DETTMANN & THEOBALD
BAUINGENIEURE PARTNERSCHAFT

Konzeptstudie zur Abflussregulierung an der Hallstätter Seeklause

Auftraggeber:
Österreichische UNESCO-Kommission

Bearbeitung:
Dipl.-Ing. S. Dettmann
Prof. Dr.-Ing. S. Theobald

Kassel, April 2018

DETTMANN & THEOBALD
BAUINGENIEURE PARTNERSCHAFT
Am Hilgenberg 23 B
34128 Kassel

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Aufgabenstellung 1

2 Verwendete Unterlagen 2

3 Hydrologie 3

3.1 Lage und Einzugsgebiet 3

3.2 Hydrographische Daten 5

3.3 Überflutungsflächen 6

4 Reduzierung des Personaleinsatzes / Senkung der Betriebskosten 7

5 Machbarkeit einer Vorhersage auf Basis gemessener Zuflüsse 9

5.1 Seezubringer Koppentraun, Waldbach und Gosaubach 10

5.1.1 Hochwasserereignis August 2002 11

5.1.2 Hochwasserereignis August 2006 12

5.1.3 Hochwasserereignis Mai/Juni 2010 14

5.1.4 Hochwasserereignis Juli 2010 15

5.1.5 Hochwasserereignis Mai 2013 16

5.1.6 Zusammenfassung zur Analyse der Seezubringer 17

5.2 Traunpegel oberstrom des Pegels Obertraun 18

6 Meteorologische Vorhersage 21

7 Machbarkeit von Vorabsenkungen auf Basis von Vorhersagen 21

8 Erhöhung der Abflusskapazität des Seeauslaufs 22

8.1 Ertüchtigung der Klappe in der Floßgasse 23

8.2 Vergrößerung der Wehrbreite mit Einbau einer Wehrklappe 25

8.3 Neubau eines Wehrs am nord-östlichen Ufer mit Einbau einer Wehrklappe 27

8.4 Fazit zur Erhöhung der Abflusskapazität 29

9 Zusammenfassung 31

10 Anhang 33

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Am Ausfluss des Hallstättersees regelt eine historische Wehranlage den Wasserstand des Sees. Diese, zum UNESCO Weltkulturerbe zählende, historische Anlage, wird mitunter von den Anliegergemeinden des Hallstättersees für Hochwasserschäden in deren Bereich verantwortlich gemacht. Die vorwiegend aus Holz hergestellte Seeklause ermöglicht sowohl die Regulierung des Pegelstands des Hallstättersees als auch die Steuerung der Wasserführung der Traun. Insbesondere das Hochwasserereignis des Jahres 2013 bewirkte eine Diskussion über die technische Tauglichkeit des denkmalgeschützten Wasserbauwerks. Es stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen mit der bestehenden Anlage ein zeitgemäßer Hochwasserschutz möglich wäre, insbesondere durch eine vorausschauende Regelung bei zu erwartendem Hochwasser. Hierbei ist auch die Wasserführung der Traun unterstrom des Hallstättersees zu beachten, um durch eine frühzeitige Abflusserhöhung die Hochwassersituation für die Unterlieger nicht zu verschärfen. Da der Betrieb der Anlage im derzeitigen baulichen Zustand sehr personalintensiv ist, wird aus wasserwirtschaftlicher Sicht eine Modernisierung angestrebt, die einen weitgehend automatisierten Betrieb mit einem Personaleinsatz auf zeitgemäßem Niveau ermöglicht. Ziel der Studie ist daher die Auslotung von prinzipiellen Möglichkeiten, welche sowohl den Ansprüchen des Denkmalschutzes als auch den Forderungen nach einer modernen Regelung sowie nach einem zeitgemäßen Hochwasserschutz möglichst gerecht werden.

Abbildung 1 zeigt die historische Anlage.

Abb. 1: Seeklause am Hallstättersee

2 Verwendete Unterlagen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte auf folgende Unterlagen zurückgegriffen werden:

(1) Metternich, Prinz Lothar von: Regelung der Wasserdispositionen bei der Seeklause am Hallstätter See, Gesetz- und Verordnungsblatt für das Erzherzogtum Oesterreich ob der Enns vom Jahre 1883
(2) Flögl, H.; Palpham, H.: Über die wasserwirtschaftliche Nutzung der Salzkammergut Seen, ÖWW 29, Heft 7/8, 1977
(3) Flögl, H.; Blaschke, H.: Die Hochwasserretention der Salzkammergutseen, Tagungsband 2 zur „Interpraevent 1980“, S. 175 - 195
(4) Flögl, H.: Wehrbetriebsordnung Hallstättersee Klauswehr, 2007
(5) Flögl, H.: Interessentensuche für einen Betrieb des Hallstättersee Klauswehrs, 2008
(6) Nachtnebel, H-P: Wasserwirtschaftliche Entwicklung in Überflutungsgebieten, BOKU Wien, 2008
(7) Projektgruppe Energie AG, Gewässerbezirk Gmunden, Abteilung Anlagen- Umwelt- und Wasserrecht des Amtes der OÖ. Landesregierung: Endbericht Seeretention Traunsee, 2014
(8) Hanus, C; Stadler, G: Technical Assessment Seeklause Steeg, Krems, 2014
(9) Flögl, H.: Überlegungen zur Anpassung des Hallstättersee-Klauswehrs an den Stand der Technik, Machbarkeitsstudie, 2015

Für die Analysen hinsichtlich der Hydrologie des Einzugsgebiets standen folgende Pegeldaten zur Verfügung:

- Pegel Steeg (Seeabfluss), Traun; Pegel Waldbachstrub, Waldbach; Pegel Obertraun, Traun; Abfluss (01.01.1986 – 01.01.2016, Viertelstundenmittelwerte und 27.09.1976 – 23.05.2016, Stundenmittelwerte)
- Pegel Klaushof, Gosaubach; Abfluss (27.09.1976 – 31.12.1995, Stundenmittelwerte und 1.-5. Juni 2010, 4.-8. Juli 2010 und 1.-5. Juni 2013, Viertelstundenmittelwerte)
- Pegel Steeg (Bootshütte), Traun; Pegel Lahn, Hallstättersee bei der Lahn-Mündung; Wasserstand (01.01.1986 – 01.01.2016, Viertelstundenmittelwerte)
- Pegel Steeg (Bootshütte), Traun; Wasserstand (27.09.1976 – 23.05.2016, Stundenmittelwerte)
- Pegel Altaussee (Altausseer Traun), Archkogl (Traun) und Kainisch (Ödenseetraun); Abfluss und Wasserstand (01.01.2002 – 01.01.2014, Viertelstundenmittelwerte)

Zusätzlich wurde im Februar 2016 eine Ortsbegehung der Anlage und sowie eine Bereisung des Einzugsgebiets durchgeführt.

3 Hydrologie

3.1 Lage und Einzugsgebiet

Der Hallstättersee liegt im Süden von Oberösterreich auf ca. 507 m ü. A. am nördlichen Fuß des Dachsteinmassivs. Er entwässert in die Traun, die am nördlichen Ende bei Steeg den See verlässt. Der Abfluss aus dem See wird von einer modernen Wehrklappe sowie der historischen Seeklause Steeg aus dem 16. Jahrhundert reguliert.

Größter Zufluss in den Hallstättersee ist die Koppentraun am süd-östlichen Ende des Sees von der Steiermark her kommend. Weitere Zuflüsse sind der Gosaubach, der Waldbach bei Lahn südlich von Hallstatt und der Zlambach im Norden unweit des Abflusses.

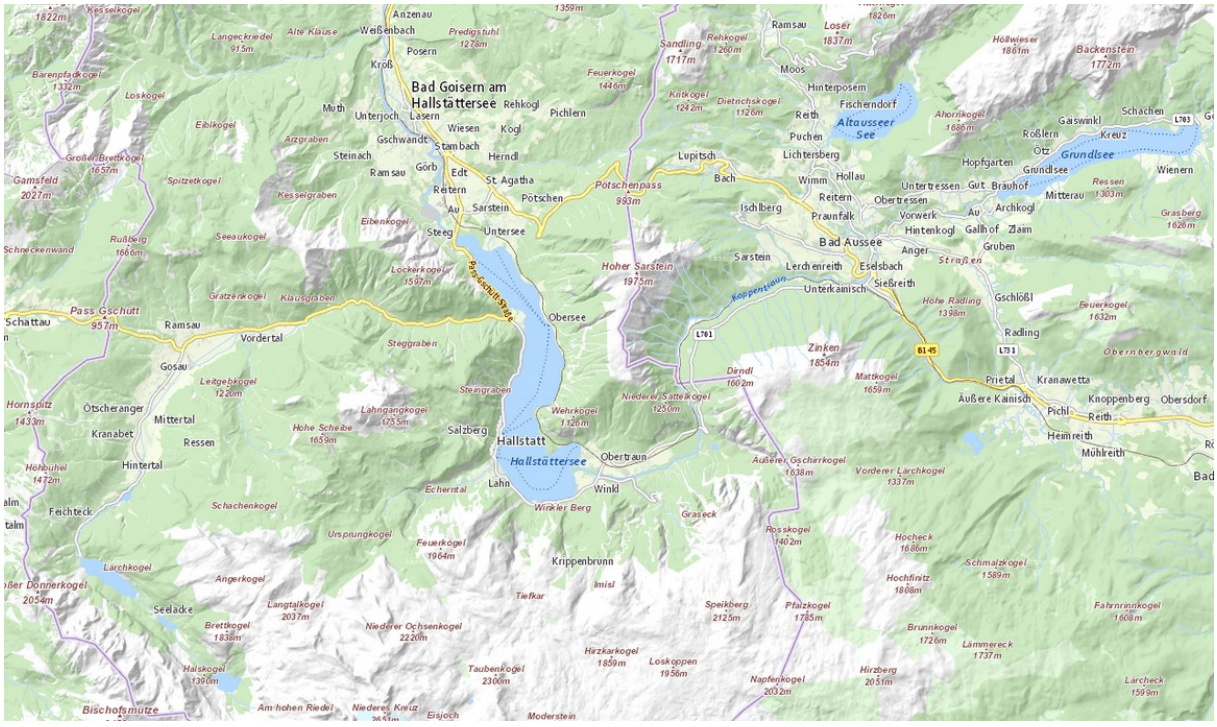


Abb. 2: Lageplan des Hallstättersees (Quelle: www.geoland.at)

Zur Analyse der Hydrologie im Einzugsgebiet standen die in Abb. 3 dargestellten Pegelinformationen zur Verfügung:

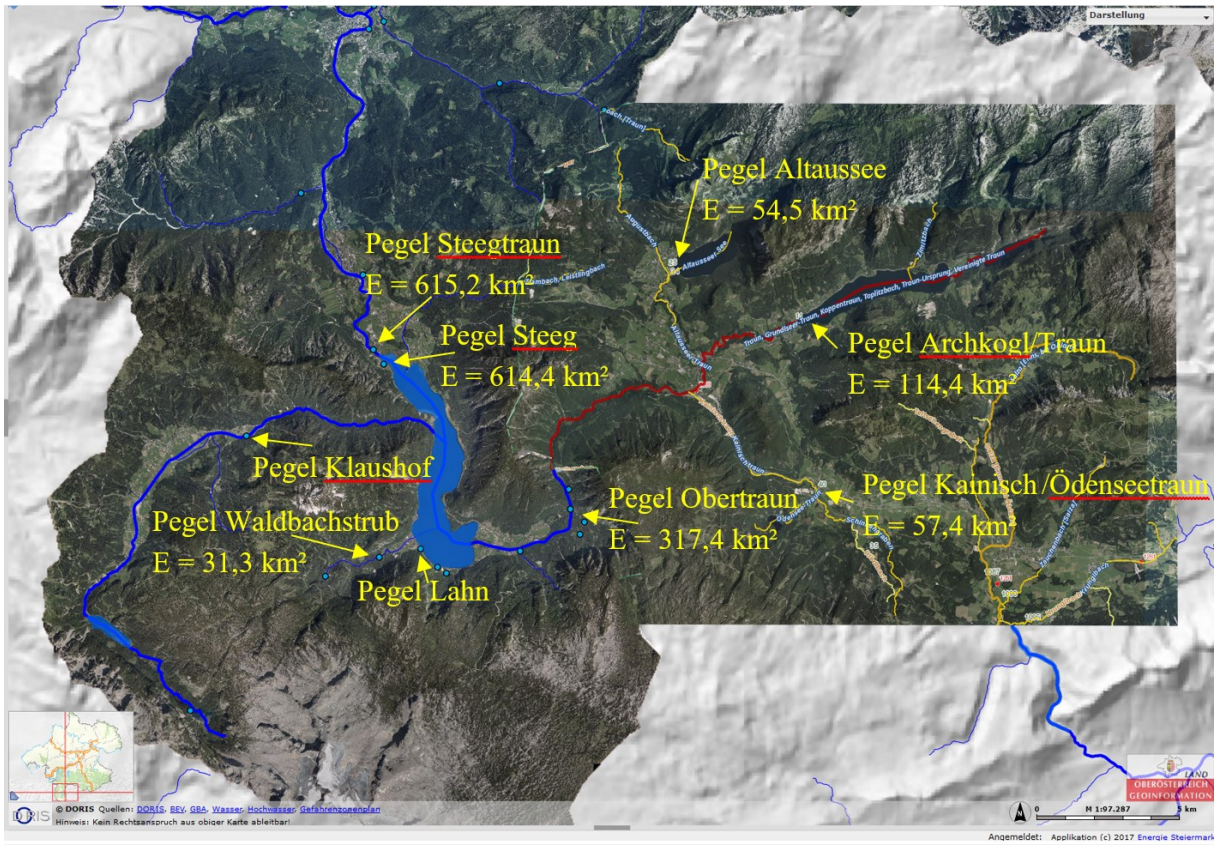


Abb. 3: Lage der Pegel im Einzugsgebiet des Hallstättersees (Quelle: https://doris.ooe.gv.at und Digitaler Atlas Steiermark)

3.2 Hydrographische Daten

Die charakteristischen Daten der Traun im Bereich des Hallstättersees und seines Einzugsgebiets sind in Tabelle 1 angegeben (Quelle: Hydrografisches Jahrbuch 2010, aus: Flögl (9)).

Tabelle 1: Charakteristische Daten der Traun (Mittelwerte 1951-2010)

	E [km²]	**MQ [m³/s]**	**MJNQ [m³/s]**	**MJHQ [m³/s]**
Oberhalb Hallstättersee				
Koppentraun Pegel Obertraun	(317,4)	20,2	2,85	134
Koppentraun Mündung	358,1			
Waldbach Pegel Hallstatt	(31,3)	3,44	0,1	26,5
Waldbach Mündung	35,5			
Gosaubach	111			
Zlambach	21,4			
Hallstättersee Resteinzugsgebiet incl. See	90,4			
Summe	614,4			
Unterhalb Hallstättersee				
Traunpegel Steeg	615,2	36	5,55	235

Laut Flächenverzeichnis des Hydrografischen Dienstes von 2002 beträgt die Seefläche des Hallstättersees 8,2 km² (5), in der WBO (4) ist von 8,4 km² die Rede. Die Wasserstände am Pegel Steeg/Bootshütte sind in Tabelle 2 dargestellt, die Abflüsse am Pegel Steeg/Traun, der etwa 190 m unterhalb des Klauswehres am rechten Ufer liegt, in Tabelle 3.

