cdot J_r^{1/2} \quad \text{Formel (3-10)}$$

- Die Relation der Rauheitskoeffizienten (CHEZY Beiwerte) liefern nach JANSEN et al. (1979) die Maßstabsbeziehung:

$$C_r^2 = \frac{l_r}{h_r} \quad \text{Formel (3-11)}$$

- Der wesentlich Einflussfaktor sedimentologischer Transportprozesse, die Feststoff-Froude-Zahl  $Fr_r^*$ , muss in Natur und im Modell gleich sein:

$$Fr_r^* = \frac{h_r \cdot J_r}{d_r \cdot \rho_r'} = 1 \quad \text{Formel (3-12)}$$

Mit diesen Maßstabsbeziehungen ist es möglich, die Modellähnlichkeit zu gewährleisten. In den drei Gleichungen sind sieben Variable ( $v_r$ ,  $C_r$ ,  $h_r$ ,  $l_r$ ,  $J_r$ ,  $\rho_r'$  und  $d_r$ ) wodurch sich vier Freiheitsgrade ergeben. Drei Variable können unter praxisrelevanten Vorgaben gewählt

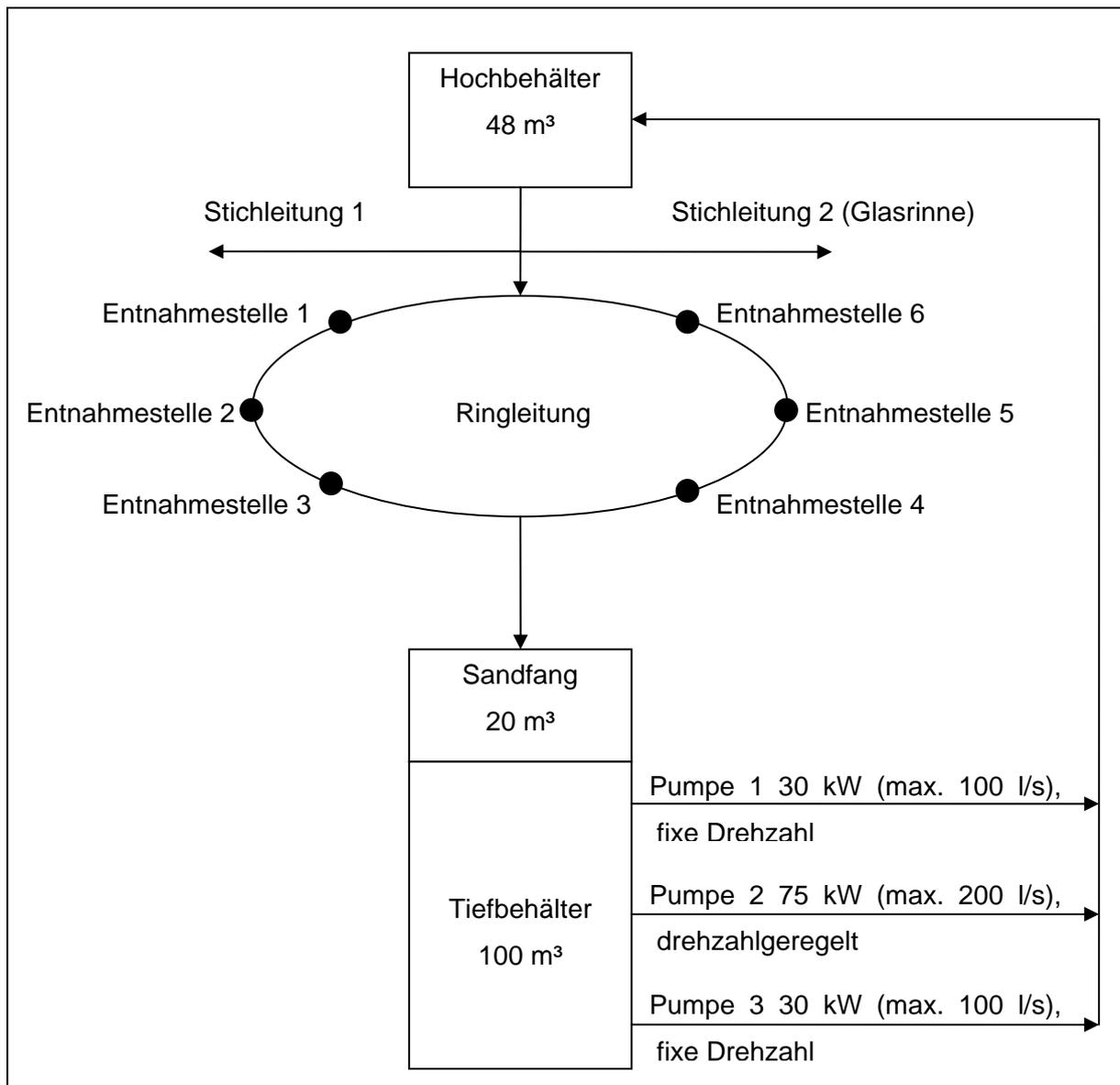
werden. Meist wird von vorhandenen bzw. leicht verfügbaren Materialien ausgegangen. Wird der Korndurchmesser des Geschiebes und das Geschiebematerial gewählt, sind  $\rho_r$  und  $d_r$  bestimmt. Die Vorgabe eines weiteren Maßstabs, z.B. des Längenmaßstabs  $l_r$ , ist durch die Raumbegrenzung im Labor gegeben. Die letzte Variable  $C_r$  wird aus Natur und Versuchsdaten ermittelt, indem man den Chezy-Beiwert für das gewählte Sohlmaterial und für die Natur abschätzt oder durch Versuche ermittelt. Der Maßstab der Chezy-Beiwerte  $C_r$  ergibt sich dann aus  $C_r = C_{\text{natur}}/C_{\text{modell}}$ . Damit ist das Gleichungssystem eindeutig bestimmt.

„Modelle, die nach diesem Verfahren ermittelt werden, sind verzerrt, d.h. für Korndurchmesser, Längen, Wassertiefen, Geschwindigkeits- und Gefällshöhen ergeben sich unterschiedliche Maßstabsrelationen. Dennoch liefern diese recht groben Modelle, z.B. bei flussmorphologischen Studien, relativ gute Ergebnisse.“ (Vgl. JANSEN et al. 1979 und HRI 1997)

Die Maßstabsberechnungen gehen davon aus, dass gleiche hydraulische und sedimentologische Bedingungen in der Natur und im Modell herrschen. Dies schließt die Feststoff-Reynolds-Zahl mit ein. Der Reynoldseinfluss kann jedoch im hydraulisch rauen Bereich vernachlässigt werden. „Aus dem Shieldschen Diagramm ist ersichtlich, dass der Einfluss der Reynoldszahl des Kornes  $Re^*$  -Feststoff-Reynolds-Zahl- (Wort eingefügt R.K.) verschwindet für Werte von  $Re$  über ca. 100 – 200. Da die Reynoldszahl des Kornes  $Re^*$  gleichbedeutend ist mit der mit dem Rauheitsmaß  $k$  gebildetem  $Re_k$ , kann angenommen werden, dass für Werte  $Re^* > 70$  der Abfluss im hydraulisch rauen Bereich ohne Reynoldseinfluss stattfindet“ (YALIN, 1971). Deshalb kann die Reynoldszahl bei den Maßstabsberechnungen weggelassen werden.

## 4 Physikalisches Modell

Das physikalische Modell wurde im Wasserbaulabor des IWHW an der Universität für Bodenkultur in der Muthgasse errichtet. Das Labor verfügt über ein geschlossenes Wasserkreislaufsystem. Drei mobile Entnahmestationen versorgen die hydraulischen Modelle mit der erforderlichen Wassermenge. Die Durchflussmessung erfolgt über IDM (induktive Durchflussmessung). Der gesamte Wasserkreislauf ist SPS gesteuert. Aus ökologischer Sicht wird ausschließlich Nutzwasser aus einem eigenen Brunnen der BOKU verwendet. Den Aufbau des Wasserbaulabors zeigt folgendes Schema:



**Abbildung 4-1 Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes im Labor**

Das physikalische Modell soll den Wirkungsgrad der Geschiebefalle in verschiedenen Bauausführungen vergleichen. Hierfür sollen verschiedene Hochwässer von HQ1 bis HQ100 und Niederwässer untersucht werden.

Wie alle Modelle ist auch dieses physikalische Modell eine Vereinfachung der Natur. So sind beispielsweise keine Schwebstoffe (nur das gleichkörnige Modellgeschiebe), keine Schwimmstoffe, kaum Transport des Materials der Deckschicht simuliert worden.

### Verwendete Messgeräte und Messmethoden

- **Stechpegel:** Der Stechpegel ist das einfachste Messgerät zur Messung von Wasserständen. Der Stechpegel besteht aus einem geführten und durch Zahnstange und Zahnrad beweglichen Metallstab, der am Ende mit einer auswechselbaren

Metallspitze versehen ist. Die Ablesung ist durch eine Millimetereinteilung und Nonius auf 1/10 mm genau. Bei Strömungen mit unruhiger Wasseroberfläche muss die Pegelspitze etwa zwei Drittel der Messzeit ins Wasser eintauchen. Dann stellt die Messung einen guten Mittelwert für den Wasserspiegel dar. Am Modell sind vier Stechpegel entlang des Hauptflusses an fixen Profilen angebracht.

- **Hydrometrischer Flügel:** Der Hydrometrische Flügel ist ein Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät. Eine hydraulische Schraube ist am unteren Ende des Messgerätes frei drehbar gelagert. Die Drehzahl der Schraube wird elektrisch gemessen. Aus Eichbeziehungen zwischen Drehzahl und Fließgeschwindigkeit, die vom Hersteller des Gerätes erstellt wurden, ist das Ablesen der Fließgeschwindigkeit möglich. Abgelesen wird an einem eigenen Gerät, das mit einem Kabel an den hydrometrischen Flügel angeschlossen wird. Dieses Ablesegerät kann für mehrere Flügel verwendet werden. Hierfür muss die richtige Eichbeziehung ausgewählt werden. Beim Messen ist darauf zu achten, dass die Achse der Schraube in die Strömungsrichtung weist. Dies kann durch mehrmaliges Messen und Ausrichten der Schraube in verschiedene Richtungen überprüft werden. Die Richtung der Strömung muss jedoch händisch notiert werden. Der Einsatz von hydrometrischen Schrauben ist nur bei Wassertiefen möglich bei denen die Schraube zur Gänze eintaucht. Um genaue Messungen zu erhalten sollte eine Wassertiefe von mindestens 5cm vorhanden sein.
- **ACM – Messsonde:** Die ACM Messsonde ist ein Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät. Durch magnetisch induktive Messungen kann über eine Eichbeziehung auf die Fließgeschwindigkeit geschlossen werden. Die Wirkungsweise beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz. Bei Bewegung eines elektrischen Leiters (in unserem Fall das Wasser) senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfeldes wird im Leiter eine Spannung induziert. Die Fließgeschwindigkeit ist proportional dieser Spannung. Die Richtung der Strömung wird ebenfalls gemessen und am Anzeigegerät ausgegeben. Die benötigte Wassertiefe ist geringer als beim hydrometrischen Flügel. Das magnetische Feld wirkt über die Größe der Sonde hinaus, da die Messsonde nur eine Größe von 1cm hat, genügen daher schon 3 cm Wassertiefe.
- **WEF – Wasserbauliches Experimentierfeld:**  
Das WEF ist ein dreidimensionales Messsystem, das den gesamten Modellbereich abdecken soll. Eine Messsonde wird über drei Achsen von Schrittmotoren gesteuert. Für die Vermessung der Ablagerungen wurde ein Laserdistanzmessgerät verwendet. Das Ergebnis der Messung sind X, Y und Z Koordinaten plus den Abstich, die in einer

Datei abgespeichert werden. Diese Koordinaten können von jedem dreidimensionalen Darstellungsprogramm verwendet werden und im CAD weiterverarbeitet werden. Für die genaue Programmsyntax müssen die Messdateien entsprechend aufbereitet werden.

#### 4.1 Festlegung der Modellgrenzen und Wahl des Maßstabes

Die Modellgesetze nach JANSEN et al. 1979 und HRI 1997 bestehen aus drei Gleichungen:

- Maßstabsrelation nach der Fließformel nach Chezy

$$v_r = C_r \cdot h_r^{1/2} \cdot J_r^{1/2} \quad \text{Formel (3-10)}$$

- Maßstabsrelation der Rauheitskoeffizienten (CHEZY Beiwerte)

$$C_r^2 = \frac{L_r}{h_r} \quad \text{Formel (3-11)}$$

- Maßstabsrelation nach Feststoff-Froude-Zahl

$$Fr_r^* = \frac{h_r \cdot J_r}{d_r \cdot \rho_r'} = 1 \quad \text{Formel (3-12)}$$

$v_r$  Geschwindigkeitsmaßstab  
 $C_r$  Verhältnis der Rauheitskoeffizienten  
 $h_r$  Höhenmaßstab  
 $L_r$  Längenmaßstab  
 $J_r$  Gefällemaßstab  
 $\Delta_r$  Verhältnis der relativen Dichte  
 $d_r$  Korngrößenmaßstab

Das System hat sieben Variable in drei Gleichungen und weist somit vier Freiheitsgrade (Unbekannte) auf. Davon können drei Relationen unter praxisrelevanten Aspekten vorgegeben werden; eine vierte Relation, nämlich das Verhältnis der Rauheitskoeffizienten  $C_r$ , wird aus Natur- und Versuchsdaten ermittelt. Die hydraulisch-sedimentologischen Parameter des Naturgewässers (Chezy-Gleichung, Feststoff-Froude-Zahl) werden als bekannt vorausgesetzt. Da die Beschaffung geeigneter Modellsedimente oft recht schwierig ist, wird meist von verfügbaren Materialien ausgegangen. Mit der Wahl eines Modellsediments sind dann  $\Delta_r$  und  $d_r$  vorgegeben. Der Chezy-Beiwert des gewählten Sohlenmaterials wird geschätzt oder in experimentellen Voruntersuchungen ermittelt.

**Tabelle 4-1 Modellmaßstäbe**

Parameter	Anmerkungen	Natur	Modell	Relation
$\varepsilon$ – DS Rauigkeit [m]	Kalibrierungsversuche	0,150	0,017	$\varepsilon_r = 8,89$
$d$ – Geschiebe [m]	gewählt	0,0177	0,002	$d_r = 8,89$
$\rho_s$ – Dichte Sediment [kg/m <sup>3</sup> ]	gewählt	2650	2650	$\rho_r = 1$
$\Delta$ – rel. Dichte $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$ [1]	$\Delta_r = \frac{\Delta_N}{\Delta_M}$	1,65	1,65	$\Delta_r = 1$
$C$ – Chezy Beiwert [m <sup>1/2</sup> /s]	Kalibrierungsversuche	40	23	$C_r = 1,74$
$L$ – Längen [m]	gewählt	80	1	$L_r = 80$
$B$ – Breiten [m]	$b_r = L_r$	80	1	$B_r = 80$
$h$ – Höhen [m]	$h_r = L_r / C_r^2$	26,67	1	$h_r = 26,67$
$J$ – [1] Gefälle	$J_r = \Delta_r \cdot d_r / h_r$	0,0025	0,0075	$J_r = 0,33$
$v$ – [m/s]	$v_r = C_r \cdot (h_r \cdot J_r)^{1/2}$	5,164	1	$v_r = 5,164$
$Q$ – [m <sup>3</sup> /s]	$Q_r = v_r \cdot h_r \cdot L_r$	11016,5	1	$Q_r = 11016$
$F_r$ – [1]	$F_r = v_r / h_r^{1/2}$	1	1	$F_r = 1$
$F_{r^*}$ – [1]	$F_{r^*} = 1$	1	1	$F_{r^*} = 1$

Mit diesen Maßstäben ist es möglich die Untersuchung des Sedimenttransportes für unterschiedliche Durchflüsse von 25 l/s bis 75 l/s, dies entspricht 230 – 870 m<sup>3</sup>/s in der Natur, durchzuführen, wobei das Geschiebe sich auch als Geschiebe verhält und nicht als Schwebstoff transportiert wird. Durch die Höhenverzerrung, die sich aus den verwendeten Modellgesetzen ergibt, würde auch das Geschiebe verzerrt werden. Da dies nicht möglich ist, können von diesem Modell keine Aussage über die Quantität des anfallenden Geschiebes gemacht werden, d.h. die Ablagerungsmenge entspricht nicht jener in der Natur. Es kann jedoch eine qualitative Variantenoptimierung durchgeführt werden. Dabei vergleicht man die Wirkungsgrade der verschiedenen Varianten. Deshalb ist es trotz dieser Vereinfachung möglich, die wirksamste Variante zu finden. Dank der Höhenverzerrung ist das Arbeiten am Modell vereinfacht, da sich größere Wassertiefen ergeben. Dadurch sind Umbauarbeiten einfacher und die Messgenauigkeit bei Niederwasser höher.

