

Technische Universität Graz  
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften  
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft  
Hermann Grengg Laboratorium

**Energiewirtschaftliche Bedeutung der  
Verlandung unterhalb von Flusskraftwerken  
am Beispiel Salzach-KW St. Veit**

**Diplomarbeit  
von  
René SCHABHÜTTL**

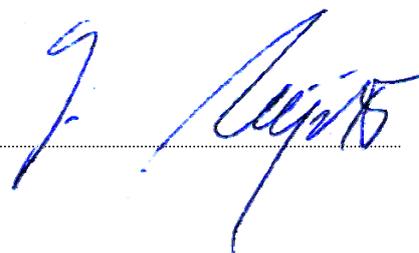
Vorgelegt zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Diplomingenieurs  
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im März 2006



Betreuer der Diplomarbeit:

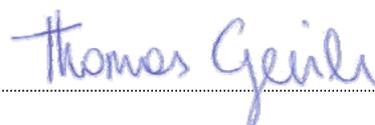
O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günther HEIGERTH



Handwritten signature of Günther Heigert in blue ink, positioned above a horizontal dotted line.

Mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Thomas GEISLER



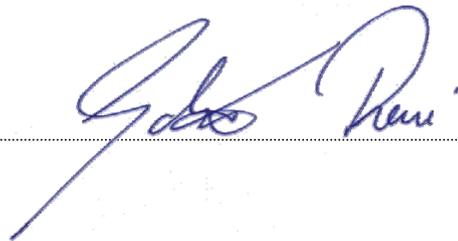
Handwritten signature of Thomas Geisler in blue ink, positioned above a horizontal dotted line.

### **Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)**

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, im März 2006



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Reini', is written over a horizontal dotted line.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir beim Erstellen dieser Arbeit durch ihre Unterstützung zur Seite gestanden sind.

Allen voran gilt mein Dank Baurat h.c. Dipl.-Ing. Dr.techn. Willi Gmeinhardt, Dipl.-Ing. Thomas Geisler als unmittelbaren Betreuer sowie O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günther Heigerth, Leiter des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Begutachter dieser Arbeit.

Für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung von Datenmaterial sowie der zahlreichen Fragenbeantwortung im Zuge der Anlagenbesuche sei folgenden Herren der Verbund AHP AG gedankt:

- Ing. Gerhard Aigner, Werksgruppe Kaprun - Betriebsleiter St. Veit
- Dr. Paul Kirchlechner, Wasserwirtschaft – Hydrologie
- Mag. Eugen Kaar, Energiewirtschaft

Ein Pauschallob möchte ich allen AssistentInnen und wissenschaftlichen MitarbeiterInnen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft für ihre Kollegialität und Freundschaft aussprechen.

Weiters danke ich allen Mitarbeitern des Hermann-Grengg-Laboratoriums für ihr Entgegenkommen und die gute Zusammenarbeit.

Abschließend sei noch meinem persönlichen Umfeld, im Besonderen meinen Eltern, für die gute Basis und den menschlichen Rückhalt recht herzlich gedankt.

## **Kurzfassung**

Bei Flusskraftwerken kann es nach Stauraumspülungen zu Geschiebeanlandungen im Unterwasserbereich kommen. Die damit verbundene Anhebung des Wasserspiegels führt zu einer Reduktion der energetisch nutzbaren Fallhöhe und somit zu Ertragseinbußen bei der Energieproduktion.

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde versucht, derartige Produktionsminderungen am Beispiel des Salzach-Kraftwerkes St. Veit zu quantifizieren. Die Auswertung der wasser- und energiewirtschaftlichen Anlagendaten ergab einen kontinuierlichen Anstieg des Unterwasserpegels für den Zeitraum von 1995 bis 2004. Das Ausmaß der Anlandungen kann jedoch durch eine Verlängerung des unterwasserseitigen Trennpfeilers zwischen Krafthaus und Wehranlage reduziert werden. Durch diese Maßnahme kommt es während des Spülereignisses zu einer verbesserten Geschiebetrift und damit zu tieferen Wasserspiegellagen im Turbinenauslaufbereich, was in der vorliegenden Arbeit anhand von Messungen an einem Modell des Kraftwerkes St. Veit gezeigt werden konnte.

Die Modellversuche im Maßstab 1:40 zeigten auch, dass die Verlängerung des unterwasserseitigen Trennpfeilers zu einem steileren Anstieg der Wasserspiegellinie im unmittelbaren Turbinenauslaufbereich führt. Die damit verbundenen Fallhöhenverluste wurden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Um die energiewirtschaftlichen Auswirkungen der optimierten Geschiebetrift zu klären, wurden abschließend Produktionssteigerungen aufgrund fiktiver Fallhöhengewinne ermittelt.

Schlagwörter: Wasserwirtschaft; Energiewirtschaft; Trennpfeiler, unterwasserseitiger; Geschiebetransport; Anlandungen; Modellversuche

## **Abstract**

### **Implications of downstream bed load deposition on the energy production of run-of-river hydropower stations**

Sediments removed by reservoir flushing above run-of-river hydropower stations tend to settle immediately downstream of the dam. Bed load remaining near the turbine outlets raises the water level and thus reduces the head available for power generation.

In this thesis, the subsequent implications on electricity generation were quantified using operational data from an Austrian hydropower station. In the considered period of time, a continuous increase of downstream water level was found which corresponded with the observed loss of maximum production capacity. One possible solution to reduce the amount of bed load deposited during reservoir flushing is to wash the sediments further downstream by lengthening the downstream pier between the spillway and turbine bays. The lengthened pier increases the flow velocity in the critical area and prevents the sediments from settling immediately downstream of the turbine outlets.

This effect was examined in detail by recording the water level in a hydraulic model of the run-of-river station built to scale 1:40. However, the measurements also revealed a steep increase of the water level caused by the lengthened pier resulting in unfavourable effects on energy production. Finally, annual energy profits based on fictitious head increases were calculated to estimate the implications of reduced bed load deposition.

**Keywords:** water resources management; energy management; downstream pier; bed load transport; bed load deposition; scale modelling

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
1.1	Übergeordnetes Forschungsprojekt .....	2
1.2	Aufgabenstellung der Diplomarbeit .....	4
1.3	Ausgangsmaterial.....	4
2.	Wasserkraftnutzung an der Mittleren Salzach.....	7
2.1	Salzach.....	7
2.1.1	Allgemeines .....	7
2.1.2	Flussbauliche Entwicklung .....	7
2.1.3	Raumordnungsgutachten KW-Kette Mittlere Salzach .....	9
2.2	Die Kraftwerke der AHP an der Salzach .....	10
2.2.1	Einfluss der Speicherbewirtschaftung im Oberlauf.....	11
2.2.2	Kraftwerkskette Mittlere Salzach .....	13
2.2.3	Beschreibung Kraftwerk St. Veit.....	15
2.3	Feststoffhaushalt und -management.....	18
2.3.1	Allgemeines .....	18
2.3.2	Kraftwerk Schwarzach, Stauraum Högmoos.....	20
2.3.3	Kraftwerkskette Mittlere Salzach .....	20
2.4	Gesetzliche Rahmenbedingungen .....	23
2.4.1	Wasser- und elektrizitätsrechtliche Bewilligung.....	23
2.4.2	Betriebsvorschrift.....	26
2.4.3	Wehrbetriebsordnung .....	28
3.	Basisdatenerhebung .....	30
3.1	Wasserwirtschaftliche Datenbearbeitung .....	30
3.1.1	Ganglinien .....	31
3.1.2	Dauerlinien .....	33
3.1.3	Pegelschlüsselberechnung.....	37
3.1.4	Schlüsselkurvenvergleich .....	39
3.2	Energiewirtschaftliche Datenbearbeitung.....	40
3.2.1	Grundlagen der Leistungs- und Energieberechnung.....	40
3.2.2	Tatsächliche Jahres-Brutto-Erzeugung 1989–2004 .....	43
3.2.3	Leistungskurve 2004 .....	44
3.2.4	Leistungskurven-Vergleich 1998-2004 .....	46

---

3.2.5	Mittlerer Wirkungsgradverlauf.....	46
4.	Modell KW St. Veit .....	48
4.1	Konzeption der Modellversuche .....	48
4.2	Versuchsaufbau und Messtechnik .....	50
4.2.1	Modellähnlichkeit, Modellgesetze .....	50
4.2.2	Modellaufbau .....	52
4.2.3	Modellierung des Geschiebes .....	55
4.2.4	Messeinrichtung zur Erfassung der Wasserspiegelhöhen .....	57
4.3	Versuchsdurchführung .....	60
4.3.1	Kalibrierung .....	60
4.3.2	Feste Sohle (ohne Geschiebebeigabe) .....	61
4.3.3	Bewegliche Sohle (mit Geschiebezugabe).....	62
4.3.4	Einstellhöhen im Unterwasser bei P 3200.....	65
4.4	Versuchsergebnisse.....	69
4.4.1	Feste Sohle (ohne Geschiebebeigabe).....	69
4.4.2	Bewegliche Sohle (mit Geschiebebeigabe).....	76
5.	Energiewirtschaftliche Berechnungen.....	82
5.1	Vereinfachte Berechnung der JAV 1995-2004.....	82
5.2	Rückwirkende Einbußen der Energieproduktion .....	83
5.3	Erkenntnisse der Varianten der Trennpfeilerverlängerung aus den Modellversuchen .....	85
5.3.1	Modellversuche ohne Geschiebebeigabe .....	85
5.3.2	Modellversuche mit Geschiebebeigabe.....	86
5.4	Künftiges energiewirtschaftliches Potential .....	89
6.	Zusammenfassung und Ausblick .....	95
	Literaturverzeichnis .....	i
	Abbildungsverzeichnis .....	iv
	Tabellenverzeichnis .....	viii
	Anlagen.....	x

## 1. Einleitung

Beim Kraftwerk St. Veit an der Mittleren Salzach kommt es nach Stauraumspülungen zu Anlandungen von Geschiebe im Unterwasserbereich. Da diese Feststoffe im Bereich der Turbinenausläufe verbleiben, führt die damit verbundene Anhebung des Wasserspiegels zu einer Reduktion der energetisch nutzbaren Fallhöhe und somit zu Ertragseinbußen bei der Energieproduktion. Darüber hinaus wird der natürliche Transport von Geschiebe in der Salzach unterbrochen, wodurch die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes entsprechend den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie erschwert wird.



Abbildung 1.1: KW St. Veit (Blick vom orographisch linken UW-seitigen Ufer)



Abbildung 1.2: Verlandung im UW, 16.03.2005 ( $Q = 32 \text{ m}^3/\text{s}$ )

### 1.1 Übergeordnetes Forschungsprojekt

Durch experimentelle Studien an dem bereits vorhandenen Flusskraftwerk-Modell St. Veit in Verbindung mit Naturbeobachtungen wird die Optimierung der Geschiebetrift durch eine Erhöhung der lokalen Fließgeschwindigkeiten angestrebt. Für bestimmte Betriebszustände stellt hierfür eine Verlängerung des unterwasserseitigen Trennpfeilers zwischen den Wehr- und den Turbinenfeldern eine mögliche Lösung dar.

Im Spülvorgang wird durch die Pfeilerverlängerung verhindert, dass sich das über die Wehrfelder strömende Geschiebe unmittelbar unterhalb der Turbinenausläufe absetzt. Im Gegensatz dazu sollte im Turbinenbetrieb das Abströmen des Triebwassers ungehindert erfolgen können. Durch einen in der Höhe veränderbaren Trennpfeiler wäre eine Anpassung an die unterschiedlichen Betriebsfälle eines Flusskraftwerkes möglich.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Titel „Optimierung der Geschiebetrift unterhalb von Flusskraftwerken“ werden die Randbedingungen für die Errichtung einer solchen Anlage geklärt. Dieses Forschungsprojekt

wurde von der Energieforschungsgemeinschaft<sup>1</sup> (kurz EFG) beauftragt. Der Modellversuch Kraftwerk St. Veit dient dabei als beispielhafte Behandlung der Geschiebetrift für die gesamte Staukette, da eine bauliche Ähnlichkeit der Anlagen gegeben ist.

<b>Projektgeschichte</b>	
11.04.2002	Auftragserteilung für den Modellversuch Kraftwerk St. Veit Verbund Austrian Hydro Power AG
10/2002 bis 09/2003	Durchführung der Untersuchungen (6 Trennpfeiler-Varianten + Wehrstrategien)
17.09.2003	Forschungsansuchen an die EFG „Optimierung der Geschiebetrift unterhalb von Flusskraftwerken“
29.11.2004	Auftragserteilung an die TU Graz (Hermann Grengg Laboratorium)

*Tabelle 1.1: Übersicht über den Projektverlauf für das Forschungsansuchen an die EFG*

Dieser Anpassungsprozess des Systems „Höhenvariabler UW-Trennpfeiler“ soll auch durch eine dreidimensionale numerische Modellierung des Untersuchungsbereiches begleitet werden. Zusätzlich wird mit einem Partner aus der Industrie die konstruktive Ausbildung erarbeitet werden.

Als Nutzen für den Kraftwerksbetreiber könnte eine Optimierung der Stromproduktion durch die Reduktion der unterwasserseitigen Anlandungen erreicht werden. Weiters würde die Durchgängigkeit der Kraftwerksanlagen für Sedimente verbessert werden. Die Forschungsergebnisse könnten also sowohl zu ökonomischen als auch ökologischen Verbesserungen für den Betrieb von Flusskraftwerken führen.

---

<sup>1</sup> Die österreichische Elektrizitätswirtschaft hat am 1. Juli 1991 die Energieforschungsgemeinschaft (EFG) mit Sitz im Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ) gegründet, siehe <http://www.veoe.at>.

## 1.2 Aufgabenstellung der Diplomarbeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird versucht folgende zentralen Forschungsfragen zu beantworten:

- Wie hoch waren die Einbußen in der Stromproduktion aufgrund von unterwasserseitigen Geschiebeanlandungen in den vergangenen 10 Jahren (1995 bis 2004)?
- Welche konkreten Auswirkungen haben Varianten von Trennpfeilerverlängerungen auf den Turbinenbetrieb?
- Welches energiewirtschaftliche Potenzial könnte sich durch zukünftige bauliche Veränderungen und einer damit verbundenen optimierten Geschiebetrift während des Spülvorganges ergeben?

Ziel ist die Darstellung der möglichen Ertragserhöhung eines Flusskraftwerkes aufgrund einer Reduktion bestehender Fallhöhenverluste durch die Verlängerung des UW-seitigen Trennpfeilers.

## 1.3 Ausgangsmaterial

Seitens der Verbund AHP AG wurde umfangreiches Datenmaterial sowohl in wasserwirtschaftlicher als auch in energiewirtschaftlicher Hinsicht zur Verfügung gestellt. Im nachfolgenden Hauptkapitel 4 Basisdatenerhebung erfolgten dessen Auswertungen.

Weiters basiert die Diplomarbeit auf den Erkenntnissen eines 2003 abgeschlossenen hydraulischen Modellversuches<sup>2</sup>, der den Ausgangspunkt des übergeordneten Forschungsprojektes bildet. Mit der Durchführung dieses hydraulischen Modellversuchs wurde das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz mit dem angeschlossenen

---

<sup>2</sup> HEIGERTH, G., KLASINC, R., KNOBLAUCH, H.: „Gutachten Salzach Kraftwerk St.Veit“, Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft – Herman Grengg Laboratorium, Graz im Dezember 2003 im Auftrag der Verbund AHP AG (unveröffentlicht)

„Hermann-Grengg-Laboratorium“ von der Verbund Austrian Hydro Power AG im April 2002 beauftragt.

Im Modellversuch sollten Leiteinrichtungen im Flussbett untersucht und optimiert werden. Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, durch die Maßnahmen eine verbesserte Geschiebetrift im Unterwasserbereich zu erzielen. Damit sollten die Anlandungen reduziert bzw. flussabwärts getriftet werden sowie die Fallhöhenverluste nach Möglichkeit reduziert werden. Weiters waren die Wehrregelung bei Spül-Hochwässern einschließlich eventuell erforderlicher Nachspülungen sowie die Geschwindigkeiten im Unterwasserbereich zu untersuchen.

Dabei konnten folgende Aussagen getroffen werden:

- Durch die Pfeilerverlängerung wird verhindert, dass sich das während des Spülvorganges über die Wehrfelder strömende Geschiebe unmittelbar unterhalb der Turbinenausläufe absetzt.
- Die für das Kraftwerk St. Veit untersuchten Varianten führen gegenüber dem Ausgangszustand zu einer verstärkten Geschiebetrift im Unterwasser. Profilaufnahmen zeigen im Modellversuch zum Teil beträchtlich tiefere Sohl- bzw. Wasserspiegellagen.
- Im Vergleich führt die Variante ohne Abtreppung vor allem im Auslaufbereich der Turbinen zu geringeren Anlandungen.



Abbildung 1.3: Trennpfeiler-Verlängerung ohne Abtreppung

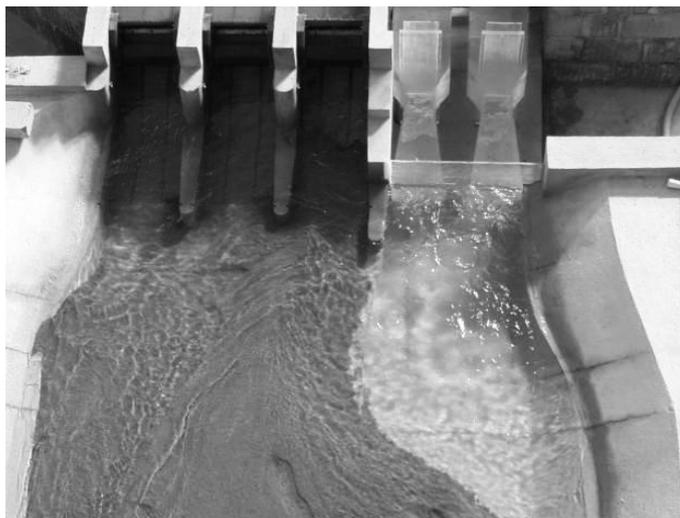
- Ästhetische und ökonomische Gesichtspunkte sprechen dagegen für einen abgestuften Trennpfeiler.



*Abbildung 1.4: Abgestufte Trennpfeiler-Verlängerung*

Beide Varianten haben den Nachteil, dass sich die Trennpfeilerverlängerung im Turbinenbetrieb ungünstig auswirkt, da das Abströmen des Triebwassers behindert wird.

In einer Zusammenfassung der Ergebnisse kann gesagt werden, dass die Varianten 4 und 5 (siehe Abbildung 3 und 4) deutlich gegenüber dem Ausgangszustand zu bevorzugen sind.



*Abbildung 1.5: Modell-Verlandung im Turbinenbetrieb*

## 2. Wasserkraftnutzung an der Mittleren Salzach

### 2.1 Salzach

#### 2.1.1 Allgemeines

Die Salzach entspringt in den Kitzbühler Alpen, im Gebiet des „Salzachgeiers“ in einer Seehöhe von ca. 2.300 m nördlich des Gerlospasses. Nach ca. 226 km erreicht sie nahe Braunau den Inn. Vom Ursprung bis nach Schwarzach verläuft die Salzach in West-Ost-Richtung und biegt dann nach Norden ab. Im Abschnitt von Bergheim bis nach Braunau ist sie Grenzfluss zu Deutschland. Als typischer Gebirgsfluss mit Gletschereinfluss führt die Salzach zwischen Mai und August, wenn Schnee und Gletschereis schmelzen, am meisten Wasser. Fast 2.000 Höhenmeter überwindet die Salzach von der Quelle bis zur Mündung. Auf ihrem Weg nimmt sie Wasser aus einem Einzugsgebiet von rund 6.727 km<sup>2</sup> mit. Sie entwässert rund 75 % der Fläche des Bundeslandes Salzburg. Ihre größeren Nebengewässer sind die Achen aus den Hohen Tauern sowie die Lammer, die Königsseeache, der Almbach und die Saalach.

Bereich	Abfluss MQ [m <sup>3</sup> /s]	3 Abschnitte geographisch und geologisch
Mittersill	25,0	Oberlauf (gestreckter Fluss): von der Quelle bis Bruck alpiner Charakter, bedeutet mittleres Gefälle, sowie > Abflüsse im Sommer und < Abflüsse in Wintermonaten
Bruck	31,0	
St. Johann	102,0	Mittellauf (verzweigter Fluss): Gefälle zwischen 3 bis 15 ‰, Einfluss der Speicherbewirtschaftung deutlich ausgeprägt, Sommerwasserfracht in den Winter verlagert
Golling	140,0	
Salzburg	176,0	Unterlauf (mäandrierender Fluss): Beckenlandschaft nördlich Pass Lueg, Gefälle ~ 1 ‰
Oberndorf	238,0	

Tabelle 2.1: Mittlere Wasserführung sowie Abschnitte der Salzach

#### 2.1.2 Flussbauliche Entwicklung

Bereits im Mittelalter wurden einige Alpenflüsse durch die Menschen verändert. Die Situation für die Schifffahrt sollte verbessert, Schutz vor Hochwasser geboten und die Talböden entwässert werden. Durch Laufverkürzung und Querschnittseinengung und der damit verbundenen erhöhten

Fließgeschwindigkeit entwickelte die Salzach erhebliche Eintiefungstendenzen. Vor allem nördlich von Salzburg unterhalb der Mündung der Saalach, wo bereits 1913 durch eine Saalachsperre der Geschiebeeintrag aus der Saalach unterbunden wurde. Wildbachverbauung und Kiesentnahmen erfolgten im gesamten Einzugsgebiet. Zur Stabilisierung der Sohle wurden in Salzburg und Hallein 1964-1966 Sohlstufen errichtet, 1970 erfolgte eine Erhöhung der Stufe Hallein.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die Salzach Gegenstand von Planungen für Wasserkraftwerke. Aufgrund des in ihrem Oberlauf zum Teil stark vergletscherten Einzugsgebietes wies die Salzach ursprünglich Gebirgsbachcharakter auf, mit einem dementsprechend geringen Winteranteil von lediglich 15 % an der Jahreswasserfracht. Durch die Errichtung der großen Speicherkraftwerke der AHP<sup>3</sup> im Kapruner Tal, der ÖBB im Stubachtal und in den 80er-Jahren der Salzburg AG<sup>4</sup> im Gasteiner Tal konnte der Winteranteil aber beträchtlich erhöht werden. Kraftwerksprojekte an der Salzach zur Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung wurden damit besonders wirtschaftlich.

Aus einer Studie der Tauernkraftwerke AG aus dem Jahre 1974 stammte die Einstufenvariante, ein Ausleitungskraftwerk mit einem 30 km langen Stollen zwischen Schwarzach und Golling. Aufgrund der ökologisch besonders schützenswerten Klammstrecke „Salzachöfen“ und der damit verbundenen Diskussion der Mindestwasserführung entschied man sich für die Mehrstufenvariante. Eine geschlossene Kette von Kraftwerken konnte nur mit Hilfe von UW - Eintiefungen erzielt werden, da aufgrund von Zwangspunkten (Westbahntrasse, Brücken, Siedlungen) andernfalls keine wirtschaftliche Lösung möglich gewesen wäre. Die Festlegung der Stauziele und damit der Fallhöhen richtete sich nach dem Nivellement der Westbahn, die Dammhöhe musste 1,50 m unter der Schienenoberkante liegen.

---

<sup>3</sup> Damals errichtet von der Tauernkraftwerke AG (TKW), im folgenden mit AHP bezeichnet

<sup>4</sup> Ehemals Salzburger AG für Energiewirtschaft (SAFE), im folgenden mit SAG bezeichnet

### 2.1.3 Raumordnungsgutachten KW-Kette Mittlere Salzach<sup>5</sup>

In diesem Gutachten wurde der Teilabschnitt der Salzach zwischen Schwarzach und Golling untersucht. „Auf einer Länge von 34,50 km bei einer Bruttofallhöhe von ca. 110,50 m sind insgesamt 7 Kraftwerksstufen geplant.“

Der Flächenanspruch betrug in etwa 6,60 ha, wobei vorwiegend landwirtschaftliche Nutzfläche und Wald incl. Augehölze betroffen waren. Vorübergehend wurden ~ 1,0 ha pro Staustufe für Baustelleneinrichtung in Anspruch genommen.

Bei der Projektierung des KW St. Veit wurde die Bahntrasse als Zwangspunkt behandelt. Durch Streckenbegradigung über Flächen der stillgelegten Flussschlinge war eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit um ca. 40 km/h möglich.

Das gesamte Investitionsvolumen für die KW-Kette incl. Nebenkosten wie Projektierung, Bauleitung, Grunderwerb und Aufschließung betrug ca. 4,3 Mrd. ÖS und war für einen Zeitraum von ~ 14 Jahren (1981-1994) veranschlagt.

Auf die Gemeinde St. Veit entfielen 188 Mio. ÖS. Eine Aufteilung in 60% reine Baukosten und 40% elektromaschinelle Ausrüstung konnte angenommen werden. Die reinen Baukosten wiederum unterteilen sich folgendermaßen:

- Bauhauptgewerbe 48 %
- Baunebengewerbe, Handel und Transport 40 %
- Gastgewerbe, Lebensmittelhandel 6 %
- Grundablösen, Steuern 6 %

Positive Beschäftigungseffekte entstanden durch den Arbeitskräftebedarf in den Jahren 1981 bis 1995 bei der Gemeinde St. Veit. Während der Bauzeit rechnete man mit 135 Beschäftigten, im Betrieb mit 22 Personen. Auf zusätzliches Steueraufkommen der Gemeinden, aus Gewerbesteuer und Lohnsummensteuer, wurde ausdrücklich hingewiesen.

---

<sup>5</sup> Österreichisches Institut für Raumplanung (ÖIR): „Raumordnungsgutachten KW-Kette Mittlere Salzach – Zwischenbericht“, Wien, März 1980

Den Abflussdaten aus der Jahresreihe von 1951 bis 1975 wurde ein MQ von 96,70 m<sup>3</sup>/s entnommen, das HQ<sub>1</sub> betrug 244 m<sup>3</sup>/s.

## 2.2 Die Kraftwerke der AHP an der Salzach

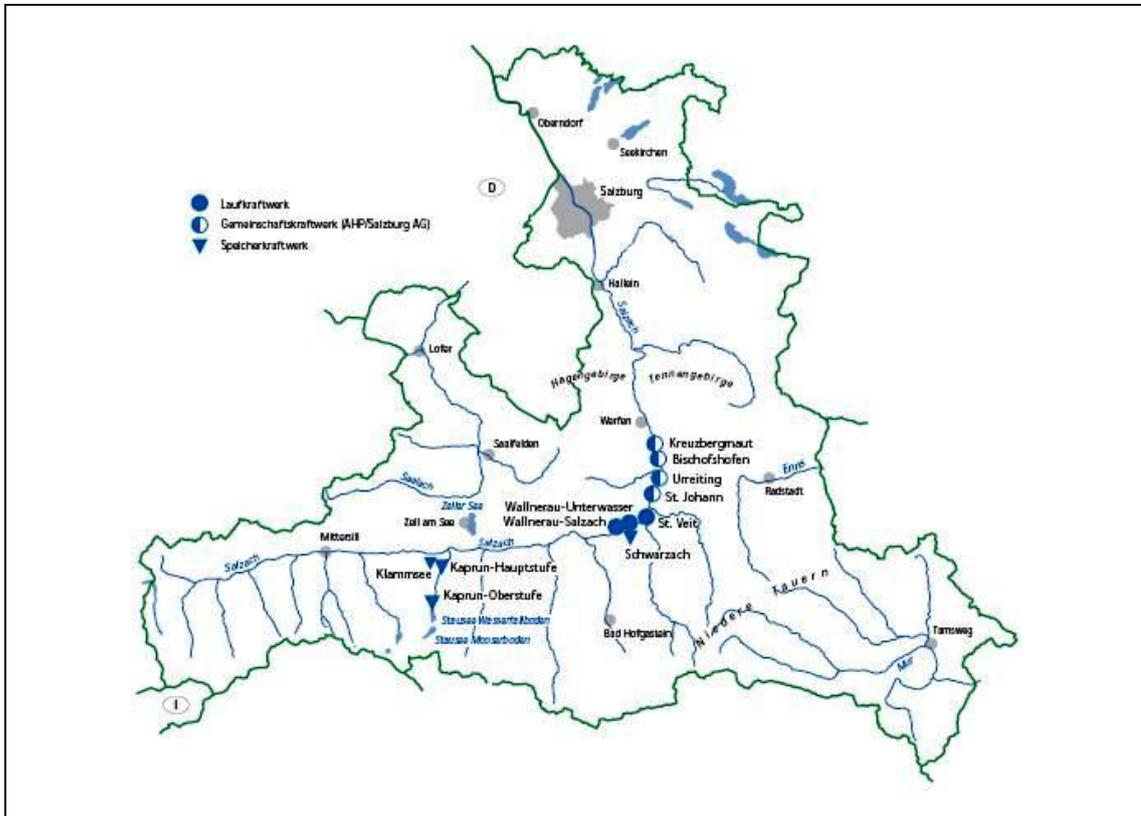


Abbildung 2.1: Kraftwerke der AHP in Salzburg

Die AHP betreibt mit den Speicherkraftwerken in Kaprun und dem Kraftwerk Schwarzach bereits seit der zweiten Hälfte der 1950er-Jahre Wasserkraftwerke im Bundesland Salzburg. In der zweiten Hälfte der 1970er-Jahre vereinbarten AHP und Salzburg AG, die bis dahin getrennt vorgenommenen Projektierungsarbeiten an der Salzach gemeinsam fortzusetzen. 1981 erteilte die Salzburger Landesregierung die Genehmigung zur Errichtung der Gemeinschaftskraftwerke „Mittlere Salzach“. Von 1982 bis 1985 wurden die Kraftwerke Bischofshofen und Urreiting-Salzach und von 1988 bis 1995 die beiden Kraftwerke St. Johann und Kreuzbergmaut errichtet. Zwischen 1986 und 1990 verwirklichte die AHP ohne Beteiligung die Kraftwerke St. Veit und Wallnerau. Das KW Werfen-Pfarrwerfen soll in nächster Zeit errichtet werden.

Kraftwerksanlage	Typ	Flußgebiet	Jahr der Inbetriebnahme	EPL/MW	RAV/GWh
Kaprun-Oberstufe <sup>*)</sup>	JP	Kapruner Ache	1955	112,8	166,1
Kaprun-Hauptstufe	J	Kapruner Ache	1952	220,0	499,0
Klammsee	T	Kapruner Ache	1946	0,5	3,4
Summe Speicherkraftwerke Kaprun				333,3	668,5
Schwarzach	T	Salzach	1959	120,0	482,3
Wallnerau-Salzach	L	Salzach	1990	10,0	38,3
Wallnerau-Unterwasser	L	Salzach	1989	5,1	20,7
St. Veit	L	Salzach	1988	16,5	67,0
Summe Kraftwerke Salzach				151,6	608,3
Summe Werksgruppe Kaprun/Salzach				484,9	1.276,8
St. Johann <sup>*)</sup>	L	Salzach	1990	16,5	71,2
Urreiting <sup>*)</sup>	L	Salzach	1985	16,5	76,2
Bischofshofen <sup>*)</sup>	L	Salzach	1984	16,0	70,2
Kreuzbergmaut <sup>**)</sup>	L	Salzach	1995	17,7	80,0
Summe Gemeinschaftskraftwerke »Mittlere Salzach« <sup>**)</sup>				66,7	297,6
<sup>*)</sup> je 50 % Eigentum von AHP und Salzburg AG <sup>**)</sup> Leistung inkl. Eigenbedarfsmaschinensätze EPL Engpassleistung RAV Regelarbeitsvermögen JP Jahrespumpspeicherkraftwerk J Jahresspeicherkraftwerk T Tagespeicherkraftwerk L Laufkraftwerk					

Tabelle 2.2: Kraftwerke der AHP im Bundesland Salzburg<sup>6</sup>

### 2.2.1 Einfluss der Speicherbewirtschaftung im Oberlauf

Eine beträchtliche Winteraufbesserung erfolgte durch die Errichtung der großen Speicherkraftwerke der AHP im Kapruner Tal, der ÖBB im Stubachtal und in den 80er-Jahren der Salzburg AG im Gasteiner Tal. Kraftwerksprojekte an der Salzach zur Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung wurden damit besonders wirtschaftlich.

Die Kraftwerke Schwarzach sowie Wallnerau - Salzach und Wallnerau Unterwasser bilden eine einzigartige Kombination von drei Kraftwerken auf engstem Raum und sind eine Unterstufe der Speicherkraftwerke Kaprun.

<sup>6</sup> Broschüre „Die Wasserkraft der AHP in Salzburg“, Verbund Austrian Hydro Power AG, November 2004

Obwohl das Kraftwerk Schwarzach an der Salzach liegt, ist es kein typisches Flusskraftwerk. Das Wasser zum Antrieb der vier Turbinen wird der Salzach 17 Kilometer entfernt bei der Wehranlage Högmoos entnommen, durch einen Stollen in das Ausgleichsbecken Brandstatt und erst dann ins Kraftwerk Schwarzach geleitet. Dadurch kann dieses Kraftwerk, als Mitteldruck-Ausleitungskraftwerk mit einem Tagesspeicher konzipiert, auch Spitzenstrom erzeugen. Das Ausgleichsbecken Brandstatt mit einem Nutzinhalt von rund 1,8 Mio. m<sup>3</sup> ermöglicht eine weitgehende Anpassung des Kraftwerkeinsatzes an den Spitzenlastbedarf. Die Bewirtschaftung des Speichers ist aber vor allem von der Wasserführung der Salzach bei der Wehranlage Högmoos abhängig.

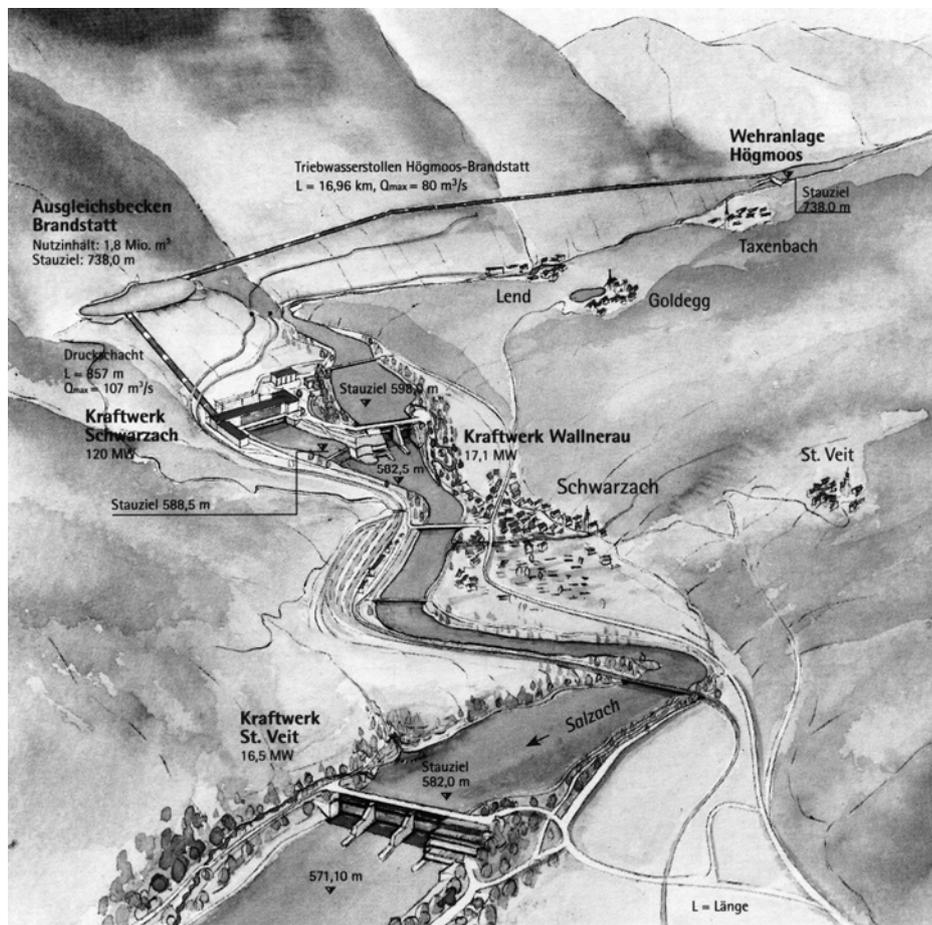


Abbildung 2.2: Übersichtsdarstellung der Oberlieger zu Kraftwerk St. Veit

Für die Jahresverlagerung kann die Zusammenstellung der KW-Gruppe Glockner-Kaprun<sup>7</sup>, Jahresreihe 1961-1990, herangezogen werden. Hier sind

<sup>7</sup> KIRCHLECHNER, P.: „Wasserwirtschaft der KWG Glockner-Kaprun“, Anlage 7.2, Verbund AHP AG, Bau Hochdruckanlagen – Hydrologie Kaprun, Kaprun März 1996

auf Monatsbasis der natürliche Zufluss sowie die Abarbeitung der Hauptstufe Kaprun dargestellt. Wasserfrachten im Betriebsmitteljahr werden in Mio. m<sup>3</sup> angegeben.

<b>Wasserfrachten im Betriebsmitteljahr in Mio. m<sup>3</sup></b>						
			Winter	Übergang	Sommer	Jahr
Natürlicher Zufluss			28,2	34,3	188,6	251,1
Abarbeitung	Hauptstufe	mit	143,0	44,5	63,6	251,1
Verlagerung						
Winter: Jänner, Feber, März, Oktober, November, Dezember						
Übergang: April, September						
Sommer: Mai, Juni, Juli, August						

*Tabelle 2.3 Wasserwirtschaft der KWG Glockner – Kaprun 1961 ÷ 1990*

Über die Veränderung der Zuflüsse im Abflussgebiet Salzach vor der Großarler Ache sei auf die Daten aus der GUS-Studie<sup>8</sup> nach den Jahresreihen 1961 bis 1987 verwiesen. Es wurde ein rekonstruierter, natürlicher Zustand einem zukünftigen Zustand bei Kraftwerksbetrieb gegenübergestellt.

Die Anpassung des Kraftwerkseinsatzes an den Spitzenlastbedarf lässt sich an den typischen Fahrplänen vom Lastverteiler Kaprun ableiten.

### 2.2.2 Kraftwerkskette Mittlere Salzach

Die Kraftwerke St. Johann, Urreiting, Bischofshofen und Kreuzbergmaut an der Mittleren Salzach sind ein Gemeinschafts-Projekt von AHP und Salzburg AG. Die AHP übernahm Planung und Bau, die Salzburg AG die Betriebsführung. Das Kraftwerk St. Veit gehört zur Werksgruppe Kaprun / Salzach der AHP, ebenso das Kraftwerk Wallnerau. Die Kraftwerke Schwarzach, Wallnerau und St. Veit sowie die Freiluftschaltanlage Kaprun werden von der Einsatzleitstelle Speicher Kaprun gesteuert.

<sup>8</sup> Österr. Institut für Raumplanung: „Gesamtuntersuchung Salzach“, im Auftrag der Salzburger Landesregierung, Wien 1993



Abbildung 2.3: Übersichtslageplan der KW - Kette Mittlere Salzach

Von einer Kraftwerkskette spricht man, wenn die Stauwurzel des Unterliegers bis zum Oberlieger-Kraftwerk reicht und somit keine freie Fließstrecke vorliegt. Das Kraftwerk St. Veit, als oberste Stufe „Kopfspeicher“, wird im Schwellbetrieb in Niederwasserperioden gefahren, um maximale Energieerzeugung durch einen zusätzlichen Tagesausgleich zu erzielen. Die Abarbeitung flussabwärts erfolgt bei „gespanntem“ Spiegel in jeder Stufe.

