

Nr. 764

Reglement für die Regulierung des Vierwaldstättersees an der Reusswehranlage in Luzern (Wehrreglement)

vom 3. Juli 2007 (Stand 20. Mai 2011)

Der Regierungsrat des Kantons Luzern in Übereinstimmung mit den Regierungen der Kantone Uri, Schwyz, Obwalden und Nidwalden,

gestützt auf Artikel 13 der Interkantonalen Vereinbarung über die Regulierung des Vierwaldstättersees (IVRV) vom 19. Oktober 2006¹,

beschliesst:

1. Zuständigkeit, Geltungsbereich

Artikel 1

¹ Der Kanton Luzern, vertreten durch das Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement und dieses durch die Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (vif), ist für die Regulierung des Vierwaldstättersees gemäss diesem Reglement zuständig.

Artikel 2

¹ Der Kanton Luzern kann den Betrieb und die Instandhaltung der Reusswehranlage in Übereinstimmung mit den Uferkantonen an einen Betreiber delegieren. Die Einzelheiten sind im diesbezüglichen Vertrag zwischen dem Kanton Luzern und dem Betreiber geregelt.

¹ SRL Nr. [763](#)

* Siehe Tabellen mit Änderungsinformationen am Schluss des Erlasses.

Artikel 3

¹ Die Reusswehrkommission übt die Aufsicht über den reglementsgemässen Betrieb der Reusswehranlage aus.

Artikel 4

¹ Gemäss Artikel 11 des Reglements wird der Abfluss aus dem See auch durch die beiden Turbinen des Kraftwerkes Mühlenplatz beeinflusst. Das Reglement ist daher auch für die Betreiberin des Kraftwerkes Mühlenplatz verbindlich. Einzelheiten sind im Konzessionsentscheid vom 24. November 1995 für den Neubau Kraftwerk Mühlenplatz der Stadt Luzern sowie im Vertrag zwischen der Kraftwerksbetreiberin und dem Kanton Luzern geregelt.

2. Reguliervorschrift

Artikel 5

¹ Die Funktion und die Randbedingungen für die Regulierung des Seepiegels sind im Anhang 1 beschrieben. Sie gewährleistet ein weitgehend natürliches Pegelregime des Sees innerhalb der Toleranzgrenzen (433,45 m ü.M. bis 434,00 m ü.M.) und verhindert im Normalfall, dass der Seepiegel unter die Kote 433,25 m ü.M. fällt.

Artikel 6

¹ Die Regulierung erfolgt nach einem PID-Regler. Dieser setzt sich aus drei Komponenten (PID) zusammen:

1. Der Proportionalanteil P definiert die funktionale Beziehung zwischen Seestand und Reussabfluss.
2. Der Integralanteil I bewirkt die mittel- und langfristige Einhaltung von definierten Toleranzgrenzen auch bei extremen Seezuflüssen. Er ermöglicht die Einhaltung von Mindestwasserständen und korrigiert länger anhaltende Seehochstände.
3. Der Differenzialanteil D reagiert direkt auf rasche Änderungen im Seezufluss und gewährleistet damit eine schnelle Anpassung des Seeausflusses im Falle von Hochwasser.

² Der am Wehr einzustellende Abfluss berechnet sich aus der Summe der Reglerkomponenten P, I und D. Die Wahl der Reglerparameter bestimmt damit das Pegelstandsregime im See. Die Parameter sind im Anhang 1 erläutert und festgelegt. Sie ergeben sich aus der optimierten Berücksichtigung der Interessen des Hochwasserschutzes sowie des Natur- und Landschaftsschutzes.

Artikel 7

¹ Das Stirnwehr wird grösstenteils von Hand bedient. Aus der Seepegelhöhe und den damit verbundenen Strömungskräften am Wehr ergeben sich Einschränkungen für das Setzen und Ziehen der Nadeln. Der verstärkte Abschnitt des Stirnwehrs (1/3 der Stirnwehrlänge) ist während dieser Einschränkungen durch den Einsatz des Nadelsetzgerätes so zu bedienen, dass beim Seeausfluss die Abweichung vom Sollwert möglichst gering bleibt.

Artikel 8

¹ Nach schneereichen Winterperioden wird der Seeabfluss vom 1. März bis am 1. Mai kontinuierlich erhöht, was zu einer vorsorglichen Pegelabsenkung führt. Die Erhöhung in Abhängigkeit von der Schneehöhe am 1. März bei der Station Trüebsee des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) ist im Anhang 1 definiert.

