



PROGRAMM KLEINWASSERKRAFTWERKE

Kleinkraftwerk Käppeli, Lungern

Schlussbericht Abflussmessungen 2006 - 2008

Stollenbach, Büelenbach und Siwerblenbach

Ausgearbeitet durch

IM Ingenieurbüro Maggia AG, Beratende Ingenieure, Via S. Franscini 5, 6600 Locarno,
Tel: 091 756 68 11, Fax: 091 756 68 10, E-mail: info@im-maggia.ch, www.im-maggia.ch

Aristoteles Manouras und **Urs Müller**,
aristoteles.manouras@im-maggia.ch - urs.mueller@im-maggia.ch





Impressum

Datum: 20.12.2008

Unterstützt vom Bundesamt für Energie

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter: bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Projektnummer: Vf 151584

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

A. Abschlussbericht

1	Einleitung.....	5
2	Grundlagen.....	6
2.1	Topographische Unterlagen	6
2.2	Hydrologische Unterlagen.....	6
2.3	Durchflussmessungen.....	6
2.4	Weitere Unterlagen	7
3	Einzugsgebiete.....	8
3.1	Ermittlung der Einzugsgebiete	8
3.2	Charakteristik der Einzugsgebiete	8
4	Messstationen	10
4.1	Messstelle Büelenbach	10
4.2	Messstelle Stollenbach.....	11
4.3	Messstelle Siwerblenbach.....	12
5	Messeinrichtung	13
6	Auswertung der Messungen	14
7	Korrelation der Messwerte mit anderen Messstationen.....	16
8	Ermittlung der Dauerkurven der Abflussmengen	17
9	Bewertung der Auswertungsjahre 2006 und 2007.....	20
10	Energieproduktion KW Käppeli	21
11	Zusammenfassung.....	22



B. Berichtsbeilagen

Beilage 1	Übersicht der Einzugsgebiete
Beilage 2	Datenblatt Messgerät
Beilage 3	Ganglinien der Abflussmessungen 2005 – 2008
Beilage 4	Ganglinie der Tagesmittelwerte Stollenbach und Zuflüsse Tagesspeicher KW Schild
Beilage 5	Korrelationsgerade Stollenbach vs. Zuflüsse Tagesspeicher KW Schild
Beilage 6	Vergleich der Ganglinien Stollenbach 2007 – 2008
Beilage 7	Dauerkurven Stollenbach 2006 – 2007 – 2008*
Beilage 8	Dauerkurven Büelenbach 2006, 2007, 2008*
Beilage 9	Vergleich der Dauerkurven von Stollenbach und Büelenbach 2006-2008*
Beilage 10	Dauerkurven von Stollenbach und Büelenbach 2006/2007
Beilage 11	Tabellen Dauerkurven von Stollenbach und Büelenbach 2006/2007
Beilage 12	Kumulierter Energieertrag KW Schild
Beilage 13	Dauerkurve Sarner Aa – Sarnen 1934 - 2007
Beilage 14	Dauerkurven Aare – Brienzwiler 1954 - 2007
Beilagen 15-18	Mögl. Energieproduktion KW Käppeli im Mitteljahr 2006/2007 für versch. Ausbauwassermengen (120, 140, 150 und 190 l/s)

1 Einleitung

Die Kleinkraftwerk AG Lungern betreibt bereits seit einigen Jahren in Lungern (Kanton Obwalden) die beiden Kleinkraftwerke KW Schild und KW Mühlebach.

Zusätzlich bestehen auf dem Gemeindegebiet von Lungern weitere interessante Kleinkraftwerksstandorte welche die Kleinkraftwerk AG Lungern prüfen und allenfalls ausbauen will.

Im Bereich Käppeli nördlich des Brünigpasses und rund 200 Höhenmeter über dem Lungenersee, respektive Dorf Lungern bietet sich eine ideale Ausbaumöglichkeit für ein Kleinkraftwerk. Das Wasser des Stollenbaches und des Büelenbaches versickert im Bereich Käppeli in eine Karströhre und tritt im Bereich der Lochquelle bei Obsee, Lungern wieder an die Oberfläche. Im Frühjahr während der Schneeschmelze oder während starken Niederschlägen wird die Entlastungskapazität der Karströhre oft überschritten und es kommt im Aufstau eines Käppelisees, der bei starken Niederschlägen immer wieder auch Landwirtschaftsland überschwemmt. Die Idee des Wasserkraftprojektes ist es vor dem Versickern des Wassers in die Karströhre (Bereich Käppelisee) das Wasser zu fassen und mittels einer Druckleitung zu einem Kleinkraftwerk im Bereich Obsee (Lungern) zu leiten. Die Turbinenanlage lässt sich in einem Anbau der bestehenden Zentrale Hackeren des Kraftwerkes Schild unterbringen. Entsprechende bauliche Vorkehrungen zur Erweiterung der Zentrale sind bereits beim Bau des Kraftwerkes Schild berücksichtigt worden.

Die geplanten Anlagenteile des KW Käppeli umfassen je eine Wasserfassung am Stollenbach und am Büelenbach, ein Ausgleichsbecken zum Tagesausgleich der zufließenden Wassermengen, eine erdverlegte und zum Teil in einer Felsbohrung verlaufende Druckleitung zur Zentrale Hackeren in Obsee-Lungern.

Zur Abklärung der Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit eines Kraftwerkes Käppeli hat der Verwaltungsrat der Kleinkraftwerke AG Lungern im Herbst 2005 beschlossen Wassermessungen am Stollenbach, Büelenbach und Siwerbilenbach durchzuführen. Die IM Ingenieurbüro Maggia AG (IM) wurde mit der Planung der Messstellen und der Auswertung der Messungen beauftragt. Die Ergebnisse dieser Messungen zwischen November 2005 und August 2008 sind im vorliegenden Bericht zusammengestellt und ausgewertet.

Die Messungen wurden im Rahmen des Förderprogramms Kleinkraftwerke des Bundesamtes für Energie (Bfe) finanziell unterstützt.



2 Grundlagen

Für die Ausarbeitung des Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung.

2.1 Topographische Unterlagen

Landeskarte	1:25'000	Blatt	1209	Brienz
Landeskarte	1:25'000	Blatt	1210	Innertkirchen

2.2 Hydrologische Unterlagen

Hydrologische Jahrbücher der Schweiz

- Station Aare - Brienzwiler Periode 1954 - 2007
- Station Sarner Aa - Sarnen Periode 1934 – 2007



Eidgenössische hydrometrische Stationen in der Umgebung des Projektgebiets

2.3 Durchflussmessungen

Abflussmessungen Periode 29.11.2005 - 20.08.2008

- Messstation Büelenbach
- Messstation Stollenbach
- Messstation Siwerblenbach (nur Teile der Messperiode)

Zuflussmessungen Kraftwerk Schild

Periode 01.01.2005 – 31.12.2007

- Eibach

Periode 01.01.2005 – 31.12.2007

- Dorfbach

Periode 01.01.2005 – 31.12.2007

- Tagesspeicher Ochsenalp

Periode 01.01.2005 – 31.12.2007

Dauerkurve Stollenbach im Bereich Ochsenalp (1994-1997), Büro Gasser&Partner AG, Lungern

2.4 Weitere Unterlagen

Energieproduktion Kraftwerk Schild

Periode 2003 – 2007

Jan. 2008 – Nov. 2008



3 Einzugsgebiete

(Beilage 1)

3.1 Ermittlung der Einzugsgebiete

Das Einzugsgebiet am Projektstandort Käppeli setzt sich aus verschiedenen Bachläufen und aus mehreren kleineren Teileinzugsgebieten zusammen.

Anhand der Landeskarten und der darin aufgezeigten Höhenlinien liessen sich die Einzugsgebiete für die Hauptzuflüsse bestimmen:

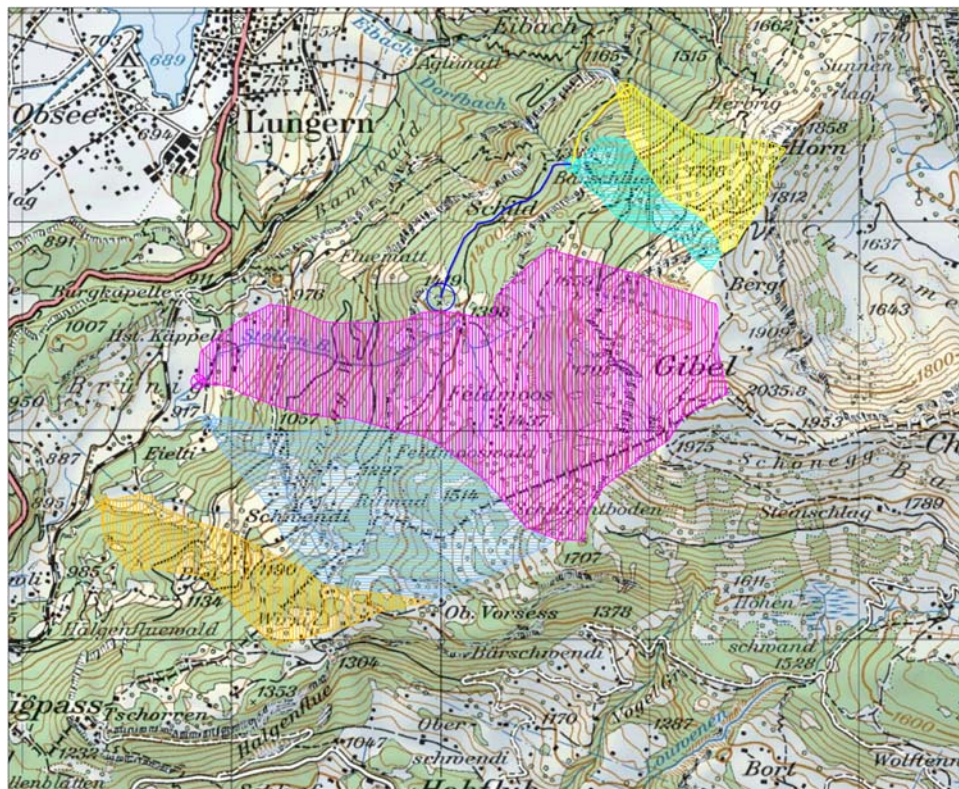
- Büelenbach $E = 0.85 \text{ km}^2$
- Stollenbach $E = 1.73 \text{ km}^2$
- Siwerblenbach $E = 0.39 \text{ km}^2$

Die mittels der Landeskarte ermittelten Flächen gelten als direkte Einzugsgebiete. Allerdings können daraus keine linearen Abflussbeziehungen hergestellt werden, da in den einzelnen Teileinzugsgebieten zusätzliche Quellen und Senken mit Karst vermutet werden. Dabei versickert ein Teil des Niederschlages im Boden und gelangt nicht in den entsprechenden Messstellen zum offenen Abfluss oder es erfolgt in den verschiedenen Quellen allenfalls auch eine Wasserzugabe von ausserhalb des direkten Einzugsgebietes.

Infolge der grossen Abhängigkeit der Abflüsse von den jeweiligen Niederschlägen treten grosse jahreszeitliche Schwankungen auf.

3.2 Charakteristik der Einzugsgebiete

Das gesamte Einzugsgebiet der Bäche liegt auf ca. 900 -2000 m ü.M. und ist zu einem recht grossen Teil bewaldet. In den oberen Gebirgsbereichen sind die Grate meist grasbewachsen und durchsetzt von verschiedenen Felsbändern. Vergletscherte Zonen sind nicht vorhanden. Im Bereich Käppeli versickert alles Oberflächenwasser in eine Karströhre, welches erst in der Nähe der Zentrale Hackeren des KW Schild in der „Lochquelle“ wieder an die Oberfläche tritt.



Einzugsgebiet Eibach
E=0.278 km²

Einzugsgebiet Dorfbach
E=0.167 km²

Messstelle Stollenbach
Einzugsgebiet Dorfbach
E=1.733 km²

Messstelle Büelenbach
E=0.850 km²

Messstelle Siwerblenbach
E=0.388 km²

Einzugsgebiete von Siwerblenbach, Büelenbach und Stollenbach sowie KW Schild (Eibach und Dorfbach)



4 Messstationen

4.1 Messstelle Büelenbach

Die Messstelle befindet sich unterhalb von Eielti kurz vor der Einsickerung in die Karströhre des Käppelsees oberhalb von Lungern. Im November 2005 wurde hier ein Holzmesskasten mit einem Rechteckgerinne von 40.2 cm Breite in dem bestehenden Bachlauf installiert. Am Ende des hölzernen Messkastens befindet sich ein 30.0 cm hoher scharfkantiger Messüberfall.

Die Drucksonde zur Messung und Aufzeichnung des Wasserspiegels im Messkasten befindet sich in genügendem Abstand vom Überfall in einem gelochten Messrohr über der Sohle. Die Messsonde kann die Energiehöhe über dem Überfall zuverlässig aufzeichnen und nach Auslesung der Messwerte mittels Überfallformel auf die entsprechenden Abflussmengen umgerechnet werden.



Messstation Büelenbach

Zu berücksichtigen ist, dass bei Hochwasserereignissen nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein Teil des Abflusses neben dem Messquerschnitt abgeflossen ist. Diese Abflussmengen sind jedoch für den möglichen Kraftwerkausbau von untergeordneter Bedeutung.

