



Untersuchungen Geschiebehaushalt

Bericht mit Beilagen

SPERRVERMERK – BEFRISTET

Diese Unterlage ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte vorbehalten.

Erstveröffentlichung nach Einleitung des

Anhörungsverfahrens.

Kontakt

DI Stefan Wimmer
Kranichberggasse 4
A-1120 WIEN
Austria
Tel. +43 (0)1 53 605 - 0
Fax +43 (0)1 53 605-165
Pöyry Austria GmbH



Copyright © Pöyry Austria GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Weder Teile des Berichts noch der Bericht im Ganzen dürfen ohne die ausdrückliche schriftliche Genehmigung von Pöyry Austria GmbH in irgendeiner Form vervielfältigt werden.

Copyright © Pöyry Austria GmbH

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
2	METHODIK	2
2.1	Allgemeines	2
2.2	Software	3
3	DATENGRUNDLAGE	4
3.1	Hydraulische Kenndaten	4
3.1.1	Durchflüsse	4
3.1.2	Gerinnegeometrie	5
3.1.3	Rauigkeiten	6
3.2	Korngrößen	6
3.3	Sedimenteintrag	7
3.4	Sohlhöhenentwicklung	8
3.5	Wassertemperatur	10
4	MODELLERSTELLUNG	11
4.1	Modellstrecke	11
4.2	Zeitliche und räumliche Auflösung	11
4.3	Hydraulische Parameter	12
4.4	Hydraulische Randbedingung	12
4.5	Korngrößenklassen	12
4.6	Parameter Feststofftransport	13
4.7	Sedimentfrachten	13
5	MODELLVERIFIZIERUNG UND KALIBRIERUNG	14
5.1	Überprüfung der hydraulischen Berechnung	14

5.2	Kalibrierung Feststofftransportmodell	15
5.2.1	Korngrößen des Sedimenteintrags	15
5.2.2	Active Layer Thickness	16
5.2.3	Sohlkorngrößen	16
5.2.4	Kalibrierungsergebnisse	17
6	MODELLERGEBNISSE	19
6.1	IST - Zustand	19
6.2	Auswirkungen der Wasserkraftanlage im Staubereich	20
6.3	Auswirkungen der Wasserkraftanlage in der Restwasserstrecke	24
6.4	Auswirkungen von Spülvorgängen	26
7	ZUSAMMENFASSUNG	30

ANHANG

Anhang A Übersichtslageplan 1:30.000

Anhang B Lageplan Profile 1:25.000

Anhang C Querprofile - Tabelle

1 EINLEITUNG

Die Wasserkraft Schneizlreuth GmbH&Co.KG entwickelt ein Wasserkraftprojekt an der Saalach mit einer Wasserfassung auf österreichischer Seite, einem Triebwasserstollen an der rechten Talseite und einer Kraftstation auf bayerischer Seite im Bereich der Ortschaft Schneizlreuth. Die elektrische Energie wird auf bayerischer Seite erzeugt und soll in das nahe örtliche Netz in Deutschland eingespeist werden. Besonderer Schwerpunkt wird auf die Einhaltung höchster ökologischer Standards gelegt, mit dem Ziel die Flussökologie der Saalach nicht zu verschlechtern, sondern den Fluss als lebendiges und naturnahes Gewässer zu erhalten.