Tabelle 2: Wasserstände Hallstättersee (aus: WBO (4))

	Pegel Steeg/Bootshütte [m ü. A.]
Mittelwasserstand (MW)	508,24
Niedrigwasserstand (NW	507,64
Mittl. Hochwasserstand (MHW)	509,20
1-jährliches Hochwasser (HW_1)	509,04
10-jährliches Hochwasser (HW_{10})	509,56
30-jährliches Hochwasser (HW_{30})	509,85
100-jährliches Hochwasser (HW_{100})	510,16

Tabelle 3: Abflüsse Traunpegel Steeg (aus: WBO (4))

	Abfluss Pegel Steeg/Traun [m³/s]
NNQ	2,9
Mittl. Jährliches Niederwasser (MJNQ)	5,3
Gesicherte Wasserführung (Q95)	7,2
Mittelwasserführung (MQ)	35,3
Mittl. Hochwasser (MHQ)	231
1-jährliches Hochwasser (HQ_1)	175
10-jährliches Hochwasser (HQ_{10})	320
30-jährliches Hochwasser (HQ_{30})	390
100-jährliches Hochwasser (HQ_{100})	470
Höchstes beobachtetes Hochwasser (HQ)	445 (13.08.1959)

Einzugsgebiet 646,50 km²

3.3 Überflutungsflächen

Zur Einordnung der Auswirkungen erhöhter Wasserstände im Bereich des Hallstättersees stehen Überflutungskarten zur Verfügung, die auch im Internet unter http://doris.ooe.gv.at/viewer (Wasser und Geologie) abrufbar sind. Die dort darstellbaren Hochwasseranschlagslinien für das 30-jährliche und das 100-jährliche Hochwasser basieren auf der Verschneidung eines DHM (Befliegung 2006) mit den vom Hydrografischen Dienst angegebenen Hochwasserständen für das HQ_{100} mit 510,32 m ü.A. und HQ_{30} mit 509,98 m ü.A. (Stand Januar 2014). Hierbei fällt auf, dass die für die Verschneidung verwendeten Hochwasserstände höher sind, als die in der WBO von 2007 (vgl. Tabelle 2) angegebenen. Eine Darstellung der Ortsbereiche von Hallstatt und Lahn ist in Abb. 4 wiedergegeben.

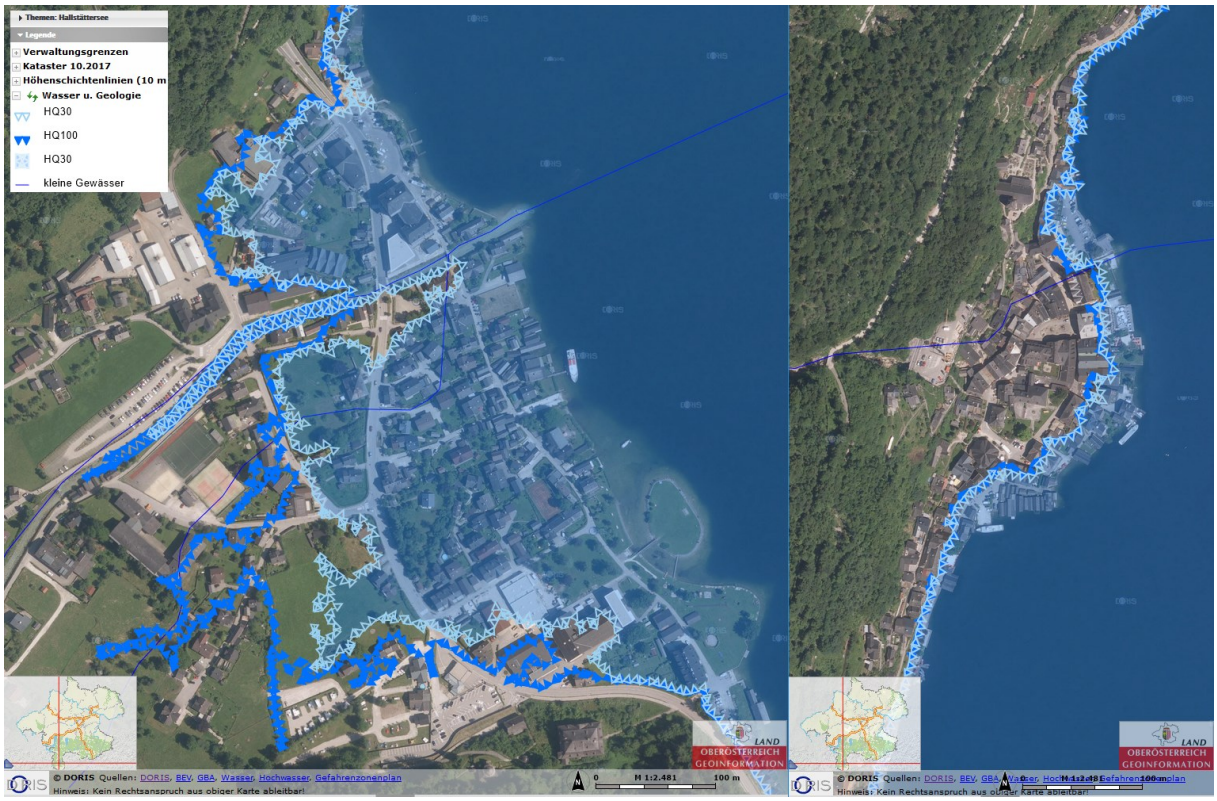


Abb. 4: Darstellung von Überflutungsflächen für die Ortsbereiche von Lahn (links) und Hallstatt (rechts), Quelle: http://doris.ooe.gv.at

4 Reduzierung des Personaleinsatzes / Senkung der Betriebskosten

Die Seeklause aus dem 16. Jahrhundert ist ein denkmalgeschütztes Ingenieurbauwerk, das in seiner ursprünglichen Form vollständig erhalten und funktionsfähig ist. Lediglich in die damalige Floßgasse wurde eine automatisierte Wehrklappe eingebaut. Eine Erhaltung dieses historischen Baudenkmals ist daher erstrebenswert.

Die Anlage besteht aus den historischen 11 Klaustoren mit dazwischenliegenden Steinkästen, sowie einer, in die ehemalige Floßgasse eingebauten, vollautomatisierten modernen Wehrklappe. Vom 3. Januar bis 23. März ist laut WBO Winterbetrieb vorgeschrieben, d.h. an diesen 79 Tagen im Jahr sind alle Klaustore geöffnet und die Klappe ist vollständig abgesenkt. In der übrigen Zeit wird die Anlage laut WBO so betrieben, dass der Wasserstand zwischen OW = 508,20 m ü. A. und OW = 508,45 m ü. A. gehalten wird. Dies ist bis zur vollständigen Öffnung der Seeklause bei einem Abfluss von ca. $Q \approx 92$ m³/s möglich. Bei höheren Abflüssen steigt der Seespiegel und die Seeklause wird überströmt.

Der vollständig automatisiert regelbare Abfluss durch das Wehr in der Floßgasse beträgt maximal $Q = 16$ m³/s. Dieser Abfluss wird statistisch gesehen an 256 Tagen im Jahr überschritten (vgl. Abb. 6), d.h. an dieser Anzahl von Tagen sind manche oder alle Klaustore geöffnet und müssen bei sich ändernden Abflussverhältnissen ggf. wieder geschlossen werden. Da die in Abb. 6 dargestellte Dauerlinie auf Grundlage der Abflüsse alle Tage eines Jahres erstellt wurde und keine Unterscheidung zwischen Zeiten des Winter- und des Normalbetriebs gemacht

wurde, ist bei allen in dieser Studie gemachten Angaben von Überschreitungstagen nicht berücksichtigt, dass die Tore an manchen der angegebenen Tage wegen Winterbetriebs möglicherweise ohnehin geöffnet wären. Die angegebene Anzahl der Tage gilt also für den theoretischen Fall, dass das ganze Jahr Normalbetrieb herrscht, liefert aber dennoch eine gute Vergleichbarkeit der Auswirkungen der Maßnahmen.

Während der Öffnungsvorgang der Klaustore bei steigendem Wasserstand automatisch ausgelöst wird, müssen dieselben manuell mithilfe eines Klausfloßes wieder geschlossen werden, was wegen des nötigen Personaleinsatzes (2 Personen) zu entsprechenden Betriebskosten führt. Zur Verringerung des Personalaufwandes ist es wünschenswert und zeitgemäß, nicht nur den Öffnungs-, sondern auch den Schließvorgang der Klaustore (einzelner / mehrerer / aller) zu automatisieren. Hierdurch könnte der Personaleinsatz auf Überwachungs- und Wartungsarbeiten reduziert werden. Es sollte überprüft werden, ob ein von außen unsichtbarer Schließmechanismus in den Steinkästen der historischen Klause (vgl. Abb. 5) unterzubringen ist. Dies scheint auf den ersten Blick nicht unmöglich, erfordert jedoch eine mit allen Akteuren abgestimmte Speziallösung.

Abb. 5: Geöffneter Steinkasten der historischen Seeklause

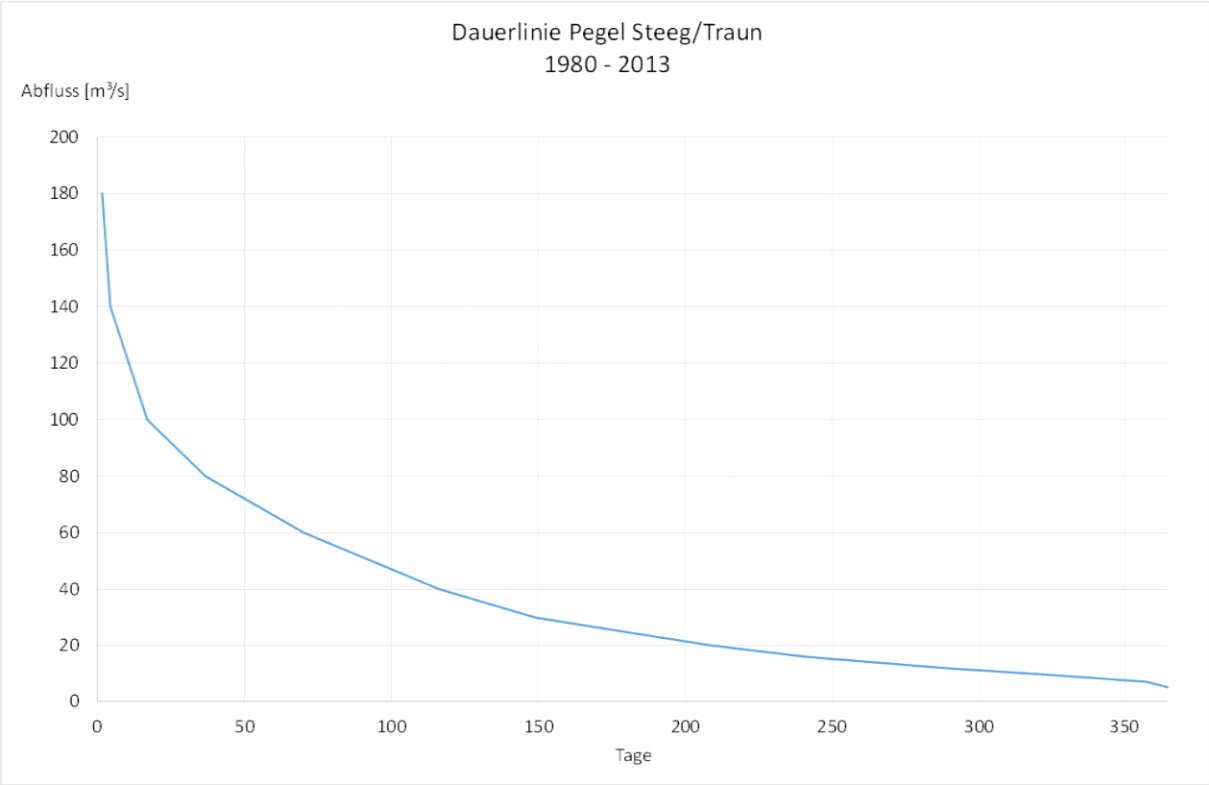


Abb. 6: Dauerlinie Hallstättersee (Quelle: Hydrographischer Dienst Österreich)

5 Machbarkeit einer Vorhersage auf Basis gemessener Zuflüsse

Zur Verbesserung der Hochwassersituation werden andernorts Vorhersagemodelle eingesetzt, um den Wasserstand im See frühzeitig zu reduzieren und somit Rückhaltevolumen zu schaffen. In diesem Abschnitt wird untersucht, ob auch am Hallstättersee eine Vorhersage auf Basis gemessener Zuflüsse für Hochwasserereignisse möglich und eine frühzeitige Absenkung realisierbar und zielführend ist.

Ziel dieses Teils der Untersuchung ist es, das Wellenablaufverhalten im Einzugsgebiet des Hallstättersees zu analysieren und hieraus ein mögliches Potential für eine frühzeitige Abflusserhöhung abzuleiten, um die Auswirkungen eines Hochwassers für die Anlieger sowie für die Unterlieger abzuschwächen. Zu diesem Zweck wurden Abfluss- und Wasserstandszeitreihen abgelaufener Ereignisse sowohl für die Zubringer als auch den See selbst gegenübergestellt und verglichen, um eine zeitliche Abfolge der Hochwasseranstiege an den einzelnen Stationen zu bestimmen. Idealerweise kann hieraus eine „Vorwarnzeit“ ermittelt werden, die zu einer für die Unterlieger unkritischen, frühzeitigen Abflusserhöhung genutzt werden kann.

Die Analyse ist in zwei Abschnitten dargestellt. Abschnitt 5.1 beschreibt die Analyse der Abflussmesswerte der unmittelbaren Seezubringer Koppentraun, Waldbach und Gosaubach, Abschnitt 5.2 beschäftigt sich mit den oberhalb des Pegels Obertraun gelegenen Zuflüssen zur Koppentraun. Vom Zlambach liegen keine Daten vor.

Aus den gelieferten Daten wurden die folgenden Zeiträume mit starken Abflussanstiegen ab 2002 ausgewählt:

- 11. – 14.08.2002
- 05. – 11.08.2006
- 01. – 05.06.2010
- 04. – 08.07.2010
- 01. – 05.06.2013

5.1 Seezubringer Koppentraun, Waldbach und Gosaubach

Der oberirdische Hauptzufluss in den Hallstättersee erfolgt durch die Koppentraun am Südöstlichen Ende des Sees bei Obertraun. Der gleichnamige Pegel liegt etwa 4,4 km vor Eintritt in den See und deckt mit E = 317,4 km² etwa die Hälfte des Einzugsgebiets des Hallstättersees ab. Der Mittlere Abfluss beträgt hier MQ = 20,2 m³/s.

Der Waldbach mündet bei der Gemeinde Lahn von Westen her kommend in den Hallstättersee und hat eine Gesamtlänge von ca. 4 km. Ca. 2,7 km oberhalb der Mündung befindet sich der Pegel Waldbachstrub, mit einem mittleren Abfluss von MQ = 3,44 m³/s und einem Einzugsgebiet von E = 31,3 km².

Die Mündung des Gosaubachs liegt am Westufer des Hallstättersees, etwa 3 km von dessen Ausfluss und damit der Seeklause entfernt. Das aus dem Gosaubach gespeiste Kraftwerk Steeg befindet sich ca. 250 m südlich der Seeklause. Für den Pegel Gosaubach, situiert in Gosau Vordertal (Klaushof), sowie für das Kraftwerk Steeg wurden für die Zeiträume 1.-5. Juni 2010, 4.-8. Juli 2010 und 1.-5. Juni 2013 Abflussdaten zur Verfügung gestellt. Das Einzugsgebiet des Gosaubachs umfasst E = 111 km².

Die Summe der Einzugsgebiete der vorliegenden Pegel an den Zubringern Koppentraun, Gosaubach und Waldbach beträgt 459,7 km² oder 75 % des Einzugsgebiets des Hallstättersees (vgl. Tabelle 1).

Für die gewählten Zeiträume wird analysiert, ob sich die Pegel Obertraun, Waldbachstrub und Gosaubach für eine Vorhersage des Seeanstiegs eignen und diese damit für eine Hochwasservorhersage auf Basis gemessener Abflüsse herangezogen werden können. Untersucht wird jeweils die Zeitspanne zwischen dem Beginn des Abflussanstiegs an den Zubringern und dem Abflussanstieg am Pegel Steeg/Traun bzw. dem Anstieg des Seespiegels am Pegel Steeg/Bootshütte. Diese Zeitspanne ermöglicht eine Einschätzung dessen, inwiefern es möglich wäre, durch eine vorausschauende Abflusserhöhung an der Klause den Hochwasseranstieg im See hinauszuzögern. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die verwendeten Abflussdaten für die Pegel Steeg/Bootshütte und Steeg/Traun keinen unbeeinflussten Wellenablauf darstellen, da die Daten an beiden Messstellen durch die Steuerung der Klause bereits beeinflusst sind.

In den folgenden Abbildungen ist jeweils der Verlauf des Seewasserstandes am Pegel Steeg/Bootshütte durch die blau gestichelte Linie, der des Abflusses am Pegel Steeg/Traun

durch die orangefarbene Linie dargestellt. Der Abflussverlauf am Pegel Obertraun ist gekennzeichnet durch die grüne, der des Pegels Waldbachstrub durch die blau durchgezogene Linie. Zusätzlich ist durch die dunkelrote Linie die Abflusssumme der beiden Zubringer dargestellt. Für diese wurden die einzelnen Zuflüsse addiert, wobei ein zeitlicher Versatz bei der Addition der beiden Zuflüsse nicht berücksichtigt wurde. Für die Ereignisse ab Juli 2010 lagen zusätzlich Informationen über den Abfluss aus dem Gosautal vor. Dieser ist in den Abbildungen als dunkelgrüne Linie eingetragen, die Summe aller Zubringer als violette Line. Auch hier wurde bei der Addition der einzelnen Abflüsse der Zubringer kein zeitlicher Versatz berücksichtigt.