KW ST. VEIT

$Q_A = 183 \text{ m}^3/\text{s}$   $H_A = 10,4 \text{ m}$   
 $N_A = 16,5 \text{ MW}$   $A = 71,0 \text{ GWh}$

Kraftwerkskette  
 „Mittlere Salzach“

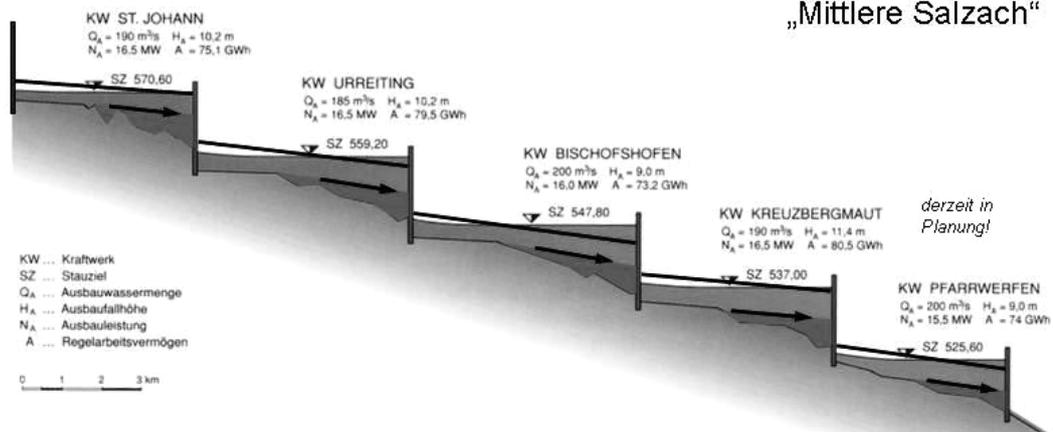


Abbildung 2.4: Kraftwerkskette Mittlere Salzach

### 2.2.3 Beschreibung Kraftwerk St. Veit

Das Hauptbauwerk des Kraftwerkes St. Veit besteht aus der dreifeldrigen Wehranlage und dem daran anschließenden Krafthaus. Jedes Wehrfeld erhielt als Betriebsverschluss ein Segmentschütz mit aufgesetzter Klappe.

Das Krafthaus wurde mit zwei Rohrturbinen- Sätzen mit horizontaler Welle und einem Drehstrom-Synchrongenerator ausgerüstet, wobei die Nennleistung in Summe 16.500 kW beträgt.

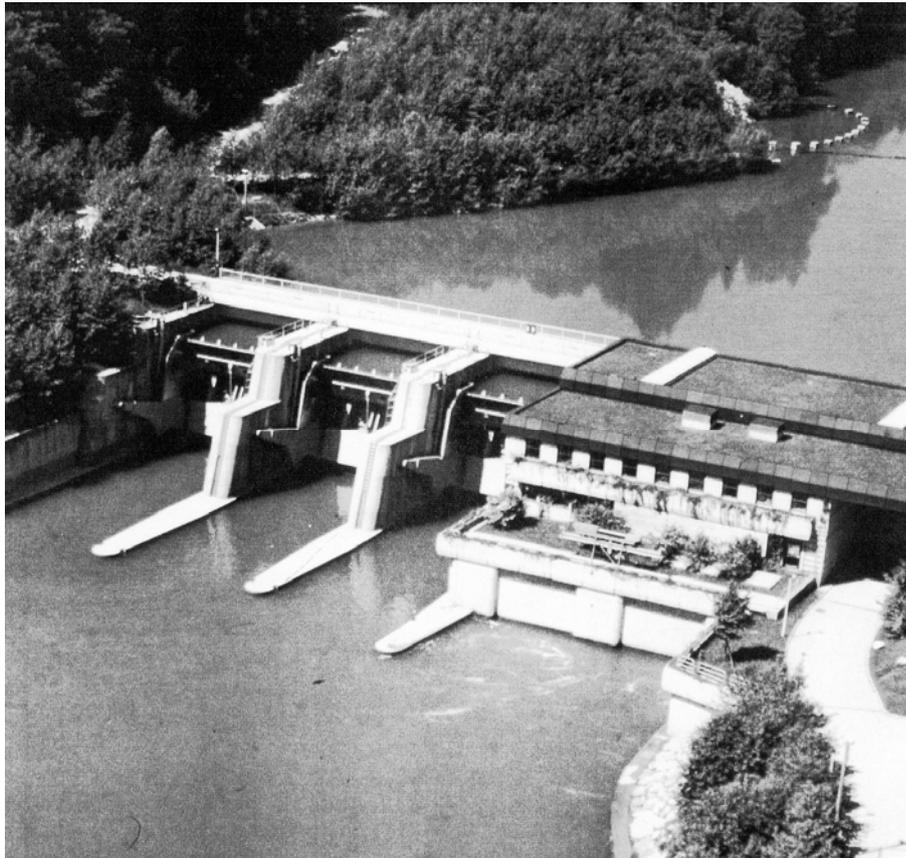


Abbildung 2.5: Luftbild Kraftwerk St. Veit

Die horizontale Lage der Maschinensätze ermöglicht eine äußerst niedrige Bauweise des Hauptbauwerkes und somit eine vorteilhafte Eingliederung in die Landschaft. Im Rückstaubereich des Kraftwerkes waren lediglich Geländeanhebungen erforderlich. Der aufgestaute Fluss ist weiterhin der tiefste Geländebereich im Talquerschnitt.

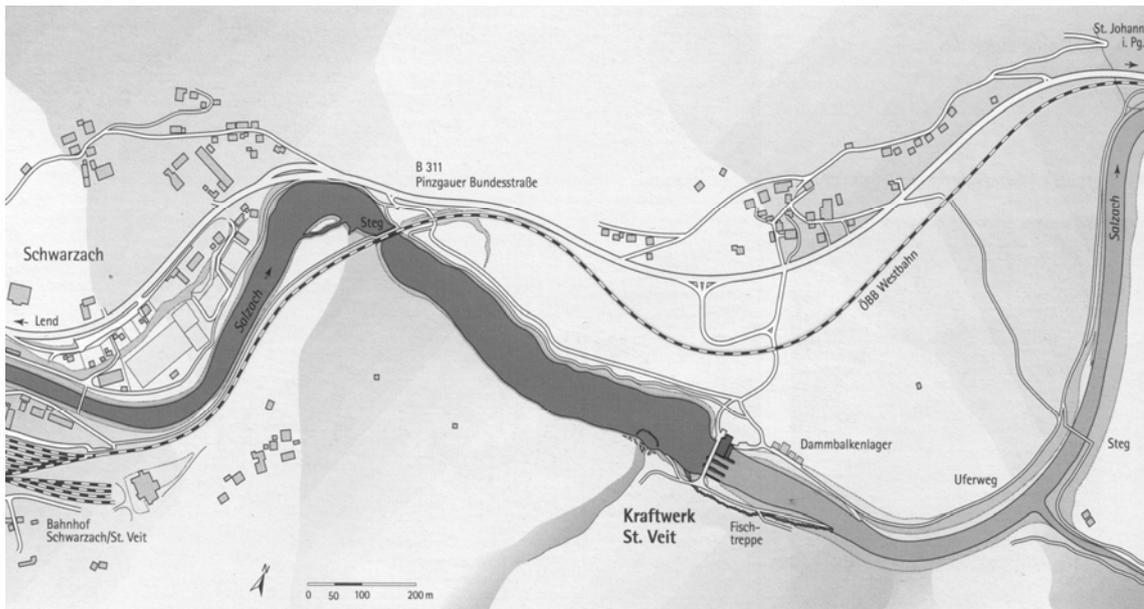
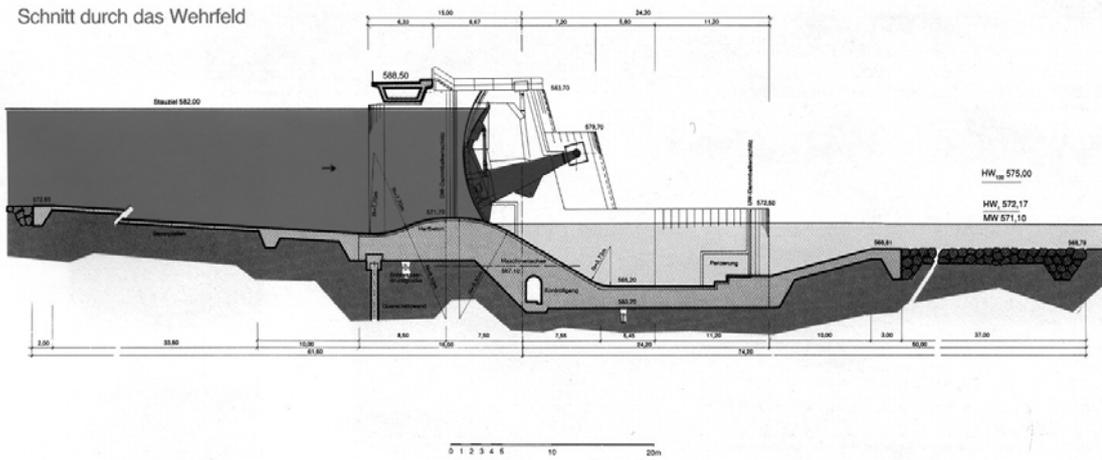


Abbildung 2.6: Übersichtslageplan

Kraftwerk St. Veit

Schnitt durch das Wehrfeld



Schnitt durch das Krafthaus

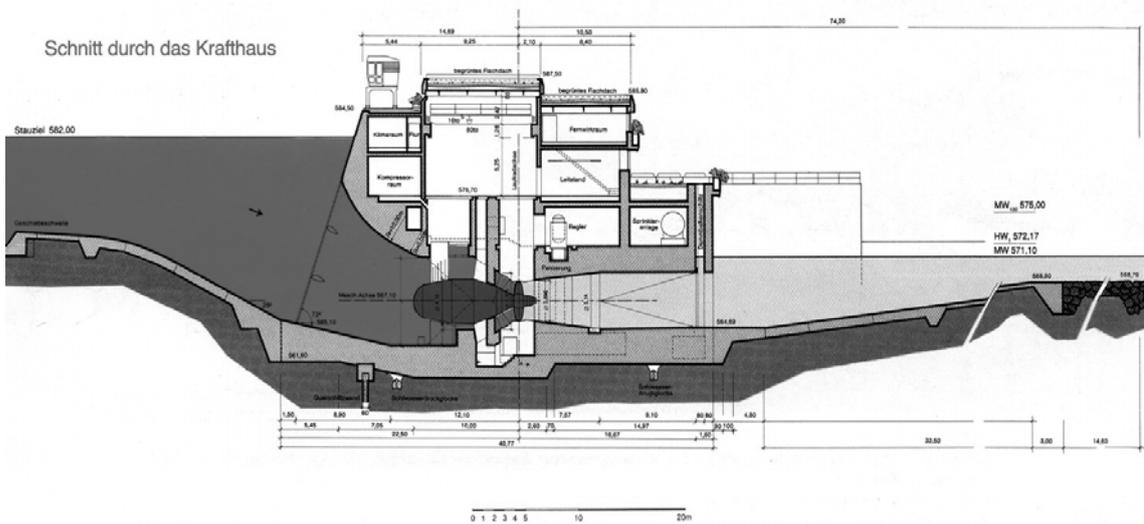


Abbildung 2.7: Schnitte durch das Hauptbauwerk

Die horizontal liegenden Kaplan-Rohrturbinen bringen nicht nur Vorteile in Bezug auf die Abmessungen des Hauptbauwerkes und der geringen Gründungstiefe, sondern haben auch einen günstigen Wirkungsgrad. Durch die doppelte Regulierung der Kaplanturbinen, einerseits mit dem Leitapparat und andererseits durch die Verstellung der Laufradschaufeln, ist eine gute Anpassung an verschiedenen Durchflussmengen möglich. Bei Rohrturbinen muss der Generator im Anströmbereich vor der Turbine angeordnet werden. Dadurch ergeben sich höhere Anforderungen bei der Energieableitung, Kühlung und Lüftung, sowie eventuell Dichtungs- und Wartungsprobleme.

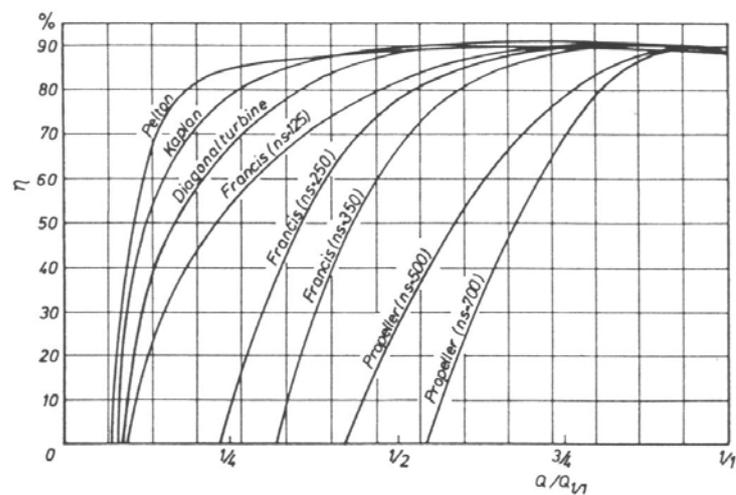


Abbildung 2.8: theoretische Wirkungsgradverläufe verschiedener Turbinentypen

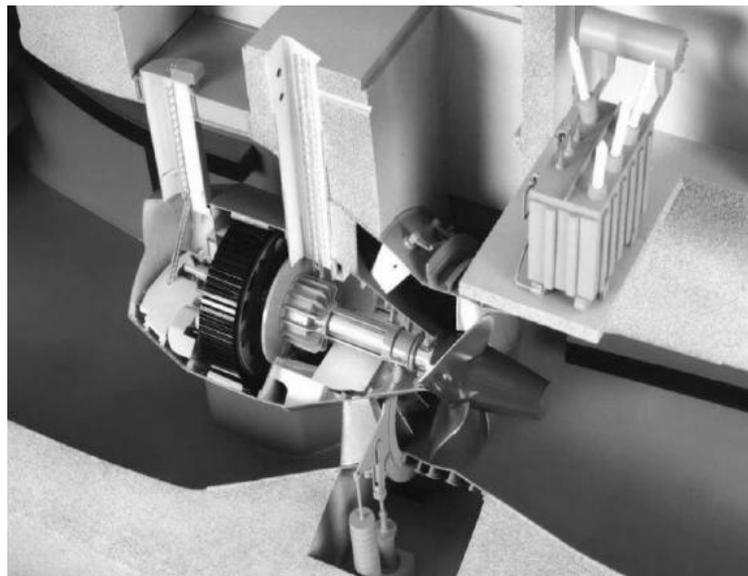


Abbildung 2.9: Schnitt durch eine Kaplan – Rohrturbine  
(Generator, Welle, Leitschaufel-Leitapparat, Laufrad, Transformator)

<b>Allgemeines</b>		<b>Turbinen</b>	
Kraftwerkstyp	Laufkraftwerk	Anzahl	2
Inbetriebnahme	1988	Bauart	Kaplan – Rohrturbine
Einzugsgebiet	2198,40 km <sup>2</sup>	Anordnung	horizontal
Erzeugung Regeljahr	im 67,0 Mio. kWh	Laufraddurchmesser	3,60 m
Nennleistung	16,5 MW	Leistung	8.750 kW
mittlerer Arbeitswert	0,03 kW/m <sup>3</sup>	Durchfluss	93,0 m <sup>3</sup> /s
Ausbauwassermenge	183,0 m <sup>3</sup> /s	Drehzahl	150 U/min
Ausbaufallhöhe	10,40 m		
Stauziel	582,0 müA		
<b>Stauraum</b>		<b>Generatoren</b>	
Länge bis zur ÖBB– Brücke	0,7 km	Anzahl	2
Länge bis zum KW Wallnerau	3,1 km	Nennleistung	9.500 kVA
höchster Aufstau über Gelände	2,50 m	Nennspannung	4,8 kV
<b>Unterwassereintiefung</b>		<b>Wehranlage</b>	
Länge	1,7 km	Anzahl der Wehrfelder	3
max. Eintiefung	5,50 m	lichte Weite	je 10,0 m
Sohlneigung	0,5 ‰	Stauwandhöhe	10,60 m

Tabelle 2.4: Technische Daten St. Veit<sup>9</sup>

## 2.3 Feststoffhaushalt und -management<sup>10</sup>

### 2.3.1 Allgemeines

Zum Geschiebehaushalt im Bereich der Kraftwerkskette zwischen Högmoos und Hallein gibt es nur grobe Abschätzungen mangels genauerer Messungen.

<sup>9</sup> Verbund AHP AG: <http://www.verbund.at/> sowie Firmenprospekt der Tauernkraft, Salzburg, Dezember 1995

<sup>10</sup> ÖWAV „Feststoffmanagement in Kraftwerksketten“, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Band 137, Wien 2000

Der Schriftenreihe des ÖWAV „Feststoffmanagement in Kraftwerksketten“ wurden folgende Größenordnungen entnommen:

- Stauraum Högmoos: ca. 25.000 m<sup>3</sup>/a (Simmler 1985)
- KW-Kette Mittlere Salzach: 30.000 ÷ 50.000 m<sup>3</sup>/a
- Urstein / Hallein: große Schwankungen
  - 15.000 m<sup>3</sup>/a (Ogris 1995)
  - 65.000 m<sup>3</sup>/a (Simmler 1985 und Flögl 1996)

Die Schwebstoffbelastung zeigt einen deutlichen Jahresgang in Abhängigkeit von der Wasserführung. In den Sommermonaten, bedingt durch die Gletscherschneesmelze, liegen große Mengen mineralischer Schwebstoffe vor. Messungen zur Abschätzung im Bereich der Mittleren Salzach wurden in den Jahren 1982 bis 1992 durch die ehemalige Tauernkraftwerke AG, im Bereich untere Salzach durch das Paracelsusforschungsinstitut (1983/84) durchgeführt. Folgende Schwebstofffrachten wurden angegeben:

- Högmoos: 70.000 ÷ 100.000 m<sup>3</sup>/a
- Mittlere Salzach: 160.000 ÷ 220.000 m<sup>3</sup>/a
- Hallein / Urstein: 200.000 ÷ 300.000 m<sup>3</sup>/a

Große Schwankungen der monatlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration durch Stauraumpülungen und allfällige Baumaßnahmen wurden festgestellt.

Naturgemäß hat der Ausbau der Flusskraftwerke an der Mittleren Salzach einen Einfluss auf den Feststoffhaushalt. Während sich die Schwebstoffe in den Stauräumen absetzen und bei Hochwasserdurchgängen wieder weitertransportiert werden, ist die Geschiebesituation seitdem grundsätzlich anders zu beurteilen.

Aus einem Referat<sup>11</sup> von Dipl. Ing. Peter Schnelle (Tauernkraftwerke AG) aus dem Jahre 1985 sei in diesem Zusammenhang folgendes zitiert: „Durch die Unterwassereintiefungen kann das Geschiebe kaum mehr durch die einzelnen Kraftwerksstufen durchtransportiert werden, da im Falle eines Geschiebetransportes sich das Geschiebe zunächst in der jeweils obersten Unterwassereintiefung und in weiterer Folge auch in den anderen Eintiefungen ablagern würde. Das Geschiebe wird daher voraussichtlich an der Stauwurzel der obersten Stufe entnommen werden.“ Genau diese Entnahme durch Baggerungen wurde im Zuge des wasserrechtlichen Verfahrens untersagt.

### 2.3.2 *Kraftwerk Schwarzach, Stauraum Högmoos*

Im Wasserrechtsbescheid von 1954 ist das Halten der Wasserspiegellage vorgeschrieben. Spülungen oder Staulegung sind zulässig, eine Begrenzung des Spülschwalles auf maximal 250 m<sup>3</sup>/s ist vorgeschrieben.

Zur Beweissicherung werden 20 Querprofile (Abstand ~100 m) im Stauraum Högmoos herangezogen, Echolotmessungen sollen 1-mal jährlich stattfinden. Seit dem Jahr 1959 erfolgt die Entlandung durch jährliche Einzelspülungen, meist im Monat August. Es sind keine Mindestwassermengen vorgeschrieben. Mit Beginn der 1980er Jahre erfolgte durch Abstimmung mit der Kraftwerkskette Mittlere Salzach erstmals eine „koordinierte Spülung“.

Die abgetriftete Feststoffmenge beträgt im Mittel 80.000 ÷ 100.000 m<sup>3</sup>/a.

### 2.3.3 *Kraftwerkskette Mittlere Salzach*

Aufgrund allgemein schmaler Stauräume stehen nur beschränkte Anlandungsmengen zur Verfügung. Daher gelten als Kriterien in den wasserrechtlichen Bewilligungsbescheiden<sup>12</sup> zum einen eine „maximal zulässige Anlandungssohle“, zum anderen die Gewährleistung des Geschiebe-

---

<sup>11</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft: „Bericht über die 15. Flussbautagung“ im Kongreßhaus Salzburg, Wien 1985

<sup>12</sup> siehe Kapitel 2.3.1 Wasser – und elektrizitätsrechtliche Bewilligung

transportes. Über diese fiktive Sohle muss das HQ<sub>100</sub> ohne Sohlausräumung schadlos abgeführt werden können.

In der Betriebsvorschrift<sup>13</sup> für die koordinierte, wasserführungsbedingte Teil- oder Totalabsenkung der Stauräume der KW-Kette Mittlere Salzach sind maximal zulässige Abgabemengen ins Unterwasser vorgesehen. Diese werden nach der Hochwassersituation lt. dem Hydrographischen Landesdienst für jeden Einzelfall festgelegt.

Als Beweissicherung wird in den 6 Stauräumen (Wallnerau bis Kreuzbergmaut) die Einhaltung einer „maximal zulässigen Anlandungssohle“ über Querprofilmessungen nachgewiesen. Der Profilaabstand beträgt im Regelfall 200 m. Die Messungen werden 1-mal jährlich vor der Hochwasserperiode und fallweise nach Hochwasserereignissen durchgeführt. Die Behörde wünscht eine Vorlage sowohl in graphischer Form, als auch per Datenträger.

Durchgeführte Entlandungen<sup>14</sup> der Kraftwerkskette können der Tabelle 2.5 entnommen werden.

Betriebsbedingte Totalentleerung Urreiting	September 1985
Betriebsbedingte Totalentleerung Urreiting und Bischofshofen	April 1986
1. koordinierte Spülung (Urreiting, Bischofshofen)	Juni 1987
weitere koordinierte Spülung (zuzüglich St. Veit)	Juli 1988
koordinierte Spülung (St. Veit, Urreiting, Bischofshofen)	Juni 1989
koordinierte Spülung (zuzüglich Wallnerau)	Juli 1990
koordinierte Spülung (zuzüglich St. Johann)	Juni 1991
Teilabsenkung Wallnerau bei Q = 120 m <sup>3</sup> /s	Oktober 1992
Seit 1993 jährliche koordinierte Spülung, ab 1996 zuzüglich Kreuzbergmaut	

*Tabelle 2.5: Entlandungsmaßnahmen der KW-Kette Mittlere Salzach ab 1985 bis 1995*

<sup>13</sup> Verbund AHP AG und Salzburg AG: „Kraftwerkskette Mittlere Salzach – Betriebsvorschrift für die betriebsbedingten Teil- oder Totalabsenkungen einzelner oder aller Stauräume von Wallnerau bis einschließlich Kreuzbergmaut“, Juni 2002

<sup>14</sup> GOBER, H.: „Feststoffmanagement in Kraftwerksketten“, Diplomarbeit TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz 2000

Koordinierte Spülungen sind auf Grundlage der Betriebsvorschrift durchzuführen. Einzelne Staustufen, beginnend in Kreuzbergmaut bis St. Veit, werden in 1,0 m -Schritten abgestaut, wobei Wallnerau zeitgleich kontinuierlich abzusenken ist (besonderes Stabilitätskriterium). In Abhängigkeit vom Durchfluss beträgt die freie Durchflusszeit pro Kraftwerk zwischen 12 und maximal 28 Stunden. Um ausreichende Spülwirkung der 6-stufigen KW-Kette zu erzielen, muss mind. 2-3 tägiger freier Durchfluss vorliegen. Die gesamte abgetriftete Feststoffmenge variiert zwischen 180.000 und 250.000 m<sup>3</sup>/a. Besonderes Augenmerk ist auf eine nicht zu starke Reduktion der Wasserführung beim Wiederaufstau zu legen. Es besteht die Gefahr von überdurchschnittlichen Anlandungen im UW-Bereich. Daher haben Betriebserfahrung und die Kenntnis der örtlichen Gegebenheit wesentliche Bedeutung.

Durchgeführte, koordinierte Entlandungen von Högmoos und Wallnerau bis Kreuzbergmaut ab 1995<sup>15</sup>(Tabelle 2.6):

<b>Entlandungsmaßnahmen</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Gesamte Spüldauer</b>
Koordinierte Spülung	30.April bis 3.Juni 1995	4 Tage
Koordinierte Spülung	08. bis 12.Juli 1996	5 Tage
Koordinierte Spülung	06. bis 10.Juli 1997	5 Tage
Koordinierte Spülung	11. bis 16.Juni 1998	6 Tage
Koordinierte Spülung	22. bis 28.Juli 1999	7 Tage
Koordinierte Spülung	11. bis 17.07.2000	7 Tage
Keine Spülung	2001	
Koordinierte Spülung	17. bis 22.Juli 2002	6 Tage
Keine Spülung	2003	
Koordinierte Spülung	11. bis 16.Juni 2004	6 Tage

*Tabelle 2.6: Entlandung der KW-Kette Mittlere Salzach ab 1995 bis 2004*

<sup>15</sup> Schabhüttl, René: herausgearbeitet aus den erhaltenen Anlagendaten der AHP

## 2.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen

### 2.4.1 Wasser- und elektrizitätsrechtliche Bewilligung

Mit Bescheid<sup>16</sup> vom Dezember 1985 wird die wasserrechtliche Bewilligung gemäß WRG 1959

- zur Ausnutzung der motorischen Kraft des Wassers der Salzach bei Fluss-km 131,75 im Gemeindegebiet von St. Veit bei einer Ausbauwassermenge von 183 m<sup>3</sup>/s, zum Zweck der Erzeugung von elektrischem Strom durch 2 Kaplan turbinen,
- zum Bau des Hauptbauwerkes (Krafthaus und Wehranlage), einem Stauraum (STZ 582,00 m) und eines Eintiefungsbereiches unterhalb des Hauptbauwerkes und
- zur Lagerung von 15.000 l Hydrauliköl und ca. 7,0 t Öl im Zusammenhang mit den Transformatoren

nach Maßgabe des eingereichten Projektes erteilt, wobei die im folgenden Spruchabschnitt II enthaltenen Auflagen zu erfüllen sind.

Von den insgesamt 115 wasserrechtlichen Auflagen sind folgende Punkte besonders relevant:

- Zur Beweissicherung im Flusslauf hinsichtlich Auflandung bzw. Eintiefung sind in Abständen von mind. 200 m einmal jährlich vor der Hochwasserperiode Querprofilaufnahmen durchzuführen. Diese erstrecken sich auf einen Abschnitt von der Stauwurzel bis zum Ende der UW-Eintiefung. Die Einhaltung der maximal zulässigen Verlandungssohle ist planlich darzustellen.
- Die Durchgängigkeit der Hochwasserabflüsse muss jederzeit gewährleistet werden
- Im Rückstaubereich ist ein Längenschnitt vorzulegen, in dem die max. zul. Verlandungssohle einzutragen ist, bei der noch die schadlose Abfuhr des RHHQ gewährleistet ist.
- Eine Betriebsvorschrift ist zur Bewilligung vorzulegen.

---

<sup>16</sup> Amt der Salzburger Landesregierung: „Salzackraftwerk St. Veit; wasser- und elektrizitätsrechtliche Bewilligung“, Zahl 1/01-25.317/18-1985, Salzburg 02.12.1985

- Die Ausbildung des Tosbeckens und der anschließenden Unterwasserstrecke hat anhand eines Modellversuches zu erfolgen. Anhand dieser Untersuchungen ist auch die Wehrbetriebsordnung (Absenkung Stauziel) anzupassen.
- Hydrobiologische
  - Umgehungsgerinne bei einer Dotierwassermenge von mind. 50 l/s
  - Max. Spiegelschwankungen im Staubereich 50 cm
- Hydrographische und allgemeine Beweissicherungsvorschriften
  - Dem hydrographischen Dienst sind im Bedarfsfall Aufzeichnungen der Ober- und Unterwasserpegel zur Verfügung zu stellen
  - Abgegebene Durchflüsse müssen laufend registriert werden, Tagesmittel der Abflüsse sind monatsweise zusammenzufassen und die tatsächlichen Extremwerte sind anzugeben. Ganglinien der Abflüsse sind laufend aufzuzeichnen.
- Im Interesse der Bundeswasserbauverwaltung
  - Für die Stauregelung bei Auftreten von Hochwässern ist eine Betriebsvorschrift im Einvernehmen mit der Bundeswasserbauverwaltung auszuarbeiten, wobei vor allem auf die weitgehende Aufrechterhaltung des Geschiebetransportes Bedacht zu nehmen ist.
- Allgemeine Vorschriften, wie Ansuchen um Baubewilligung

Fristen wie Baubeginn und Fertigstellung werden angegeben. Eine Konsensdauer von 90 Jahren, gerechnet vom Tage der Rechtskraft des Bescheides, wird vereinbart.

Teil B betrifft die elektrizitätsrechtliche Bewilligung für die Stromerzeugungsanlage und die damit zusammenhängenden Leitungsanlagen gemäß des Salzburger Landeselektrizitätsgesetzes 1979.

Im Rahmen der mündlichen Verhandlung wurden Stellungnahmen zu Protokoll gegeben, weiters erstatteten Sachverständige Gutachten. Hieraus soll auf den Befund und das Gutachten des wasserbautechnischen Amtssachverständigen<sup>17</sup> näher eingegangen werden.

---

<sup>17</sup> Höllbacher e.h.

„Die Ausführung erfolgt fast identisch, jedoch seitenverkehrt mit den Kraftwerken Bischofshofen und Urreiting. Für die Dimensionierung der wesentlichen Anlagenteile, besonders in hydraulischer Hinsicht und vom Standpunkt des Geschiebebetriebes wurde von der Universität Innsbruck am Institut für konstruktiven Wasser- und Tunnelbau ein Modellversuch für das KW Bischofshofen durchgeführt, dessen Aussagen aufgrund der gleichartigen Ausführung zumindest in großen Teilbereichen auch für das gegenständliche Kraftwerk gelten. [...]

Die Aufweitung des Flussbettes wird wie bei den bisher ausgeführten Staustufen hergestellt und erstreckt sich für die Krafthausbucht ca. 200 m flussaufwärts und ca. 250 m flussabwärts. [...]

Um eine möglichst vollständige Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Wasserkraft der gesamten Kraftwerkskette zu gewährleisten, wurde bei der Situierung der Wehrstelle und Festlegung der Fallhöhe darauf geachtet, dass nach Möglichkeit keine freien Fließstrecken zwischen den einzelnen Staustufen verbleiben, sodass ein Parallelbetrieb (Kippbetrieb) der gesamten Kraftwerke in Abstimmung mit dem Kraftwerk Schwarzach möglich ist. Dies kann aufgrund der gegebenen Zwangspunkte (Eisenbahnbrücke, Mündung Groöarler Ache) nur dadurch erreicht werden, dass mit Hilfe einer Unterwassereintiefung die Stauwurzel bei geringen Wasserführungen der Salzach bis zum Unterwasser der Oberstufe verlegt wird. Beim gegenständlichen Kraftwerk soll der Schwellbetrieb durch eine max. Absenkung des Stauzieles um 50 cm ermöglicht werden. Im gegenständlichen Fall ist hierfür unmittelbar unterhalb des Hauptbauwerkes ein max. Sohleintiefung von 5,50 m erforderlich, die bei einem Ausgleichsgefälle von 0,50 ‰ im Eintiefungsbereich ca. 1.700 m flussabwärts reicht.“

Es wird in diesem Befund auch auf ein Gutachten<sup>18</sup> von Prof. Simmler hingewiesen. Aus diesem geht hervor, dass Auswirkungen auf die Sohlage und den Geschiebehaushalt nicht auszuschließen sind. Genaue quantifizierbare

---

<sup>18</sup> Simmler: „Mögliche Veränderungen der Flußsohle der Salzach nach dem Ausbau der KW – Kette Mittlere Salzach“, Vorstand des Institutes für Wasserwirtschaft und konstruktivem Wasserbau der Technischen Universität Graz

Aussagen seien nicht möglich, da von sehr vielen Annahmen und Schätzungen ausgegangen werden musste. Eine wesentliche Aussage besteht darin, dass eine Sohleintiefung nicht unbeschränkt bis zu einem Ausgleichsgefälle fortschreiten wird, sondern eine gewisse Abpflasterung der Flusssohle zu erwarten ist. Prof. Simmler schätzt, dass das Ausmaß der Eintiefung 1,0 m nicht überschreiten wird. Die Möglichkeit einer Unterwasseranlandung ist nicht erörtert worden.

#### 2.4.2 *Betriebsvorschrift*

Die Betriebsvorschrift<sup>19</sup> für die betriebsbedingten Teil- oder Totalabsenkungen einzelner oder aller Stauräume von Wallnerau bis einschließlich Kreuzbergmaut beruht auf Grundlage der gültigen WR-Bescheide. Es ist die Einhaltung maximaler Hochwasserspiegellagen sowie der weitgehende Geschiebetransport bei Hochwässern zu gewährleisten.

Für den Fall, dass jährlich entsprechende Hochwässer auftreten, gilt dafür die behördlich genehmigte Betriebsvorschrift für die koordinierte, wasserführungsbedingte Teil- oder Totalabsenkung der Stauräume in der jeweils geltenden Fassung. Auf Grund der Beweissicherungsunterlagen und der jahrelangen Erfahrung in der Betriebsführung der Kraftwerke ist bei Gefahr einer Überschreitung der maximal zulässigen Anlandungssohle zur Erhaltung der Hochwassersicherheit sowie für die Maßnahmen zur Betriebsbereithaltung von Messeinrichtungen und Nebenanlagen (z.B. Mündungsbauwerke von Zubringern, Fischtrepfen etc.) eine betriebsbedingte Teil- oder Totalabsenkung der Stauräume erforderlich.

Die maximale zusätzliche Abgabemenge zum natürlichen Abfluss in das Unterwasser der flussabwärtigen letzten Kraftwerksstufe beträgt 100 m<sup>3</sup>/s.

---

<sup>19</sup> Verbund AHP, Salzburg AG: „Betriebsvorschrift – KW Kette Mittlere Salzach“, Vorlage zur behördlichen Bewilligung, Salzburg 10.Juni 2002

- Totalabsenkung aller Stauräume
  - Mindest-Wasserführung beim Kraftwerk St. Veit von 200 m<sup>3</sup>/s über eine voraussichtliche Dauer von 60 Stunden mit einer Prognose für den Spitzenwert beim Kraftwerk St. Veit von mind. 250 m<sup>3</sup>/s
  - Die prognostizierte Wasserführung am Pegel Golling Salzach (inkl. Lammer) beträgt mind. 400 m<sup>3</sup>/s
  - Eine Totalabsenkung ist nur außerhalb der Zeiten vom 1. März bis 31. Mai (Laichzeit) eines Jahres zulässig

Beim Abstauprogramm ist die maximale Abstaugeschwindigkeit aus Gründen der Dammsicherung und der maximal zulässigen Wasserabgabe beim Pegel Werfen einzuhalten. Für den Wiederaufstau der Stauräume darf die Verringerung des Zuflusses nicht mehr als 25 %, gemessen vor Beginn des Wiederaufstaus beim Pegel Werfen, betragen. Bei Totalabsenkung aller Rückstauräume oder des Rückstauraumes der flussabwärts letzten KW-Stufe ist ein Nachspülen über 3 Stunden ab Vollstau aller abgestauten Stufen mit einer gegenüber dem natürlichen Zufluss, gemessen am Pegel Werfen, um 25 % erhöhten Wassermenge durchzuführen.

- Totalabsenkung eines einzelnen oder mehrerer Stauräume

Sie dient der Verlagerung von Anlandungsmaterial innerhalb eines Stauraumes, oder in den Bereich der Unterliegerstufen, oder z.B. zu Reparaturzwecken und Erhaltungsarbeiten an den Stauanlagen.

- Teilabsenkung eines einzelnen oder mehrerer Stauräume

Sie dient zur Durchführung von Maßnahmen für die Betriebsbereithaltung von Kraftwerksanlagen. Eine Teilabsenkung ist eine Absenkung des Pegels im Rückstauraum bis 5,0 m unter Stauziel des jeweiligen Kraftwerkes.

Die Entscheidung über Teil- oder Totalabsenkung hat im Einvernehmen mit dem Hydrografischen Landesdienst zu erfolgen. Die Salzburg AG - Kraftwerks-Einsatzleitstelle ist zu verständigen, von der Werksgruppenleitung Kaprun-

Salzach und der Werksleitung der KWG Mittlere Salzach wird je ein verantwortlicher Koordinator nominiert.

Das „Ablaufschema für die koordinierte Totalabsenkung der Rückstauräume KW Wallnerau bis einschließlich KW Kreuzbergmaut“ ist der Diplomarbeit als Anlage 1 beigelegt.

### 2.4.3 Wehrbetriebsordnung

Im hydraulischen Modellversuch<sup>20</sup> war die Wehrregelung bei Spül-Hochwässern einschließlich erforderlicher Nachspülungen zu untersuchen. Das Ziel dieser Versuchsserie war die Bestimmung eines möglichen und gewünschten Weitertransports der Feststoffe (besonders im Bereich unterhalb der Tosbecken) für diverse Öffnungs- und Schließvorgänge der Verschlüsse der Wehranlage.

Das Ergebnis war die Empfehlung zur „Wehrbetriebsordnung KW St. Veit“, diese wurde als Anlage 2 beigelegt. Hierin wurde eine Änderung für den Aufstauvorgang vorgesehen. Nicht mehr über Wehrfeld 1 (neben Krafthaus), sondern über Wehrfeld 3 (orographisch rechts) sollte künftig die Aufstaugeschwindigkeit gesteuert werden.

Durch die Änderung der Wehrstrategie konnte eine Verlagerung der unterwasserseitigen Verlandungen vom orographisch rechten Ufer in Richtung Strommitte erzielt werden. Nachfolgende Naturaufnahmen zu Niederwasserzeiten 2002 und 2005 sollen dies belegen (siehe Abbildung 2.10 und Abbildung 2.11).

---

<sup>20</sup> Vgl. Kapitel 1.2.1 Ausgangsmaterial „Gutachten Salzach Kraftwerk St.Veit“, Dezember 2003 im Auftrag der Verbund AHP AG



*Abbildung 2.10: Naturaufnahme UW St. Veit vom 28.01.2002 ( $Q = 38,6 \text{ m}^3/\text{s}$ )*



*Abbildung 2.11: Naturaufnahme UW St. Veit vom 16.03.2005 ( $Q = 32,0 \text{ m}^3/\text{s}$ )*

### 3. Basisdatenerhebung

Exemplarisch wurde für das Jahr 2004 die graphische Darstellung in diese Diplomarbeit aufgenommen. Die Jahre 1995-2003 können den Vergleichsdarstellungen entnommen werden (wie z.B. in Abbildung 3.7: Vergleich der Abflussdauerlinien der Jahre 1995-2004, Abbildung 3.10: Schlüsselkurvenvergleich im P 3530 (QS 1) von 1995-2004).

#### 3.1 Wasserwirtschaftliche Datenbearbeitung

Als Ausgangsbasis dieser Berechnungen dienten die hydrographischen Daten der AHP<sup>21</sup> für den Zeitraum von 01.01.1995 bis 31.12.2004. Es handelt sich hierbei um Rohdaten (Viertelstundenwerte) der OW- und UW-Pegelstände, sowie um den Gesamtdurchfluss zum KW St. Veit.

Die UW-Pegelmessung erfolgt am Ende des bestehenden Trennpfeilers zwischen Krafthaus und Wehranlage auf der Seite des Turbinenauslaufes. Diese entspricht beim Modell St. Veit dem Messquerschnitt QS 1. Die Ermittlung des Turbinendurchflusses erfolgt über Kurvenscharen, die im Kraftwerksregler hinterlegt sind. Der Regler errechnet sich den Durchfluss aus den Fallhöhen- und Leistungsmesswerten. Dies gilt im untersten Leistungsbereich bei geschlossener Laufradstellung. Im oberen Leistungsbereich erfolgt die Berechnung mit anderen Kurvenscharen aus den Messwerten von Laufradstellung und Fallhöhe (sobald das Laufrad aus der Geschlossenstellung wegfährt). Grundlage dazu sind die Muschelkurven des Turbinenherstellers<sup>22</sup>.