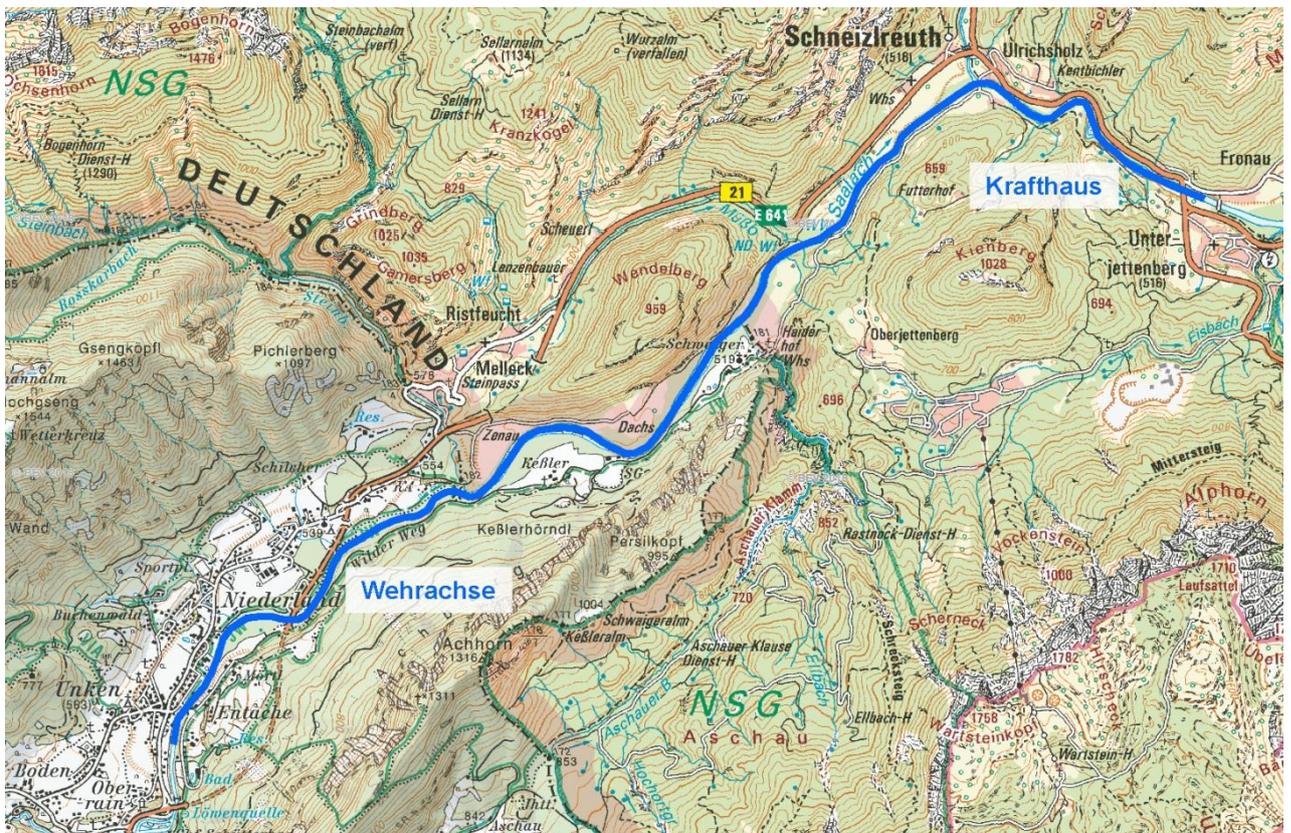


Abbildung 1: Übersicht Untersuchungsereich

Hydraulische Simulationen mit Feststofftransport sollen den Geschiebehaushalt in der Saalach für den Untersuchungsabschnitt von Fkm 26,0 bis 35,7 analysieren. Mit der Durchführung dieser Untersuchungen wurde PÖRY Austria GmbH im Jänner 2018 beauftragt. Dabei stehen drei Fragestellungen im Mittelpunkt:

1. Auswirkungen der Wasserkraftanlage im Staubereich
2. Auswirkungen der Wasserkraftanlage in der Restwasserstrecke
3. Auswirkungen von Spülvorgängen

2 METHODIK

2.1 Allgemeines

Der gesamte Untersuchungsabschnitt soll mittels eindimensionaler Wasserspiegellagenberechnungen mit Feststofftransport analysiert werden. Zunächst wurde das Modell hydraulisch (feste Sohlhöhen) erstellt und die Ergebnisse der Wasserspiegel mit den Ergebnissen der Berechnung mittel WASPI¹ verglichen.



Abbildung 2: Untersuchungsabschnitt der 1D-Wasserspiegellagenberechnungen

In weiterer Folge wurden das Sedimentmodul aktiviert und Modellrechnungen zur Beantwortung der Fragestellungen durchgeführt. In Anhang A ist die Modellstrecke in einem Übersichtslageplan dargestellt, Anhang B enthält eine Darstellung der Querprofile mit Kilometrierung.