4.2 Messstelle Stollenbach

Aufgrund der bestehenden Geometrie des trapezförmigen Abflussgerinnes mit seitlichen Wänden aus Beton oder Mauerwerk wurde zur Erstellung eines Messquerschnitts lediglich eine Endschwelle quer zum Gerinne angeordnet. Die Höhe des Messquerschnitts beträgt 70 cm. Während Die Sohle eine Breite von 1.0 m hat, vergrößert sich das Profil am oberen Bereich auf 1.30 m. Daraus resultiert ein Öffnungswinkel von 12.1° . Zur Auswertung wurde ein relativ konservativer Überfallbeiwert von $\mu = 0.577$ gewählt. Dieser wurde mit verschiedenen Flügelmessungen bei unterschiedlichen Abflussmengen im Gerinne experimentell ermittelt resp. bestätigt.

Die Messsonde befindet sich ca. 5.2 cm unterhalb der Überfallkote der Endschwelle. Dieser Wert muss bei den Umrechnungen berücksichtigt und von der gemessenen Wassertiefe abgezogen werden.



Messstation Stollenbach



4.3 Messstelle Siwerblenbach

Das in das Bachbett eingefügte Rechteckgerinne mit einem Holzkasten ist gleich aufgebaut wie die Messstelle am Büelenbach. Der Messquerschnitt hat eine konstante Breite von 40.5 cm. Am Ende des hölzernen Messkastens befindet sich ein 30.0 cm hoher Messüberfall.



Messstelle Siwerblenbach

Dieser Bachlauf hat sich im Laufe der Messungen allerdings als zu wenig ergiebig gezeigt, als dass vernünftige Messungen bzw. Messreihen zustande gekommen wären. Da aufgrund der kleinen Wassermengen und den grossen baulichen Aufwendungen zur Überleitung dieses Baches in den Bereich Käppeli für eine Wasserkraftnutzung die Wirtschaftlichkeit dieser Nutzung nicht gegeben war, wurden die Messungen im April 2007 wieder eingestellt.

Die Fassung des Baches zur Wasserkraftnutzung wird nicht mehr in Betracht gezogen.

Im Laufe der weiteren Untersuchungen finden die gewonnenen Resultate keine Berücksichtigung mehr.

5 Messeinrichtung

(Beilage 2)

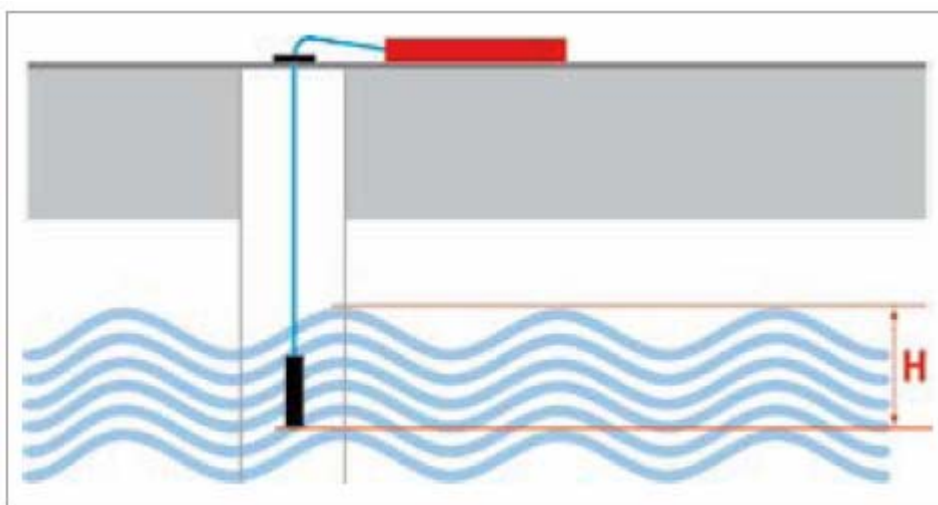
Mittels Drucksondenmessungen wird der Wasserstand innerhalb des Messkastens in einem bestimmten Abstand vor der Schwelle ermittelt. Der mit der Sonde gekoppelte Datenlogger wandelt automatisch den lokalen Wasserdruck in einen Wasserstand über der Sonde um, und zeichnet alle 30 min einen Messwert auf. Die gesammelten Daten können ohne den Messvorgang zu beeinflussen mittels eines mobilen PC's direkt ausgelesen werden. Dabei werden die Zeitimpulse und die Wasserstände zusammen übermittelt. Die Auslesung erfolgte in regelmässigen Abständen.



Robustes Anschlusskabel

Tauchsonde

Datenlogger HOTBOX SE



Messprinzip



6 Auswertung der Messungen

(Beilage 3)

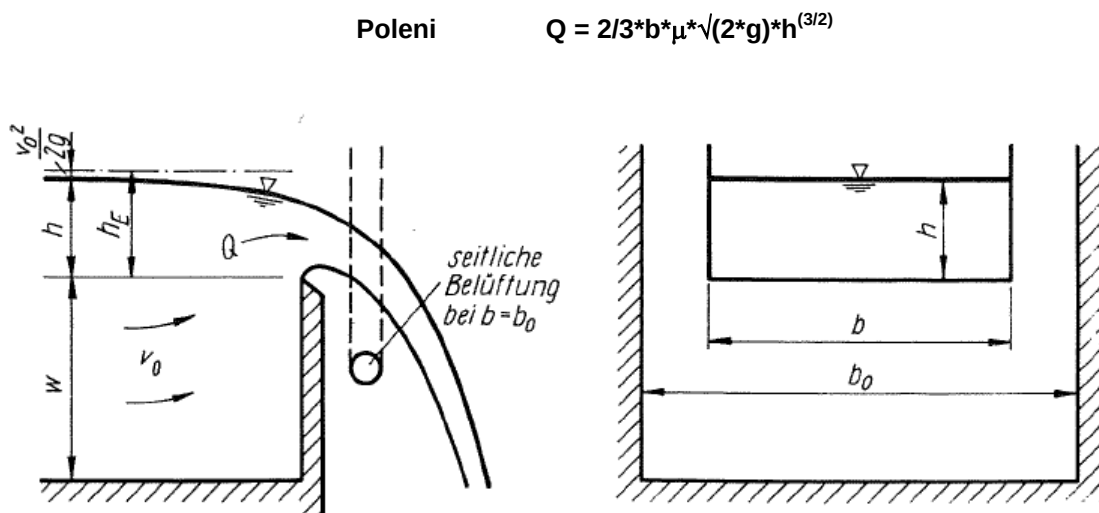
Der Datenlogger zeichnet die Wasserstände vor der Messschwelle alle 30 min auf. Um eine repräsentative Durchflussmenge zu ermitteln wurden die 48 täglich aufgezeichneten Messwerte gemittelt, und damit ein Tagesmittelwert der Überfallhöhe bestimmt. Dadurch werden temporäre Abflussspitzen zwar abgemindert und gemittelt. Eine halbstündliche Berechnung der Abflussmengen zur Ermittlung einer jährlichen Dauerkurve ist jedoch nicht sinnvoll.

Aus den gemessenen Überfallhöhen wurde dann mittels Überfallformeln der Abfluss für den jeweiligen Messquerschnitt ermittelt.

Der Überfallbeiwert μ ist dabei abhängig vom Verhältnis der Überfall- und der Schwellenhöhe. Für den Fall ohne Seitenkontraktion ($b=b_0$) hat der Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) Versuche zur Bestimmung des Überfallwertes durchgeführt und eine Berechnungsformel publiziert (BOLLRICH 2000). Dieser Wert wird bei den Rechteckquerschnitten in den Berechnungstabellen jedes Mal direkt ermittelt und angewandt. Der Wert liegt zwischen $\mu = 0.63$ und $\mu = 0.70$.

Beim Trapezquerschnitt im Stollenbach wurde hingegen ein konstanter Wert von $\mu = 0.577$ angewandt, was ein eher konservativer Wert ist.

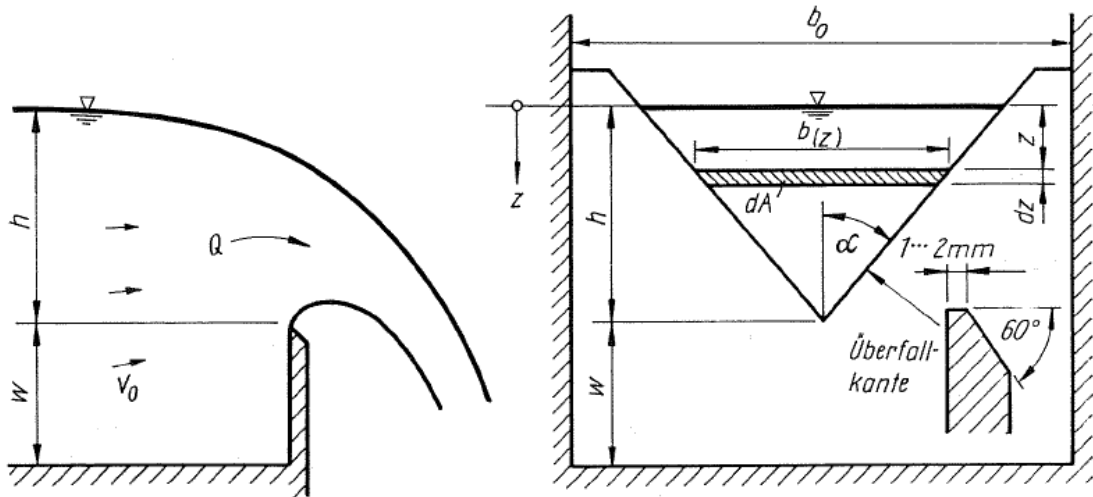
Nachfolgend ist die Überfallformel von POLENI dargestellt



Messwehr mit Rechteckquerschnitt nach Poleni (BOLLRICH 2000)

Für spitz zulaufende Querschnitte ergibt die nachfolgend aufgeführte Formel von THOMSON die exakten Durchflusswerte:

Thomson $Q = 8/15 \cdot \mu \cdot \sqrt{(2 \cdot g) \cdot \tan(\alpha) \cdot h^{(5/2)}}$



Messwehr mit Dreiecksquerschnitt nach Thomson (BOLLRICH 2000)

Beide Formeln basieren auf den gleichen theoretischen und physikalischen Ansätzen. Daher lassen sich die Abflussmengen für Trapezgerinne analog zu der Polenformel und der Thomsonformel differentiell ermitteln. Das Ergebnis ist eine kombinierte Abflussformel:

$$Q = 2/3 \cdot b \cdot \mu \cdot \sqrt{(2 \cdot g) \cdot h^{(3/2)}} + 8/15 \cdot \mu \cdot \sqrt{(2 \cdot g) \cdot \tan(\alpha) \cdot h^{(5/2)}}$$

Die erhaltenen Messergebnisse wurden durch wiederholte Handmessungen mittels Messflügel in den Abflussquerschnitten überprüft. Dabei wurde geringe Abweichungen sowohl nach oben, als auch nach unten zwischen der automatischen Messung und der manuellen Messung festgestellt. Diese liegen allerdings im tolerierbaren Bereich der naturgemässen Messungenauigkeit bei den jeweiligen Verfahren. Es kann daher von einer guten Übereinstimmung ausgegangen werden.



7 Korrelation der Messwerte mit anderen Messstationen

(Beilagen 4 - 6)

Aufgrund von Betriebsstörungen der Messeinrichtungen durch Geschiebe und anderen äusseren Einflüssen konnten insbesondere für die Messstation Stollenbach nicht immer durchgehende Messreihen für ein volles Jahr zugrunde gelegt werden. In den Perioden

01.01.2006 – 20.04.2006

29.05.2007 – 04.08.2007

17.10.2007 – 26.11.2007

Konnten wegen Problemen mit der Messeinrichtungen keine direkt verwendbaren Messwerte ermittelt werden und mussten reproduziert werden. Dafür wurden sämtliche Durchflussmesswerte miteinander verglichen und es wurden Korrelationskurven zwischen den Messstellen und den benachbarten Messstellen der Wasserfassungen im Kraftwerk Schild erstellt. Es hat sich gezeigt, dass der Stollenbach ein vom Büelenbach völlig verschiedenes Abflussverhalten aufweist. Am ehesten lassen sich aber die Werte noch mit den Zuflüssen zum Tagesspeicher des Kraftwerkes Schild vergleichen. Die so erhaltene Korrelationsgrade (Beilage 5) ist zwar nicht optimal, sie stellt aber die best mögliche Korrelation für die Nachbildung der fehlenden Messwerte für den Stollenbach dar.

Zur Vervollständigung der Daten für das Jahr 2008 wurden Prognosen für die bis dato noch fehlende Perioden vom 22.08.2008 bis 31.12.2008 gemacht.

Durch direkten Vergleich der Ganglinien des Stollenbaches für die Jahre 2006, 2007 und 2008 und die Beurteilung der erzeugten Energiemengen im KW Schild lassen vermuten, dass die Abflüsse im Herbst 2008 ähnliche Werte wie das Jahr 2007 bringen werden. Demzufolge wurden die Daten der Herbstabflüsse ab dem 22.08.2008 durch die Messwerte vom 22.08.2007 bis 31.12.2007 ergänzt. Die prognostizierten Daten sind mit "*" gekennzeichnet.

Sobald die Messdaten im Januar 2009 für das vergangene Jahr 2008 vorliegen, können die prognostizierten Werte ersetzt und eine vollständige Dauerkurve für das Jahr 2008 erstellt werden.

8 Ermittlung der Dauerkurven der Abflussmengen

(Beilagen 7 - 11)

Nach der Umrechnung der mittleren Wasserspiegellagen in Tagesabflüsse wurde für jeden der Messquerschnitte eine jährliche Dauerkurve der Abflussmengen erstellt. Zum jetzigen Zeitpunkt bieten sich die beiden Jahre 2006 und 2007 für eine Auswertung an. Das Jahr 2008 kann im Januar 2009 ergänzt werden.