In einem ersten Arbeitsschritt mussten die Rohdaten auf Ausfallswerte überprüft werden. Diese Datenlücken wurden ergänzt bzw. behoben und über Kontrollsummen versucht, deren Plausibilität zu gewährleisten. In erster Linie handelte es sich hierbei um Zeiten besonderer Niederwässer und Zeiten, wo die Ausbauwassermenge von  $Q_A = 183 \text{ m}^3/\text{s}$  überschritten wurde. In letzterem Fall

---

<sup>21</sup> Übermittelt von Dr. Kirchlechner am 06.04.2005 (unkorrigierte Rohdaten 1995-2004)

<sup>22</sup> Inhaltliche Erklärung stammt von Ing. Aigner, Betriebsleiter St. Veit

musste eine Unterteilung<sup>23</sup> in KW-Durchfluss, Wehrüberlauf und dem daraus resultierenden Gesamt-Zufluss vorgenommen werden. Bis zu einem Durchfluss von 205 m<sup>3</sup>/s wurde für den KW-Durchfluss das Mittel der höchsten Tagesabarbeitungsmengen angenommen. Werte über dem HQ 1 = 220 m<sup>3</sup>/s während der Spüldauer (Zeiten freien Durchflusses) wurden zum Teil auf Null gesetzt.

### 3.1.1 Ganglinien

In den nachfolgenden Abbildungen der Ganglinien ist der zeitliche Verlauf der Oberwasser- u. Unterwasser-Pegelstände, sowie des Zuflusses für das Jahr 2004 ersichtlich.

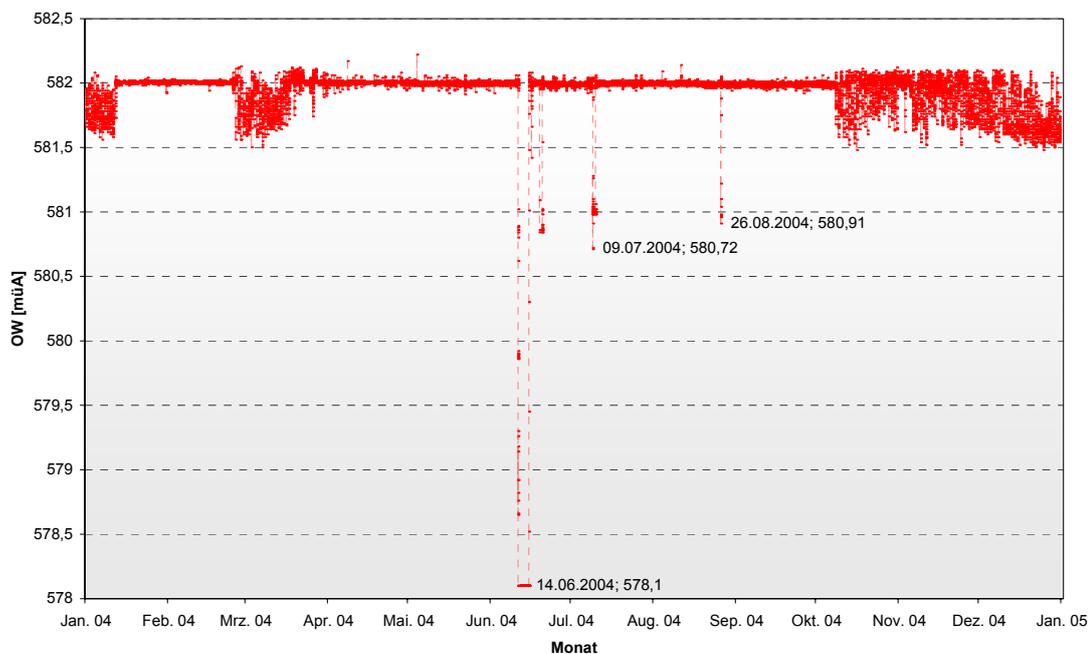


Abbildung 3.1: Ganglinie OW-Stand 2004

Deutlich zu erkennen sind der Schwellbetrieb (maximal zulässige Spiegelschwankung = 50 cm) in Niederwasserperioden und das Spülereignis mit Stauspiegelabsenkung im Juni 2004. Das Stauziel liegt bei 582,0 m.ü.A.

<sup>23</sup> Korrigierte Rohdaten (als Anhaltspunkt) wurden von Mag. Kaar am 28.04.2005 für den Zeitraum von 01.10.2003 bis 27.04.2005 übermittelt

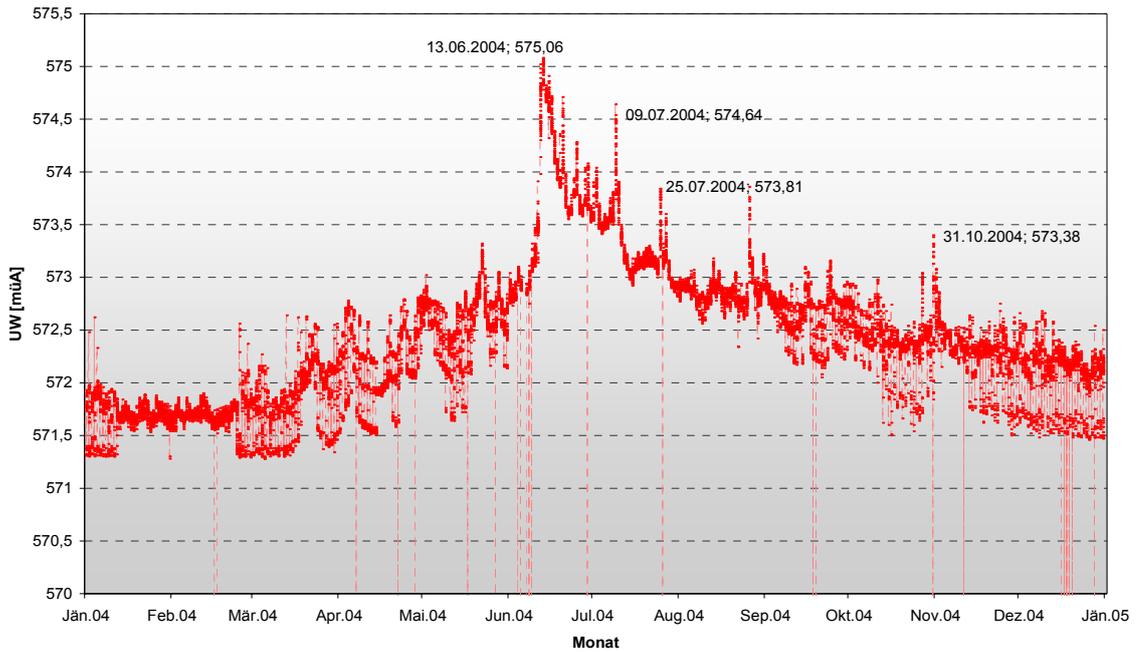


Abbildung 3.2: Ganglinie UW-Stand 2004

Auch hier (Abbildung 3.2) lässt sich das Juni-Hochwasserereignis und die durchgeführte Spülung deutlich erkennen. Der Schwellbetrieb führt auch im UW zu Spiegelschwankungen von etwa 50 cm. Der tiefste Wasserspiegel liegt bei ca. 571,30 m.ü.A. Im Falle der Stauraumspülung erfolgte ein Anstieg auf ca. 575,0 m.ü.A. Einzelne Ausfallswerte sind zu erkennen.

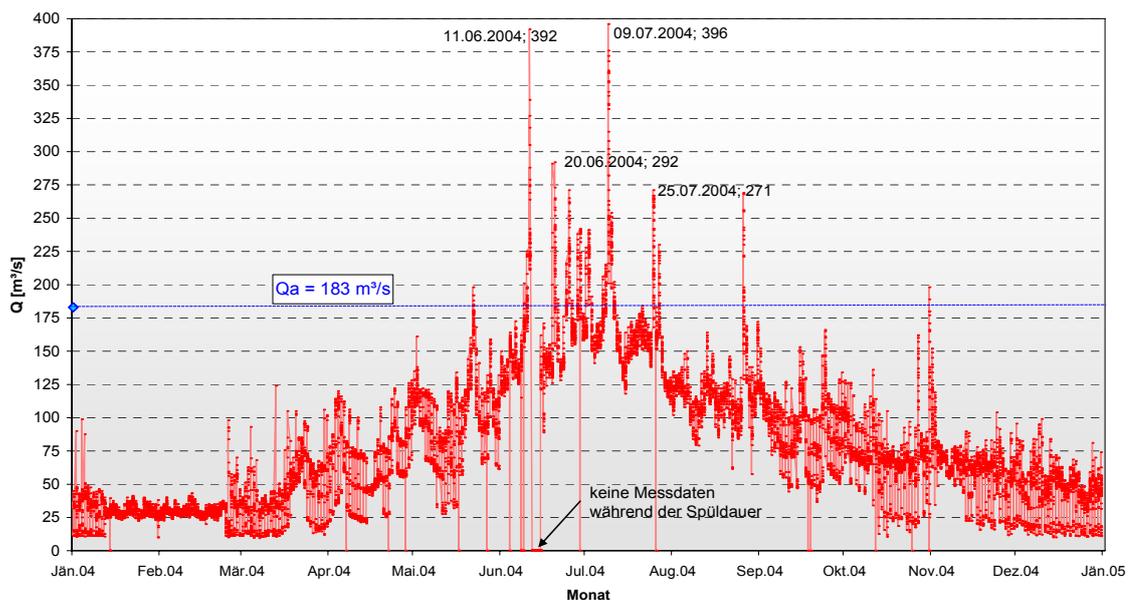


Abbildung 3.3: Zuflussganglinie 2004

In den Wintermonaten der Zuflussganglinie (Abbildung 3.3) sieht man zum einen die Tagesumlagerung zu Spitzenzeiten (Bandbreite ca. 30 m<sup>3</sup>/s), als auch zum anderen ein Aufrechterhalten von ca. 10,0 m<sup>3</sup>/s als Mindestabfluss durch die Speicherbewirtschaftung. Die blaue horizontale Linie befindet sich auf Höhe des Ausbaudurchflusses von 183,0 m<sup>3</sup>/s. Ein Anstieg im Hochwasserfall auf ca. 400 m<sup>3</sup>/s zeigt sich am 11. Juni als auch am 09. Juli. Eine koordinierte Spülung wurde von 11. bis 16. Juni durchgeführt. Die Abflusswerte wurden für diesen Zeitraum auf Null gesetzt.

### 3.1.2 Dauerlinien

Sie zeigen die zeitlich „äquidistant“ liegenden Messwerte (OW- und UW-Pegelstände, Abfluss, Bruttofallhöhe) in der Reihenfolge ihrer Größe unabhängig vom Zeitpunkt. Anfangs- und Endpunkt der Dauerlinie werden durch den Maximal- und den Minimalwert bestimmt. Die Werte wurden der Größe nach fallend über der Zeitachse aufgetragen (Überschreitungsdauerlinie). Somit zeigt die Dauerkurve, an wie vielen Tagen im Jahr ein bestimmter Merkmalswert über- oder unterschritten wird.

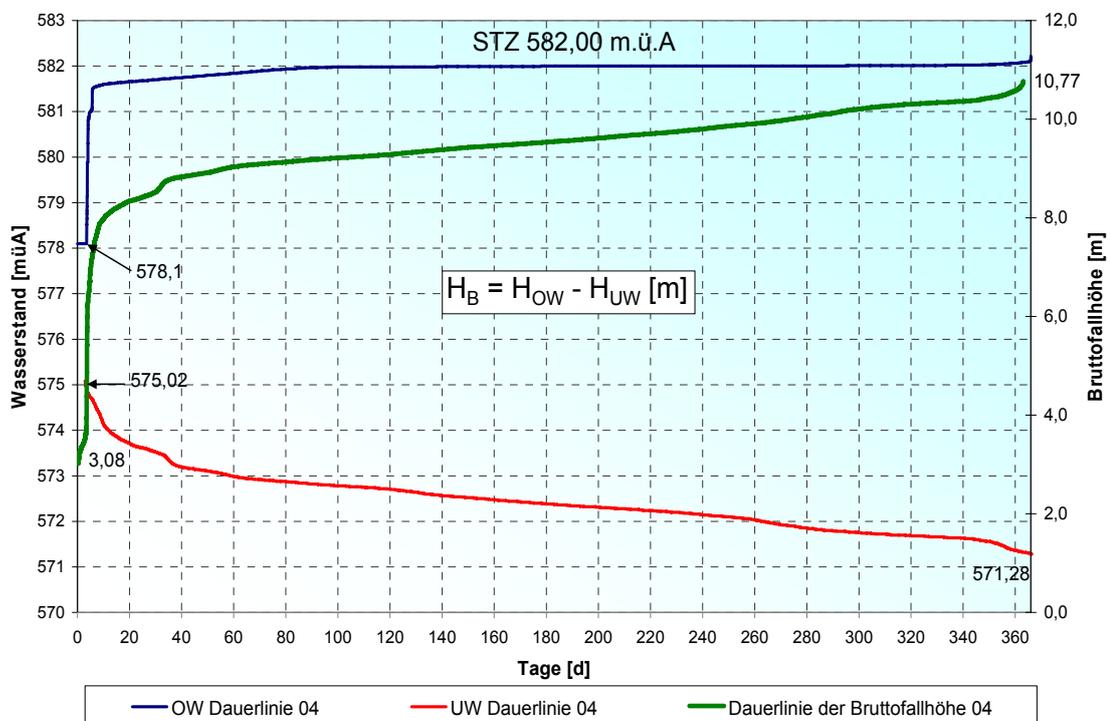


Abbildung 3.4: Dauerlinien von OW und UW Ständen sowie der Bruttofallhöhe 2004

Die Oberwasserdauerlinie zeigt ein konstantes Stauziel von 582,0 m.ü.A über 280 Tage im Jahr. Zwischen 280 und 360 Tagen wurde die Anlage im Schwellbetrieb gefahren. Der tiefste Oberwasserstand bei Staulegung lag bei 578,10 m.ü.A. Das Unterwasser stieg im Hochwasserfall auf 575,02 m.ü.A, hingegen sank es im Niederwasserfall auf maximal 571,28 m.ü.A.

Die Bruttofallhöhe  $H_B$  entspricht dem Höhenunterschied zwischen dem Wasserspiegel im Oberwasser und dem Wasserspiegel des Unterwassers. Von Rohfallhöhe ist die Rede, wenn man auf die Differenz der Energiehöhen Bezug nimmt<sup>24</sup>.

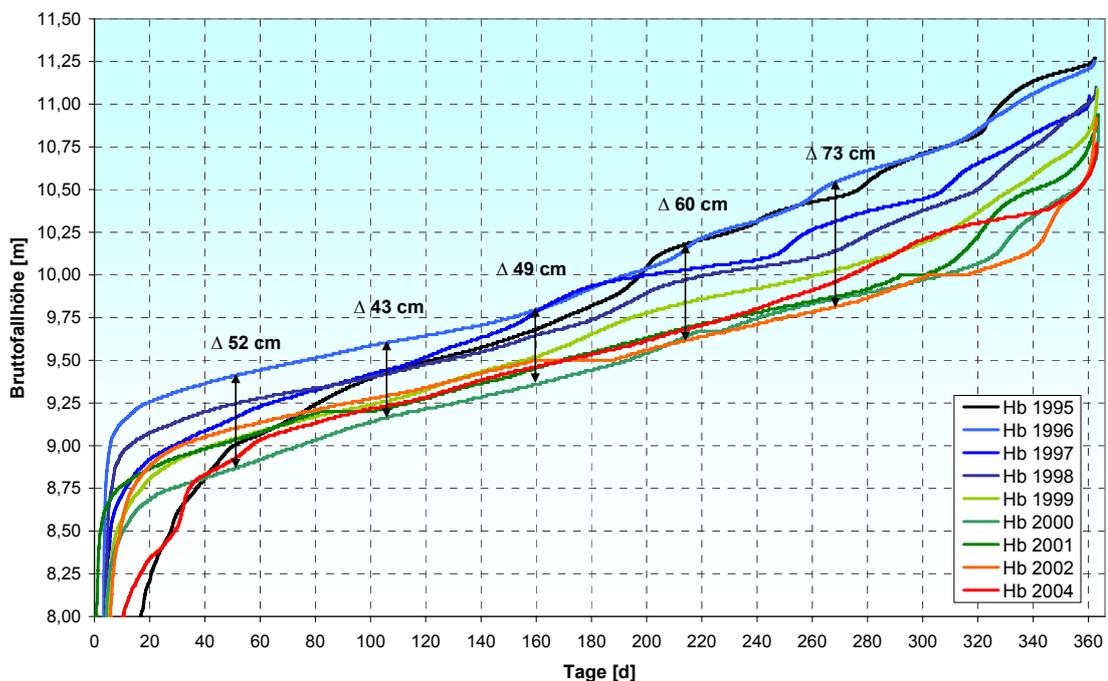


Abbildung 3.5: Bruttofallhöhenvergleich 1995-2004

Beim Vergleich der Bruttofallhöhen muss zwar die jeweilige Abflussintensität des entsprechenden Jahres Berücksichtigung finden, doch konnte in Abbildung 3.5 eine eindeutige Abwärtstendenz der Bruttofallhöhe von 1995 bis 2004 nachgewiesen werden. Dies lässt sich besonders gut an der Farbabfolge von blau über grün zu rot nachvollziehen. Ab Überschreiten der Ausbautage (diese

<sup>24</sup> Vgl. ÖNORM M 7103: „Grundbegriffe der Energiewirtschaft – Wasserkraftwirtschaft“, 1. Mai 1991

variieren zwischen 3 und 37 Tagen, siehe Abbildung 3.7) kann von einer Bruttofallhöhen einbuße von ca. 50 cm gesprochen werden.

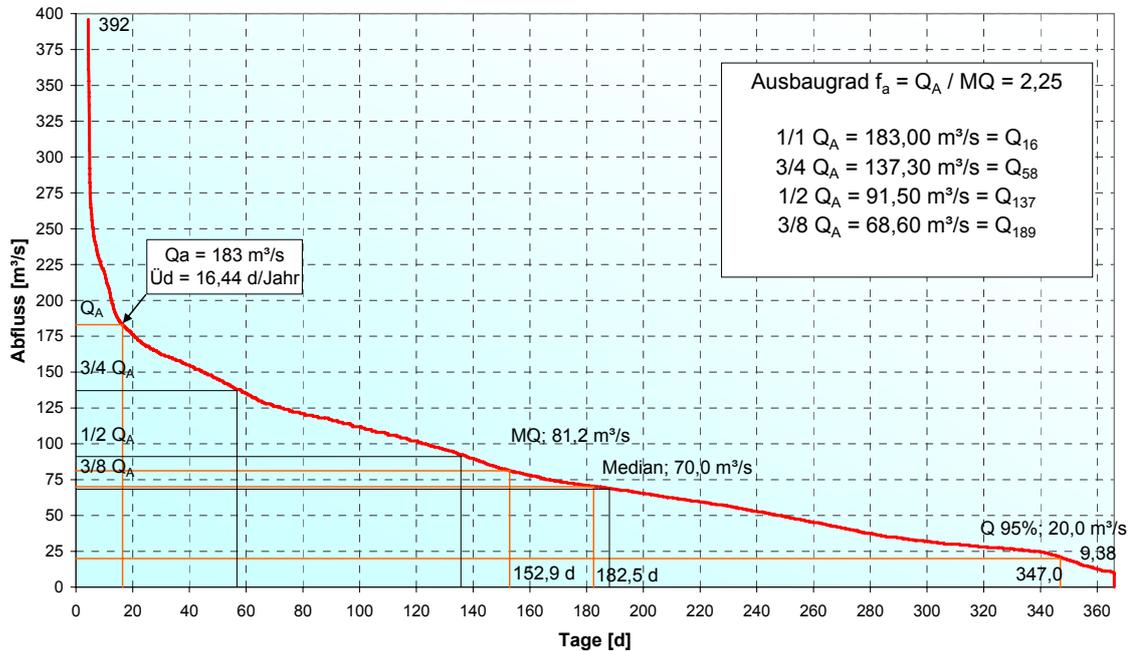


Abbildung 3.6: Abflussdauerlinie 2004

Im Jahr 2004 lag die Hochwasserspitze bei 392 m³/s, hingegen betrug die geringste Abflussmenge 9,38 m³/s. Der mittlere Abfluss lag bei 81,20 m³/s deutlich unter der halben Ausbauwassermenge von 91,50 m³/s. Er entspricht dem arithmetischen Mittelwert über das gesamte Jahr. Der Medianwert von 70,0 m³/s wird im Durchschnitt gleich oft unter- wie überschritten. An 347 Tagen im Jahr wurde das  $Q_{95\%} = 20,0$  m³/s überschritten.

Auf einen Ausbaugrad von 2,25 und im Besonderen auf ein Überschreiten der Ausbauwassermenge an nur 16,5 Tagen sei besonders hingewiesen.

In der nachfolgenden Abbildung 3.7 wurden die Verläufe der Abflussdauerlinien von 1995 bis 2004 dargestellt. Hier zeigt sich die Bandbreite der Überschreitungstage bei Ausbauwassermenge in Abhängigkeit des Durchflusses zwischen 3 und 37 Tagen. Das  $Q_{95\%}$  variiert zwischen 7,5 und 25,6 m³/s.

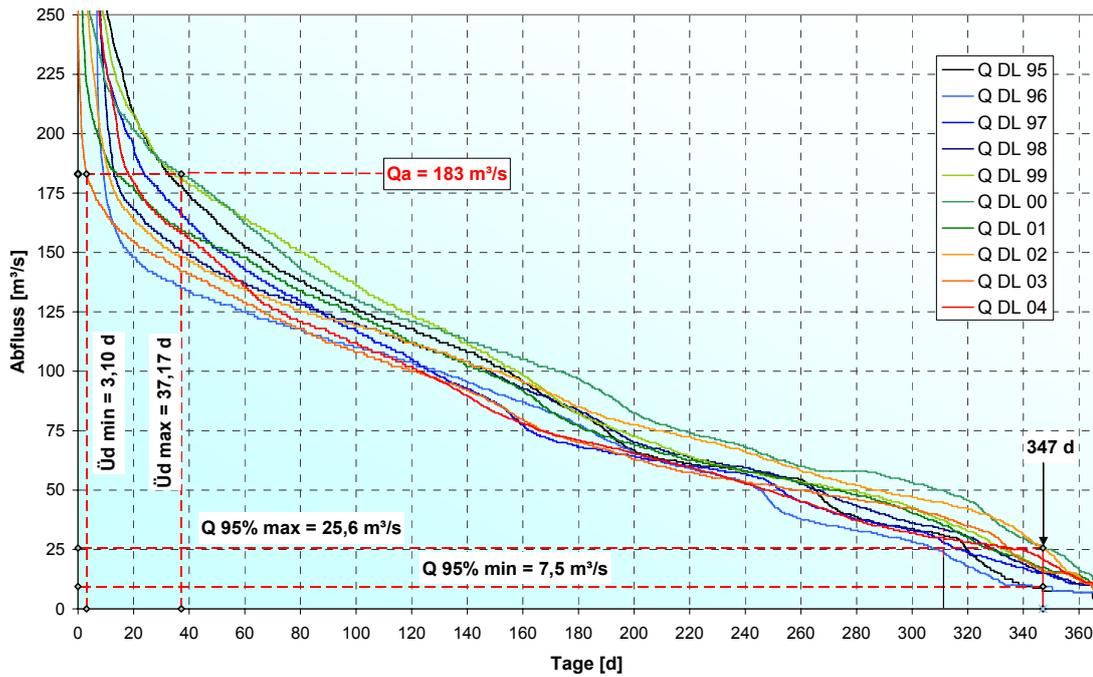


Abbildung 3.7: Vergleich der Abflussdauerlinien der Jahre 1995-2004

Errechnete hydrologische Daten können nachfolgender Tabelle entnommen werden.

MQ = 88,8 m³/s								Ausbaugrad	
Q <sub>A</sub> = 183 m³/s		MQ		Zentralwert		Q 95%		Q <sub>a</sub> / MQ	
lt. Projekteinreichung	[d]	[m³/s]	[d]	[m³/s]	[d]	[m³/s]	fa	[-]	
	2004	152,9	81,2	182,5	70,0	347,0	20,0		2,3
	2003	159,3	80,2	182,0	69,4	346,0	16,2		2,3
	2002	167,7	91,9	182,0	83,8	346,0	25,6		2,0
	2001	163,7	89,2	182,0	75,6	346,0	17,5		2,1
	2000	167,1	102,1	182,5	95,0	347,0	25,6		1,8
	1999	162,4	96,7	182,0	80,6	346,0	16,2		1,9
	1998	178,2	84,9	182,0	82,5	346,0	15,0		2,2
	1997	152,1	85,4	182,0	67,5	346,0	15,0		2,1
	1996	183,3	75,1	182,5	75,6	347,0	9,4		2,4
	1995	168,6	89,4	182,0	80,6	346,0	7,5		2,0
								SOLL	2,1
<b>10 Jahres Mittel</b>		<b>MQ</b>	<b>87,6</b>	<b>Median</b>	<b>78,1</b>	<b>Q 95%</b>	<b>16,8</b>	<b>fa</b>	<b>2,1</b>
		<b>HMQ</b>	<b>102,1</b>		<b>95,0</b>		<b>25,6</b>		<b>2,4</b>
		<b>NMQ</b>	<b>75,1</b>		<b>67,5</b>		<b>7,5</b>		<b>1,8</b>

Tabelle 3.1: berechnete hydrologische Daten von 1995 bis 2004

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht kann angemerkt werden, dass 2000, 1999 und 2002 abflussreiche Jahre waren, hingegen 1996, 2003 und 2004 zu den Trockenjahren gezählt werden können.

Aus den Abflussdauerlinien wurden nun jene Extrema ermittelt, die Nassjahr, Trockenjahr und das Regeljahr in der 10-Jahresbetrachtung darstellen. Ein Vergleich mit dem Hydrologischen Jahrbuch 2001 (Reihe 1996-2000) zeigte gute Übereinstimmung mit dem errechneten Regeljahr (siehe Abbildung 3.8).

Das Regeljahr ist nach ÖNORM M 7103 ein fiktives Jahr, dessen wasserwirtschaftliche Größen arithmetische Mittelwerte einer zusammenhängenden Reihe von möglichst vielen, für die aktuelle Abflussbildung repräsentativen Jahren sind. Für diese Diplomarbeit entspricht das Regeljahr dem Mittelwert der Reihe 1995-2004 und ist somit eine 10-Jahres-Dauerlinie.

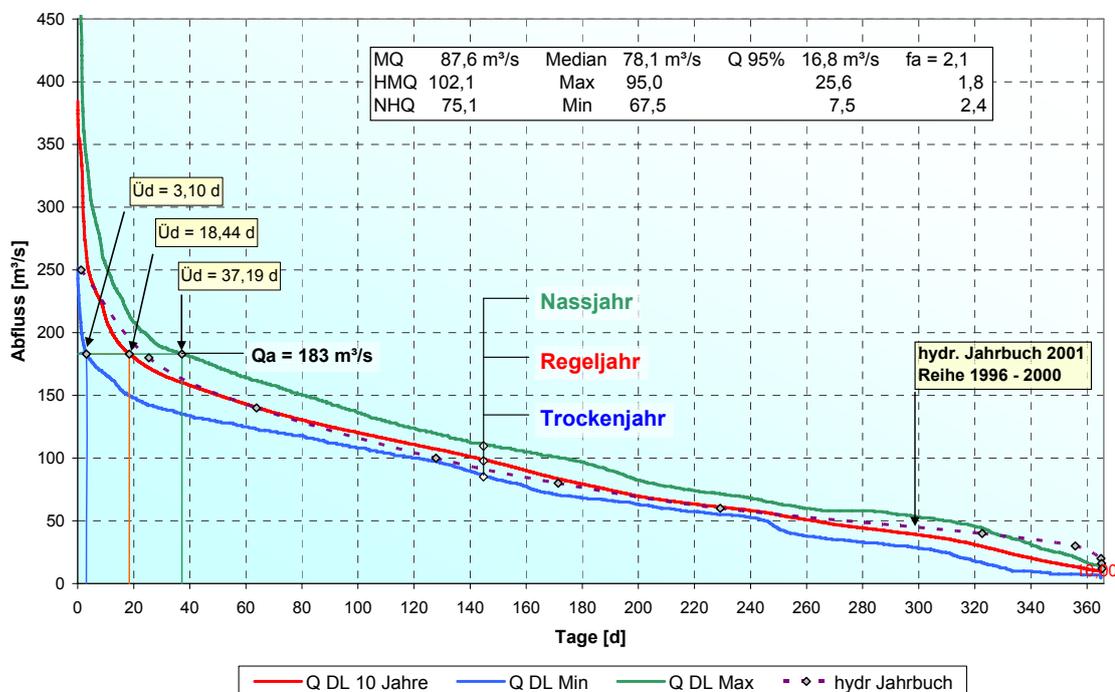


Abbildung 3.8: Dauerlinie von Regeljahr, Nassjahr und Trockenjahr der Reihe 1995-2004

### 3.1.3 Pegelschlüsselberechnung

Der Pegelschlüssel (Wasserstands-Durchfluss-Beziehung) zeigt den Zusammenhang zwischen Wasserstand und dem zugehörigen Durchfluss in einem bestimmten Gewässerquerschnitt unter Voraussetzung eines stationären Durchflusses. Die graphische Darstellung des Pegelschlüssels wird als Schlüsselkurve bezeichnet.

Die Berechnung des Pegelschlüssels (Abbildung 3.9) erfolgte für den Unterwasserquerschnitt am Ende des bestehenden Trennpfeilers auf Seite des Turbinenauslaufes (entspricht dem Messquerschnitt 1 im Modell).

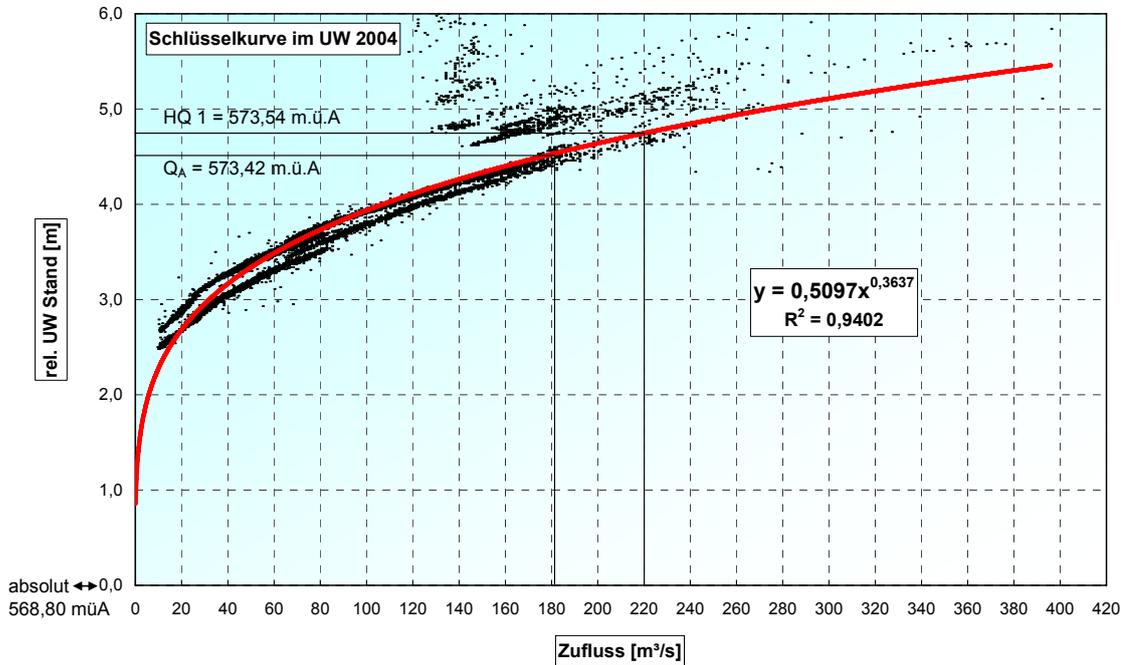


Abbildung 3.9: berechneter Pegelschlüssel aus den Anlagendaten für 2004

Der Schlüsselkurvenverlauf aus der Streuung der Messdaten wurde mit einer Potenzfunktion angenähert. Auf der Abszisse wurde eine Darstellung der relativen Unterwasserstände mit Bezug auf 568,80 m.ü.A gewählt, diese Höhe entspricht der Auslaufhöhe der kollaudierten Sohle. Es sei angemerkt, dass der Berechnung 35.136 Datenwerte zu Grunde liegen. Die Punktwolke nach oben im Bereich zwischen 120 und 260 m³/s ist auf einen Turbinenbetrieb bei gleichzeitiger Wehröffnung zurück zu führen.

Bei Ausbaudurchfluss erreichte der Unterwasserspiegel eine Höhe von 573,42 m.ü.A., der Wasserspiegel bei HQ 1 betrug 573,74 m.ü.A. Laut dem gerechneten Längenschnitt (AHP SZ-G 51.26) sollte der UW-Stand bei HQ 1 572,17 m.ü.A. betragen, dies ergibt eine Differenz von 157 cm. Es sei jedoch angemerkt, dass der gerechnete Längenschnitt im Profil 3500 durchgeführt wurde, somit 30,0 m unterhalb des betrachteten Querschnittes liegt.

### 3.1.4 Schlüsselkurvenvergleich

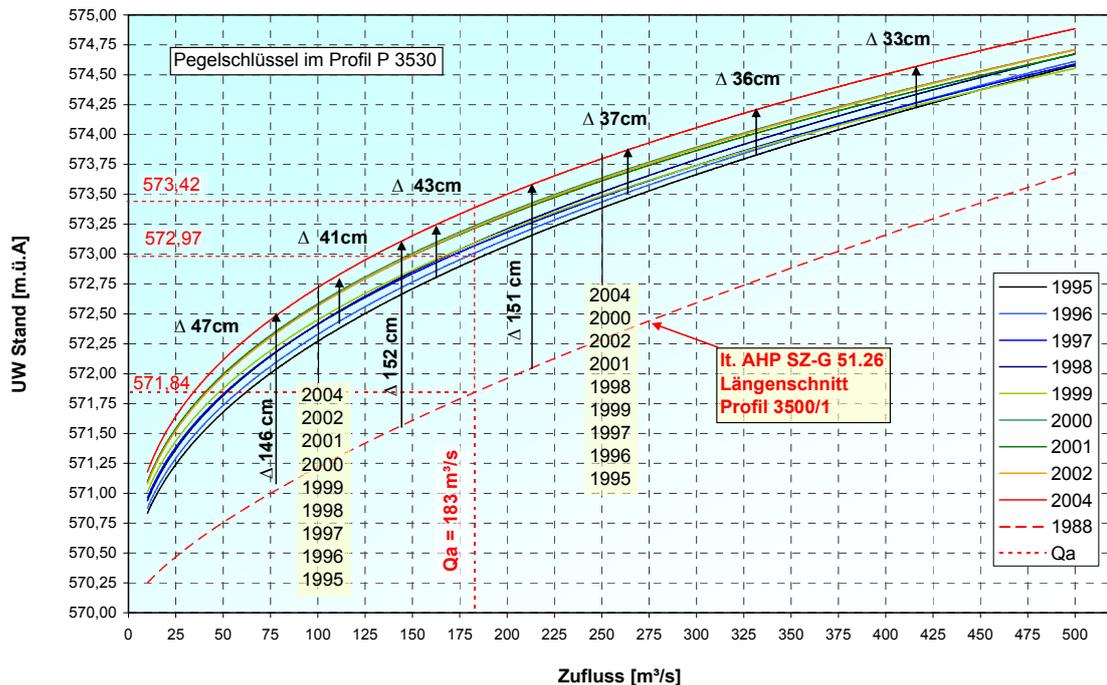


Abbildung 3.10: Schlüsselkurvenvergleich im P 3530 (QS 1) von 1995-2004

Wie aus Abbildung 3.10 zu erkennen ist, ist in Bezug auf die Pegelverhältnisse von 1995 ein Spiegelanstieg zwischen 41-47 cm nachgewiesen worden. Mit Zunahme der Durchflussmenge wird die Differenz geringer. Bei Ausbaudurchfluss bedeutet dies einen Anstieg von 572,97 auf 573,42 m.ü.A. (bzw. 45 cm).

Ein Vergleich mit dem berechneten Pegelschlüssel aus der Einreichung (Längenschnitt SZ-G 51.26) trägt, da dieser einen rein theoretischen Verlauf darstellt, auf wenigen Datenwerten beruht und darüber hinaus nicht dem gleichen Querschnitt entspricht. Er dient jedoch einer Orientierungshilfe für den Zeitpunkt der Inbetriebnahme 1988.

Die rückwirkende Analyse der KW-Anlage St. Veit wurde aufgrund der vorhandenen Daten für die letzten 10 Jahre durchgeführt.

## 3.2 Energiewirtschaftliche Datenbearbeitung

### 3.2.1 Grundlagen der Leistungs- und Energieberechnung

Die hydrologischen Grundlagen für die Leistungsberechnung wie Wasserdargebot, Dauerkurven der Abflussmengen und der Bruttofallhöhe  $H_B$ , und die Ausbauwassermenge wurden im vorangegangenen Kapitel bereits erläutert.

Das nutzbare Gefälle (Nutz- oder Nettofallhöhe<sup>25</sup>  $H_N$ ) einer Wasserkraftanlage ermittelt sich aus der Bruttofallhöhe  $H_B$  abzüglich der Energieverluste im Triebwassersystem. Diese hydraulischen Verluste setzen sich aus den Reibungs-, Einlauf-, Rechen-, Krümmungs- und Auslaufverlusten zusammen. Es gilt zu beachten, dass bei Niederdruckanlagen wie dem KW St. Veit die Wasserspiegel im Unterwasser, in Abhängigkeit vom verfügbaren Kraftwerkszufluss, beträchtlich variieren (siehe Pegelschlüsselkurven Abbildung 3.10). Zudem hängt auch der Wirkungsgrad der Turbine sowohl vom Zufluss als auch von der Fallhöhe ab.

Die elektrische Leistung, also die Ausgangsleistung des Generators ab Generatorklemme, errechnet sich folgendermaßen:

$$P_{el} = 9,81 * \eta_{tot} * Q \text{ [m}^3\text{/s]} * H_B \text{ [m]} \quad \text{[kW]}$$

Im Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{tot}$  sind die hydraulischen Verluste des Triebwassersystems, die Turbinen- und Generatorverluste enthalten. Eine Übersicht der einzelnen Energieverluste bei Wasserkraftwerken und der einzelnen dazugehörigen Leistungsbegriffe von hydraulischer Leistung bis letztendlich zur elektrischen Nettoleistung sind in Abbildung 3.11 übersichtlich dargestellt.

Zur Bestimmung der Nettoleistung kann folgende Näherungsformel verwendet werden:

$$P_{el} = 8,5 * Q * H_B \text{ [kW]} \quad (\eta_{tot} \text{ entspricht dabei ca. } 87\%)$$


---

<sup>25</sup> Entspricht der Differenz der Energiehöhen beim Eintritt in die Turbinen und beim Austritt aus den Turbinen bei einer bestimmten Durchflussmenge.

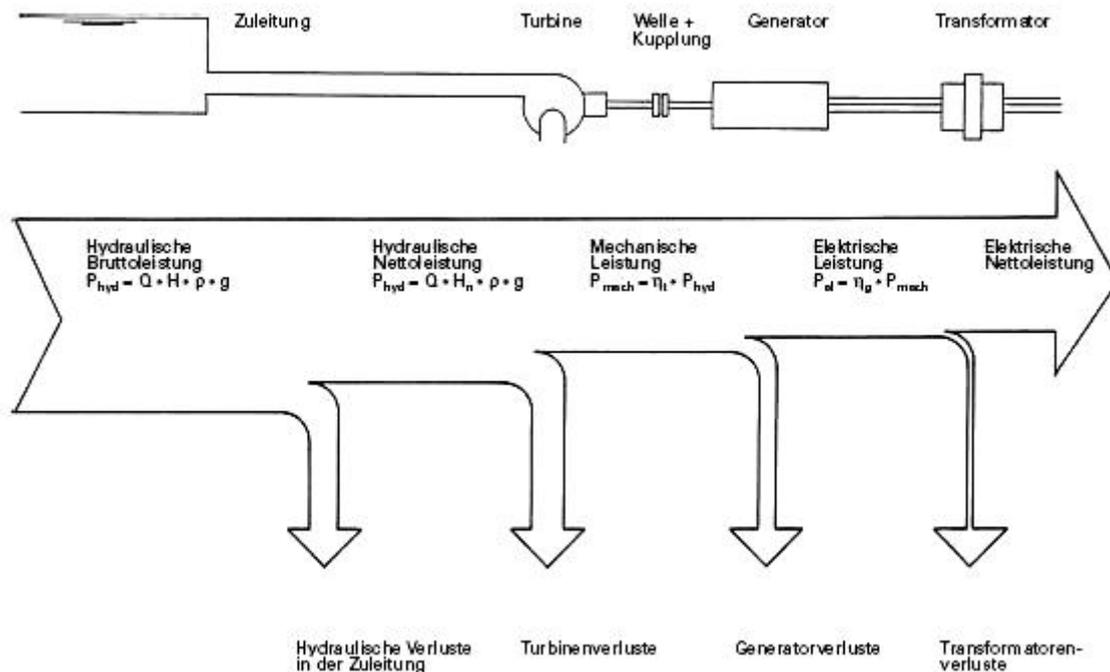


Abbildung 3.11: Wirkungsgradverluste und der daraus resultierenden Leistungsgrößen

Die Energieproduktion in Kilowattstunden entspricht dem Produkt aus Leistung mal Zeit beziehungsweise dem Integral der Leistung über eine bestimmte Zeit.

$$E = \int P_{el}(Q) \cdot dt = \int 9,81 \cdot Q \cdot H_N \cdot \eta_{tot} \cdot dt \quad [\text{kWh}]^{26}$$

Die über ein Jahr produzierte elektrische Energie ist diejenige Größe, welche der Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Wasserkraftanlage zugrunde gelegt wird. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Regelarbeitsvermögen RAV. Nach DIN 4082 ist das RAV von Laufwasserkraftwerken jene elektrische Energie, die mit dem nutzbaren Zufluss im Regeljahr erzeugt werden kann. Es ist bis zum Ausbaudurchfluss und bei Stauziel zu ermitteln. Das Regeljahr wurde auf Seite 37 näher erläutert.

