

Wildbachverbau und
Hangsicherung

Interner Bericht W 1
20.6.76 / 24.12.76

M e s s s t a t i o n E r l e n b a c h

Kurzbericht über die hydraulischen Modellversuche

Verteiler:

2 Expl. Dr.H.Keller, Hydrologie

2 Expl. Ing.J.Zeller, Wildbach- und Hangverbau

Zur Kenntnis:

1 Expl. Dr.W.Bosshard, Direktor EAFV

1 Expl. Prof.Dr.F.Richard, Prof. für Bodenphysik und Abteilungschef
EAFV

Reserve

2 Expl.

Kurzbericht über die hydraulischen Modellversuche

1. Einleitung

- Allgemeine Situation:

Am Erlenbach des Forschungsgebietes Alptal sieht der verantwortliche Projektleiter Dr. H. Keller einen Messstationstyp vor, der erlaubt, auch bei Mittel- bis Hochwasser, den Wasserabfluss durch Trennung von Geschiebe einwandfrei zu messen. Dies wird erreicht durch Vorschalten eines leistungsfähigen Geschiebesammlers. Dieser Stationstyp hat den Vorteil, dass er auch erlaubt quantitative Angaben über Geschiebebilanzen zu machen. Ausserdem ist es möglich den Geschiebedurchgang (Geschiebeführung) im geraden Zuführungskanal zu beobachten. Da sich die W+H sehr für Geschiebemessungen in Kombination mit der Messung extremer Hochwasser interessiert, war eine enge Zusammenarbeit zwischen den beiden Arbeitsgruppen Hydrologie resp. Wildbach- und Hangverbau gegeben. Bis auf weiteres wurden folgende Arbeitszuteilungen und Verantwortlichkeiten EAFV-intern durch Dr. W. Bosshard festgelegt:

- Hydrologie (Dr. H. Keller): Hydrologischer Gesamtkomplex Einzugsgebiet-Messstation, Projektierung-Bauausführung in Zusammenarbeit mit dem Ing.-Bureau Birchler, Verkehr mit Behörden und Forstdienst, Betrieb und Unterhalt der Messstation.
- Wildbach- und Hangverbau (J. Zeller): EAFV-interne Beratung hinsichtlich hydraulischer, wasserbaulicher und fundationstechnischer Probleme; später Bearbeitung der Geschiebeprobleme vorgesehen.

- Messstation Erlenbach:

Der Erlenbach ist ein typischer, voralpiner Wildbach im Flysch. Er führt vereinzelt extreme Hochwasser mit, z.T. viel Geschiebe und Geschwemmsel, sowie auch über längere Perioden extreme Niederwasser, vorzugsweise im Winter. Gemessen werden soll der ganze Bereich zwischen extremen Hochwasser und extremen Niederwasser. Ausserdem sind Chemismus und Feststoffführung von Interesse. Dieses Pflichtenheft führte zu folgender Projektdisposition:

Der eigentlichen Messstation ist eine Kleinmessanlage speziell für NQ und die Entnahme von Wasserproben vorgeschaltet. Daran schliesst ein gerader Trapezkanal an, welcher über ein Ueberfallbauwerk (Sperre) in den Geschiebesammler führt. Dieser Sammler soll sämtliches Geschiebe eines einzelnen HQ-Ereignisses aufnehmen können. Hierauf folgt der eigentliche Messkanal mit Messüberfall. Anschliessend wird das Wasser über das Unterwassergerinne des Erlenbaches abgeleitet.

- Projekt:

Mit der Projektierung wurde das Ing.Bureau Birchler, Einsiedeln, beauftragt. Sein generelles Bauprojekt vom Januar 1976 ergab bei der hydraulisch-rechnerischen Ueberprüfung durch die W+H verschiedene Abänderungswünsche und offene Fragen, die nur im hydraulischen Modellversuch studiert und verbindlich beantwortet werden konnten. Es wurde deshalb beschlossen, solche Versuche im Hydrogielabor der EAFV durchzuführen. Für diese Versuche war der Schreibende zuständig. Diese Untersuchung sollte möglichst schnell abgewickelt werden und zu Resultaten führen. Die Ergebnisse sollten aus Finanzierungsgründen unbedingt bis Ende April vorliegen, um sie vollumfänglich im Ausführungsprojekt berücksichtigen zu können.

- Hydraulische Modellversuche / Fragestellung:

Die Untersuchungen haben folgende grundsätzliche Fragen zu beantworten:

- a. Ist die Konzeption der Gesamtanlage bestehend aus Oberwasserkanal - Geschiebefänger - Messstation - Unterwassergerinne grundsätzlich hydraulisch in Ordnung?
- b. Welches sind unter voller Berücksichtigung des Projektes Birchler die hydraulisch anzustrebenden Abmessungen von Oberwasserkanal - Absturzbauwerk - Geschiebefänger - Messkanal - Kolkschutz?

Insbesondere wurde vom Projektleiter Dr. H. Keller gewünscht, dass folgende, hydrologisch wichtige Fragen zu prüfen sind:

- Der Messkanal soll eindeutige und stabile Hochwassermessungen erlauben.
- Ein eventuelles Schräganströmen des Messüberfalles soll weitgehend verunmöglicht werden oder doch keinen Einfluss auf das Messresultat haben.
- Die Abflusskurve $P = f(Q)$ soll eine ausreichende Genauigkeit, insbesondere bei kleinem Q aufweisen.
- Der bestmögliche Standort des Anschlusses des Schwimmerschachtes an den Messkanal ist festzulegen.
- Der Geschwemmselrechen soll bei teilweisem Verstopfen die Messungen nicht oder doch nur sehr wenig beeinflussen.
- Es ist anzugeben, ob unterhalb des Messüberfalles ein Tosbecken anzuordnen ist.
- Wenn möglich sollte eine Eichkurve des Messüberfalles erstellt werden.

Den Versuchen sind folgende Elemente zugrunde zu legen:

- Bauprojekt des Ing.Bureau's Birchler vom Januar 1976. Dieses Projekt ist als erstes einzubauen und anschliessend zu modifizieren.
- Als Dimensionierungs HQ sind $16 \text{ m}^3/\text{m}$ anzunehmen.
- Die maximale Geschiebefracht eines einzelnen "Katastrophenereignisses" ist zu $V_{G_{\max}} = 1300 - 1600 \text{ m}^3$ anzunehmen.

Die gestellten Fragen decken so ziemlich die Gesamtheit der hydraulischen Probleme der Wassermessstation ab. Sie nehmen jedoch nicht Stellung zum Konzept des gewählten Messstationstyps, welches in Vorstudien von Dr. H. Keller festgelegt wurde. Wohl stellte sich die Frage, ob nicht der Stationstyp "Massa" des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, welcher seinerzeit ebenfalls vom Schreibenden entwickelt wurde, nicht der geeignetere wäre. Die wichtige Forderung von Dr. H. Keller nach Auftrennung des Abflusses in einen Reinwasser- und einen Geschiebeanteil, sowie die hohe Messgenauigkeit bei NQ liessen jedoch den Massatyp in den Hintergrund treten. Sie erleichtert auch die Untersuchung des Geschiebetransportes während HQ, wie erwähnt ein Untersuchungsthema der W+H.

Die Probleme der kleinen "oberen Messstelle" einschliesslich die baulichen Massnahmen bis zum Ueberfall in den Geschiebefänger standen nicht zur Diskussion, desgleichen nicht die baulichen Massnahmen im Unterwasser der Messstation.

- Hydraulische Modellversuche / Durchführung:

Die Arbeiten am hydraulischen Modell nahmen am 2. Februar mit den Vorbereitungen für den Modellbau ihren Anfang. Der eigentliche Modellbau war Mitte März abgeschlossen. Unmittelbar danach wurde mit den generellen, dann den Vor- und schlussendlich mit den Hauptversuchen begonnen. Diese dauerten bis zum 28. April. Unmittelbar nach der Fertigstellung des Modelles mit dem als erstes eingebauten Projekt vom Jan. 1976, wurde dieses dem Projektverfasser vorgeführt und über dessen gute und schlechte Eigenschaften informiert. Nachdem das Projekt mit Hilfe der Versuche modifiziert und den verschiedenen Wünschen angepasst war, wurde das Modell ein zweites Mal vorgeführt (28.4.76) und eine grosse Zahl von ausführungstechnischen Fragen besprochen (Aktennotiz vom 5.5.76). Aus dieser Besprechung ergaben sich weitere Abklärungen hydraulischer Art. Die Versuche fanden am 14. Mai ihren Abschluss, d.h. mit einer Verspätung gegenüber dem Arbeitsplan von rd. 2 Wochen. (Diese Verzögerung wurde vor allem durch die Grippe verursacht, welche einen Ausfall von 12 Manntagen während der Bauphase zur Folge hatte).