Artikel 9

¹ Um in den Wintermonaten November bis Februar in der Reuss für laichende Fische eine ausreichende Wasserführung zu gewährleisten, wird der Seeabfluss vom 1. Juli bis am 1. November gemäss Beschrieb im Anhang 1 kontinuierlich reduziert und danach bis zum 1. März wieder kontinuierlich erhöht. Damit kann der Abfluss in der Reuss von November bis Februar um 1,0 m³/s erhöht werden.

Artikel 10

¹ Übersteigt der Abfluss der Reuss unterhalb der Einmündung der Kleinen Emme den Wert von 550 m³/s, werden das Seitenwehr geschlossen und das Kraftwerk ausser Betrieb genommen, solange mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

1. Der Seepegel liegt unter 434,00 m ü.M.
2. Der Pegel der Kleinen Emme Littau ist steigend und der Seepegel ist fallend.
3. Der Pegel der Kleinen Emme Littau ist steigend und der Pegel der Kleinen Emme Werthenstein ist fallend.

3. Abflussaufteilung

Artikel 11

¹ Der Seeausfluss in die Reuss wird auf folgende Organe aufgeteilt (Anhang 2):

1. Stirnwehr (Nadelwehr: Wehrkote 431,12 m ü.M., Breite variabel, max. 32 m)
2. Längswehr (Nadelwehr: Wehrkote 431,50 m ü.M., Breite variabel, max. 85 m)
3. Seitenwehr (Hydraulisches Wehr, Wehrkote variabel, min. 428,00 m ü.M., Breite 12,50 m)
4. Turbinen Kraftwerk Mühleplatz (max. 58 m³/s, im Hochwasserfall bei Segelbetrieb max. 10 m³/s)

Artikel 12

¹ Stirn- und Längswehr dienen zur Grobregulierung, das Seitenwehr und das Kraftwerk zur Feinregulierung. Die Details über die Abflussaufteilung sind im Anhang 1 geregelt.

4. Sonderfälle

Artikel 13

¹ Über kurzfristige, betriebsbedingte oder durch unvorhersehbare Gründe erforderliche, von der theoretischen Pegel-Abfluss-Beziehung abweichende Abflusseinstellungen entscheidet der Betreiber der Reusswehranlage in Absprache mit dem Eigentümer. Abflusseinstellungen, die zu einem Mehrabfluss in der Reuss führen, werden nur in Absprache mit den Unterliegerkantonen Aargau, Zug und Zürich vorgenommen. Der Eigentümer meldet Ursache, Umfang und Dauer dieser Sonderfälle raschmöglichst an die Reusswehrkommission.

5. Schlussbestimmung

Artikel 14

¹ Das Wehreglement tritt nach Zustimmung aller Uferkantone und mit der Inbetriebnahme der ausgebauten Wehranlage in Kraft. Aufgrund der Erfahrungen bei der Anwendung und der Ergebnisse des Monitorings und auf Antrag der Reusswehrkommission entscheiden die Uferkantone über Anpassungen am Reglement. Vorbehalten bleibt bei allfälligen Anpassungen die Übereinstimmung mit den gesetzlichen Bestimmungen und die Durchführung der notwendigen Auflage- und Genehmigungsverfahren.

Änderungstabelle - nach Paragraf

Element	Beschlussdatum	Inkrafttreten	Änderung	Fundstelle G
Erlass	03.07.2007	20.05.2011	Erstfassung	G 2018-045

Änderungstabelle - nach Beschlussdatum

Beschlussdatum	Inkrafttreten	Element	Änderung	Fundstelle G
03.07.2007	20.05.2011	Erlass	Erstfassung	G 2018-045

Technische Grundlagen zur Regulierung des**Vierwaldstättersees (ANHANG zum Wehrreglement)****1 Reguliervorschrift****1.1 Einleitung und Regulierkonzept**

Die neue Reguliervorschrift beschreibt eine eindeutige Beziehung zwischen Seestand und Reussabfluss und eignet sich für eine automatische Steuerung des Seitenwehres.