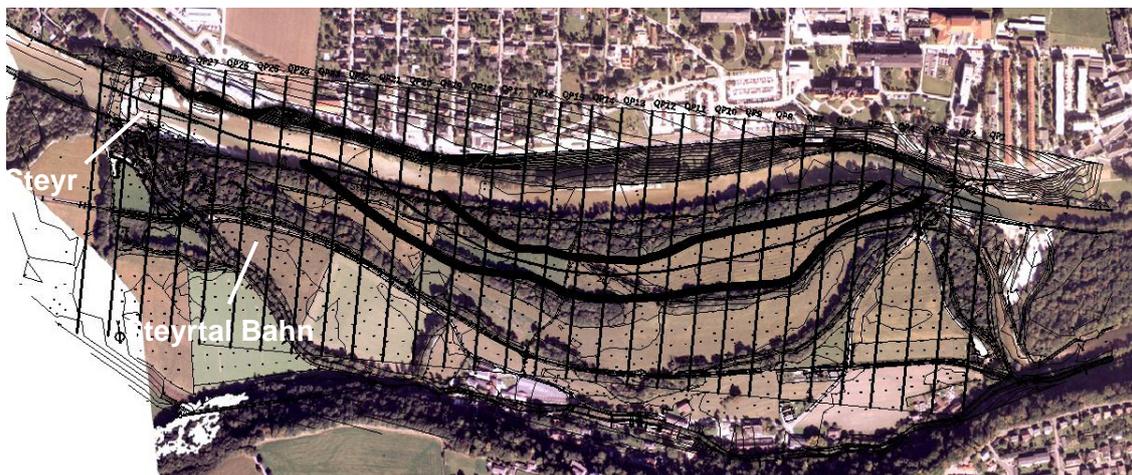
### 4.1.1 Sohlmodellierung

Die Sohle des Modells wurde mit Schotter modelliert. Aufgrund der Höhenverzerrung des Modells entspricht die Korngröße nicht der des verwendeten Geschiebes. Die Schotterkörnung ergab sich aus der Kalibrierung, sodass im gesamten untersuchten Abflussbereich (HQ1 bis HQ100 und HQ vom Jahr 2002) die Ähnlichkeit erfüllt ist, d.h. die Wasserstände der Kalibrierungspegel stimmen überein. Um Eintiefungstendenzen durch die Umlagerung des Sohlmaterials zu erkennen, wurde die Sohle nicht mit Beton fixiert, sondern in loser Schüttung belassen. Jedoch wurde das Sohlmaterial, das durch die Schleppkräfte in die Geschiebefalle eingetragen wurde, nicht in die Vergleichsrechnung der einzelnen Varianten miteinbezogen. Die Sohle wurde nach jedem Versuch in der gleichen Art und Weise wiederhergestellt.

Da die Sohle etwa um den Faktor 10 größer ist als das verwendete Geschiebe, wird in weiterer Folge von teil-beweglicher Sohle gesprochen.

### 4.2 Modellaufbau

Das modellierte Gebiet erstreckt sich auf den Fließabschnitt der Steyr zwischen Krugwehr und Schwarzer Brücke, linksufrig (nördlich) begrenzt durch die steilen Terrassen des Talbodens und rechts (südlich) vom Damm der Steyrtalbahn. Nachfolgende Abbildung 4-2 zeigt das Modellgebiet. Die 30 Querprofile und die Modellgrenzen sind in schwarz dargestellt.



**Abbildung 4-2 Luftbild mit Querprofilen und Modellgrenzen**

Das Modell wurde nach Naturprofilen im Abstand von 100 m erstellt. Die Profile wurden aus einem digitalen Geländemodell entnommen, das vom Ingenieurbüro Gunz zur Verfügung gestellt wurde. Diese Profile wurden aus dünnen Spanholzplatten im gewählten Maßstab vorgefertigt und anschließend mit Hilfe des WEF in die richtige Position, mit Nivellement in

die richtige Höhenlage gebracht, und anschließend fixiert. Die Profile wurden mit Sand verfüllt und mit einer 2-5 cm dicken Betonschicht abgedeckt.



**Abbildung 4-3 Bau des Modells**

Zur Verbesserung der Anschaulichkeit wurde das Umland mit Lack farbig gestaltet. Dunkelgrün entspricht den bewaldeten Flächen und hellgrün den freien Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden. Um die Rauigkeit auf den bewaldeten Flächen zu erhöhen, wurden Steine auf der Betonoberfläche des Modells angebracht. Der Auslaufbereich des Modells wurde mit einer Wehrklappe im Hauptfluss und im Umland mit

einem Klappenfächer versehen, welche beide gemeinsam für die Regulierung des Wasserstandes im Auslaufbereich vorgesehen sind.

#### 4.2.1 Kalibrierung und Verifizierung

Die Kalibrierung erfolgte über die Wasserstände an drei maßgebenden Profilen. Da Naturmessdaten fehlen, wurden die erforderlichen Daten der 2D Modellierung des Ingenieurbüros Gunz aus der Hochwasserstudie 2004 entnommen. Um die entsprechende Rauigkeit zu erreichen und die richtigen Wasserstände in den Profilen 2/3, 7 und 25 zu erhalten wurde das Sohlmaterial angepasst.



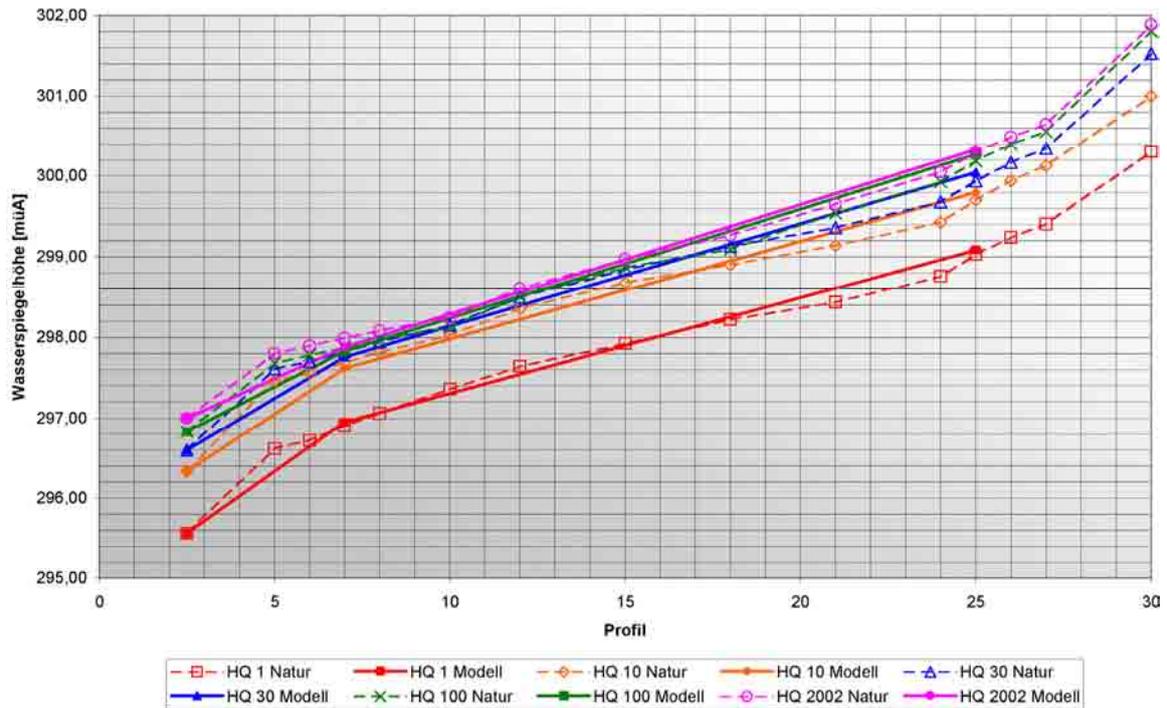
Abbildung 4-4 Kalibrierungsprofile 2/3, 7 und 25

Die Kalibrierung erfolgte bei einem Durchfluss von 900 m<sup>3</sup>/s in Natur, was dem Hochwasser im Jahr 2002 entspricht. Dieser Durchfluss wurde ausgewählt, da dieses Ereignis gut dokumentiert wurde.

Tabelle 4-2 Kalibrierungsmessdaten

		Modellpegelablesung (m ü. A.)		
		Profil 2/3	Profil 7	Profil 25
Hochwasser im Jahr 2002	Natur	297,00	297,99	300,29
	Modell	297,00	297,88	300,33

Verifiziert wurde die Kalibrierung anhand der Durchflüsse von HQ1, HQ10, HQ30 und HQ100. Nachfolgendes Abbildung 4-5) zeigt die Natur- und Modellwerte. Die Naturwerte sind strichliert und die Modellwerte mit durchgehenden Linien dargestellt.



**Abbildung 4-5 Verifizierung mit HQ1, HQ10, HQ30 und HQ100**

Die größte Abweichung betrug 10 cm in Natur, das entspricht bei dem verwendeten Höhenmaßstab 3,8 mm im Modell. Diese Abweichung bei dynamischen Abflussvorgängen mit Wellen an der Wasseroberfläche, die das Messen erschweren, ist sehr gering. Diese hohe Genauigkeit konnte durch die hervorragende und gewissenhafte Arbeit des Personals im Wasserbaulabor bei der Errichtung des Modells erreicht werden.

#### 4.2.1.1 Verwendete Datenbasis

- Hochwasserstudie Stadt Steyr 2004 (Ingenieurbüro Gunz)
- Lageplan Ist-Zustand
- Querprofile 1 – 30 vom Ist-Zustand (3-fach überhöht)
- Orthophoto
- Digitales Höhenmodell
- Kornverteilungskurve des Sohlmaterials
- Geschiebeganglinien
- Durchflüsse bei maßgebenden Abflussereignissen
- Wasserspiegellagen bei maßgebenden Abflussereignissen
- Lageplan Projekt
- Querprofile vom Projekt (3-fach überhöht)

### 4.3 Einbau der Geschiebefalle

Nach dem das Modell verifiziert wurde, wurden verschiedene Varianten analysiert. Zuerst wurde die Geschiebefalle in das Modell integriert. Dazu musste das rechtsufrige Umland des Modells aufgebrochen werden und neu modelliert werden. Die Profile wurden angepasst und neu mit Sand verfüllt und mit einer Schicht Beton abgedeckt. Um das Geschiebe, das sich im Nebenarm abgelagert, wieder leicht entnehmen zu können, wurde die Sohle des Nebenarmes, im Gegensatz zum Hauptfluss, ebenfalls mit Beton modelliert. Das Einlaufbauwerk wurde aus dunkelgrauen PVC Platten modelliert, damit Änderungen an Streichwehr und Geschiebegasse leicht durchzuführen sind.



Abbildung 4-6 Umbau des Modells



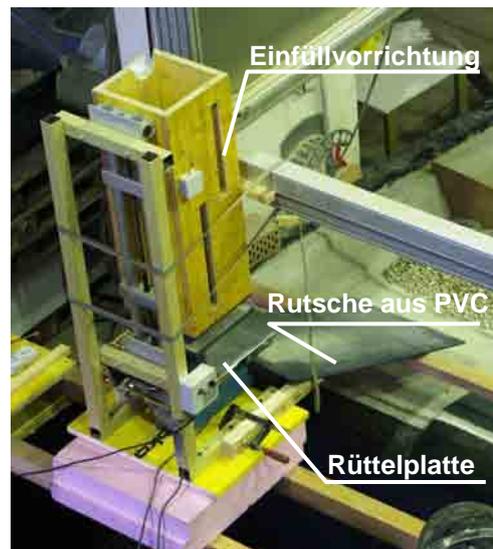
Abbildung 4-7 Umbau des Modells

## 5 Geschiebeversuche und Analyse der Ergebnisse

Durch die Geschiebeversuche bei verschiedenen Varianten soll die optimale Ausformung des Streichwehrs, der Geschiebegasse und des Nebenarmes gefunden werden.

Als Geschiebe wurde Basaltsand verwendet, der sich stark von der hellen Modellsohle abhob und somit gut sichtbar war. Die Korngröße wurde so gewählt, dass sich ein naturähnliches Transportverhalten einstellte. Eine Körnung mit mittlerem Durchmesser von 1,8 mm erwies sich als gut geeignet.

Die Geschiebezugabe erfolgte am oberen Ende des Modells auf der Höhe des Kruglwehrs in Natur. Der Sand wurde in eine Einfüllvorrichtung gefüllt, die den Sand über eine Rüttelplatte und eine Rutsche in den Fluss beförderte. Die Rüttelplatte wurde über einen drehbaren Widerstand gesteuert. Um die Geschiebezugabe genau zu dosieren, war es erforderlich die aufgenommene elektrische Leistung der Rüttelplatte in Watt zu messen. Über die aufgenommene Leistung war eine genaue Steuerung der Geschiebezugabe möglich.



**Abbildung 5-1**

### **Geschiebezugabevorrichtung**

Die Eichung der Geschiebezugabe, in Gramm pro Sekunde, wurde durch Wiegen der Zugabemenge in einer bestimmten Zeit durchgeführt. Dazu musste die Rutsche kurzzeitig entfernt werden und das anfallende Geschiebe wurde in einem Kübel gesammelt. Die Zeit wurde gestoppt, die aufgefangene Geschiebemenge gewogen und aus diesen Ergebnissen konnte die Geschiebezugabe in Gramm pro Sekunde errechnet werden.

Um die Geschiebeversuche vergleichbar zu machen, wurde bei jeder Variante die gleiche Geschiebemenge zugegeben. Um gute Ergebnisse zu erhalten, wurde ein Vorlauf durchgeführt. Während des Vorlaufes lagerte sich das Geschiebe im Hauptfluss bis zur Geschiebegasse ab. Die so vorbereitete Sohle des Hauptflusses bildet den Ausgangszustand für die eigentlichen Geschiebeversuche. Ohne Vorlauf hätte sich eine große Menge Geschiebe im Hauptfluss abgelagert, ohne in den Nebenarm zu gelangen. Durch die Vorlaufablagerungen wurden die Versuche besser vergleichbar, da das Geschiebe bereits zu Beginn des Versuches im Nebenarm abgelagert wurde. Die bewegliche Sohle des Hauptgerinnes wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit nach jedem Versuch wieder in den Ursprungszustand gebracht.

Durch die Schleppspannung wurden nicht nur der Basaltsand, sondern auch Teile der teilbeweglichen Flusssohle des Hauptgerinnes erodiert. Dieser Schotter wird auch in der Geschiebefalle abgelagert. Die Ablagerung im Nebenarm wurde sowohl durch Fotos dokumentiert, als auch gewogen. Aus der Differenz der Zugabemenge und der Ablagerung im Nebenarm wurde die Effizienz der einzelnen Varianten berechnet. Der Schotteranteil hat eine um den Faktor 10 größere Körnung als das verwendete Geschiebe, deshalb wurde er nicht als Geschiebe im eigentlichen Sinn betrachtet und eine Effizienz sowohl mit Schotter als auch ohne berechnet. Maßgebende war die Effizienz ohne Schotter. Die Effizienz war eine wichtige, aber nicht die einzige Entscheidungsgrundlage für die optimale Variante (siehe Kapitel 6).

Das dreißigjährige Hochwasser -  $HQ_{30}$  - wurde gewählt, um die Varianten zu vergleichen. Jedes Hochwasser hat unterschiedliche Geschiebefrachten und Durchflüsse. Das Dreißigjährige liegt im mittleren Bereich, sowohl bei der Geschiebefracht als auch beim Durchfluss, deshalb ist es als Vergleichsereignis gut zu gebrauchen.

Die Fließgeschwindigkeit wurde in vier Profilen gemessen und hinsichtlich ihrer Richtung und Größe analysiert. Dazu wurde ein Hydrometrischer Flügel und ein ACM Messgerät verwendet. Sowohl die Fließrichtung als auch die Geschwindigkeit waren entscheidende Faktoren für die Verbesserung der Varianten.

## 5.1 Variante 1 – Rechtwinkelige Anordnung der Geschiebegasse

Die erste Variante wurde nach den Plänen der Gunz ZT-GmbH angelegt. In der Tabelle 5-1 sind die wichtigsten Daten des Versuches aufgelistet.