2. Versuchsplannung und Modellbau

a) Grundsätzliches zum hydraulischen Modellversuch

Die sog. Modellversuchstechnik beruht auf der "naturgetreuen" Nachbildung der hydraulischen Vorgänge. Das Modell hat einerseits gegenüber der Natur geometrisch ähnlich zu sein, und andererseits soll es den hydraulischen Vorgängen in Natur entsprechen, d.h. mechanisch ähnlich resp. kinematisch ähnlich sein. Die Kräfte, die ein in Natur vorkommendes, hydraulisches Kraftfeld bestimmen sind:

- Massenträgheitskraft
- Schwerkraft
- Viskositätskraft
- Elastizitätskraft
- Oberflächenspannungskraft

Leider ist es nicht möglich, diese 5 Elemente in beliebigem Massstab nachzubilden, vielmehr können nur gleichzeitig 3 davon berücksichtigt werden. (Eine alle 5 Elemente berücksichtigende Nachbildung ergäbe zwangsläufig den Modellmassstab 1:1). Unsere Versuche sind deshalb mehr oder weniger unvollkommen, d.h. eine Approximation an die tatsächlichen Verhältnisse. Je nachdem, welche der 5 Elemente zusammengefasst werden, entstehen verschiedene Aehnlichkeitsgesetze. Man unterscheidet derart z.B.:

- Reynold'sche Aehnlichkeit	$Re = \frac{\text{Massenträgheit}}{\text{Viskosität}} = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu}$
- Weber'sche Aehnlichkeit	$W = \frac{\text{Massenträgheit}}{\text{Oberflächenspannung}} = \frac{\rho \cdot l \cdot v^2}{\sigma}$
- Mach'sche Aehnlichkeit	$M = \frac{\text{Massenträgheit}}{\text{Elastizität}} = \frac{\rho \cdot v}{E}$
- Froud'sche Aehnlichkeit	$Fr = \frac{\text{Massenträgheit}}{\text{Schwerkraft}} = \frac{v^2}{l \cdot g}$
- Euler'sche Aehnlichkeit	$E = \frac{\text{Massenträgheit}}{\text{Druck}} = \frac{v}{\sqrt{\rho/2\Delta p}}$

Selbstverständlich gibt es noch weitere Kombinationen, wie sie z.B. für die Sickerströmung verwendet werden (Viskosität - Oberflächenspannung - Schwerkraft).

Das Vorgehen ist nun derart, dass man versucht festzustellen, welche 3 der 5 Grössen das eigene zu untersuchende Problem dominieren. In unserem Falle einer hochturbulenten Strömung mit freier Oberfläche und der Schwerkraft als einzige äussere Kraft, ist die

Froude'sche Aehnlichkeit zu ~~wachen~~. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass durch die Verkleinerung nicht unerwünschte Nebeneffekte entstehen. So ist darauf zu achten, dass im Modell überall voll ausgebildete Turbulenz herrscht ($Re_{\text{Modell}} \geq 6000$) und der Modellmassstab nicht so klein ist, dass im Modell die Oberflächenspannung wesentliche Bedeutung erhält. *)

Legt man den Modellmassstab mit $\lambda = \frac{\text{Länge in Natur}}{\text{Länge im Modell}}$ fest, so ergeben sich unter Voraussetzung der Froude'schen Aehnlichkeit die nachfolgenden Umrechnungsmassstäbe:

Beschleunigung	$\lambda^0 = 1,0$ (g ist in Natur und im Modell gleich)
Druck	λ^1
Geschwindigkeit	$\lambda^{1/2}$
Kraft, Gewicht	λ^3
Abflussmenge	$\lambda^{5/2}$
Zeit	$\lambda^{1/2}$

d.h. bei einem Modellmassstab von $\lambda = 30$, sind die Umrechnungsmassstäbe:

Beschleunigung	= 1,0	
Längen	= 30	(1 : 30)
Druck	= 30	
Geschwindigkeit	= 5,48	
Kraft, Gewicht	= 27000	
Abflussmenge	= 4929	
Zeit	= 5,48	

*) Dies wirkt sich z.B. negativ aus bei seichten Stellen, oder bei Einmündung in ruhendes Wasser, was eine Verfälschung der Strömung zur Folge hat. D.h. in unserem Falle, dass der Zufluss und Abfluss im Bereich des Geschiebebesammlers bei kleinen Q verfälscht wird, ebenso im Oberwasser- und Unterwasserkanal (sehr kleine Wassertiefen bei kleinen Q). Ausserdem kann bei kleinen Q kein Eichwert für den Messüberfall angegeben werden (als Folge der Oberflächenspannung entsteht ein zu grosser Aufstau resp. Pegelstand).

b) Wahl des Modellausschnittes und der Modellgrösse (Massstab)

Aus der Fragestellung ergibt sich der zu wählende Modellausschnitt. Er soll umfassen:

- Ueberfall in den Geschiebesammler (damit die Strömung im Sammler einigermaßen nachgebildet werden kann),
- eine möglichst grosse Breite des Geschiebesammlers (damit ein genügendes Schräganströmen untersucht werden kann),
- das Tosbecken unterhalb des Messüberfalles (damit ein einwandfreies Funktionieren des Messüberfalles sichergestellt ist).

Dies ergibt die totale Länge und Breite des Modelles. --- Andererseits steht eine Versuchsrinne gegebener Länge und Breite, sowie eine max. Förderleistung der Pumpen zur Verfügung *). Die Pumpenleistung würde einen Massstab 1 : 20 und die Abmessungen der Versuchsrinne einen solchen von max. 1 : 30 erlauben, wobei allerdings nicht die gesamte Geschiebesammlerbreite nachgebildet werden kann. Um das Modell nicht zu klein werden zu lassen (zu geringe Genauigkeit der Aussagen), wurde der Massstab nicht noch mehr verkleinert, sondern als Kompromiss mit 1 : 30 ($\lambda = 30$) festgelegt.

*) Max Pumpenförderleistung 9,5 lit/sec; totale Rinnenlänge (innen) 345 cm; nutzbare Länge ca 250 cm; Rinnenhöhe 65 cm; Rinnenbreite 69 cm; Neigbarkeit der Rinne $J = 0 - 45 \%$

c) Vorgehen

Als Kernstück der Untersuchung hat der Messkanal der Messstation mit dem Messüberfall ("Messblende") zu gelten. Diesem gilt das Schwergewicht der Untersuchung. Sobald dieser Bauteil hydraulisch in Ordnung ist, werden die anschliessenden Teile untersucht. Es ergeben sich hieraus folgende Untersuchungsarbeiten:

1. Messkanal

- vorhandenes Projekt überprüfen
- Änderungen bezüglich Kanalabmessungen und Energievernichter
- Einlauf zum Messkanal (Ueberfall) mit Rechen, sowie die minimal erforderliche Absturzhöhe, damit kein negativer Einfluss auf den Messüberfall (vollkommener Ueberfall).

2. Geschiebesammler

- Strömungsverhältnisse (generell) bei verschiedenen Q
- Verlandungsvorgang bei verschiedenen $Q = \text{konst.}$ und bei Hochwasserwellen (Katastrophen HQ)
- geeignetste Beckenform bezüglich Geschiebe und Geschiebeaufnahme-fähigkeit
- geeignetste Anordnung des Absturzbauwerkes in den Geschiebesammler

3. Zufluss zum Geschiebesammler

4. Kolkschutz unterhalb Messüberfall und minimal erforderliche Absturzhöhe

5. Nebenfragen

- geeignetster Standort der Schwimmerschacht-Anzapfstelle im Messkanal
- geeignetste Form der Messblende (Messüberfall)
- geeignetste Stelle für die Einleitung der Kleinstwassermengen von der Oberen Messstation
- als günstig erscheinende Standorte der Entleerungsleitung des Geschiebesammlers

Neben diesen Arbeiten liefen noch Abklärungen rein versuchstechnischer Art, wie:

- Aufsuchen des geeignetsten Geschiebes und Eingaberversuche ins Modellgerinne

- Beurteilung der einzugebenden Geschiebemengen (Beschickung)
- Markierung von Strömungsvorgängen (Sichtbarmachung), wie Oberflächenströmung im Geschiebesammler, Strömung und Turbulenz im Messkanal
- Markierung der Geschiebeablagerungen im Geschiebesammler und der Auskolkung im Unterwasser
- Eichung der Wasserförderungsanlage, insbesondere des "Messkegels"
- Eichung des elektr. Messpegels (Wasserdruck) und der Schreibeinrichtung (Verstärkung und Vorschubgeschwindigkeit)
- Aufsuchen geeigneter photographischer Aufnahmetechniken

3. Ergebnisse der Versuche

3.1 Messkanal

Wir verweisen auf die ausführliche Photosammlung, die in je einem Exemplar bei den beiden Versuchsgruppen Hydrologie und W + H in den Versuchsakten vorhanden ist.

3.1.1 Versuche mit dem Projekt "Birchler" vom Jan. 1976 (Versuche Nr. 1 resp. 2 bis 10)

Die projektierten und diesen Versuchen zugrundegelegten Abmessungen des Messkanals sind: Tiefe ab Ueberfallkante des obern Ueberfalles 4,2 m; Breite 4,5 m; Kanallänge 7,7 m; Messblende (tiefster Punkt des V) 2,5 m über Kanalsohle.