5.1.1 Hochwasserereignis August 2002

In Abb. 7 ist der Zeitraum vom 11. bis 13. August 2002 dargestellt. Im Diagramm markiert sind die Zeitpunkte, zu denen der Beginn des jeweiligen Pegelanstiegs bei Betrachtung des Gesamtverlaufs offensichtlich ist. Ob dieser auch ohne Kenntnis des weiteren Verlaufs zum genannten Zeitpunkt hätte zweifelsfrei erkannt werden können, wird in diesem Schritt der Analyse nicht beurteilt. Der Abflussanstieg am Pegel Obertraun ist im Diagramm am 12.8.2002 gegen 1:15 Uhr erkennbar, der Abflussanstieg am Pegel Steeg am 12.8. um 3:30 Uhr, also 2,25 Stunden später. Der Abflussanstieg am Pegel Waldbachstrub erfolgt erst unmittelbar vor dem Abflussanstieg am Pegel Steeg. Für den Gosaubach lagen für diesen Zeitraum keine Daten vor.

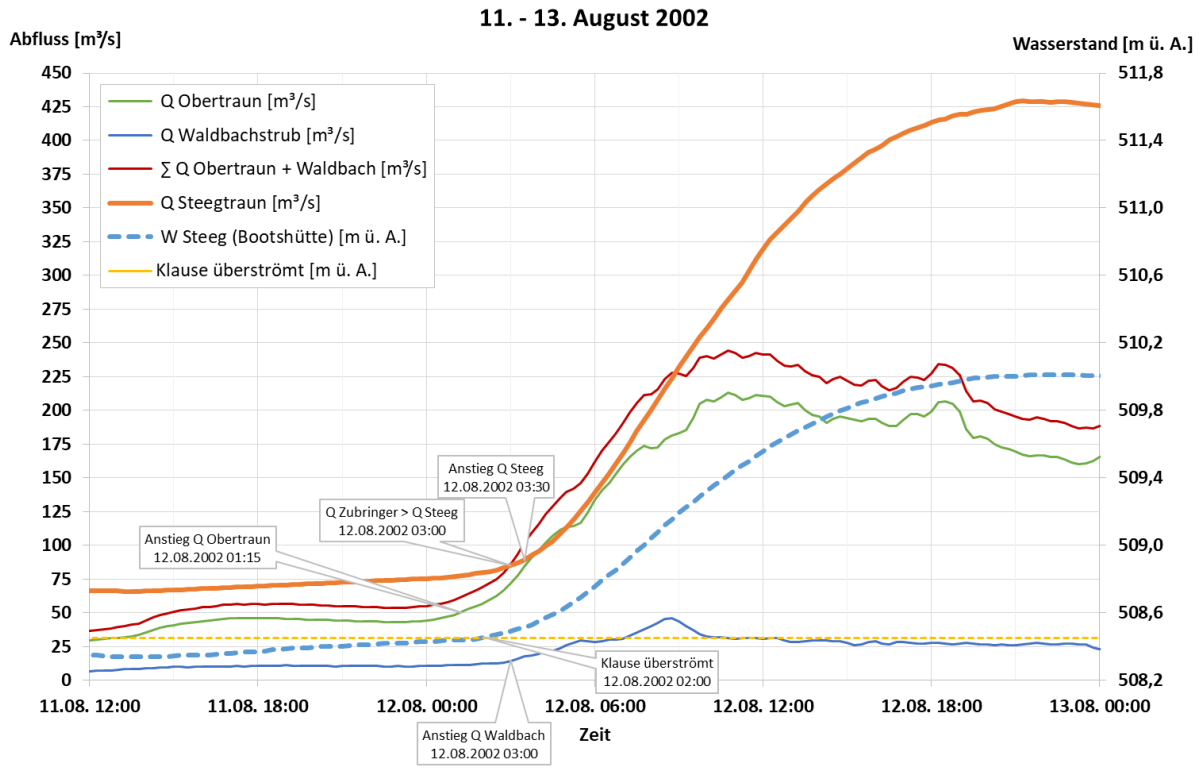


Abb. 7: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 11. - 13. August 2002

Abb. 8 zeigt ein Detail des Abflussanstiegs vom 12.8.2002. Um 3 Uhr übersteigt die Summe der Abflüsse am Pegel Obertraun und am Pegel Waldbachstrub den Abfluss am Pegel Steeg. Spätestens ab diesem Zeitpunkt ist ein Anstieg des Seespiegels vorherzusehen, weshalb der Abfluss aus dem See ebenfalls erhöht werden sollte. Zum fraglichen Zeitpunkt ist jedoch die Klause bereits seit einer Stunde überströmt, d.h. laut WBO sind alle Verschlüsse geöffnet und der Abfluss ist nicht mehr manuell zu erhöhen. Selbst wenn jedoch bei einem veränderten Seeauslauf durch eine Abflusserhöhung zu diesem Zeitpunkt noch Volumen geschaffen werden könnte, würde dies im weiteren Verlauf des Hochwasseranstiegs schnell wieder aufgefüllt werden und bestenfalls einen geringen zeitlichen Aufschub des Wasserstandsanstiegs im See bewirken. Ein Einfluss auf die Hochwasserspitze ist nicht möglich.

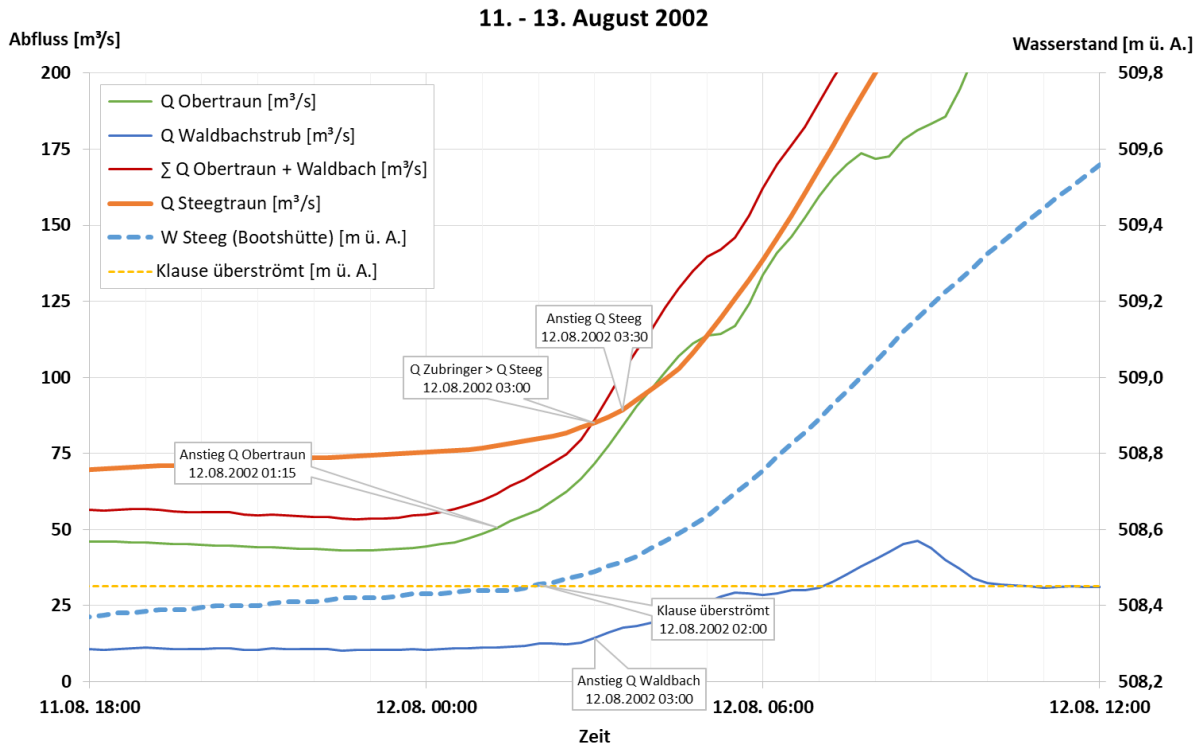


Abb. 8: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 11. - 13. August 2002 (Detail aus Abb. 7)

5.1.2 Hochwasserereignis August 2006

In Abb. 9 ist das Hochwasserereignis vom August 2006 dargestellt. Der Abflussanstieg der Zubringer erfolgt in mehreren Stufen, von denen die erste am Nachmittag des 3.8.2006 mit einem recht steilen Anstieg an den Pegeln Obertraun und Waldbach beginnt, sodass gegen 16 Uhr die Summe der Zuflüsse den Abfluss am Pegel Steeg übersteigt. Ab ca. 20 Uhr beginnt der Abfluss der Zubringer wieder leicht zu fallen, der Abfluss der Klause steigt jedoch noch, deutlich langsamer, weiter. Gegen 21:30 Uhr ist laut den Wasserstandsdaten die Klause überströmt und damit gemäß WBO vollständig geöffnet. Abfluss und Wasserstand fallen in den

folgenden Tagen leicht, bis am 6.8.2006 gegen 1:30 Uhr am Pegel Obertraun der Abflussanstieg des eigentlichen Hochwasserereignisses beginnt. Der Wasserstandsanstieg an der Seeklause beginnt gegen 5:30 Uhr und es ist spätestens um 8:45 offensichtlich, dass die Klause wieder überströmt wird. Der Abflussanstieg am Pegel Steeg wird etwa zum gleichen Zeitpunkt deutlich.

Im Detail in Abb. 10 ist zu erkennen, dass vermutlich am 5.8. gegen 12:30 ein Verschluss geschlossen wurde, der am 6.8. gegen 7:30 Uhr wieder geöffnet wurde. Seit 6:45 h lag die Abflusssumme der Zubringer bereits höher als die Abflusssumme am Pegel Steeg. Die Klause war gegen 8:45 h wieder überströmt und damit waren keine weiteren Möglichkeiten zur Abflussregulierung mehr gegeben.

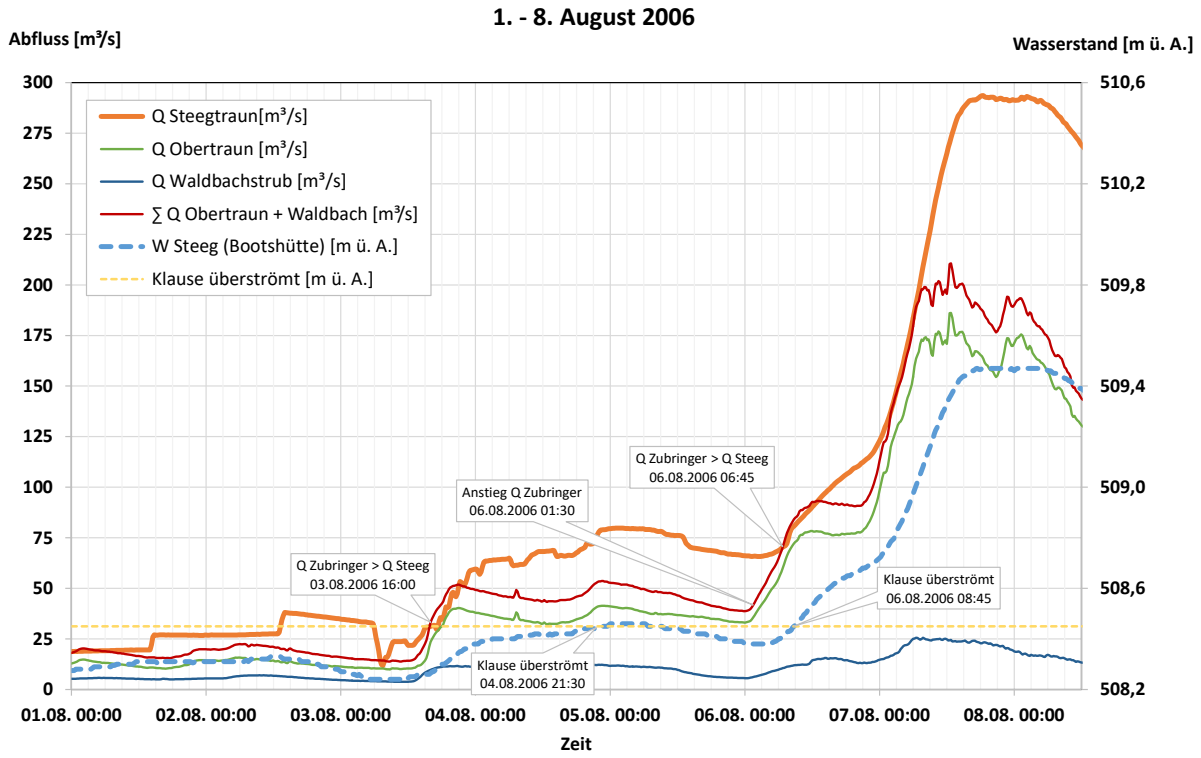


Abb. 9: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 1. - 8. August 2006

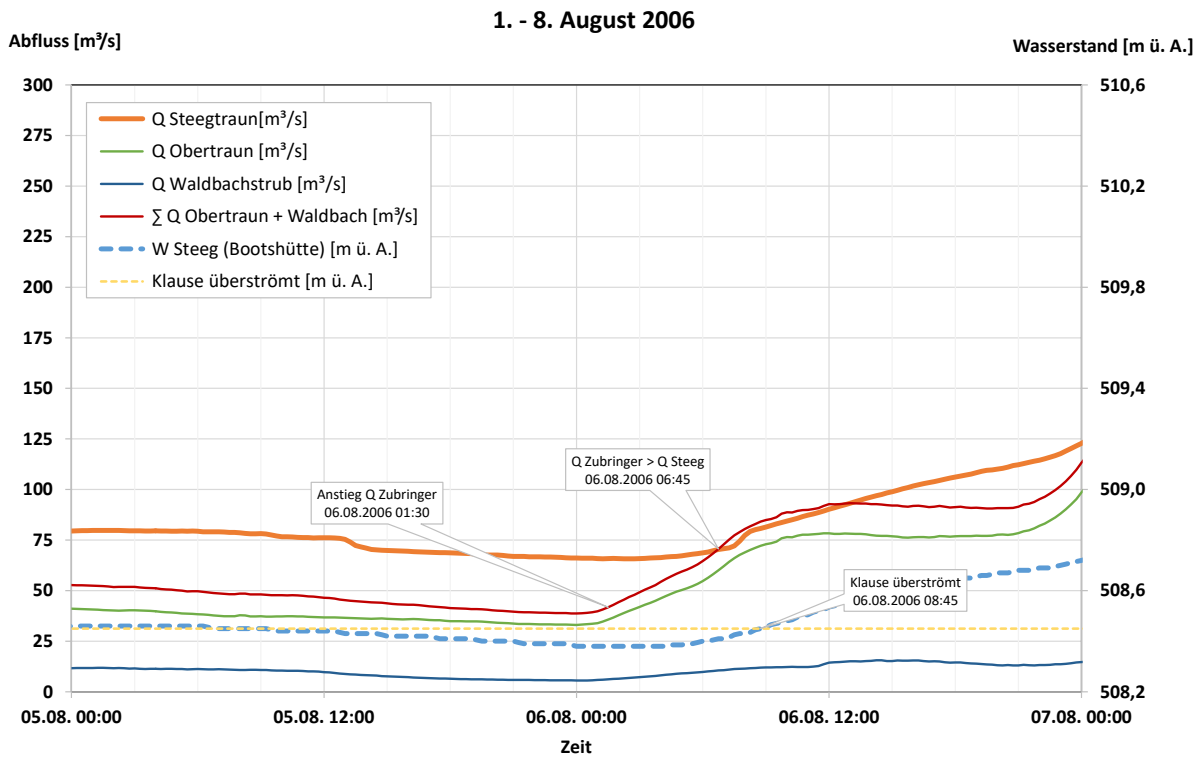


Abb. 10: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 5. - 7. August 2006 (Detail aus Abb. 9)

5.1.3 Hochwasserereignis Mai/Juni 2010

Auch das in Abb. 11 dargestellte Ereignis vom Mai/Juni 2010 läuft in Stufen ab und beginnt mit einem Abflussanstieg am 21.5.2010. Ab dem 22.5. 6 Uhr ist die Klause überströmt, damit sind laut WBO alle Verschlüsse geöffnet. Der Abfluss sinkt in den folgenden Tagen nicht nennenswert und die Klause bleibt überströmt. Am 2.6. steigt der Abfluss erneut erheblich, es sind jedoch nach wie vor bereits alle Verschlüsse geöffnet, sodass keine Aktionsmöglichkeiten gegeben sind.