¹ Siehe Bericht: Wasserkraftanlage Schneizlreuth, WASSERWIRTSCHAFT & HYDROLOGIE (Pöyry, 03/2018)

2.2 Software

Das Feststofftransportmodell wurde mit dem Programm GSTARS 2.1.1 (Generalized Stream Tube model for Alluvial River Simulation), einem quasistationären 1-dimensionalen Modell durchgeführt. Dieses Modell wurde durch die "Sedimentation and River Hydraulics Group of the U.S. Bureau of Reclamation (Denver, CO)" entwickelt.

Aus den insgesamt elf von GSTARS angebotenen Gleichungssystemen wurde „Yang's Sand (1979) and Gravel (1984) Transport Formulas“ ausgewählt. Diese Formel berücksichtigt die Sinkgeschwindigkeiten, die Korngrößen, die kinematische Viskosität des Wassers, das Energieliniengefälle, die Wassertiefe und die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit. Die Koeffizienten dieser Formel wurden anhand von 452 Datensätzen eines Messkanals ermittelt. GSTARS ermittelt den Feststofftransport anhand der angegebenen Korngrößenfraktionen. Dabei werden Partikel unterschiedlicher Größe verschieden stark transportiert. In Abhängigkeit von den hydraulischen Randbedingungen, der Korngrößenverteilung der eingebrachten Sedimente und der Sohlbeschaffenheit werden Partikel erodiert, sedimentiert oder bleiben unverändert.

Die Sohlkorngrößen können in 10 Klassen eingeteilt werden, die Verteilung wird profilabhängig vor Beginn der Simulation definiert. Die Einteilung der Sohlkorngrößenklassen bestimmt auch die Klassengrenzen des Sedimenteintrags. Die Angabe von zeitlich variablen Sohlrauigkeiten oder eine vertikale Schichtung der Sohlkorngrößen ist im Modell nicht vorgesehen. Die zeitlich variable Ausprägung von Riffeln und Dünen in Längserstreckung bleiben ebenfalls unberücksichtigt.

3 DATENGRUNDLAGE

3.1 Hydraulische Kenndaten

Die hydraulischen Bedingungen wie Gerinnegeometrie, Durchflüsse und Rauigkeiten wurden einerseits entsprechend den Werten der hydraulischen Modellberechnungen der Saalach - siehe Bericht „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie“ (Pöyry, 03/2018) – angesetzt, andererseits wurde auf zusätzliche Daten des Bayerischen Landesamts für Umwelt (Messstelle Unterjettenberg - Saalach) zurückgegriffen.

3.1.1 Durchflüsse

Für die Überprüfung der hydraulischen Berechnungen ohne Sedimenttransport wurden entsprechend den o.a. hydraulischen Modellberechnungen charakteristische Durchflüsse (NQT – HQ300) gewählt. Die Durchflüsse für die Berechnung mit Sedimenttransport wurden auf Basis der Messdaten des Bayerischen Landesamts für Umwelt (Messstelle Unterjettenberg – Saalach, siehe Abbildung 3) für den Zeitraum 2005 – 2016 festgelegt.

Dabei wurden in der Modellstrecke vier Zubringer (Weißbach, Müßbach, Aschauer Bach und Steinbach) berücksichtigt, die im Lageplan in Anhang B eingetragen sind. In Tabelle 1 sind Durchflusswerte von NQT bis HQ100 eingetragen, bei Fkm 35,7 liegt der Beginn der Modellstrecke, bei Fkm 25,9 das Ende. Aus den charakteristischen Durchflüssen wurden Beziehungen der Zubringer zum Pegel Unterjettenberg hergestellt und entsprechende Regressionsgeraden ermittelt. Mittels dieser Regressionen wurden die Zeitreihen des Zeitraums 2005 – 2016 für die Zubringer-Durchflüsse bestimmt. Die Durchflussganglinien bilden auch die Basis für die Definition des Sedimenteintrags (siehe 3.3).