Die Versuche zeigten folgende Ergebnisse:

- $Q < 1,0 \text{ m}^3/\text{sec}$: keine Probleme; ruhig wirkender Ueberfall; dürfte gute Messungen ergeben; keine negative Wirkung des Rechens bei einseitiger Belegung mit Geschwemmsel und auch keine bei einseitigem Schräganströmen aus dem Geschiebefänger.
- $Q = 1,0 \text{ bis } 5,0 \text{ m}^3/\text{sec}$: ganz allgemein grosse Unruhe beim Messüberfall; keine genaue Ueberfallmessung möglich; der Ueberfallstrahl des obern Ueberfalles folgt der Sohle des Messkanals und steigt vor der Messblende wieder hoch; der Einbau von Energievernichtern für den Ueberfallstrahl brachte eine Verbesserung, doch nur sehr massive Eingriffe ergaben einen annehmbaren Abfluss.
- $Q = 5 \text{ bis } 15 \text{ m}^3/\text{sec}$: unmögliche Situation, besonders bei $Q > 10 \text{ m}^3/\text{sec}$; der Ueberfallstrahl taucht bis auf die Sohle, folgt dieser ungebremst, prallt an die Messblende und quillt brodelnd hoch: der Messüberfallstrahl zerflattert, ist unstet und verformt sich ständig: nur der Einbau eines horizontalen Lochbleches als Strahlverteiler im obern Teil des Messkanals ergibt einen einigermaßen annehmbaren Abfluss, bringt jedoch eine unannehmbar starke Lufteinmischung mit sich (Verfälschung der Pegelmessung).

- Folgerungen: Für die grossen Q sind die Kanalabmessungen eindeutig zu klein. Der obere Ueberfall (in den Messkanal) hat zu viel Fallenergie, die sich auch mit Einbauten (Schikanen) nur ungenügend vernichten lässt. Auf diesen Ueberfall darf aber, wie behelfsmässige Versuche zeigen, keinesfalls verzichtet werden, da dieser die negativen Wirkungen des obenliegenden Geschiebesammlers (Becken) weitgehend ausschaltet. Abgesehen von den benötigten grösseren Dimensionen des Messkanals ist auch zu prüfen, ob beim Ueberfall wirklich eine derart grosse Absturzhöhe erforderlich ist.

3.1.2 Versuche mit dem Projekt Birchler, aber einer um 1.80 m tiefer gelegten Kanalsohle. (Versuche Nr 11 und 12 bis 15):

Abmessungen: Gleich wie Versuche 2.1.1, jedoch einer anstelle von 4,2 m auf 6,0 m vergrösserten Tiefe ab OK. Ueberfallkante.

Die Ergebnisse können wie folgt umschrieben werden:

- Trotz der massiven Tieferlegung der Kanalsohle ist die allgemeine Verbesserung bei mittleren bis grossen Q bescheiden.
- Es braucht einen massiven Eingriff ("Gewalt"), um den(obern) Ueberfallstrahl genügend in die Tiefe zu zwingen und derart die Mehrtiefe voll auszunützen. Diese Versuche zeigen eindeutig, dass es vor allem eine Kanalverlängerung braucht.
- Das starke Umlenken des Ueberfallstrahls gelingt nur mit Hilfe einer Tauchwand, welche unerwünscht ist wegen erhöhter Verstopfungsgefahr (Holz, Eis). Es müsste deshalb ein Grobrechen, z.B. kreisförmig, vorgeschaltet werden, welcher aber die Geschieberäumung erschwert.
- Folgerung: Der Messkanal ist vor allem zu kurz und sollte wenn möglich auch etwas verbreitert werden. Eine wirtschaftliche und hydrologisch befriedigende Lösung ist nur mit Hilfe von Schikanen möglich.*)

*) Der Messkanal sollte eine möglichst kleine Gesamtoberfläche auf Wasserspiegelhöhe aufweisen, um eine möglichst geringe "Ganglinien-Dämpfung" kleiner HQ zu erreichen.

3.1.3 Versuche mit tieferem und verlängertem Messkanal (Versuche Nr. 16 bis 21):

Abmessungen des Messkanals: Länge 10,7 m; Breite 4,5 m; Tiefe (ab OK. obere Ueberfallkante) 6,0 m; tiefster Punkt der Messblende über der Kanalsohle 3,1 m.

Versuchsdurchführung: Vorerst wurde ein behelfsmässiger Kanalboden in verschiedenen Tiefen eingebaut (behelfsmässig) und die Abflussverhältnisse geprüft. Hierauf wurde die Kanallänge durch Verschieben einer behelfsmässigen Blende variiert. Diese Versuche zeigten, dass die Kanaltiefe etwa richtig war und die Kanallänge min. 10,7 m lang sein sollte. Hierauf baute man wiederum zur genaueren Abklärung die verschiedenen Schikanen ein. Es zeigte sich, dass die Absturzhöhe des obern Ueberfalles noch um rd. 0,6 m reduziert werden kann. (Um nicht einen neuen Messkanal im Modell anfertigen zu müssen, wurde diese Reduktion durch Höherlegen der Messblende um 0,6 m erreicht.)

Diese stark verbesserte Gesamtanordnung wurde eingehend untersucht, wobei auch ein hochempfindlicher, elektronischer Pegelmesser (Membranprinzip) eingesetzt wurde. Er gab Auskunft über die turbulenten Schwankungen in der Nähe der Messblende. Auf diese Weise war es möglich, auch quantitative Auskünfte (nicht nur optische) über die zu erwartende Messqualität des Messüberfalles zu erhalten.

Ergebnisse:

- ohne Einbauten: bis $Q \leq 2,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ akzeptabel, darüber Oberflächenunruhe; bei $Q \geq 10 \text{ m}^3/\text{sec}$ starke Wirbelbildung, nicht mehr messbar, d.h. nach wie vor unbrauchbar.
- mit Einbauten:
 1. Variante: mit 18 Vertikalstäben plus kleine Tauchwand (Typ "Vertikalrechen"), recht gute Wirkung; erst bei $Q \geq 15 \text{ m}^3/\text{sec}$ mittelstarke Unruhe, jedoch noch gut messbar; überlastbar*) bis $Q = 25 \text{ m}^3/\text{sec}$, wobei Messungen noch möglich sind; für sämtliche uns interessierende Q recht gute Lösung.
 2. Variante: mit 9 Horizontalbalken; funktioniert über den ganzen Q -Bereich recht gut; zwischen $2,5 \leq Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{sec}$ leichte Unruhe (für diesen Q -Bereich nicht sehr ideale

*) Der Begriff "überlastbar" soll andeuten, dass das Dimensionierungshochwasser von $16 \text{ m}^3/\text{m}$ überschritten werden kann, und auch darüber hinaus Messungen mit ausreichender Genauigkeit möglich sind.

Anordnung der Balken); von 5 bis 20 m³/sec wieder recht gut; überlastbar bis $Q = 25 \text{ m}^3/\text{sec}$ (und noch leidlich messbar).

- Folgerungen:

Der Messkanal mit den untersuchten vergrösserten Abmessungen ist knapp passend, unter der Voraussetzung, dass gut wirksame Schikanen für die Energievernichtung eingebaut werden. Als Schikanen sind zu empfehlen die 18 Vertikalstäbe mit kleiner Tauchwand oder die 9 Horizontalbalken. Die andern untersuchten Möglichkeiten sind hydraulisch zu wenig wirksam.

Dieses Ergebnis wurde allen direkt am Projekt Beteiligten vorgeführt *). Nach Abwägen aller denkbaren Vor- und Nachteile, insbesondere hinsichtlich Bau, Betrieb und Unterhalt, entschied man sich für die Lösung mit den 18 Vertikalstäben.

3.1.4. Einlauf zum Messkanal mit Rechen.

Nachdem der Messkanal in seinen Dimensionen und seinen Schikanen festgelegt war, wurde nochmals geprüft, wie die Zuflussbedingungen vom Geschiebesammler in den Messkanal sind. Eingehende Untersuchungen, die unter "3.2 Geschiebesammler" später beschrieben werden, führten zur Erkenntnis, dass eine (etwas rudimentäre) Einlauftrumpete, bestehend aus vertikalen Leitwänden eingebaut werden sollte. Hiedurch können bei sehr extremem seitlichem Anströmen des obern Ueberfalles die dadurch verursachte stark einseitige Beaufschlagung des Messüberfalles (Messblende) sowie die störenden Pulsationen, welche sich bis zur Messblende fortpflanzen, in akzeptablen Grenzen gehalten werden.

*) Anwesende: Ing.A.Birchler, Techn. Abegg; Dr.H. Keller, Ing.T.Strobel, Ing.J.Zeller

Des weitem wurde der Einlaufrechen als solcher einer Prüfung unterzogen. Es zeigte sich, dass bezüglich Grobgeschwemmsel die Stababstände ausreichen, und dass, vorausgesetzt eine ausgerundete Oberseite der Stäbe, der Rechen auch hydraulisch positiv wirkt. Die Strahlbelüftung ist gut. Das Ansaugen des Ueberfallstrahles infolge Oberflächenspannung erfolgt nur bei sehr kleinen Q und hat keinen Einfluss auf den Messüberfall. Um den Rechen während Katastrophenhochwasser nicht zu stark zu beanspruchen, empfiehlt sich der Einbau einer Abhalteeinrichtung für Grobgeschwemmsel (Bäume, Strünke etc.) Eine solche Abhalteeinrichtung wurde nicht untersucht. (Z.B. Kette/Netz quer über den Sammler gespannt oder schwimmend).

3.2 Geschiebesammler

Der Geschiebesammler wurde vor allem im Hinblick auf den Geschiebeablagerungsmechanismus und dem sich daraus ergebenden Anströmen des Messkanals geprüft. Des weitem wurde untersucht, ob die Beckenform den Verhältnissen genügend angepasst ist und die Beckengrösse ausreicht, um ohne Verlanden des Zuflusskanals die geforderte Geschiebemenge aufnehmen zu können (erforderlich wegen der Geschiebemengenmessung).