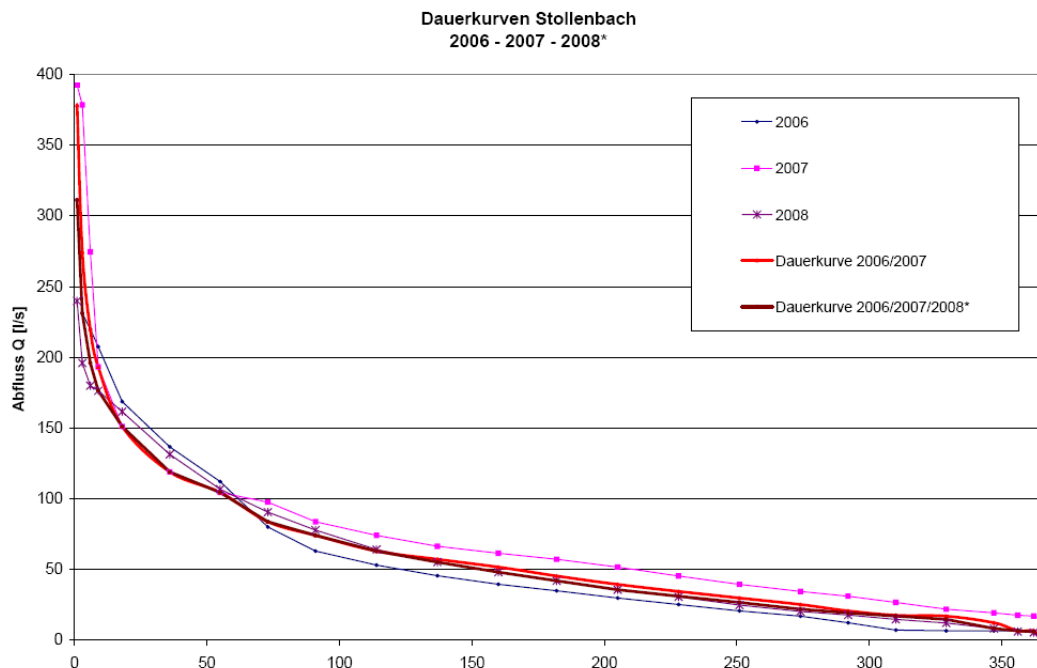
Zur Ermittlung einer Dauerkurve für die beiden Bäche Stollen- und Büelenbach zusammen, wurden zunächst die Tagesmittelwerte der Abflüsse addiert, und anschliessend eine gemeinsame Dauerkurve erstellt.

Die Mittelung der Abflussjahre 2006, 2007 und 2008* wurde entsprechend eines allgemein üblichen Verfahrens berechnet. Dafür werden zunächst die Abflüsse aller Tage und aller Jahre untereinander geschrieben und von 1-365-730-1095-... durchnummeriert. Die Anzahl der berücksichtigten Jahre ergibt einen Parameter „(m)“ (hier $m=3$). Der „(n)“-te Wert der Gesamtdauerkurve entspricht dann dem „(m*n)“-ten Abflusswert.

Beispiel:

Für 3 Jahre ergeben sich $3 \cdot 365 = 1095$ Abflusswerte. Der mittlere Wert $Q_n = Q_{347}$ ergibt sich dann aus der Zahl an der $3 \cdot 347 = 1041$ Position.

Dieses Verfahren wird für alle Zahlen der Dauerkurve durchgeführt und somit folgende Dauerkurven für die Jahre 2006, 2007 und 2008* ermittelt.



Stollenbach 2006/2007
E [km²] 1.733

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	378.59
3	274.58
6	219.91
9	193.22
18	151.14
36	118.98
55	104.44
73	83.77
91	74.09
114	62.98
137	57.24
160	51.70
182	45.36
205	39.46
228	34.47
251	29.81
274	25.20
292	20.67
310	17.61
329	16.96
347	12.28
356	6.67
362	6.58
365	0.78

Büelenbach 2006/2007
E [km²] 0.85

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	204.38
3	184.20
6	166.91
9	155.01
18	129.54
36	96.89
55	81.41
73	69.38
91	62.04
114	54.43
137	44.44
160	37.08
182	31.05
205	25.18
228	19.48
251	14.95
274	12.00
292	9.76
310	8.30
329	6.79
347	5.01
356	4.54
362	2.23
365	0.00

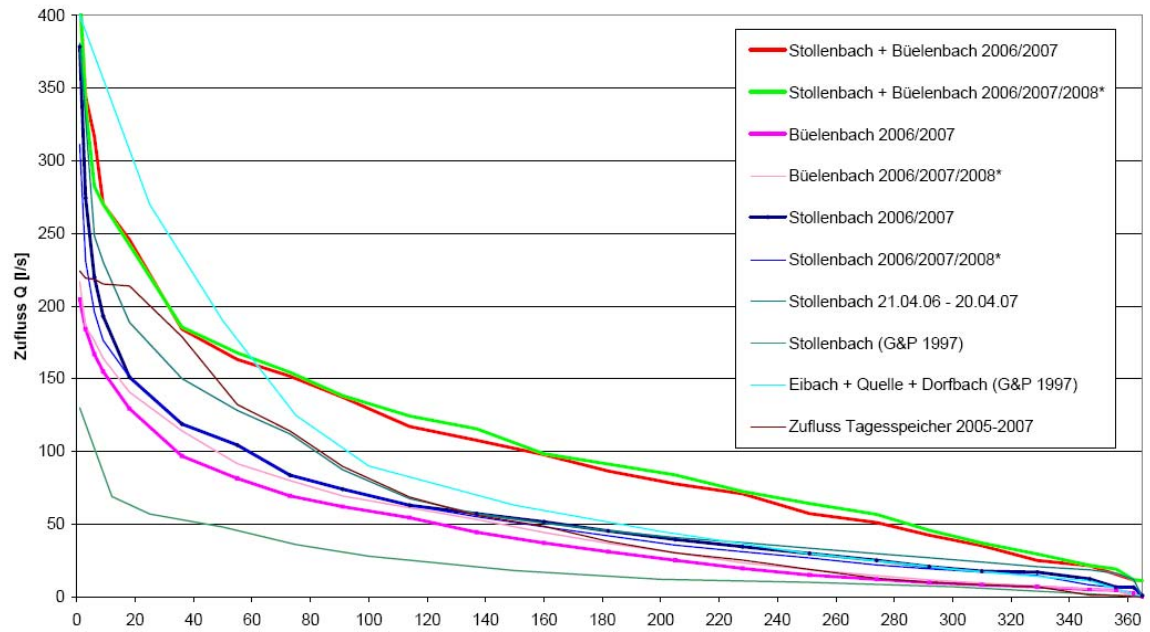
Stollenbach + Büelenbach
2006/2007

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	415.72
3	344.32
6	316.80
9	270.25
18	245.80
36	184.15
55	163.36
73	151.87
91	137.33
114	117.12
137	107.68
160	97.77
182	86.51
205	77.76
228	70.96
251	57.28
274	51.05
292	42.36
310	35.21
329	24.96
347	21.43
356	15.53
362	11.46
365	11.11

Es hat sich gezeigt, dass bei der Berücksichtigung der Dauerkurven für die Jahre 2006 - 2008* eine tendenziell höhere Kurve resultiert als für die gemittelte Dauerkurve der Jahre 2006 und 2007. Dies zeigt, dass das Jahr 2008 mehr Niederschlag gebracht hat als das Jahr 2006. Da allerdings das Messjahr 2008* noch nicht abgeschlossen ist und eine überdurchschnittliche Wasserfracht bringen wird, werden vorderhand lediglich die Jahre 2006 und 2007 bzw. das Mitteljahr 2006/2007 als Bemessungsgrundlage zur Beurteilung der Machbarkeit eines Kleinkraftwerkes Käppeli verwendet.

Die ermittelten Dauerkurven sind in der Beilage 7 bis 11 dargestellt. Dabei wird deutlich erkennbar, dass die hier direkt ermittelten Dauerkurven oberhalb der bereits 1997 im Rahmen einer groben Vorstudie rechnerisch ermittelten Dauerkurve des Ingenieurbüros Gasser & Partner AG, Lungern liegen und mit einer grösseren Abflussmenge für das KW Käppeli zu rechnen ist.

Vergleich der Dauerkurven der Abflussmengen von Stollenbach und Büelenbach
Abflussmessungen der Periode 2006 - 2008*



9 Bewertung der Auswertungsjahre 2006 und 2007

(Beilagen 12 - 14)

Zur quantitativen Bewertung der Abflussjahre 2006 und 2007 im Bezug auf das langjährige Mittel, wurden die Messdaten der beiden nahegelegenen Flüsse bei den Messstationen Aare – Brienzwiler und Sarner Aa – Sarnen analysiert und die Jahre 2006 und 2007 mit dem langjährigen Mittelwert verglichen.

In der Beilage sind die Dauerkurven für die Mittel-, Nass- und Trockenjahre dargestellt. Die Daten sind den jeweiligen hydrographischen Jahrbüchern der Schweiz entnommen.

Dazu wurden ebenfalls die Dauerkurven für die Jahre 2006 und 2007 eingetragen.

Demnach liegen die Abflüsse 2006 und 2007 bei der Aare (Beilage 14) im Bereich eines Mitteljahres. Hingegen ist bei der Sarner Aa (Beilage 13) klar zu erkennen, dass das Jahr 2006 deutlich tiefer als der Mittelwert der Messreihe einzuordnen ist. Das Jahr 2007 liegt bei der Sarner Aa hingegen leicht über den Wert eines Mitteljahres.

Die dargestellten Dauerkurven sollen lediglich als Quervergleich für eine Bewertung gelten. Es ist zu bedenken, dass sowohl die Abflüsse der Aare, als auch der Sarner Aa keine natürlichen Abflüsse mehr darstellen, sondern durch den Kraftwerkbetrieb reguliert sind und nicht mehr dem natürlichen Abflusszustand entsprechen.

Zusätzlich konnten die Produktionsdaten beim Kraftwerk Schild für die Jahre 2003 bis 2008 (Beilage 12) ausgewertet werden. Anhand dieser Auswertung lässt sich sehr gut erkennen, dass das Jahr 2006 zwar eine geringere Energieleistung erbracht hat, als das Jahr 2007, aber noch weit über dem eher trockenen Jahr 2003 liegt.

Aus den Abflussmessungen lässt sich klar feststellen, dass das Jahr 2007 und das Jahr 2008 jeweils mehr Niederschläge gebracht haben, als das Jahr 2006.

Die Ermittlung der Energieproduktion eines Kraftwerkes Käppeli mit einem Mittelwert der Jahre 2006 bis 2008 allein auf Basis der bis jetzt gemessenen Abflusswerte ergibt vermutlich zu optimistische Werte. Deutlicher lässt sich aber anhand der Grafik der effektiven Energieproduktion des KW Schild in Beilage 12 erkennen, dass das Jahr 2006 leicht unter einem Mitteljahr liegt und sich ein Mittelwert der Abflussmesswerte 2006/2007 vermutlich recht gut für eine erste Annahme einer mittleren Dauerkurve der Abflussmengen für das Kleinkraftwerk Käppeli eignet.

10 Energieproduktion KW Käppeli

(Beilagen 15 - 20)

Der nutzbare Höhenunterschied zwischen dem Bereich Käppeli und der Zentrale Hackeren beträgt 190 Höhenmeter. Mit einem Ausgleichsbecken ist es möglich bei Niederwasser das Wasser im Becken zu speichern und während der Spitzenzeit stets mit optimalem Wirkungsgrad der Anlage zur Energieerzeugung einzusetzen. Unter Berücksichtigung der Einzelwirkungsgrade von Turbine, Generators und Trafo lässt sich noch ein guter mittlerer Gesamtwirkungsgrad der Maschinen von 85% erzielen. Ebenfalls hat der zu wählende Druckleitungsdurchmesser und das Leitungsmaterial einen Einfluss auf die Nettofallhöhe. Es ist bei der erforderlichen Länge der Druckleitung von ca. 1075 m, und abhängig von Ausbauwassermenge und Druckleitungsdurchmesser noch mit einer Nettofallhöhe von 188 – 191 m zu rechnen.

Anhand der mittleren Dauerkurve 2006/2007 und des sich daraus ergebenden nutzbaren Wasservolumens lässt sich bereits eine Energiemenge errechnen. Diese Methode setzt allerdings voraus, dass die anfallenden Wassermengen gefasst und verarbeitet werden können. Dies ist mit zwei separaten Fassungen an Stollenbach und Büelenbach und einem Ausgleichsbecken im Bereich Käppeli gegeben.

In den Beilagen 15 bis 18 ist die Energieberechnung für ein KW Käppeli für unterschiedliche Ausbauwassermengen dargestellt. Es kann im Mitteljahr 2006/2007 von folgenden Energiemengen im Kleinkraftwerk Käppeli ausgegangen werden:

- | | |
|---|-------------------|
| ▪ Ausbauwassermenge $Q_A = 120$ l/s (110 Tage Volllast) | E = 1.09 Mio. kWh |
| ▪ Ausbauwassermenge $Q_A = 140$ l/s (88 Tage Volllast) | E = 1.14 Mio. kWh |
| ▪ Ausbauwassermenge $Q_A = 150$ l/s (76 Tage Volllast) | E = 1.21 Mio. kWh |
| ▪ Ausbauwassermenge $Q_A = 190$ l/s (36 Tage Volllast) | E = 1.30 Mio. kWh |



11 Zusammenfassung

Für eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Kleinkraftwerkes Käppeli in Lungern zur Vermeidung eines regelmässig auftretenden Sees auf dem Käppeli durch Überschreitung der Abflusskapazität des einsickernden Wassers in eine unterirdische Karströhre, wurden im November 2005 in den drei Hauptzuflussbächen Büelenbach, Stollenbach und Siwerblenbach automatische Wassermessstationen mit kontinuierlicher Datenaufzeichnungen installiert. Durch die erhaltenen Daten konnten für die vergangenen Jahre 2006, 2007 und 2008 charakteristische Dauerkurven der Abflussmengen bestimmt werden.