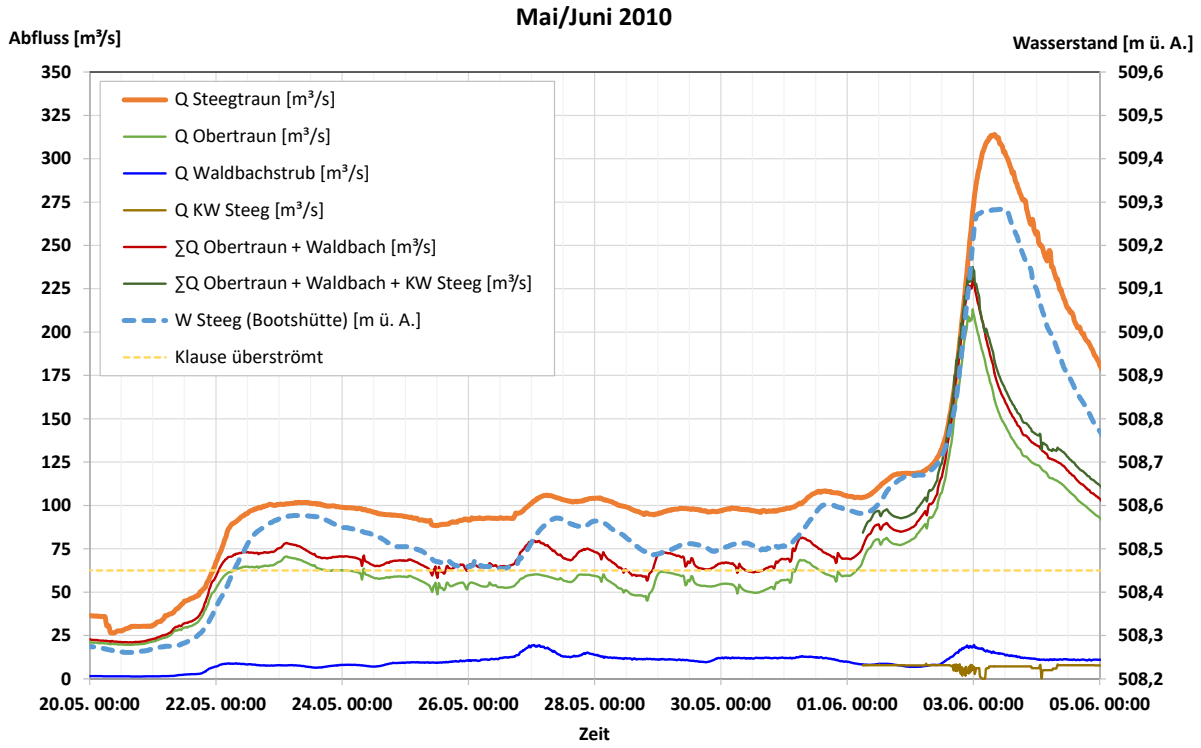


Abb. 11: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 20.5.2010 – 5.6.2010

5.1.4 Hochwasserereignis Juli 2010

Bei dem in Abb. 12 dargestellten Hochwasserereignis vom Juli 2010 beginnt der Zufluss in den See am 4.7.2010 ab ca. 13 Uhr zunächst innerhalb von 2,5 h von Q ≈ 15 m³/s auf Q ≈ 24 m³/s anzusteigen bevor er ab ca. 15:30 h in nur 45 Minuten um weitere ΔQ ≈ 80 m³/s zunimmt. Er übersteigt den Abfluss aus dem See ab 15:30 h erheblich. Ab 20:30 h ist die Klause überströmt.

Möglicherweise wäre in der Zeit zwischen 15:30 h und 20:30 h der Abfluss an der Klause durch rascheres Öffnen weiterer Tore schneller zu erhöhen gewesen. Dies hätte den Wasserstandsanstieg im See verzögern können. Eine Auswirkung auf den maximalen Seewasserstand hätte jedoch auch bei diesem Ereignis nicht herbeigeführt werden können, da sich das durch die frühzeitige Abflusserhöhung geschaffene Volumen bei Übersteigen der regelbaren Abflusskapazität schnell wieder auffüllt.

Für dieses Ereignis lagen auch Abflussaufzeichnungen aus dem Gosautal vor, die mit der dunkelgrünen Linie eingezeichnet sind. Der aufgezeichnete Abflussverlauf ist im Zeitraum des Hochwasseranstiegs nahezu konstant, allerdings mit Q ≈ 25 m³/s ungefähr so groß wie der Abfluss aus dem See. Daher übersteigt die Summe der Abflüsse an den Zubringerpegeln Obertraun, Waldbachstrub und Gosautal (violette Linie) den Abfluss aus dem See erheblich, was zu einem Anstieg des Wasserstandes im See führen müsste, welcher in den Daten aber nicht ersichtlich ist. In den Tagen vor dem 4. Juli waren die gemessenen Abflüsse an den Pegeln Obertraun, Waldbachstrub und Steeg konstant, ebenso der Verlauf des Seewasserstandes. Über den Pegel Gosaubach liegen vor dem 4.7. 2010 keine Daten vor. Die genannte Inkonsistenz (Zufluss

größer Abfluss bei konstantem Wasserstand) weist auf ungenaue Abflussermittlungen an den Pegeln hin. Von unserer Seite kann nicht beurteilt werden, ob diese Ungenauigkeit einem Pegel zuzuordnen ist oder für alle Zuflusspegel gilt.

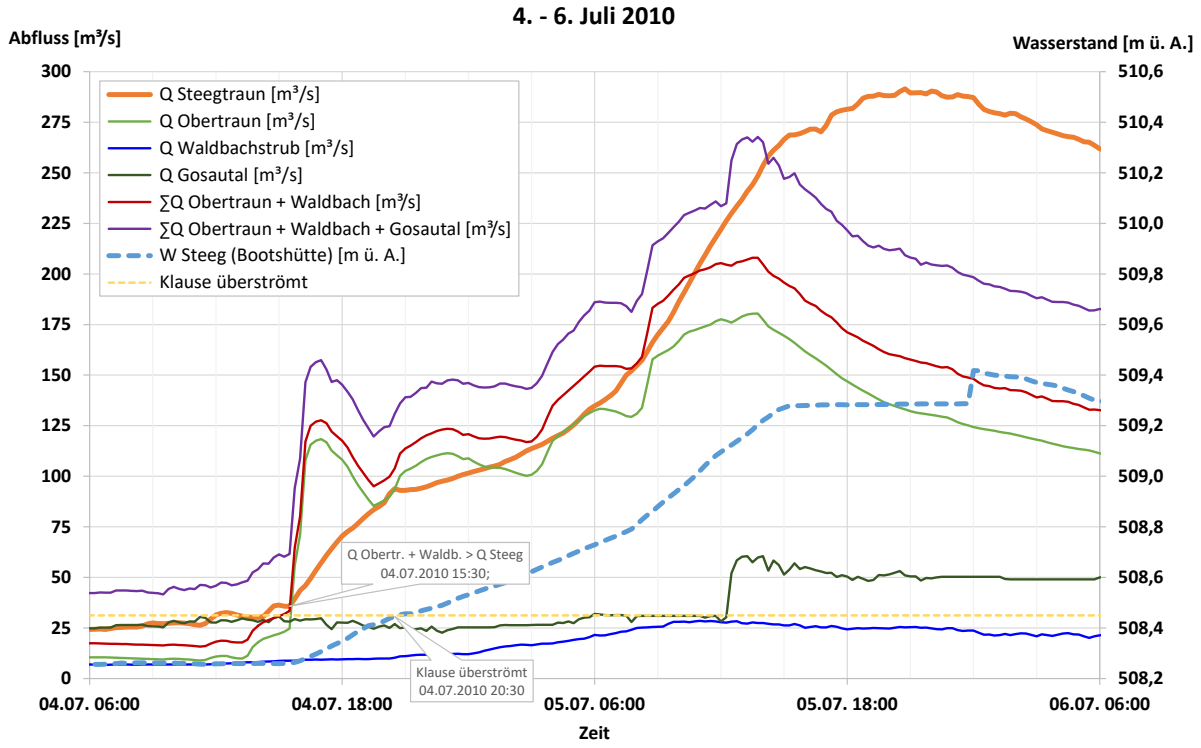


Abb. 12: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 4. - 6. Juli 2010

5.1.5 Hochwasserereignis Mai 2013

Am 31.5.2013 steigen Wasserstand und Abfluss an der Seeklause kontinuierlich an, wie in Abb. 13 dargestellt ist, bis am 1.6. gegen 0:30 h die Klause überströmt ist. Der eigentliche Hochwasseranstieg erfolgt gegen 20:30 h desselben Tages, zu diesem Zeitpunkt ist jedoch laut WBO die Klause bereits vollständig geöffnet. Die Summe der Zuflüsse Obertraun und Waldbach übersteigt den Abfluss Steeg gegen 22:15 h am 1.6.2013, zu einem Zeitpunkt, als der Abfluss am Pegel Steeg selbst bereits ansteigt. Eine nennenswerte Verzögerung des Wasserstandsanstiegs wäre hier demnach auch bei größerer Abflusskapazität am Seeauslauf nicht möglich.

Während der Abfluss am Pegel Waldbach etwa zur selben Zeit ansteigt wie der Abfluss am Pegel Obertraun, ist in den Daten des Pegels Gosaubach in diesem Zeitraum kein Abflussanstieg erkennbar.

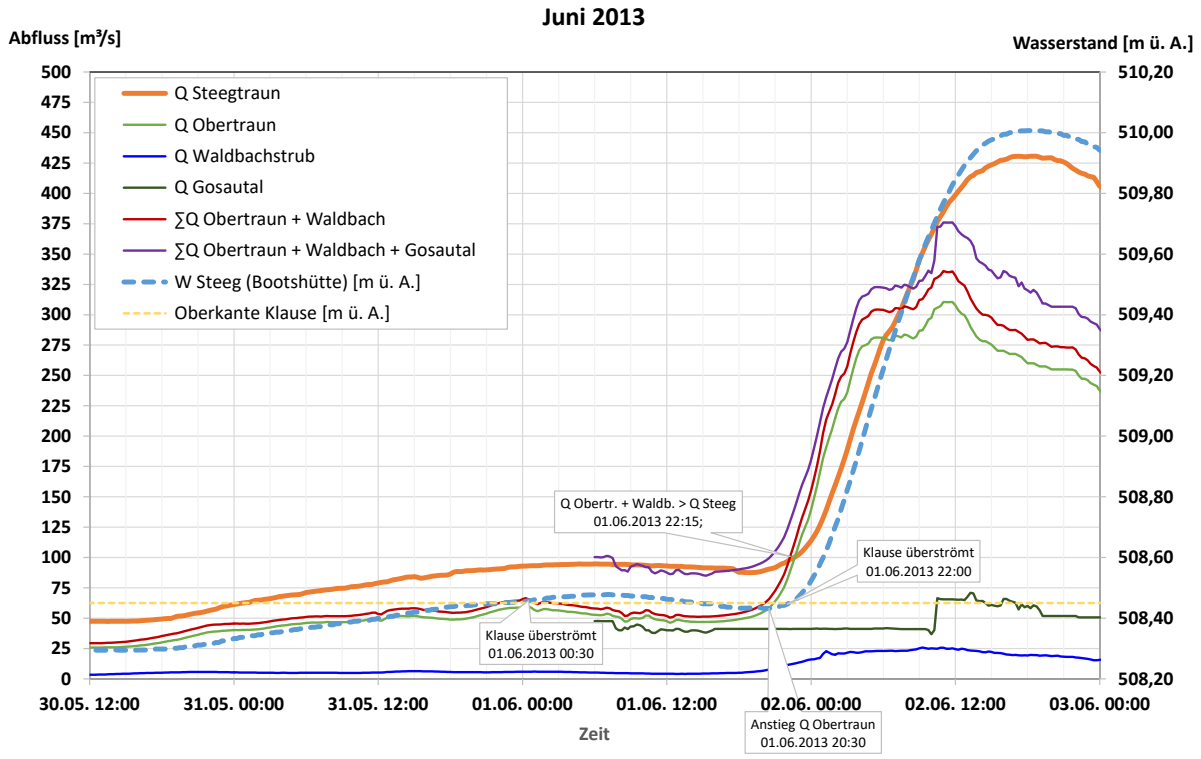


Abb. 13: Seewasserstand und Seezubringer im Zeitraum 1. - 5. Juni 2013

5.1.6 Zusammenfassung zur Analyse der Seezubringer

Zusammengefasst lässt sich für diese Ereignisse festhalten, dass ein Abflussanstieg am Pegel Obertraun ca. 1 – 4 Stunden vor dem jeweiligen Wasserstandsanstieg am Seeauslauf stattgefunden hat. Diese Erkenntnis beruht auf einer nachträglichen Analyse der Daten. Ob die Abflussanstiege zum gegebenen Zeitpunkt auch bereits vorausschauend als relevant hätten erkannt werden können, wurde nicht untersucht. Hierzu wären Kriterien festzulegen, die den angegebenen Zeitraum vermutlich weiter einengen, außerdem wären weitere Zeiträume auf Potential für Fehlmeldungen zu prüfen. Generell ist dieser Vorhersagezeitraum relativ knapp, um überhaupt relevantes Volumen auslagern zu können. In den meisten der hieruntersuchten Fälle hätte der Abfluss an der Seeklause ohnehin nicht mehr geregelt werden können, da die Klause bereits zuvor oder kurz nach Beginn des Abflussanstiegs am Pegel Obertraun überströmt und damit laut WBO vollständig geöffnet war. Durch eine Erhöhung der Abflusskapazität an der Klause könnte kurzfristig Volumen geschaffen werden. Dieses würde allerdings im weiteren Verlauf des Hochwasseranstiegs schnell wieder aufgefüllt und könnte bestenfalls einen geringen zeitlichen Aufschub des Wasserstandsanstiegs im See bewirken. Ein Einfluss auf den Hochwasserscheitel wäre mit diesem Volumen resp. regelbaren Abfluss nicht möglich.

5.2 Traunpegel oberstrom des Pegels Obertraun

Jeweils ca. 14 km oberstrom des Pegels Obertraun liegen die Pegel Altaussee (am Abfluss des Altausseer Sees), Archkogl/Traun (am Abfluss des Grundlsees) und Kainisch/Ödenseetraun. Das Einzugsgebiet des Pegels Obertraun (Koppentraun) beträgt 317,4 km², die Summe der Einzugsgebiete der genannten Pegel an den Zubringern zur Koppentraun beträgt 226,2 km² oder 71 % des Einzugsgebiets des Pegels Obertraun. Im vorliegenden Abschnitt wird untersucht, ob durch Beobachtung der Pegel Altaussee, Archkogl und Kainisch eine Vorhersage für den Pegel Obertraun realisierbar ist.

In den folgenden Abbildungen ist jeweils der Abfluss am Pegel Obertraun in grün dargestellt. Die Abflüsse der Zubringerpegel Altaussee, Archkogl und Kainischtraun sind durch eine gelbe, blaue bzw. braune Linie gekennzeichnet. Zusätzlich ist die Summe der Zuflüsse ohne Zeitversatz in rot dargestellt, welche um eine geschätzte Fließzeit von 2,5 h bis zum Pegel Obertraun verschoben noch einmal in violett aufgetragen ist.

In allen Abbildungen ist zu erkennen, dass der Pegel Obertraun jeweils den frühesten Abflussanstieg verzeichnet. Die Oberliegerpegel steigen frühestens zeitgleich mit dem Pegel Obertraun, oft aber erst deutlich später an. Sie sind für eine Vorhersage daher nicht geeignet.