Verwendet wurde ein Geschiebe mit einem maximalen Korndurchmesser von 1000 mm (entsprechend dem im Bachkegel gefundenen Material) und einer Kornverteilung nach Fuller (Annahme wie sie für Gebirgsflüsse getroffen wird). Aus modelltechnischen Gründen musste allerdings die Korngrösse ≤ 6 mm ($\leq 0,2$ mm im Modell) weggelassen werden, wodurch sich ein im Charakter etwas zu grobes Geschiebe ergab (d_m zu gross). Dies hat zur Folge, dass das Modellgeschiebe etwas schlechter transportierbar ist und die Ablagerungsböschungen (unter Wasser) und das Grenzgefälle etwas zu steil werden. Wir befinden uns derart auf der sichern Seite.

3.2.1 Ablagerungsversuche (Versuche Nr. 21.2 - 21.10 und 22.1 - 22.2)

Ausgeführt wurden total 11 Versuche, wovon 9 Versuche mit $Q = \text{konst} = 15 / 5 / 3,5 / 1,0 \text{ m}^3/\text{sec}$ und 2 Versuche unter

Nachbildung einer Hochwasserwelle mit $Q_{\max} = 15$ resp $8 \text{ m}^3/\text{sec}$ über eine Dauer der Hochwasser von 120 resp. 50 Minuten.

Die Versuche zeigen, dass bei den max. möglichen Geschiebekonzentrationen (= Transportkapazität des Zuflusskanals) ein sehr steiler Ablagerungskegel entsteht. Bis zum Augenblick erster Ablagerungen im Zuflusskanal infolge Rückstaues vom Becken her, können vom projektierten Geschiebesammler folgende Geschiebekubaturen aufgenommen werden:

$Q = 1$	$\text{m}^3/\text{sec} = \text{konst.}$	V ca 100 m^3
$Q = 3,5$	m^3/sec	V ca $500 - 600 \text{ m}^3$
$Q = 5$	m^3/sec	V ca $700 - 800 \text{ m}^3$
$Q = 10$	m^3/sec	V ca $1200 - 1700 \text{ m}^3$
$Q = 15$	m^3/sec	V ca $1500 - 1700 \text{ m}^3$

Demzufolge steigt mit wachsendem Q auch das Aufnahmevermögen. Diese mit $Q = \text{konst}$ ausgeführten Versuche ergeben allerdings ein noch zu günstiges Ergebnis, indem die Versuche mit den Hochwasserwellen noch ungünstiger ausfielen. Sowohl bei $Q_{\max} = 15 \text{ m}^3/\text{sec}$ als auch bei $8 \text{ m}^3/\text{sec}$ beginnen sich schon kurz nach Ueberschreiten der Hochwasserspitze die ersten Ablagerungen im Zuflusskanal bemerkbar zu machen. Dies zeigt eindeutig, dass das Geschiebeaufnahmevermögen für Grobgeschiebezufuss im oberen Teil des Geschiebesammlers zu klein ist. Das Becken ist deshalb im oberen Teil wesentlich zu verbreitern und die Absturzhöhe ins Becken zu vergrössern. Ausserdem empfiehlt es sich, die Ufer des Zuflusskanales stark zu erhöhen, um ein Ausbrechen des Baches bei murgangartigen Abflüssen zu vermeiden.

Im Gegensatz dazu ist bei geringer Geschiebeführung und/oder einem Ueberwiegen von Feinmaterial (Grobmaterial "schwimmt" in Feinmaterial) das Aufnahmevermögen wesentlich weniger abhängig von der Beckenform, d.h. man hat sich vor allem nach den Ablagerungscharakteristiken bei grossen Geschiebekonzentrationen und Grobmaterial zu richten. (Abgesehen davon ist bei mehr schlammartigen Abflüssen das Geschiebeaufnahmevermögen des Beckens wesentlich grösser).

Dieses Ergebnis wurde sämtlichen Direktbeteiligten vorgeführt.

Aus der Besprechung ergaben sich schlussendlich als Kompromisslösung die Daten:

max Beckenlänge	30,0 m
Beckenbreite beim Zuflusskanal (auf Sohlenhöhe als auch auf der Höhe des Ueberfalles)	16,0 m resp. 20,0 m
Beckenbreite in 15 m Distanz vom Kanaleinlauf:	
auf Sohlenhöhe	20,0 m
Beckenbreite direkt oberhalb des Messkanals	
auf Sohlenhöhe	5,0 m

Weitere Angaben finden sich im 3. Kapitel.

Es ist noch nachzutragen, dass aus der Sicht einer möglichst guten Beckenausnützung bezüglich Geschiebeablagerungen ein möglichst kleiner Aufstau im Becken erwünscht wäre. Demgegenüber sollte besonders bei Hochwasser ein möglichst seeartiger Aufstau vorhanden sein, um ein sehr günstiges Anströmen des Messkanals zu erzielen. Auch in diesem Falle ist ein Kompromiss zu suchen. Der Entscheid anlässlich dieser Besprechung und Demonstration fiel auf eine mittlere Höhe des Aufstaues, um das Verschlammen des Messkanals klein zu halten, und zusammen mit der "Einlauftrompete" annehmbare Zuflussbedingungen zu schaffen bei gleichzeitig nicht allzugrossen Versickerungsverlusten im Becken (wegen negativer Effekte auf die Abflussganglinien bei kleinen Q).

3.2.2 Strömungsversuche im Geschiebesammler (Versuche Nr. 23.1 - 23.6)

Untersucht wurde das Durchfliessen des Beckens mit und ohne vorherige Verlandung. Es sollte dadurch festgestellt werden, ob das Anströmen des Messkanals in Ordnung sei, insbesondere ob die Tendenz zu Schräganströmen des Messkanals bestehe. Die Versuche wurden mit Hilfe von Konfetti vorgenommen, welches auf der Wasseroberfläche schwamm und derart die Wegbahnen des Wassers markierte. Diese Wegbahnen wurden photographiert.

- Fall ohne Geschiebetrieb, ohne vorherige Verlandung und mit $Q = \text{konst}$ (Versuche Nr. 23.1 - 23.3):

Obwohl sich eine langsame Drehströmung bildete, die z.T. die ganze Beckengrösse einnahm, wurde dadurch das Anströmen

des Messkanals nicht und nur bei grössern Q etwas beeinträchtigt. Durch Einbau der schon mehrmals erwähnten Einlauftrompete wurde dieser Mangel auf ein die Abflussmenge nicht störendes Mass reduziert.

- Fall ohne Geschiebetrieb, mit vorheriger teilweiser Verlandung und $Q = \text{konst.}$ (Versuche Nr. 23.4 - 23.6):

Durch die Verlandung wird der für die Strömung zur Verfügung stehende Wasserraum insbesondere in seiner Länge stark reduziert. Dies führte zu einem Wegfall der Drehströmung, sodass der Messkanal direkt angeströmt wird. Da der geschiebelose Zufluss ins Becken wegen seiner geraden Anströmrichtung und grossen Fliessgeschwindigkeit eine gerade Rinne in die Ablagerung erodierte, musste sich dieses ideale, gerade Anströmen des Messkanals zwangsläufig einstellen. Dieser Fall kann tatsächlich bei kleinen Q eintreten. Voraussetzung ist aber eine kegelförmige symmetrische Geschiebeablagerung im Becken, ansonst der Abfluss sofort nach der Seite ausweicht und dadurch Schräganströmen des Messkanals entsteht.

- Fall mit Geschiebetrieb, ohne vorherige Verlandung und mit $Q = \text{variabel}$ (Hochwasserwelle), Versuche Nr. 22.1 und 22.2: Diese Versuche lassen erkennen, dass insbesondere im abfallenden Ast der Hochwasserwelle, d.h. beim und nach dem Erreichen des Aufnahmevermögens (Beginn der Verlandung des Zuflusskanals) der Abfluss unkontrolliert irgendwo über die ganze Breite des Kegels erfolgt, indem sich der Hauptabfluss einmal rechts, dann wieder links oder auch in der Mitte einstellt. In ganz extremen Fällen ist es durchaus möglich, dass der Abfluss auf denkbar ungünstige Weise direkt dem Beckenrand bis hinunter zum Messkanal folgt und dort unter zweimaliger Richtungsänderung den Messkanal erreicht.

Ergebnisse: Es ist damit zu rechnen, dass je nach Ablagerungszustand und Ablagerungsvorgang der Abfluss besonders bei Nieder- bis Mittelwasser irgendwo erfolgen kann. Das Schräganströmen des Messkanals ist deshalb als Normalfall zu betrachten.

Bei Niederwasser spielt dieser Umstand keine Rolle. Bei Mittelwasser können geringe Störungen beim Messüberfall eintreten und bei kleinen bis mittleren Hochwassern ist mit spürbaren Störungen zu rechnen.

Es ist deshalb notwendig, dem Messkanal eine Einlauftrumpete vorzuschalten und zusätzlich durch Verschmälern des Beckens in Richtung Messkanal die zentrierende Wirkung der Trompete zu unterstützen. Damit dennoch über möglichst viele Tage des Jahres ein gerades Anströmen des Messkanales sichergestellt ist, sollte jeweils ein symmetrischer Geschiebekegel entstehen. Dies ist nur möglich, wenn Zuflusskanal - Geschiebesammler - Messkanal eine gemeinsame, gerade Axe aufweisen.