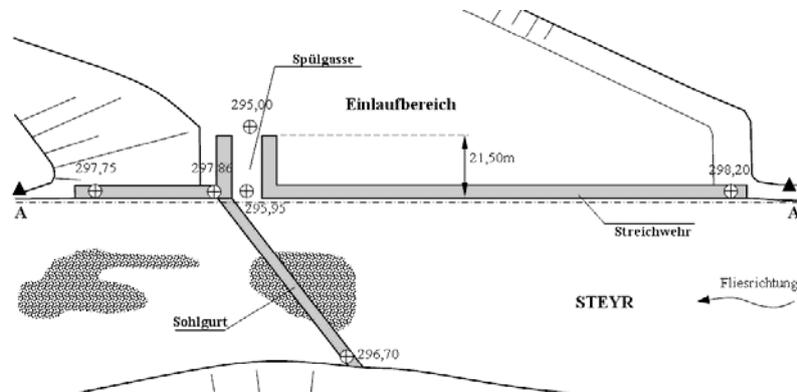


Abbildung 5-2 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle

Tabelle 5-1 Kurzreferenz der Variante 1

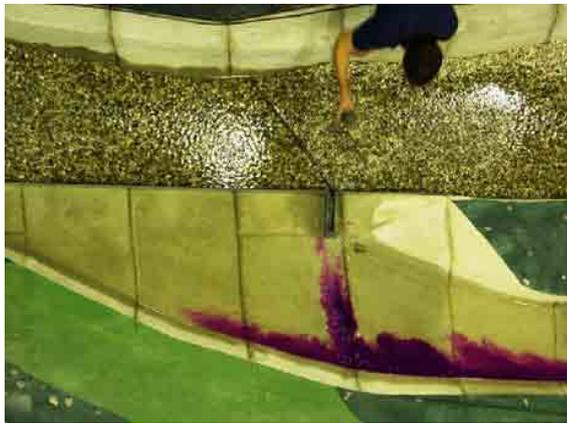
<p><b>Variante</b></p> <p><b>1</b></p> <p>HQ 30</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L: 225,00 m</p> <p>Streichwehrlote flussauf: 298,20 müA</p> <p>Streichwehrlote flussab: 297,75 müA</p> <p>Sohlschwelle vorhanden: ja</p> <p>Geschiebegassenbreite B: 3,0 m</p> <p>Winkel zur Streichwehrlinie <math>\alpha</math>: 90 °</p> <p>Kote des Einlaufes: 295,95 müA</p> <p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN: 680,0 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Durchfluss Modell QM: 62,0 l/s</p> <p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand <math>A_s</math>: 81,34 kg</p> <p>Ablagerungsm. Schotter <math>A_{st}</math>: 19,29 kg</p> <p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Erste Variante nach den Plänen der Gunz ZT-GmbH. Vorlauf des Versuches war etwas zu kurz deshalb ergab sich ein sehr schlechter Wirkungsgrad.</p>	<p><b>1</b></p> <p>Sandzugabemenge S: 150,0 kg</p> <p>Geschiebefracht Modell <math>k_s</math>: 38,83 g/s</p> <p>Effizienz inkl. Schotter <math>E_g</math>: 67 %</p> <p><b>Effizienz Sand <math>E_s</math>: 54 %</b></p> $E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \quad E_s = \frac{A_s}{S}$
---	--

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 1

Die Geschiebeeffizienz war mit 54% eher dürftig. Der Rest der 150 kg Geschiebezugabe lagerte sich im Hauptgerinne nach dem Streichwehr ab. Die Effizienz ist zu verbessern.

Das Geschiebeablagerungsbild (Abbildung 5-4) zeigt, dass Verbesserungen hinsichtlich der Ablagerungsposition möglich sind. Das Geschiebe wird bis Profil 13 transportiert.

Die Ausrichtung der Geschiebegasse rechtwinklig zum Streichwehr ist nicht ideal. Dadurch entsteht eine Gegenströmung im Nebenarm, die mit dem Farbversuch in Abbildung 5-3 gut zu erkennen ist.



**Abbildung 5-3 Farbversuch Variante 1 - Gegenströmung**

Das Streichwehr wurde durch eine PVC-Platte modelliert. Um leicht Veränderungen daran vornehmen zu können, wurde der Damm weggelassen. Dadurch entsteht ein freier Überfall, der hydraulische Verluste zur Folge hat, die in der Natur nicht vorkommen. Die Verluste sind jedoch nur geringfügig, wie der Vergleich der Varianten 7 und 12 zeigen wird. Das Streichwehr wurde bei steigendem Wasserstand zuerst im Bereich der Geschiebegasse überflossen und nicht am oberen Ende (flussauf). Die große Länge des Wehrs von 225,0 m würde einen großen Eingriff in den angrenzenden Auwald darstellen. Da die Himmlitzer Au auch ein Naherholungsziel ist, wäre ebenfalls ein kürzeres Streichwehr wünschenswert.



**Abbildung 5-4  
Geschiebeablagerungs-  
bild Variante 1**

### **Folgerungen aus Versuch 1**

- Die Geschiebefalle funktioniert! Das Geschiebe wird durch die Geschiebegasse und über das Streichwehr in den Nebenarm geleitet und dort gezielt abgelagert.
- Rechtwinkelige Anordnung der Geschiebegasse ist nicht ideal – Anschlusswinkel verändern.
- Das Streichwehr soll gleichmäßig überflossen werden – Höhenkoten entsprechend anpassen.
- Die Länge des Streichwehrs verkürzen, um den Zusammenhang zwischen Streichwehrlänge und Effizienz zu erkennen.



## Analyse der Ergebnisse zu Variante 2

Die Änderung der Geschiebegassenrichtung minimierte die Einlaufverluste in die Gasse sehr gut. Es waren kaum Ablagerungen im Hauptfluss, nach der Geschiebegasse, vorhanden. Die Effizienz liegt bei 86%, und stellt eines der besten Ergebnisse dar.

Die Ablagerung reicht wie bei Variante 1 bis zu Profil 13. In dieser Hinsicht war eine Optimierung nur durch Änderung des Winkels der Geschiebegasse nicht möglich. Die Ablagerungen unmittelbar nach dem Streichwehr verstopfen die Geschiebegasse. Dies hätte zur Folge, dass die Geschiebegasse nach jedem Hochwasserereignis geräumt werden müsste. Diese Kosten für die Räumung gilt es durch eine bessere Planung zu vermeiden.

Der Farbversuch zeigt eine Kehrströmung nach dem Überströmen des Streichwehrs und eine weitere im Bereich Profil 11.



Abbildung 5-6 Kehrströmung



Abbildung 5-7 Kehrströmung

Diese Kehrströmungen sind ein Grund für das Ende der Ablagerung bei Profil 13 und die Verstopfung der Geschiebegasse. Die Schleppspannung reicht nicht mehr aus, um das Geschiebe zu transportieren.

### Folgerungen aus Versuch 2

- Anordnung der Geschiebegasse wurde verbessert – Einströmverluste sind nun minimal.
- Das Streichwehr wird gleichmäßig überflossen.



Abbildung 5-8

Geschiebeablagerungs-  
bild Variante 2

- Der Weitertransport des Geschiebes im Nebenarm ist nicht zufriedenstellend, die Geschiebegasse soll frei bleiben.
- Verbessern der provisorischen Modellierung wie Abschrägen der Geschiebegasse und Ausbetonieren des Streichwehrs sollen die Strömungsverluste weiter minimieren und die Geschiebegasse frei halten.
- Zuvor soll noch untersucht werden, ob die Sohlschwelle für die Wirksamkeit notwendig ist.

### 5.3 Variante 3 – Schräge Geschiebegasse ohne Sohlschwelle

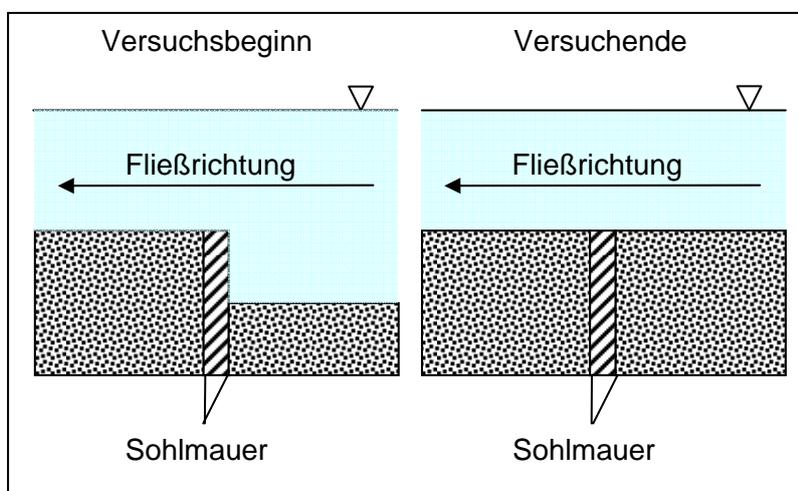
Bei der dritten Variante wurde auf die Sohlschwelle verzichtet. Der Versuch sollte aufzeigen ob eine Sohlschwelle für die Wirksamkeit der Geschiebefalle notwendig ist.

Tabelle 5-3 Kurzreferenz der Variante 3

<b>Variante</b>	<b>3</b>		
HQ 30			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	225,00 m		
Streichwehrrkote Flussauf:	298,00 müA		
Streichwehrrkote flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	nein		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m <sup>3</sup> /s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand $A_s$ :	121,55 kg	Effizienz inkl. Schotter $E_g$ :	112 %
Ablagerungsm. Schotter $A_{st}$ :	46,67 kg	<b>Effizienz Sand <math>E_s</math>:</b>	<b>81 %</b>
		$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S}$	$E_s = \frac{A_s}{S}$
<b>Bemerkungen</b>			
Versuch ohne Sohlschwelle. Aussagen über die Sohlstabilität in der Natur können nicht gemacht werden (in weiterer Folge wurde die Sohlschwelle deshalb wieder verwendet).			

### Analyse der Ergebnisse zu Variante 3

Der Versuch ohne Sohlschwelle zeigte bei einem Durchfluss von HQ30 kaum Einbußen in der Effizienz. Dies war durchaus erstaunlich, da das Geschiebe an der Fluss-Sohle transportiert wird und über diese Mauer in der Sohle in die Geschiebegasse gelenkt werden soll. Es zeigte sich jedoch, dass die Sohlmauer im Verlauf des Versuches mit Sohlmaterial aufgefüllt wurde. Folgende Abbildung zeigt einen Schnitt durch die Sohlmauer und das Sohlmaterial, um zu verdeutlichen, dass die Sohlmauer nur am Versuchsbeginn wirksam ist.



**Abbildung 5-9 Schnittdarstellung der Sohlmauer**

Somit ist die Strömung, die durch das Überströmen des Streichwehrs entsteht, maßgebend für die Effizienz.

Würde die Sohlmauer jedoch in Natur weggelassen werden, besteht die Gefahr, dass sich die Fluss-Sohle im Einlaufbereich der Geschiebegasse unkontrolliert eintieft. Dies würde zu Einlaufverlusten in die Gasse und somit zur Effizienzverringerng führen. Bei geringeren Abflüssen, wie z.B. HQ1, ist der Einfluss der Sohlschwelle wesentlich.

Da nicht vorhersehbare Änderungen der Sohle im Hauptfluss auftreten könnten, wurde die Sohlmauer für alle folgenden Versuche wieder verwendet.



**Abbildung 5-10**

**Geschiebeablagerungsbild Variante 3**

### Folgerungen aus Versuch 3

- Die Sohlmauer ist vor allem bei kleineren Ereignissen von Bedeutung für die Effizienz. Weiters wird die Sohle dadurch stabilisiert und gewährleistet eine dauerhafte Funktion der Geschiebefalle.

### 5.4 Variante 4 – Abgeschrägte Geschiebegasse

Die Modellierung des Streichwehrs und der Geschiebegasse wurden aus Gründen der Einfachheit von Umbaumaßnahmen nur mit PVC Platten modelliert. Die PVC Platten, welche die Geschiebegasse bilden, wurden an die Dammschräge des Streichwehrs angepasst.

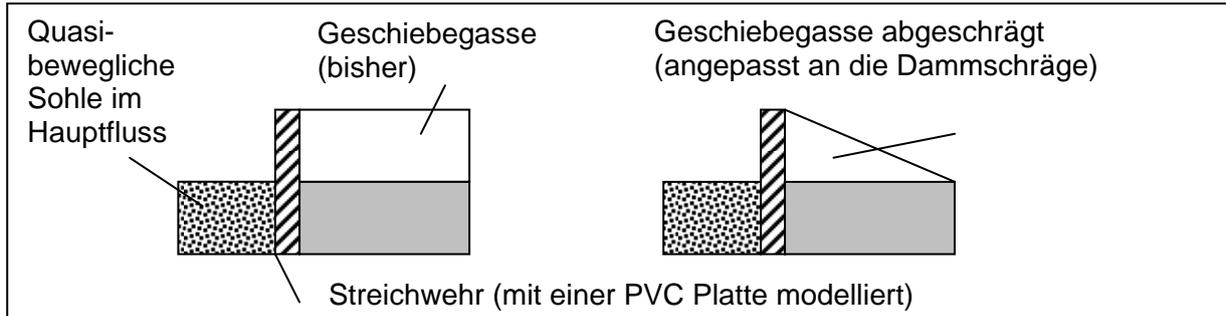


Abbildung 5-11 Schnittdarstellung der Geschiebegasse

Tabelle 5-4 Kurzreferenz der Variante 4

<b>Variante</b>	<b>4</b>		
HQ 30			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	225,00 m		
Streichwehrlänge Flussauf:	298,00 müA		
Streichwehrlänge flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	90 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m³/s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand $A_s$ :	110,46 kg	Effizienz inkl. Schotter $E_g$ :	101 %
Ablagerungsm. Schotter $A_{st}$ :	41,57 kg	<b>Effizienz Sand <math>E_s</math>:</b>	<b>74 %</b>
		$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S}$	$E_s = \frac{A_s}{S}$
<b>Bemerkungen</b>			
Geschiebegasse rechtwinkelig zum Streichwehr. Geschiebegasse verstopft sich. Pumpe läuft auf Automatik QM schwankt von 61 - 63 l/s.			

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 4

Die Abschrägung der Geschiebegasse ergab kaum merkliche Änderungen der Strömungsverhältnisse im Einlaufbereich des Nebenarmes. Die Effizienz lag mit 73 % jedoch deutlich höher als bei Variante 1, welche auch rechtwinkelig, aber ohne Abschrägung der Geschiebegasse war. Somit wurde der Abtransport des Geschiebes im Nebenarm verbessert.

Die rechwinkelige Anordnung der Geschiebegasse ergab erwartungsgemäß mehr Strömungswiderstand beim Einströmen in den Nebenarm. Dadurch verstopfte sich die Geschiebegasse stark und behinderte den Geschiebetransport, sodass sich im Hauptgerinne Ablagerungen ausbildeten.

### Folgerungen aus Versuch 4

- Dieser Versuch zeigt, dass die Überströmungs- und Einströmverluste deutlichen Einfluss auf die Effizienz haben. Die Effizienz der baugleichen Variante 1 ohne abgeschrägte Geschiebegasse war um 20 % geringer.
- Rechtwinkelige Anordnung der Geschiebegasse ist nicht ideal – Anschlusswinkel wieder verändern.
- Die Strömungsverhältnisse im Nebenarm müssen weiter optimiert werden.
- Bereits bei geringen Änderungen des Versuchsaufbaues, wie dieser Abschrägung der Geschiebegasse, zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der Effizienz. Für alle weiteren Versuche bedeutet das, dass bereits kleine Änderungen große Auswirkungen haben können. Deshalb müssen Änderungen immer Schritt für Schritt untersucht werden, um die Zusammenhänge zwischen der Änderung und der Effizienz bzw. den Strömungsverlusten zu erkennen.



Abbildung 5-12  
Geschiebeablagereungsbild Variante 4

## 5.5 Variante 5 – Abgeschrägte Geschiebegasse in Überströmungsrichtung

Die Geschiebegasse wurde wieder der Überströmungsrichtung angepasst um die Strömungsverhältnisse im Nebenarm zu verbessern und den Abtransport des Geschiebes zu fördern.

Tabelle 5-5 Kurzreferenz der Variante 5

<b>Variante</b>	<b>5</b>		
<b>HQ 30</b>			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	225,00 m		
Streichwehrlage Flussauf:	298,00 müA		
Streichwehrlage flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m³/s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand As:	114,61 kg	Effizienz inkl. Schotter Eg:	96 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	30,10 kg	<b>Effizienz Sand Es:</b>	<b>76 %</b>
		$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S}$	$E_s = \frac{A_s}{S}$
<b>Bemerkungen</b>			
Geschiebegasse abgeschrägt (entspricht der Dammschräge). Austrag von Geschiebe zurück in den Hauptfluss am unteren Ende des Streichwehrs. Geschiebegasse etwas mehr verstopft als bei Variante 4.			

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 5

Im Vergleich mit der Variante 2 war die Effizienz um 10 % geringer. Ein Mangel an der Ausführung des Streichwehrs war zu beobachten: am flussab liegenden Ende des Streichwehrs wurde Geschiebe aus dem Nebenarm wieder in den Hauptarm gespült.



Abbildung 5-13 Geschiebeausstrag

Die Abschrägung verbesserte die Strömungsverhältnisse im flussab anschließenden Bereich nach der Geschiebegasse deutlich. Doch muss gegen den Austrag etwas unternommen werden.

Auch das bekannte Problem der Verstopfung der Geschiebegasse trat wieder auf. Folglich sind die Strömungsverhältnisse zum Spülen der Geschiebegasse und des Einlaufbereiches in den Nebenarm noch verbesserungswürdig.