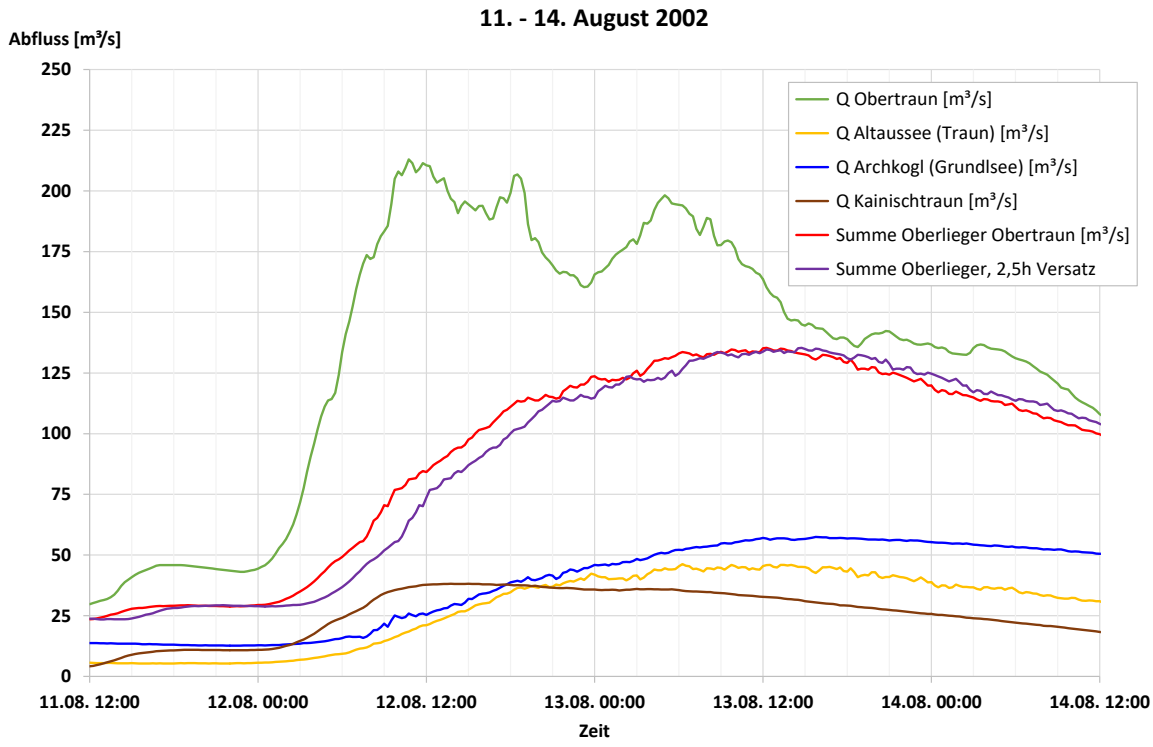


Abb. 14: Pegel im Einzugsgebiet von Obertraun im Zeitraum 11. - 14. August 2002

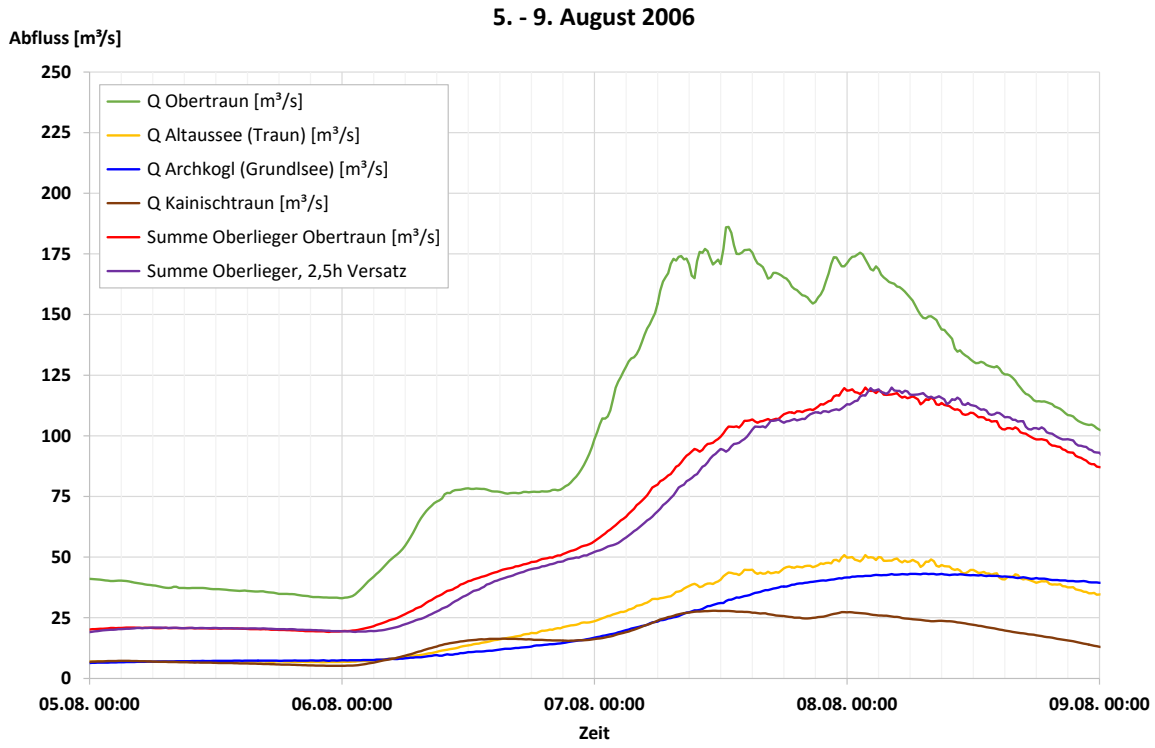


Abb. 15: Pegel im Einzugsgebiet von Obertraun im Zeitraum 5. - 9. August 2006

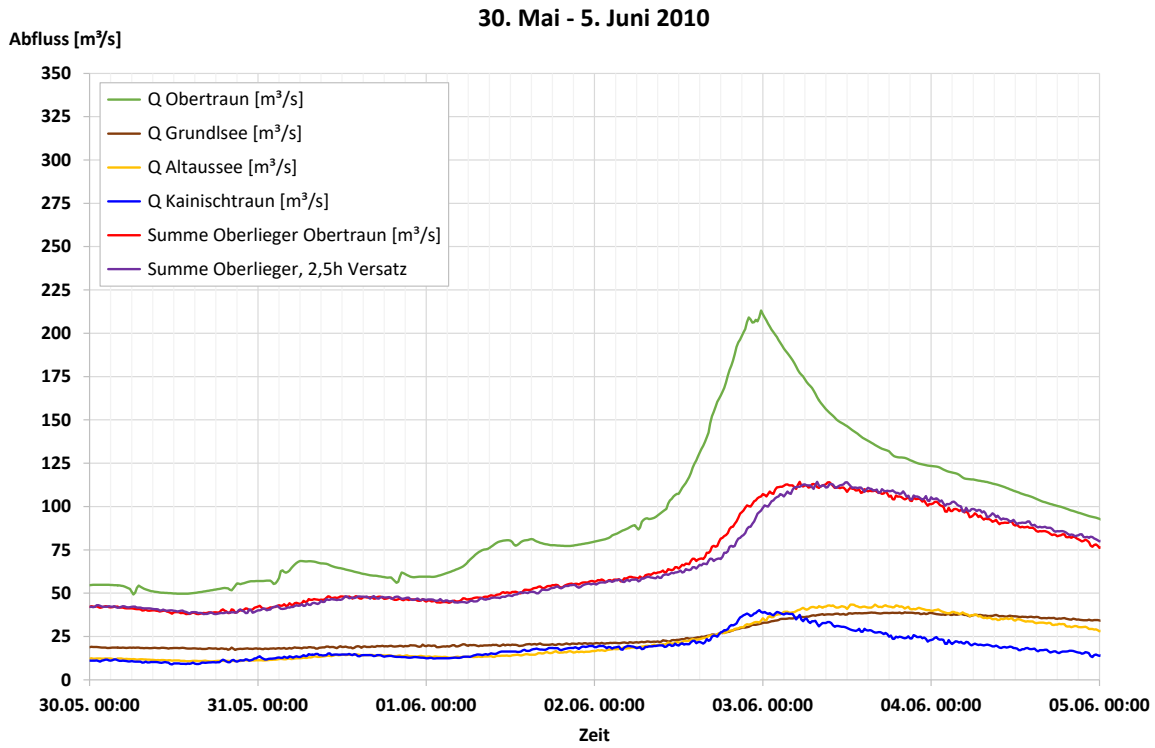


Abb. 16: Pegel im Einzugsgebiet von Obertraun im Zeitraum 30. Mai - 5. Juni 2010

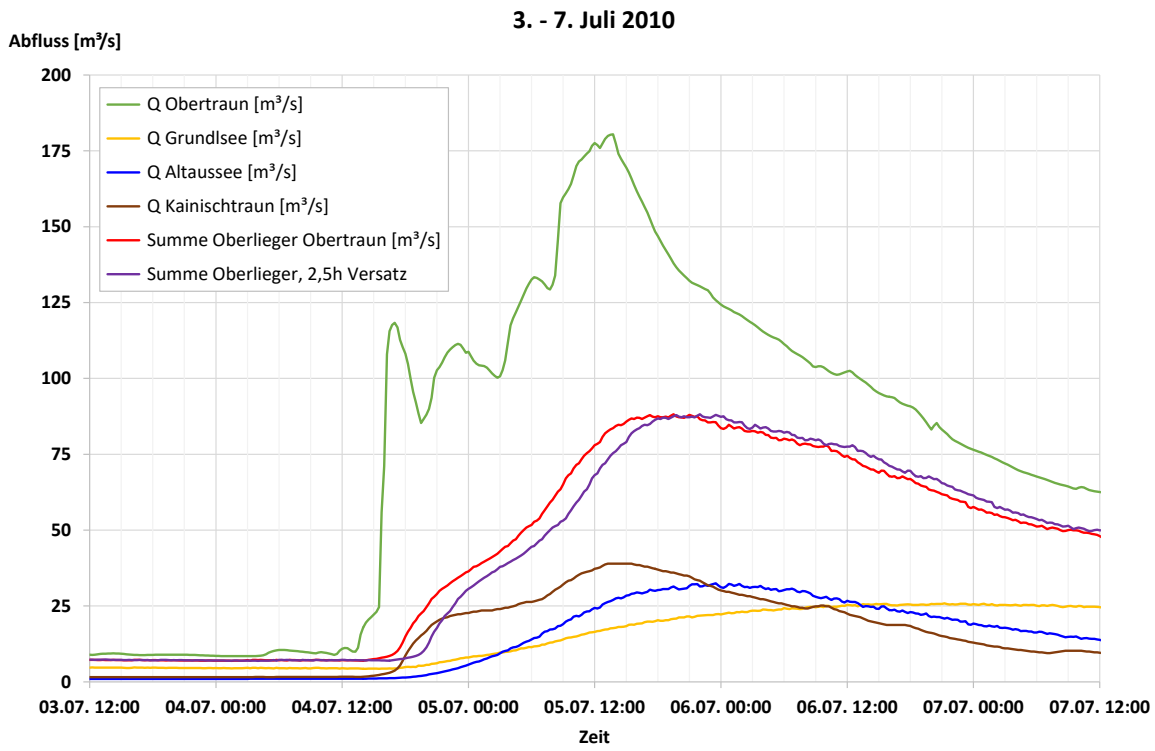


Abb. 17: Pegel im Einzugsgebiet von Obertraun im Zeitraum 3. - 7. Juli 2010

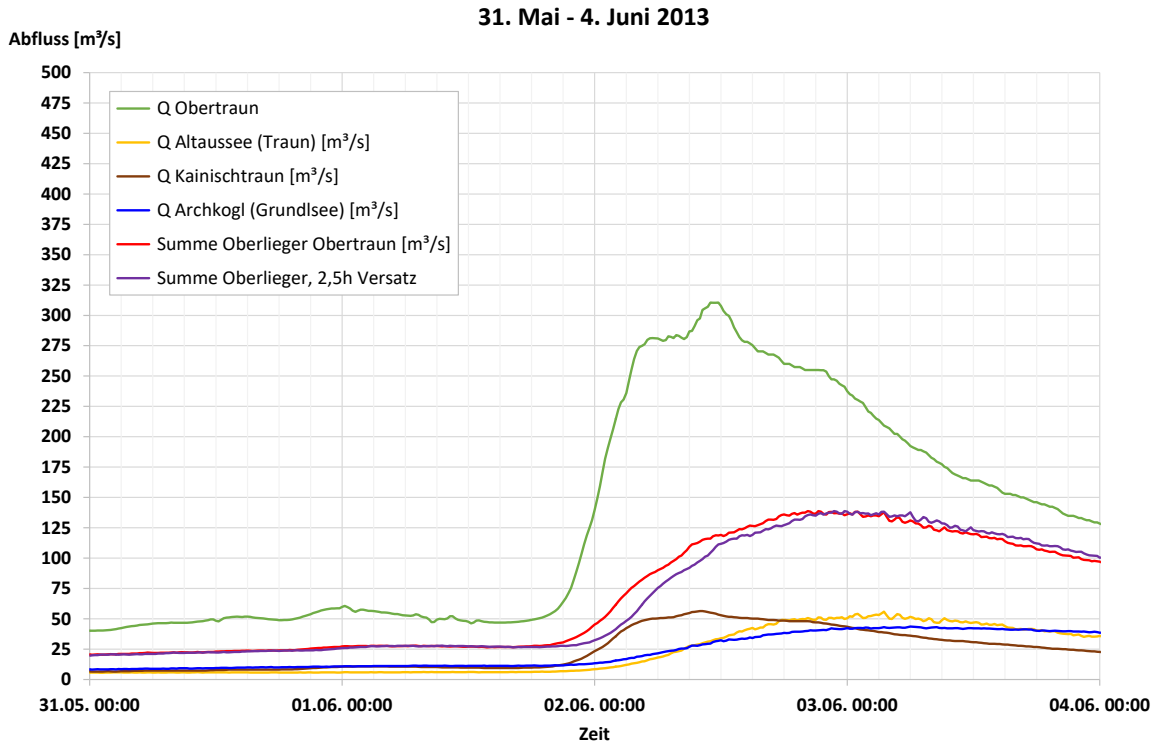


Abb. 18: Pegel im Einzugsgebiet von Obertraun im Zeitraum 31.Mai - 4. Juni 2013

6 Meteorologische Vorhersage

Um den Vorhersagezeitraum zu erweitern, werden andernorts meteorologische Vorhersagen genutzt. Die Qualität einer möglichen meteorologischen Vorhersage für das Einzugsgebiet des Hallstättersees muss von einer ortskundigen meteorologischen Fachinstitution beurteilt werden. Generell sind Vorhersagen des Niederschlags auf Grundlage meteorologischer Modelle mit größeren Unsicherheiten behaftet als Abflussvorhersagen auf Grundlage von Messwerten im Oberlauf der betreffenden Station.

Bei Absenkung des Sees aufgrund einer meteorologischen Vorhersage für ein Regenereignis, das eventuell doch nicht im Einzugsgebiet des Hallstättersees niedergeht, muss ggf. über einen längeren Zeitraum ein abgesenkter Wasserstand im See in Kauf genommen werden. Es stellt sich die Frage, ob dies (auch im Sommer) technisch, touristisch und ökologisch tolerierbar ist.

7 Machbarkeit von Vorabsenkungen auf Basis von Vorhersagen

Die Analysen in den Abschnitten 5.1 und 5.2 haben ergeben, dass ein Abflussanstieg des Hauptzuflusses Koppentraun, gemessen am Pegel Obertraun, bei den untersuchten Ereignissen ca. 1 – 4 Stunden vor einem Wasserstandsanstieg an der Seeklause bemerkbar ist. Diese Zeitspanne beruht auf einer nachträglichen Analyse der Daten und wird im realen Betrieb kürzer sein. An den Pegeln Gosaubach und Waldbachstrub waren auffällige Abflussanstiege im Vorfeld eines Hochwassers nur in Einzelfällen und nicht früher als der Anstieg in Obertraun zu beobachten. Ferner waren die in der Steiermark gelegenen Pegel Altaussee, Archkogl und Kainisch für eine Vorhersage des unterstrom gelegenen Pegels Obertraun nicht geeignet.

Zum Zeitpunkt des Beginns des eigentlichen Hochwasseranstiegs waren bei den untersuchten Ereignissen zudem meist keine Einflussmöglichkeiten auf den Abfluss am Seeauslauf mehr gegeben, da die Klause bereits zuvor oder kurz danach vollständig geöffnet und überströmt war.