Hinsichtlich Geschwemmsel ist damit zu rechnen, dass solches in strömungstoten Räumen liegen bleibt. Bei Hochwasser wird es nur zum Teil weggeschwemmt. Eine solche Stelle ist die Hinterseite der Einlauftrumpete zum Messkanal.

3.3 Zuflusskanal zum Geschiebesammler

Der Zuflusskanal hat folgenden Bedingungen zu genügen:

- Abfluss achssymmetrisch (kein Pendeln, keine asymmetrische Strömung)
- keine Wellen und keinen durch den Kanal bedingten, stossweisen Abfluss;
- keine Geschiebeablagerungen im Kanal (wegen mangelnden Transportvermögens);
- Ablagerung des Geschiebes im Becken möglichst achssymmetrisch.

Diese Vielfalt von Anforderungen, die die Folge der gewünschten grossen Messgenauigkeit ist, kann nur erfüllt werden, wenn, wie bereits erwähnt, der Kanal gerade ist und ausserdem wenig uneben, "wenig" rauh, vorzugsweise trapezförmig mit ausgerundeter Sohle als Niederwassergerinne. Im Modell wurde ein trapezförmiger, "glatter" Kanal mit $J = 17\%$ Gefälle und einer Sohlenbreite von 4,0 m eingebaut. Hydraulisch zeigte der Kanal keine Nachteile. Jedoch besteht bei kleinen Hochwassern mangels genügenden Transport-

vermögens die Gefahr von Geschiebeablagerungen, besonders wenn die Geschiebekonzentration gross ist. Ein Verschmälern des Gerinnes um ca 0,5 bis 0,8 m, sowie eine starke Wölbung der Kanalsohle werden diesen Mangel weitgehend beheben. Das Absturzbauwerk im Uebergang zum Becken sollte, wie bereits früher erwähnt, möglichst hoch über der Beckensohle liegen. Es ist als Wildbachsperre mit Abflusssektion auszubilden. Mit erheblichem Abrieb ist zu rechnen. Dieses Absturzbauwerk ist auch der geeignete Ort wo später eine elektrische "Geschiebezählkammer" (Mikrofon) eingebaut werden soll. Im Becken unterhalb dieses Absturzbauwerkes sind z.B. sehr grosse Blöcke als Kolkschutz einzubauen. Die Kolkgefahr ist dort recht gross.

3.4 Kolkschutz unterhalb des Messkanals (Messüberfall)

(Versuche Nr. 29.1 bis 29.4 und 30.6)

Zur Sicherstellung einer vom Unterwasser unbeeinflussten Abflussmessung ist ein eindeutig vollkommener, vom Unterwasser unbeeinflusster Ueberfall zu gewährleisten. Da der tiefste Punkt des Messüberfalles (V - Form) sehr tief liegt, war auch diese Frage speziell zu untersuchen. Des weitem war anzunehmen, dass der durch den Messüberfall stark gebündelte Strahl einen unerwünscht grossen Kolk verursache, eine Frage, die ebenfalls zu prüfen war.

Im Modell wurde deshalb das Unterwasser des Messkanals mit natürlichem Sohlenmaterial (d.h. mit "beweglicher Sohle") nachgebildet und die Kolkstelle (Tosbecken) mit einer Endschwelle versehen. Im Versuch wurde die erforderliche Höhenlage der Endschwelle bestimmt, welche identisch der Sohlenlage des Unterwasserkanals ist, und anschliessend die sich ergebende Kolktiefe mit und ohne Kolkschutz gemessen.

Resultate: Die Tosbecken-Endschwelle soll 5,45 m tiefer liegen als OK. des obern Ueberfalles zum Messkanal. Die Tosbeckenlänge soll 9,0 - 10,0 m und die Breite 7,0 - 8,0 m betragen. Die Tosbeckenufer sind unter 1 : 1,5 abzuböschten

und mit einem Blockwurf (Durchmesser min 80 - 120 cm), der bis 1,5 m unter OK.-Endschwelle reicht, zu schützen. Als eigentlicher Kolkschutz empfiehlt sich ein Blockteppich mit Blöcken vom Durchmesser 90 bis 150 cm (einschichtig). Es ist darauf zu achten, dass die grossen Blöcke dominieren. OK.-Blockteppich soll nicht mehr als 0,8 m über OK.-Endschwelle hinausragen (keinesfalls höher, ansonst der Ueberfallstrahl beeinflusst wird).

3.5 Unterwasserkanal

Dieser wurde nicht untersucht.

3.6 Nebenfragen

3.6.1 Geeignetster Standort der Anschlussstelle des Schwimmerschachtes an den Messkanal (Versuche Nr. 28.1 bis 28.20).

Diesem Problem wurde besondere Beachtung geschenkt. In der untern Hälfte des Messkanals wurden 12 schachbrettartig angeordnete Messstellen hinsichtlich Wasserspiegel- resp. Druckschwankungen systematisch untersucht. Verwendet wurde ein Modell Schwimmerschacht mit gleichem effektivem Querschnitt wie der projektierte Schwimmerschacht. Der Zufluss zum Schacht war (im Modell) ungedämpft. Mit Hilfe des elektrischen Druckmessgebers wurden die Drucke und Druckschwankungen in Abhängigkeit von Q und dem Messort aufgenommen, wobei der definitiv vorgesehene Energievernichter (18 Vertikalstäbe) eingebaut war.

Resultat: Die geeignetste Stelle befindet sich rd. 2,5 m von der Messblende entfernt und in einem Abstand von der Kanalsohle von 1,8 m. Mit dieser Festlegung war auch berücksichtigt, dass die Messstelle nicht verschlammt (zu tiefe Lage) und nicht einfriert (zu hohe Lage). Es besteht jederzeit die Möglichkeit eine Drosselung einzubauen, um die noch vorhandenen Druckschwankungen zu dämpfen. (Diese Dämpfung darf aber nicht so gross sein, dass die kleinen, natürlichen

Q-Schwankungen geglättet werden oder gar verschwinden.)

3.6.2 Geeignetste Form der Messblende (Versuche Nr. 18, 25, 26, 28, 29):

Abgesehen von den bisher beschriebenen hydraulischen Vorgängen, ist die Form der Messblende ein entscheidender Parameter für die Messgenauigkeit. Je nach der Formgebung können die kleinen, mittleren oder grossen Q "genau" gemessen werden. Bei der starken Variation von Q von 0 - 16 m³/sec ist es nicht möglich den gesamten Bereich mit ausreichender Genauigkeit zu erfassen. Man untersuchte deshalb folgende Typen:

Typ 1. Doppel-V mit grosser Genauigkeit bei kleinen Q (unteres V mit Oeffnungswinkel von 60° und oberes V mit einem Oeffnungswinkel von 120°)

Typ 2/3 mit grosser Genauigkeit bei mittleren Q (V mit Oeffnungswinkel von 90°)

Typ 4 Doppel-V mit guter Genauigkeit bei grossen ^QV (unteres V mit 90° Oeffnungswinkel, oberes V mit 53° Oeffnungswinkel).

Demzufolge schuf man je nach Blendentyp einen starken Wasserspiegelanstieg im Messkanal bei kleinen, mittleren, resp. grossen Q. Es ist zu berücksichtigen, dass insbesondere bei sehr kleinen Q ein starker Wasserspiegelanstieg eigentlich unerwünscht ist, da dadurch ein grosses Wasservolumen zum Auffüllen des Messkanals aufgebraucht wird. Dies hat eine starke Dämpfung kleiner Q-Wellen zur Folge. Entsprechende Untersuchungen für sehr kleine HQ wurden von Dr. H. Keller durchgeführt. Sie liessen erkennen, dass der Typ 1 wenig geeignet ist. Der Typ 2/3 zeigt dagegen akzeptable Eigenschaften, hat aber zusammen mit Typ 1 den grossen Nachteil, dass die uns ebenfalls ausserordentlich interessierenden sehr grossen Q nur noch mit sehr beschränkter Genauigkeit bestimmt werden können. Man ging deshalb zu Typ 4 über, der als annehmbarer Kompromiss erschien.

Resultate: Nach Abwägen der verschiedenen Aspekte wie: Genauigkeit, Dämpfungseffekte wegen Aufstauens, max. möglicher Aufstaubereich zwischen kleinstem und grösstem Q, entschied man sich für den Typ 4. Ein stärkerer Aufstau als derjenige des Types 4 (d.h. eine grössere Messgenauigkeit) ist wegen des oberen Ueberfalles ("Rechenüberfall") nicht zulässig. Es würde nämlich dort anstelle des vollkommenen Ueberfalles, der sehr unerwünschte, instabile Ueberfall mit gewelltem Abfluss entstehen. Solche Wellen würden eine eindeutige Q-Messung verunmöglichen.

3.6.3 Messgenauigkeit des Messüberfalles:

Der Modellmassstab von 1 : 30 erlaubt in dieser Hinsicht keine verbindlichen Aussagen. Ausserdem, was massgebender ist, zeigte sich während der Versuche, dass die vorhandene Laborinstallation für Q eine absolut ungenügende Genauigkeit aufweist und ausserdem die Förderleistung der Pumpen nicht absolut konstant ist. Diese Situation erlaubt deshalb nicht, im Modellversuch die Eichkurve des Messüberfalles mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. Eine solche Eichkurve, wie sie das Modell 1 : 30 liefert, ist im Anhang (Versuch Nr. 29) dargestellt.