Die neue Reguliervorschrift basiert auf dem Konzept des Proportional-Integral-Differential-Reglers (PID-Regler), welches bei der Wasserstandsregulierung in Flusstauhaltungen verbreitet ist (Kühne 1975). Dieses allgemein gehaltene Reglerkonzept ermöglicht bei geeigneter Wahl der Parameter ein weitgehend natürliches Pegelregime des Sees innerhalb definierter Toleranzgrenzen. Der PID-Regler setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

- (1) Der Proportionalanteil stellt das „statische Moment“ des Reglers dar und definiert eine funktionale (ev. saisonal geprägte) Beziehung zwischen Seestand und Reussabfluss.
- (2) Der Integralanteil bewirkt die mittel- und langfristige Einhaltung von definierten Toleranzgrenzen auch bei extremen Seezuflüssen. Er ermöglicht die Einhaltung von Mindestwasserständen und korrigiert länger anhaltende Seehochstände.
- (3) Der Differentialanteil ist dasjenige Element, welches direkt auf Änderungen im Seezufluss reagiert und damit eine schnelle Anpassung des Seeausflusses im Falle von Hochwasser ermöglicht.

Der am Wehr einzustellende Abfluss berechnet sich aus der Summe der Reglerkomponenten. Die Wahl der Reglerparameter wird im folgenden erläutert.

1.2 Proportionalanteil

Der Proportionalregler orientiert sich am unregulierten Seeausfluss. Bestimmungsgrösse für den Proportionalanteil ist der Abfluss über ein freies Wehr.¹ Die allgemeine Wehrformel nach Poleni (z.B. in Vischer und Huber 1993) lautet

$$Q = c_w b_w (z - z_w)^{3/2} \quad (1)$$

mit Q = Wehrabfluss, c_w = Wehrkoeffizient, b_w = Wehrbreite, z = Wasserspiegel im See und z_w = Höhe der Wehrkrone (Wehrkote). Der Wehrkoeffizient für ein breittkroniges Wehr beträgt $c_w = 1.70$.¹ Wehrbreite

¹ Dabei handelt es sich um ein fiktives Wehr, dessen Dimensionen aufgrund von Zielkriterien aus den Gebieten Hochwasserschutz, Naturschutz und Landschaftsschutz optimiert wurden. Die Reguliervorschrift für die Reusswehrranlage bildet den Abfluss über dieses fiktive Wehr nach.

b_w und Wehrkote z_w werden derart gewählt, dass die beobachteten, mittleren jährlichen Seestände durch die neue Regulierung nicht verändert werden (\rightarrow Zielbereich Vegetation See). Für einen mittleren Seeausfluss von $110 \text{ m}^3/\text{s}$ (LHG 1988) soll der Seestand bei 433.60 m ü. M. liegen. Mit der Gleichung (1) erhält man aus dieser Forderung eine eindeutige Beziehung zwischen Wehrbreite b_w und Wehrkote z_w .

Es gelten folgende Werte:

(1) Wehrbreite $b_w = 140 \text{ m}$

(2) zugehörige Wehrkote $z_w = 433.00 \text{ m ü. M.}$

Durch saisonale Variation der Wehrkote lassen sich die mittleren jahreszeitlichen Seestände beeinflussen.

Schneereiche Winter: Nach einem schneereichen Winter sind die Zuflüsse im Frühjahr während der Schneeschmelze erhöht und lassen den See ansteigen. Entsprechend sind auch die beobachteten Jahresmaxima der Seestände tendenziell höher. Um dies zu berücksichtigen, wird im Frühjahr die Wehrkote abgesenkt. Am 1. März wird die Schneehöhe bei der Station Trüebsee des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) registriert. Je nach Schneehöhe wird die Wehrkote zur Berechnung des Proportionalanteiles bis am 1. Mai kontinuierlich abgesenkt, gemäss folgender Vorschrift

$$dz_w = \max(h_s - 1.0 \text{ m}, 0.0) \times 0.15 \quad (2)$$

mit dz_w = Absenkung der Wehrkote am 1. Mai, h_s = Schneehöhe der Station Trüebsee am 1. März sowie der Maximumfunktion

$$\max(a, b) = \begin{cases} a & \text{falls } a \geq b \\ b & \text{falls } a < b \end{cases}$$

Für Schneehöhen unter 1.0 m bleibt die Wehrkote unverändert. Für Schneehöhen grösser als 1.0 m erfolgt eine lineare Absenkung.²

Abflusserhöhung im Winter: In den Monaten November und Dezember stellt die Wasserführung in der Reuss für die laichenden Fische (Seeforelle) eine kritische Grösse dar. Auch in den übrigen Wintermonaten soll der Abfluss in der Reuss nicht unter ein Mindestmass fallen. Durch eine Anhebung der Wehrkote zwischen Sommer und Herbst um 0.1 m und anschliessender Absenkung kann der Abfluss in den Wintermonaten November bis Februar um $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht werden. Die Anhebung der Wehrkote erfolgt kontinuierlich gemäss nachstehender Abbildung.