Eine Vorabsenkung des Hallstättersees und damit eine Schaffung zusätzlichen Retentionsraums zur weiteren Verzögerung des Hochwassers ist aufgrund der geringen Vorwarnzeit nur sehr begrenzt möglich. Ein Vorhersagezeitraum von 4 Stunden ist für eine relevante Abflussauslagerung sehr knapp, was durch die nachfolgende, überschlägige Beispielrechnung verdeutlicht wird. Eine Absenkung des Seespiegels um $\Delta z = 10$ cm bedeutet eine Volumenauslagerung von $\Delta V \approx 8{,}4\ km^2 * 0{,}10\ m = 840.000\ m^3$. Hierfür werden bei einer Abflusserhöhung von $\Delta Q = 20\ m^3/s$ etwa $\Delta t = 11{,}7$ h oder bei $\Delta Q = 40\ m^3/s$ etwa $\Delta t = 5{,}8$ h benötigt. Bei Hochwasseranstiegen treten jedoch deutlich höhere Abflussdifferenzen zwischen Zufluss und regelbarem Abfluss auf; daher würde dieses Volumen binnen kurzer Zeit wieder aufgebraucht werden. Ein Einfluss auf die Hochwasserscheitel wäre mit diesem Volumen resp. regelbaren Abfluss nicht möglich.

8 Erhöhung der Abflusskapazität des Seeauslaufs

Zur Reduzierung der notwendigen Personaleinsätze zum Schließen der Klaustore ist neben der Automatisierung des Schließvorgangs (siehe Abschnitt 4) auch eine Erhöhung der Abflusskapazität durch Ertüchtigung bzw. Erweiterung der modernen Wehranlage denkbar. Dies schont gleichzeitig die historische Anlage, da hierdurch die Betriebshäufigkeit derselben reduziert werden kann. Außerdem besteht durch eine Erhöhung der Abflusskapazität am Seeauslauf die Möglichkeit, den Seewasserstand für ein größeres Zuflussspektrum auf einem gewünschten Niveau zu halten. Die Schaffung eines Umgehungsgerinnes ist laut Herrn Laimer (Gewässerbezirk Gmunden) an beiden Uferseiten kaum möglich, weshalb diese Option hier nicht untersucht wurde. Sollte nach einer Klärung der Grundbesitzverhältnisse ein Umgehungsgerinne in Erwägung gezogen werden können, so wäre dies eine zum Erhalt der Gesamtanlage der historischen Klause bei gleichzeitiger Erhöhung der Abflusskapazität am Seeauslauf sehr vorteilhafte Lösung und sollte detailliert untersucht werden.

Analysiert werden im Folgenden 3 Möglichkeiten die Seeklause im aktuellen Zustand vollständig bzw. größtenteils zu erhalten und dennoch die Abflusskapazität zu erhöhen. Hierzu wird zunächst der Umbau der Wehrklappe in der ehemaligen Floßgasse untersucht, gefolgt von zwei Maßnahmen, die ein zusätzliches bzw. größeres Wehrfeld unter Aufgabe eines Steinkastens und eines Klaustores beinhalten. Die übrige historische Anlage bleibt hierbei im aktuellen Zustand erhalten und muss nur noch im Hochwasserfall und für Wartungsarbeiten bzw. den Winterbetrieb betätigt werden.

Zur Quantifizierung der Abflusserhöhung der vorgeschlagenen Maßnahmen sind detaillierte Berechnungen erforderlich, die nicht Bestandteil dieses Auftrags sind. Überschlagsweise soll der durch die Umbaumaßnahmen erreichbare Abfluss jedoch im Folgenden quantifiziert werden.

Hierzu wird die allgemeine Wehrformel nach Poleni verwendet:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot c \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot h^{\frac{2}{3}} \quad [m^3/s]$$

mit:

B = Breite des Überfalls in [m]

h = Überfallhöhe in [m]

g = 9,81 m/s², Erdbeschleunigung

μ = Überfallbeiwert (s. Abb. 26)

c = Einstaubeiwert (s. Abb. 25)

Der Überfallbeiwert wird für die vorliegenden Überschlagsrechnungen aufgrund der Konstruktion (eine im maximal abgesenkten Zustand flach auf dem Boden liegende Klappe, vgl. Abb. 27) zu μ = 0,55 gewählt. Für den Seewasserstand wird zum Vergleich bei allen Berechnungen

vom Höchststand bei gerade nicht überströmtem Steinkastenwehr ausgegangen, also von OW = 508,45 m ü. A.

Die Maßnahmen werden jeweils in 3 unterschiedlichen Ausführungen vorgestellt. Ausgehend von der Ausgangshöhe der Wehrsohle bzw. Oberkante der Wehrschwelle im aktuellen Zustand werden jeweils die Varianten b mit $\Delta z = 1$ m tieferer Wehrschwelle, c mit $\Delta z = 1{,}8$ m tieferer Wehrschwelle und d mit $\Delta z = 1{,}8$ m tieferer Wehrschwelle und zusätzlich um $\Delta y = 0{,}6$ m tiefer liegendem Unterwasser dargestellt. Letztere Variante dient dazu, eine Größenordnung für den Rückstaueffekt abschätzen zu können, würde allerdings eine großräumige Eintiefungsmaßnahme bis über den Pegel Steeg hinaus erfordern. Für die übrigen Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Sohle im Unterwasserbereich auf das Niveau unterhalb der Doggen abgesenkt wird. Der Bereich des Gegenpolsters ist bei allen Varianten dauerhaft durch eine seitliche Stützwand zu sichern.

Zur Berücksichtigung möglichen Rückstaus durch das Unterwasser wurden die abflussabhängigen Unterwasserstände aus Abb. 24 zugrunde gelegt. Ein eventueller Rückstau im Bereich des deutlich höher liegenden Steinkastenwehrs wurde nicht berücksichtigt.

Im Folgenden sind die verschiedenen untersuchten Maßnahmen zur Erhöhung der Abflusskapazität dargestellt, wobei noch einmal explizit darauf hingewiesen werden muss, dass die angegebenen Größen für den Abfluss im Rahmen dieses Auftrags nur überschlagsmäßig ermittelt werden konnten.

8.1 Ertüchtigung der Klappe in der Floßgasse

Zur Erhöhung der Abflusskapazität der Floßgasse wird die Sohle in diesem Bereich eingetieft und die Wehrklappe der neuen Geometrie angepasst. Hierbei bleibt die historische Klause vollständig erhalten und kommt auch weiterhin zur Regulierung des Abflusses häufig zum Einsatz, jedoch weniger häufig als dies aktuell der Fall ist.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse für verschiedene Varianten der Maßnahme 1 dargestellt. Die Abflusskapazität für die Wehrklappe bewegt sich bei den dargestellten Varianten zwischen $Q = 16$ m³/s für den unveränderten Ausgangszustand (Variante 1a) und $Q = 46$ m³/s für die um $\Delta z = 1{,}8$ m tiefer liegende Wehrschwelle (Variante 1c). Ein Rückstau ist in diesem Abflussbereich bei dieser Maßnahme kaum vorhanden, daher ist der Abflussunterschied zwischen Variante 1c und Variante 1d mit zusätzlich eingetieftem Unterwasser minimal. Weiterhin ist in Tabelle 4 ist die Anzahl der Überschreitungstage pro Jahr dargestellt, d.h. die Anzahl der Tage, an denen der genannte Abfluss statistisch gesehen überschritten wird. Dieser Angabe liegt die Dauerlinie (Abb. 6) zugrunde. Die Anzahl der Überschreitungstage, d.h. der Tage, an denen die Seeklause zur Abflussregulierung geöffnet sein muss, kann überschlagsweise durch die Eintiefung der Klappe in der Floßgasse um $\Delta z = 1{,}8$ m von statistisch gesehen 256 auf 101 Tage im Jahr reduziert werden. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass bei den genannten Zahlen für die Öffnungstage nicht darstellbar ist, welche Zeitperioden zum Winterbetrieb gehören, in dem die Klause laut WBO ohnehin vollständig geöffnet ist. Dies gilt für alle Angaben der Überschreitungstage in dieser Studie.

Tabelle 4: Eintiefung der bestehenden Floßgasse mit 4,2 m lichter Weite

Bestehende Floßgasse , Breite 4,2 m

OW = 508,45 m ü. A.	1a	1b	1c	1d
Wehrsohle	**Ausgangs-zustand**	**-1m**	**-1,8m**	**-1,8m UW -60 cm**
OK Wehrschwelle	506,7	505,7	504,9	504,9
Öffnung Wehrklappe				
Q [m³/s]	16	31	46	46
Überschreitungstage [d]	256	159	101	101
UW Gegenpolster aus (9)	507,0	507,14	507,27	506,67
Öffnung Wehrklappe + Klaustore				
Q [m³/s]	92	107	121*	122
Überschreitungstage [d]	24	15	9	9
UW Gegenpolster aus (9)	507,65	507,77	507,88	507,29

Q Klaustore ≈ 76 m³/s

***Rückstaueinfluss im Bereich der Wehrklappe**

Für eine Eintiefung der Wehrsohle in den Varianten 1b bis 1d muss nicht nur die Floßgasse selbst, sondern auch der zugehörige Bereich des Unterwassers bis unterhalb der Doggen ausgebaggert und befestigt werden. Um die Eintiefung und die benachbarten Bauwerke zu stabilisieren ist eine Trennwand nötig, die das angrenzende Steinkastenwehr mit Gegenpolster und Doggen sowie den Unterwasserbereich der Doggen stützt und den Wasserstand in diesem Bereich nicht absinken lässt. Für die Absenkung des Unterwasserstandes in Variante 1d ist zusätzlich eine großräumige Sohländerung nach unterstrom bis über den Pegel Steeg hinaus erforderlich.

Die Höhe der Oberkante Wehrschwelle für das Beispiel 1c (Δz = -1,8 m) wurde in Anlehnung an die von Flögl in (9) beschriebene Variante mit Umgehungsgerinne gewählt. Dort wurde eine Eintiefung auf z = 504,9 m ü. A. im Auslauf des Umgehungsgerinnes als „technisch noch machbar“ bezeichnet. Für die hier dargestellte Maßnahme wäre diese Höhe jedoch unbedingt erneut vorab auf Machbarkeit zu überprüfen, da der Eingriff erheblich ist.

Da der Hauptabfluss durch die dargestellten Maßnahmen überwiegend durch den süd-westlichen Arm der Traun stattfinden wird, ist auf den Bereich nord-östlich der Insel besonderes Augenmerk zu legen. Um hier Verlandungen zu vermeiden und einen aus ökologischer Sicht sinnvollen Mindestabfluss zu gewährleisten ist es möglicherweise sinnvoll, eines der nord-östlichen Klaustore nahezu dauerhaft geöffnet zu halten und nur in Niedrigwassersituationen zu schließen.

8.2 Vergrößerung der Wehrbreite mit Einbau einer Wehrklappe

Um den automatisiert regelbaren Abfluss weiter zu vergrößern und damit die notwendigen Öffnungsvorgänge der Klaustore zu reduzieren ist es notwendig, einen größeren Durchlass zu schaffen. Dies ist nicht ohne Verlust eines Teils der historischen Klause möglich, sofern die Schaffung eines Umgehungsgerinnes nicht möglich ist. In der im Folgenden beschriebenen Maßnahme 2 werden das derzeitige Wehr in der Floßgasse sowie der erste Steinkasten und das angrenzende Klaustor 1 durch eine neue Wehranlage mit Wehrklappe ersetzt, mit einer lichten Weite von ca. 11,5 m. Die übrige historische Klause bleibt erhalten und funktionsfähig. Die Lage der neuen Wehranlage ist in Abb. 19 dargestellt. Für diese Situation wurden ebenfalls für unterschiedliche Sohltiefen nach der in Abschnitt 8 beschriebenen Vorgehensweise Überschlagswerte für den möglichen Abfluss bestimmt. Diese können Tabelle 5 entnommen werden.

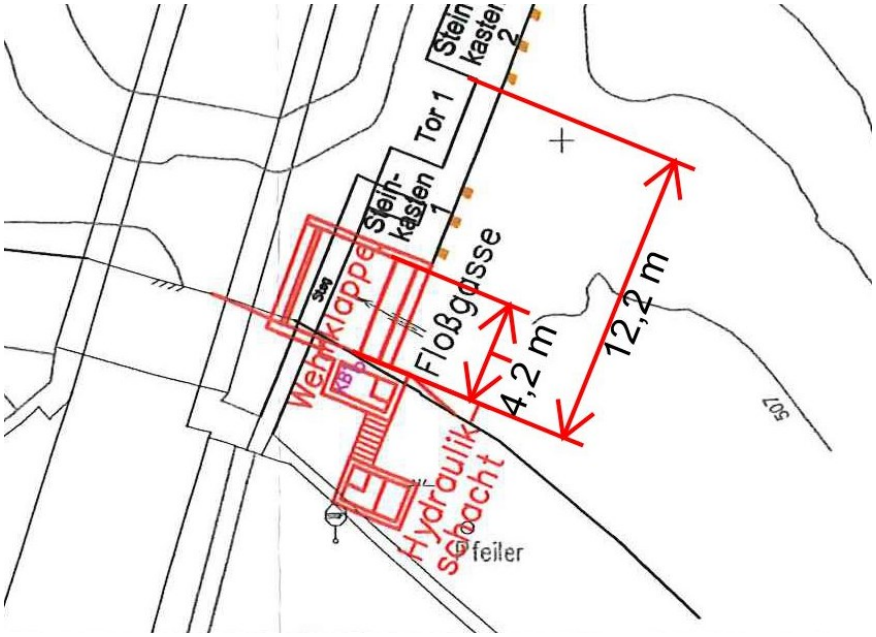


Abb. 19: Ausschnitt des Lageplans im Bereich des neuen Wehrs für Maßnahme 2

Tabelle 5: Erweiterung des Wehrs auf 11,5 m durch Nutzung der Floßgasse sowie Steinkasten 1 und Tor 1

Neues Wehr: Floßgasse + Steinkasten 1 + Tor 1, Breite 11,5 m

OW = 508,45 m ü. A.	2a	2b	2c	2d
Wehrsohle	**Ausgangs-zustand**	**-1m**	**-1,8m**	**-1,8m UW -60 cm**
OK Wehrschwelle	506,7	505,7	504,9	504,9
Öffnung Wehrklappe				
Q [m³/s]	43	85	123*	125
Überschreitungstage [d]	109	30	9	9
UW Gegenpolster aus (9)	507,24	507,59	507,89	507,30
Öffnung Wehrklappe + Klaustore				
Q [m³/s]	110	148*	169*	192
Überschreitungstage [d]	14	4	2	1
UW Gegenpolster aus (9)	507,80	508,08	508,23	507,79

Q Klaustore ≈ 67 m³/s

***Rückstaueinfluss im Bereich der Wehrklappe**

Der Abfluss über die 11,5 m breite Wehrklappe von Q ≈ 43 m³/s (Variante 2a) würde bei OW = 508,45 m ü. A. an ca. 109 Tagen im Jahr überschritten, das heißt, dass an dieser Anzahl von Tagen ein Teil oder alle Klaustore zusätzlich geöffnet werden müssen. Ein möglicher Abfluss von Q ≈ 123 m³/s (Variante 2c) beschränkt die notwendigen Öffnungstage des Klauswehrs auf 9 Tage. Im unteren Bereich der Tabelle ist der Abfluss bei zusätzlicher Öffnung der Klaustore dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass der Gesamtabfluss in Variante 2a statistisch gesehen nur noch an 14 Tagen, in Variante 2c an zwei Tagen überschritten wird. Für die bei dieser Maßnahme erhalten bleibenden Klaustore 2 bis 11 wurde hierbei ein Abfluss von Q = 67 m³/s angenommen, da diese zusammen eine lichte Weite von 88% der ursprünglichen lichten Weite aller Tore haben.

Die Kennzeichnung * hinter manchen Abflusswerten in Tabelle 5 kennzeichnet einen vorhandenen Rückstaueinfluss. Um ein Beispiel für die Größenordnung der Auswirkung des Rückstaueinflusses zu geben, wurde mit Variante 2d ein Beispiel mit niedrigerem Unterwasserstand und daher freiem Abfluss dargestellt. Im direkten Vergleich mit Variante 2c lässt sich erkennen, dass der Rückstaueinfluss den Abfluss hier von Q = 192 m³/s (Variante 2d) auf Q = 169 m³/s (Variante 2c) reduziert. Diese Differenz von ΔQ = -23 m³/s gilt jedoch nur für die dargestellte Situation, bei größerem Abfluss und damit steigendem Unterwasserstand nimmt der Rückstaueinfluss zu.