Abbildung 5-14 Stark verstopfte Geschiebegasse



Abbildung 5-15  
Geschiebeablagerungsbild Variante 5

## Folgerungen aus Versuch 5

- Anordnung der Geschiebegasse wurde verbessert – Einströmverluste sind nun minimal.

- Der Austrag in den Hauptfluss zurück muss verhindert werden. Deshalb bildet den nächsten Untersuchungsschwerpunkt das Streichwehr. Die Länge des Streichwehrs mit über 200m erscheint sehr lang. Die Länge des Streichwehrs wird in den nächsten Versuchen verkürzt.

## 5.6 Variante 6 – Streichwehrverkürzung auf 175 m Länge

Wie Variante 3 (ohne Sohlmauer) zeigte, ist die Strömung über das Streichwehr maßgebend für die Effizienz. Deshalb wurde Variante 6 mit verkürztem Streichwehr ausgeführt, um zu untersuchen, wie lang das Streichwehr sein muss, um noch eine hohe Effizienz zu erreichen. Durch das kürzere Streichwehr werden auch Baukosten eingespart. Das Streichwehr würde im Naturmaßstab um 50 m verkürzt werden.

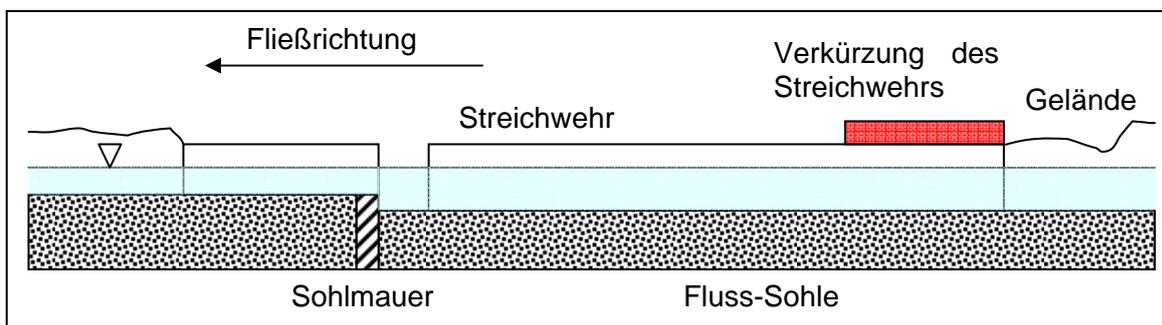


Abbildung 5-16 Schematische Ansicht des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle. Verkürzung des Streichwehrs.

Tabelle 5-6 Kurzreferenz der Variante 6

<b>Variante</b>	<b>6</b>		
HQ 30			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	175,00 m		
Streichwehrlage flussauf:	297,94 müA		
Streichwehrlage flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m <sup>3</sup> /s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand As:	133,79 kg	Effizienz inkl. Schotter Eg:	105 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	23,69 kg	<b>Effizienz Sand Es:</b>	<b>89 %</b>
$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \qquad E_s = \frac{A_s}{S}$			
<b>Bemerkungen</b>			
Durch die Verkürzung des Streichwehrs weniger Geschiebetransport über die Streichwehroberkante, jedoch mehr Transport durch die Geschiebegasse - keine Verschlechterung der Effizienz!			



## Analyse der Ergebnisse zu Variante 6

Im Vergleich mit den vorangegangenen Varianten konnte weniger Geschiebetransport direkt über die Oberkante des Streichwehrs beobachtet werden. Überraschend war jedoch, dass die Effizienz mit 89 % unvermindert hoch war. Das heißt, dass mehr Geschiebe durch die Geschiebegasse transportiert wurde. Die Länge des Streichwehrs ist somit nicht direkt proportional zur Effizienz.

Ein weiteres, jedoch bereits bekanntes Problem, ist die Verstopfung der Geschiebegasse. Wie bei Variante 2 bereits bemerkt wurde, ist eine Verkleinerung des hydraulischen Radius notwendig.



**Abbildung 5-17 Verstopfte Geschiebegasse**

Die Sohlmauer wurde im Vergleich zu anderen Varianten nicht ganz aufgefüllt, sondern ragte am Ende des Versuches noch über die Fluss-Sohle hinaus.

### Folgerungen aus Versuch 6

- Im Vergleich mit Variante 5, deren Streichwehr länger war, war die Geschiebegasse jetzt weniger verstopft. Folglich ist die Verkürzung des Streichwehrs der Spülung der Geschiebegasse dienlich.
- Der Austrag zurück in den Hauptfluss soll als nächstes verhindert werden.



**Abbildung 5-18  
Geschiebeablagerungsbild Variante 6**

## 5.7 Variante 7 – Streichwehrverkürzung auf 144 m Länge

Der Austrag von der Geschiebefalle in den Hauptfluss zurück soll unbedingt verhindert werden. Darum wurde in der Variante 7 das Streichwehr unterhalb der Geschiebegasse verkürzt. Dazu wurde eine PCV-Platte auf die Streichwehroberkante angebracht. Die Höhe der Oberkante entsprach der Höhe der Geländeoberfläche. D.h. es wurde so modelliert, als ob das Streichwehr mit der Geschiebegasse enden würde – der Raum hinter dem Streichwehr wurde jedoch nicht verfüllt, um weitere Umbauarbeiten leicht durchführen zu können.

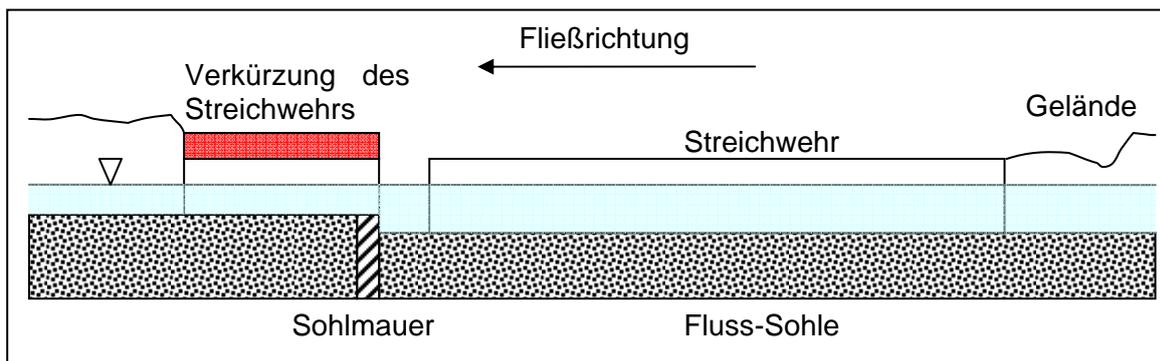


Abbildung 5-19 Verkürzung des Streichwehres unterhalb der Geschiebegasse.

Tabelle 5-7 Kurzreferenz der Variante 7

Variante		7	
HQ 30			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	144,00	m	
Streichwehrlage flussauf:	297,91	müA	
Streichwehrlage flussab:	297,75	müA	
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0	m	
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51	°	
Kote des Einlaufes:	296,00	müA	
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0	m <sup>3</sup> /s	Sandzugabemenge S: 150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0	l/s	Geschiebefracht Modell ks: 38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand $A_s$ :	128,4	kg	Effizienz inkl. Schotter $E_g$ : 109 %
Ablagerungsm. Schotter $A_{st}$ :	34,77	kg	<b>Effizienz Sand <math>E_s</math>:</b> 86 %
$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \quad E_s = \frac{A_s}{S}$			
<b>Bemerkungen</b>			
Kein Austrag am unteren Ende des Streichwehres. Geschiebeg. am Ende des Versuches verstopft. Viel Geschiebebewegung über das Streichwehr. Die letzten 25 kg Sandzugabe waren nicht trocken.			



## Analyse der Ergebnisse zu Variante 7

Der Austrag aus der Geschiebefalle wurde durch die Erhöhung des Streichwehrs nach der Geschiebegasse erfolgreich verhindert. Die Effizienz ist mit 86 % um zehn Prozent größer als bei der Vorgängervariante 5.

Im Geschiebeablagerungsbild zeigte sich ein markanter Unterschied zu anderen Varianten. Am meisten Geschiebe wurde im Einlaufbereich – Profil 16 - 21 – abgelagert.

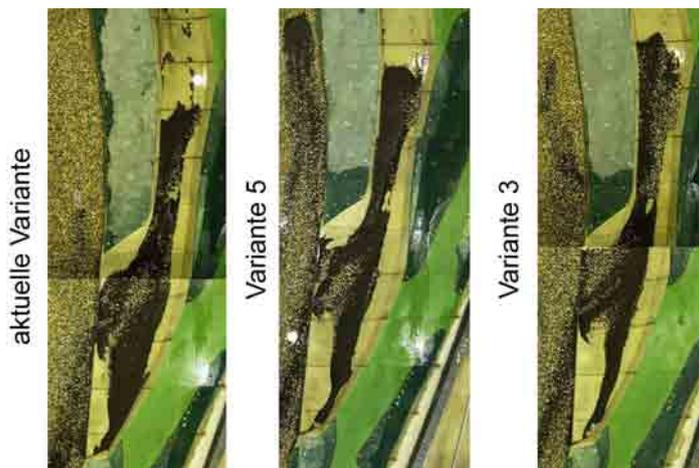


Abbildung 5-20 Vergleich der Geschiebeablagerungen

Die Verkürzung des Streichwehrs stellte ein Fließhindernis dar, das den Weitertransport des Geschiebes hemmte und den Raum unmittelbar nach der Geschiebegasse verlegte. Die Geschiebegasse verstopfte sich im Laufe des Versuches komplett, weil das Geschiebe nicht weiter transportiert wurde. Ein unerwünschter Nebeneffekt der in Natur zu erhöhten Wartungskosten führen würde.



Abbildung 5-22 Stark  
Verstopfte Geschiebegasse

### Folgerungen aus Versuch 7

- Der Austrag in den Hauptfluss zurück wird durch die Verkürzung vermieden.
- Die Strömungsverhältnisse im Nebenarm sind eher ungünstig, da sich die Geschiebegasse verstopft.



Abbildung 5-21  
Geschiebeablagerungsbild  
Variante 7

- Weitere Untersuchungen von Änderungen am Streichwehr sowie der Umgestaltung des Nebenarmes sind erforderlich.

## 5.8 Variante 8 – Streichwehrverkürzung auf 94 m Länge

Der Geschiebeaustrag aus dem Nebenarm in den Hauptfluss wurde durch die Erhöhung des Streichwehrs unterhalb der Geschiebegasse verhindert. Nun soll der genaue Zusammenhang zwischen Streichwehrlänge und Effizienz untersucht werden. Die Variante 8 wird mit um 50 m (in Natur) verkürztem und erhöhtem Streichwehr (entspricht der Geländehöhe) durchgeführt. Somit ist diese Variante die Kombination der Varianten 6 und 7.

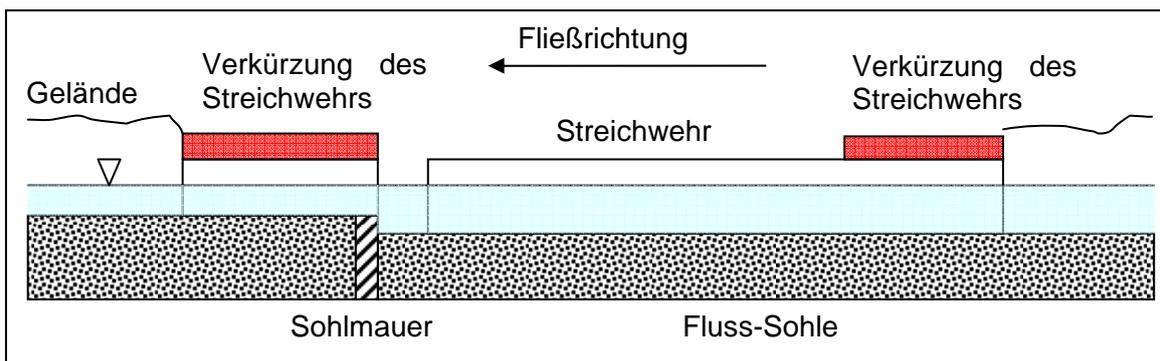


Abbildung 5-23 Schematische Ansicht des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle. Erhöhung und Verkürzung des Streichwehrs.

Tabelle 5-8 Kurzreferenz der Variante 8

<b>Variante</b>	<b>8</b>		
<b>HQ 30</b>			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	94,00 m		
Streichwehrlage flussauf:	297,85 müA		
Streichwehrlage flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m <sup>3</sup> /s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand As:	122,04 kg	Effizienz inkl. Schotter Eg:	97 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	23,57 kg	<b>Effizienz Sand Es:</b>	<b>81 %</b>
		$E_s = \frac{A_s + A_{st}}{S}$	$E_s = \frac{A_s}{S}$
<b>Bemerkungen</b>	Streichwehr flussauf und flussab verkürzt - keine Verringerung der Effizienz. Vorlaufsandzugabe ca. 60 kg. Kein Austrag am unteren Ende des Streichwehrs.		

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 8

Der Zusammenhang Streichwehrlänge und Effizienz ist nicht direkt proportional. Die Verkürzung ergab keine Einbußen in der Effizienz. Die Effizienz betrug 81 % und liegt somit im angestrebten Bereich.

Das Geschiebeablagerungsbild zeigt weniger Geschiebe direkt nach dem Streichwehr. Trotz verkürztem Streichwehr wird das Geschiebe bis Profil 13 weiter transportiert. Im Bereich unmittelbar nach der Geschiebegasse wurde am meisten Geschiebe abgelagert.



**Abbildung 5-24 Einlaufbereich Variante 8**

Die Geschiebegasse bleibt jedoch frei, d.h. in Natur sind keine Wartungsarbeiten nach einem Hochwasser erforderlich. Die Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit steigt dadurch erheblich.



**Abbildung 5-25 Freie Geschiebegasse Variante 8**

Ob ein direkter Zusammenhang zwischen Streichwehrlänge und Wartungsaufwand besteht, lässt sich aber aus einem Versuch nicht ableiten.



**Abbildung 5-26  
Geschiebeablagerungsbild Variante 8**

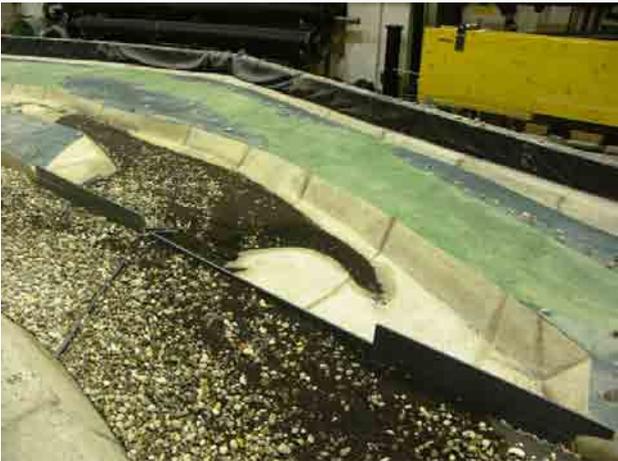
## Folgerungen aus Versuch 8

- Streichwehrlänge und Effizienz sind nicht direkt proportional. Die Verkürzung des Streichwehrs auf weniger als die Hälfte der ersten Variante ergibt keine merkliche Änderung der Effizienz.
- Die Strömungsverhältnisse im Nebenarm sind günstig. Durch die quasi Einengung des Fließquerschnittes über das Streichwehr wird eine Spülung des Einlaufbereiches erzielt. Die Geschiebegasse bleibt frei.

## 5.9 Variante 9 – Rechtwinkelige Geschiebegasse und Streichwehrlänge 94 m

Dieser Versuch sollte feststellen, ob der Winkel zwischen der Geschiebegasse und dem Streichwehr, auch bei verkürztem Streichwehr, von entscheidender Bedeutung für die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit ist. Die Geschiebegasse wurde rechtwinkelig zum Streichwehr angeordnet. Sonst wurden keine Änderungen am Versuchsaufbau der Variante 8 durchgeführt.

Tabelle 5-9 Kurzreferenz der Variante 9

<p><b>Variante</b>                      <b>9</b></p> <p>HQ 30</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L:                      94,00 m</p> <p>Streichwehrlänge flussauf:                      297,85 müA</p> <p>Streichwehrlänge flussab:                      297,75 müA</p> <p>Sohlschwelle vorhanden:                      ja</p> <p>Geschiebegassenbreite B:                      3,0 m</p> <p>Winkel zur Streichwehrlinie <math>\alpha</math>:                      90 °</p> <p>Kote des Einlaufes:                      296,00 müA</p> <p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN:                      680,0 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Durchfluss Modell QM:                      62,0 l/s</p> <p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand As:                      120,37 kg</p> <p>Ablagerungsm. Schotter Ast:                      32,07 kg</p> <p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Geschiebegasse rechtwinkelig zum Streichwehr. Vorlaufsandzugabe ca. 60 kg. Geschiebegasse verstopft sich. Streichwehr flussauf und flussab verkürzt - keine Verringerung der Effizienz.</p>	 <p>Sandzugabemenge S:                      150,0 kg</p> <p>Geschiebefracht Modell ks:                      38,83 g/s</p> <p>Effizienz inkl. Schotter Eg:                      102 %</p> <p><b>Effizienz Sand Es:                      80 %</b></p> $E_g = \frac{A_s + A_{sr}}{S} \qquad E_s = \frac{A_s}{S}$
--	--

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 9

Bei verkürztem Streichwehr zeigte sich eine weniger starke Abhängigkeit der Effizienz von der Ausrichtung der Geschiebegasse, als bei den Versuchen 1 bis 5 mit längerem Streichwehr. Die Effizienz war nur um 1% geringer als bei der Vorgängervariante 8.