Bereits im Jahre 1998 wurde vom Ingenieurbüro Gasser&Partner AG, Lungern eine Vorstudie für ein Kleinkraftwerk Käppeli mit Erstellung eines Ausgleichsbeckens im Bereich Käppeli, einer neuen Druckleitung und einer Erweiterung der weiter unterhalb liegenden Zentrale Hackeren des bestehenden Kraftwerkes Schild erstellt. Mittels diesem Kleinkraftwerk sollte die kinetische Energie des Stollenbaches und des Büelenbaches zur Stromerzeugung in einer zusätzlichen Maschinengruppe genutzt werden.

Durch die seit November 2005 durchgeführten Abflussmessungen und den daraus ermittelten Dauerkurven konnte gezeigt werden, dass in einem Kleinkraftwerk mit einem Ausgleichsbecken und einer Ausbauwassermenge von 190 l/s im Mittel der Jahre 2006/2007 eine Energieproduktion von 1.3 Mio. kWh erzeugt werden kann.

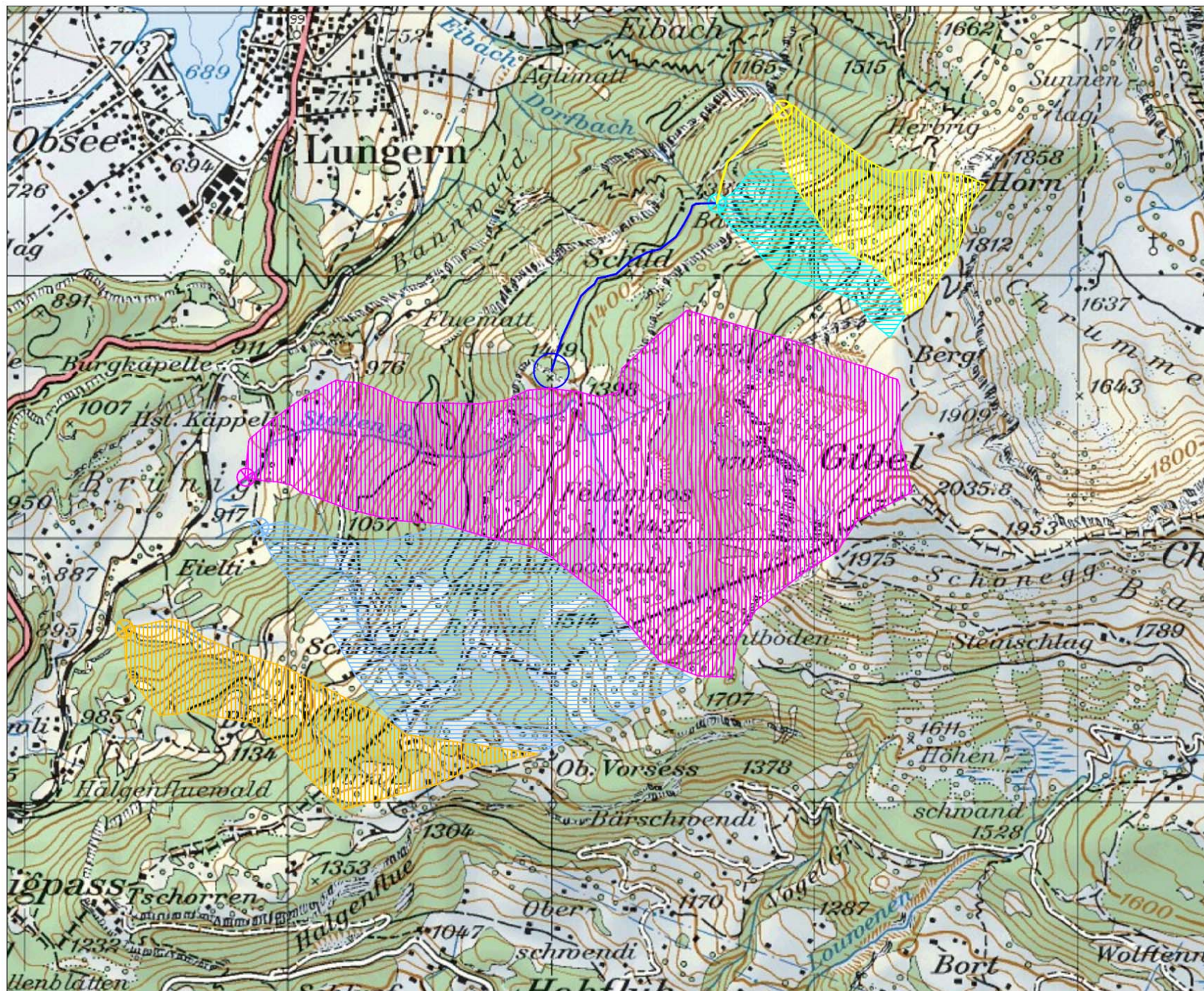
Erste Berechnungen der Anlagekosten und Wirtschaftlichkeit zeigen, dass ein Kleinkraftwerk Käppeli wirtschaftlich sein kann, wenn die Vergütung der Energiemengen entsprechend der Richtlinien der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) von ca. 20.2 Rp/kWh zugestanden wird.

Mit den Resultaten der Wassermessungen sind nun die Randbedingungen für die weiteren Projektierungs- und Realisierungsarbeiten des Kleinkraftwerkes Käppeli in Lungern gegeben, welches einen wertvollen Beitrag an die Erzeugung von erneuerbarer Energie im Sinne des Programms „Energie Schweiz“ leistet. Diese Erzeugung von zusätzlicher erneuerbarer Energie lässt sich dabei ohne Eingriffe in einen freifliessenden oberflächlichen Gewässerabschnitt erstellen.

IM Ingenieurbüro Maggia AG

Beilagen





M 1:20'000

Einzugsgebiet Eibach
E=0.278 km²

Einzugsgebiet Dorfbach
E=0.167 km²

Messstelle Stollenbach
Einzugsgebiet Dorfbach
E=1.733 km²

Messstelle Büelenbach
E=0.850 km²

Messstelle Siwerblenbach
E=0.388 km²



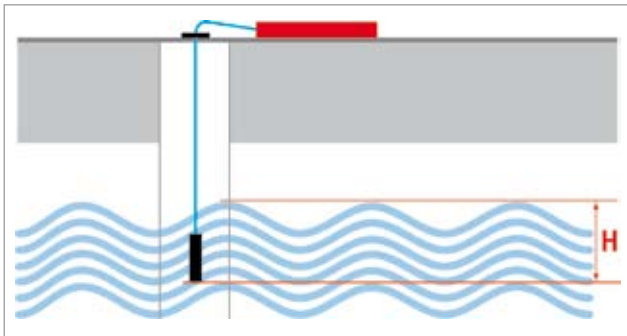
HOTBOX SE Kontinuierliche Aufzeichnung der Wassertiefe

Datenlogger HOTBOX SE und Tauchsonde WIKA

Qualitätsdatenlogger HOTBOX SE Art.-Nr. 2501

Kontinuierliche Messwertaufzeichnung der Wassertiefe

- 4-Kanal Logger mit 64'000 Messwerten
- Messintervall programmierbar zwischen 1 Sekunde und 2 Stunden
Beispiel: Intervall 10 Minuten, Aufzeichnungsperiode 440 Tage
- Autark: Batteriebetrieb, für Logger und Sonden völlig netz-unabhängig für über ein Jahr, wenn im Mode «Power Save»
- Bis 4 Kanäle: Zur Registrierung eines zweiten Niveaus oder zur Temperaturmessung bei 2-Kanal Sonden
- Datenübertragung HOTBOX SE zu PC:
via RS232 Kabel Art.-Nr. 2318



Schutzgehäuse IP66

Art.-Nr. 2350-A

Für die Montage im Freien

- Netzunabhängig
- Witterungsbeständig
- Einfache Auswertung



Robustes Anschlusskabel

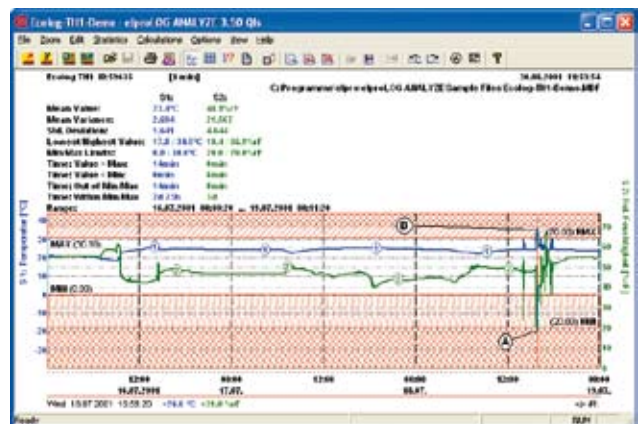
- Mit Luftdruck-Ausgleichs-schlauch im Zentrum
- Länge nach Bedarf bis 200 Meter

Tauchsonde

Art.-Nr. 3263-C 10 Meter
(optional alle Längen)

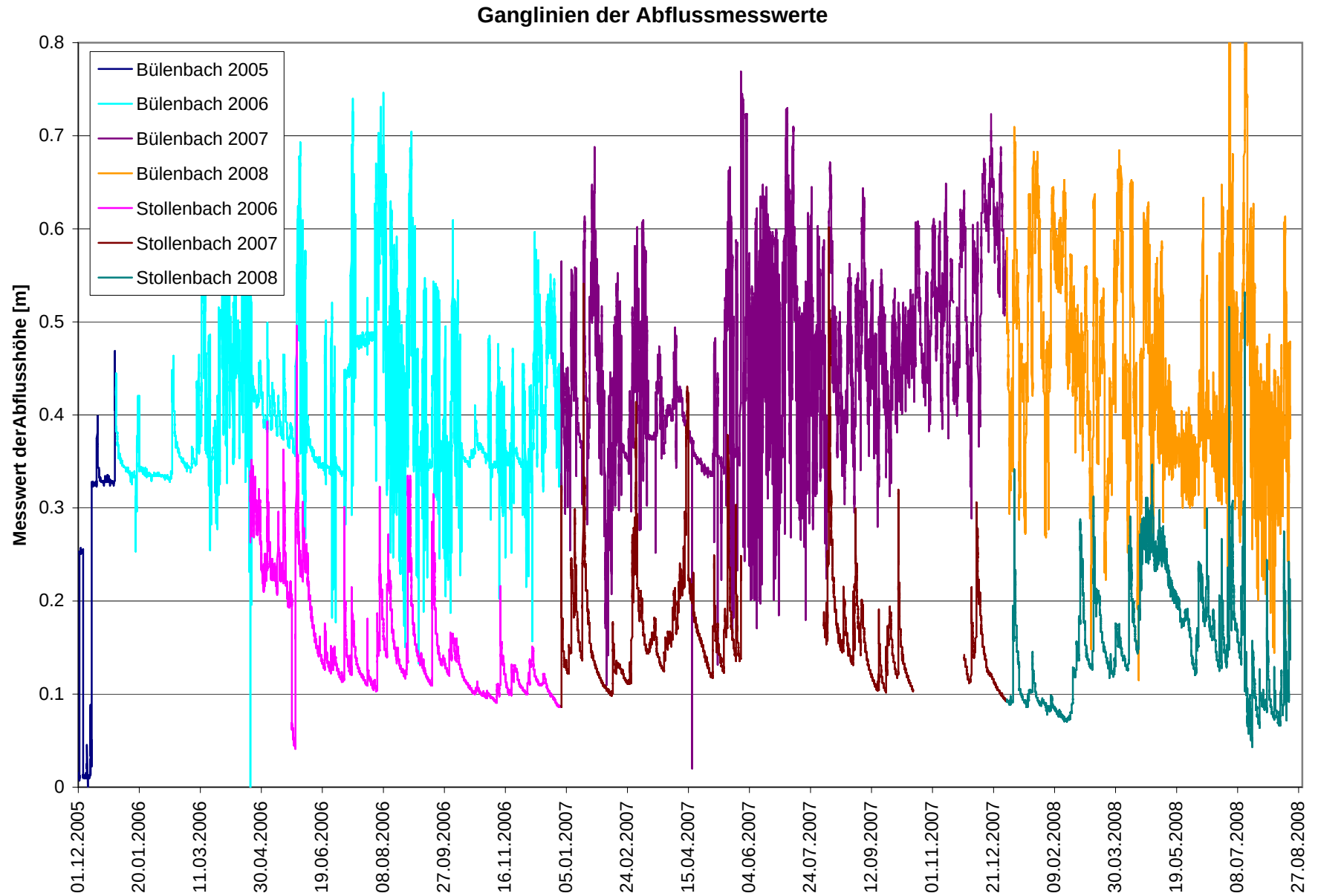
- Wassertiefenmessung als genaue Druckmessung
- Temperatur- und Luftdruck-kompensation
- Signal 4-20 mA, 2-Leiter
- Speisung durch HOTBOX SE