Dessen ungeachtet darf aufgrund der guten Strömungsverhältnisse im Messkanal vorausgesetzt werden, dass für

$Q \leq 0,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ die Messergebnisse sehr gut, für
 $Q = 0,1 - 2 \text{ m}^3/\text{sec}$ die Messergebnisse gut und für
 $Q = 2 - 15 \text{ m}^3/\text{sec}$ die Messergebnisse brauchbar sind.

Die nach Abschluss der Versuche genannten wünschbaren Genauigkeiten von

Niederwasser $Q \leq 15 \text{ lit/sec}$ Genauigkeit 5-10%

Mittelwasser $Q = 15-500 \text{ lit/sec}$ " < 5%

Hochwasser $Q > 500 \text{ lit/sec}$ " ca 10%

können für $Q = \text{konst.}$ als Mittel über eine grosse Zahl von Messungen eingehalten werden. Bei $Q = \text{stark variabel}$ dürfte bei grossem Q die Genauigkeit etwas geringer sein ($Q > 2 \text{ m}^3/\text{sec}$).

Folgendes Vorgehen wird empfohlen:

Eichung des Messüberfalles im Gelände für Niederwasser bis kleine Mittelwasser. Eichung des Messüberfalles für den gesamten Bereich im Messkanal der VAW (durch uns) im Massstab grösser als 1 : 10. Dieser Eichversuch sollte erst nach der definitiven Fertigstellung der Messstation durchgeführt werden, um eine echte (naturgetreue) Nachbildung des Messüberfalles zu erzielen.

3.6.4 Geeignetste Stelle für die Einleitung der Kleinwassermenge der oberen Messstation.

Es ist vorgesehen, die sehr kleinen Q in der oberen Messstation zu fassen und separat zu messen. Zu diesem Zweck ist u.a. eine Wasserleitung vorgesehen, welche das Messwasser in den Messkanal der Hauptstation zurückführt. Dieses Wasser sollte je nach Typ des gewählten Messverfahrens entweder einen freien Wasserspiegel aufweisen oder unter Druck abfliessen können. Demzufolge ist das Wasser entweder über dem höchsten Messkanal-Wasserspiegel einzuleiten oder aber unterhalb des tiefsten Wasserspiegels.

- Im Falle eines Messsystems mit freiem Wasserspiegel erfolgt die Einleitung am besten im Bereich der Vertikalstäbe oder direkt unterhalb davon.
- Bei einem Ausfluss unter Druck sollte die Einleitung vom obern Ueberfallstrahl übersprungen werden. Auf alle Fälle sollte die Einleitung oberhalb der Vertikalstäbe erfolgen. Unter Umständen ist eine Abflussdrosselung oder ein Hochziehen der Abflussleitung notwendig, um diesen Druck ständig aufrechterhalten zu können *).

*) Die Wasserleitung ist vor dem Messorgan vollständig zu entlüften. Diese Entlüftung hat ständig zu funktionieren. Andernfalls entstehen grosse Messfehler.

3.6.5 Günstigste Anordnung der Entleerungsleitung für den Geschiebesammler (Grundablass).

Wie die Geschiebeablagerungsversuche zeigten, bleibt der Bereich unmittelbar oberhalb des Ueberfalles in den Messkanal am längsten geschiebe- und feinmaterial-frei. Es wäre dies die geeignetste Stelle für das Anbringen eines Grundablasses. Leider kollidiert er mit dem Messkanal. Man suchte deshalb nach einer nächstbesten Stelle. Diese befindet sich hinter den Leitwänden der Einlauftrompete zum Messkanal. Man hat an dieser Stelle nur mit geringen Geschiebeablagerungen zu rechnen. Dagegen wird sich dort einiges Feinmaterial ablagern und Geschwemmsel festsetzen. Es ist deshalb erforderlich, den Grundablass derart zu konstruieren, dass er in der Lage ist, eine anfängliche Feinmaterialverstopfung selbständig zu überwinden.

4. G e s t a l t u n g s v o r s c h l a g f ü r d i e M e s s - s t a t i o n a u s h y d r a u l i s c h e r S i c h t.

In den nachfolgenden Angaben werden z.T. Aussagen des 2. Kapitels wiederholt. Es ist festzuhalten, dass die Angaben des Kapitels 3 nicht ohne gute Kenntnis des Kapitels 2 in ein Bauprojekt verarbeitet werden sollten.

4.1 Zuflusskanal zum Geschiebesammler

Dieser Zuflusskanal ist als trapezförmige Schale auszubilden, mit durch einen Blockwurf (gepackt) geschützten Ufern. Die Sohle ist 3,5 m breit, gut auszurunden und mit Blöcken gegen Erosion zu schützen, ausserdem soll sie möglichst wenig uneben sein. Das Gefälle beträgt zwischen 15 - 17%. (Siehe Massskizze.) Die Ufer sind mit zunehmender Nähe zum Ueberfallbauwerk zu erhöhen bis auf 4,0 m über Gerinnesohle. Die Gerinneachse ist gerade.

4.2 Ueberfallbauwerk zum Geschiebesammler

Das Ueberfallbauwerk ist als Wildbachsperre mit einer Nutzhöhe von 4,3 - 4,8 m*) auszubilden. Deren Abfluss-Sektion ist identisch mit dem Querschnitt des Zuflusskanals (stufenlosen Uebergang). Die Abflussektion ist gegen Abrieb speziell zu schützen. Bergseits der Sperre wird später über die ganze Sohlenbreite eine Messkammer (Zählwerk für Geschiebedurchgangsmessung) eingebaut. Bergseits der Mauer ist ein Kabelkanal für die spätere Aufnahme des Messkabels vorzusehen. Der Sperrenfuss ist gegen Unterkolkung soweit notwendig zu schützen. Es ist hierbei darauf zu achten, dass dadurch das Ausräumen der Geschiebeablagerungen mit Hilfe von Baumaschinen nicht erschwert wird.

4.3 Geschiebesammler

Es ist ihm die im Plan des Ing.-Bureau Birchler vom Juni 1976 vorgesehene Grundrissform zu geben. Das Becken ist symmetrisch zur Gerinneachse anzuordnen. Seine Sohlenbreite ist:

- beim Ueberfallbauwerk bis Beckenmitte rd. 20 m,
- beim Messkanalbeginn sich auf ca. 5 m verjüngend.

Das Längsgefälle ist derart zu wählen, dass ein sicherer Wasserabfluss möglich ist (5-9 %). Die Ufer sind mit einem Blockwurf zu fixieren (im oberen Beckenteil bis OK. Sperre), wobei wegen des Ausräumens die Uferflächen möglichst eben sein sollten. Auf OK. Ufer sind Vermessungssockel für das Fixieren der Mess-Seile einzubauen. Deren Abstand wird später bekannt gegeben (voraussichtlich 1,0 m). Die Beckenentleerung erfolgt über einen Grundablass mit einem Schieber am Anfang und einem dicht verschraubbaren Deckel am Ende der Leitung, (versehen mit einer speziellen Füll- und Spühleinrichtung). Diese Leitung sollte auf einen Leitungsdruck von mind. 7 atü bemessen werden (zum Aufdrücken einer evtl. Verstopfung mit Hilfe von Druckwasser).

*) Diese Nutzhöhe bezieht sich auf ein mittleres Beckengefälle von $J = 8,5 \%$. Bei kleinerem J ist diese Nutzhöhe entsprechend zu erhöhen!

4.4 Messkanal

Der rechteckförmige Messkanal hat die Innenmasse: Länge 10,0m, Breite 4,5 m, Tiefe ab OK. Ueberfallkante des oberen Ueberfalles 6,0 m. Als Energievernichter dienen 18 senkrechte Stäbe vom Durchmesser 0,30 m (siehe Massskizze). Die Messblende besteht aus einem Doppel-V (siehe Massskizze). Das Ueberfallbauwerk zum Messkanal hat einen rechteckigen Ueberfall mit vorgebauten Leitwänden als Einlauftrumpete. Diese Wände können bis auf die Beckensohle hinunter geführt werden, andernfalls haben sie bis min. 1,5 m unter OK. Ueberfall zu reichen. Der Einlaufrechen ist wie vorgesehen einzubauen (8 Rechenstäbe mit Rechteckquerschnitt, wasserseitig stark gerundet). Er ist derart einzubauen, dass eine Reparatur der Rechenstäbe (verbogen, eingedrückt etc.) ohne Umstände möglich ist. --- Der Energievernichter ist sehr robust zu bauen. Schläge und Vibrationen bei HQ werden auftreten. Möglicherweise, wenn der Rechen eingedrückt ist, wird sich Geschwemmsel verfangen und einen einseitigen Druck ausüben. Es empfiehlt sich, mit Beton ausgegossene, reichlich bemessene Stahlrohre (feuerverzinkte Rohre aus gezogenem Stahl) zu verwenden. --- Die Messblende ist masshaltig einzubauen. Die Messblende ist aus rostfreiem Stahl auszuführen und die Ueberfallkante speziell zu bearbeiten. Das Doppel-V soll herausnehmbar sein (z.B. wegen nachträglicher Änderung der V-Form oder Reparatur von Schäden). --- Der Messkanal muss ohne Umstände entleert und gereinigt werden können. -- Anschliessend an den Messkanal ist ein Tosbecken einzubauen, derart, dass keine Beeinflussung des Messüberfalles entsteht (siehe Massskizze und frühere Angaben im Kapitel 2.4). -- Es empfiehlt sich, einen zusätzlichen Vorrechen mit einem "Stabzwischenraum" von 1,0-1,5 m im Geschiebesammler (vor dem Ueberfallrechen) einzubauen.