Jedoch waren die Strömungsverhältnisse in der Geschiebegasse ungünstig, sodass diese komplett verstopft wurde.



**Abbildung 5-27 Verstopfte Geschiebegasse Variante 9**

Dies ist zu verhindern, da erhebliche Wartungskosten entstehen würden. Also ist der Winkel zwischen Streichwehr und Geschiebegasse von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit.

### Folgerungen aus Versuch 9

- Die Spülung des Einlaufbereiches wird nur in Kombination des Winkels der Geschiebegasse in Überströmungsrichtung und kurzem Streichwehr erreicht.
- Mit dieser Erkenntnis kann nun der Weitertransport des Geschiebes im Nebenarm untersucht werden. Der Grundriss des Einlaufbereiches im Nebenarm soll optimiert werden.



**Abbildung 5-28  
Geschiebeablagerungsbild Variante 9**

## 5.10 Variante 10 – Änderung des Einlaufbereiches 1

Der Weitertransport des Geschiebes war in allen Varianten noch ungenügend, d.h. die Schleppspannung reichte nach dem Überströmen des Streichwehrs nicht mehr aus um das Geschiebe zu transportieren.

Entsprechend der Formel (5-1) müsste entweder das Gefälle  $I$  oder der hydraulische Radius  $R$  geändert werden, um eine höhere Schleppspannung zu erreichen.

$$\tau = I \cdot g \cdot R \cdot \rho$$

Formel (5-1)



Abbildung 5-29 Farbversuch Variante 10

Das Gefälle des Nebenarmes kann nicht vergrößert werden. Somit kann nur der hydraulische Radius  $R$  vergrößert werden. Um  $R$  zu vergrößern und damit die Schleppspannung zu erhöhen, muss der Nebenarm schmaler gestaltet werden. In der Abbildung 5-30) ist der neue Grundriss neue Grundriss des Einlaufbereiches mit roten Linien dargestellt. Im Modell wurden diese Änderungen mit Doka-Holzplatten und PVC-Platten modelliert. Der Raum zwischen den Platten und der Betonfläche des Nebenarmes wurde mit Hohllochziegeln und Schotter verfüllt.

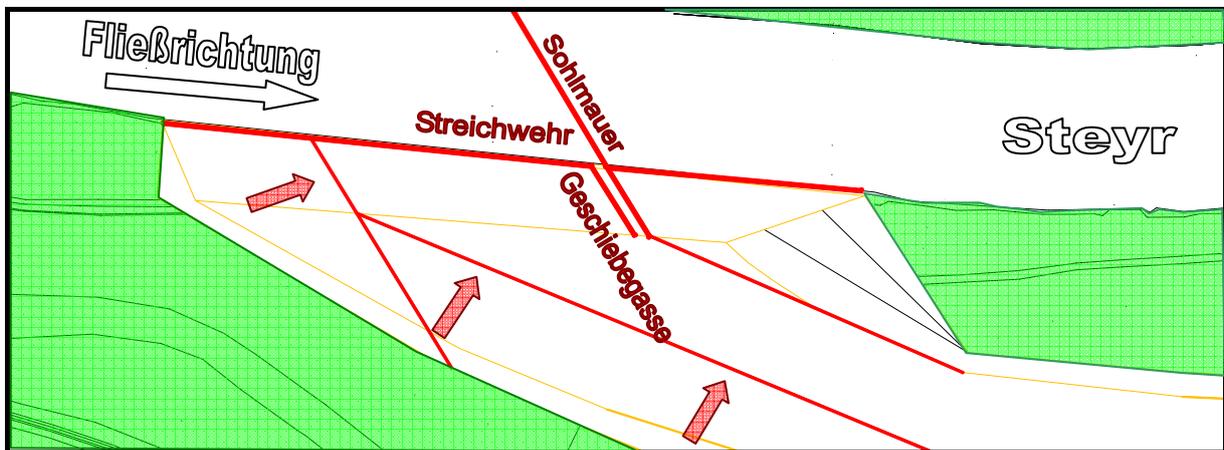


Abbildung 5-30 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich.

Tabelle 5-10 Kurzreferenz der Variante 10

<p><b>Variante</b></p> <p>HQ 30</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L: 94,00 m                  Streichwehrlänge flussauf: 297,85 müA                  Streichwehrlänge flussab: 297,75 müA                  Sohlschwelle vorhanden: ja                  Geschiebegassenbreite B: 3,0 m                  Winkel zur Streichwehrlinie <math>\alpha</math>: 51 °                  Kote des Einlaufes: 296,00 müA</p> <p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN: 680,0 m<sup>3</sup>/s                  Durchfluss Modell QM: 62,0 l/s</p> <p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand <math>A_s</math>: 118,91 kg                  Ablagerungsm. Schotter <math>A_{st}</math>: 20,16 kg</p> <p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Verkleinerung des Nebenarmes soll Geschiebeablagerung weiter flussab fördern.                  Vorlaufsandzugabe ca. 60 kg. Geschiebegasse verstopft sich - nicht optimal!</p>	<p><b>10</b></p>	
<p><b>Hydraulik</b></p> <p>Sandzugabemenge S: 150,0 kg                  Geschiebefracht Modell ks: 38,83 g/s</p>		
<p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Effizienz inkl. Schotter <math>E_g</math>: 93 %  <b>Effizienz Sand <math>E_s</math>: 79 %</b></p>		
$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \qquad E_s = \frac{A_s}{S}$		

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 10

Trotz der Einengung des Nebenarmes wurde das Geschiebe nur bis Profil 13 transportiert. Dies kann zwei Gründe haben:

- die Schleppkraft wurde durch die Einengung nicht ausreichend erhöht.
- die Grundrissform war ungünstig, denn die Ablagerung des Geschiebes im Einlaufbereich zeigte deutlich das Vorhandensein einer Kehrströmung an.



Abbildung 5-31 Einlaufbereich Variante 10 – Kehrströmung

Abbildung 5-32 Verstopfte Geschiebegasse Variante 10

Die Verstopfte Geschiebegasse zeigte ungünstige Strömungsverhältnisse im Einlaufbereich an.

Die Effizienz nahm um einige Prozentpunkte auf 79 % ab. Dies ist auf die verstopfte Geschiebegasse zurückzuführen, was die Strömungsverhältnisse weiter verschlechterte.

### Folgerungen aus Versuch 10

- Die Wahl der Grundrissform war ungünstig. Der Einlaufbereich wird schlecht gespült. Als erster Schritt soll die Kehrströmung im Einlaufbereich verhindert werden.



Abbildung 5-33

Geschiebeablagerungsbild Variante 10

## 5.11 Variante 11 – Änderung des Einlaufbereiches 2

Die neue Grundrissform wurde aufgrund der schlechten Strömungsverhältnisse der Vorgängervariante ohne Knick ausgeführt. Weiters wurde das Streichwehr wieder verlängert, um mehr Wasser in den Nebenarm zu leiten und somit mehr Spüleffekt zu erreichen.

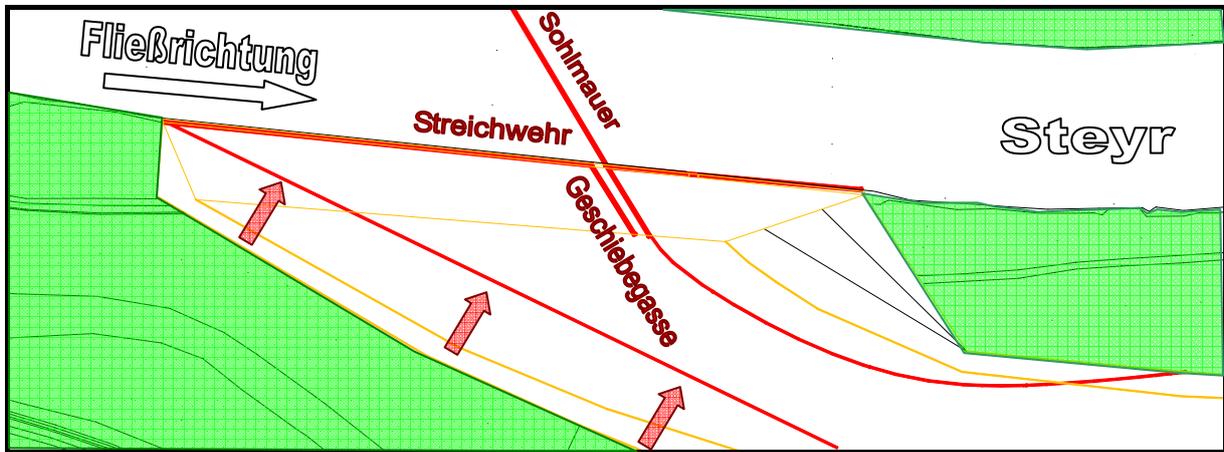


Abbildung 5-34 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich.

Tabelle 5-11 Kurzreferenz der Variante 11

<p><b>Variante</b>                      <b>11</b></p> <p>HQ 30</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L:                      144,00 m</p> <p>Streichwehrlänge flussauf:                      297,95 müA</p> <p>Streichwehrlänge flussab:                      297,75 müA</p> <p>Sohlschwelle vorhanden:                      ja</p> <p>Geschiebegassenbreite B:                      3,0 m</p> <p>Winkel zur Streichwehrlinie <math>\alpha</math>:                      51 °</p> <p>Kote des Einlaufes:                      296,00 müA</p> <p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN:                      680,0 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Durchfluss Modell QM:                      62,0 l/s</p> <p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand <math>A_s</math>:                      140,96 kg</p> <p>Ablagerungsm. Schotter <math>A_{st}</math>:                      38,06 kg</p> <p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Hohe Effizienz. Große Kolkbildung im Hauptfluss bei Profil 21-24 (flussauf vor dem Streichwehr). Geschiebegasse verstopft sich - nicht optimal.</p>	
<p>Sandzugabemenge S:                      150,0 kg</p> <p>Geschiebefracht Modell ks:                      38,83 g/s</p> <p>Effizienz inkl. Schotter <math>E_g</math>:                      119 %</p> <p><b>Effizienz Sand <math>E_s</math>:</b>                      <b>94 %</b></p>	$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \qquad E_s = \frac{A_s}{S}$

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 11

Die neue Grundrissform erwies sich als sehr effektiv, da im Hauptarm ein Kolk entstand. Diese Eintiefung ist in der Natur nicht kontrollierbar, und es ist nicht vorhersehbar wie sich diese im Verlauf der Zeit weiterentwickelt. Die Effizienz wäre mit 94% das beste erreichte Resultat, aber durch den Kolk ist diese Variante zu riskant, um umgesetzt zu werden.



Kolkbildung

Abbildung 5-35 Kolkbildung bei Profil 22 – Variante 11

Die Geschiebegasse ist vollständig verstopft. Dies würde in Natur zu erheblichen Wartungskosten führen.



Abbildung 5-36 und 5-37 Komplette Verstopfung der Geschiebegasse und Verlandung des Streichwehrs



Abbildung 5-38

Geschiebeablagerungsbild Variante 11

## Folgerungen aus Versuch 11

- Da weder diese, noch die vorangegangene Variante den gewünschten Erfolg brachten, war es zweckmäßig, einen Schritt zurück zu machen und die provisorischen Modellierungen zu verbessern. Das Streichwehr war bisher nur durch eine PVC Platte modelliert. Das Wasser strömte in einem freien Überfall in den Nebenarm. Nun soll das Streichwehr betoniert werden.

## 5.12 Variante 12 – Streichwehr aus Beton

Um Umbauarbeiten einfach zu machen wurde bei allen bisherigen Versuchen das Streichwehr ohne Dammschräge modelliert. In dieser Variante wurde die Dammschräge mit Beton hergestellt. Die Strömungsverluste beim Überströmen des Wehrs werden damit reduziert und entsprechen mehr den projektierten Naturverhältnissen. In Abbildung 5-39) ist die Betonfläche im Grundriss rot dargestellt.

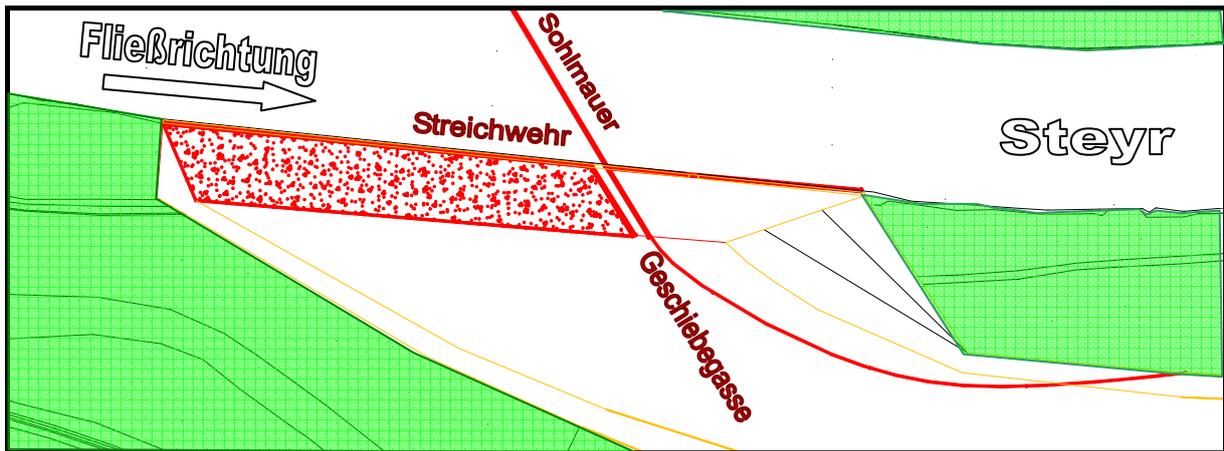
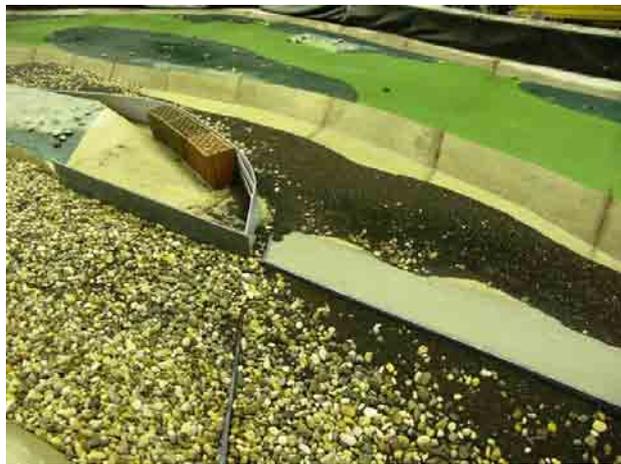


Abbildung 5-39 Schematischer Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm.

Tabelle 5-12 Kurzreferenz der Variante 12

<b>Variante</b>	<b>12</b>		
<b>HQ 30</b>			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	144,00 m		
Streichwehkote flussauf:	297,95 müA		
Streichwehkote flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m³/s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand			
As:	130,14 kg	Effizienz inkl. Schotter Eg:	108 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	31,43 kg	<b>Effizienz Sand Es:</b>	<b>87 %</b>
		$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S}$	$E_s = \frac{A_s}{S}$
<b>Bemerkungen</b>			
Dammschräge in Beton ausgeführt. Weniger Verluste beim Überströmen des Streichwehrs - schießender Abfluss. Das gesamte Flussbett verlagert sich Richtung Streichwehr. Geschiebegasse bleibt frei!			



## Analyse der Ergebnisse zu Variante 12

Die Verringerung der Strömungsverluste beim Überströmen des Wehrs brachten große Umlagerungen und Kolkbildung im Hauptfluss mit sich. Die Schleppkraft wurde so groß, dass sich die Sohle im Bereich vor dem Streichwehr (ProfilNr 21-23) bis zu 10 cm eintiefte. Dies entspricht 3 m in der Natur. In nachfolgender Abb. (5-52) ist der Kolk rot dargestellt. Die Holzspannplatte des Profils 22 ist sichtbar, diese stellt den Ursprungszustand dar.

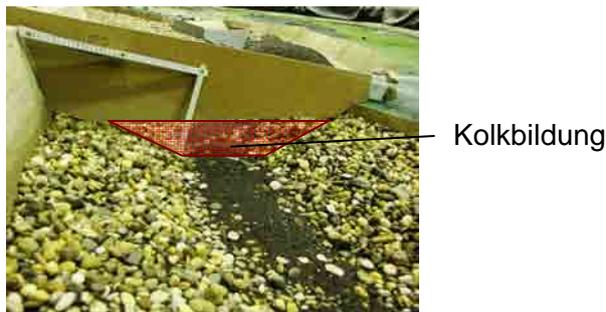


Abbildung 5-40 Kolkbildung bei Profil 22 - Variante 12

Umlagerungen der Flusssohle im Bereich des Streichwehrs verstopften die Geschiebegasse.