GRAFISCHE AUSWERTUNG

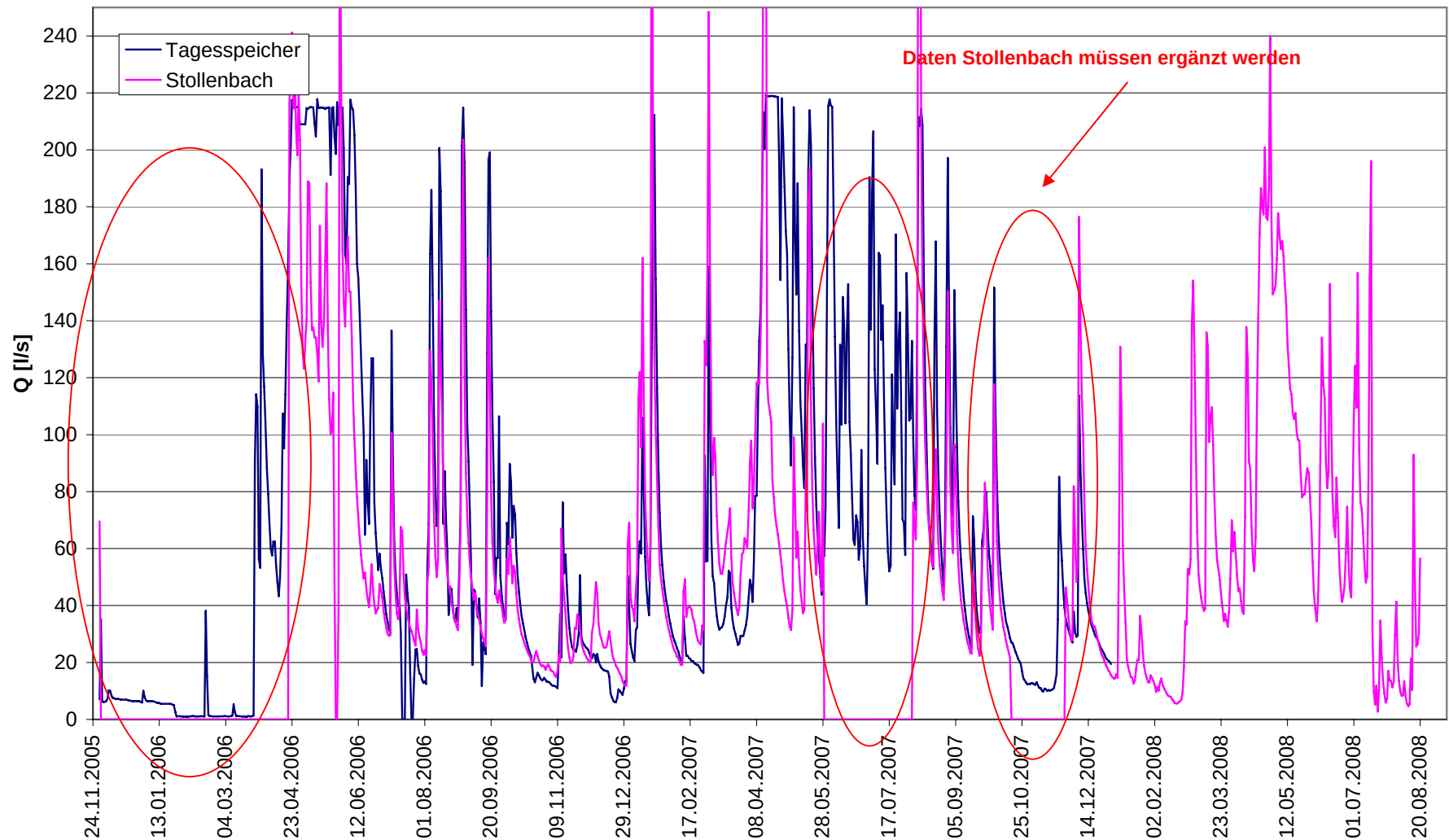


Mit elproLOG ANALYZE Software Art.-Nr. 2338-CDV

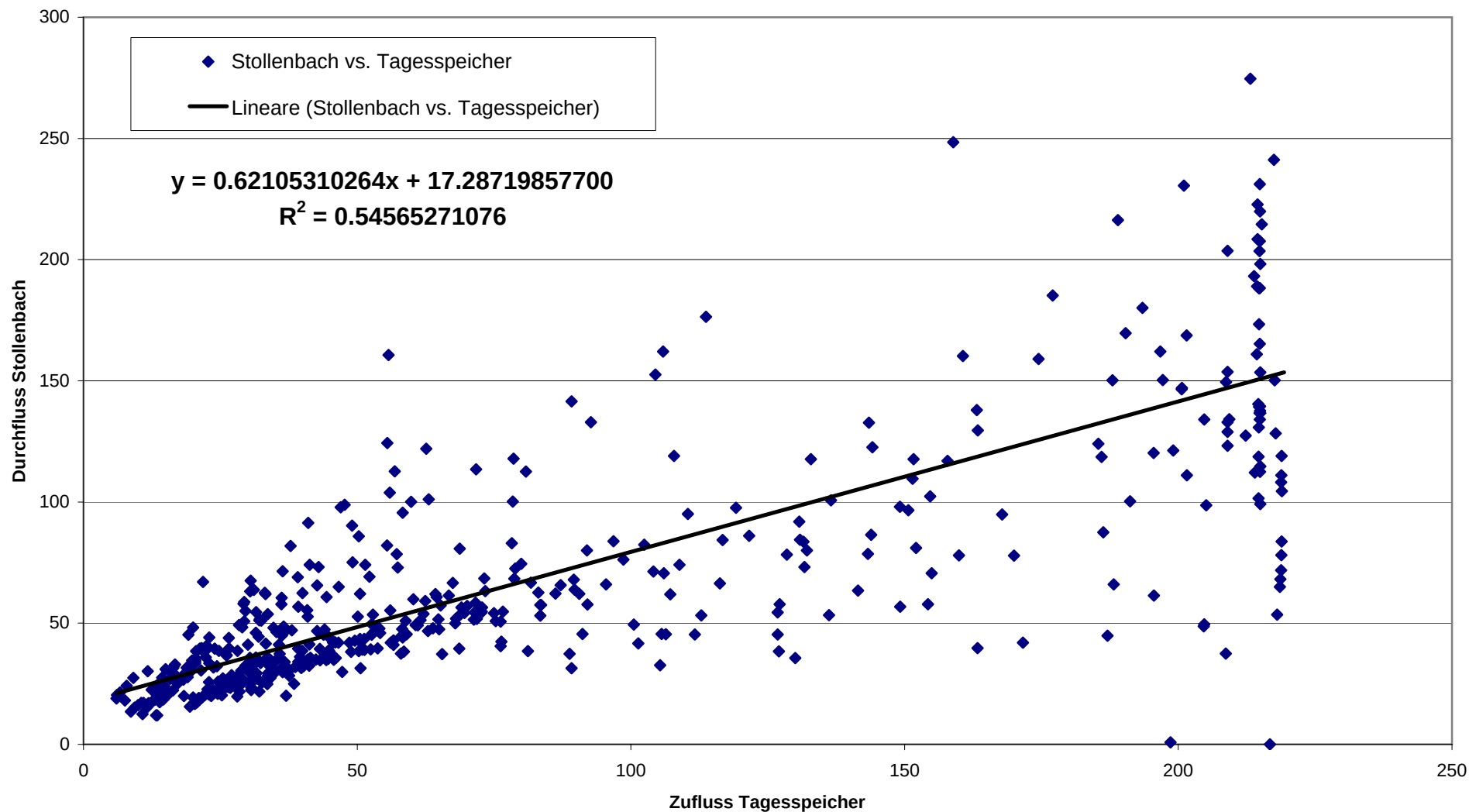
Die Darstellung auf dem PC erfolgt z. B. als Grafik in mmWS oder ist über die Zeitachse frei wählbar. Alle Funktionen der elproLOG PC-Software stehen für die Auswertung zur Verfügung.



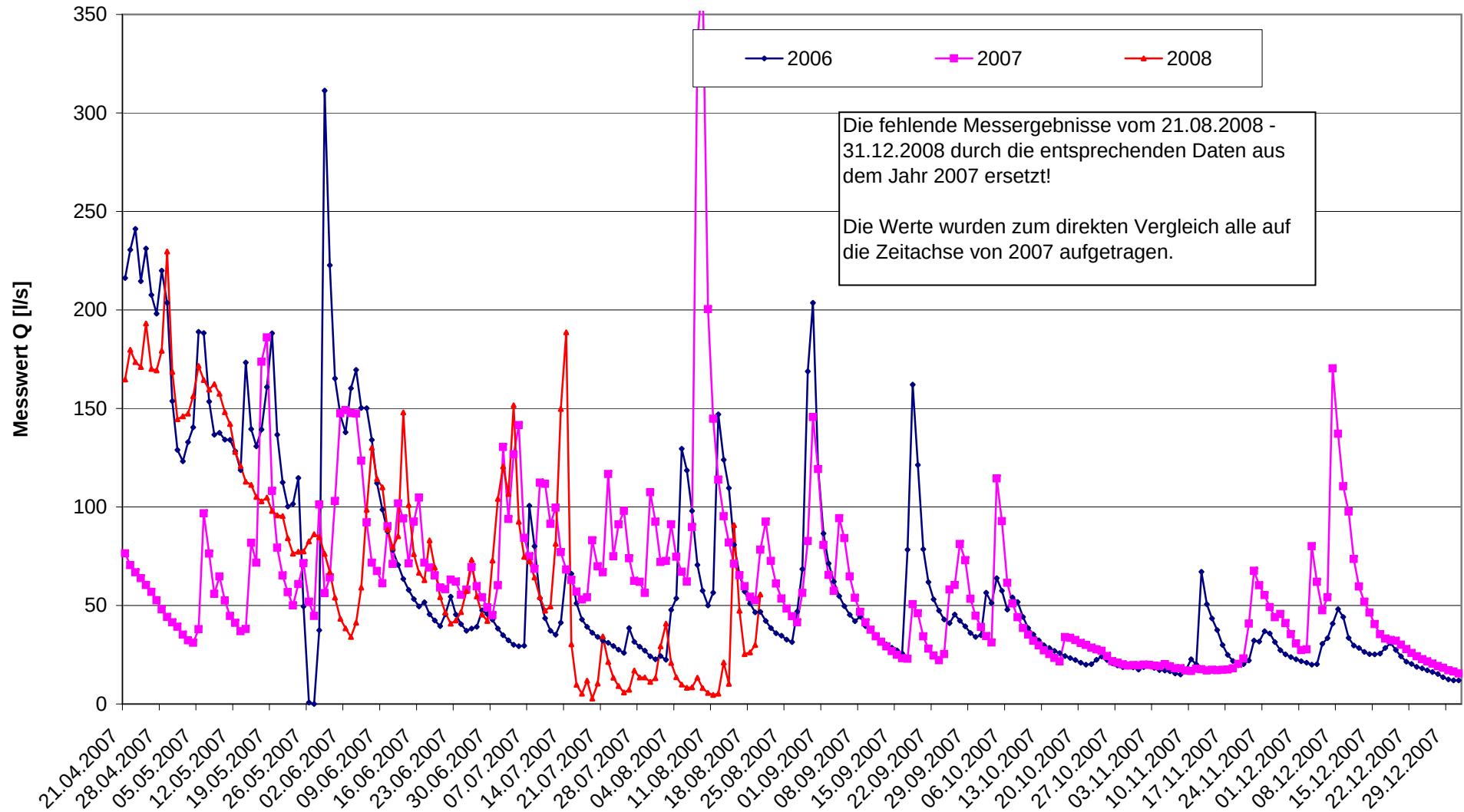
Tagesmittelwerte Stollenbach und Tagesspeicher
29.11.2005- 20.08.2008