Auch bei dieser Maßnahme gilt es zu beachten, dass der Hauptabfluss fast ausschließlich auf die süd-westliche Seite der Klause gelenkt wird. Um Verlandungen im Bereich rechts der Insel zu vermeiden ist ein ökologisch vertretbarer Mindestabfluss durch den nord-östlichen Arm der Traun aufrecht zu erhalten. Dies kann beispielsweise durch eine nahezu dauerhafte Öffnung eines oder mehrerer der nord-östlichen Klaustore realisiert werden, welche nur in Niedrigwassersituationen geschlossen würden.

Wie bei Maßnahme 1 sind auch hier die Eintiefungen und die verbleibenden historischen Bauwerke durch Trennwände zu sichern.

8.3 Neubau eines Wehrs am nord-östlichen Ufer mit Einbau einer Wehrklappe

Um nicht den gesamten Abfluss auf der süd-westlichen Seite der Klause und damit durch den süd-westlich gelegenen Flussarm der Traun abzuführen wird alternativ die Möglichkeit eines neuen Wehrfeldes mit Wehrklappe auf der nord-östlichen Seite der Klause untersucht. Da hier der erste (ufernächste) Steinkasten recht breit ist, würde ein Umbau desselben und des angrenzenden Klaustores 11 in ein modernes Wehr eine Wehrbreite von ca. 13 m ermöglichen (vgl. Abb. 20). Die Seesohle liegt hier laut Lageplan etwas höher als auf der süd-westlichen Uferseite, daher wurde für Maßnahme 3 von einer Oberkante der Wehrschwelle von 507 m ü. A. ausgegangen. Durch dieses Wehr können bei einem Wasserstand von OW = 508,45 m ü. A. je nach Höhenlage der Oberkante der Wehrschwelle und des Unterwassers überschlagsweise $Q \approx 37$ m³/s bis $Q \approx 124$ m³/s abgeführt werden (vgl. Tabelle 6). Da das aktuelle Wehr in der Floßgasse für den Neubau nicht verändert werden muss, ergibt sich in der Summe ein maximal automatisiert regelbarer Abfluss von $Q \approx 53$ m³/s bis $Q \approx 136$ m³/s. Alternativ kann die Floßgasse für den Einbau einer Fischaufstiegshilfe genutzt werden, was den regelbaren Abfluss allerdings reduziert.

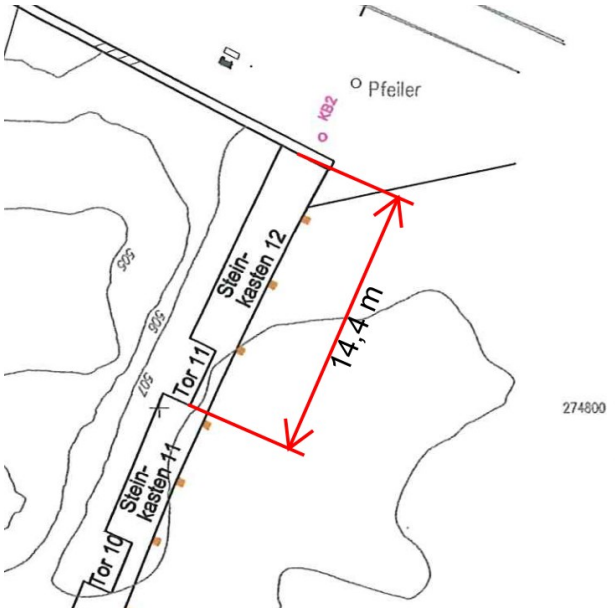


Abb. 20: Ausschnitt des Lageplans im Bereich des neuen Wehrs für Maßnahme 3

Tabelle 6: Neubau auf nord-östlicher Seite

Neues Wehr: Steinkasten 12 + Tor 11, Breite 13 m

Floßgasse unverändert (Q = 16 m³/s)

OW = 508,45 m ü. A.

	3a	3b	3c	3d
Wehrsohle	**Ausgangs-zustand**	**-1m**	**-1,8m**	**-1,8m UW -60 cm**
OK Wehrschwelle	507	506	505,2	505,2
Öffnung Wehrklappe				
Q [m³/s]	37	81	124	124
Überschreitungstage [d]	133	34	9	9
UW Gegenpolster aus (9)	507,19	507,56	507,90	507,30
Öffnung Wehrklappe + Floßgasse				
Q [m³/s]	53	97	136*	140
Überschreitungstage [d]	81	21	6	5
UW Gegenpolster aus (9)	507,33	507,69	507,99	507,42
Öffnung Wehrklappe + Floßgasse + Klaustore				
Q [m³/s]	122	160*	179*	209
Überschreitungstage [d]	9	3	2	1
UW Gegenpolster aus (9)	507,88	508,16	508,30	507,90

Q Klaustore ≈ 69 m³/s

***Rückstaueinfluss im Bereich der Wehrklappe**

Die automatisiert regelbare Abflusskapazität von Q = 53 m³/s durch das neue Wehr und das Wehr in der Floßgasse wird statistisch an 81 Tagen im Jahr überschritten, d.h. an diesen Tagen müssen in Variante 3a zusätzlich die Klaustore geöffnet werden, damit das Steinkastenwehr nicht überströmt wird. Bei einer Absenkung der Wehrschwelle der neuen Anlage um $\Delta z = 1{,}8$ m (Variante 3c) ist dies nur an 6 Tagen im Jahr der Fall.

Im unteren Teil von Tabelle 6 ist der Gesamtabfluss bei vollständiger Öffnung der Gesamtanlage, d.h. auch der Klaustore dargestellt. Der Abfluss durch die verbleibenden Tore 1 - 10 wurde hierbei zu Q = 69 m³/s angenommen, da diese zusammen eine lichte Weite von ca. 90% der ursprünglichen lichten Weite aller Tore haben. Der Gesamtabfluss der Anlage beträgt dann in Variante 3a Q = 122 m³/s, in Variante 3c Q = 179 m³/s. Das Steinkastenwehr ist in Variante 3a statistisch an 9 Tagen, in Variante 3c an 2 Tagen überströmt.

Mit Variante 3d ist wiederum eine Einschätzung des Rückstaueffekts durch den bei größeren Abflüssen höheren Unterwasserstand möglich. Während dieser bei Öffnung der Wehrklappe

des neuen Wehres und der Floßgasse mit $\Delta Q = -4$ m³/s recht gering ist, beträgt er bei zusätzlicher Öffnung der Klaustore $\Delta Q = -30$ m³/s.

8.4 Fazit zur Erhöhung der Abflusskapazität

Eine Erhöhung der automatisiert regelbaren Abflusskapazität am Auslauf des Hallstättersees durch Umbau bzw. Neubau moderner Wehrklappen kann die Betriebshäufigkeit der historischen Klause je nach Umfang der Maßnahme bis auf Hochwassersituationen und Wartungsarbeiten reduzieren. Außerdem besteht hierdurch die Möglichkeit, den Seewasserstand für ein größeres Zuflussspektrum auf einem gewünschten Niveau zu halten. Da eine Öffnung der Seeklause zumindest in Hochwassersituationen jedoch auch weiterhin erforderlich ist, ist eine Automatisierung des Schließvorgangs durch Einbau eines Schließmechanismus in die Steinkästen zusätzlich sinnvoll.

Untersucht wurden 3 Beispiele mit unterschiedlichen Lagen und Größen der Wehrklappen in jeweils 4 Varianten für die Höhenlage der Wehrschwelle. Innerhalb dieser Varianten erkennt man den Effekt einer Tieferlegung der Wehrschwelle, wodurch ein Überblick darüber gegeben werden soll, was möglich ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Den geringsten Eingriff in das historische Bauwerk stellt Maßnahme 1 dar, bei der nur die Oberkante der Wehrschwelle in der ehemaligen Floßgasse abgesenkt und die Klappe dieser Geometrie angepasst wird. Hierbei bleibt die historische Anlage vollständig erhalten. Durch die Absenkung der Oberkante der Wehrschwelle um $\Delta z = 1{,}8$ m (Varianten 1c und 1d) lässt sich der Abfluss durch die Floßgasse von $Q = 16$ m³/s im aktuellen Zustand auf $Q = 46$ m³/s erhöhen. Die Klaustore müssen in dieser Variante an statistisch gesehen 101 Tagen geöffnet werden. An 9 Tagen im Jahr wird die Seeklause trotz Öffnung überströmt.

Mit Maßnahme 2 wird die Möglichkeit des Neubaus eines Wehres im Bereich von Floßgasse, Steinkasten 1 und Klaustor 1 am süd-westlichen Ufer beschrieben. Bei einer Lage der Wehrschwelle von $\Delta z = 1{,}8$ m unter dem derzeitigen Niveau (Variante 2c) können über die Wehrklappe ca. $Q = 123$ m³/s abgeführt werden was nur an 9 Tagen im Jahr nicht ausreicht. An diesen sollte die Abflusskapazität des Steinkastenwehrs zusätzlich genutzt und dieses geöffnet werden.

Maßnahme 3 umfasst den Neubau eines Wehres am nord-östlichen Ufer, im Bereich von Steinkasten 12 und Klaustor 11. Die Wehrklappe in der Floßgasse bleibt unverändert und wird weiterhin zur Regelung des Abflusses genutzt. Auch hier werden mehrere Varianten vorgestellt. Mit einer Oberkante der Wehrschwelle etwa auf Höhe der jetzigen Seesohle beträgt der über die Wehrklappen (incl. Floßgasse) abführbare Abfluss ca. $Q = 53$ m³/s. Dieser wird statistisch 81 Tagen im Jahr überschritten. Die Abflusskapazität der Wehrklappen kann durch Absenkung der Oberkante der Wehrschwelle des neuen Wehres um $\Delta z = 1{,}8$ m auf $Q = 163$ m³/s erhöht werden, sodass die Klaustore nur noch an statistisch 6 Tagen im Jahr geöffnet werden müssen.

An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass für die Berechnungen von einem Unterwasserstand ausgegangen wurde, der dem in Abb. 24 dargestellten Wasserstand

unterhalb des Gegenpolsters entspricht. Unterhalb der Wehranlagen ist die Sohle daher zumindest bis in den Bereich der Doggen so herzustellen, dass dieser Wasserstand erreicht wird. Der Bereich des Gegenpolsters ist seitlich durch eine Stütz- und Trennwand zu sichern, damit der Wasserstand dort nicht absinkt. Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden überschlägig ermittelt und dienen allein zum Aufzeigen von Möglichkeiten. Eine Untersuchung auf technische Machbarkeit, die Berücksichtigung ökologischer Belange sowie genaue Berechnungen bleiben Aufgabe einer detaillierteren Planung.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Erhöhung der Abflusskapazität

		Wehranlage(n) geöffnet, automatisiert regelbarer Abfluss		**Wehranlagen und Klaustore geöffnet**	
Variante	**Eintiefung Wehrschwelle**	**Q [m³/s]**	**Überschreitungs-tage [d]**	**Q [m³/s]**	**Überschreitungs-tage [d]**
1a	**0**	16	256	92	24
1b	**-1 m**	31	159	107	15
1c	**-1,8 m**	46	101	121	9
1d	**-1,8 m**	46	101	122	9
2a	**0**	43	109	110	14
2b	**-1 m**	85	30	148*	4
2c	**-1,8 m**	123*	9	169*	2
2d	**-1,8 m**	125	9	192	1
3a	**0**	53	81	122	9
3b	**-1 m**	97	21	160*	3
3c	**-1,8 m**	136*	6	179*	2
3d	**-1,8 m**	140	5	209	1

***Rückstaueinfluss im Bereich der Wehrklappe**

Überschreitungstage: Statistische Anzahl der Tage im Jahr an denen der angegebene Abfluss überschritten wird

Gesonderte Untersuchungen für die Abflussabfuhr bei Hochwasser wurden in dieser Studie nicht durchgeführt, jedoch steht bei Umsetzung einer der vorgestellten Maßnahmen (leistungsfähigere Klappe) eine über das gesamte Abflussspektrum hinsichtlich der Wasserstands/Abfluss-Beziehung leistungsfähigere Anlage zur Verfügung.

Möglicherweise muss bei Erweiterung der bestehenden Wehranlage mit einer Auflage zur Errichtung eines Fischpasses gerechnet werden. Da eine eingetiefte oder neue Wehranlage ein ohnehin recht technisch anmutendes Bauwerk sein wird, kann dieser aus Gründen der Platzersparnis als Schlitzpass ausgeführt werden. Die neue Wehranlage muss in diesem Fall um die hierfür notwendige Breite (z.B. 2 m Breite) reduziert werden, was die Abflusskapazität ebenfalls reduzieren wird.

9 Zusammenfassung

Der Abfluss aus dem Hallstättersee wird seit dem 16. Jahrhundert durch die zum UNESCO Weltkulturerbe zählende, historische Seeklause reguliert. Die Anlage besteht aus den historischen 11 Klaustoren mit dazwischenliegenden Steinkästen, sowie einer, in die ehemalige Floßgasse eingebauten, vollautomatisierten modernen Wehrklappe. Vom 3. Januar bis 23. März ist laut WBO Winterbetrieb vorgeschrieben, d.h. an diesen 79 Tagen im Jahr sind alle Klaustore geöffnet und die Klappe ist vollständig abgesenkt. In der übrigen Zeit wird die Anlage laut WBO so betrieben, dass der Wasserstand zwischen OW = 508,20 m ü. A. und OW = 508,45 m ü. A. gehalten wird. Dies ist bis zur vollständigen Öffnung der Seeklause bei einem Abfluss von ca. $Q \approx 92$ m³/s möglich. Bei höheren Abflüssen steigt der Seespiegel und die Seeklause wird überströmt.

Aufgabe der vorliegenden Studie ist es, Möglichkeiten zu untersuchen, den Betrieb der Seeklause einerseits weniger personalintensiv zu gestalten und andererseits Möglichkeiten des Hochwasserschutzes durch frühzeitiges Reagieren auf Abflussanstiege im Bereich der Zubringer zu untersuchen.

Die Analyse der Pegeldaten von 5 großen Hochwasserereignissen aus den Jahren 2002 bis 2013 hat ergeben, dass die Anstiege der Pegel der Zubringer zum Hallstättersee für eine Vorhersage nicht geeignet sind. Einzig der Abfluss am Pegel Obertraun stieg bei den untersuchten Ereignissen zuverlässig vor einem Wasserstandsanstieg am Auslauf des Hallstättersees an, die Vorlaufzeit war mit 1 – 4 Stunden jedoch so kurz, dass davon ausgegangen werden muss, dass auch durch eine frühzeitige Reaktion auf einen Abflussanstieg am Pegel Obertraun kaum eine Verzögerung des Wasserstandsanstiegs im See zu erreichen ist. Ein Einfluss auf den weiteren Verlauf des Hochwassers oder den Hochwasserscheitel ist nicht möglich. Darüber hinaus war der Abfluss bei den untersuchten Beispielen zum Zeitpunkt des eigentlichen Hochwasseranstiegs meist bereits außerhalb des regelbaren Bereichs.

Um den Vorhersagezeitraum und damit die Zeitspanne für eine mögliche frühzeitige Abflusserhöhung am Seeauslauf zu vergrößern wurde untersucht, ob sich ein Abflussanstieg am Pegel Obertraun durch Beobachtung des Abflussverlaufs an den Traunpegeln oberstrom in der Steiermark (Altaussee, Archkogl und Kainisch) vorhersagen lässt. Bei den untersuchten Ereignissen stiegen die Abflüsse an den Oberliegerpegeln jedoch nicht früher als der Abfluss am Pegel Obertraun selbst. Eine Vorhersage ist also nicht möglich.

Eine Reduzierung des Personalaufwandes beim Betrieb der Klaustore ist durch Automatisierung des Schließvorgangs zu erreichen. Hierzu sollte die Möglichkeit geprüft werden, einen Schließmechanismus für die Klaustore weitgehend unsichtbar in die Steinkästen einzubauen.