Als Faustformel gilt bei einem Wasserkraftwerk, dass ein Wasservolumen von  $1 \text{ m}^3$  bei einer Fallhöhe von 450 m zur Erzeugung von rund 1 kWh elektrischer Energie ausreicht.

<sup>26</sup> SI-Einheit der Energie ist das Joule [J]:  $1 \text{ [J]} = 1 \text{ [Ws]}$ ; Bei Wasserkraftanlagen spricht man von Kilowattstunde:  $1 \text{ [kWh]} = 3.600.000 \text{ [J]}$

Wie bei den Abflussmengen lässt sich auch für die Leistung eine Dauerlinie aufzeichnen. Der somit erhaltene Leistungsplan enthält alle Angaben über Wassermengen, Gefälle, Leistung und Energieproduktion einer Wasserkraftanlage. Die Fläche unterhalb der Leistungsdauerlinie entspricht der maximal möglichen Energieproduktion.

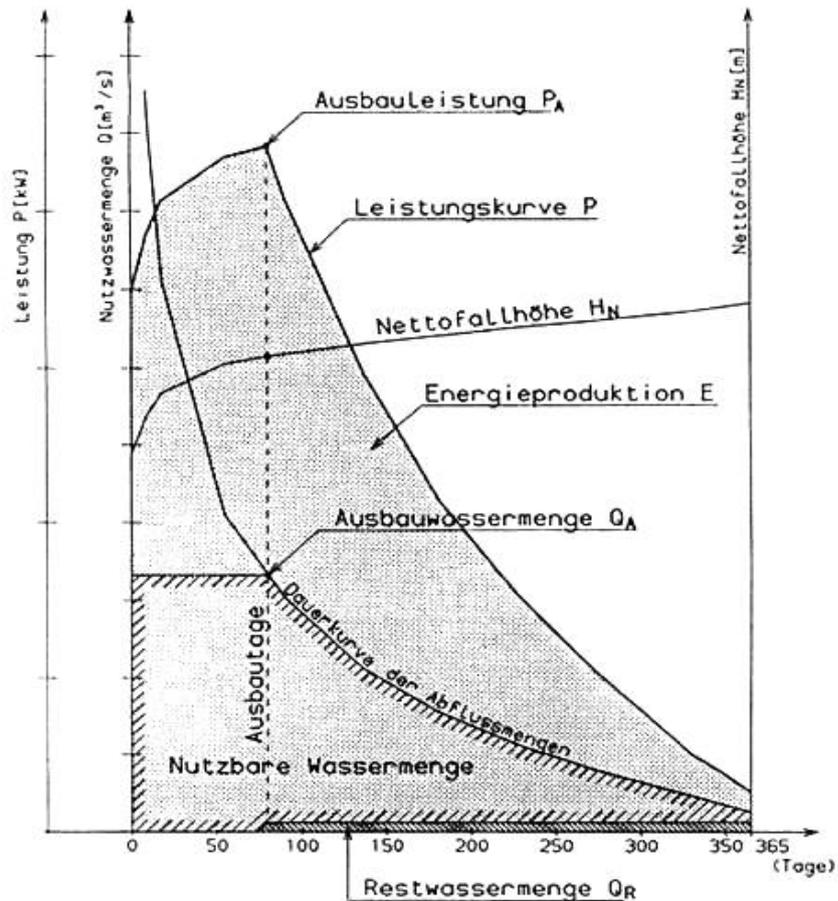


Abbildung 3.12: Leistungsplan einer Niederdruckanlage

Bei sehr großen Abflussmengen sinkt die Energieproduktion, da zum einen die Turbinen nur  $Q_A$  abarbeiten können und zum anderen der UW-Spiegel ansteigt und damit die Fallhöhe reduziert. Ist hingegen der Abfluss gering, steigt zwar die Fallhöhe, aber die Stromproduktion nimmt trotzdem deutlich ab, da sie in größerem Maße vom Abfluss abhängig ist.

Werden im Hochwasserfall die Wehrfelder geöffnet, sinkt die Fallhöhe gegen Null. Ein Absinken des Abflusses unter einen Mindestdurchfluss für Turbinen führt zu deren Abschaltung. In beiden Fällen ist die Energieproduktion gleich Null.

Für nachfolgende energiewirtschaftliche Berechnungen wurden 30-Min-Momentan-Wirkleistungswerte beider Maschinensätze von 01.01.1998 bis 22.04.2005 zur Verfügung gestellt. Weiters wurden Brutto-Erzeugungswerte als 30-min-Arbeitswerte für beide Maschinen getrennt übermittelt. Auch eine Übersicht über Maschinenlaufzeiten ab 1992 und Abarbeitungsmengen je Turbine als Tageswerte ab Inbetriebnahme standen für die Auswertungen zur Verfügung<sup>27</sup>.

Mittels Kontroll-Monats- und Jahressummen wurden die tatsächlichen Daten auf der Basis von Tageswerten kontrolliert und offensichtliche Messwertfehler korrigiert. Somit konnte die Plausibilität der Detaildaten gewährleistet werden.

### 3.2.2 Tatsächliche Jahres-Brutto-Erzeugung 1989–2004

Von Brutto-Erzeugung ist deshalb die Rede, da sie auf Basis der elektrischen Leistung ermittelt wurde. Die Netto-Erzeugung würde des Weiteren noch die Transformatorenverluste inkludieren.

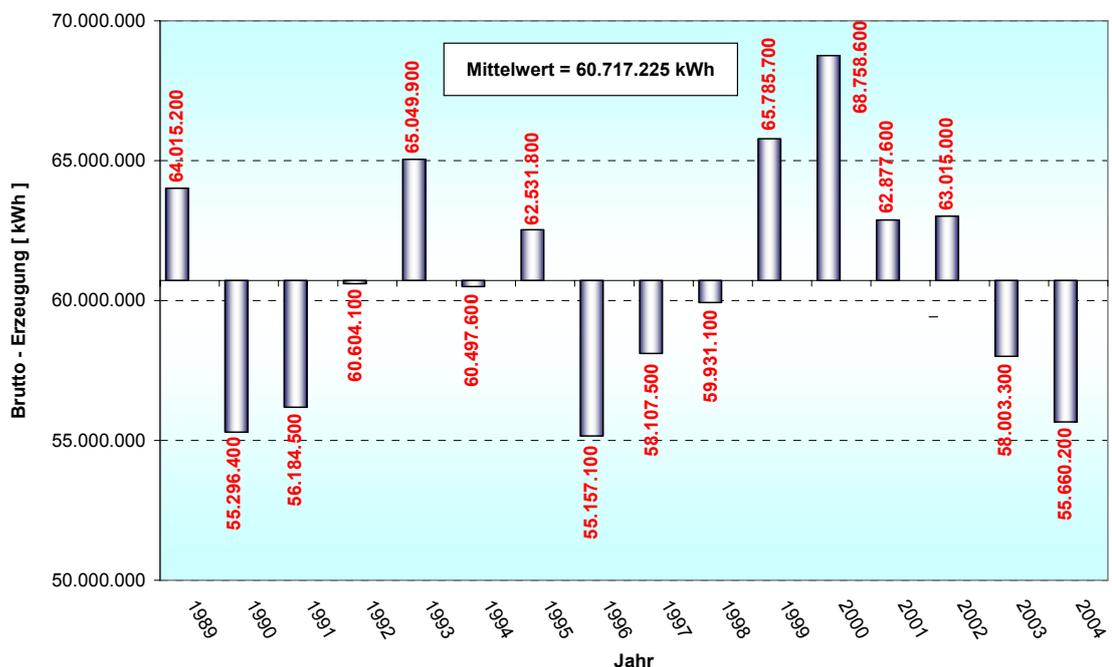


Abbildung 3.13: Jahres-Brutto-Erzeugung in [kWh]

<sup>27</sup> Übermittelt und bearbeitet von Mag. Kaar, Daten am 28.04.2005 erhalten

Vor Errichtung der Anlage wurde ein Regelarbeitsvermögen (RAV) des KW St. Veit von 67,0 Mio. kWh prognostiziert. Seit Inbetriebnahme des Kraftwerkes wurde dieser Wert nur einmal im Jahre 2000 mit 68,8 Mio. kWh überschritten. Der Mittelwert von 1989-2004 betrug 60,7 Mio. kWh und entspricht somit dem tatsächlichen Jahresarbeitsvermögen<sup>28</sup> (JAV) der Anlage. Im Vergleich liegt das tatsächliche JAV im Mittel 9,40 % unter dem prognostizierten RAV (siehe Abbildung 3.13).

Eine Fortsetzung des kontinuierlichen Abwärtstrendes ab 2000 kann für die Folgejahre nicht angenommen werden. Zu sehr ist der Einfluss der Hydrologie ausgeprägt (2003 und 2004 waren Trockenjahre).

### 3.2.3 Leistungskurve 2004

Die Nennleistung des KW-St. Veit wurde mit 16,5 MW angegeben. Diese entspricht der höchsten Dauerleistung (ohne Einschränkung) einer energietechnischen Einrichtung, für die sie bemessen ist und nach der sie „benannt“ ist. Die erhaltenen Wirkleistungsdaten sind der elektrischen Leistung gleichzusetzen.

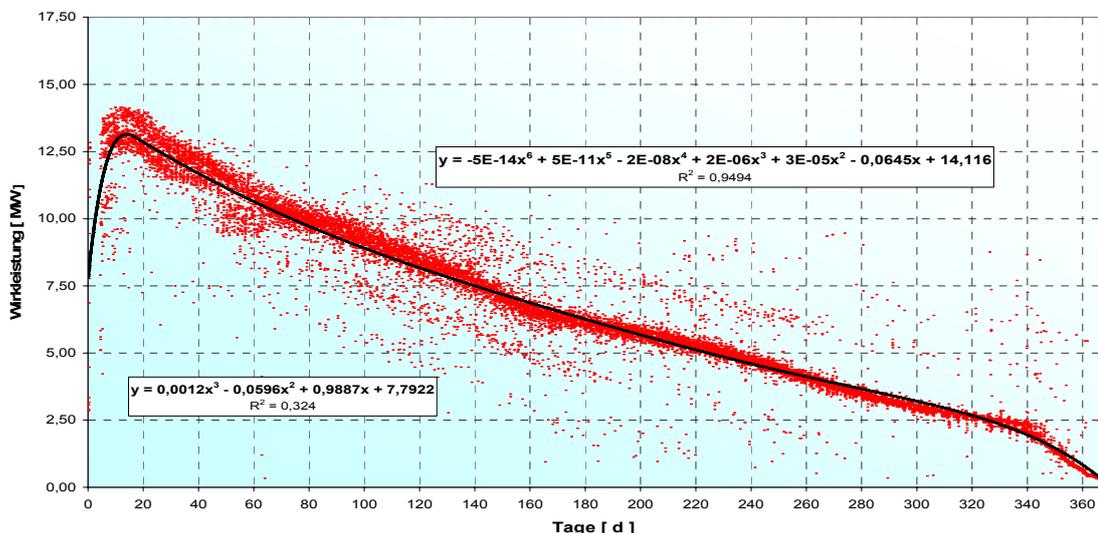


Abbildung 3.14: Leistungskurve 2004

<sup>28</sup> Lt. Definition ist es die tatsächliche gesamte Erzeugung eines Kraftwerkes im Durchschnitt, von zumindest der letzten drei Erzeugungsjahre; entnommen der „Information Kleinwasserkraft“, LandesEnergieVerein Steiermark, Graz 2004

Der Verlauf der Wirkleistungsdaten wurde durch zwei Polynomfunktionen höheren Grades angenähert. Eine Unterteilung des Funktionsverlaufes erfolgte bei Erreichen des Ausbaudurchflusses. Die im Jahr 2004 erreichte Höchstleistung betrug 14,10 MW. Durch die vereinfachte gemittelte Funktionsannäherung wird dieser Maximalbetrag auf 13,09 MW reduziert.

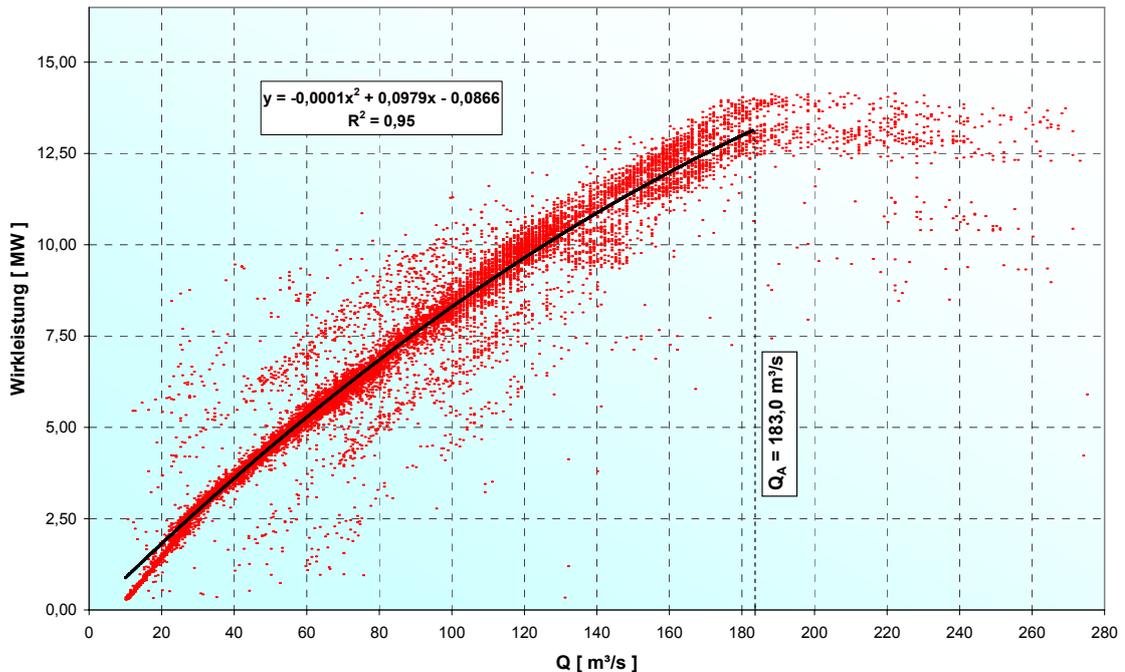


Abbildung 3.15: Zusammenhang Leistung und Durchsatz für 2004

Eine Generator-Nennleistung von  $9.500 \text{ kVA}^{29}$  je Einheit wurde den technischen Daten entnommen. Ein Funktionsverlauf für den Zusammenhang von Leistung und Durchsatz wird in Abhängigkeit der Fallhöhe angegeben. Eine Mindestdurchflussmenge von  $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$  und ein maximal möglicher Durchfluss von  $105 \text{ m}^3/\text{s}$ , aufgrund der Kavitationssicherheit, sind je Maschineneinheit angegeben worden.

Die Generatorwirkungsgrade liegen in einem Bereich zwischen  $96,30\%$  und  $98,20\%$ . Diese Angaben stammen vom Maschinenhersteller.

<sup>29</sup>  $1 \text{ [kVA]} = 1 \text{ [kW]}$

### 3.2.4 Leistungskurven-Vergleich 1998-2004

Neben der Darstellung des Verlaufes der einzelnen Jahre wurde (Abbildung 3.16) auch die Berechnung der gesicherten Leistung und der jeweils maximalen Leistung durchgeführt, jedoch wiederum für den vereinfachten Kurvenverlauf. Die tatsächlichen erreichten Höchstleistungen liegen um ca. 1,0 MW höher. Die gesicherte Leistung ist jene Bestimmungsgröße, die an 347 Tagen im Jahr erreicht wird. Ihr liegt der Zufluss, der an 95% des Jahres überschritten wird, zu Grunde.

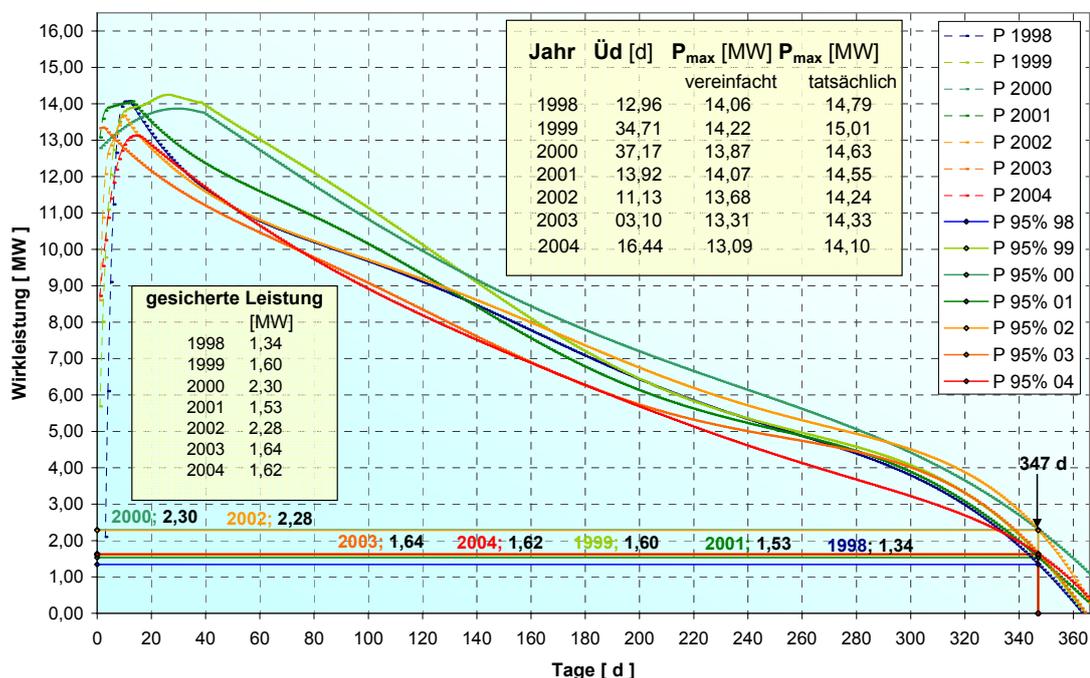


Abbildung 3.16: Leistungskurven-Vergleich 1998-2004

Das Maximum der tatsächlichen Leistung liegt im Bereich zwischen 14,10 und 15,01 MW. Eine abnehmende Tendenz der Größenordnung von 1,0 MW kann eindeutig festgestellt werden. Die gesicherte Leistung variiert zwischen 1,34 und 2,36 MW.

### 3.2.5 Mittlerer Wirkungsgradverlauf

Der Wirkungsgrad  $\eta_{\text{tot}}$  ist jener, der bis zur Generatorableitung auf der Anlage vorliegt, daraus folgt die Angabe der elektrischen Leistung. Er setzt sich wie zuvor in Kapitel 3.2.1 erläutert aus den hydraulischen Verlusten im

Triebwassersystem, den Turbinenverlusten und den Generatorverlusten zusammen. Aus den Anlagendaten wurde der Wirkungsgradverlauf für die Jahre 1998, 1999 und 2004 rückgerechnet. Für die weiterführenden vereinfachten Berechnungen wurde daraus ein mittlerer  $\eta_{\text{tot}}$ -Verlauf ermittelt.

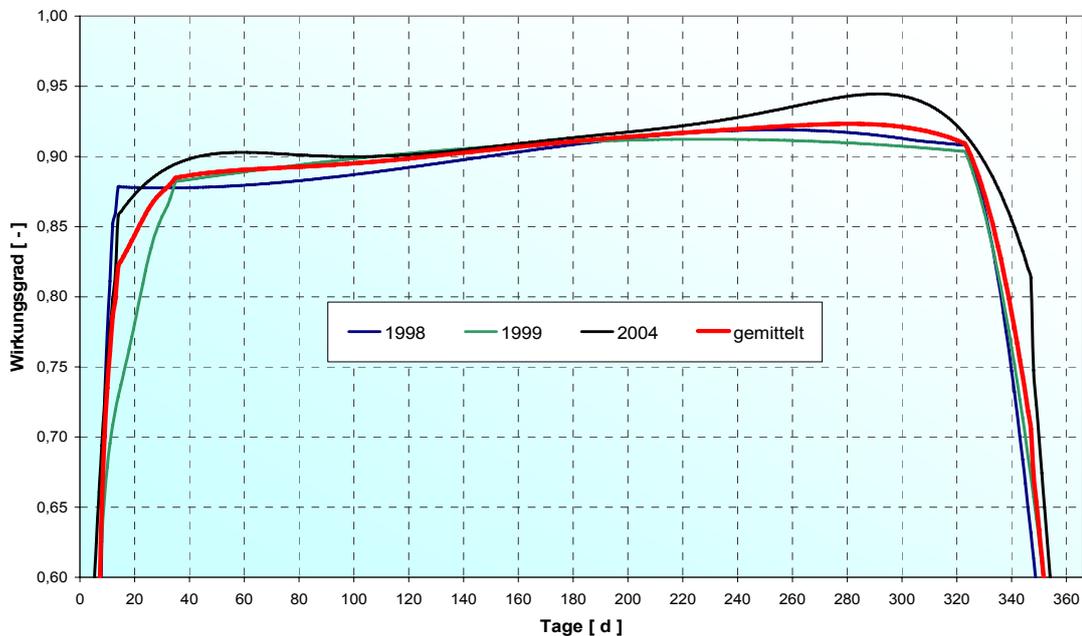


Abbildung 3.17: Wirkungsgradverläufe 1998 / 1999 / 2004 und gemittelte Annahme

Aus Abbildung 3.17 kann festgehalten werden, dass in ca. 300 Tages des Jahres ein Gesamtwirkungsgrad (ohne Transformator) von ca. 90% erreicht wurde. Dieser geringe Verlustwert kann auf die doppelt geregelte Kaplanturbine zurückgeführt werden. Ein starker Abfall des Wirkungsgrades erfolgte bei Unterschreiten einer Abflussmenge von ca. 25,0 m<sup>3</sup>/s bzw. ab Überschreiten des Ausbaudurchflusses.

## 4. Modell KW St. Veit

### 4.1 Konzeption der Modellversuche

Um die Auswirkungen von Varianten der Trennpfeilerverlängerung auf den Turbinenbetrieb und einer möglichen verbesserten Geschiebetrift im Unterwasser beantworten zu können, wurden am dem bereits bestehenden physikalischen Modell KW St. Veit im Maßstab 1 : 40 Wasserstandsmessungen durchgeführt. Aus den gemessenen Wasserspiegeln und den daraus ableitbaren Fallhöhen-Veränderungen sollten Rückschlüsse auf die mögliche Energieproduktion getroffen werden.

Überlegungen zu den Trennpfeilervarianten wurden in Anlehnung an die Erkenntnisse aus dem bereits durchgeführten Modellversuch getroffen. Folgende Varianten wurden vor Beginn der Versuche festgelegt, wobei die Variante 5 noch nachträglich hinzugefügt wurde:

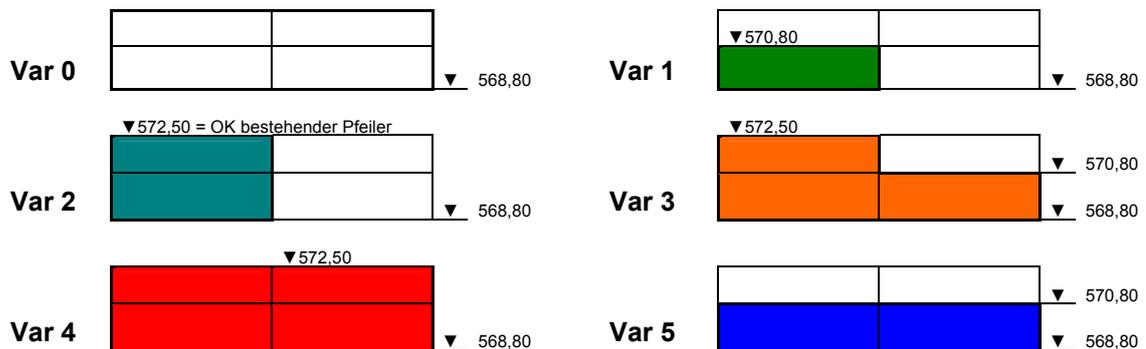


Abbildung 4.1: Ansicht Trennpfeilervarianten

Der erste Teil des Trennpfeilers hat eine Länge von 13,71 m, die gesamte Trennpfeilerverlängerung 28,08 m. Die Höhe von 572,50 m entspricht der Oberkante des bereits bestehenden Pfeilers. Ästhetische Gesichtspunkte, also ein kleineres Bauwerk ohne wesentliche Einschränkung der Wirkung, führten zur abgetreppten Überlegung (Varianten 1,3 und 5). Bei einem Mittelwasserabfluss von  $MQ = 88,80 \text{ m}^3/\text{s}$  mit einer dazugehörigen berechneten Wasserspiegelhöhe von 571,11 m wird das Bauwerk bei einer Höhe von 570,80 m gerade noch ausreichend überströmt.

- Messquerschnitte

Aus Vorgesprächen folgte die Festlegung auf 5 Messpunkte in drei Querschnitten im Turbinenauslaufbereich. Der Querschnitt QS 1 dient dem Vergleich mit den erhaltenen Natur-Pegelablesungen und befindet sich demzufolge am Ende des bestehenden Trennpfeilers. Am Ende der 1. Pfeilerverlängerung wurde Querschnitt 2 fixiert und Querschnitt 3 kommt 3,0 m nach der Auslaufkante zu liegen. Im Querschnitt 1 und 2 erfolgen zwei Messungen, die in Längsrichtung mit den jeweiligen Turbinenachsen zusammenfallen. In Abbildung 4.2 sind die Messpunkte dargestellt.

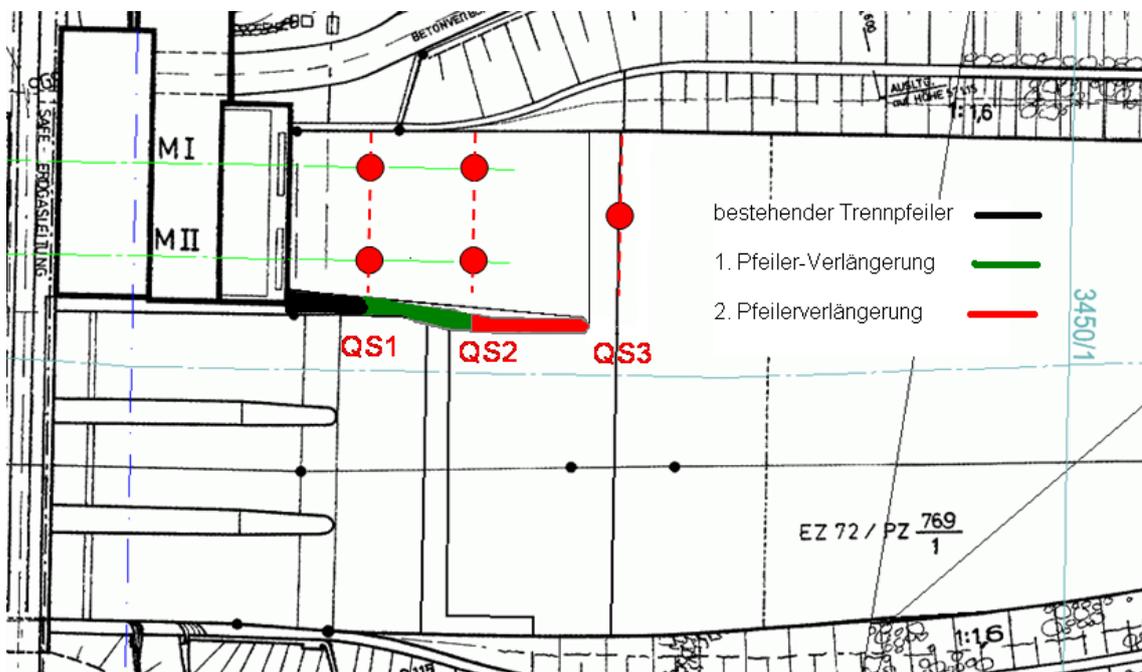


Abbildung 4.2: Darstellung der Messpunkte im Lageplan

Die Stationierung der Messpunkte ab Laufradachse sind nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Stationierung Modellmessung		
	Salzach -KM	Profilabstand
	[km]	[m]
<b>Laufradachse</b>	131,750	0
<b>QS 1</b> ≡ P 3530	131,722	28,49
<b>QS 2</b>	131,708	42,20
<b>QS 3</b>	131,690	59,57
<b>P 3200</b>	131,395	355,00

Tabelle 4.1: Stationierung der Messquerschnitte

Bezüglich der Zuflussvariation bei der Versuchsdurchführung wurde im Vorfeld eine Beschränkung auf folgende 4 Beaufschlagungen vorgenommen (Ausbaudurchfluss  $Q_A$ ):

- $Q_A = 183,00 \text{ m}^3/\text{s}$
- $3/4 Q_A = 137,30 \text{ m}^3/\text{s}$
- $1/2 Q_A = 91,50 \text{ m}^3/\text{s}$
- $3/8 Q_A = 68,60 \text{ m}^3/\text{s}$

Bei ersteren beiden ( $Q_A$ ,  $3/4 Q_A$ ) wird im Versuch eine gleichmäßige Anströmung beider Maschinensätze vorausgesetzt. Ab  $1/2 Q_A$  wird nur eine Turbine betrieben, welche durch eine Messblende, die im Laufradquerschnitt angeordnet ist, simuliert wird.

Für jede dieser Beaufschlagungen musste eine entsprechende Turbinenblende in Vorversuchen kalibriert werden. Über die Anpassung der Kreisdurchmesser erhält man zugehörige Blendenverluste bis letztendlich bei gegebenem Durchfluss das Stauziel gehalten werden kann. Dieser Eichvorgang stellte sich als sehr zeitaufwändig dar, eine Genauigkeit im 1/10 mm-Bereich war erforderlich. Theoretische Berechnungsansätze lieferten keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

## **4.2 Versuchsaufbau und Messtechnik**

### *4.2.1 Modellähnlichkeit, Modellgesetze*

Als hydraulisches Modell wird die geometrisch verkleinerte Nachbildung des zu untersuchenden Naturbauwerkes im hydraulischen Labor bezeichnet. Zwischen den im Modell und im Naturbauwerk ablaufenden Strömungsvorgängen und Erscheinungen muss mechanische Ähnlichkeit vorliegen, um die Modellergebnisse auf die Natur übertragen zu können.

Die Forderung nach mechanischer Ähnlichkeit eines Modells mit seinem Prototyp setzt folgende Kriterien voraus:

- Geometrische Ähnlichkeit: diese liegt vor, wenn alle entsprechenden Strecken in der Natur und im Modell in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen;
- Kinematische Ähnlichkeit: sie erfordert konstante Verhältnisse der Geschwindigkeit und Beschleunigung in Natur und Modell;
- Dynamische Ähnlichkeit: basiert auf der geometrischen und kinematischen Ähnlichkeit und besagt, dass in Natur und Modell einander entsprechende Kräfte stets im gleichen Verhältnis stehen.

Das hydraulische Modell wurde nach dem Froude'schen Ähnlichkeitskriterium als nicht überhöhtes Vollmodell betrieben. Der Modellmaßstab wurde mit 1 : 40 festgelegt. Froude'sche Ähnlichkeit bedeutet, dass das Verhältnis der Trägheits- und Schwerekräfte in der Natur und im Modell gleich ist. Definiert man die Maßstabszahl  $L_R$  mit dem Verhältnis der Längen  $L_N$  in der Natur zu den Längen  $L_M$  im Modell<sup>30</sup> ( $L_R = L_N/L_M = 40$ ), so ergeben sich die anderen Übertragungsfunktionen nach folgenden Beziehungen:

$$\text{Flächen} \quad A_R = L_R^2 = 1.600,00$$

$$\text{Geschwindigkeiten} \quad v_R = \sqrt{L_R} = 6,32$$

$$\text{Zeiten} \quad t_R = \sqrt{L_R} = 6,32$$

$$\text{Durchflüsse} \quad Q_R = (L_R)^{\frac{5}{2}} = 10.119,29$$

Das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz besagt demnach, dass die Froudezahl der Strömung in Natur und Modell gleich sein muss. Als Anwendungsgebiete kommen alle Fließvorgänge mit freiem Wasserspiegel in Frage.

---

<sup>30</sup> Index      N..... Naturausführung  
                   M .... Modell

Für den gegebenen Fall ergeben sich folgende Beziehungen:

Beaufschlagung	Q <sub>Natur</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Modell</sub> [l/s]
3/8 Q <sub>A</sub>	68,60	6,78
1/2 Q <sub>A</sub>	91,50	9,04
3/4 Q <sub>A</sub>	137,30	13,56
Q <sub>A</sub>	183,00	18,08
HQ <sub>1</sub>	220,00	21,74

Tabelle 4.2: Beziehung der Wassermengen zwischen Natur und Modell

#### 4.2.2 Modellaufbau

Das Modell umfasst den Oberwasserbereich auf eine Länge von ca. 250 m und den Unterwasserbereich auf eine Länge von ca. 450 m, die Wehranlage und den Triebwasserweg (Turbineneinlauf bis Saugschlauch). Im Oberwasser wurde die linksufrige Seichtwasserzone mitberücksichtigt, im Unterwasser wurde der Fluss bis knapp vor der Einmündung des Großarlbaches modelliert.

STATIONIERUNG lt. Längenschnitt SZ-G 51.26		
	Salzach - Km	Profilabstand bezogen auf die Laufradachse
	[km]	[m]
Laufradachse	131.750	0
P 3500	131.694	56,00
P 3450	131.640	110,00
P 3400	131,583	167,00
P 3200	131.395	355,00

Tabelle 4.3: Stationierung UW St. Veit lt. Längenschnitt SZ-G 51.26

Die Böschungen und die Wehranlage wurden aus Beton hergestellt. Das linksufrige Maschinenhaus und die Segmentverschlüsse mit den aufgesetzten Klappen wurden aus Kunststoff (Troidur bzw. Plexiglas) gefertigt. Vom bestehenden Kraftwerk wurde der Teil, der unter Kote 584,50 m.ü.A. liegt, naturgetreu nachgebildet.



Abbildung 4.3: Trockenfoto Modell St. Veit (Blick vom Stauraum flussabwärts)

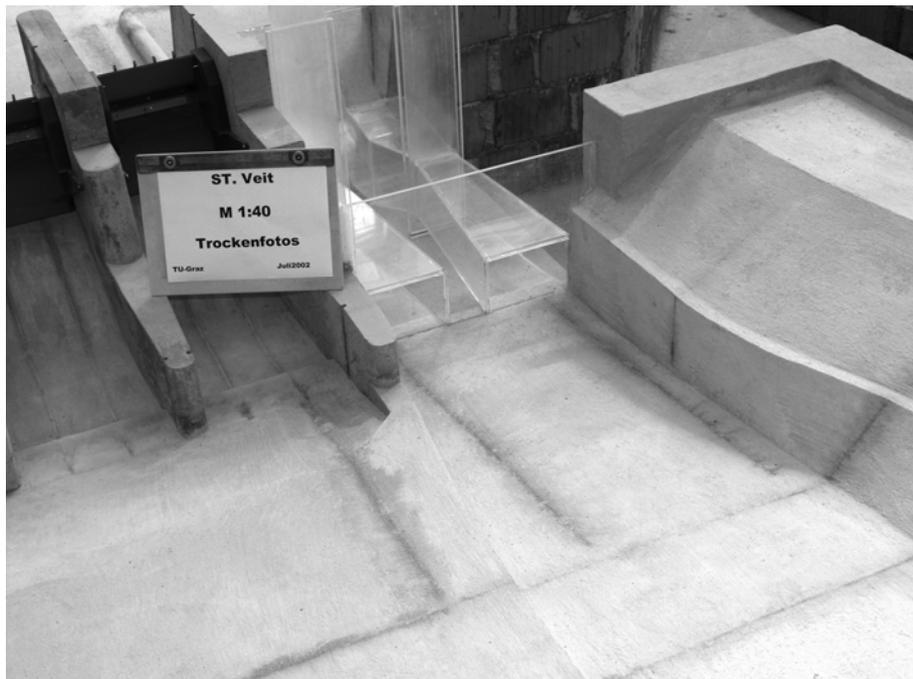


Abbildung 4.4: Trockenfoto Modell St. Veit (Turbinenauslauf), Variante 0

Die Flusssohle wurde je nach Versuchsanforderung als feste oder bewegliche Sohle ausgeführt. Als Ausgangszustand für die Sohle wurde die kollaudierte Sohle zu Grunde gelegt.

Die Unterwasserstände wurden über eine „Obermeyer-Klappe“ am Modellende entsprechend den in den Einreichplänen eingetragenen Wasserständen im Profil 3200 eingestellt (Längenschnitt Salzach km 129,846 bis km 133,567; Plan Nr. SZ-G 51.26).



Abbildung 4.5: Klappe am Modellende  
(regulierbar)



Abbildung 4.6: Pegelabtastung im Profil 3200

Die Regulierung der Klappe erfolgte druckluftgesteuert. Eine automatische Pegelabtastung mit Kontrolllampe stand zur Verfügung. Über ein entsprechendes Steuerrelais wurde der Einspielvorgang (Anpassung UW-Spiegel) erleichtert.

<b>P 3200 Salzach - km 131.395 lt. Längenschnitt SZ-G 51.26</b>		
Beaufschlagung	$Q_{\text{Natur}}$ [m <sup>3</sup> /s]	Pegel 3200 [müA]
3/8 $Q_A$	68,60	570,79
1/2 $Q_A$	91,50	570,96
3/4 $Q_A$	137,30	571,37
$Q_A$	183,00	571,76
HQ <sub>1</sub>	220,00	571,96

Tabelle 4.4: Wasserstände im Profil 3200 lt. Einreichung

Die Wasserversorgung des Modells erfolgte über eine Rohrleitung DN 100 mit einem eingebauten induktiven Durchflussmesser. Die Beschickung des Modells mit Geschiebe erfolgte im Bereich der Wasserzugabe mittels einer Zugabestation gleichmäßig über den Querschnitt verteilt (Abbildung 4.7).



Abbildung 4.7: mobiles Geschiebezugabegerät

Sowohl die Geschwindigkeit der Querbewegung als auch die Intensität der Zugabemenge über Vibration ist einstellbar. Des Weiteren unterstützt ein drehbares Rührwerk die Gleichmäßigkeit der Beigabe.

#### 4.2.3 Modellierung des Geschiebes

Die Simulation der Geschiebebewegungen erfolgte mit Strahlgranulat (Hochfenschlacke) der Kornklasse 0,5-1,5 mm. Zum Vergleich wurden beim Modellversuch 2002/03 Quarzsand (0,3-1,7 mm) und Keramiksand (0,5-1,2 mm) verwendet. Die Parameter können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die Granulatkörnung wurde auf Grundlage von sechs Probenentnahmen aus den Verlandungsbänken im UW St. Veit 2002 ausgewählt. Drei dieser Geschiebeproben wurden oberflächlich und 3 in einer Tiefe von ca. 1,50 m im Jänner 2002 entnommen.