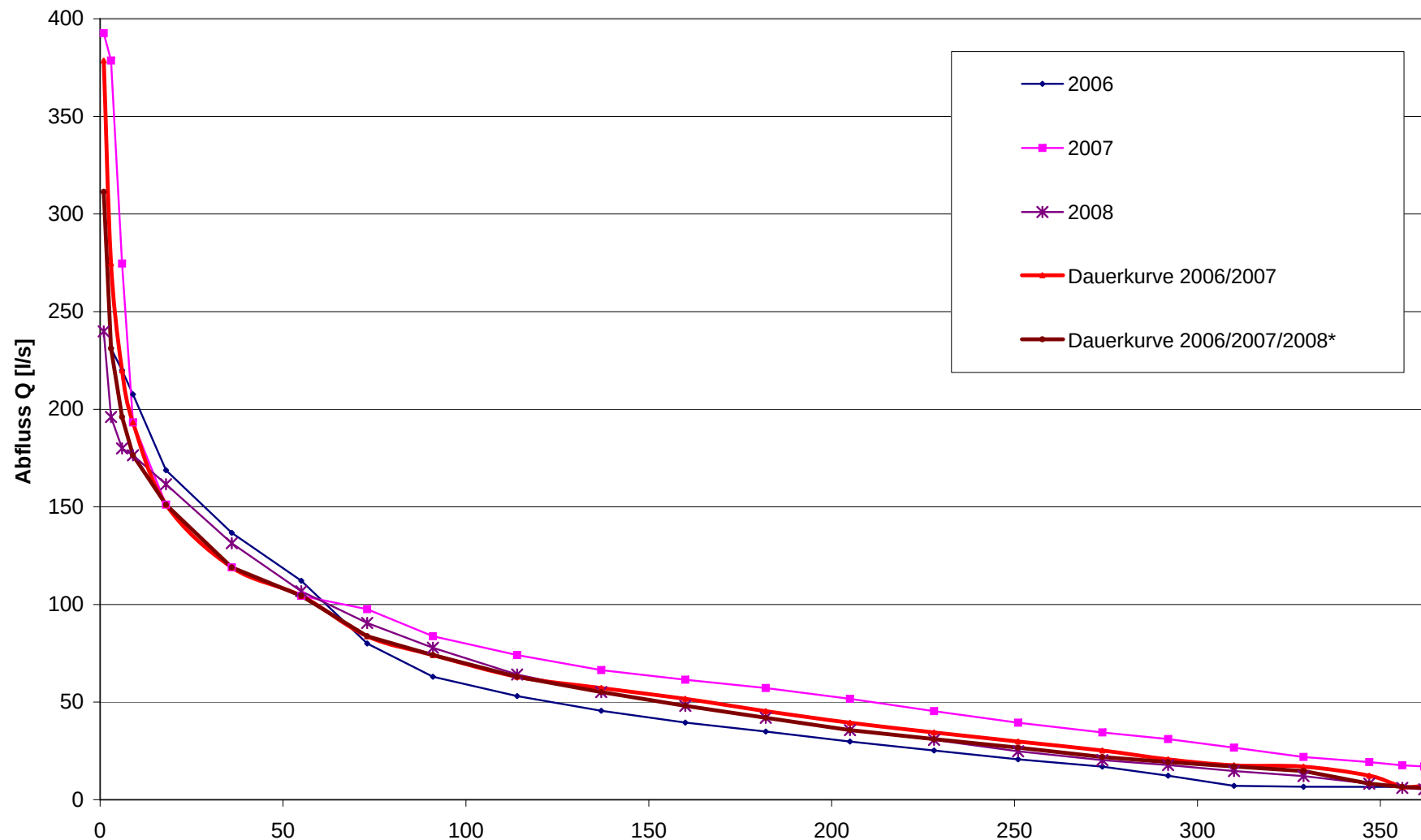
Korrelation der Abflüsse Messstation Stollenbach und Zuflüsse Tagesspeicher des Kraftwerk Schild



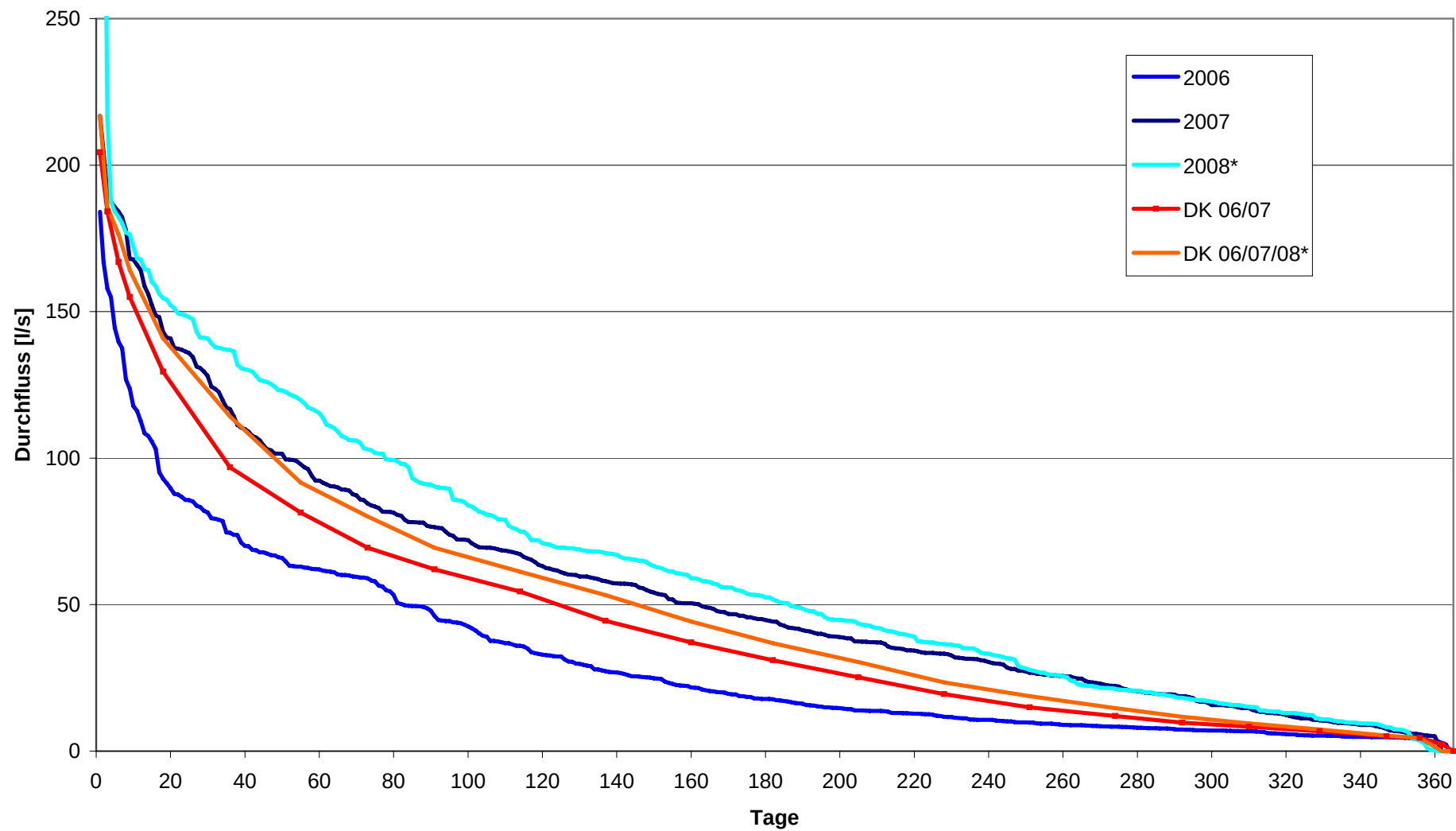
Vergleich der Ganglinien Stollenbach 2007 - 2008



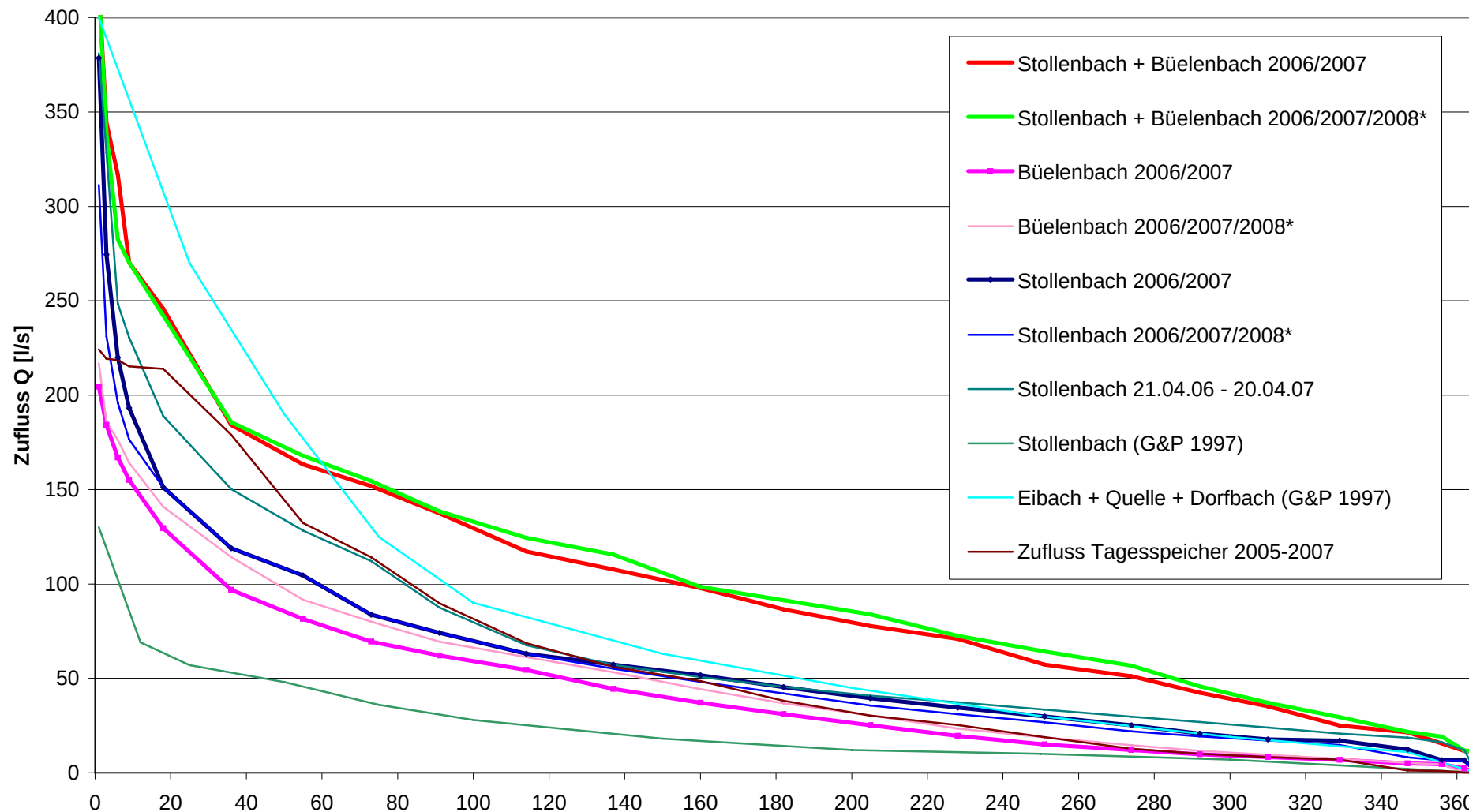
**Dauerkurven Stollenbach
2006 - 2007 - 2008***



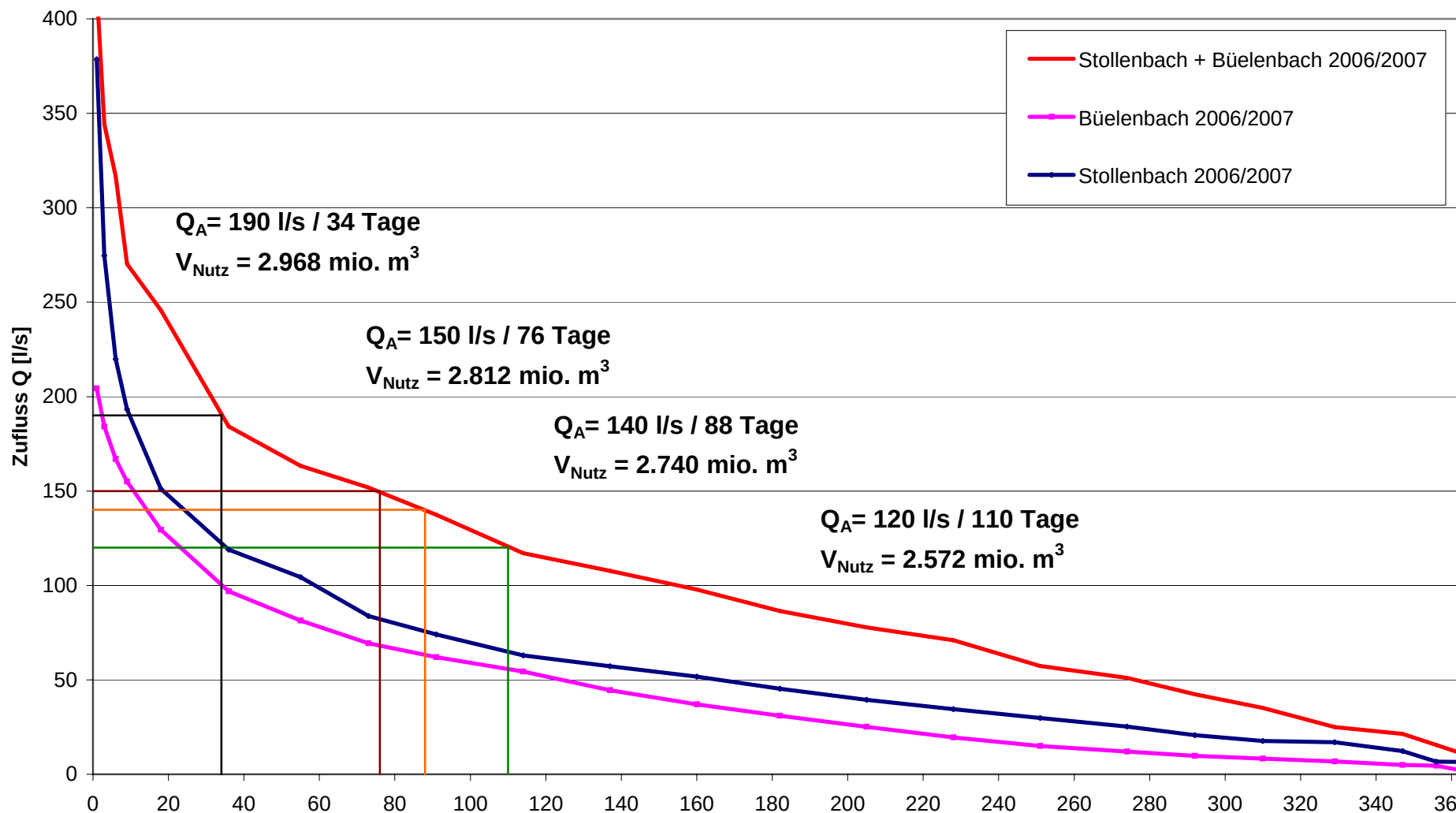
Dauerkurve Büelenbach (Tagesmittelwerte)
2006,2007,2008*



Vergleich der Dauerkurven der Abflussmengen von Stollenbach und Büelenbach Abflussmessungen der Periode 2006 - 2008*



Dauerkurven der Abflussmengen - Stollenbach und Büelenbach Mittel der Summe der Abflüsse der Jahre 2006/2007



Ermittelte Dauerkurven Stollenbach und Büelenbach aus
Durchflussmessungen der Jahre 2006 bis 2008*

Stollenbach 2006/2007
E [km²] 1.733

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	378.59
3	274.58
6	219.91
9	193.22
18	151.14
36	118.98
55	104.44
73	83.77
91	74.09
114	62.98
137	57.24
160	51.70
182	45.36
205	39.46
228	34.47
251	29.81
274	25.20
292	20.67
310	17.61
329	16.96
347	12.28
356	6.67
362	6.58
365	0.78

Büelenbach 2006/2007
E [km²] 0.85

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	204.38
3	184.20
6	166.91
9	155.01
18	129.54
36	96.89
55	81.41
73	69.38
91	62.04
114	54.43
137	44.44
160	37.08
182	31.05
205	25.18
228	19.48
251	14.95
274	12.00
292	9.76
310	8.30
329	6.79
347	5.01
356	4.54
362	2.23
365	0.00

**Stollenbach + Büelenbach
2006/2007**

Dauerkurve 2006/2007	
Tage	Q [l/s]
1	415.72
3	344.32
6	316.80
9	270.25
18	245.80
36	184.15
55	163.36
73	151.87
91	137.33
114	117.12
137	107.68
160	97.77
182	86.51
205	77.76
228	70.96
251	57.28
274	51.05
292	42.36
310	35.21
329	24.96
347	21.43
356	15.53
362	11.46
365	11.11

Die Messdaten des Stollenbaches der Jahre 2006 und 2007 wurden zum Teil anhand von Messdaten aus dem Zufluss des Tagesspeichers korreliert und vervollständigt.