4.5 Unterwasserkanal bis zur Alp

Dieser Kanal hat im Endausbau Trapezform und ist wahrscheinlich wegen des Geschiebeentzuges gegen Erosion zu schützen. Die

Sohlenbreite ist gleich oder grösser anzunehmen als die ursprüngliche Bachbreite. Die Uebergangsstrecke Tosbecken - Kanal ist von Anfang an definitiv auszubauen.

8903 Birmensdorf, den 20.6.76

J. Zeller, dipl. Ing.

Bearbeitung:

Leitung:	J. Zeller
Planung:	J. Zeller
Modellbau:	A. Bär W. Putre z.T. A. Storrer
Modellver- suche:	J. Zeller A. Storrer z.T. G. Röthlisberger
Auswertung:	J. Zeller z.T. G. Röthlisberger
Bericht:	J. Zeller
Photodienst:	P. Scherrer z.T. B. Brunner z.T. U. Haenggli

Anhang:

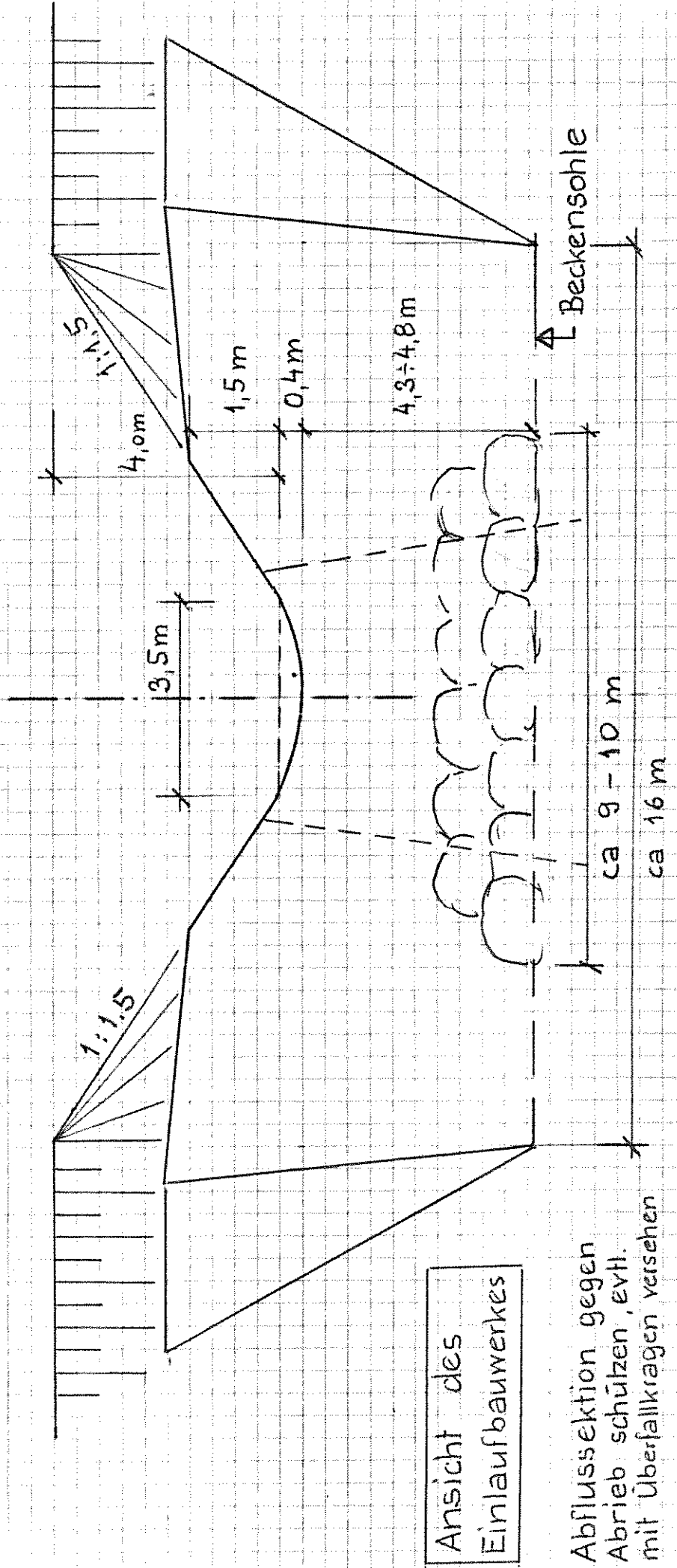
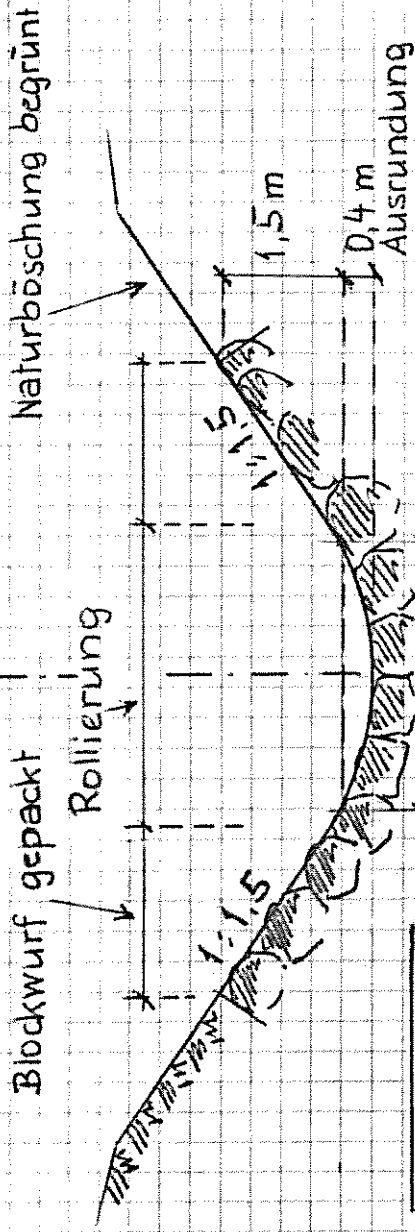
- Massskizzen
- Eichkurve für Modellmessüberfall
- Photos: siehe Versuchsakten