	Natur-Kies <sup>1</sup> (6 Proben)	Keramik- sand <sup>2</sup>	Quarz- sand <sup>2</sup>	Strahlgranulat <sup>3</sup> (Hochofen- schlacke)
Kornklasse [mm]	0,125 - 90	0,5 – 1,2	0,3 -1,7	<b>0,5 – 1,5</b>
Korndichte $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,65	2,66	2,64	<b>3,00</b>
Wirksame Korngröße $d_{10}$ [mm]	0,25 – 2	0,30	0,73	<b>0,71</b>
$d_{60}$ [mm]	10 – 30	0,63	1,30	<b>1,21</b>
Ungleichförmigkeitszahl	10 - 55	2,1	1,8	<b>1,7</b>
<sup>1)</sup> It. Materialversuchsanstalt Strass, Verbundplan Prüf.- und Messtechnik GmbH, Strass Jänner 2002				
<sup>2)</sup> It. Institut für Siedlungswasserbau und Landschaftswasserbau TU Graz, Untersuchungsbefund – Bodenlabor, Graz Oktober 2002				
<sup>3)</sup> It. Institut für Bodenmechanik und Grundbau TU Graz, geotechnisches Labor, Graz November 2005				

Tabelle 4.5: Zusammenstellung der bodenmechanischen Kennwerte des Geschiebes

Das Modellgesetz<sup>31</sup> für den Einsatz der Sedimente lautet:

$$L_r = h_r = d_r \cdot \Delta\rho_r$$

$$\Rightarrow d_M = \frac{d_N}{40} \Delta\rho_r \quad \text{mit: } \Delta\rho_r = \frac{(\rho_s - \rho_w)_N}{(\rho_s - \rho_w)_M}$$

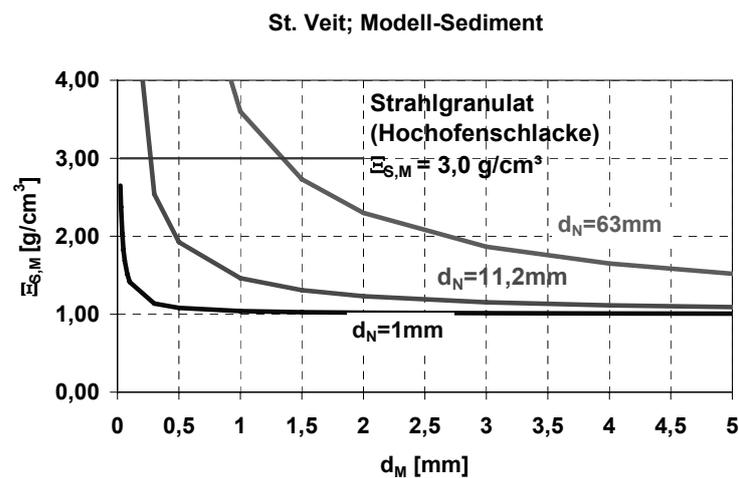


Abbildung 4.8: Zusammenhang Korndurchmesser und -dichte im Modell

<sup>31</sup> Kobus, H.: „Wasserbauliches Versuchswesen“ DVWK, Band 39, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, 1984

Für die Verwendung des Strahlgranulates  $0,5 < d_M < 1,5$  mm ergibt sich demnach ein äquivalenter Natur-Kies im Korngrößenbereich von  $24 < d_N < 73$  mm, was im Mittel dem groben Bereich der Natur-Kornverteilungskurve entspricht.

Aufgrund eines Materialbedarfs von ca. 2.000 kg und der fehlenden Verfügbarkeit auf Lieferseite des Keramiksandes in ausreichender Menge, musste das Strahlgranulat (Hochofenschlacke) herangezogen werden. Eine direkte Vergleichbarkeit der Modellversuche 2003 und 2005 war somit nicht möglich.

Zu Versuchen mit beweglicher Sohle sei generell festgehalten, dass hier die qualitative Beurteilung der Ergebnisse im Vordergrund der Überlegungen steht. Die wesentliche Aussage liegt somit in der modellinternen Vergleichsmöglichkeit der in einem Messdurchgang durchgeführten Versuche und der qualitativen Beurteilung von Erosions- und Anlandungsprozessen.

#### 4.2.4 Messeinrichtung zur Erfassung der Wasserspiegelhöhen

- FAFNIR-Sonden

Die Wasserstandsmessungen erfolgten mit kontinuierlicher Trennschichtmessung nach dem potenziometrischen Messprinzip (MSR). Der Sensor MSR der Firma FAFNIR<sup>32</sup> besteht aus zwei Edelstahlsonden. Legt man an eine der beiden Edelstahlsonden eine Spannung an, so fließt durch diese ein Strom. Es erfolgt ein linearer Spannungsabfall an dem elektrischen Eigenwiderstand des Sondenmaterials. Tauchen die zwei Sonden in eine leitfähige Flüssigkeit ein, so entsteht an der stromführenden Sonde und der Flüssigkeit ein Potentialunterschied. Dieser Potentialunterschied wird über die zweite Sonde gemessen. Er ist proportional der Füllhöhe, sprich Wasserstand.

Da der Eigenwiderstand der Edelstahlsonden im Vergleich zum Medium sehr viel kleiner ist, können alle Flüssigkeiten mit einer elektrischen Leitfähigkeit

---

<sup>32</sup> FAFNIR: Produktinformation, Stand 01/2005: <http://www.fafnir.de>, Graz August 2005

$>1 \mu\text{S}/\text{cm}$  ohne Nachjustierung gemessen werden<sup>33</sup>. Die Messgenauigkeit liegt bei  $\pm 1 \text{ mm}$ .

Die Kalibrierung der Sonden wurde von Messtechnikern vorgenommen, wobei Spannungsbereich und Messbereich auf den Modellmaßstab abgestimmt wurden.

Insgesamt drei Sonden wurden im Versuch eingesetzt. Die nebeneinander im QS 1 und QS 2 befestigten Sonden sind verschieblich. Sie wurden auf einem parallel zur Maschinenachse in Längsrichtung geführten Messwagen montiert.

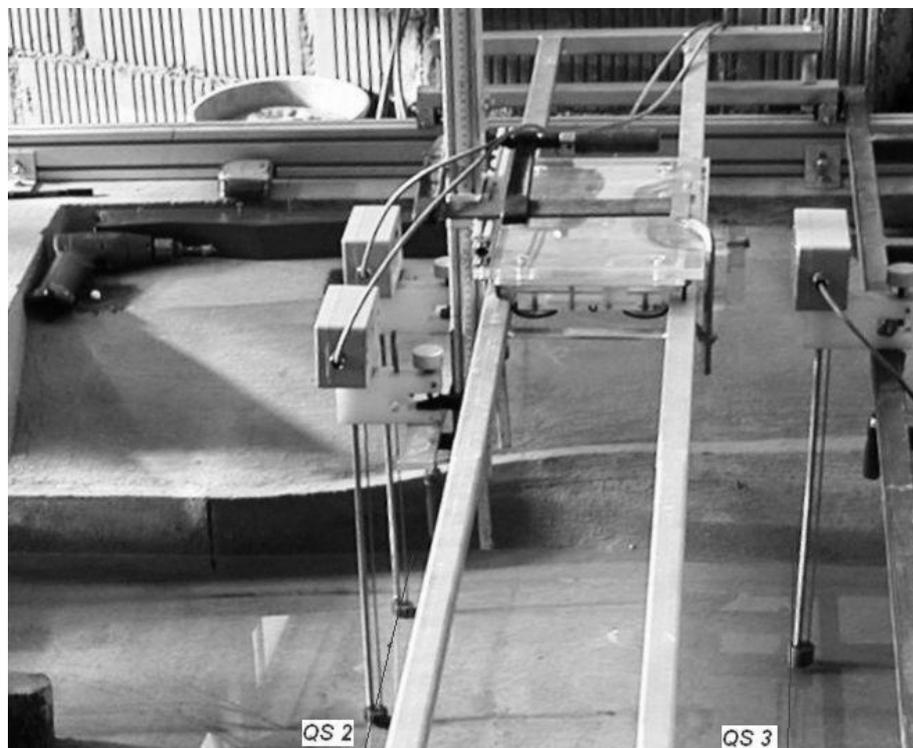


Abbildung 4.9: Sondenmontage (2-mal QS 2, QS 3)

---

<sup>33</sup> zum Vergleich: elektrische Leitfähigkeit von Leitungswasser:  $\sim 0,05 \text{ S}/\text{m}$  ( $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ )



Abbildung 4.10: FAFNIR Sonden im Versuch (2 mal QS 1 und QS 3)

- Datenerfassung

Alle analogen Ausgangssignale der Sonden werden über Verstärker in einen Laptop eingelesen. Gesteuert, erfasst und verwaltet werden alle Daten mittels LabVIEW, eine auf der graphischen Programmiersprache G basierende Entwicklungsumgebung. Einstellbar sind Maßstabsfaktor, Offset und die Abtastrate pro Sonde sowie die Dauer der Messung.

- Abtastrate: 100 Messwerte pro Sekunde
- Messdauer: 60 Sekunden

Die Eichung der eingebauten Sonden erfolgte durch die Einstellung der jeweiligen Offset-Werte. Damit wird erzielt, dass die Ausgabewerte in Naturhöhen [m.ü.A.] angegeben werden. Die Programmierung der Ausgabe erfolgte dermaßen, dass Mittelwerte je Sonde, die Differenz der nebeneinander montierten Sonden 1 und 2 und deren gemeinsamer Mittelwert automatisch berechnet wurden. Abgespeichert als ASCII-File standen danach die Messdaten zur weiteren Berechnung zur Verfügung.

### 4.3 Versuchsdurchführung

#### 4.3.1 Kalibrierung

Die Einstellung der Unterwasserspiegel wurde jeweils in Bezug auf die Wasserspiegellage im Profil P 3200 vorgenommen. Dabei wurde die Schlüsselkurve aus den Werten der kollaudierten Profile (Längenschnitt Salzach, Plan Nr. SZ-G 51.26, siehe Tabelle 4.3) verwendet. Dies gilt für die Versuche ohne Geschiebe mit den Varianten 0 bis 5.

Die Kalibrierung der unverlandete Sohle wurde bereits im Zuge des Modellversuchs zum Gutachten „Salzachkraftwerk St. Veit – hydraulischer Modellversuch“ durchgeführt und in diesem in Anlage 9 dokumentiert. Es wurden die gemessenen Wasserspiegellagen dem gerechneten Längenschnitt (Profile P 3000 bis P 3450) gegenübergestellt. Natur- und Modelldaten zeigten gute Übereinstimmung.

- Variante Kalibrierung verlandete Sohle (VAR 0 fest)

Nach aktueller Profilvermessung vom 7. April 2005 wurde im UW in den Profilen P 3500 bis P 3000 der verlandete Zustand nach Schablonenvorlagen eingebaut. Um bei Durchführung des Versuches ein Abtriften der Sandkörner zu verhindern, wurde diese Sohle leicht mit Zementstrich befestigt. Im Profil P 3200 wurde eine mittlere Verlandungshöhe aus Naturdaten von 1,80 m errechnet. Die Einstellung der Spiegelhöhen erfolgte nach kollaudierten Höhen zuzüglich dieser Differenzhöhe (siehe Tabelle 4.6).

VAR 0 fest	Q <sub>Natur</sub>	Q <sub>Modell</sub>	Pegel		P 3200
			3200	P 3200	Soll Ist
	[m <sup>3</sup> /s]	[l/s]	[müA]	$\Delta h = 1,80m$	UW eingestellt
<b>Sohle</b>	0,0	0,00	568,57	570,37	
<b>3/8 * Qa</b>	68,6	6,78	570,79	572,59	<b>572,59</b>
<b>0,5 * Qa</b>	91,5	9,04	570,96	572,76	<b>572,76</b>
<b>0,75 * Qa</b>	137,3	13,56	571,37	573,17	<b>573,17</b>
<b>Qa</b>	183,0	18,08	571,76	573,56	<b>573,56</b>

Tabelle 4.6: UW Einstellhöhen im Profil P 3200 bei VAR 0 fest

Am Ende des bestehenden Trennpfeilers, auf der Seite des Turbinenauslaufes, wird vom Anlagenbetreiber eine automatische UW-Pegelaufzeichnung durchgeführt (entspricht Messquerschnitt QS 1). Aus diesen viertelstündlich geführten Pegelaufzeichnungen wurde ein vergleichbarer, tagesaktueller Pegelschlüssel 2005 errechnet und im Anschluss den gemessenen Werten aus dem Modellversuch gegenübergestellt. Aus nachfolgender Tabelle ist ersichtlich, dass sehr gute Übereinstimmung zwischen Natur- und Messdaten bei Annahme dieser mittleren Verlandungshöhe von 1,80 m vorliegt. Diese Abweichungswerte sind geringer als die Messgenauigkeit der FAFNIR-Sonden im Naturmaß von  $\pm 4,0$  cm.

<b>VAR 0 fest</b>	<b>Q<sub>Natur</sub></b>	<b>Q<sub>Modell</sub></b>	<b>Pegel Trennpfeiler</b>	<b>Modell QS 1 Ist</b>	<b>Abweichung Modell / Natur</b>
	[m³/s]	[l/s]	Soll lt. Pegelschlüssel 07.04.2005	MW der Messungen aus Sonde 1 und 2	Differenz aus Soll zu Ist
<b>Sohle</b>	0,0	0,00	568,8		[m]
<b>3/8 * Q<sub>A</sub></b>	68,6	6,78	572,448	572,464	<b>-0,016</b>
<b>0,5 * Q<sub>A</sub></b>	91,5	9,04	572,628	572,569	<b>0,059</b>
<b>0,75 * Q<sub>A</sub></b>	137,3	13,56	572,882	572,887	<b>-0,005</b>
<b>Q<sub>A</sub></b>	183,0	18,08	573,065	573,035	<b>0,030</b>

Tabelle 4.7: Abweichung Modell / Natur bei VAR 0 fest

#### 4.3.2 Feste Sohle (ohne Geschiebebeigabe)

Wie in der Konzeption der Modellversuche erläutert, wurde für die Varianten 0 bis 5 bei den entsprechenden Beaufschlagungen in den festgelegten Messpunkten die Wasserstandsmessungen durchgeführt. Das Unterwasser wurde im Pegel 3200 nach dem gerechneten Längenschnitt eingestellt (Tabelle 4.4).

Dabei wurde das Modell an einem Messtag bei einer konstanten Beaufschlagung ( $Q_A$ ,  $3/4 Q_A$ ,  $1/2 Q_A$  oder  $3/8 Q_A$ ) in Betrieb genommen und die Trennpfeilervarianten (Verlängerungen und Aufsätze) abgewechselt. Somit konnte die Zuflussmenge, das Stauziel und das Unterwasser konstant gehalten werden. Diese Messungen wurden von 31. August bis 06. September 2005 durchgeführt.

### 4.3.3 Bewegliche Sohle (mit Geschiebezugabe)

Aus der laufenden Stauraumvermessung, durchgeführt durch die Verbund EHV Vermessung Kaprun, wurden die nachfolgenden Kubaturangaben (2004 bis 2005) berechnet. Diese wurden für den Modellversuch herangezogen.

Erforderliche Geschiebemenge Natur und Modell					
Zeitpunkt der Vermessung	05.04.2004		05.04.2005		Eimer
	Volumen	$V_N$	$V_N$	$V_N$	
	[m3]	[m3]	[m3]	[dm3]	[12lit]
Profil 1800/1 bis Wehr	16.732	8.636	8.096	127	11
Profil 1800/1 bis Stauwurzel	169.466	73.956	95.510	1.492	124
Gesamt	186.198	82.592	103.606	1.618,8	135
Differenz zum Vorjahr	47.501	-103.606			
Profil 3200 - Wehr			9.398	147	12

Tabelle 4.8: Geschiebemenge Natur und Model (April 04 bis April 05)

Eine grafische Darstellung der Anlandungen sei in nachfolgender Abbildung exemplarisch dargestellt. Sie zeigt die Gesamtkubatur und die Anlandung im Oberwasser St. Veit im Jahr 2002. Besonders sei auf die Darstellung der maximal zulässigen Anlandungssohle hingewiesen, deren Einhaltung nach dem WR-Bescheid es nachzuweisen gilt:

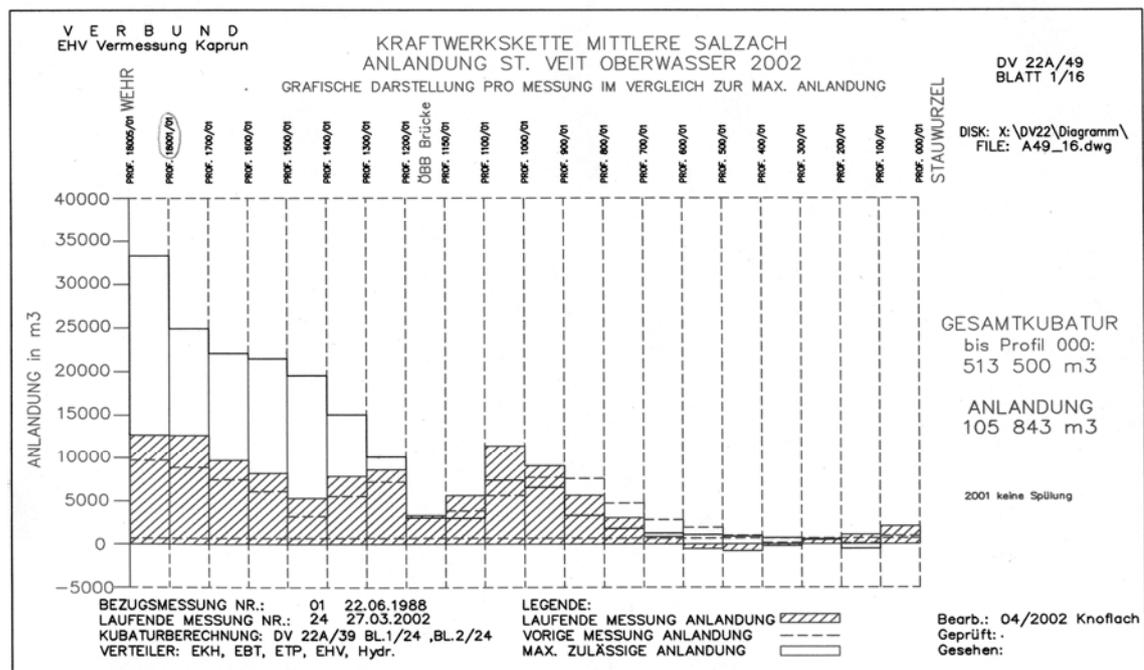


Abbildung 4.11: Anlandung St. Veit Oberwasser 2002

Bei der Durchführung des Spülvorganges mussten viele der zuvor behandelten Überlegungen berücksichtigt werden. Insbesondere galt es die Vorgaben der Betriebsvorschrift in den einzelnen Spülphasen einzuhalten. Von einer Simulation einer natürlichen Hochwasserwelle im Modellversuche musste betriebstechnisch Abstand genommen werden, da sonst eine gegenseitige Beeinflussung mehrerer parallel laufender Versuche stattgefunden hätte. Auch zwecks Vereinfachung einigte man sich auf eine konstante Beauschlagung mit der Abflussmenge von  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ , dies entspricht dem  $HQ_1$ .

<b>Spülvorgang - Vorgaben</b>			
		<b>Modellmaßstab = 1 : 40</b>	
<b>Ausgangssituation Turbinenbetrieb</b>		<b>Natur</b>	<b>Modell</b>
	Wehrfelder 1 bis 3 geschlossen		
	Stauraum gefüllt mit	8.096 $\text{m}^3$	127 lit
	Turbinenbetrieb bei Stauziel 582,00		
	Durchfluss $Q_A$ (Maschinen 1 und 2)	183 $\text{m}^3/\text{s}$	18,08 l/s
<b>Abstauvorgang</b>			
	Durchfluss $HQ_1$	220 $\text{m}^3/\text{s}$	21,74 l/s
	Klappe WF 1 (orografisch links) umlegen, anschl. Segment WF 3 öffnen		
	Abstau bis Kote 579,00 in	85 min	13 min
	Abstaugeschwindigkeit	3,5 cm/min	5,6 mm/min
	Abstellen der Maschinen auf Kote 579,00 anschl. Segment WF 1 und WF 2 öffnen		
	Abstau bis Kote 576,00 in	135 min	21 min
	Abstaugeschwindigkeit	3,0 cm/min	4,7 mm/min
	Abstau bis zum freien Durchfluss	50 min	8 min
<b>Spülvorgang</b>			
	Wehrfelder 1 bis 3 geöffnet		
	Gesamtspüldauer	50 h	474 min
	Sedimentzugabe nach	4 h	40 min
	Zugabevolumen	95.510 $\text{m}^3$	1492 lit
	Zugabegeschwindigkeit		17,2 Eimer/h
	(Gesamtvolumen)	103.606 $\text{m}^3$	1619 lit
<b>Nachspülvorgang</b>			
	Durchfluss Q	220 $\text{m}^3/\text{s}$	21,74 l/s
	Spüldauer	25 h	237 min
<b>Aufstauvorgang</b>			
	Segmente WF 2 und 3 schliessen		
	Segment WF 1 steuert Aufstaugeschwindigkeit		
	Aufstau auf Kote 579,00 in	200 min	32 min
	Turbinenbetrieb ab Kote 579,00		
	Durchfluss $Q_A$ (Maschine 1)	183 $\text{m}^3/\text{s}$	18,08 l/s
	Aufstau auf Kote 582,00 in	170 min	27 min
<b>Nachspülung im Turbinenbetrieb</b>			
	Durchfluss $Q_A$ (Maschinen 1 und 2)	183 $\text{m}^3/\text{s}$	18,08 l/s
	Dauer	25 h	237 min

Tabelle 4.9: Durchführungsbestimmungen Geschiebeversuch

Der gesamte Versuchsablauf sei nochmals im Zeitraffer von Tätigkeiten je Tag aufgelistet:

<b>Spülvorgang - Zeitplan</b>			
<b>Tätigkeiten im Tagesschema</b>			
<b>Tag 1</b>			
	Zugabegerät testen		
	Oberwasserbereich mit Sand verfüllen und markieren		
	Unterwasserbereich säubern		
	Messeinrichtungen aufbauen		
	Strahlgranulat (ca. 2000 kg) vorbereiten		
<b>Tag 2</b>			
08:00 - 08:15	Vorbereitungen		
08:15 - 08:30	Ober- und Unterwasserbereich mit Wasser füllen		
08:30 - 08:45	Turbinenbetrieb $Q_A$		
08:45 - 09:30	Abstauvorgang $HQ_1$		
09:30 - 17:30	Spülvorgang $HQ_1$		
17:30 - 17:45	Abschalten		
17:45 - 18:45	Sand aus Auffangraum schaufeln und trocknen		
18:45 - 19:00	Absaugen feuchter Stellen		
<b>Tag 3</b>			
08:00 - 09:00	Vorbereitungen		
08:00 - 09:00	Aufnahme für Photogrammetrie und Einmessen von Kontrollpunkten		
09:00 - 09:15	Einmessen des UW-Pegels		
09:15 - 13:15	Nachspülvorgang $HQ_1$		
13:15 - 14:15	Aufstauvorgang ( $HQ_1 \rightarrow Q_A$ )		
14:15 - 18:15	Nachspülung im Turbinenbetrieb $Q_A$		
18:15 - 18:30	Abschalten		
18:30 - 19:30	Sand aus Oberwasserbereich und Auffangraum schaufeln und trocknen		
19:30 - 19:45	Absaugen feuchter Stellen, Wehrfelder mit Silikon verschließen		
<b>Tag 4</b>			
08:00 - 09:00	Vorbereitungen		
08:00 - 09:00	Aufnahme für Photogrammetrie und Einmessen von Kontrollpunkten		
09:00 - 09:15	Ober- und Unterwasserbereich mit Wasser füllen		
09:15 - 10:15	Einmessen der FAFNIR-Sonden und des UW-Pegels (Neuberechnung)		
10:15 - 13:45	Messung UW-Spiegel für alle Beaufschlagungen		
13:45 - 14:00	Abschalten		
14:00 - 16:00	Sand aus Unterwasserbereich schaufeln und trocknen		
	Strahlgranulat ausbreiten zum Trocknen		

Tabelle 4.10: Spülversuch im Zeitraffer

Es sei angemerkt, dass im gesamten Spülvorgang eine UW-Einstellung im P 3200 nach dem gerechneten Längenschnitt erfolgte (für  $Q_A$  und  $HQ_1$ ).

#### 4.3.4 Einstellhöhen im Unterwasser bei P 3200

Für die Durchführung der Geschiebeversuche kamen folgende Varianten zur Anwendung:

- Variante 0 fest (Naturzustand)
- Variante 0 beweglich (Naturvergleich aus Spülvorgang ohne Trennpfeilerverlängerung)
- Variante 4 (gesamte Trennpfeilerverlängerung auf Höhe 572,50 m.ü.A.)
- Variante 5 (gesamte Trennpfeilerverlängerung auf Höhe 570,80 m.ü.A.)

Variante 0 fest entspricht dem tatsächlichen Verlandungszustand im Unterwasser von St. Veit am 7. April 2005. Sie wurde, wie unter 4.3 auf Seite 60 beschrieben nach Profilverlagen im Unterwasser des Modells eingebaut und patschokkiert. Aus Pegelstandsmessungen desselben Tages (im Unterwasser von St. Veit am Ende des bestehenden Trennpfeilers) standen für diesen Modellversuch Vergleichswerte zur Verfügung. Bei Berücksichtigung einer mittleren Verlandungshöhe von 1,80 m im P 3200 war eine Übereinstimmung gegeben (siehe 4.3.3).

Für die Variante 0 beweglich wurden nun dieselben Höhen im P 3200 eingestellt, um darzustellen, ob das verwendete Strahlgranulat nach Ende des Spülversuches ohne Trennpfeilerverlängerung denselben Wasserspiegelverlauf liefert. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich im Turbinenauslaufbereich im Mittel ein um 25 cm höherer Wasserstand, bei allen untersuchten Wasserführungen, einstellte.

Für die Varianten 4 und 5 wurden die Verlandungshöhen durch Profilaufnahmen im Querschnitt P 3200 nach dem durchgeführten Spülvorgang entnommen. Deren Ermittlung kann Abbildung 4.13 und Abbildung 4.14 entnommen werden.

In den Tabellen Tabelle 4.11 bis Tabelle 4.13 sind die berechneten Einstellhöhen im P 3200 aufgelistet.



- Variante 4

Für die Unterwassereinstellung im Pegel P 3200 wurden folgende mittlere Verlandungshöhen aus den Profilaufnahmen bei den entsprechenden Varianten ermittelt:

VAR 4	Q <sub>Natur</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Modell</sub> [l/s]	P 3200 [m üA]	Einstellhöhen UW Δh = 1,46 m
Sohle	0,0	0,00	568,57	570,03
3/8 * Q <sub>A</sub>	68,6	6,78	570,79	572,25
0,5 * Q <sub>A</sub>	91,5	9,04	570,96	572,42
0,75 * Q <sub>A</sub>	137,3	13,56	571,37	572,83
Q <sub>A</sub>	183,0	18,08	571,76	573,22

Tabelle 4.12: berechnete Einstellhöhen im P 3200 für Variante 4

Die Berechnung wurde durch folgende Teilflächenzerlegung durchgeführt:

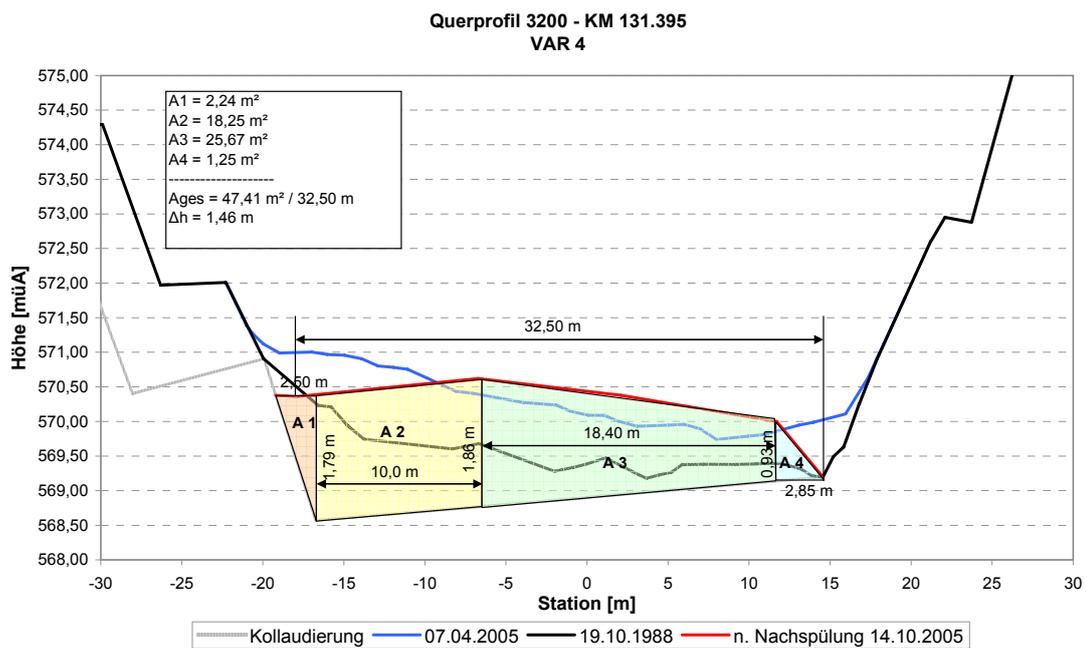


Abbildung 4.13: Flächenermittlung für die mittlere Verlandungshöhe bei Variante 4

Es zeigen sich nur geringe Unterschiede zur Ausgangsvariante (geringere Anlandungen im Außenbereich).

- Variante 5

Für die Unterwassereinstellung im Pegel P 3200 wurden folgende mittlere Verlandungshöhen aus den Profilaufnahmen bei den entsprechenden Varianten ermittelt:

VAR 5	Q <sub>Natur</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>Modell</sub> [l/s]	P 3200 [m üA]	Einstellhöhen UW Δh = 1,75 m
Sohle	0,0	0,00	568,57	570,32
3/8 * Q <sub>A</sub>	68,6	6,78	570,79	572,54
0,5 * Q <sub>A</sub>	91,5	9,04	570,96	572,71
0,75 * Q <sub>A</sub>	137,3	13,56	571,37	573,12
Q <sub>A</sub>	183,0	18,08	571,76	573,51

Tabelle 4.13: berechnete Einstellhöhen im P 3200 für Variante 5

Die Berechnung wurde durch folgende Teilflächenzerlegung durchgeführt:

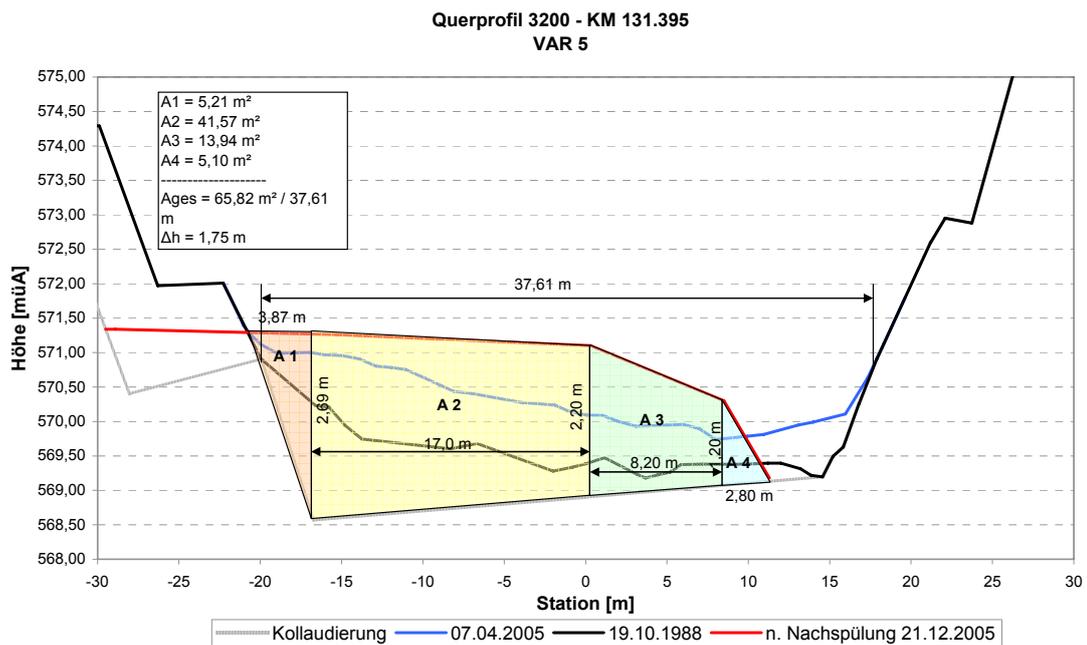


Abbildung 4.14: Flächenermittlung für die mittlere Verlandungshöhe bei Variante 5

## 4.4 Versuchsergebnisse

### 4.4.1 Feste Sohle (ohne Geschiebebeigabe)

In Abbildung 4.16 bis Abbildung 4.19 sind die aus den Messdaten erhaltenen Längenschnitte bei den verschiedenen Beaufschlagungen dargestellt. Auf der Abszisse ist die Stationierung der Messquerschnitte ab Laufradachse ersichtlich, die Ordinate zeigt die Höhe des Wasserspiegels in m.ü.A. Eine farbliche Übereinstimmung mit den Varianten ist gegeben (siehe Abbildung 4.15).

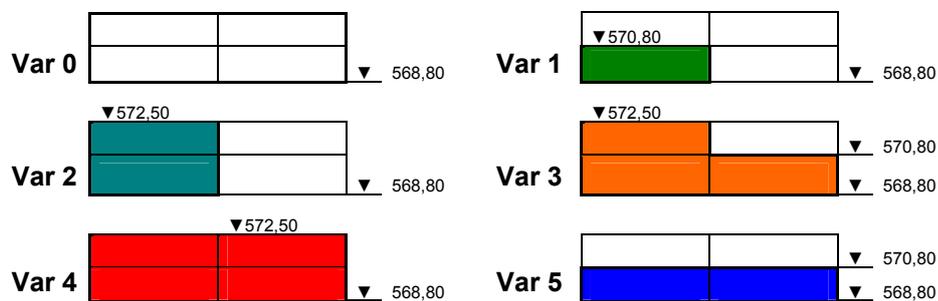


Abbildung 4.15: ausgeführte Varianten (Farbgleichheit zu den Längenschnitten)

Es sei nochmals angemerkt, dass die Varianten 0 bis 4 in einem Durchgang gemessen wurden, Variante 5 wurde nachträglich untersucht. Somit ist eine direkte Vergleichbarkeit mit der Variante 5 nicht gegeben, dies zeigt sich vor allem bei größeren Beaufschlagungen.

Diese Abweichung ist vor allem auf die neuerliche Montage und Eichung der Sonden zurückzuführen, auch kamen nicht dieselben FAFNIR-Sonden zum Einsatz. Aus diesem Grund wurde die Variante 5 in den nachfolgenden Längenschnitten strichpunktiert dargestellt.

Die UW-Einstellung erfolgte im Profil 3200 nach Tabelle 4.4.

In den ausgewerteten Längenschnitten bei Messquerschnitt 1 und 2 (jeweils 2 Sonden) wurde der Mittelwert beider Sonden eingetragen. Die Messgenauigkeit der FAFNIR-Sonden von  $\pm 1,0$  mm entspricht bei einem Modellmaßstab 1 : 40 einer Bandbreite von  $\pm 4,0$  cm in der Natur.