Abbildung 5-41 Umlagerung der Flusssohle

Abbildung 5-42 Geschiebegasse Variante 12

### Folgerungen aus Versuch 12

- Der Abfluss über das Streichwehr erfolgt nun schießend und ist kein freier Überfall mehr, wie bei allen vorangegangenen Varianten.
- Abschließend ist zu bemerken, dass die Strömungskräfte durch die ungenaue aber zweckmäßige und einfache Modellierung vermindert wurden. Dies hat jedoch keine merkliche Auswirkung auf die Effizienz, die bei diesem Versuch bei 86% lag.
- Die unkontrollierte Eintiefung muss vermieden werden, da in der Praxis das Streichwehr unterspült werden könnte, was



Abbildung 5-43  
Geschiebeablagerungs-  
bild Variante 12

Reparatur- und Instandhaltungskosten nach sich ziehen würde. Dies wirkt sich schlecht auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme aus und ist zu vermeiden.

### 5.13 Variante 13 – Änderung des Einlaufbereiches 3

Um die Strömungskräfte und damit Auskolkungen im Hauptfluss zu reduzieren, aber gleichzeitig die Geschiebegasse frei zu halten, wurde ein alternativer Grundriss entwickelt.

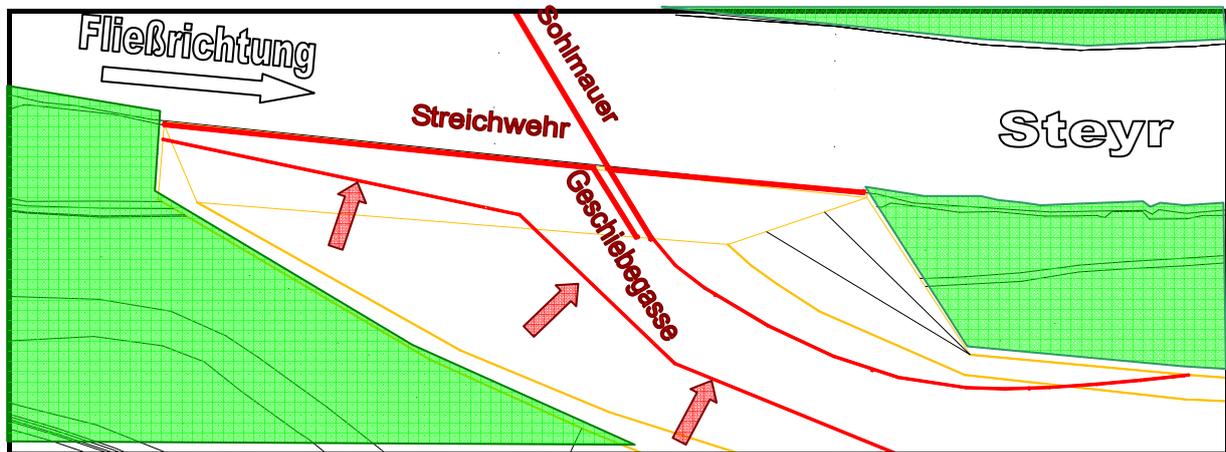


Abbildung 5-44 Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich.

Tabelle 5-13 Kurzreferenz der Variante 13

<p><b>Variante</b>                      <b>13</b></p> <p>HQ 30</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L:                      144,00 m</p> <p>Streichwehrlänge flussauf:                      297,95 müA</p> <p>Streichwehrlänge flussab:                      297,75 müA</p> <p>Sohlschwelle vorhanden:                      ja</p> <p>Geschiebegassenbreite B:                      3,0 m</p> <p>Winkel zur Streichwehrlinie <math>\alpha</math>:                      51 °</p> <p>Kote des Einlaufes:                      296,00 müA</p> <p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN:                      680,0 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Durchfluss Modell QM:                      62,0 l/s</p> <p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand As:                      127,6 kg</p> <p>Ablagerungsm. Schotter Ast:                      14,39 kg</p> <p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Durch die starke Einengung entsteht ein Wechselsprung - starker Angriff der Böschung und der Sohle. Ablagerung wird flussab verschoben. Geschiebegasse bleibt frei!</p>	
<p>Sandzugabemenge S:                      150,0 kg</p> <p>Geschiebefracht Modell ks:                      38,83 g/s</p> <p>Effizienz inkl. Schotter Eg:                      95 %</p> <p><b>Effizienz Sand Es:                      85 %</b></p>	

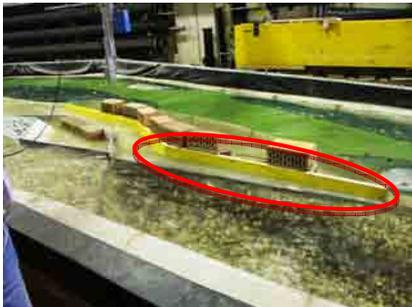
## Analyse der Ergebnisse zu Variante 13

Diese Grundrissform lieferte gute Ergebnisse. Die Effizienz betrug 85%.

Das Streichwehr wird schießend überströmt, der Abfluss wechselt durch die starke Querschnittsverengung nach dem Streichwehrs in einem ausgeprägten Wechselsprung ins Strömen. Da die Sohle des Nebenarmes mit Beton modelliert wurde, können in diesem Bereich keine Aussagen über die Größe der Erosionskräfte gemacht werden.

In der Praxis wäre der Einlaufbereich von der Geschiebegasse bis Profil Nr. 18 hart zu verbauen, um die Kräfte des Wechselsprunges aufnehmen zu können. Eintiefungen und Erosionen am Flusssufer würden dadurch verhindert werden.

An der Verengung entlang des Streichwehrs wurde die Strömungsgeschwindigkeit stark vermindert. Es wurde sogar Geschiebe entlang der Verengung abgelagert. In diesem Bereich trägt der Abfluss nicht zum Geschiebetransport bei. Die Verengung entlang des Streichwehrs ist also ein Strömungswiderstand, der keinen Vorteil bringt.



**Abbildung 5-45 Ansicht Variante 13**  
**Abbildung 5-46 Geschiebegasse Variante 13**

Die Geschiebegasse bleibt frei. Die Abbildung oben zeigt ein Foto der Geschiebegasse nach dem Versuch. Die Einengung des Einlaufbereiches bewirkte eine Erhöhung der Schleppspannung  $\tau$ . Das Geschiebe wird bis Profil Nr. 16 weiter transportiert. Somit bleibt der Raum unmittelbar nach der Geschiebegasse frei.



**Abbildung 5-47**  
**Geschiebeablagerungs-**  
**bild Variante13**

### 5.13.1 Variante 13 – Beaufschlagung mit HQ1

Der Grundriss der Variante 13 brachte gute Erfolge bei einem dreißigjährigen Hochwasser. Wie die Funktionalität bei einem kleineren Ereignis ist, wurde in diesem Versuch untersucht.

Der Durchfluss des jährlich wiederkehrenden Hochwassers HQ1 beträgt in der Natur 270 m³/s und im Modell 25 l/s. Die Sandzugabemenge wurde nicht verändert. Die Geschiebefracht ks beträgt bei einem HQ1 10,3 g/s. somit änderte sich die Versuchsdauer von etwas über eine Stunde auf fünf Stunden.

Tabelle 5-14 Kurzreferenz der Variante 13 HQ1

<b>Variante</b>	<b>13</b>		
<p>HQ 1</p> <p><b>Geometrie</b></p> <p>Streichwehrlänge L: 144,00 m</p> <p>Streichwehrlänge flussauf: 297,95 müA</p> <p>Streichwehrlänge flussab: 297,75 müA</p> <p>Sohlschwelle vorhanden: ja</p> <p>Geschiebegassenbreite B: 3,0 m</p> <p>Winkel zur Streichwehrlinie α: 51 °</p> <p>Kote des Einlaufes: 296,00 müA</p>			
<p><b>Hydraulik</b></p> <p>Durchfluss Natur QN: 270,0 m³/s</p> <p>Durchfluss Modell QM: 25,0 l/s</p>		<p>Sandzugabemenge S: 150,0 kg</p> <p>Geschiebefracht Modell ks: 10,3 g/s</p>	
<p><b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b></p> <p>Ablagerungsmasse Sand As: 95,53 kg</p> <p>Ablagerungsm. Schotter Ast: 0,33 kg</p>		<p>Effizienz inkl. Schotter Eg: 64 %</p> <p><b>Effizienz Sand Es: 64 %</b></p>	$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S}$ $E_s = \frac{A_s}{S}$
<p><b>Bemerkungen</b></p> <p>Versuch bei HQ 1. Gute Effizienz.</p>			

## Analyse der Ergebnisse zu Variante 13 mit HQ1

Bei dem Durchfluss eines HQ1, von 25l/s, war die Einflechtströmung in den Nebenarm stark genug, um 64% des Geschiebes in den Nebenarm zu transportieren. Die Abbildung 5-50

Geschiebeablagerungsbild (Variante 13 HQ1) zeigt die Ablagerungen im Nebenarm.

Der Geschiebetransport im Nebenarm reichte wie bei einem HQ30 bis zum Profil Nr. 13. Der Einlaufbereich blieb nahezu frei von Geschiebe. Die Geschiebegasse bleibt vollständig frei. Somit sind in der Praxis keine Wartungsarbeiten nach einem Hochwasser mit jährlichem Intervall notwendig.



**Abbildung 5-48 Einlaufbereich Variante 13 HQ1**



**Abbildung 5-49 Geschiebegasse Variante 13 HQ1**

Die Funktionalität der Einengung des Einlaufbereiches ist damit bestätigt.

Die Effizienzverringerng ist auf den niedrigeren Wasserstand des HQ1 zurückzuführen, dadurch fließt weniger Wasser über das Streichwehr. Es war kein Geschiebetransport direkt über das Streichwehr erkennbar, d.h. das gesamte Geschiebe wurde durch die Geschiebegasse in den Nebenarm transportiert.

Die Nachhaltigkeit der Hochwasserschutzmaßnahme an der Enns würde, auch bei jährlichen Ereignissen, durch diese Variante um 64% verbessert.



**Abbildung 5-50  
Geschiebeablagerungsbild Variante 13 HQ1**

## 5.14 Variante 14 – Stromlinienförmiger Grundriss des Einlaufbereiches

Die Verengung entlang des Streichwehres (siehe Variante 13) bewirkte einen Strömungswiderstand beim Einströmen in den Nebenarm. Deshalb wurde die Verengung entlang des Streichwehres weggelassen. Da Effizienz und Streichwehrlänge nicht direkt proportional sind, wurde das Streichwehr weiter verkürzt. Die Streichwehrlänge in Natur beträgt nun 58 m und ist somit nur mehr ein Fünftel der Länge bei Variante 1. Die Verengung im Nebenarm wurde zusätzlich stromlinienförmig ausgeführt.

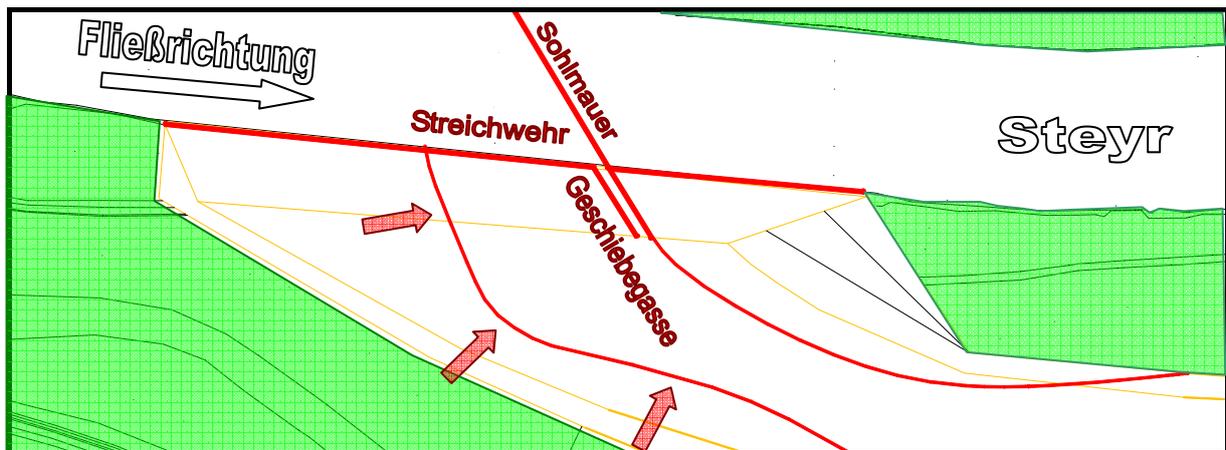


Abbildung 5-51 Grundriss des Einlaufbereiches in den Nebenarm. Stromlinienförmige Einengung des Fließquerschnittes im Einlaufbereich.

Tabelle 5-15 Kurzreferenz der Variante 14

<b>Variante 14</b>			
<b>HQ 30</b>			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	58,00 m		
Streichwehrlage flussauf:	297,81 müA		
Streichwehrlage flussab:	297,75 müA		
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0 m		
Winkel zur Streichwehrlinie $\alpha$ :	51 °		
Kote des Einlaufes:	296,00 müA		
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0 m <sup>3</sup> /s	Sandzugabemenge S:	150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0 l/s	Geschiebefracht Modell ks:	38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand As:	124,8 kg	Effizienz inkl. Schotter Eg:	87 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	5,82 kg	<b>Effizienz Sand Es:</b>	<b>83 %</b>
$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \quad E_s = \frac{A_s}{S}$			
<b>Bemerkungen</b>			
Stromlinienförmige Einengung des Nebenarmes. Nochmalige Verkürzung des Streichwehres - keine Verringerung der Effizienz, geringerer Durchfluss im Nebenarm. Geschiebegasse bleibt frei!			



## Analyse der Ergebnisse zu Variante 14

Die Streichwehrlänge dieser Variante beträgt nur mehr ein Fünftel der Ursprungslänge bei Variante 1. Die Effizienz ist nicht direkt proportional zur Streichwehrlänge, wie die Varianten 6 und 8 bereits zeigten.

Die Effizienz betrug 83% und liegt hiermit bei den besten Ergebnissen.

Der Strömungswiderstand beim Einlauf in den Nebenarm wurde durch die stromlinienförmige Einengung reduziert. Die Geschiebegasse bleibt frei.



**Abbildung 5-52 und 5-53 Geschiebegasse Variante 14**

Der Flächenbedarf ist deutlich geringer als bei anderen Varianten.



**Abbildung 5-54 Präzisions-Mess-Ente (Fabrikat Robert Koloseus)**



**Abbildung 5-55  
Geschiebeablagerungsbild Variante 14**

## 6 Auswahl der optimalen Variante

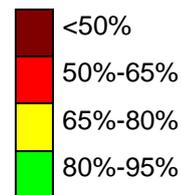
Die optimale Variante soll die Nachhaltigkeit der Sohleintiefung der Enns erhöhen, einen möglichst kleinen Eingriff in das Naherholungsgebiet Himmlitzer Au darstellen und dabei die geringsten Baukosten aufweisen. Das bedeutet, je kürzer das Streichwehr und je kleiner die benötigte Baufläche, umso besser die Bewertung. Die Effizienz soll so groß wie möglich sein.

### Bewertungskriterien

Die Bewertung erfolgt durch vier Farben dunkelrot, rot, gelb und grün, wobei grün die beste und dunkelrot die schlechteste Bewertung darstellt. Zusätzlich wurden den Farben die Zahlen ein bis vier zugeordnet, um auch eine numerische Bewertung zu erhalten. Grün entspricht eins und dunkelrot vier – also quasi einem Schulnotensystem von eins bis vier. Für jede Variante wurde eine Bewertungsmatrix mit folgenden Punkten erstellt.

- Effizienz der Geschiebefalle in Prozent

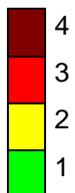
$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Geschiebeablagerungsmasse}}{\text{Geschiebezugabemasse}}$$



An der Effizienz erkennt man alle strömungstechnischen und bautechnischen Mängel der Varianten. Je größer die Effizienz umso besser die Bewertung.

- Streichwehrlänge

Je länger das Streichwehr, umso größer die Baukosten. Je kürzer, umso besser die Bewertung.



Die optische Bewertung mit Farben wird zusätzlich noch numerisch als arithmetisches Mittel der den Farben zugeordneten Zahlen angegeben. Grün entspricht eins, gelb zwei, rot drei und dunkelrot vier.

## Bewertungsmatrix

Nachfolgend sind alle Variantenbewertungen in einer Tabelle dargestellt.