Stollenbach 2006/2007/2008*

Dauerkurve 2006/2007/2008	
Tage	Q [l/s]
1	311.30
3	231.14
6	196.02
9	176.44
18	151.14
36	118.98
55	104.44
73	83.77
91	74.09
114	62.98
137	55.16
160	48.12
182	41.95
205	35.63
228	31.07
251	26.71
274	21.92
292	19.31
310	17.06
329	14.68
347	8.22
356	6.60
362	6.06
365	0.78

Büelenbach 2006/2007/2008*

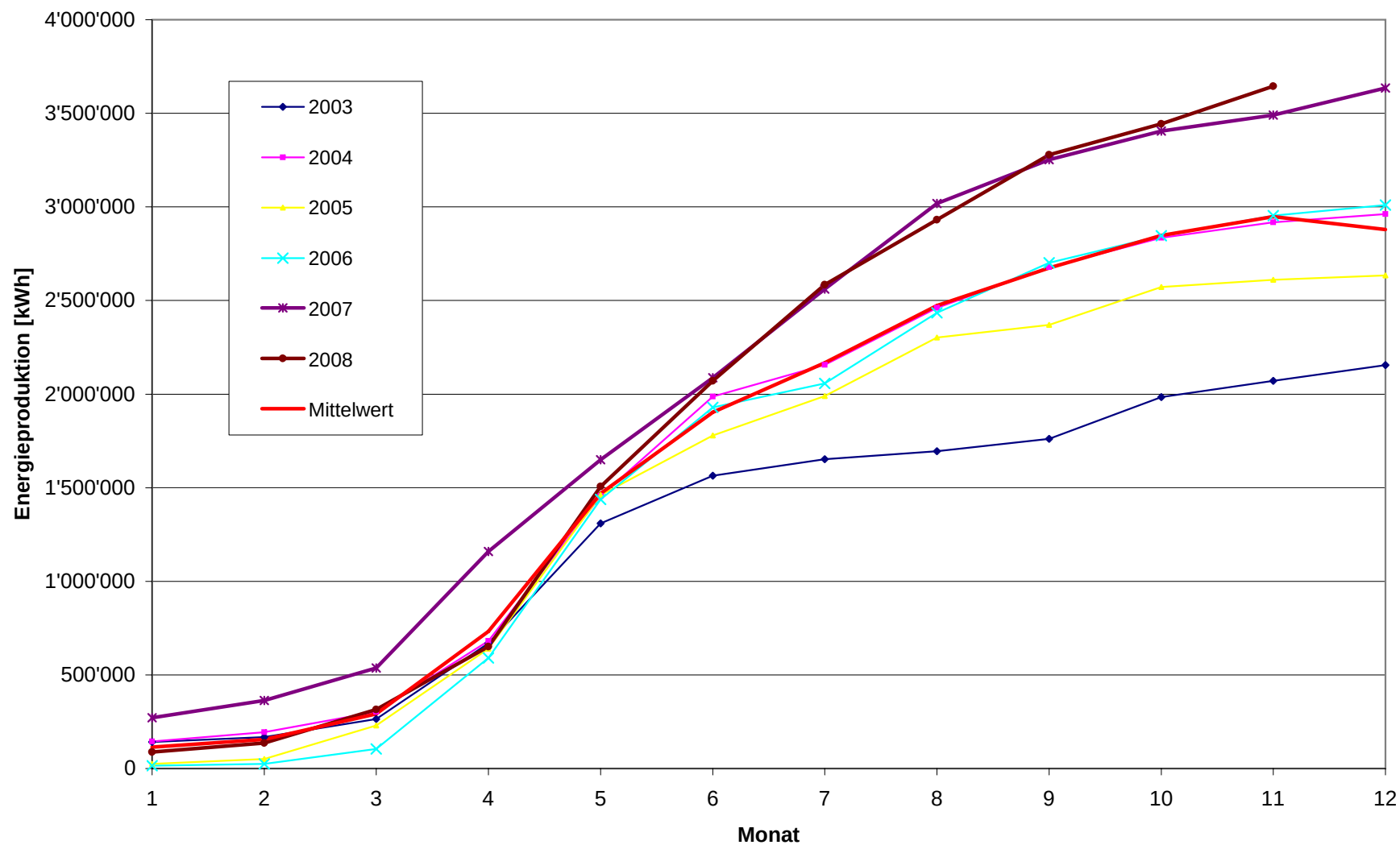
Dauerkurve 2006/2007/2008*	
Tage	Q [l/s]
1	216.85
3	185.70
6	176.33
9	164.18
18	140.90
36	114.24
55	91.67
73	80.06
91	69.38
114	61.21
137	53.22
160	44.23
182	36.83
205	30.42
228	23.45
251	18.78
274	14.64
292	11.69
310	9.46
329	7.42
347	5.27
356	4.42
362	0.00
365	0.00

Stollenbach+Büelenbach

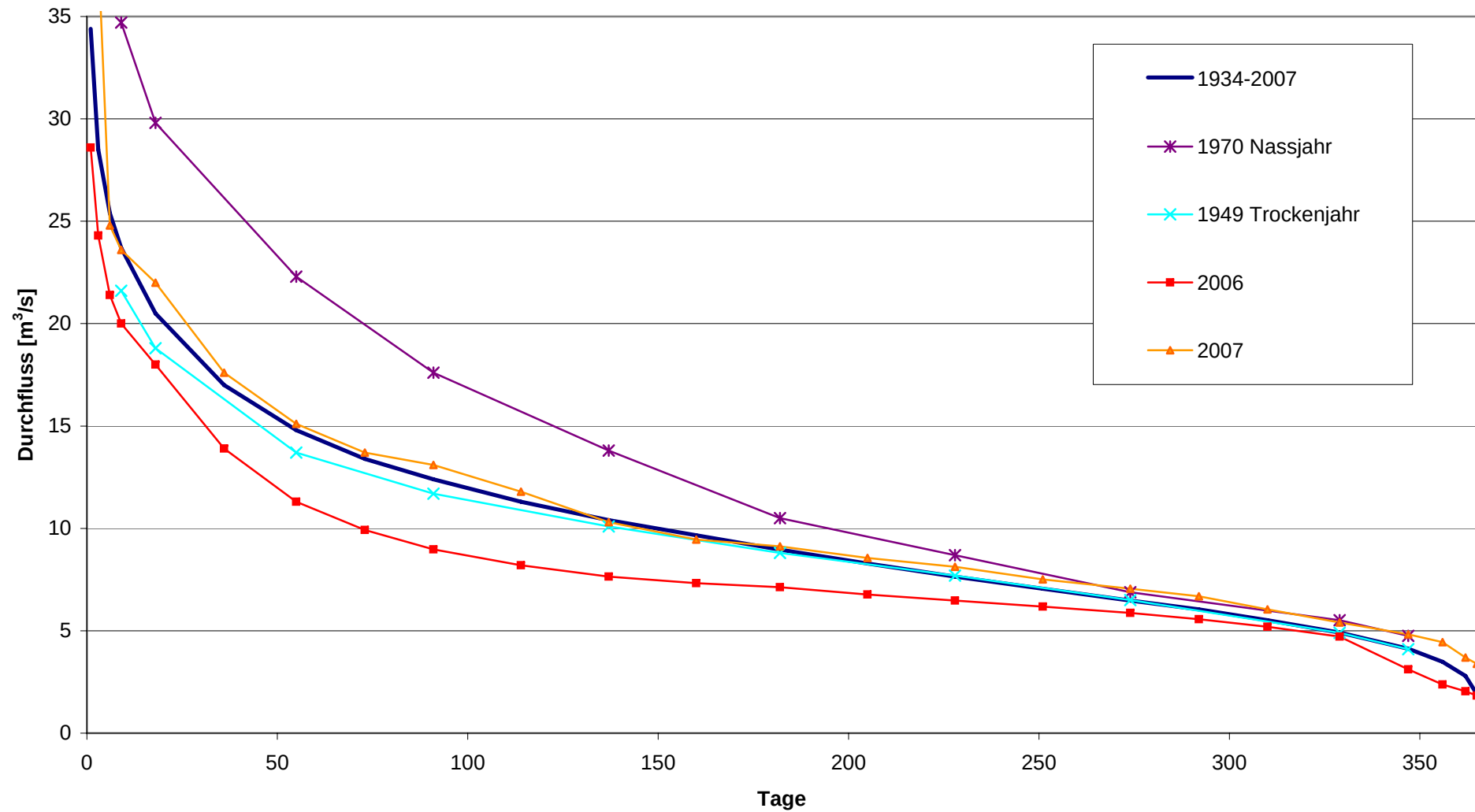
Dauerkurve 2006/2007/2008*	
Tage	Q [l/s]
1	415.72
3	338.80
6	282.41
9	270.25
18	242.17
36	185.74
55	167.93
73	154.49
91	138.44
114	124.39
137	115.61
160	98.44
182	91.39
205	83.86
228	72.57
251	64.15
274	56.67
292	45.72
310	37.06
329	29.41
347	21.64
356	19.07
362	11.76
365	11.11

Die Dauerkurven für das Jahr 2008 wurden ab dem 22.08.2008 durch die entsprechenden Tagesmittelwerte des Jahres 2007 ergänzt.

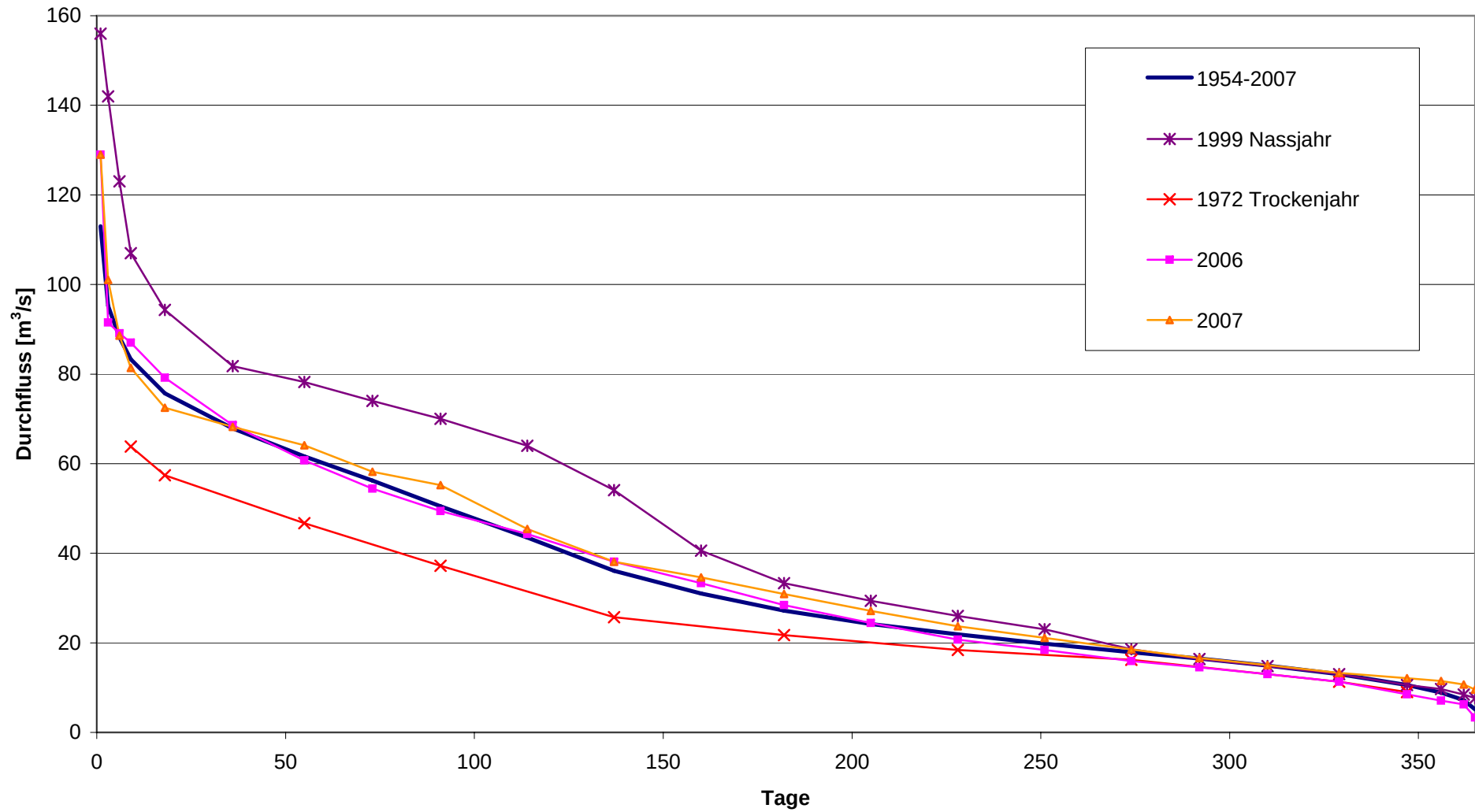
Kumulierter Energieertrag KW Schild



Dauerkurve der Abflussmengen - Sarner Aa, Sarnen
Periode 1934 - 2007



Dauerkurve der Abflussmengen - Aare, Brienzwiler
Periode 1954 - 2007



Energieproduktion

Stollenbach und Büelenbach zusammengefasst 2006/2007

Restwassermenge=	0.000	[m ³ /s]
Ausbauwassermenge=	0.120	[m ³ /s]
k _{Strikler} =	85	[m ^{1/3} /s]
L=	1075	[m]
H _{brutto} =	195	[m]
D=	0.300	[m]