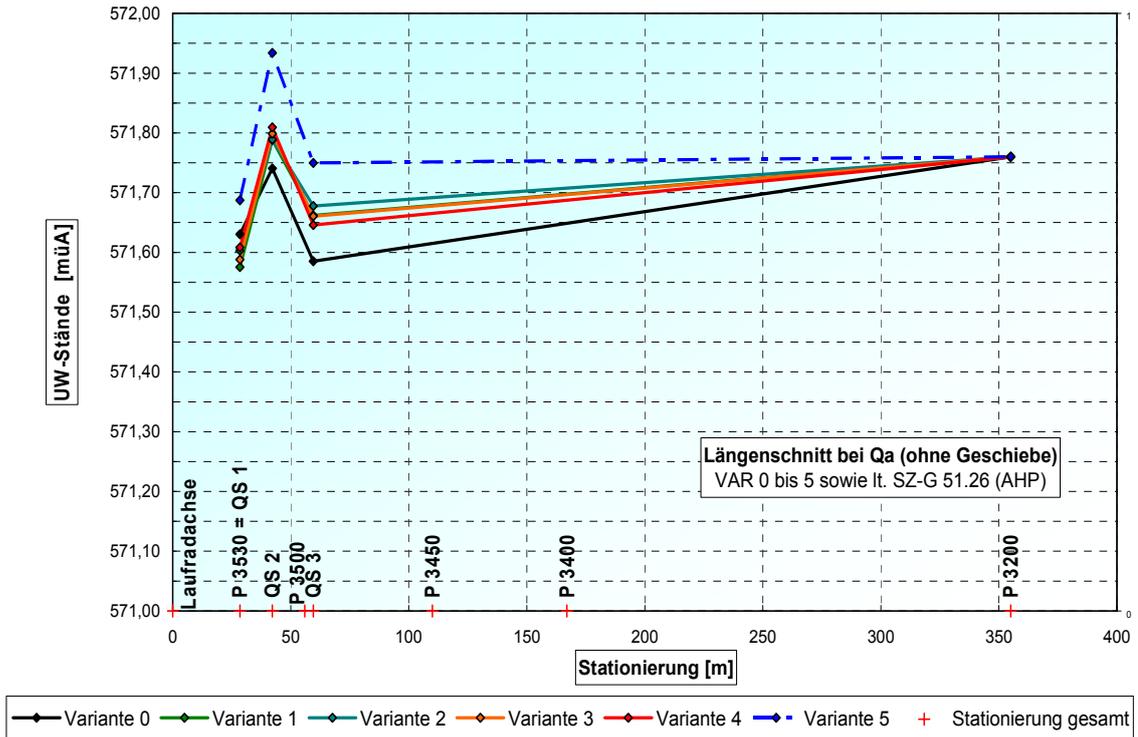


Abbildung 4.16: Längenschnitt: ohne Geschiebe für  $Q_A$   
beide Maschinen gleich beaufschlagt

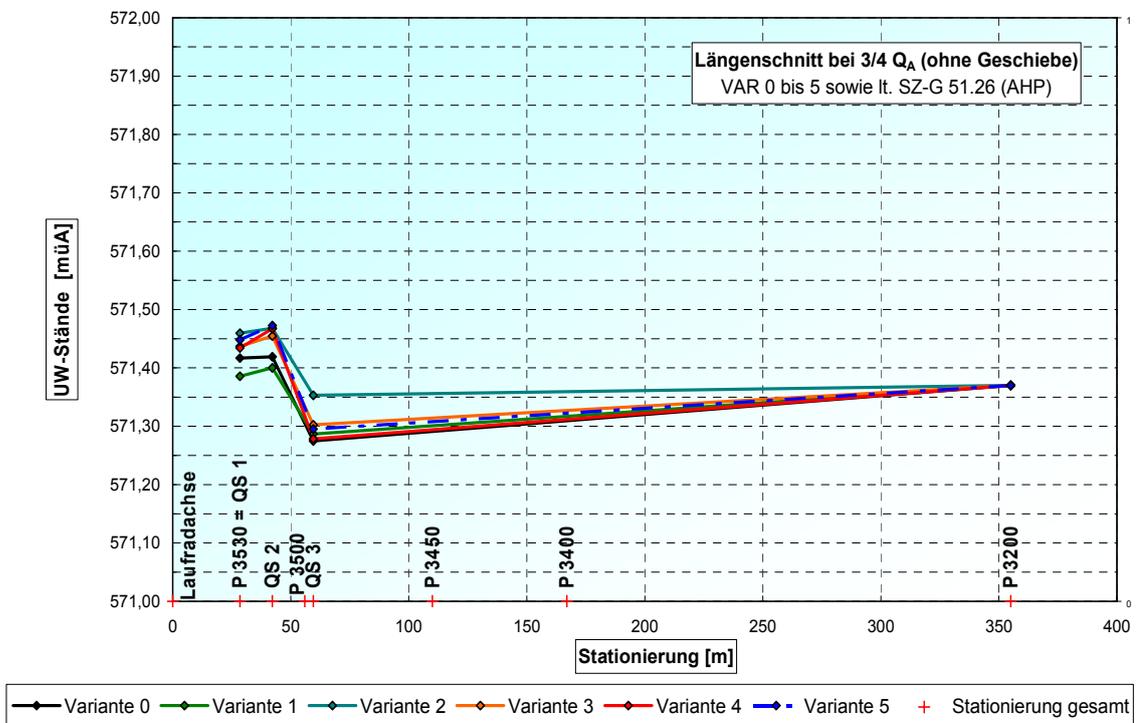


Abbildung 4.17: Längenschnitt: ohne Geschiebe für  $3/4 Q_A$   
beide Maschinen gleich beaufschlagt

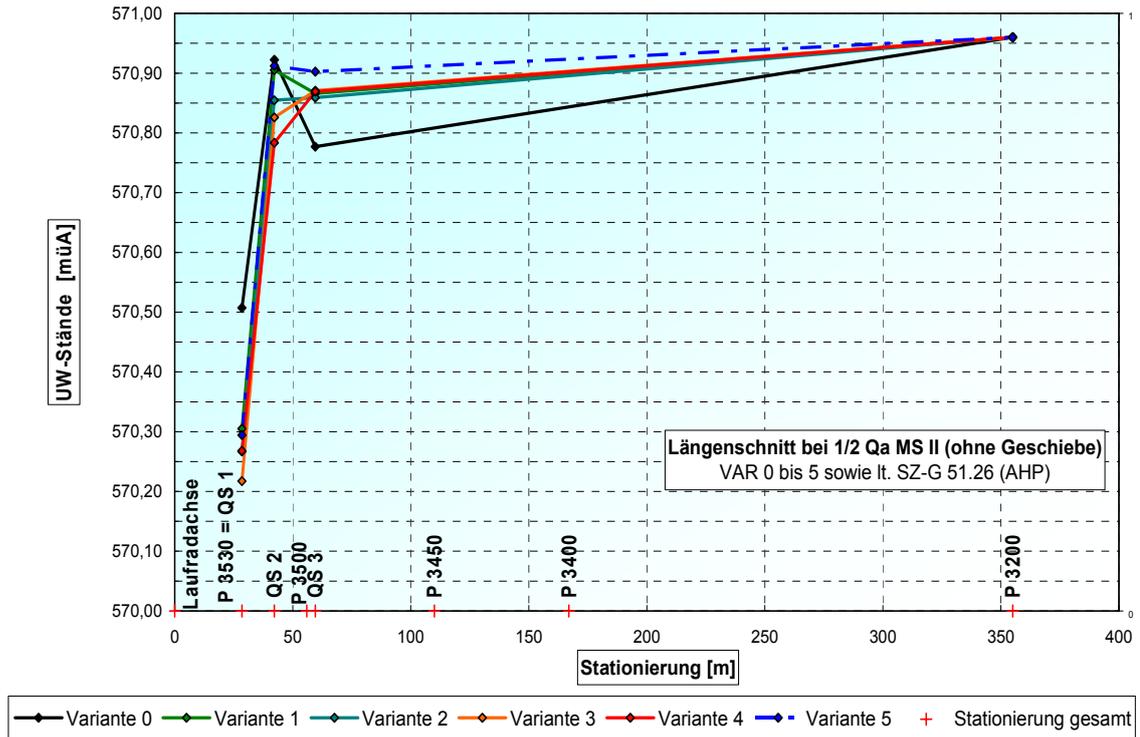


Abbildung 4.18: Längenschnitt: ohne Geschiebe für 1/2 Q<sub>A</sub> nur Maschine 2 (orographisch rechts)

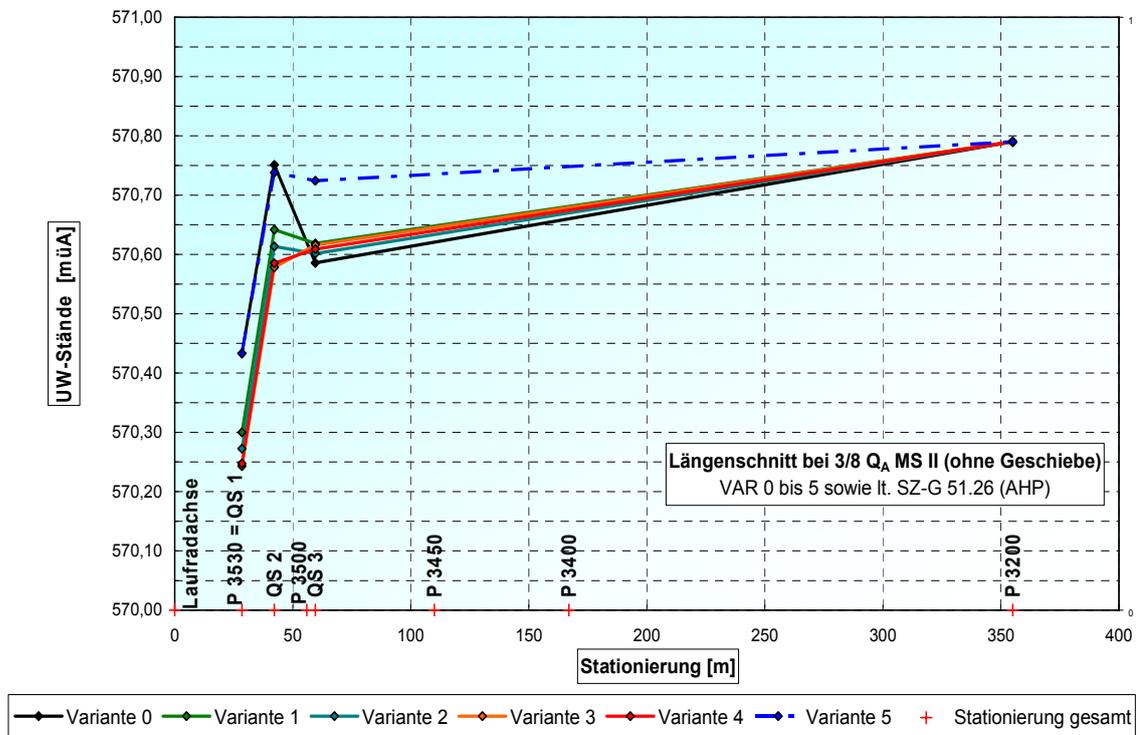


Abbildung 4.19: Längenschnitt: ohne Geschiebe für 3/8 Q<sub>A</sub> nur Maschine 2 beaufschlagt

- Gemeinsamkeiten in Abhängigkeit der Geometrie

Dem Längenschnittverlauf nach dient die Variante 0 (schwarz) als Vergleichsgrundlage mit den einzelnen Varianten. Diese Variante 0 zeigt unabhängig von der Beaufschlagung von QS 1 zu QS 2 einen Anstieg und sie liegt im QS 3 immer am Tiefsten. Alle Varianten zeigen von QS 1 auf QS 2 eine Erhöhung des Wasserspiegels.

Sämtliche Trennpfeilerverlängerungen bedingen im QS 1 eine Absenkung gegenüber Variante 0.

Betrachtet man die Varianten untereinander bei gleicher Abflussmenge, so liegen deren Unterschiede innerhalb der Messtoleranz.

- Aussagen in Abhängigkeit der Beaufschlagung

Bei gleichmäßiger Beaufschlagung beider Maschinen und hohen Abflussmengen ( $Q_A$  und  $3/4 Q_A$ ) steigt der Wasserspiegel von QS 1 auf QS 2 an und fällt danach wieder ab. Beim Abfall von QS 2 auf QS 3 ist festzustellen, dass zwischen den Varianten der Pfeilerverlängerungen keine Unterschiede feststellbar sind.

Geringere Beaufschlagungen ( $1/2 Q_A$  und  $3/8 Q_A$ ) bei einseitigem Maschinenbetrieb (Maschine II, orographisch rechts) zeigen einen steilen Anstieg von QS 1 auf QS 2. Auch in diesem Fall zeigen die Varianten untereinander kaum Abweichungen. Nur die Variante 0 liegt eindeutig in den ersten beiden Querschnitten höher und im QS 3 tiefer als die Trennpfeilervarianten.

Aus der Differenz von Ausgangszustand zu den Pfeilerverlängerungen und den qualitativ gleich bleibenden Trennpfeilervarianten lässt sich ableiten, dass die Variante 1 (erste Verlängerung auf Höhe 570,80 m.ü.A) entscheidend für die Spiegelverläufe aller Verlängerungsvarianten zu sein scheint.

Da geringe Abflussmengen wesentlich größere Effekte im Wasserspiegelverlauf zeigen und auch der Einfluss des einseitigen Turbinenbetriebes näher beschrieben werden sollte, wurde in den nachfolgenden

Abbildungen 4.20 bis 4.23 der Turbinenauslauf bei einseitigem Maschinenbetrieb näher betrachtet.

Orographisch linke Maschine in Betrieb bei  $1/2 Q_A$ :

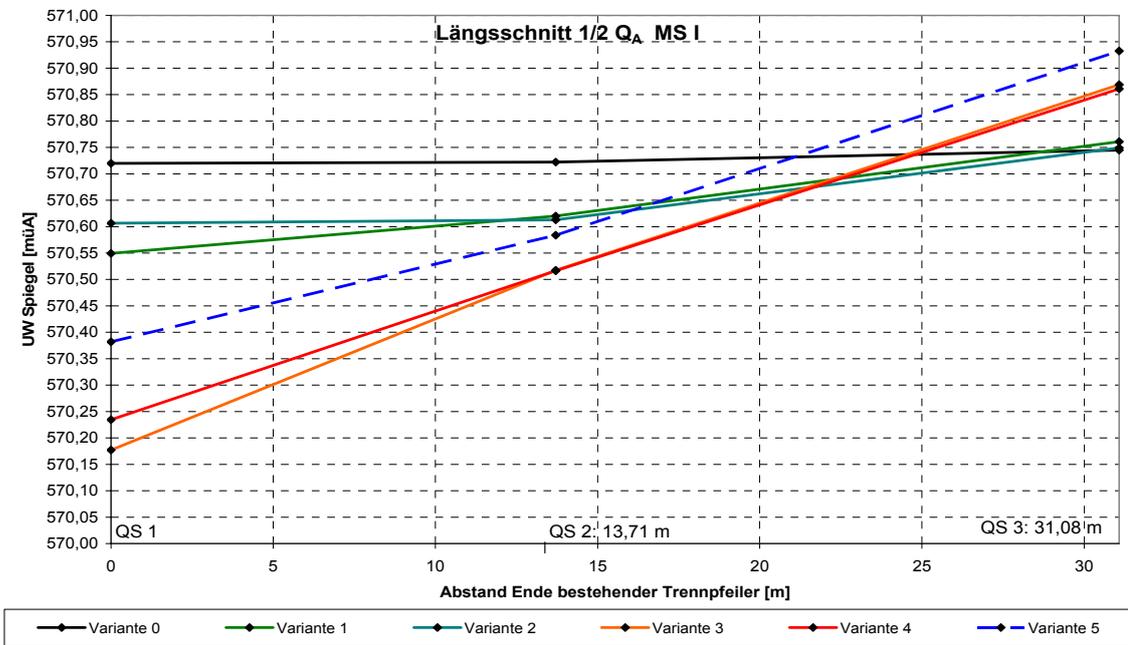


Abbildung 4.20: Längsschnitt Bereich Turbinenauslauf: ohne Geschiebe für  $1/2 Q_A$  M I

Orographisch rechte Maschine in Betrieb bei  $1/2 Q_A$  :

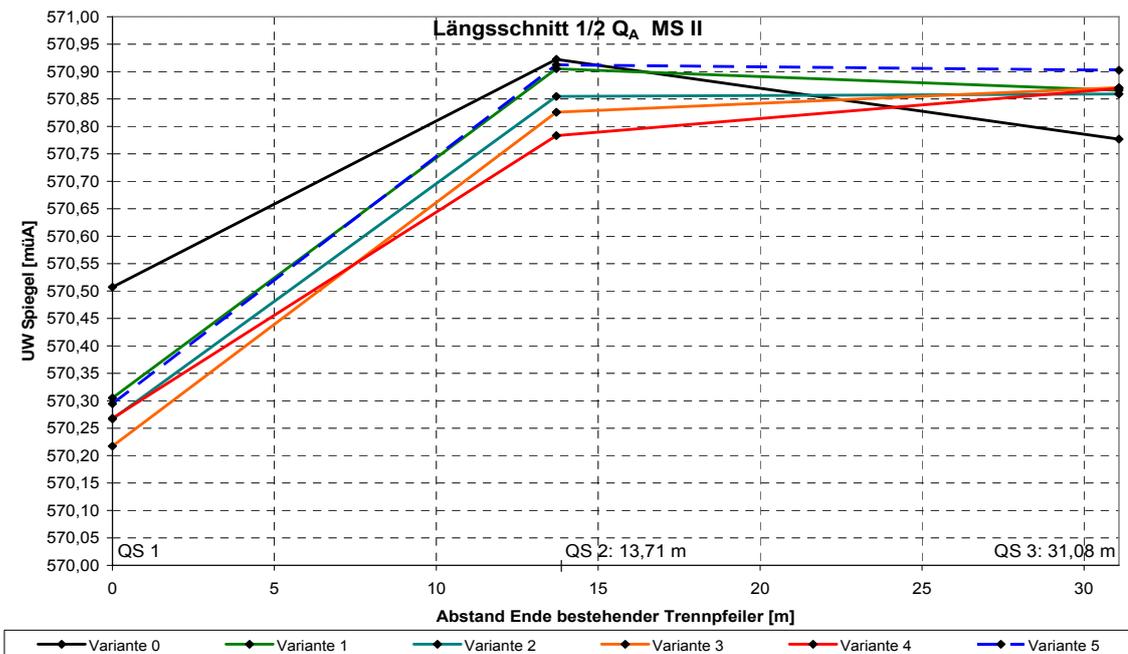


Abbildung 4.21: Längsschnitt Bereich Turbinenauslauf: ohne Geschiebe für  $1/2 Q_A$  M II

Orographisch linke Maschine in Betrieb bei 3/8 Q<sub>A</sub>:

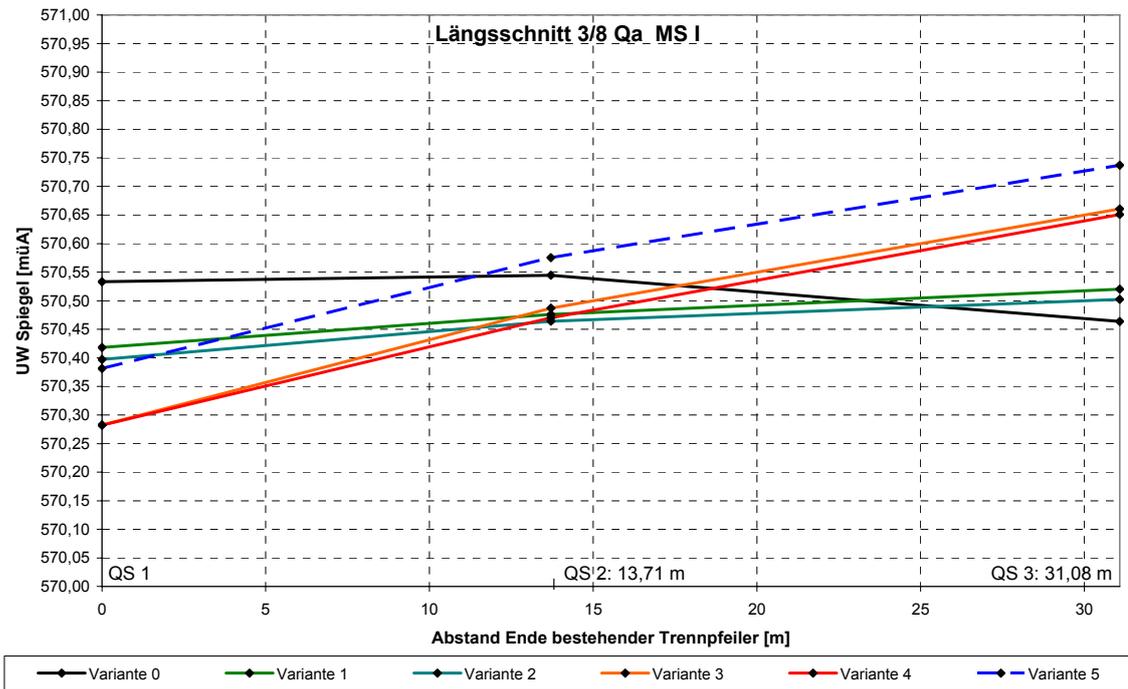


Abbildung 4.22: Längsschnitt Bereich Turbinenauslauf ohne Geschiebe für 3/8 Q<sub>A</sub> M I

Orographisch rechte Maschine in Betrieb bei 3/8 Q<sub>A</sub>:

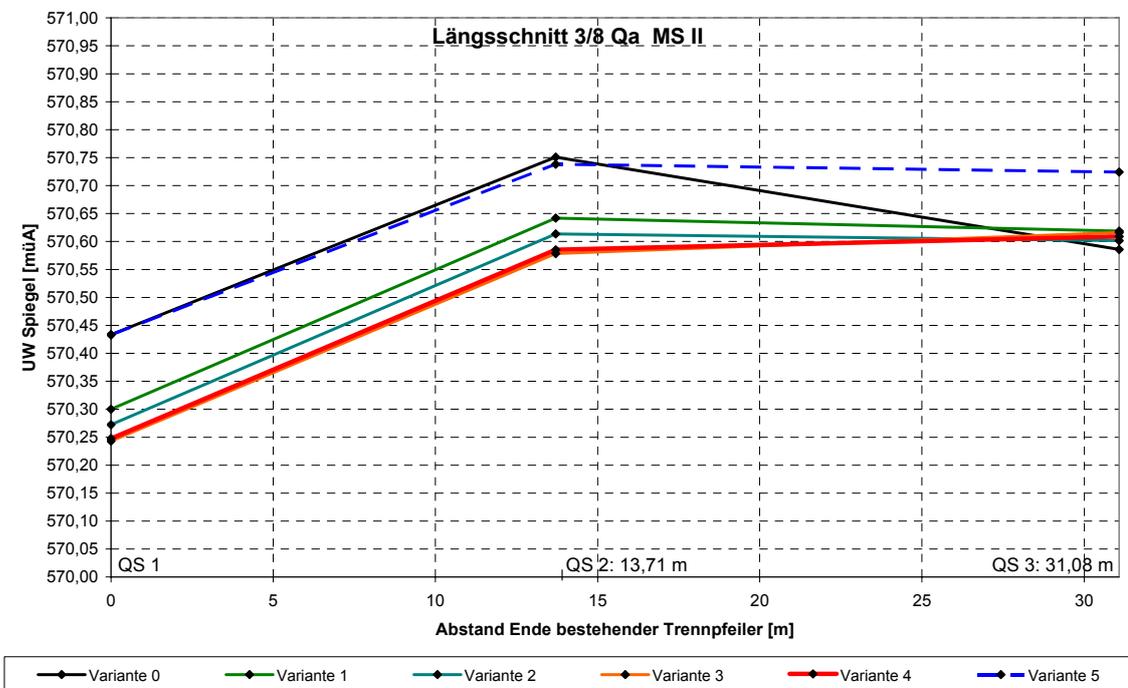


Abbildung 4.23: Längsschnitt Bereich Turbinenauslauf ohne Geschiebe für 3/8 Q<sub>A</sub> M II

Auch in den Abbildungen 4.20 bis 4.23 wurde in den Messquerschnitten 1 und 2 der Mittelwert aus beiden nebeneinander montierten Sonden gebildet und im Längenschnitt eingetragen. Des Weiteren sei angemerkt, dass die Variante 5 wiederum nicht unmittelbar zum Vergleich herangezogen werden konnte. Deren Verlauf stimmt jedoch qualitativ eindeutig mit den Varianten 3 und 4 (volle Pfeilerverlängerung auf variable Höhen) überein.

- Gemeinsamkeiten

Allen vier Abbildungen kann entnommen werden, dass die Varianten 1 und 2 (halbe Länge, grün) sowie die Varianten 3 und 4 (volle Verlängerung, rot) qualitativ den selben Verlauf aufweisen. Auch zeigen die Verläufe der MS I und jene der MS II jeweils bei beiden Beaufschlagungen qualitativ übereinstimmende Wasserspiegel-Veränderungen, nur die absoluten Differenzbeträge sind bei  $1/2 Q_A$  größer.

- Turbinenbetrieb MS I

Beim Turbinenbetrieb der MS I erfolgt bei allen Varianten ein kontinuierlicher Spiegelanstieg von QS 1 bis zum QS 3. Dieser Wasserspiegelanstieg ist bei voller Trennpfeilerlänge deutlich steiler und liegt im QS 3 um ca. 10 bis 18 cm höher als die Varianten 0,1 und 2, die in diesem Querschnitt die gleiche Höhe aufweisen. Variante 0 verläuft nahezu horizontal. Es zeigen alle Varianten im QS 1 deutliche Absenkungen (bis – 50 cm) gegenüber Variante 0.

- Turbinenbetrieb MS II

Im Turbinenbetrieb der MS II ist im qualitativen Verlauf der Varianten kein Unterschied festzustellen. Sämtliche Pfeilerverlängerungen verlaufen zwischen QS1 und QS 2 gleich geneigt und danach bis zum QS 3 nahezu horizontal. Variante 0 hat in QS 2 den höchsten Wasserstand. Im QS 3 liegen sämtliche Varianten der Pfeilerverlängerungen höher als bei Variante 0. Bei  $1/2 Q_A$  in einer Größenordnung von ca. 15 cm.

### 4.4.2 Bewegliche Sohle (mit Geschiebebeigabe)

Die Längenschnitte wurden getrennt nach Beaufschlagung ausgewertet und in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Auf der Abszisse wurde die Stationierung in m ab Laufradachse angegeben. Die Versuchsdurchführung für Variante 5 wurde von Technikern des Hermann-Grengg-Laboratoriums vorgenommen und daher auch strichpunktiert dargestellt.

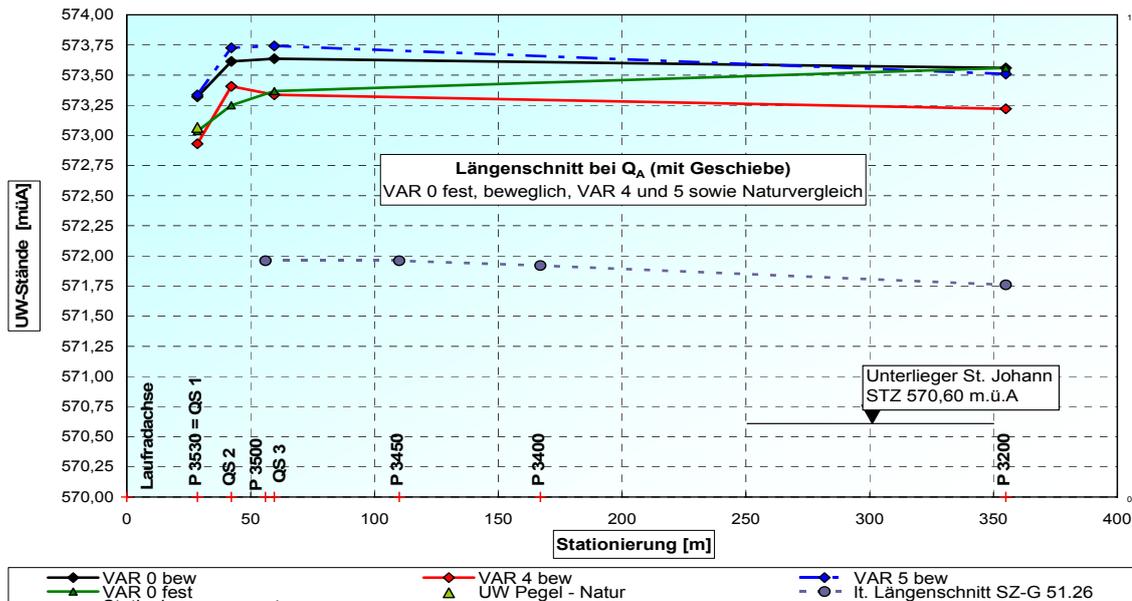


Abbildung 4.24: Längenschnitt bei  $Q_A$  mit Geschiebe

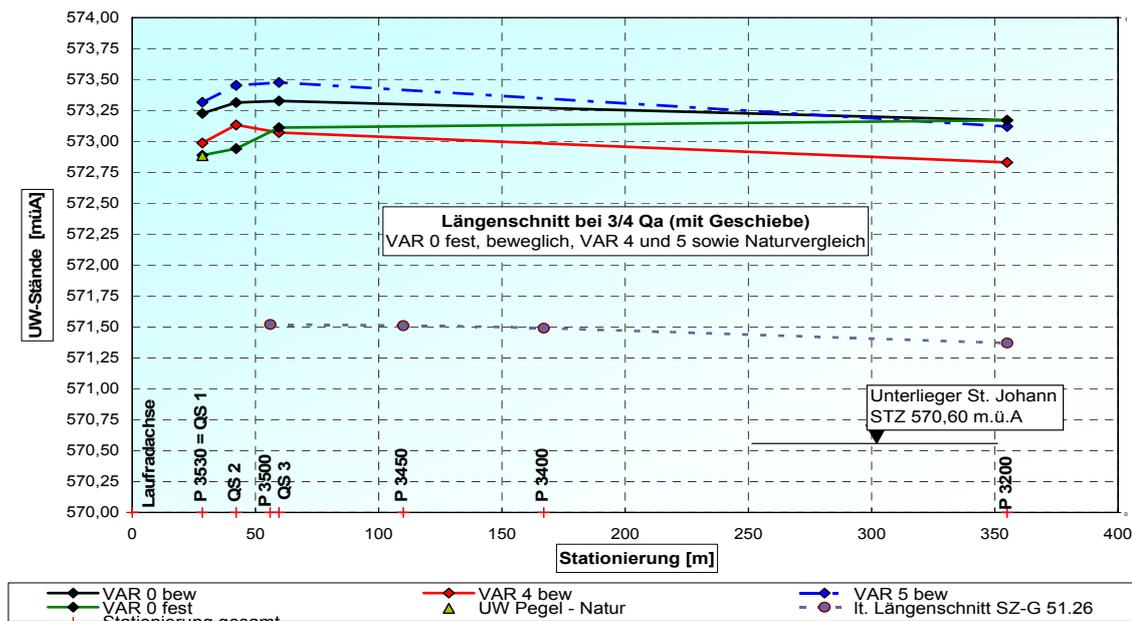


Abbildung 4.25: Längenschnitt bei  $3/4 Q_A$  mit Geschiebe

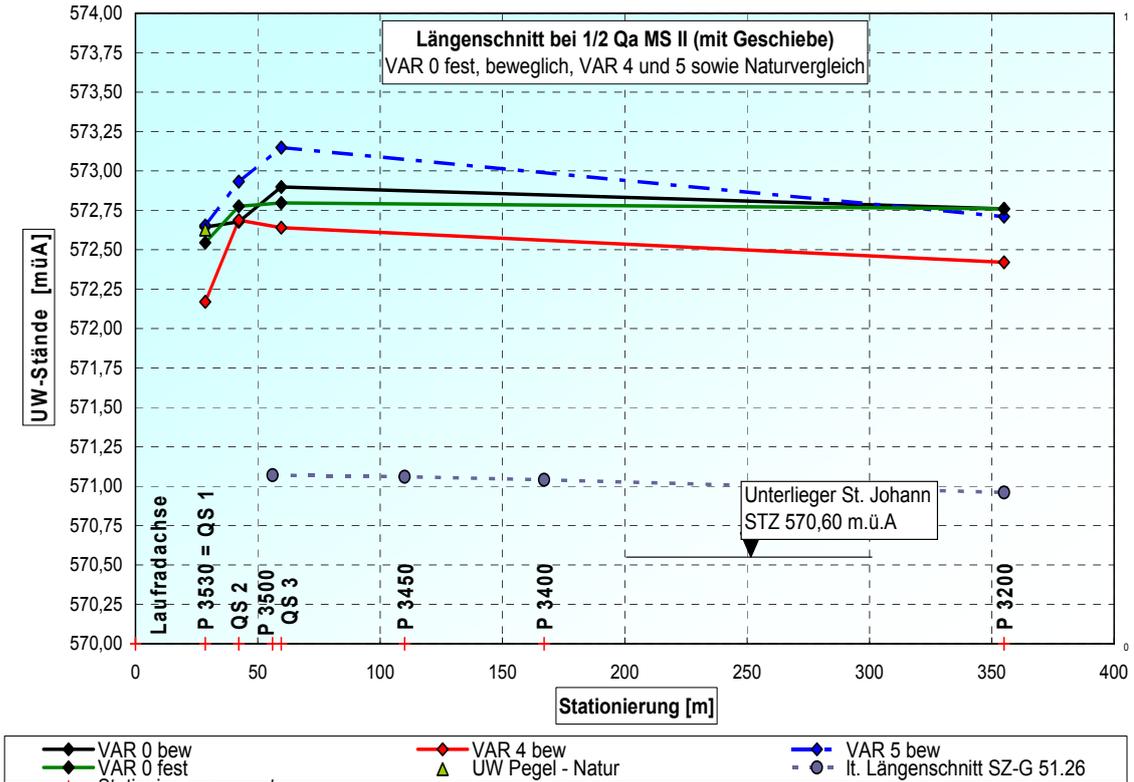


Abbildung 4.26: Längenschnitt bei 1/2 Q<sub>A</sub> mit Geschiebe (orographisch rechte Maschine)

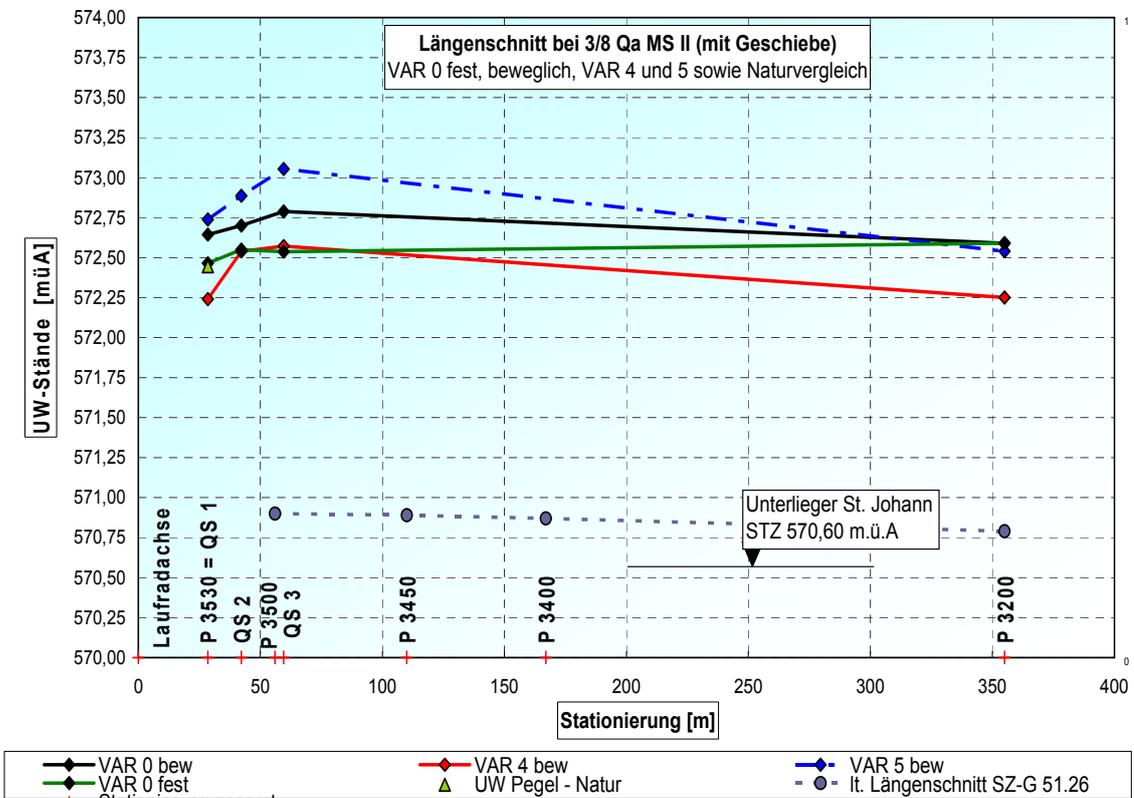


Abbildung 4.27: Längenschnitt bei 3/8 Q<sub>A</sub> mit Geschiebe (orographisch rechte Maschine)

- Gemeinsamkeiten

Im Bereich des Turbinenauslaufes zeigte sich bei allen Beaufschlagungen und Varianten wieder derselbe Trennpfeilereinfluss wie zuvor in den Versuchsergebnissen ohne Geschiebebeigabe beschrieben. Der Einfluss ist jedoch nicht so stark ausgeprägt (Unterschied QS1 bis QS3).

- Variante 0 fest zu Variante 0 beweglich

Im Profil 3200 wurde hinsichtlich Naturvergleichs dieselbe Spiegelhöhendifferenz eingestellt. Variante 0 fest liegt im Turbinenauslaufbereich eindeutig tiefer als Variante 0 beweglich. Dies deutet darauf hin, dass sich im Spülvorgang des Modellversuches eine zu hohe Sohllage in diesem Bereich einstellt.

- Variante 0 beweglich zu Varianten der Pfeilerverlängerung

Beim Vergleich von Variante 0 beweglich und Variante 4 beweglich liegt im P 3200 eine Differenz von 34 cm vor. Diese resultiert aus den vorgenommenen UW-Einstellhöhen. Im Messquerschnitt 3 reduziert sich diese Differenz von 30 cm (bei  $Q_A$ ), auf 26 cm (bei  $3/4 Q_A$  und  $1/2 Q_A$ ) bis auf 22 cm (bei  $3/8 Q_A$ ). Das bedeutet, dass bei geringerer Beaufschlagung bei Variante 4 das Gefälle des Wasserspiegels zunimmt. Eine Verbesserung der Variante 4 ergibt sich praktisch aus der tieferen Sohllage im P 3200.

Auf den Einfluss der Stauwurzel des Unterlieger-Kraftwerkes St. Johann in Bezug auf den Verlandungszustand im Profil 3200 konnte im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht näher eingegangen werden. Durch Aufrechnung der mittleren Verlandungshöhen auf den gerechneten Längenschnitt sollte die Rückstaukurve Berücksichtigung finden. Das Stauziel St. Johann liegt bei 570,60 m.ü.A. und nähert sich bei  $3/8 Q_A$  der gerechneten Höhe des Einreichprojektes im Profil 3200 bis auf 15,0 cm an.

Durch die Berechnung relativer Längenschnitte im P 3200 wurde versucht, den Wasserspiegelverlauf unabhängig von der Verlandungshöhe darzustellen.

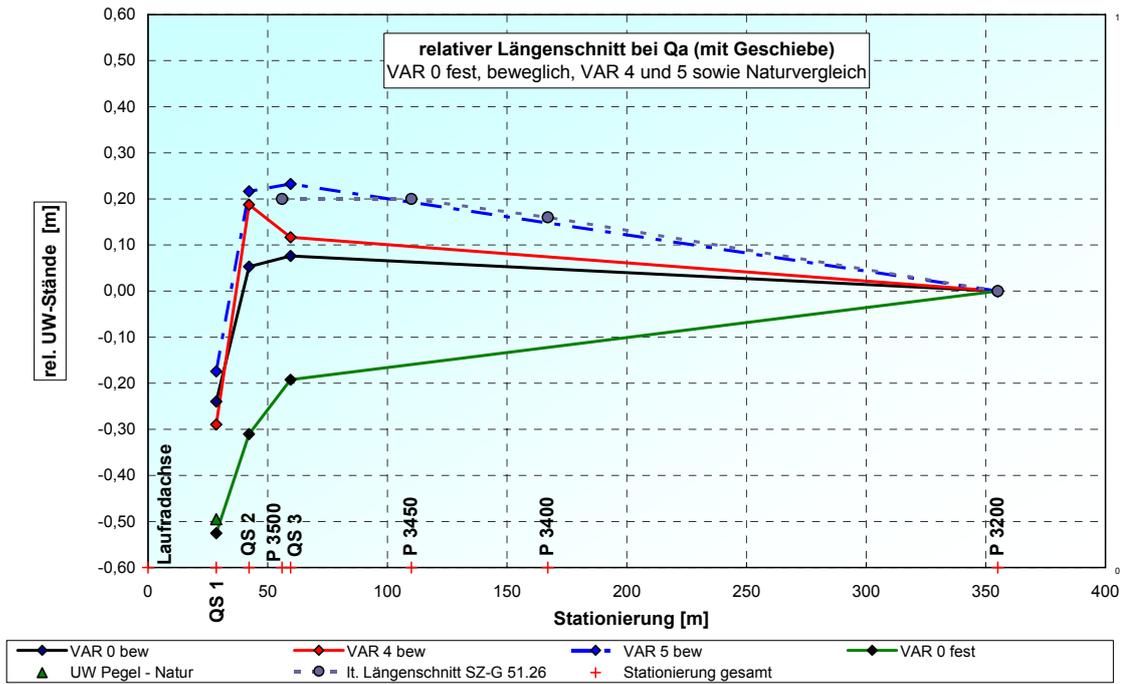


Abbildung 4.28: relativer Längenschnitt bei  $Q_A$  mit Geschiebe

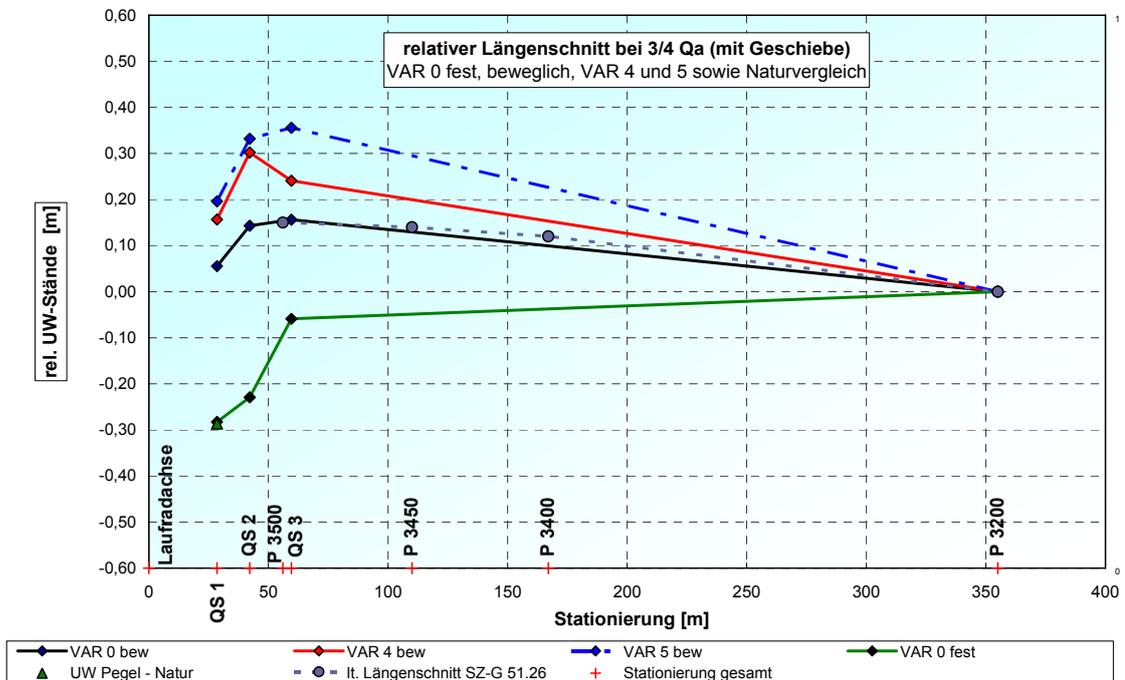


Abbildung 4.29: relativer Längenschnitt bei  $3/4 Q_A$  mit Geschiebe

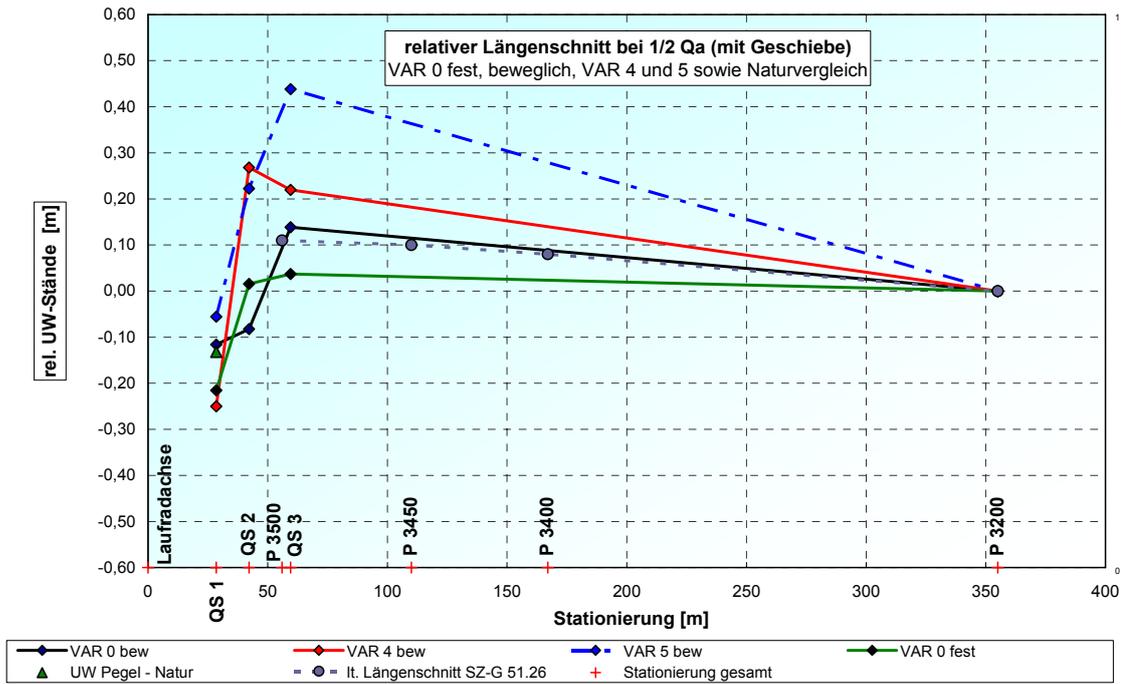


Abbildung 4.30: relativer Längenschnitt bei 1/2 Q<sub>A</sub> (MS II) mit Geschiebe

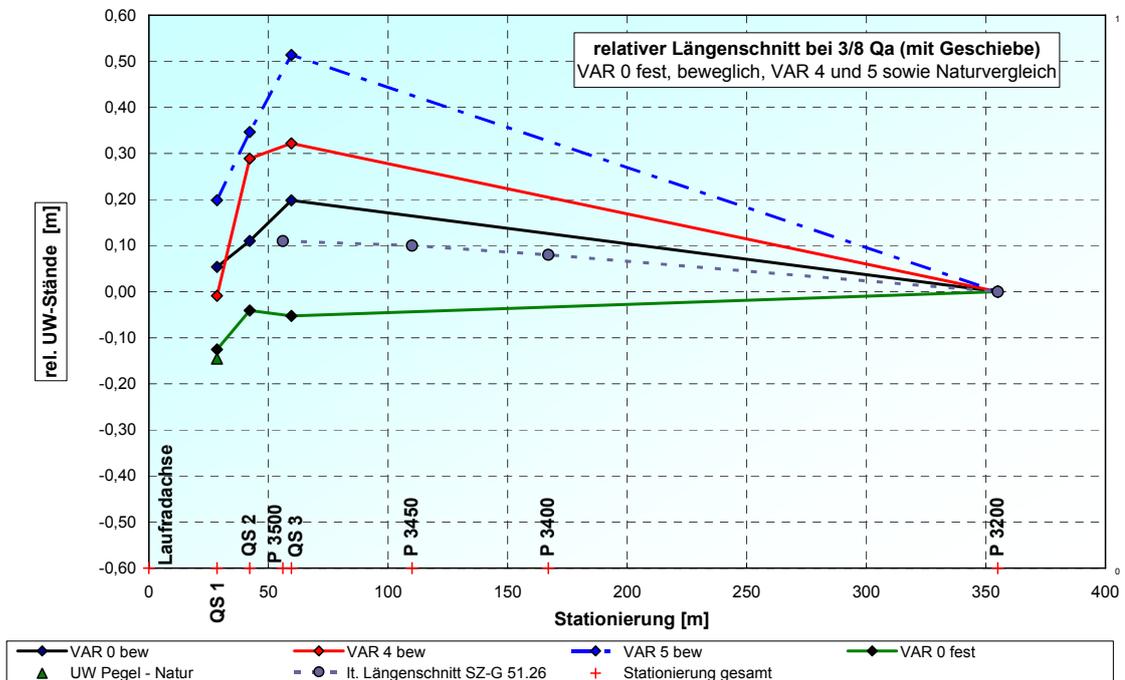


Abbildung 4.31: relativer Längenschnitt bei 3/8 Q<sub>A</sub> (MS II) mit Geschiebe

- Gemeinsamkeiten

Unabhängig von der Beaufschlagung zeigt sich immer selbige Reihenfolge im Höhenverlauf: Variante 0 fest, Variante 0 beweglich, gerechneter Längenschnitt, Variante 4 und Variante 5.