Tabelle 6-1 Bewertungsmatrix

Variante	Effizienz	Streichwehlänge	Bewertung (Schulnotensystem)
1			3,5
2			2,5
3			2,5
4			3,0
5			3,0
6			2,0
7			2,0
8			1,5
9			1,5
10			1,5
11			2,0
12			2,0
13			2,0
14			1,0

## Die optimale Variante

Als optimale Variante zeigte sich die Variante 14. Das Modell wurde aufgrund der Ergebnisse der Variante 14 fertig gestellt. Alle provisorischen Modellierungen aus PVC wurden entfernt und mit Beton ausgeführt. Um als Endvariante bestehen zu können, wird diese Variante Hochwasserereignissen von HQ 1 bis HQ 100 ausgesetzt. Der Versuch mit HQ 30 wurde als erstes durchgeführt.

Bei größeren Hochwasserereignissen wird auch das Umland überströmt. Eine gezielte Einleitung des Wassers vom Umland in die Geschiebefalle im Einlaufbereich würde dessen Spülung begünstigen. Die Ausformung eines rampenförmigen Einlaufes wurde mit Beton vorgesehen.



Abbildung 6-1 Umlandwassereinbringung

Tabelle 6-2 Kurzreferenz der Optimalen Variante bei HQ 30

<h1>Optimale Variante</h1>			
<b>Geometrie</b>			
Streichwehrlänge L:	58,00	m	
Streichwehrlänge flussauf:	297,81	müA	
Streichwehrlänge flussab:	297,75	müA	
Sohlschwelle vorhanden:	ja		
Geschiebegassenbreite B:	3,0	m	
Winkel zur Streichwehrlinie α:	51	°	
Kote des Einlaufes:	296,00	müA	
<b>Hydraulik</b>			
Durchfluss Natur QN:	680,0	m³/s	Sandzugabemenge S: 150,0 kg
Durchfluss Modell QM:	62,0	l/s	Geschiebefracht Modell ks: 38,83 g/s
<b>Ablagerung in der Geschiebefalle</b>			
Ablagerungsmasse Sand As:	126,59	kg	Effizienz inkl. Schotter Eg: 88 %
Ablagerungsm. Schotter Ast:	5,06	kg	<b>Effizienz Sand Es: 84 %</b>
		$E_g = \frac{A_s + A_{st}}{S} \quad E_s = \frac{A_s}{S}$	
<b>Bemerkungen</b>			
Ausführung in Beton. Umlandwassereinbringung bewirkt bessere Spülung des "Tosbeckens". Verbleibende Ablagerung im Tosbecken ist gleichzeitig Ufersicherung. Geschiebegasse bleibt frei!			

## Analyse der Ergebnisse bei HQ 30

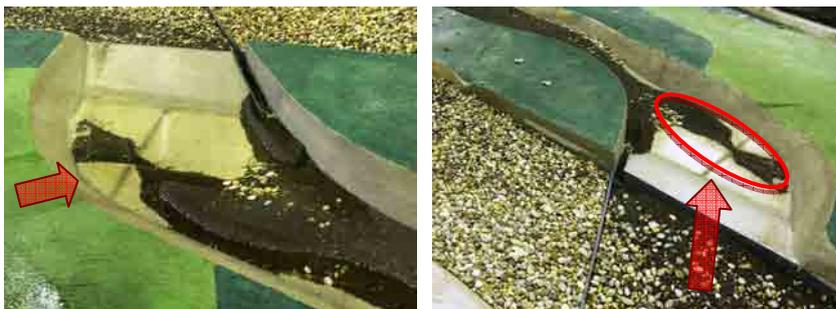
84% des Geschiebes wurden in der Geschiebefalle abgelagert. Die Effizienz ist sehr gut und erhöht die Nachhaltigkeit der Hochwasserschutzmaßnahmen erheblich.

Der stromlinienförmige Einlaufbereich erzielte die besten Ergebnisse, da die Strömungswiderstände am geringsten sind. Die Wirtschaftlichkeit ist groß, da die Geschiebegasse frei bleibt, wie in der nachfolgenden Abbildung zu sehen ist.



**Abbildung 6-2 Geschiebegasse der optimalen Variante**

Die Wassereinleitung aus dem Umland bewirkte eine verbesserte Spülung des Einlaufbereiches Abbildung 6-4 und 6-5 Einlaufbereich. Der Einlaufbereich könnte jedoch noch etwas größer sein, um mehr Wasser einzubringen. Das Ufer des Nebenarmes wurde am Beginn des Versuches – also ohne Geschiebeablagerungen - stark angeströmt und dadurch großen Erosionskräften ausgesetzt. In der Natur müsste das Ufer gut gesichert werden. Die Ablagerung, die sich nach dem Versuch ausgebildet hat, würde das Ufer beim nächsten Hochwasser zusätzlich schützen (Abbildung 6-4 und 6-5 Einlaufbereich).



**Abbildung 6-4 und 6-5 Einlaufbereich der optimalen Variante**



**Abbildung 6-3  
Geschiebeablagerungs-  
bild der optimalen  
Variante HQ30**

## Optimale Variante - HQ 1, HQ10 und HQ100

Nachfolgende Tabelle 6-3) zeigt den hydraulischen Durchfluss bei den Hochwasserereignissen in der Natur und im verkleinerten Maßstab im Modell. Die Maßstabszahl  $Q_r = 11016$ .

**Tabelle 6-3 Durchfluss in Natur und im Modell und Geschiebezugabe**

	HQ1	HQ10	HQ30	HQ100	
Durchfluss Natur QN:	270,0	550,0	680,0	830,0	m <sup>3</sup> /s
Durchfluss Modell QM:	25,0	50,0	62,0	75,0	l/s
Zugabemenge:	150,0	150,0	150,0	150,0	kg
Zugabeintensität:	10,3	28,0	39,0	52,0	g/s

Die Tabelle 6-3) zeigt deutlich, wie groß der Aufgabenbereich des Modells war. Ein HQ1 ist nur ein Drittel so groß wie ein HQ100. Die Effizienz muss bei allen Hochwässern hoch sein, um die Nachhaltigkeit der Sohleintiefung der Enns deutlich zu erhöhen.

Die Versuche wurden alle mit derselben Geschiebemenge durchgeführt und zwar 150 kg. Es ergab sich dadurch eine unterschiedliche Versuchsdauer von eineinhalb Stunden bis zu über fünf Stunden. Da die Geschiebezugabeintensität eines HQ100 fünf mal so groß ist wie bei einem HQ1, verlängerte sich auch die Versuchsdauer entsprechend.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Versuchsergebnisse der Hochwasserereignisse HQ1, HQ10 und HQ100.

### HQ1

Die Abbildung 6-6 Geschiebegasse der Optimalen Variante - HQ1 zeigt die Geschiebegasse am Ende des Versuches bei HQ1. Die Geschiebegasse blieb frei und ist damit in der Praxis wartungsfrei. Die Effizienz bei HQ1 war bei vorherigen Varianten deutlich geringer als bei HQ30. Doch bei dieser Variante liegt sie deutlich höher, nämlich bei 76 %. Somit ist das Ergebnis bei HQ1 sehr zufrieden stellend.



**Abbildung 6-6 Geschiebegasse der Optimalen Variante - HQ1**



**Abbildung 6-7 Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ1**

## HQ10

Die Geschiebegasse weist wie bei HQ1 keine Ablagerungen auf. Somit sind auch bei HQ10 keine Wartungskosten, durch die Entfernung der Geschiebeablagerungen, zu erwarten. Die Effizienz betrug beträchtlich hohe 85% und liegt somit sogar um einen Prozentpunkt höher als bei HQ30, das als Optimierungsgröße ausgewählt wurde. Das heißt, die Variante ist auch bei kleinen Ereignissen, die oft eintreten, sehr wirkungsvoll. Das Ergebnis ist sehr zufrieden stellend.



**Abbildung 6-8 Geschiebegasse der optimalen Variante HQ10**



**Abbildung 6-9 Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ10**

## HQ100

Das HQ100 ist das größte Hochwasser, das im Modell mit Geschiebe durchgeführt wurde. Die Geschiebegasse blieb fast völlig frei und bleibt somit auch bei einem derartigen Ereignis wartungsfrei. Durch den hohen Durchfluss von 75 l/s im Modell wurde auch mehr Wasser über das Streichwehr in den Nebenarm geleitet. Dadurch wurde ein Teil des Geschiebes auch über die Streichwehrkrone transportiert. Es wurden zwei Drittel des Geschiebes im Nebenarm abgelagert. Die Ergebnisse bei einem HQ100 sind somit ebenfalls sehr gut.



**Abbildung 6-10 Geschiebegasse der optimalen Variante HQ100**



**Abbildung 6-11 Geschiebeablagerungsbild der optimalen Variante HQ10**

## Vergleich der Wirksamkeiten

In nachfolgender Tabelle 6-4) sind die Wirksamkeiten bei HQ1 bis HQ100 dargestellt.  $\bar{X}$  - das arithmetische Mittel dieser Wirksamkeiten – beträgt 80,0 %. Das bedeutet, dass durchschnittlich 80 Prozent des Geschiebes in der Geschiebefalle abgelagert wird. Die Nachhaltigkeit der Hochwasserschutzmaßnahme an der Enns wird damit erhöht. Es gelangen nur 20% des Geschiebes der Steyr in die Enns, dies entspricht einem Fünftel des gesamten Geschiebeeintrages. Somit ist die Sohlabenkung der Enns fünfmal solange vorhanden. Das heißt, dass sich der zeitliche Abstand der Baggerungen an der Enns verfünffacht.

**Tabelle 6-4 Vergleich der Wirksamkeit bei HQ1 bis HQ100**

	HQ1	HQ10	HQ30	HQ100	$\bar{X}$	
Wirksamkeit:	76,0	85,0	84,0	75,0	80,0	%

Die optimale Variante vereint niedrige Baukosten und geringen Flächenbedarf mit hoher Effizienz. Zusätzlich sind die voraussichtlichen Wartungskosten der Geschiebegasse minimal, da bei den Geschiebeversuchen keine Ablagerungen in der Gasse zurückblieben und sie sich durch die günstigen Strömungsverhältnisse selbst reinigt. Die günstigen Strömungsverhältnisse sind auch für die hohe Effizienz von 75 bis 85 Prozent verantwortlich. Nur 15 bis 25 Prozent des Geschiebes, das bei einem Hochwasser transportiert wird, wird in das Gebiet der Hochwasserschutzmaßnahme der Enns transportiert. Somit ist die Sohlabenkung und die damit verbundene Querschnittsveränderung an der Enns nachhaltig. Die ökologische Belastung des Lebensraumes durch die notwendigen Baggerungen und die Erhaltungskosten werden möglichst niedrig gehalten und die Hochwassergefährdung reduziert.

## 6.1 Niederwasseranalyse

Die Niederwasseranalyse beschäftigt sich mit der Niederwassersituation, die saisonal im Winter auftritt. Der Fluss darf durch die Wasserausleitung in den Nebenarm nicht trockenfallen. Außerdem muss die Maßnahme so gestaltet sein, dass eine nicht selektive Überwindbarkeit – d.h. keine Kontinuumsunterbrechung – sowohl für Fische als auch für Benthosorganismen gegeben ist, um die Biodiversität des Ökosystems aufrecht zu erhalten.

Die kritische Zeit sind die Wintermonate. Der Durchfluss am Modell der Steyr ist durch die Regelung der Wasserzugabe technisch begrenzt. Der niedrigste Durchfluss ist 1 l/s, wobei dieser durch die elektroinduktive Schieberregelung von 0,5 – bis 2 l/s schwankt. Diese Schwankungen treten nur bei sehr kleinen Durchflüssen auf.

Um sicherzustellen, dass der Hauptfluss nicht trocken fällt und keine Kontinuumsunterbrechung entsteht, wurden nach mehreren Versuchen folgende Maßnahmen gefunden, die eine unveränderte Effizienz der Geschiebefalle gewährleisten:

- Öffnung der Sohlschwelle am linken Ufer um 8 Meter
- Sohlschwellenerhöhung um 20 cm.
- Reduzieren der Höhe des Streichwehrs um 20 cm.

Es sei hier noch einmal ausdrücklich erwähnt, dass die Effizienz der Geschiebefalle durch das Zusammenwirken der reduzierten Höhe des Streichwehrs und der vergrößerten Höhe der Sohlschwelle, trotz der Öffnung in der Sohlschwelle, unverändert bleibt.

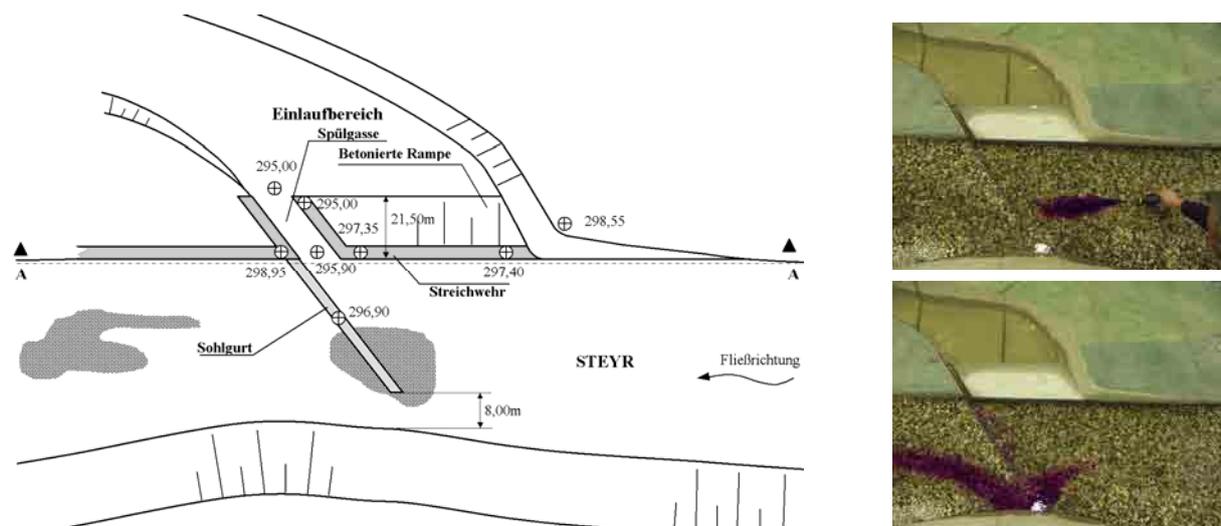


Abbildung 6-12 Schematischer Grundriss und Farbversuch der Niederwasserlösung

## 6.2 Langzeitversuch an der optimalen Variante

Das Ziel des Langzeitversuches ist es festzustellen, wie sich die Geschiebefalle nach mehreren Hochwässern hintereinander ohne Räumung des Nebenarmes verhält. Die Funktionsfähigkeit nach mehreren Hochwässern hintereinander soll damit nachgewiesen werden. Weiters soll aufgezeigt werden, wie lange Geschiebe in der Geschiebefalle abgelagert werden kann, ohne dass die Wirksamkeit der Geschiebefalle sinkt bzw. sie versagt. Das wäre dann der Fall wenn das „gefangene“ Geschiebe aus der Geschiebefalle wieder ausgetragen wird. Hierfür wurden die Hochwasserwellen von HQ1 bis HQ100 aneinandergereiht und die Geschiebefalle dazwischen nicht geräumt.

### Hydrologische Daten

Als Ergänzung zu den stationären Geschiebeversuchen wurden Hochwasserwellen simuliert. Um die Hochwasserereignisse zusammenhängend zu untersuchen, wurde der Durchfluss genau an eine zuerst ansteigende und dann abfallende Hochwasserwelle angepasst. Die hierfür notwendigen Daten von HQ1 bis HQ100 der Steyr wurden von der Gunz ZT GmbH zur Verfügung gestellt. Aus diesen Daten wurden die Ganglinien erstellt, die dann im Labor verwendet wurden. Die Maßstabszahl für den Durchfluss beträgt  $Q_r = 11016$ . Jede Ganglinie startet mit Niederwasser, das im Labor 1 l/s beträgt, steigt dann steil auf den entsprechenden maximalen Durchfluss an und fällt dann langsam wieder auf Niederwasser ab. In den folgenden Abbildungen sind die einzelnen Hochwasserwellen der simulierten Hochwässer dargestellt. In blau der Durchfluss im Modell, in grün die Massenkonzentration des Geschiebes im fließenden Wasser und in orange die Geschiebezugabeintensität in g/s.