Q _{Abfluss} [m ³ /s]	Q _N [m ³ /s]	Q _{Restw} [m ³ /s]	Tage	V _{Abfluss} [m ³]	V _N [m ³]	V _{Restw} [m ³]	Turbine [%]	Generator/Trafo [%]	μ _{tot} [%]*	H _N [m]	Leistung [kW]	Energie [kWh]
0.0111	0.0111	0.0	365							194.9	0	
0.0214	0.0214	0.0	347	25'301	25'301	0	0.90	0.94	0.85	194.5	35	7'480
0.0250	0.0250	0.0	329	36'072	36'072	0	0.90	0.94	0.85	194.3	40	16'182
0.0510	0.0510	0.0	274	180'581	180'581	0	0.90	0.94	0.85	192.3	82	80'389
0.0710	0.0710	0.0	228	242'448	242'448	0	0.90	0.94	0.85	189.7	112	106'713
0.0865	0.0865	0.0	182	312'914	312'914	0	0.90	0.94	0.85	187.1	134	135'931
0.0978	0.0978	0.0	160	175'136	175'136	0	0.90	0.94	0.85	184.9	150	75'140
0.1077	0.1077	0.0	137	204'138	204'138	0	0.90	0.94	0.85	182.8	163	86'569
0.1200	0.1200	0.0	110	265'569	265'569	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	111'038
0.1373	0.1200	0.0	91	211'220	196'992	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	81'730
0.1519	0.1200	0.0	73	224'883	186'624	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	77'428
0.1634	0.1200	0.0	55	245'117	186'624	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	77'428
0.2458	0.1200	0.0	18	653'998	383'616	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	159'158
0.2702	0.1200	0.0	9	200'641	93'312	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	38'714
0.4157	0.1200	0.0	1	237'072	82'944	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	34'413

Jahresenergieproduktion	1'088'313 [kWh]
genutzte Wassermenge	2.572 mio m ³
durchschnittliche Jahreswassermenge	3.215 mio m ³
ungenutzte Wassermenge	0.643 mio m ³
Restwassermenge	0.000 mio m ³
Ausbauleistung	179 [kW]
durchschnittlich installierte Leistung	125.1 [kW]
Bruttofallhöhe gemäss Konzession	195 [m]
durchschnittliche Bruttoleistung	156 [kW]

Q_m= 81.6 l/s

0.85 184.59 1'088'313

*wegen der Zwischenspeicherung im Ausgleichsbecken kann immer mit optimalem Wirkungsgrad produziert werden

Energieproduktion

Stollenbach und Büelenbach zusammengefasst 2006/2007

Restwassermenge=	0.000	[m ³ /s]
Ausbauwassermenge=	0.140	[m ³ /s]
k _{Strikler} =	85	[m ^{1/3} /s]
L=	1075	[m]
H _{brutto} =	195	[m]
D=	0.300	[m]

Q _{Abfluss} [m ³ /s]	Q _N [m ³ /s]	Q _{Restw} [m ³ /s]	Tage	V _{Abfluss} [m ³]	V _N [m ³]	V _{Restw} [m ³]	Turbine [%]	Generator/Trafo [%]	μ _{tot} [%]*	H _N [m]	Leistung [kW]	Energie [kWh]
0.0111	0.0111	0.0	365							194.9	0	
0.0214	0.0214	0.0	347	25'301	25'301	0	0.90	0.94	0.85	194.5	35	7'480
0.0250	0.0250	0.0	329	36'072	36'072	0	0.90	0.94	0.85	194.3	40	16'182
0.0510	0.0510	0.0	274	180'581	180'581	0	0.90	0.94	0.85	192.3	82	80'389
0.0710	0.0710	0.0	228	242'448	242'448	0	0.90	0.94	0.85	189.7	112	106'713
0.0865	0.0865	0.0	182	312'914	312'914	0	0.90	0.94	0.85	187.1	134	135'931
0.0978	0.0978	0.0	160	175'136	175'136	0	0.90	0.94	0.85	184.9	150	75'140
0.1077	0.1077	0.0	137	204'138	204'138	0	0.90	0.94	0.85	182.8	163	86'569
0.1200	0.1200	0.0	110	265'569	265'569	0	0.90	0.94	0.85	179.8	179	111'038
0.1373	0.1373	0.0	91	211'220	211'220	0	0.90	0.94	0.85	175.1	200	86'409
0.1400	0.1400	0.0	88	35'943	35'943	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	14'489
0.1519	0.1400	0.0	73	189'130	181'440	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	72'982
0.1634	0.1400	0.0	55	245'117	217'728	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	87'578
0.2458	0.1400	0.0	18	653'998	447'552	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	180'022
0.2702	0.1400	0.0	9	200'641	108'864	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	43'789
0.4157	0.1400	0.0	1	237'072	96'768	0	0.90	0.94	0.85	174.3	203	38'924

Jahresenergieproduktion

1'143'635 [kWh]

0.85

181.77

1'143'635

genutzte Wassermenge

2.742 mio m³

Q_m= 86.9 l/s

durchschnittliche Jahreswassermenge

3.215 mio m³

ungenutzte Wassermenge

0.474 mio m³

Restwassermenge

0.000 mio m³

Ausbauleistung

203 [kW]

durchschnittlich installierte Leistung

131.3 [kW]

Bruttofallhöhe gemäss Konzession

195 [m]

durchschnittliche Bruttoleistung

166 [kW]

*wegen der Zwischenspeicherung im Ausgleichsbecken kann immer mit optimalem Wirkungsgrad produziert werden

Energieproduktion

Stollenbach und Büelenbach zusammengefasst 2006/2007

Restwassermenge=	0.000	[m ³ /s]
Ausbauwassermenge=	0.150	[m ³ /s]
k _{Strikler} =	85	[m ^{1/3} /s]
L=	1075	[m]
H _{brutto} =	195	[m]
D=	0.350	[m]

Q _{Abfluss} [m ³ /s]	Q _N [m ³ /s]	Q _{Restw} [m ³ /s]	Tage	V _{Abfluss} [m ³]	V _N [m ³]	V _{Restw} [m ³]	Turbine [%]	Generator/Trafo [%]	μ _{tot} [%]*	H _N [m]	Leistung [kW]	Energie [kWh]
0.0111	0.0111	0.0	365							194.9	0	
0.0214	0.0214	0.0	347	25'301	25'301	0	0.90	0.94	0.85	194.8	35	7'490
0.0250	0.0250	0.0	329	36'072	36'072	0	0.90	0.94	0.85	194.7	40	16'209
0.0510	0.0510	0.0	274	180'581	180'581	0	0.90	0.94	0.85	193.8	82	80'871
0.0710	0.0710	0.0	228	242'448	242'448	0	0.90	0.94	0.85	192.7	114	108'042
0.0865	0.0865	0.0	182	312'914	312'914	0	0.90	0.94	0.85	191.5	138	138'653
0.0978	0.0978	0.0	160	175'136	175'136	0	0.90	0.94	0.85	190.6	155	77'191
0.1077	0.1077	0.0	137	204'138	204'138	0	0.90	0.94	0.85	189.6	170	89'527
0.1200	0.1200	0.0	110	265'569	265'569	0	0.90	0.94	0.85	188.3	188	115'773
0.1373	0.1373	0.0	91	211'220	211'220	0	0.90	0.94	0.85	186.3	212	91'243
0.1500	0.1500	0.0	76	186'193	186'193	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	79'639
0.1519	0.1500	0.0	73	39'122	38'880	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	16'558
0.1634	0.1500	0.0	55	245'117	233'280	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	99'346
0.2458	0.1500	0.0	18	653'998	479'520	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	204'211
0.2702	0.1500	0.0	9	200'641	116'640	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	49'673
0.4157	0.1500	0.0	1	237'072	103'680	0	0.90	0.94	0.85	184.6	230	44'154

Jahresenergieproduktion

1'218'580 [kWh]

0.85

188.65

1'218'580

genutzte Wassermenge

2.812 mio m³

Q_m= 89.2 l/s

durchschnittliche Jahreswassermenge

3.216 mio m³

ungenutzte Wassermenge

0.404 mio m³

Restwassermenge

0.000 mio m³

Ausbauleistung

230 [kW]

durchschnittlich installierte Leistung

139.7 [kW]

Bruttofallhöhe gemäss Konzession

195 [m]

durchschnittliche Bruttoleistung

171 [kW]

*wegen der Zwischenspeicherung im Ausgleichsbecken kann immer mit optimalem Wirkungsgrad produziert werden

Energieproduktion

Stollenbach und Büelenbach zusammengefasst 2006/2007

Restwassermenge=	0.000	[m ³ /s]
Ausbauwassermenge=	0.190	[m ³ /s]
k _{Strikler} =	85	[m ^{1/3} /s]
L=	1075	[m]
H _{brutto} =	195	[m]
D=	0.400	[m]

Q _{Abfluss} [m ³ /s]	Q _N [m ³ /s]	Q _{Restw} [m ³ /s]	Tage	V _{Abfluss} [m ³]	V _N [m ³]	V _{Restw} [m ³]	Turbine [%]	Generator/Trafo [%]	μ _{tot} [%]*	H _N [m]	Leistung [kW]	Energie [kWh]
0.0111	0.0111	0.0	365							195.0	0	
0.0214	0.0214	0.0	347	25'301	25'301	0	0.90	0.94	0.85	194.9	35	7'494
0.0250	0.0250	0.0	329	36'072	36'072	0	0.90	0.94	0.85	194.9	40	16'219
0.0510	0.0510	0.0	274	180'581	180'581	0	0.90	0.94	0.85	194.4	82	81'063
0.0710	0.0710	0.0	228	242'448	242'448	0	0.90	0.94	0.85	193.9	114	108'572
0.0865	0.0865	0.0	182	312'914	312'914	0	0.90	0.94	0.85	193.3	139	139'741
0.0978	0.0978	0.0	160	175'136	175'136	0	0.90	0.94	0.85	192.8	157	78'010
0.1077	0.1077	0.0	137	204'138	204'138	0	0.90	0.94	0.85	192.4	172	90'709
0.1200	0.1200	0.0	110	265'569	265'569	0	0.90	0.94	0.85	191.7	191	117'665
0.1373	0.1373	0.0	91	211'220	211'220	0	0.90	0.94	0.85	190.7	218	93'174
0.1500	0.1500	0.0	76	186'193	186'193	0	0.90	0.94	0.85	189.9	237	81'745
0.1519	0.1519	0.0	73	39'122	39'122	0	0.90	0.94	0.85	189.8	239	17'134
0.1634	0.1634	0.0	55	245'117	245'117	0	0.90	0.94	0.85	188.9	256	107'077
0.2458	0.1900	0.0	18	653'998	564'803	0	0.90	0.94	0.85	186.8	295	244'713
0.2702	0.1900	0.0	9	200'641	147'744	0	0.90	0.94	0.85	186.8	295	63'676
0.4157	0.1900	0.0	1	237'072	131'328	0	0.90	0.94	0.85	186.8	295	56'601

Jahresenergieproduktion

1'303'594 [kWh]

0.85

191.19

1'303'594

genutzte Wassermenge

2.968 mio m³

Q_m= 94.1 l/s

durchschnittliche Jahreswassermenge

3.216 mio m³

ungenutzte Wassermenge

0.248 mio m³

Restwassermenge

0.000 mio m³

Ausbauleistung

295 [kW]

durchschnittlich installierte Leistung

149.4 [kW]

Bruttofallhöhe gemäss Konzession

195 [m]

durchschnittliche Bruttoleistung

180 [kW]

*wegen der Zwischenspeicherung im Ausgleichsbecken kann immer mit optimalem Wirkungsgrad produziert werden