Messtation Erlenbach Einlaufbauwerk 1:100 Querprofil u. Ansicht

EAFV 10.6.76

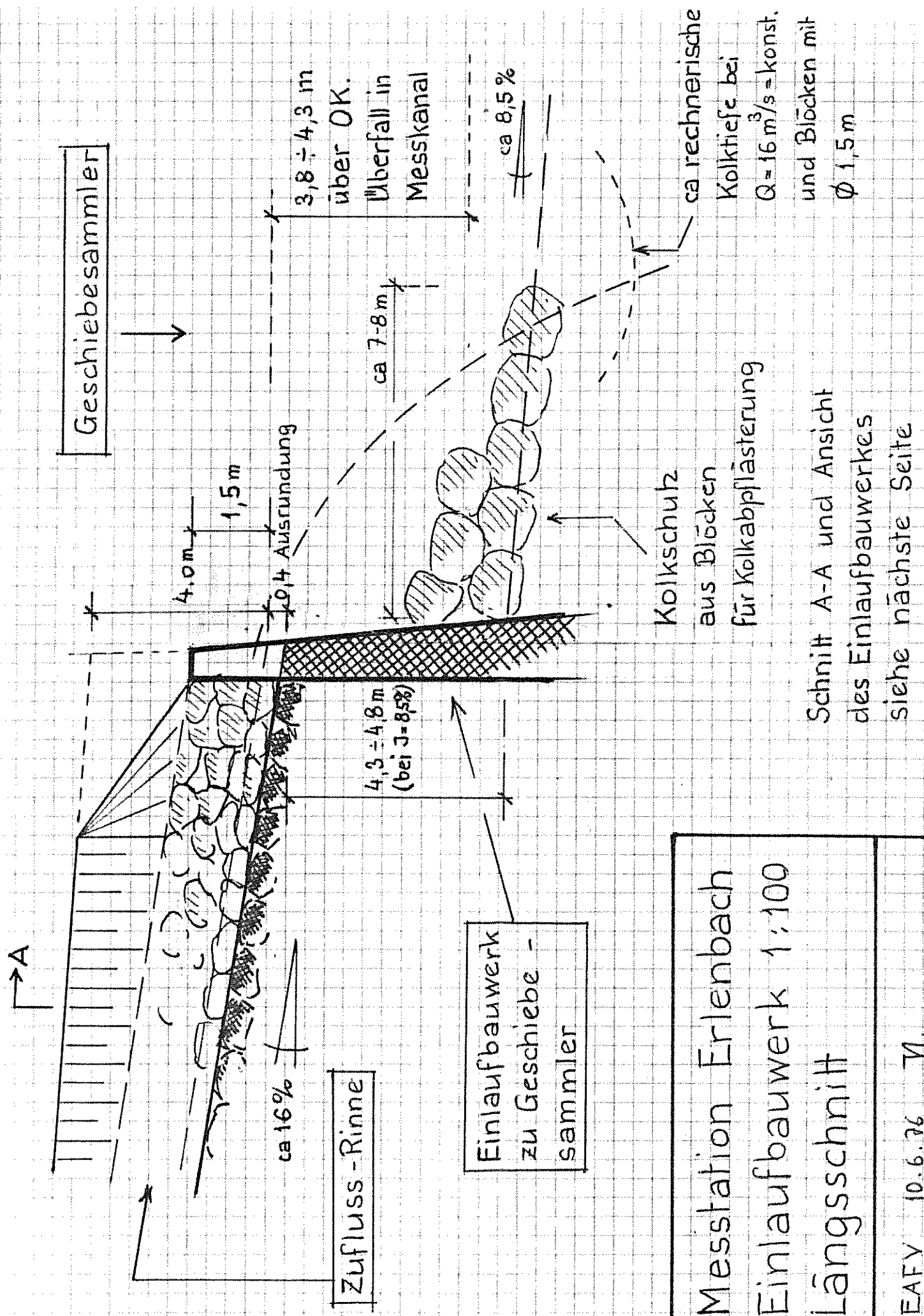
71

Schnitt A-A



Ansicht des
Einlaufbauwerkes

Abflussekation gegen
Abrieb schützen, evtl.
mit Überfallkragen versehen

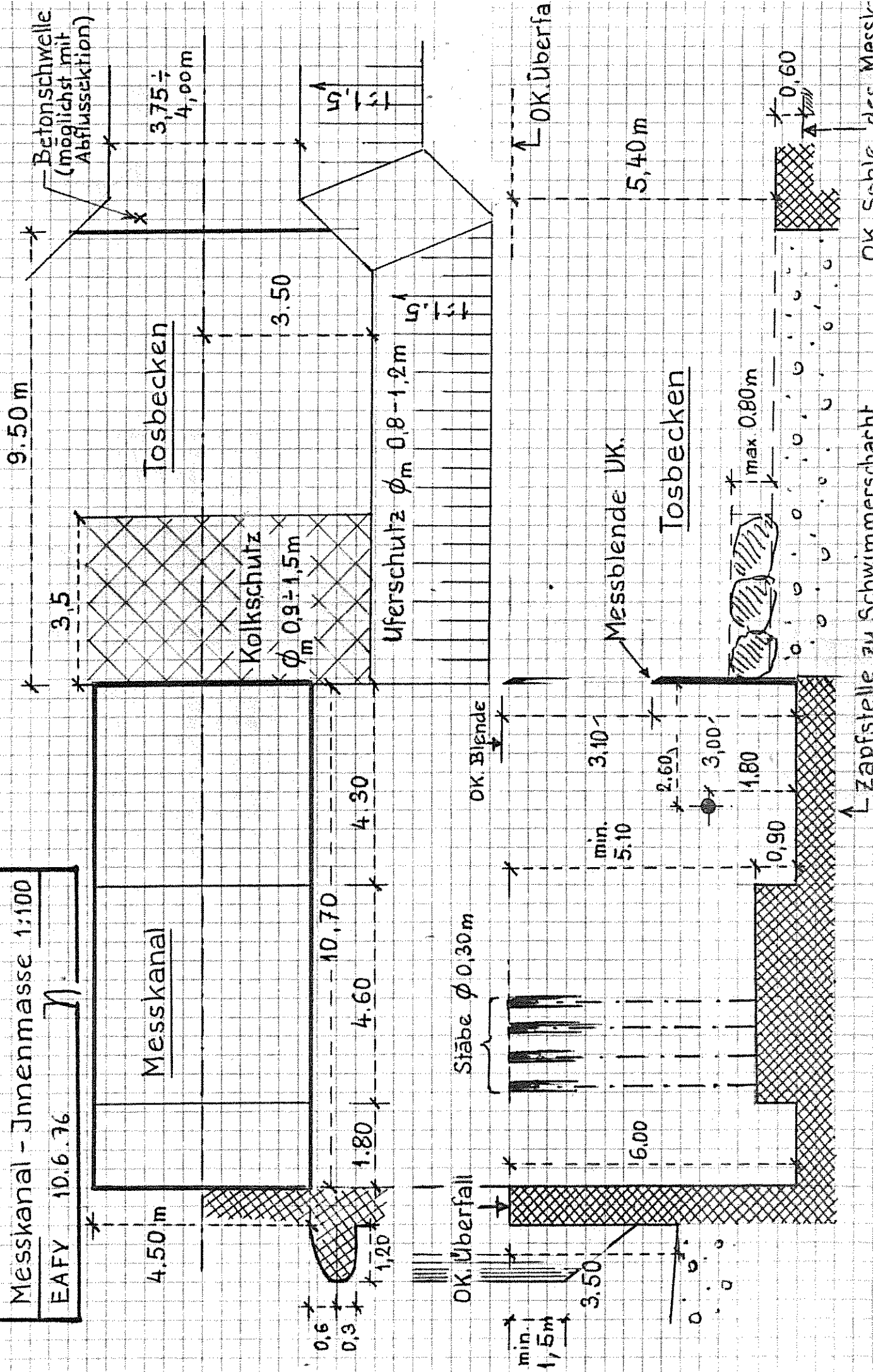


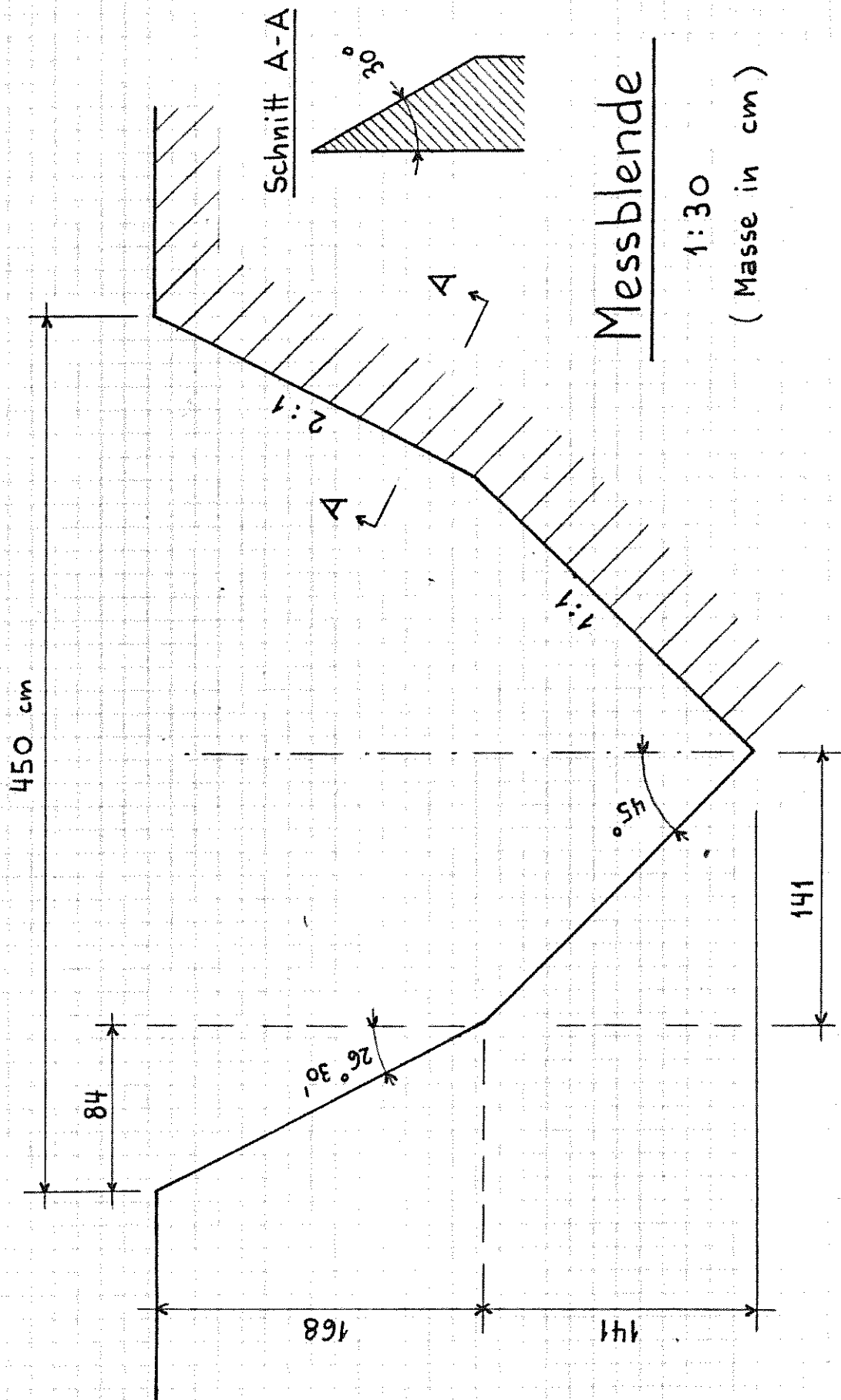
Messtation Erlenbach

Messkanal - Innenmasse 1:100

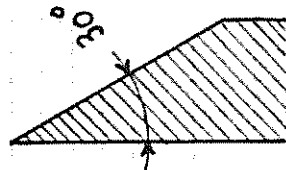
EAFV 10.6.76

71





Schnitt A-A



Messblende

1:30

(Masse in cm)

EAFV 2.5.1967

Versuch Nr. 29

Pegelstandskurve mit Stech-
pegel bestimmt. (gleicher Stand-
ort wie elektr. Pegel)

Gegenüberstellung mit Versuch
Nr. 25 mit einfachem 90° V Überfall