¹ Der Wehrkoeffizient ist abhängig vom Wehrtyp (schmal- oder breitkronig). Für unsere Betrachtung ist diese Unterscheidung jedoch nicht von Belang.

² Beispiel: Für eine Schneehöhe von 3.0 m beträgt die Absenkung $dz_w = 0.3 \text{ m}$

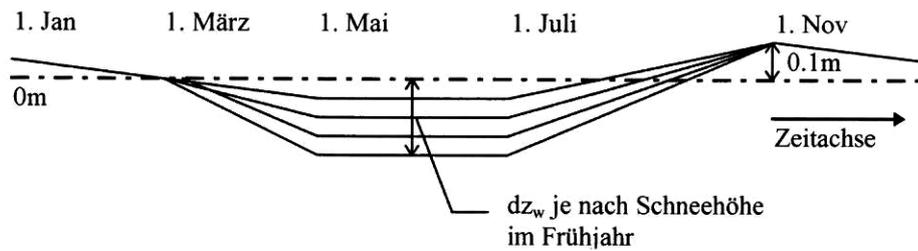


Abbildung 1 - Relative saisonale Absenkung und Anhebung der Wehrkote

1.3 Integralanteil

Der Integralregler vergleicht den aktuellen Seestand mit einem vorgegebenen Sollwert und verändert je nach festgestellter Abweichung den Wehrabfluss. Die Veränderung des Abflusses beträgt

$$Q_{I,neu} - Q_{I,alt} = k_I (z - z_{soll}) \Delta t \quad (3)$$

mit $Q_{I,neu}$ = Integralabfluss zum neuen Zeitpunkt, $Q_{I,alt}$ = Integralabfluss zum alten Zeitpunkt, z = Seestand, z_{soll} = Sollpegel, k_I = Integralfaktor und Δt = Zeitdifferenz zwischen neuem und altem Zeitpunkt. Die freien Parameter sind der Sollpegel z_{soll} , die Zeitdifferenz Δt und der Integralfaktor k_I .

An Stelle der Einhaltung eines festen Sollpegels ist ein möglichst natürliches Pegelregime erwünscht, das von den Seezufüssen geprägt wird. Innerhalb eines Toleranzbereiches soll sich der Seestand aufgrund der Proportionalregelung frei bewegen können. Der Toleranzbereich hat eine untere Grenze bei 433.45 m und eine obere Grenze bei 434.00 m. Diese beiden Werte definieren somit die Sollpegel z_{soll} . Fällt der Seestand unter resp. über diese Marken, wird der Integralregler aktiviert. Die Pegelabweichung wird dabei berechnet aus der Differenz des aktuellen Pegelstandes mit dem unter- bzw. überschrittenen Grenzpegel (siehe Abbildung unten).

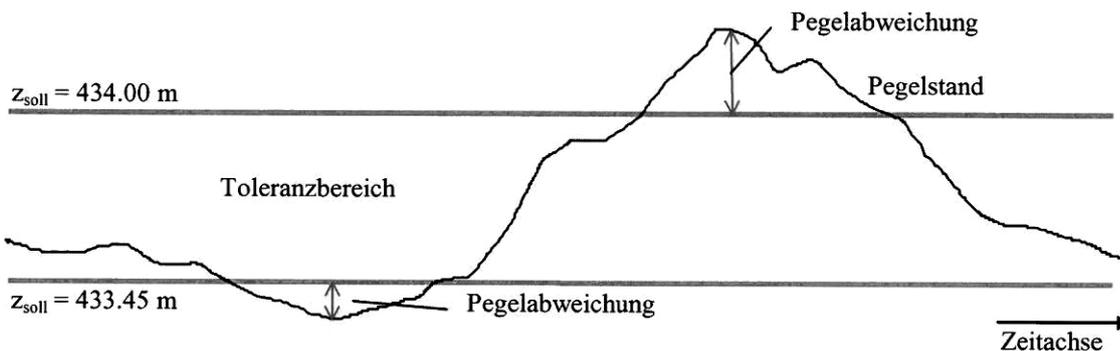


Abbildung 2 - Ermittlung der Pegelabweichung für den Integralregler

Für Pegelstände innerhalb des Toleranzbereiches wird der Integralanteil schrittweise auf Null reduziert mit der Vorschrift

$$Q_{I,neu} = Q_{I,alt} \times 0.67 \quad (4)$$

Die Zeitdifferenz des Reglers Δt beeinflusst die Reaktionszeit auf Änderungen im Seestand. Die Anpassung des Integralreglers erfolgt zweimal pro Tag.