- Beaufschlagung

Mit geringer werdender Beaufschlagung steigen die relativen Höhen von QS 1 bis QS 3 kontinuierlich an. Die volle Ausbauwassermenge und 1/2 QA bei Volllast MS II zeigen zwischen QS 1 und QS 2 die steilsten Wasserspiegelanstiege. Die relativ gesehen höchste Spiegellage stellt sich zwischen QS 2 und QS 3 ein.

- Variante 0 fest zu Variante 0 beweglich

Mit geringer werdender Beaufschlagung wird die Abweichung voneinander geringer. Der Spiegelverlauf hebt sich und verläuft zwischen QS 3 und P 3200 mit größerer Neigung.

- Variante 4 beweglich zu Variante 0 beweglich

Variante 4 zeigt immer einen steileren Spiegelanstieg zwischen QS 1 und QS 2. Der höchste Differenzbetrag kommt unabhängig von der Beaufschlagung in einer Höhe von ca. 0,30 m im QS 2 zu liegen. Bei Variante 0 stellt sich dieser Höchstbetrag immer im QS 3 ein.

## 5. Energiewirtschaftliche Berechnungen

### 5.1 Vereinfachte Berechnung der JAV 1995-2004

Diese nachfolgende vereinfachte Berechnung wurde durchgeführt, um die Abweichungen zum tatsächlichen Jahresarbeitsvermögen darzustellen.

Folgende vereinfachte Annahmen wurden getroffen:

- konstantes Stauziel 582,00 m.ü.A
- gemittelter Anlagenwirkungsgrad  $\eta_{\text{tot}}$  (siehe Abbildung 3.17)
- Tagesmittelwerte der Zuflüsse
- berechnete vereinfachte Pegelschlüssel

In den vorangegangenen Kapiteln wurden diese berechneten Annahmen ermittelt. Nun soll gezeigt werden, dass sowohl für rückwirkende Betrachtungen als auch für künftige Prognosen diese Voraussetzungen eine gute Ausgangsbasis darstellen.

	1995	1996	1997	1998	1999	
<b>ber. JAV</b>	63.013.758	54.816.119	58.267.709	60.524.086	66.063.125	[kWh]
<b>tats. JAV</b>	62.531.800	55.157.100	58.107.500	59.931.100	65.785.700	[kWh]
<b>Diff.</b>	481.958	-340.981	160.209	592.986	277.425	[kWh]
<b>Abweichung</b>	0,77%	-0,62%	0,28%	0,99%	0,42%	[%]
<b>Spülung</b> (ganze KW-Kette)	30.05. bis 03.06.1995	08.07. bis 12.07.1996	06.07. bis 10.07.1997	11.06. bis 16.06.1998	22.07. bis 28.07.1999	[Datum]
	2000	2001	2002	2003	2004	
<b>ber. JAV</b>	68.556.539	61.705.155	63.078.582	57.144.896	55.579.141	[kWh]
<b>tats. JAV</b>	68.758.600	62.877.600	63.015.000	58.003.300	55.660.200	[kWh]
<b>Diff.</b>	-202.061	-1.172.445	63.582	-858.404	-81.059	[kWh]
<b>Abweichung</b>	-0,29%	-1,86%	0,10%	-1,48%	-0,15%	[%]
<b>Spülung</b> (ganze KW-Kette)	11.07. bis 17.07.2000	keine Spülung	17.07. bis 22.07.2002	keine Spülung	11.06. bis 16.06.2004	[Datum]

Tabelle 5.1: Abweichung der tatsächlichen JAV zu den vereinfacht berechneten Werten

In der ersten Spalte der Tabelle 5.1 wurde das aus den Vereinfachungen berechnete Jahresarbeitsvermögen eingetragen. Dem gegenübergestellt wurde das tatsächliche JAV aus den erhaltenen Anlagendaten. Nur in den Jahren

2001 und 2003 betrug die Abweichung mehr als 1%. Genau in diesen beiden Jahren fand keine koordinierte Spülung statt.

Es kann somit in guter Näherung mit diesen Berechnungsvereinfachungen weiter gearbeitet werden.

## 5.2 Rückwirkende Einbußen der Energieproduktion

Der Berechnung des theoretisch möglichen Energiegewinns (1995–2004) wurde der vorhandene Pegelschlüssel 1995 zugrunde gelegt. Unter den tatsächlichen Zuflussverhältnissen der Jahre 1995 bis 2004 sollte nun gezeigt werden, wie sich der kontinuierlich steigende Unterwasserstand tatsächlich auf die Energieproduktion ausgewirkt hat.

Für die vereinfachte Berechnung wurden wiederum folgende Annahmen getroffen:

- Tagesmittelwerte der Kraftwerkszuflüsse 1995-2004
- Einschränkung des maximalen Zuflusses auf  $Q_A = 183,0 \text{ m}^3/\text{s}$
- Gerechneter Pegelschlüssel 1995 und daraus in Abhängigkeit des jeweiligen Zuflusses die entsprechenden UW-Stände
- Konstantes Stauziel von 582,0 m.ü.A.
- Mittlerer Wirkungsgradverlauf  $\eta_{\text{tot}}$  (siehe Abbildung 3.17)

In Tabelle 5.2 wurden die Berechnungsergebnisse für obige Annahmen zusammengestellt. In der ersten Zeile wurden die vereinfachten Jahresarbeitsvermögen von 1995 bis 2004 aus Kapitel 5.1 (Tabelle 5.1) eingetragen. Diese wurden den Berechnungsergebnissen unter konstantem Pegelschlüssel 1995 gegenübergestellt. Somit kann die gebildete Differenz beider Berechnungen als theoretisch möglicher Energiegewinn, beziehungsweise im Umkehrschluss als Energieeinbuße zufolge Unterwasserverlandung, in Bezug auf 1995 angesehen werden. Ein kontinuierlicher prozentueller Zugewinn von 1995 bis 2004 kann den Ergebnissen entnommen werden. Dieser entspricht im Jahr 2004 einem Wert

von 4,74%. Nur die Jahre 2001 und 2003, wo keine koordinierte Spülung durchgeführt wurde, stellen eine Ausnahme dar.

	1995	1996	1997	1998	1999	
vereinf. ber. JAV	63.013.758	54.816.119	58.267.709	60.524.086	66.063.125	[kWh]
JAV bei PS 1995	63.013.758	55.135.074	59.089.801	61.418.807	67.222.840	[kWh]
Diff.	0	318.956	822.092	894.721	1.159.715	[kWh]
theor. Energiegewinn	0,00%	0,58%	1,41%	1,48%	1,76%	[%]
tats. JAV	62.531.800	55.157.100	58.107.500	59.931.100	65.785.700	[kWh]
	2000	2001	2002	2003	2004	
vereinf. ber. JAV	68.556.539	61.705.155	63.078.582	57.144.896	55.579.141	[kWh]
JAV bei PS 1995	70.792.321	63.623.973	65.035.779	58.369.228	58.216.288	[kWh]
Diff.	2.235.782	1.918.817	1.957.197	1.224.331	2.637.148	[kWh]
theor. Energiegewinn	3,26%	3,11%	3,10%	2,14%	4,74%	[%]
tats. JAV	68.758.600	62.877.600	63.015.000	58.003.300	55.660.200	[kWh]

Tabelle 5.2: theoretisch möglicher Energiegewinn bei konstanten Pegelverhältnissen wie 1995

Die Aufsummierung der Differenz über die 10 Jahre ergibt eine Gesamtmenge von 13.169 MWh. Daraus folgt eine mittlere Energieeinbusse von 2,16 % pro Jahr in dem betrachteten 10-Jahres-Zeitraum.

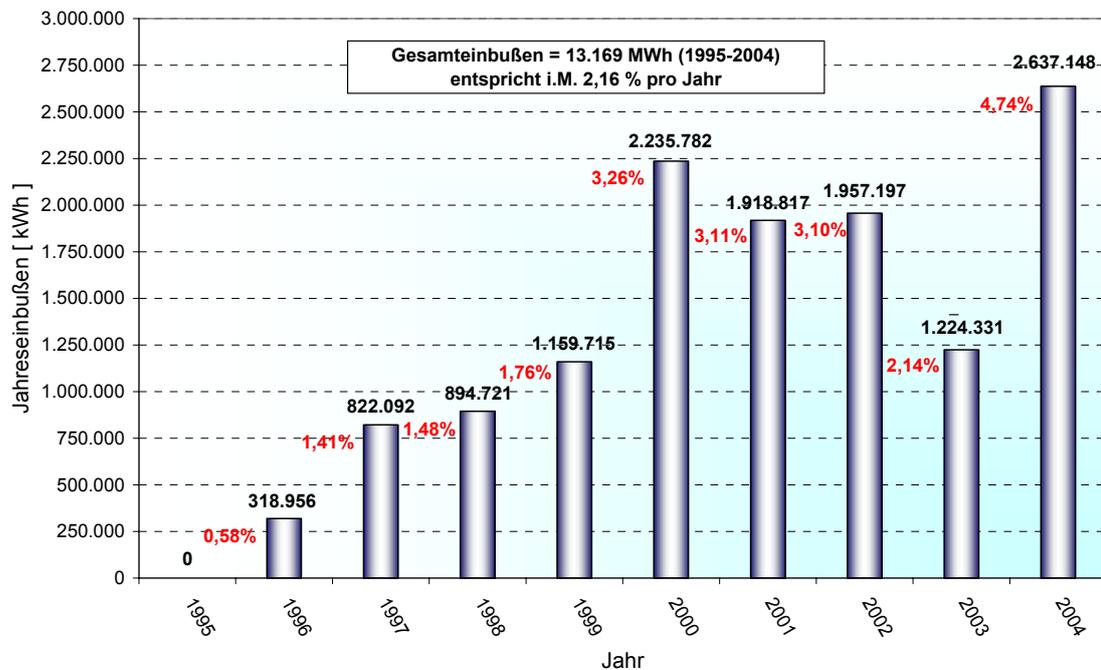


Abbildung 5.1: Jahreseinbußen im Vergleich zu konstanten UW-Verhältnissen von 1995

### 5.3 Erkenntnisse der Varianten der Trennpfeilerverlängerung aus den Modellversuchen

#### 5.3.1 Modellversuche ohne Geschiebebeigabe

Aus den Wasserstandsmessungen wurde im Turbinen-Auslaufbereich (Messquerschnitt QS 1) der Pegelschlüssel für jede Variante ermittelt.

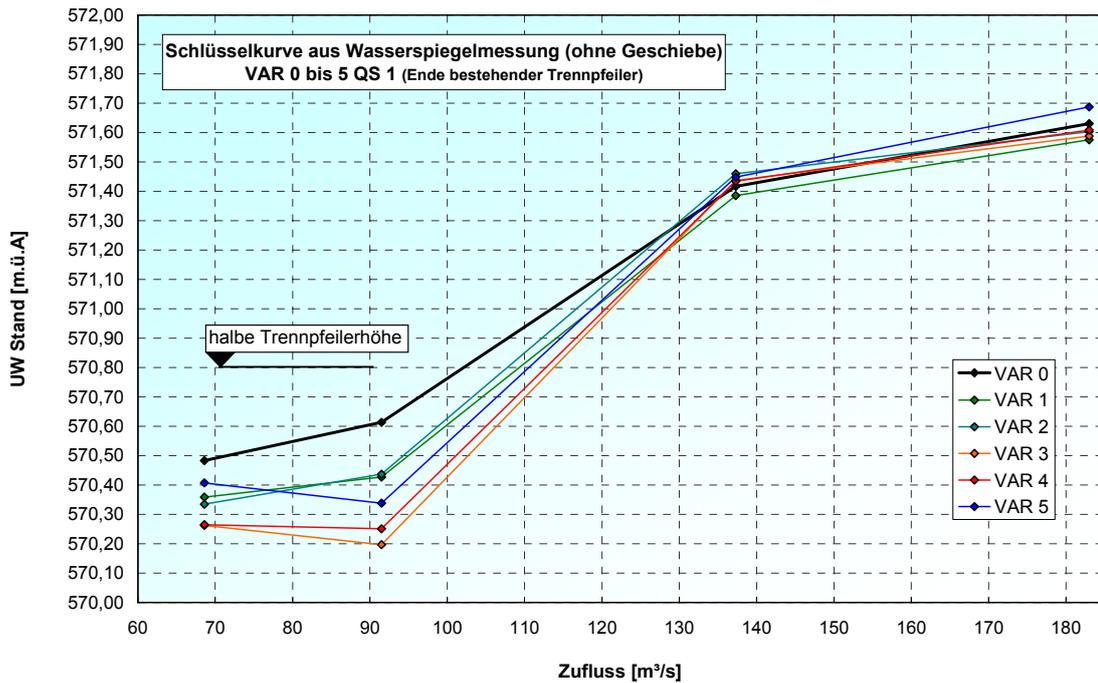


Abbildung 5.2: Pegelschlüssel im QS 1, Varianten ohne Geschiebe

Bei höheren Beaufschlagungen zeigt sich in dieser Querschnittsbetrachtung kein Einfluss des Trennpfeilers. Bei geringeren Abflussmengen zeigen sämtliche Varianten der Trennpfeilerverlängerung ein Absinken des Wasserspiegels. Dieser Effekt tritt bei voller Pfeilerverlängerung größer in Erscheinung.

Aus der reinen Querschnittsbetrachtung könnte der Verdacht entstehen, der Einbau der Trennpfeilerverlängerungen hätte keine negative Auswirkung auf den Turbinenbetrieb. Dass dem nicht so ist, konnte man aus der Betrachtung der Längenschnittverläufe (Kapitel 4.4.1) erkennen. Durch die einengende Wirkung des ausgeprägten Trennpfeilers (Variante 4) erfolgt ein steilerer Anstieg des Wasserspiegels im Turbinenauslauf. Diese Einschränkung der

Ausbreitungsmöglichkeit des Triebwassers in Richtung Wehr verzögert die Strömung und führt im Turbinenauslaufbereich zu einem Druckaufbau. Dieser äußert sich in einem Spiegelhöhenanstieg. Ein Rückschluss auf die Energieproduktion ist im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich, da sich speziell die Wechselwirkung Saugrohr- und Unterwasserströmung auf den Turbinenwirkungsgrad auswirkt.

### 5.3.2 Modellversuche mit Geschiebebeigabe

Aus den Wasserstandsmessungen wurde im Turbinen-Auslaufbereich (Messquerschnitt QS 1) der Pegelschlüssel für jede Variante ermittelt.

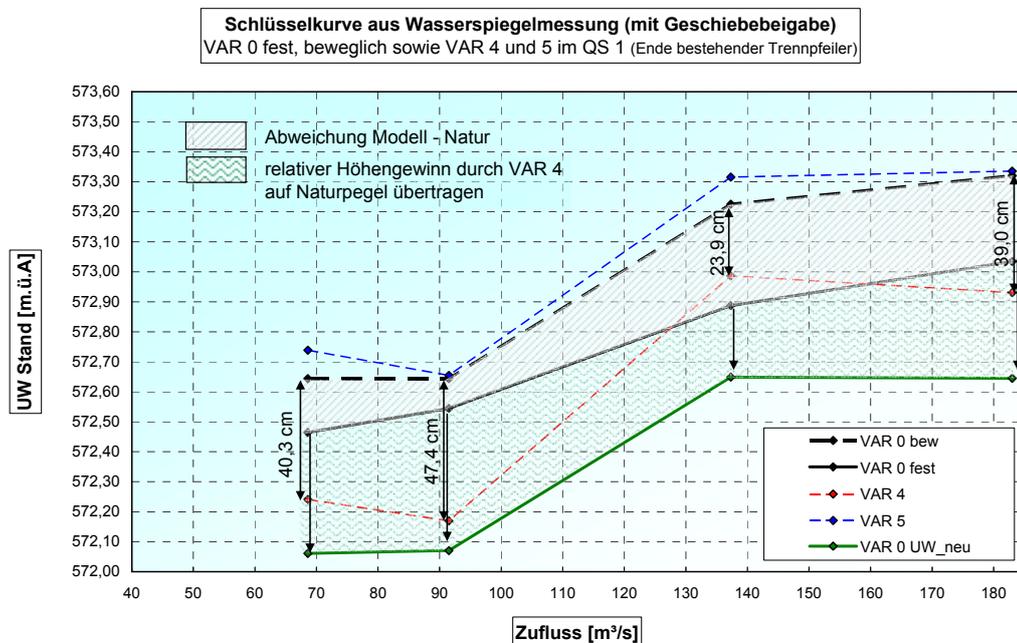


Abbildung 5.3: Pegelschlüssel im QS 1: Varianten mit Geschiebe

Im qualitativen Verlauf aller Geschiebeversuche im Modell zeigt sich ein Knick bei ca.  $1/2 Q_A$  (Bereich von  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Diesem Effekt dürften zwei Ursachen zu Grunde liegen. Zum einen die Annahme des halbseitigen Turbinenbetriebs bei geringen Beaufschlagungen und zum anderen das Erreichen der vollen Trennpfeilerhöhe von  $572,50 \text{ m.ü.A.}$

Im Vergleich der Varianten 0 fest und 0 beweglich lässt sich die Abweichung Modell zum Naturzustand im Modell erkennen. Der Wasserspiegel im Modell

liegt nach dem Spülvorgang bei größeren Beaufschlagungen ca. 25 cm und bei geringeren um 10-15 cm über dem der Variante 0 fest.

Ein relativer Höhengewinn aus dem Vergleich von Variante 0 beweglich zu Variante 4 beweglich lässt sich feststellen. Dieser beträgt im unteren Abflussbereich im Mittel 45 cm und reduziert sich bei höheren Abflussmengen auf 23,9 bis 39,0 cm bei voller Beaufschlagung. Ein Abzug dieser Differenzen vom Pegelschlüsselverlauf der Variante 0 fest könnte die mögliche Verbesserung der Schlüsselkurve der Naturdaten darstellen.

In nachfolgender Abbildung 5.4 wurden den vorangegangenen Schlüsselkurven jenem Verlauf aus den Anlagendaten für April 2005 gegenübergestellt.

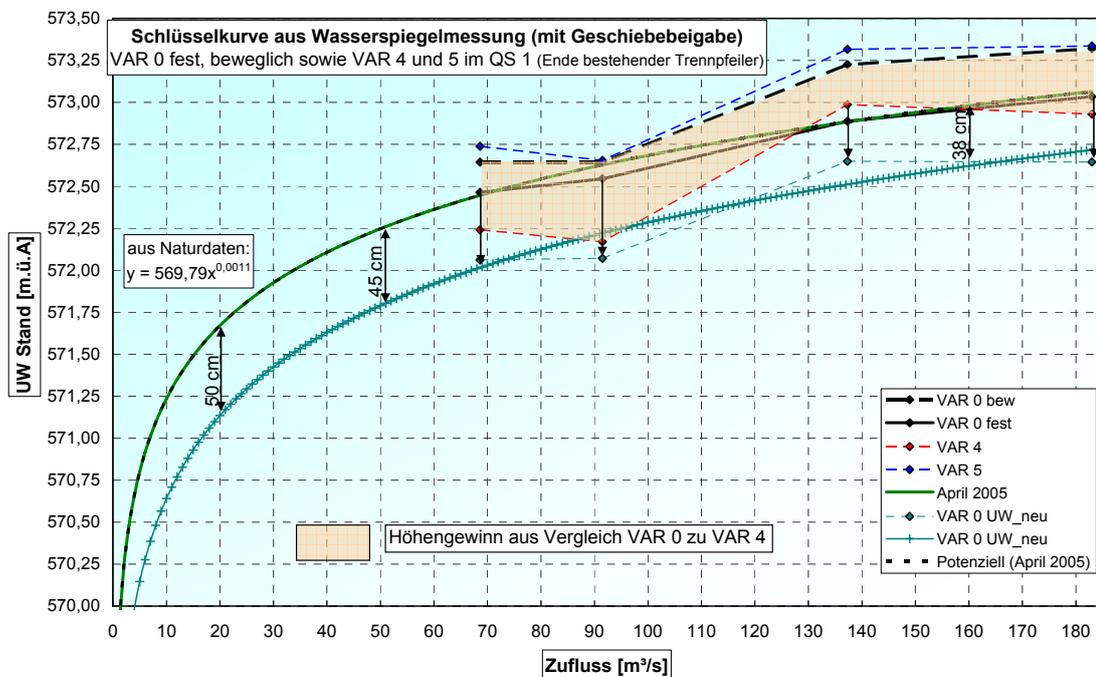


Abbildung 5.4: Pegelschlüssel im QS 1 bei Geschiebeversuchen im Vergleich mit dem Naturpegelverlauf im April 2005

Die Schlüsselkurve aus Naturdaten im QS 1 und der gemessene Verlauf der Variante 0 fest (zum selben Zeitpunkt April 2005) zeigen sehr gute Übereinstimmung. Der mögliche relative Höhengewinn der Querschnittsbetrachtung führt zur dargestellten verbesserten Schlüsselkurve.

Auch diese Darstellung vermittelt einen Fallhöhengewinn. Für energiewirtschaftliche Prognosen kann dieser Verlauf jedoch nicht herangezogen werden. Es muss die Lage der Energiehöhen im jeweils höchsten Wasserspiegel betrachtet werden. Dieser variiert zwischen QS 1 und QS 3 in Abhängigkeit der Beaufschlagung und der Varianten.

Ein Rückschluss auf mögliche Fallhöhengewinne durch die Trennpfeilerverlängerungen, aus den durchgeführten Geschiebeversuchen, kann im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht gezogen werden. Dies soll durch nachfolgende Abbildung veranschaulicht werden.

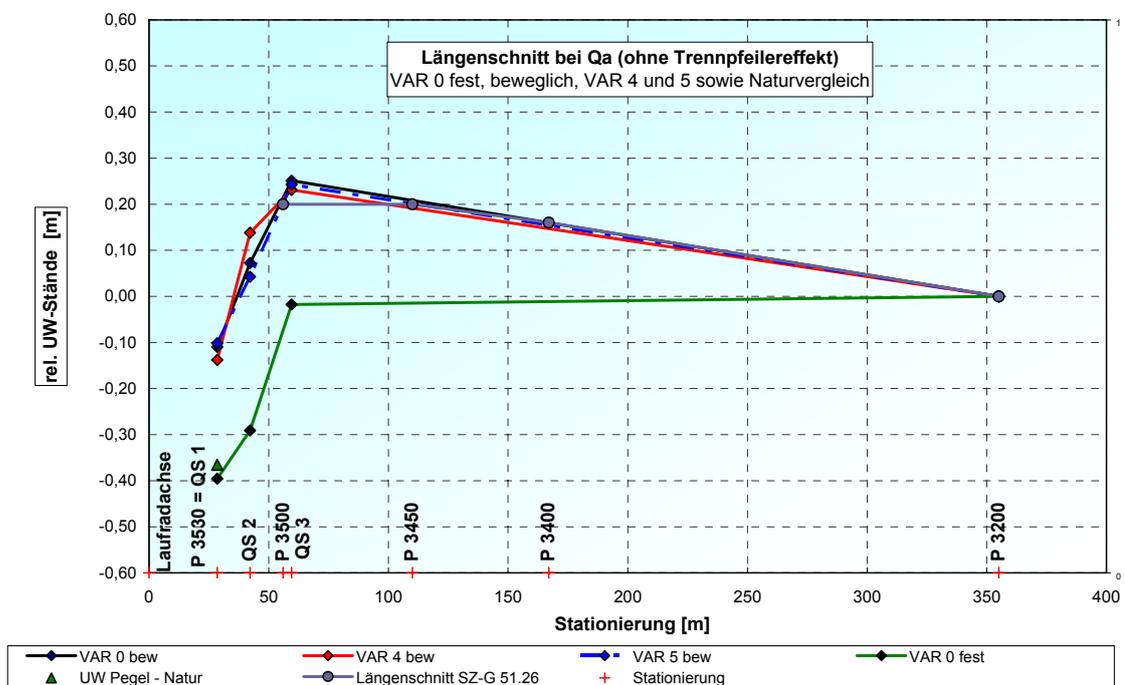


Abbildung 5.5: relativer Längenschnitt in Bezug auf verbesserte Geschiebetrift

Zieht man die relativen Höhen aus den Modellversuchen ohne Geschiebe von jenen mit Geschiebe ab, sollten die erhaltenen relativen Spiegelverläufe eine tiefere Wasserspiegellage zeigen. Wie aus Abbildung 5.5 ersichtlich liegt keine Differenz zwischen den Versuchvarianten vor. Die Ursache könnte in nachfolgenden Punkten liegen:

- Die Einstellung der mittleren Verlandungshöhe im P 3200 hat wesentlichen Einfluss auf die Längenschnittverläufe

- Die Rohdichte des verwendeten Strahlgranulates mit  $3,0 \text{ g/cm}^3$  (siehe Tabelle 4.5) dürfte zu hoch sein.
- Der Turbinenbetrieb im Modellversuch müsste womöglich über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden und erst danach sollten die Wasserstandsmessungen durchgeführt werden
- Anstatt der vereinfachten Annahme der konstanten Hochwassermenge HQ 1 während der gesamten Spüldauer, sollte die Ganglinie eines natürlichen Hochwassers im Rahmen der Einsatzmöglichkeit des Labors nachempfunden werden.

#### **5.4 Künftiges energiewirtschaftliches Potential**

Aus den Schlussfolgerungen des vorangegangenen Kapitels wurden für die zu erwartenden Fallhöhenrückgewinne konstante 10 cm Schritte vorausgesetzt. Den Erkenntnissen des Modellversuchs St. Veit 2003 zufolge, erscheint eine mögliche Fallhöhenverbesserung von ca. 50 cm als realistisch. Somit wurde eine Bandbreite von 0 bis 50 cm für die Berechnung des künftigen energiewirtschaftlichen Potentials angenommen.

Der Berechnung der möglichen Ertragserhöhung wurden jene Abflussdauerlinien zugrunde gelegt, die in der rückwirkenden 10-Jahresbetrachtung (1995 bis 2004) dem Regel-, dem Nass- und dem Trockenjahr entsprechen (siehe Abbildung 3.8: Dauerlinie von Regeljahr, Nassjahr und Trockenjahr der Reihe 1995-2004).

Aus dem berechneten Pegelschlüssel des Jahres 2004 (siehe Abbildung 3.9: berechneter Pegelschlüssel aus den Anlagendaten für 2004) wurden die entsprechenden UW-Stände in Abhängigkeit der Abflüsse ermittelt.

Bei Annahme eines konstanten Stauzieles von 582,0 m.ü.A. ergaben sich Bruttofallhöhendauerlinien für die drei charakteristischen Jahresbetrachtungen.

Eine graphische Darstellung der Berechnung der Energieproduktion (Leistungsplan) wurde exemplarisch für das Regeljahr gewählt.

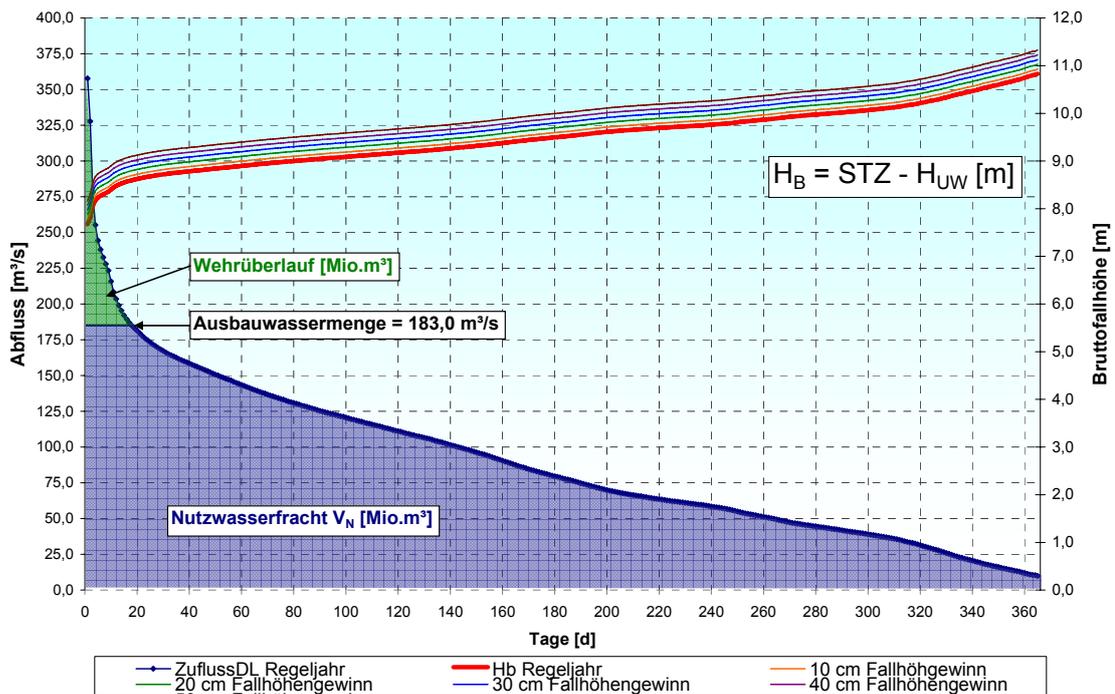


Abbildung 5.6: Dauerlinien im Regeljahr von Abfluss und Bruttofallhöhe

Abbildung 5.6 zeigt die Dauerlinie des Regeljahres, die Bruttofallhöhe bei Pegelschlüssel 2004 und die angenommenen Bruttofallhöhengewinne. Die Fläche unter der Abflussdauerlinie zeigt die entsprechende Nutzwasserfracht bis zur Ausbauwassermenge. Der darüber hinausgehende Abflussanteil wird über die Wehrfelder energiewirtschaftlich ungenützt an das Unterwasser abgegeben.

Als weitere Vereinfachung sei angemerkt, dass kein Spülausfall (freie Durchflussdauer ca. 3-4 Tage) berücksichtigt wurde. Dies kompensiert sich wiederum durch die mögliche Überlast der Maschinen bis ca. 200  $\text{m}^3/\text{s}$ .

In Anlehnung an das Kapitel der wasserwirtschaftlichen Datenerhebung wurden in Tabelle 5.3 die Nutzwasserfrachten von 1989 bis 2004 berechnet und der vereinfachten Berechnung bei Regel-, Trocken- und Nassjahr gegenübergestellt. Dies dient als weitere Plausibilitätsprüfung der vereinfachten Berechnung und bestätigt darüber hinaus des Weiteren die auf Seite 36 getroffenen Aussagen bezüglich tatsächlich aufgetretener Trockenjahre (1996, 2003 und 2004) und Nassjahre (1999, 2000 und 2002).

aus AHP Daten berechnet	Kraftwerk- Durchfluss	Wehr- Überlauf	Gesamt- Zulauf	KW Durchfluss sortiert	
Jahr	[Mio.m³]	[Mio.m³]	[Mio.m³]	[Mio.m³]	Jahr
1989	2.522	181	2.703	2.117	1990
1990	2.117	256	2.373	2.287	1996
1991	2.355	231	2.586	2.355	1991
1992	2.483	21	2.504	2.420	1994
1993	2.636	49	2.685	2.475	2004
1994	2.420	37	2.457	2.483	1992
1995	2.698	115	2.813	2.492	2003
1996	2.287	74	2.361	2.522	1989
1997	2.525	67	2.592	2.525	1997
1998	2.611	64	2.675	2.611	1998
1999	2.913	126	3.039	2.636	1993
2000	3.065	90	3.155	2.698	1995
2001	2.760	21	2.782	2.760	2001
2002	2.761	106	2.867	2.761	2002
2003	2.492	9	2.502	2.913	1999
2004	2.475	115	2.591	3.065	2000
zufolge vereinfachter Berechnung					
Regeljahr	2.747	75	2.822		
Trockenjahr	2.355	6	2.361		
Nassjahr	3.164	184	3.348		

Tabelle 5.3: Nutzwasserfrachten 1989 bis 2004

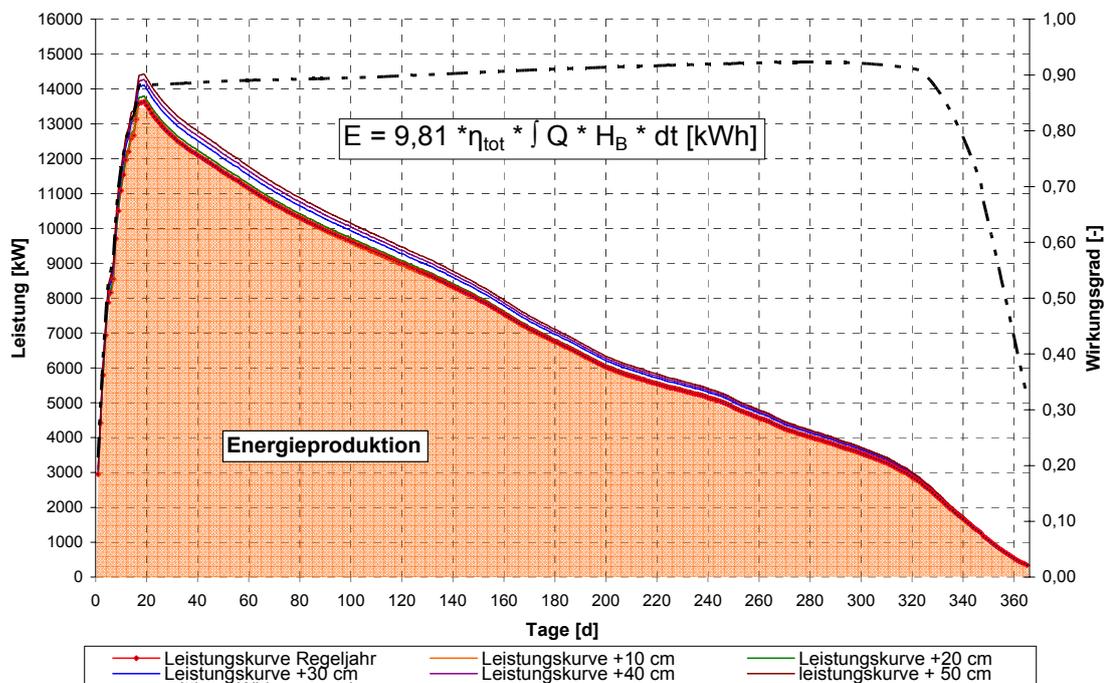


Abbildung 5.7: Energieproduktion im Regeljahr und Wirkungsgradverlauf

Den mittleren Wirkungsgradverlauf (aus Abbildung 3.17: Wirkungsgradverläufe 1998 / 1999 / 2004 und gemittelte Annahme) und die errechneten Leistungskurven zeigt Abbildung 5.7. Die Aufsummierung der Leistung über die Zeit ergibt die Energieproduktion. Die entsprechende Fläche wurde orange hinterlegt und entspricht der Jahresenergie für das Regeljahr und die Ausgangsfallhöhe.

Sämtliche Berechnungsergebnisse sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst. Ein Differenzbetrag zum jeweils betrachteten Jahr sowie die prozentuale Steigerung bei gleichen Abflussbedingungen können ebenso entnommen werden.

	Basis	Fallhöhengewinn					
	0	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
<b>Regeljahr</b>	<b>60.813.333</b>	61.474.982	62.136.632	62.798.282	63.459.931	64.121.581	
<b>Trockenjahr</b>	<b>52.132.988</b>	52.691.163	53.249.338	53.807.513	54.365.689	54.923.864	
<b>Nassjahr</b>	<b>70.588.146</b>	71.369.231	72.150.315	72.931.399	73.712.484	74.493.568	
	<b>Differenz zum jeweiligen Jahreszufluss bei Ausgangsfallhöhe</b>						
<b>Regeljahr</b>	<b>Differenz</b>	661.650	1.323.299	1.984.949	2.646.599	3.308.248	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,09%</b>	<b>2,18%</b>	<b>3,26%</b>	<b>4,35%</b>	<b>5,44%</b>	<b>[%]</b>
<b>Trockenjahr</b>	<b>Differenz</b>	558.175	1.116.350	1.674.526	2.232.701	2.790.876	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,07%</b>	<b>2,14%</b>	<b>3,21%</b>	<b>4,28%</b>	<b>5,35%</b>	<b>[%]</b>
<b>Nassjahr</b>	<b>Differenz</b>	781.084	1.562.169	2.343.253	3.124.337	3.905.422	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,11%</b>	<b>2,21%</b>	<b>3,32%</b>	<b>4,43%</b>	<b>5,53%</b>	<b>[%]</b>

*Tabelle 5.4: künftiges energiewirtschaftliches Potential bezogen auf die jeweilige Abflusssituation bei Ausgangsfallhöhe*

Zur besseren Veranschaulichung wurden die Berechnungsergebnisse in Abbildung 5.8 graphisch dargestellt.