Ferner wurden Möglichkeiten untersucht, durch zusätzliche Wehrklappen den bei geschlossenen Klaustoren vollautomatisiert regelbaren Abflussbereich zu erhöhen. Hierdurch kann die historische Anlage des Steinkastenwehrs geschont werden, da eine Öffnung der Klaustore seltener nötig ist. Die hierzu untersuchten unterschiedlichen Eingriffe in das historische Bauwerk reichen von einer Erneuerung der bestehenden Wehrklappe mit Eintiefung der Wehrschwelle in der Floßgasse bis hin zu einem neuen Wehrfeld mit Klappe am rechten oder linken Ufer. Eine Übersicht über die Charakteristika der einzelnen Maßnahmen und eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 7 dargestellt. Der über die Wehrklappen ohne Öffnung der Tore des historischen Steinkastenwehrs abführbare Abfluss reicht in diesen Varianten von $Q = 16\ m^3/s$ bis $Q = 136\ m^3/s$ und wird statistisch an 256 bis 6 Tagen im Jahr überschritten.

Die in dieser Konzeptstudie vorgestellten Ergebnisse sind als Ideengeber zu verstehen, wie an die Aufgabe einer Verbesserung der Abflussregulierung an der Seeklause des Hallstättersees herangegangen werden kann. Zur detaillierten Planung und Bewertung einer Maßnahme sind weitere Untersuchungen nötig.

Kassel, Dezember 2017

Stephan Theobald

Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald

10 Anhang

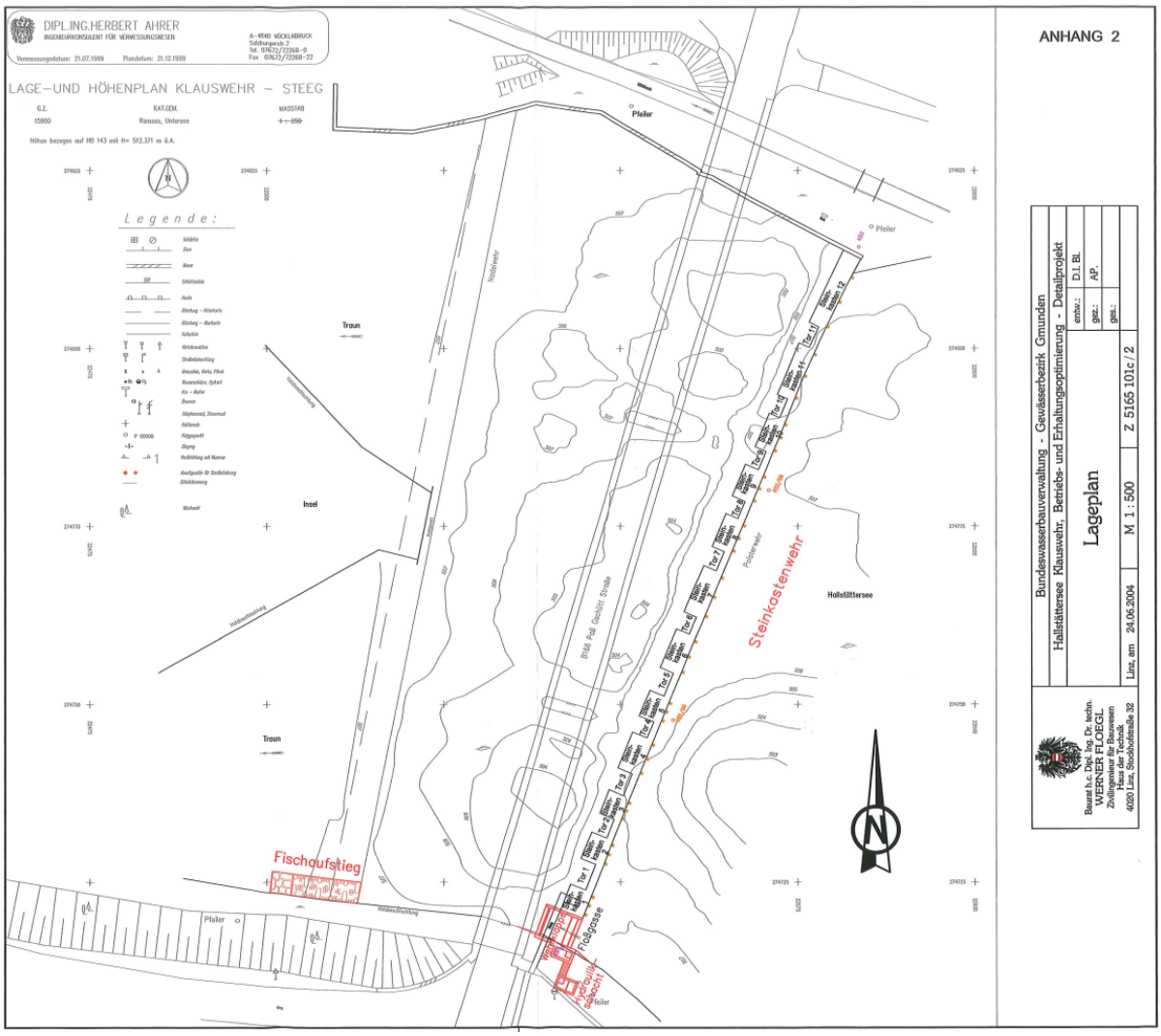


Abb. 21: Lageplan des Hallstättersee Klauswehrs (aus: WBO (4))

Abb. 22: Bereich der Floßgasse am Hallstättersee Klauswehr (aus: WBO (4))

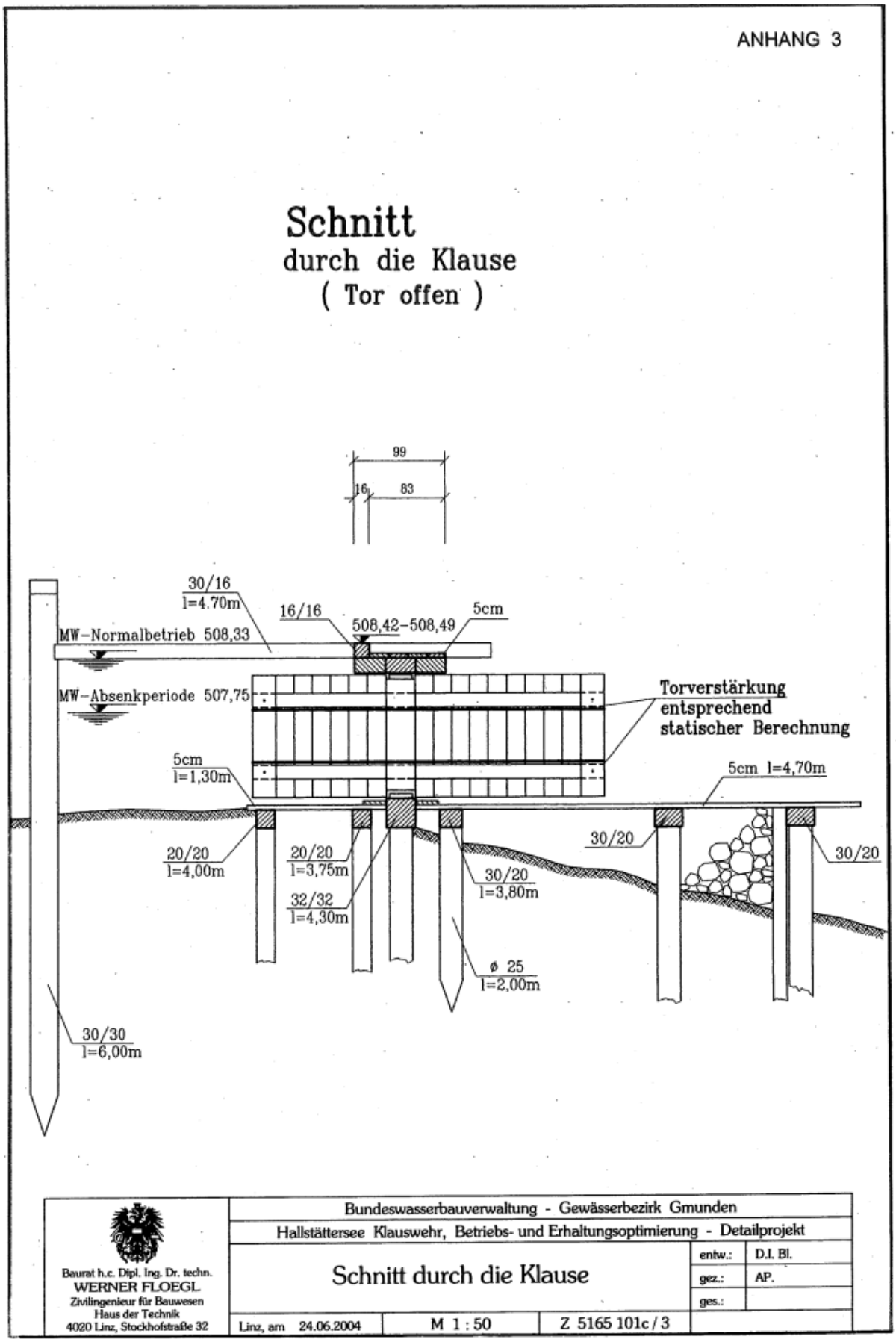


Abb. 23: Schnitt durch ein Klaustor (aus: WBO (4))

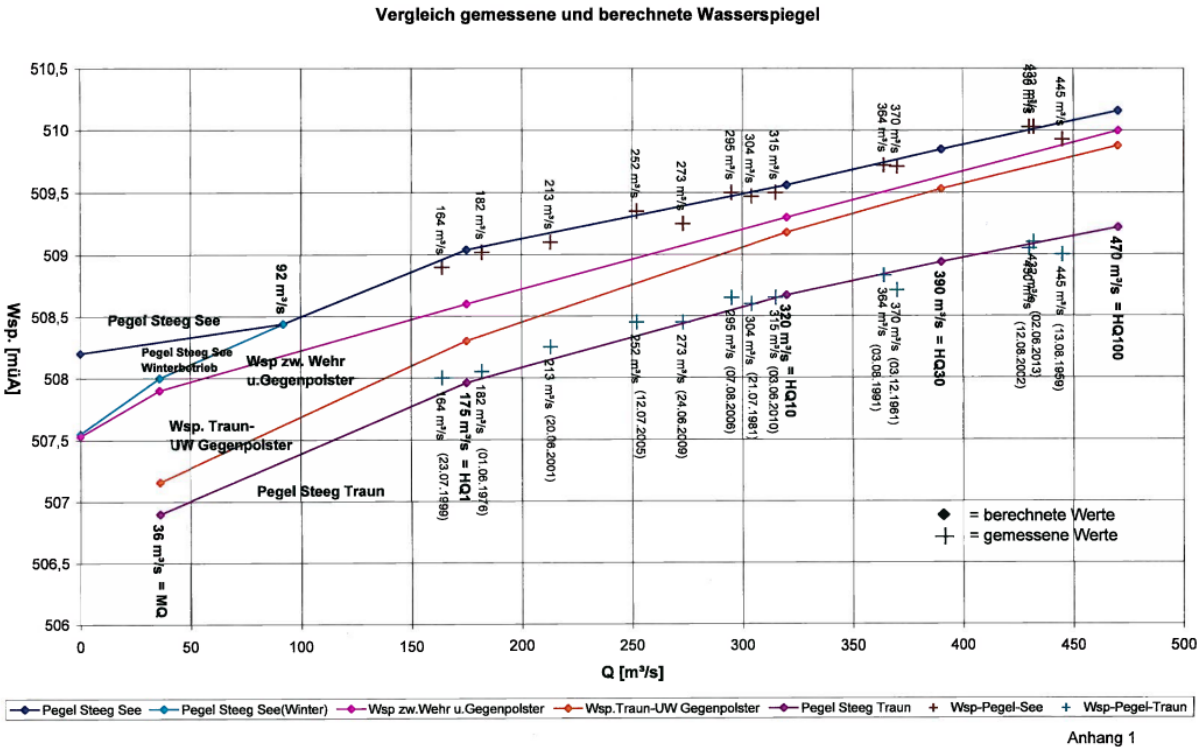


Abb. 24: Wasserspiegellagen am Hallstättersee Klauswehr (aus: Flögl (9))

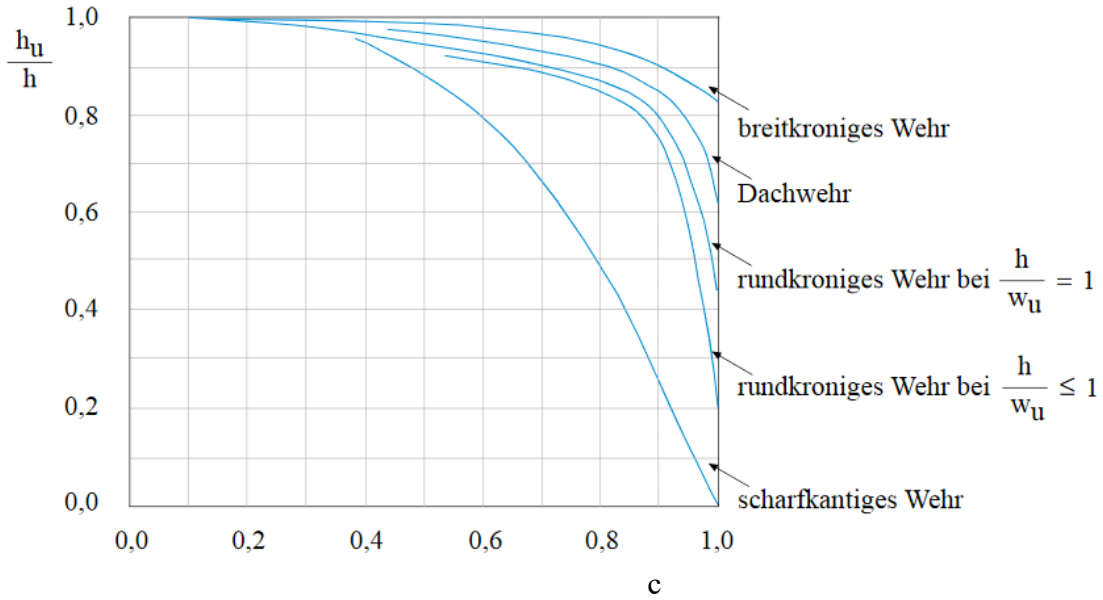


Abb. 25: Unvollkommener Überfall nach Schmidt (1957)

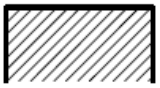
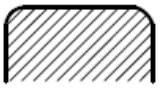
Kronenform		μ
	breit, waagerecht, scharfkantig	0,49 bis 0,51
	breit, waagerecht, abgerundet	0,50 bis 0,55
	vollständig abgerundet, breiter Überfall, gänzlich umgelegte Klappen, abgerundete Kanten des Wehrkörpers	0,65 bis 0,73
	scharfkantig mit Belüftung des Strahls	0,64
	dachförmig mit abgerundeter Krone	0,79
	abgerundet mit lotrechter OW-Seite und geneigter UW-Seite	0,75

Abb. 26: µ-Wert für den vollkommenen Überfall (Schröder, Euler, Schneider, Knauf , 1994)

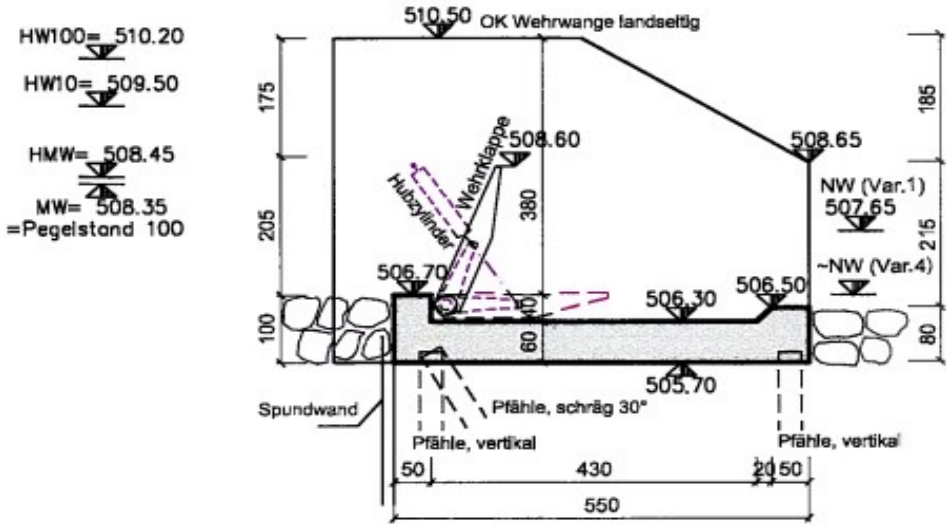


Abb. 27: Schnitt durch die neu geplante Wehrklappe (aus: Flögl (9))