Die Wahl von k_I wirkt sich proportional auf Änderungen im Seeabfluss aus. Grosse Werte von k_I führen zu einer schnelleren Anpassung des Seestandes, jedoch auch zu verstärkten Schwankungen im Reusabfluss.

Für den Integralfaktor k_I folgende Werte:

(1) $k_I = 2 \text{ m}^2/\text{s}$ pro Tag für Seepegel unter 433.45 m ü. M.

(2) $k_I = 4 \text{ m}^2/\text{s}$ pro Tag für Seepegel über 434.00 m ü. M.

1.4 Differentialanteil

Der Differentialregler erlaubt ein schnelles Reagieren auf Zuflussänderungen im Hochwasserfall. Er nutzt den Umstand, dass der Verlauf des Seestandes direkte Rückschlüsse auf das Verhältnis zwischen Seezufluss Q_z und Seeausfluss Q_a ermöglicht. Grundlage dazu bildet die Kontinuitätsgleichung

$$A z' = Q_z(t) - Q_a(t) \quad (5)$$

mit $A = \text{Seefläche (114 km}^2\text{)}$ und $z' = \text{Änderung des Seestandes pro Zeiteinheit}$. Der Differentialanteil des Reglers wird wie folgt berechnet

$$Q_{D,\text{neu}} - Q_{D,\text{alt}} = k_D (z'_{\text{neu}} - z'_{\text{alt}}) \quad (6)$$

mit z'_{neu} und $z'_{\text{alt}} = \text{Pegeländerung pro Zeiteinheit zum neuen resp. alten Zeitpunkt}$ und $k_D = \text{Differentialkoeffizient}$. Der Differentialkoeffizient hängt von der Seefläche ab und wird zu

$$k_D = A \times 0.8 \quad (7)$$

gewählt. Der Differentialregler vermag sehr rasch auf Änderungen im Seestand zu reagieren. Da dies nur bei hohen Seeständen erwünscht ist, wird der Differentialanteil des Reglers nur bei Seeständen über 434.00 m berücksichtigt.

1.5 Berücksichtigung von Hochwasser der Kleinen Emme

Mit einer Drosselung des Abflusses über das Reusswehr während Emmehochwasser kann der Reusabfluss ober- und unterhalb der Emmemündung vermindert und damit ein Beitrag zum Hochwasserschutz geleistet werden. Die Abflussdrosselung erfolgt durch Schliessen des Seitenwehres und des Kraftwerkes.

2 Abflussaufteilung

2.1 Wahl des Abflussorgans

Die Reguliervorschrift bestimmt in Funktion des Seestandes den Abfluss, welcher am Reusswehr realisiert werden soll. Der Abfluss am Reusswehr wird mit den folgenden Organen festgelegt:

- (1) Stirnwehr (Nadelwehr: Wehrkote 431.12 m, Breite variabel, max. 32 m)
- (2) Längswehr (Nadelwehr: Wehrkote 431.50 m, Breite variabel, max. 85 m)
- (3) Seitenwehr (hydraulisches Wehr, Wehrkote variabel, min. 428.0 m, Breite 12.5 m)
- (4) Turbinen Kraftwerk Mühleplatz (max. 58 m³/s)

Stirn- und Längswehr dienen zur Grobregelung. Seitenwehr und Kraftwerk dienen zur Feinregelung. Für das Öffnen und Schliessen des Wehres wird dasjenige Organ gewählt, welches die grösste Nutzverfügbarkeit aufweist. Die Nutzverfügbarkeit für ein Organ o_j unter verschiedenen Bedingungen kann aus folgender Beziehung bestimmt werden (Chapuis 1998)

$$\mu_{C_v}(o_j) = \prod_{i=1}^n \mu_{C_i}(o_j) + [1 - \mu_{C_i}(o_j)](1 - \alpha_i) \quad (10)$$

mit μ_{C_i} = Erfülltheitsgrad der Bedingung i , n = Anzahl von Bedingungen und α_i = Gewichtungsfaktor der Bedingung i .