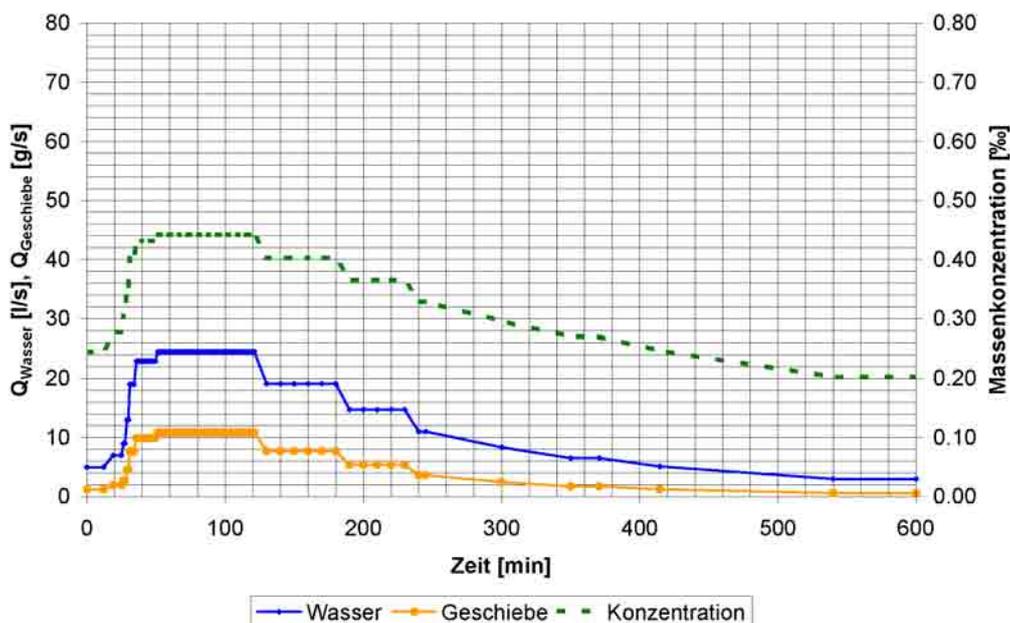


Abbildung 6-13 Ganglinie HQ1

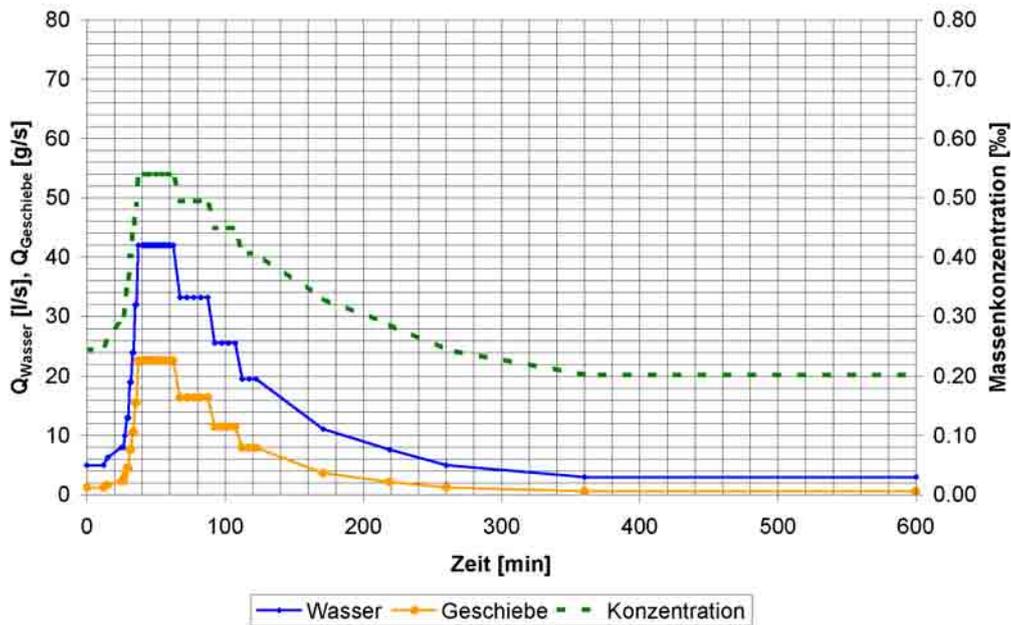


Abbildung 6-14 Ganglinie HQ5

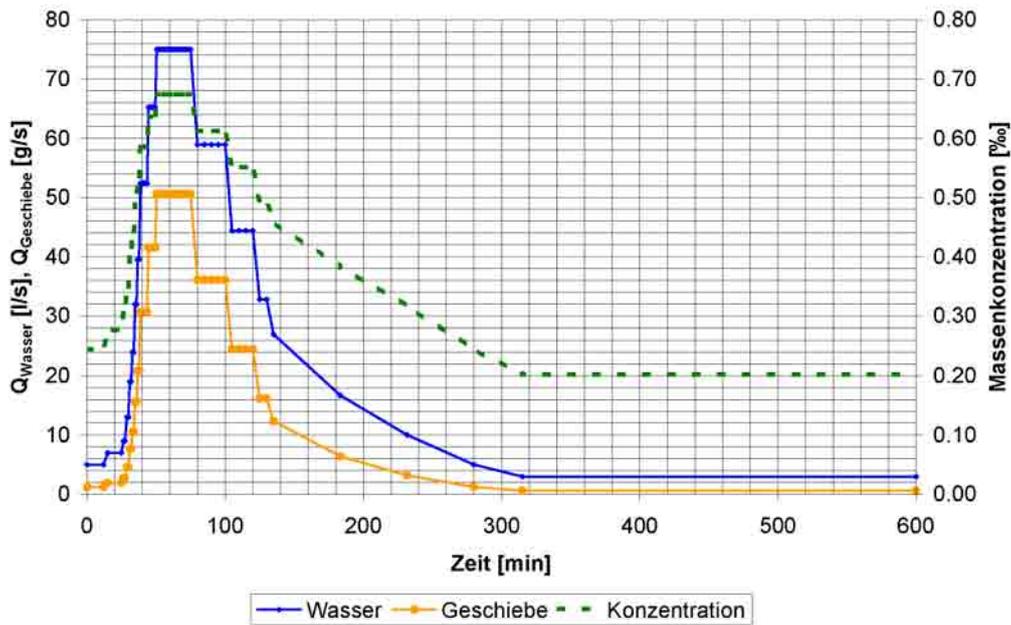


Abbildung 6-15 Ganglinie HQ100

Es wurde mit einem HQ100 begonnen; danach folgten ein HQ5, ein HQ1, dann wieder ein HQ5 und ein HQ100. Die Versuchsreihe zeigte, dass die Funktion der Geschiebefalle auch bei mehreren Hochwässern hintereinander gewährleistet ist. Die folgenden Geschiebeablagerungsbilder zeigen, wie das Geschiebe langsam immer weiter in der Geschiebefalle wandert. Wenn das Geschiebe den unteren Bereich der Geschiebefalle erreicht, wo der Querschnitt sich wieder verengt, kurz bevor der Nebenarm an die Steyr anschließt, wird das Geschiebe zurück in die Steyr ausgetragen.



**Abbildung 6-16** Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100



**Abbildung 6-17** Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5



**Abbildung 6-18** Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1



**Abbildung 6-19** Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1+HQ5



**Abbildung 6-20 Geschiebeablagerungsbild bei Langzeitversuch HQ100+HQ5+HQ1+HQ5+HQ100**

Der Langzeitversuch beweist die Funktion der Geschiebefalle auch im Langzeitverhalten. Erst nach dem Eintreten von einem HQ100 und mehreren kleineren Hochwasserereignissen eine Räumung des Nebenarmes notwendig sein wird. Bei Normalwasserstand entstehen im Nebenarm verzweigte Gerinne in den Ablagerungen. Diese Flachwasserbereiche werden von juvenilen Fischstadien und Amphibien genutzt werden. Weitere Untersuchungen darüber in Form eines Monitorings der Geschiebefalle in der Himmlitzer Au an der Steyr wären wünschenswert.

## 7 Diskussion der Versuchsergebnisse

Die Stadt Steyr liegt geographisch am Zusammenfluss der Enns und Steyr. Dies ist ein Grund dafür, dass bereits Hochwasserereignissen mit kleinem Wiederkehrintervall eine Gefahr darstellen. Die geplante Geschiebefalle ist ein wichtiger Teil der großräumigen Schutzmaßnahmen, die durch die „Hochwasserstudie Steyr“ aufgezeigt wurden.

Das physikalische Modell wurde nach den vereinfachten Modellgesetzen nach JANSEN et al. errichtet, die sich für Geschiebemodelle bewährt haben. Die vergleichenden Geschiebeversuche wurden bei einem Durchfluss von HQ30 (62,0 l/s im Modell und 680 m<sup>3</sup>/s in Natur) durchgeführt. Das verwendete Modellgeschiebe war Basaltsand mit einem mittleren Korndurchmesser von 1,8 mm. Schwimm- und Schwebstoffen wurden nicht simuliert. Der Nebenarm und das Einlaufbauwerk wurde mit PVC Platten und Beton modelliert. Das Umland wurde mit Beton ausgeführt. Um die hydraulische Rauigkeit nachzubilden, wurden Kalksteine auf bewaldete Bereiche aufgebracht.

Die Qualität des Modells war trotz vereinfachter Modellähnlichkeit sehr hoch, wie sich unter anderem durch die Ähnlichkeit der Schotterbankausbildung in Hauptfluss zeigte. Eine Schotterbank bildete sich im Modell nach dem Einlaufbereich am Kruglwehr rechtsufrig aus. Folgendes Foto der Steyr zeigt die Schotterbank in der Natur.



Die Versuchsanordnung untersuchte die Ausführung des Einlaufbereiches in die Geschiebefalle – Höhenkoten und Länge des Streichwehrs, Anordnung und Ausrichtung der Geschiebegasse die im Streichwehr eingebettet ist, Grundrissform des Einlaufbereiches um eine fortschreitende Geschiebeablagerung im Nebenarm zu gewährleisten. Weiters wurde das Langzeitverhalten der Geschiebefalle untersucht, da die Geschiebefalle das Geschiebe über mehrerer Jahre aufnehmen soll.

**Abbildung 7-1 Schotterbank in der Natur nach dem Kruglwehr**

Es wurden verschiedene Hochwasser von HQ1 bis HQ100, das heißt Durchflüsse von 270 m<sup>3</sup>/s bis 830 m<sup>3</sup>/s (in Natur), untersucht. Bewertungsparameter waren zum einen die Effizienz der Geschiebefalle - der Prozentsatz des Geschiebes das im Nebenarm abgelagert wird, und zum anderen die Länge des Streichwehrs - welchen Einfluss das Bauvorhaben auf das Naherholungsziel haben wird. Die Effizienz hat direkten Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Ennssohlabsenkung, die im Rahmen der „Hochwasserstudie Steyr“ als Schlüsselmaßnahme dargestellt wurde. Tatsächlich ist der einzige wirksame Schutz für den

Stadtkern die Sohlabsenkung, und diese kann nur durch eine gezielte Geschiebeentnahme den Hochwasserschutz über längere Zeit gewährleisten.

Die Niederwasserversuche sollen sicherstellen, dass mehr als 50% des Wassers im Hauptfluss verbleiben und nur ein geringer Teil ausgeleitet wird. Die Grenzen der Modellähnlichkeit wurden im Niederwasser erreicht – trotz der geringen Durchflussmenge von 1 l/s im Modell wurde nachgewiesen, dass deutlich mehr als 50% des Wassers im Hauptfluss bleibt und somit keine Gefahr des Trockenfallens der Steyr im Ausleitungsbereich der Geschiebefälle besteht.

Durch die Versuchsarbeiten im Wasserbaulabor des IWHW an der Universität für Bodenkultur wurde eine Geschiebeentnahmestelle, die einen effizienten und schonenden Eingriff in die Natur darstellt, durch Minimierung der Abmessungen des Streichwehrs und des Einlaufbereiches gefunden. Auch bei Niederwasser und im Langzeitverhalten erfüllt diese Variante alle Anforderungen. Die Absenkung der Ennssohle wird durch den Geschieberückhalt länger wirksam bleiben, und damit wird der Hochwasserschutz der Stadt Steyr verbessert.

Die Endvariante erreicht das gesetzte Ziel, eine effiziente aber kostengünstige Geschiebefälle zu entwickeln. Die Abmessungen des Einlaufbereiches der Endvariante wurden im Vergleich zur Erstvariante um mehr als 70% verringert. Somit ist der Eingriff in das bestehende Naherholungsziel Himmlitzer Au minimiert.

Die Morphologie der Steyr selbst bleibt unverändert, die in der ökomorphologischen Untersuchung vom Land Oberösterreich mit „Sehr gut“ bis „Gut“ bewertet wurde. Die geplante Geschiebeentnahme erfolgt in einem Nebenarm, d.h. die Fläche, die dem Gewässer zur Verfügung steht wird verdoppelt; man kann somit von einer Gewässeraufweitung sprechen. In aufgeweiteten Gewässern erhöhen sich die Variabilität und die Anzahl der Habitate. Pionierarten der Vegetation finden Lebensräume auf Schotterbänken, Fische finden Rückzugsräume und Laichplätze im neuen Nebenarm. Die Wasserausleitung aus dem Hauptfluss stellt, wie eine Untersuchung aus Deutschland beweist, keine Gefahr für die Biozönosen des hyporheischen Interstitials dar. (Schmedtje, 1995, S80)

Der physikalische Modellversuch erwies sich als die beste Möglichkeit für diese kleinräumige Geschiebeuntersuchung, in der dynamische dreidimensionale Strömungsvorgänge überwiegen, wie die Diplomarbeit meines Kollegen Franz Steiners aufzeigt, der dieses Modell numerisch simulierte (STEINER F., 2008). Der Vergleich der Wirksamkeit der Geschiebefälle im physikalischen Modell und in der numerischen Simulation zeigte starke

Ähnlichkeit, doch die Ausbildung der Geschiebeablagerungen im Nebenarm war teilweise komplett unterschiedlich. Diese Diskrepanz ergibt sich aus der 2D Berechnung der numerischen Simulation. Diese kann die Natur in kleinräumigen Problemen nicht genau genug beschreiben.

## 8 Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK-Arbeitsgruppe WW-2.4 Feststofftransportmodelle (2003):  
Feststofftransportmodelle für Fließgewässer, ATV-DVWK Arbeitsbericht, Hennef.
- BOLLRICH G. (2000): Technische Hydromechanik Band 1, 5. veränderte Auflage, Verlag Bauwesen Berlin.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1984): Ähnlichkeit bei flussbaulichen Modellen -  
Mitteilungsblatt Nr. 54, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.
- DVWK – Schriften H. 87 (1988): Feststofftransport in Fließgewässern:  
Berechnungsverfahren für die Ingenieurspraxis, Verlag Paul Parey Hamburg und  
Berlin.
- HABERSACK, FORMANN, MUHAR, KRAPESCH, HAUER, KLÖSCH (2007): Hydraulische,  
flussmorphologische und ökologische Auswirkungen von Gewässeraufweitungen,  
VAW Mitteilungen Nr. 200 -Flussaufweitungen Möglichkeiten und Grenzen, Zürich.
- HRI (1997): Hydraulic Modell Tests for the Naga Hammadi Barrage Feasibility Design,  
Hydraulic Research Institute of Public Works & Water Resources, Arab Republic of  
Egypt.
- INGENIEURBÜRO GUNZ (2004): Hochwasserstudie Stadt Steyr, Steyr
- JANSEN P. ET AL. (1979): Principles of River Engineering, Pitman Publishing Ltd., London.
- JUGOVIC C. J. (2005): Studienblätter zu Wasserbauliches Modellversuchswesen – Ass.  
Prof. Dipl.-Ing. Dr. C.J. Jugovic an der BOKU Wien.
- JUNGWIRTH M., HAIDVOGEL G., MOOG O.,MUHAR S., SCHMUTZ S. (2003):  
Angewandte Fischökologie an Fließgewässern, Falcutas Universitätsverlag, Wien.
- KNAPP F.H (1960): Ausfluss, Überfall und Durchfluss im Wasserbau, Verlag G. Braun  
Karlsruhe.
- LANGE G. und LECHNER K. (1993): Gewässerregelung Gewässerpflege, Verlag Paul Parey  
Hamburg und Berlin.
- PATT H., JÜRGING P., KRAUS W. (2004): Naturnaher Wasserbau Entwicklung und  
Gestaltung von Fließgewässern, 2. überarbeitete Auflage, Springer Verlag Berlin.
- PELIKAN B. (1991): Umweltbezogene Planung wasserbaulicher Maßnahmen an  
Fließgewässern – Habilitationsschrift an der Universität für Bodenkultur Wien.

- ROHDE S. (2007): Aufweitungen und ihr Einfluss auf das Vorkommen auentypischer Pflanzen und Tiere, VAW Mitteilungen Nr. 200 -Flussaufweitungen Möglichkeiten und Grenzen, Zürich.
- SCHMEDITJE U. (1995): Ökologische Grundlagen für die Beurteilung von Ausleitungsstrecken, Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- STEINER F. (2008): Vergleichende numerische Modellierung einer Geschiebeentnahme, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- VISCHER D. und HUBER A. (2002): Wasserbau 6. Auflage, Springer Verlag Berlin.
- WERTH W. (1992): Gewässerzustandskartierungen in Oberösterreich – Steyr, Amt der o.ö. Landesregierung Abt. Wasserbau.
- ZIEREP J. (1972): Ähnlichkeitsgesetze und Modellregeln der Strömungslehre, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- HYDROGRAFISCHES JAHRBUCH VON ÖSTERREICH (2005), Abteilung VII 3 – Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2008