Bei 50 cm Fallhöhenrückgewinn variiert die prozentuale Steigerung zwischen 5,35 und 5,53 %. Das entspricht einer zusätzlichen Jahresenergie von 2,79 bis 3,91 GWh.

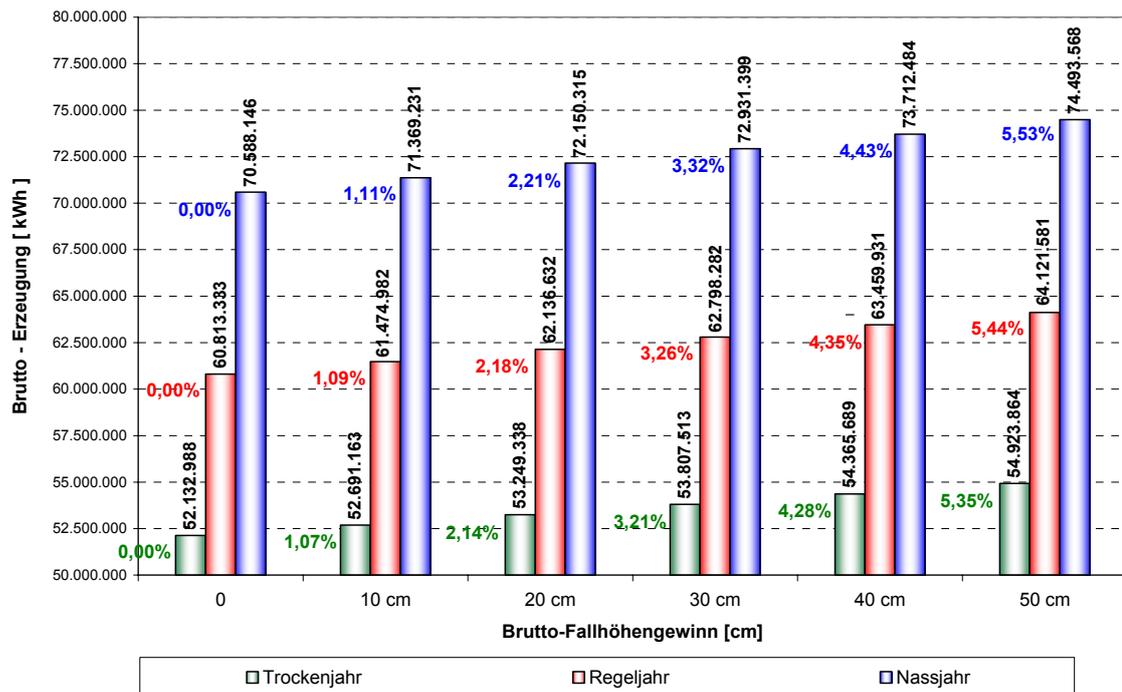


Abbildung 5.8: künftiges energiewirtschaftliches Potential bezogen auf die jeweilige Abflusssituation bei Ausgangsfallhöhe

Nimmt man die Energieproduktion für das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe (60,8 Mio. kWh) als alleinige Bezugsbasis so wird der wesentliche Einfluss der Hydrologie besser veranschaulicht. Im Übrigen entspricht dieser Wert nahezu dem tatsächlichen JAV der Anlage von 60,7 Mio. kWh (vgl. Abbildung 3.13).

	Basis						
	0	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
<b>Regeljahr</b>	<b>60.813.333</b>	61.474.982	62.136.632	62.798.282	63.459.931	64.121.581	
<b>Trockenjahr</b>	52.132.988	52.691.163	53.249.338	53.807.513	54.365.689	54.923.864	
<b>Nassjahr</b>	70.588.146	71.369.231	72.150.315	72.931.399	73.712.484	74.493.568	
<b>Differenz zum Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe</b>							
<b>Regeljahr</b>	0	661.650	1.323.299	1.984.949	2.646.599	3.308.248	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,09%</b>	<b>2,18%</b>	<b>3,26%</b>	<b>4,35%</b>	<b>5,44%</b>	<b>[%]</b>
<b>Trockenjahr</b>	-8.680.345	-8.122.170	-7.563.995	-7.005.819	-6.447.644	-5.889.469	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>-14,27%</b>	<b>-13,36%</b>	<b>-12,44%</b>	<b>-11,52%</b>	<b>-10,60%</b>	<b>-9,68%</b>	<b>[%]</b>
<b>Nassjahr</b>	9.774.813	10.555.898	11.336.982	12.118.067	12.899.151	13.680.235	<b>[kWh]</b>
<b>theoretischer Energiegewinn</b>	<b>16,07%</b>	<b>17,36%</b>	<b>18,64%</b>	<b>19,93%</b>	<b>21,21%</b>	<b>22,50%</b>	<b>[%]</b>

Tabelle 5.5: künftiges energiewirtschaftliches Potential, Bezugsbasis ist das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe

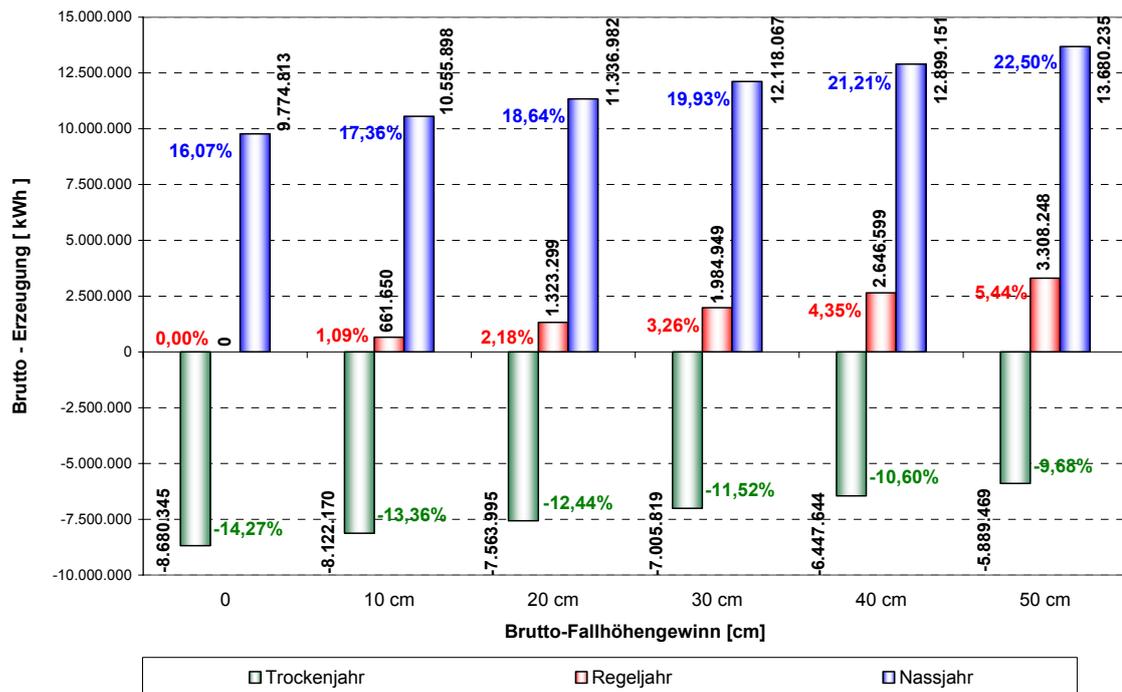


Abbildung 5.9: künftiges energiewirtschaftliches Potential, Bezugsbasis ist das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe

In obiger Abbildung ist nun die gesamte Bandbreite des energiewirtschaftlichen Potentials in Bezug auf das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe ersichtlich. Bei Erreichen einer Bruttofallhöhenverbesserung von 50 cm variiert die differenzielle Brutto-Erzeugung zwischen -5,9 GWh im Trockenjahr und +13,7 GWh im Nassjahr. Dies entspricht einem Prozentbereich von -9,69 % bis +22,50%.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Beim Kraftwerk St. Veit an der Mittleren Salzach kommt es nach Staurationsspülungen zu Anlandungen von Geschiebe im Unterwasserbereich. Da diese Feststoffe im Bereich der Turbinenausläufe verbleiben, führt die damit verbundene Anhebung des Wasserspiegels zu einer Reduktion der energetisch nutzbaren Fallhöhe und somit zu Ertragseinbußen bei der Energieproduktion.

Durch die Reduktion der unterwasserseitigen Anlandungen könnte eine Optimierung der Stromproduktion erreicht werden. Weiters würde die Durchgängigkeit der Kraftwerksanlagen für Sedimente verbessert. Die Forschungsergebnisse könnten also sowohl zu ökonomischen als auch ökologischen Verbesserungen für den Betrieb von Flusskraftwerken führen.

Ziel dieser Diplomarbeit war die Darstellung der möglichen Ertragserhöhung des Flusskraftwerkes St. Veit aufgrund einer Reduktion bestehender Fallhöhenverluste durch die Verlängerung des UW-seitigen Trennpfeilers.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde versucht folgende zentralen Forschungsfragen zu beantworten:

- Wie hoch waren die Einbußen in der Stromproduktion aufgrund von unterwasserseitigen Geschiebeanlandungen in den vergangenen 10 Jahren?

Eine rückwirkende Anlagenanalyse von 1995 bis 2004 wurde durchgeführt. Sowohl wasser- als auch energiewirtschaftliche Basisdaten aus den Betriebsdaten des Anlagenbetreibers wurden errechnet. Ein kontinuierlicher Unterwasserpegelanstieg in der Größenordnung von 45 cm konnte nachgewiesen werden. Des Weiteren wurde damit ein Abfall der maximalen Leistung von ca. 1 MW aufgezeigt.

Bei Annahme einer konstanten Unterwasserpegelsituation wie im Jahre 1995 zeigte sich bis 2004 ein Gesamtausmaß der Jahreseinbußen von 4.74%. Auf den betrachteten 10-Jahres-Zeitraum bedeutet dies mittlere Energieeinbußen

von 2,16% pro Jahr. Ein ausreichendes Verbesserungspotenzial ist somit einwandfrei gegeben.

- Welche konkreten Auswirkungen haben Varianten von Trennpfeilerverlängerungen auf den Turbinenbetrieb?

Einerseits führt die Verlängerung zu einer Reduktion der Anlandungen, doch andererseits erfolgt durch die einengende Wirkung eines ausgeprägten Trennpfeilers ein steilerer Anstieg des Wasserspiegels im Turbinenauslauf. Diese Einschränkung der Ausbreitungsmöglichkeit des Triebwassers in Richtung Wehr verzögert die Strömung und führt im Turbinenauslaufbereich zu einem Druckaufbau. Dieser äußert sich in einem Spiegelhöhenanstieg. Ein Rückschluss auf die Energieproduktion ist im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich, da sich speziell die Wechselwirkung Saugrohr- und Unterwasserströmung auf den Turbinenwirkungsgrad auswirken.

Ein negativer Einfluss der Verlängerungen zeigt sich besonders bei größeren Beaufschlagungsmengen. Bei geringeren Abflussmengen und einseitigem Turbinenbetrieb ist der Spiegelanstieg beim Maschinensatz nahe dem Trennpfeiler wesentlich steiler. Der Höchstwasserspiegel bleibt hingegen gleich.

- Welches energiewirtschaftliche Potenzial könnte sich durch zukünftige bauliche Veränderungen und einer damit verbundenen optimierten Geschiebetrift während des Spülvorganges ergeben?

Aus Abflussverhältnissen von 10-Jahresreihen konnten Dauerlinien für ein Regeljahr, Nassjahr und Trockenjahr ermittelt werden. Bei Annahme von 50 cm Fallhöhenrückgewinn variiert die prozentuelle Steigerung zwischen 5,35 und 5,53 % bezogen auf die jeweilige Abflusssituation. Das entspricht einer zusätzlichen Jahresenergie von 2,79 bis 3,91 GWh.

Nimmt man die Energieproduktion für das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe (60,8 Mio. kWh) als alleinige Bezugsbasis so wird der wesentliche Einfluss der Hydrologie besser veranschaulicht. Dieser Wert entspricht nahezu dem tatsächlichen JAV der Anlage von 60,7 Mio. kWh. Bei Erreichen einer Bruttofallhöhenverbesserung von 50 cm variiert nun die differenzielle Brutto-

Erzeugung zwischen -5,9 GWh im Trockenjahr und +13,7 GWh im Nassjahr. Dies entspricht einem Prozentbereich von -9,69 % bis +22,50%.

Einzig die Frage der Verbesserung der Geschiebetrift und damit verbunden die qualitative Aussage über möglich Fallhöhenrückgewinne durch Einbau von Trennpfeilerverlängerungen konnte aufgrund der gewählten Versuchsdurchführung nicht beantwortet werden. Eine Lösung wurde dahingehend getroffen, dass konstante Höhengewinne in 10 cm Schritten angenommen wurden und damit die energiewirtschaftlich mögliche Optimierung bis zu 50 cm berechnet wurde.

Wesentliche Erkenntnisse für weiterführende Geschiebeversuche konnten jedenfalls gewonnen werden.

Wie man letztendlich diese Fallhöhenrückgewinne erzielt und in welcher Größenordnung diese in Erscheinung treten, soll im Zuge von weiterführenden Forschungsarbeiten an der TU Graz beantwortet werden.

Abschließend sei ein kleines Zitat angeführt:

*„ Das Leben der Erde ist unabdingbar an das flüssige Wasser gebunden. Versteht man das flüssige Wasser nicht, so kann man das Leben nicht verstehen.“*

Wolfram Schwenk

## Literaturverzeichnis

AMT der SALZBURGER LANDESREGIERUNG: „*Salzachkraftwerk St. Veit; wasser- und elektrizitätsrechtliche Bewilligung*“, Zahl 1/01-25.317/18-1985, Salzburg 02.12.1985

BERGMANN, H.: „*Hydromechanik und Hydraulik*“, Vorlesungsskriptum, Technische Universität Graz, Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie, Graz 1996

BRAUNSCHWEIG, Ch., STULLE, K.: „*Workshop: Berichte und wissenschaftliche Arbeiten*“, 2. Auflage, Herdt-Verlag, Nackenheim 18. Juli 2003

BUNDESAMT FÜR KONJUNKTURFRAGEN: „*Kleinwasserkraftwerke – Wahl, Dimensionierung und Abnahme einer Kleinturbine*“, Impulsprogramm PACER; Bern im Oktober 1995

BUNDESMINISTERIUM für Land- und Forstwirtschaft: „*Bericht über die 15. Flussbautagung*“ im Kongresshaus Salzburg, Wien 1985

FAFNIR: Produktinformation: <http://www.fafnir.de>, Graz August 2005

FRITZL, Chr.: „*Entlandungsmaßnahmen von Stauhaltungen und deren Wirtschaftlichkeit*“, Diplomarbeit TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz 2000

GIESECKE, J., MOSONYI, E.: „*Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb*“, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1997

GOBER, H.: „*Feststoffmanagement in Kraftwerksketten*“, Diplomarbeit TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz 2000

HEIGERTH, G., KLASINC, R., KNOBLAUCH, H.: „*Gutachten Salzach Kraftwerk St. Veit*“, Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz im Dezember 2003 (unveröffentlicht)

- HEIGERTH, G.: „*Konstruktiver Wasserbau und Wasserbau VA*“ Vorlesungs- und Übungsskriptum, Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz 1999
- JANSEN, P.J.: „Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit des Laufkraftwerks Fischening“, Gutachten im Auftrag der STEWEAG, Wien im Oktober 1991
- KALTSCHMITT, M., WIESE, A., STREICHER, W.: „*Erneuerbare Energien – Systematik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*“, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- KIRCHLECHNER, P.: „*Wasserwirtschaft der KWG Glockner-Kaprun*“, Verbund AHP AG, Bau Hochdruckanlagen – Hydrologie Kaprun, Kaprun März 1996
- KOBUS, H.: „Wasserbauliches Versuchswesen“ DVWK, Band 39, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, 1984
- LANDESENERGIEVEREIN STEIERMARK: „Information Kleinwasserkraft“, Broschüre LandesEnergieVerein Steiermark, Graz 2004
- MANIAK, U.: „*Hydrologie und Wasserwirtschaft - eine Einführung für Ingenieure*“, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- NAUDASCHER, E.: „*Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke*“, Springer-Verlag, Wien, New York, 1992
- NEURATHNER, W.: „*Sedimenttriftuntersuchungen an alpinen Flusstauhaltungen am Beispiel der Salzach-Staustufe bei Hallein*“, Diplomarbeit TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz 1999
- ÖIR (Österreichisches Institut für Raumplanung): „*Gesamtuntersuchung Salzach*“, im Auftrag der Salzburger Landesregierung, Wien 1993
- ÖIR (Österreichisches Institut für Raumplanung): „*Raumordnungsgutachten KW-Kette Mittlere Salzach – Zwischenbericht*“, Wien, März 1980
- ÖNORM B 2400: „*Hydrologie – Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen*“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 1. Nov. 2004

ÖNORM M 7101: „*Begriffe der Energiewirtschaft, Allgemeine Begriffsbestimmungen*“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 1.1.1996

ÖNORM M 7103: „*Grundbegriffe der Energiewirtschaft – Wasserkraftwirtschaft*“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 1. Mai 1991

ÖWAV: „*Feststoffmanagement in Kraftwerksketten*“, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Band 137, Wien 2000

PALFFY, S.: „*Wasserkraftanlagen Klein- und Kleinstkraftwerke*“, 5. Auflage, expert verlag, Esslingen

PRESS, H., SCHRÖDER, R.: „*Hydromechanik im Wasserbau*“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, 1990

SCHNEIDER, Ch.: „*Untersuchung der Wechselwirkung schnellläufiger Wasserturbinen mit dem Unterwasser*“, Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl und Laboratorium für hydraulische Maschinen und Anlagen, München 1997

VEOE.AT: Energieforschungsgemeinschaft (EFG) mit Sitz im Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ) gegründet, <http://www.veoe.at>, Graz im Februar 2006

VERBUND AHP AG: „*Die Wasserkraft der AHP in Salzburg*“, Broschüre Verbund Austrian Hydro Power AG, November 2004

VERBUND AHP AG: <http://www.verbund.at/> sowie Firmenprospekt der Tauernkraft TKW, Salzburg, Dezember 1995

VERBUND AHP AG; SALZBURG AG: „*Kraftwerkskette Mittlere Salzach – Betriebsvorschrift für die betriebsbedingten Teil- oder Totalabsenkungen einzelner oder aller Stauräume von Wallnerau bis einschließlich Kreuzbergmaut*“, Juni 2002 (Vorlage zur behördlichen Bewilligung)

ZÖSCHG, A.: „*Einfluss der Überdeckungshöhen auf die Strömungsverhältnisse im Unterwasser von Matrixturbinen*“, Diplomarbeit TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz im Oktober 2001

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: KW St. Veit (Blick vom orographisch linken UW-seitigen Ufer) ..	1
Abbildung 1.2: Verlandung im UW, 16.03.2005 (Q = 32 m <sup>3</sup> /s) .....	2
Abbildung 1.3: Trennpfeiler-Verlängerung ohne Abtreppung .....	5
Abbildung 1.4: Abgestufte Trennpfeiler-Verlängerung .....	6
Abbildung 1.5: Modell-Verlandung im Turbinenbetrieb .....	6
Abbildung 2.1: Kraftwerke der AHP in Salzburg .....	10
Abbildung 2.2: Übersichtsdarstellung der Oberlieger zu Kraftwerk St. Veit.....	12
Abbildung 2.3: Übersichtslageplan der KW - Kette Mittlere Salzach .....	14
Abbildung 2.4: Kraftwerkskette Mittlere Salzach .....	14
Abbildung 2.5: Luftbild Kraftwerk St. Veit .....	15
Abbildung 2.6: Übersichtslageplan .....	16
Abbildung 2.7: Schnitte durch das Hauptbauwerk .....	16
Abbildung 2.8: theoretische Wirkungsgradverläufe verschiedener Turbinentypen .....	17
Abbildung 2.9: Schnitt durch eine Kaplan – Rohrturbine (Generator, Welle, Leitschaufel-Leitapparat, Laufrad, Transformator) .....	17
Abbildung 2.10: Naturaufnahme UW St. Veit vom 28.01.2002 (Q = 38,6 m <sup>3</sup> /s)	29
Abbildung 2.11: Naturaufnahme UW St. Veit vom 16.03.2005 (Q = 32,0 m <sup>3</sup> /s)	29
Abbildung 3.1: Ganglinie OW-Stand 2004 .....	31
Abbildung 3.2: Ganglinie UW-Stand 2004 .....	32
Abbildung 3.3: Zuflussganglinie 2004 .....	32
Abbildung 3.4: Dauerlinien von OW- und UW Ständen sowie der Bruttofallhöhe 2004 .....	33
Abbildung 3.5: Bruttofallhöhenvergleich 1995-2004 .....	34
Abbildung 3.6: Abflussdauerlinie 2004 .....	35
Abbildung 3.7: Vergleich der Abflussdauerlinien der Jahre 1995-2004 .....	36

Abbildung 3.8: Dauerlinie von Regeljahr, Nassjahr und Trockenjahr der Reihe 1995-2004 .....	37
Abbildung 3.9: berechneter Pegelschlüssel aus den Anlagendaten für 2004 ..	38
Abbildung 3.10: Schlüsselkurvenvergleich im P 3530 (QS 1) von 1995-2004	39
Abbildung 3.11: Wirkungsgradverluste und der daraus resultierenden Leistungsbegriffe .....	41
Abbildung 3.12: Leistungsplan einer Niederdruckanlage .....	42
Abbildung 3.13: Jahres-Brutto-Erzeugung in [kWh] .....	43
Abbildung 3.14: Leistungskurve 2004 .....	44
Abbildung 3.15: Zusammenhang Leistung und Durchsatz für 2004 .....	45
Abbildung 3.16: Leistungskurven-Vergleich 1998-2004 .....	46
Abbildung 3.17: Wirkungsgradverläufe 1998 / 1999 / 2004 und gemittelte Annahme .....	47
Abbildung 4.1: Ansicht Trennpfeilervarianten.....	48
Abbildung 4.2: Darstellung der Messpunkte im Lageplan .....	49
Abbildung 4.3: Trockenfoto Modell St. Veit (Blick Stauraum flussabwärts) .....	53
Abbildung 4.4: Trockenfoto Modell St. Veit (Turbinenauslauf), Variante 0 .....	53
Abbildung 4.5: Klappe am Modellende (regulierbar) .....	54
Abbildung 4.6: Pegelabtastung im Profil 3200.....	54
Abbildung 4.7: mobiles Geschiebezugabegerät.....	55
Abbildung 4.8: Zusammenhang Korndurchmesser und -dichte im Modell .....	56
Abbildung 4.9: Sondenmontage (2-mal QS 2, QS 3) .....	58
Abbildung 4.10: FAFNIR Sonden im Versuch (2 mal QS 1 und QS 3).....	59
Abbildung 4.11: Anlandung St. Veit Oberwasser 2002 .....	62
Abbildung 4.12: Profilaufnahme der Verlandung im P 3200 bei Variante 0.....	66
Abbildung 4.13: Flächenermittlung für die mittlere Verlandungshöhe bei Variante 4 .....	67

Abbildung 4.14: Flächenermittlung für die mittlere Verlandungshöhe bei Variante 5 .....	68
Abbildung 4.15: ausgeführte Varianten (Farbgleichheit mit Längenschnitten) .	69
Abbildung 4.16: Längenschnitt: ohne Geschiebe für $Q_A$ beide Maschinen gleich beaufschlagt.....	70
Abbildung 4.17: Längenschnitt: ohne Geschiebe für $3/4 Q_A$ beide Maschinen gleich beaufschlagt.....	70
Abbildung 4.18: Längenschnitt: ohne Geschiebe für $1/2 Q_A$ nur Maschine 2 (orographisch rechts) .....	71
Abbildung 4.19: Längenschnitt: ohne Geschiebe für $3/8 Q_A$ nur Maschine 2 beaufschlagt.....	71
Abbildung 4.20: Längenschnitt Bereich Turbinenauslauf: ohne Geschiebe für $1/2 Q_A$ M I.....	73
Abbildung 4.21: Längenschnitt Bereich Turbinenauslauf: ohne Geschiebe für $1/2 Q_A$ M II.....	73
Abbildung 4.22: Längenschnitt Bereich Turbinenauslauf ohne Geschiebe für $3/8 Q_A$ M I.....	74
Abbildung 4.23: Längenschnitt Bereich Turbinenauslauf ohne Geschiebe für $3/8 Q_A$ M II.....	74
Abbildung 4.24: Längenschnitt bei $Q_A$ mit Geschiebe .....	76
Abbildung 4.25: Längenschnitt bei $3/4 Q_A$ mit Geschiebe .....	76
Abbildung 4.26: Längenschnitt bei $1/2 Q_A$ mit Geschiebe (Maschine II) .....	77
Abbildung 4.27: Längenschnitt bei $3/8 Q_A$ mit Geschiebe (Maschine II) .....	77
Abbildung 4.28: relativer Längenschnitt bei $Q_A$ mit Geschiebe .....	79
Abbildung 4.29: relativer Längenschnitt bei $3/4 Q_A$ mit Geschiebe .....	79
Abbildung 4.30: relativer Längenschnitt bei $1/2 Q_A$ (MS II) mit Geschiebe.....	80
Abbildung 4.31: relativer Längenschnitt bei $3/8 Q_A$ (MS II) mit Geschiebe.....	80

---

Abbildung 5.1: Jahreseinbußen im Vergleich zu konstanten UW-Verhältnissen von 1995 .....	84
Abbildung 5.2: Pegelschlüssel im QS 1, Varianten ohne Geschiebe .....	85
Abbildung 5.3: Pegelschlüssel im QS 1: Varianten mit Geschiebe .....	86
Abbildung 5.4: Pegelschlüssel im QS 1 bei Geschiebeversuchen im Vergleich mit dem Naturpegelverlauf im April 2005.....	87
Abbildung 5.5: rel. Längenschnitt in Bezug auf verbesserte Geschiebetrifft ....	88
Abbildung 5.6: Dauerlinien im Regeljahr von Abfluss und Bruttofallhöhe.....	90
Abbildung 5.7: Energieproduktion im Regeljahr und Wirkungsgradverlauf .....	91
Abbildung 5.8: künftiges energiewirtschaftliches Potential bezogen auf die jeweilige Abflusssituation bei Ausgangsfallhöhe .....	93
Abbildung 5.9: künftiges energiewirtschaftliches Potential, Bezugsbasis ist das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe .....	94
Abbildung 6.1: Ausgangszustand Variante 0 .....	xii
Abbildung 6.2: Beginn Spülphase .....	xii
Abbildung 6.3: Verlandung Turbinenauslauf vor der Nachspülung .....	xiii
Abbildung 6.4: Aufstauphase, Wehrfeld 1 geöffnet, steuert Aufstaugeschwindigkeit.....	xiii
Abbildung 6.5: Endzustand verlandete UW Sohle.....	xiv
Abbildung 6.6: Zustand im Messvorgang .....	xiv

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Übersicht über den Projektverlauf für das Forschungsansuchen an die EFG .....	3
Tabelle 2.1: Mittlere Wasserführung sowie Abschnitte der Salzach.....	7
Tabelle 2.2: Kraftwerke der AHP im Bundesland Salzburg .....	11
Tabelle 2.3 Wasserwirtschaft der KWG Glockner – Kaprun 1961 ÷ 1990 .....	13
Tabelle 2.4: Technische Daten St. Veit .....	18
Tabelle 2.5: Entlandungsmaßnahmen der KW-Kette Mittlere Salzach ab 1985 bis 1995 .....	21
Tabelle 2.6: Entlandung der KW-Kette Mittlere Salzach ab 1995 bis 2004 .....	22
Tabelle 3.1: berechnete hydrologische Daten von 1995 bis 2004.....	36
Tabelle 4.1: Stationierung der Messquerschnitte .....	49
Tabelle 4.2: Beziehung der Wassermengen zwischen Natur und Modell .....	52
Tabelle 4.3: Stationierung UW St. Veit lt. Längenschnitt SZ-G 51.26 .....	52
Tabelle 4.4: Wasserstände im Profil 3200 lt. Einreichung .....	54
Tabelle 4.5: Zusammenstellung der bodenmechanischen Kennwerte des Geschiebes .....	56
Tabelle 4.6: UW Einstellhöhen im Profil P 3200 bei VAR 0 fest.....	60
Tabelle 4.7: Abweichung Modell / Natur bei VAR 0 fest.....	61
Tabelle 4.8: Geschiebemenge Natur und Model (April 04 bis April 05).....	62
Tabelle 4.9: Durchführungsbestimmungen Geschiebeversuch .....	63
Tabelle 4.10: Spülversuch im Zeitraffer.....	64
Tabelle 4.11: berechnete Einstellhöhen im P 3200 für Variante 0.....	66
Tabelle 4.12: berechnete Einstellhöhen im P 3200 für Variante 4.....	67
Tabelle 4.13: berechnete Einstellhöhen im P 3200 für Variante 5.....	68
Tabelle 5.1: Abweichung der tatsächlichen JAV zu den vereinfacht berechneten Werten.....	82

---

Tabelle 5.2: theoretisch möglicher Energiegewinn bei konstanten Pegelverhältnissen wie 1995.....	84
Tabelle 5.3: Nutzwasserfrachten 1989 bis 2004 .....	91
Tabelle 5.4: künftiges energiewirtschaftliches Potential bezogen auf die jeweilige Abflusssituation bei Ausgangsfallhöhe .....	92
Tabelle 5.5: künftiges energiewirtschaftliches Potential, Bezugsbasis ist das Regeljahr bei Ausgangsfallhöhe .....	93

# Anlagen

## Anlage 1 Ablaufschema koordinierte Totalabsenkung

<b>KRAFTWERKSCHETTE MITTLERE SALZACH</b>									
Abstaurheifolge für betriebsbedingte Teil- oder Totalabsenkungen für die Kraftwerke									
Kreuzbergmaut/Bischolshofen/Urreiting/St. Johann/St. Veit/Wallnerau									
Abstau in 1-m-Schritten, mit einer zusätzlichen Abgabe von max. 100 m³/s bei der fluss abwärts letzten Kraftwerksschute									
Reihenfolge der Absenkung	Zeitspanne in Minuten seit Abstaubeginn	Staubsenkung beim Kraftwerk	Abstau-geschwindigkeit (cm/min)	Abstimmung bei Beginn der Abstauphase mit Kraftwerk	Kriterium des Abstaubeginns	Staukote zu Beginn (m)	Staukote am Ende (m)	Kontaktwährend bzw. zu Beginn der Abstauphase	Anmerkung
1	00	Wallnerau	1,70	K	siehe Punkt 3	598,00	597,00	K	
2	35	Kreuzbergmaut	2,00	W		537,00	536,00	B	
3	60	Bischolshofen	2,00	K	PK: 536,30	546,80	546,80	U	
4	70	Wallnerau	0,36	B	PW: 597,00	597,00	592,03	...	
5	105	Urreiting	2,00	B	PB: 547,10	559,20	558,20	J	
6	125	St. Johann	3,00	U	PU: 558,50	570,60	569,60	V	
7	125	St. Veit	4,00	J	PJ: 570,00	582,00	581,00	K	
8	210	Kreuzbergmaut	2,00	V	z = 60'	536,00	535,00	B	
9	245	Bischolshofen	2,00	K	PK: 535,30	546,80	545,80	U	
10	280	Urreiting	2,00	B	PB: 546,10	558,20	557,20	J	
11	315	St. Johann	3,00	U	PU: 557,50	569,60	568,60	V	
12	335	St. Veit	4,00	J	PJ: 569,00	581,00	580,00	K	
13	420	Kreuzbergmaut	1,50	V	z = 60'	535,00	534,00	B	
14	470	Bischolshofen	1,50	K	PK: 534,25	545,80	544,80	U	
15	520	Urreiting	1,50	B	PB: 545,05	557,20	556,20	J	
16	570	St. Johann	2,00	U	PU: 556,45	568,60	567,60	V	
17	605	St. Veit	3,00	J	PJ: 567,90	580,00	579,00	K	
18	700	Kreuzbergmaut	1,50	V	z = 60'	534,00	533,00	B	
19	750	Bischolshofen	1,50	K	PK: 533,25	544,80	543,80	U	
20	800	Urreiting	1,50	B	PB: 544,05	556,20	555,20	J	
21	850	St. Johann	2,00	U	PU: 555,45	567,60	566,60	V	
22	885	St. Veit	3,00	J	PJ: 566,90	579,00	578,00	K	
23	980	Kreuzbergmaut	1,00	V	z = 60'	533,00	532,00	B	
24	1065	Bischolshofen	1,00	K	PK: 532,15	543,80	542,80	U	
25	1150	Urreiting	1,00	B	PB: 542,95	555,20	554,20	J	
26	1235	St. Johann	2,00	U	PU: 554,35	566,60	565,60	V	
27	1270	St. Veit	2,00	J	PJ: 565,90	578,00	577,00	K	
28	1380	Kreuzbergmaut	1,00	V	z = 60'	532,00	531,00	B	
29	1440	Wallnerau	0,50	V	PW: 592,70	592,03	590,81	...	
30	1455	Bischolshofen	1,00	K	PK: 531,15	542,80	541,80	U	
31	1550	Urreiting	1,00	B	PB: 541,95	554,20	553,20	J	
32	1635	St. Johann	1,50	U	PU: 553,35	565,60	564,60	V	
33	1680	Wallnerau	1,00	V	PW: 590,80	590,81	587,90	...	
33	1685	St. Veit	2,00	J	PJ: 564,85	577,00	576,00	K	

Abstau bis zum freien Durchfluss bei allen verfügbaren Wehrdeim zur Gewährleistung des Geschlechtsverkehrs (Staulegung)

Legende: K: Kraftwerk Kreuzbergmaut  
 B: Kraftwerk Bischolshofen  
 U: Kraftwerk Urreiting  
 J: Kraftwerk St. Johann  
 V: Kraftwerk St. Veit  
 W: Kraftwerk Wallnerau

z: ..... Zeitspanne vom Ende der Abstauphase in St. Veit

PK: Oberwasserpegel Kreuzbergmaut  
 PB: Oberwasserpegel Bischolshofen  
 PU: Oberwasserpegel Urreiting  
 PJ: Oberwasserpegel St. Johann  
 PW: Oberwasserpegel Wallnerau

Anlage 1  
 SZ-Q 82e  
 Stand: 10. Juni 2000

## Anlage 2 Wehrbetriebsordnung KW St. Veit

WEHRBETRIEBSORDNUNG KW St. Veit			
<b>ABSTAU</b>			
	Stauziel	582	m.ü.A.
	Klappe WF 1 (orografisch links) umlegen, anschl. Segment WF 3 öffnen		
	Abstau bis Kote 579,00 in	85	min
	Abstaugeschwindigkeit lt. Anlage 1	4 bis 2	cm/min
	Abstellen der Maschinen auf Kote 579,00 anschl. Segment WF 1 und WF 2 öffnen		
	Abstau bis Kote 576,00 in	135	min
	Abstaugeschwindigkeit	3,0	cm/min
	Abstau bis zum freien Durchfluss	50	min
<b>SPÜLUNG</b>			
	Wehrfelder 1 bis 3 geöffnet		
	freier Durchfluss	ca. 50	h
	Nachspüldauer (24-30 Std.)	ca. 25	h
<b>AUFSTAU</b>			
	Segmente WF 2 und 3 schliessen		
	Segment WF 1 steuert Aufstaugeschwindigkeit		
	Aufstau auf Kote 579,00 in	200	min
	Turbinenbetrieb Maschine I (orographisch links)	579,00	m.ü.A.
	Durchfluss $Q_{A, Turbine I}$	90-100	m <sup>3</sup> /s
	Aufstau auf Kote 582,00 in	170	min
	normaler Turbinenbetrieb MS I und II	bis 183	m <sup>3</sup> /s

## Anmerkung:

- In der Aufstauphase unter Umständen Teillast der Turbinen und Öffnen von Wehrfeld WF 1 (orographisch links) teilweise alternierend oder gleichzeitig durchführen in Abhängigkeit des Sedimenteinzuges zum Turbinenzulauf.
- Aufstaugeschwindigkeit möglichst hoch wählen.
- Umstellung der Steuerung des Aufstauvorganges von WF 1 auf WF 3.

### Anlage 3 Modellfotos



*Abbildung 6.1: Ausgangszustand Variante 0*



*Abbildung 6.2: Beginn Spülphase (T = ca. 10 Std. nach Abstau Beginn)*



Abbildung 6.3: Verlandung Turbinenauslauf vor der Nachspülphase ( $T = \text{ca. } 55 \text{ Std.}$ )



Abbildung 6.4: Aufstauphase, Wehrfeld 1 geöffnet ( $T = \text{ca. } 85 \text{ Std.}$ )

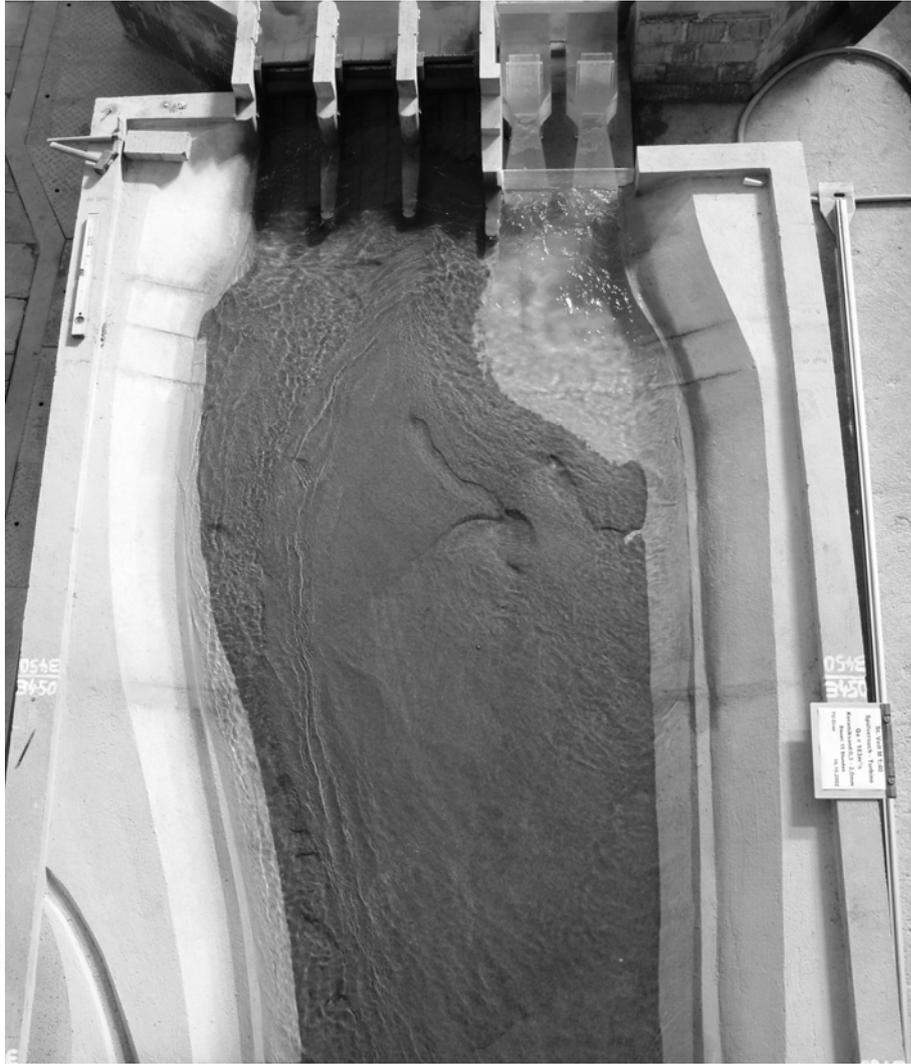


Abbildung 6.5: Endzustand verlandete UW Sohle



Abbildung 6.6: Zustand im Messvorgang