2.2 Verfügbarkeit und Nebenbedingungen

Zur Ermittlung der Nutzverfügbarkeit werden folgende Bedingungen berücksichtigt:

Nr.	Kriterium	Wertebereich	Gewichtung
1	Verfügbarkeit	{0, 1}	1.0
2	Restwasser über das Stirnwehr	{0, 1}	1.0
3	Viel Abfluss über die Turbinen	{0, 1}	0.6
4	Wenig Manipulationen am Nadelwehr	{0, 1}	0.5
5	Wenig Abfluss über das Seitenwehr bei Wehrabflüssen unter 200 m ³ /s	{0 - 1}	0.4
6	Nadelwehrbedienung an Arbeitstagen	{0, 0.5, 1}	0.3
7	Wenig Abfluss über Nadelwehr im Zeitraum März - April	{0, 1}	0.3
8	Wenig Pegelsenkungen in der Reuss	{0, 1}	0.2
9	Geringe Abflussschwankungen in der Restwasserstrecke im Zeitraum März - Juni	{0, 1}	0.2

Die Verfügbarkeit eines Organs stellt ein hartes Kriterium dar (Gewichtung 1). Ein Organ ist entweder verfügbar ($\mu_{C_i} = 1$) oder nicht verfügbar ($\mu_{C_i} = 0$).

Die Verfügbarkeit für Öffnen und Schliessen wird durch folgende Bedingungen bestimmt:

<i>Organ</i>	<i>öffnen</i>	<i>schliessen</i>
Seitenwehr	Klappe nicht oben	Klappe nicht unten
Kraftwerk	Turbinen nicht vollständig geöffnet	Turbinen nicht geschlossen und Nadelwehr geschlossen
Stirnwehr	Stirnwehrradeln gesetzt und Seepegel < 433.8 m ü. M.	Stirnwehrradeln gezogen und Seepegel < 433.5 m ü. M.
Längswehr	Längswehrradeln gesetzt und Seepegel < 434.1 m ü. M.	Längswehrradeln gezogen und Seepegel < 434.0 m ü. M.

Die Einhaltung der Restwasserbestimmung (Regierungsrat Kt. Luzern 1995) stellt ebenfalls ein hartes Kriterium dar.

<i>Dotierwassermenge</i>	<i>Stellung Nadelwehr</i>	<i>Periode</i>
mind. 12 m ³ /s	Nadelwehr geschlossen (Leckwasser)	Oktober bis April
mind. 20 m ³ /s	Ein Fach teilweise geöffnet	Mai, August, September
mind. 35 m ³ /s	Mindestens 2 ½ Fächer geöffnet	Juni, Juli

Bei den übrigen Bedingungen handelt es sich um „weiche Kriterien“. Deren Einhaltung wird im Sinne einer optimalen Bedienung des Reusswehres angestrebt, kann jedoch nicht in jedem Fall garantiert werden. Die Zuweisung der Erfülltheitsgrade und der Gewichtung stellt deshalb ein Optimierungsproblem dar. Die angegebenen Werte sind als Richtwerte zu verstehen.

3 Quellen und Literatur

Chapuis J. 1998. Modellierung und neues Konzept für die Regelung von Laufwasserkraftwerken. Diss. ETH Nr. 12765.

Kühne A. 1975. Flusstaueregelung. Grundsätzliche Betrachtung mit systemtheoretischen Methoden. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 13.

Landeshydrologie und -geologie (LHG) 1988. Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern. Mitteilung Nr. 8, Bern.

Regierungsrat des Kt. Luzern 1995. Wasserrechtswesen: Neubau Kraftwerk Mühlenplatz der Stadt Luzern, Konzessionsentscheid gemäss § 56 Wasserbaugesetz (WBG). Sitzung vom 24. November 1995, Protokoll-Nr. 3109.

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) 1998. Reusswehr Luzern. Hydraulische Modellversuche zur Erhöhung der Abflusskapazität des Reusswehres. Bericht Nr. 4107. Im Auftrag des Kantons Luzern, der Stadt Luzern und der anderen Uferkantone des Vierwaldstättersees.

Vischer D., Huber A. 1993. Wasserbau. 5. Auflage. Springer, Berlin.

ARGE aquaplus beffa bpp 2001. Regulierung Vierwaldstättersee, Zielformulierungen. Im Auftrag des TBA Kt. Luzern und der Stabstelle Wasserbau.

Übersicht der Wehrgänge