	Saalach Fkm 35,7	Steinbach	Aschauer Bach	Müßbach	Weißbach	Saalach Fkm 25,9
NQT	4,0	0,31	0,04	0,08	0,08	4,5
MJNQT	8,3	0,50	0,06	0,12	0,13	9,1
MQ	35,3	1,83	0,24	0,45	0,48	38,3
HQ1	213,0	13,52	1,69	1,72	4,98	234,9
HQ100	725,0	46,04	5,75	9,21	13,81	799,8

Tabelle 1: Durchflüsse Saalach und Zubringer innerhalb der Modellstrecke [m³/s]

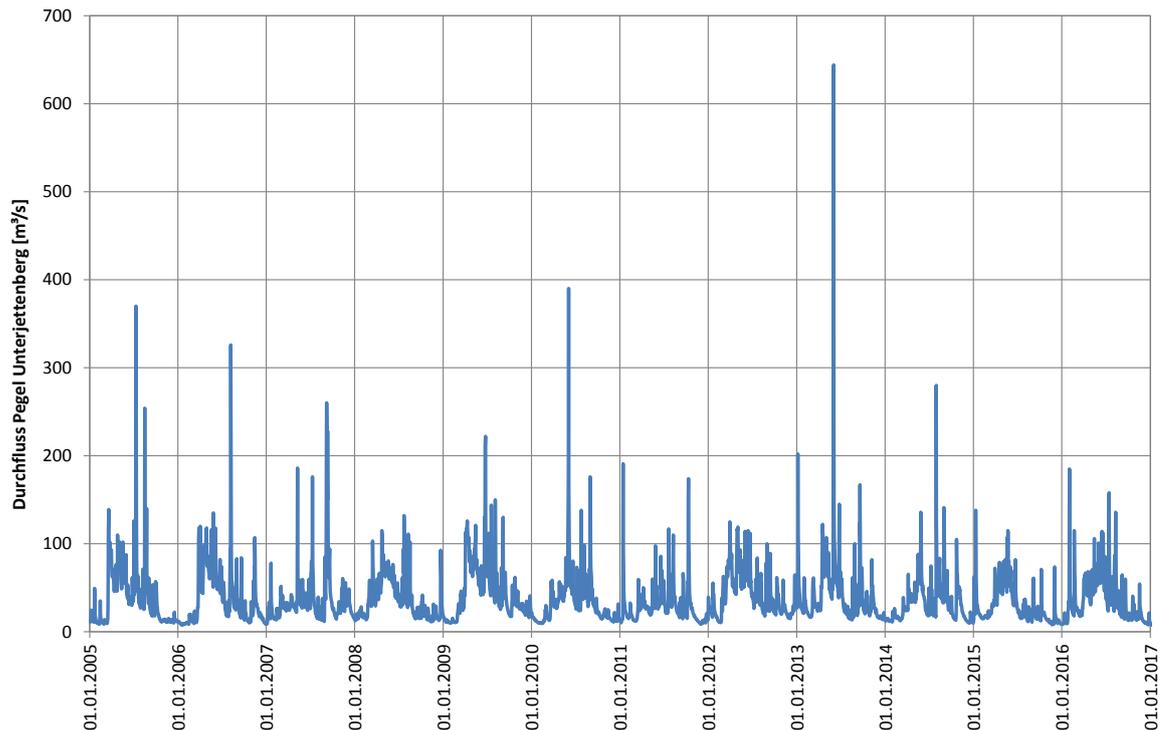


Abbildung 3: Durchflusswerte der Messstelle Unterjettenberg – Saalach (2005-2016)

Die Durchflüsse bei Unterjettenberg betragen im Zeitraum 2005-2016 durchschnittlich $36,7 \text{ m}^3/\text{s}$, der minimale Durchfluss lag bei $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$, der Maximalwert erreichte am 2.6.2013 mit $644 \text{ m}^3/\text{s}$ einen Wert im Bereich von HQ30.

3.1.2 Gerinnegeometrie

Im Wesentlichen wurden die Profildaten aus den hydraulischen Modellberechnungen der Saalach übernommen, die Kilometrierung der einzelnen Profile ist in Anhang C tabellarisch aufgelistet. Insgesamt wurden 64 Profile in der Modellstrecke (9,8 km) von Fkm 25,916 bis Fkm 35,718 verwendet.

Von Fkm 25,916 bis Fkm 32,706 stammen die Profildaten vom WWA Traunstein (35 Profile) vom Oktober 2013. Das Profil SA02 der hydraulischen Berechnung wurde nicht verwendet, da dieses nur 9 m flussaufwärts vom untersten Profil SA01 liegt. Im Bereich der Ausleitung des Krafthauses bei Fkm 26,702 und Fkm 26,743 wurden 2 zusätzliche Profile aus der Profilauswertung der Pöyry Infra GmbH übernommen.

Von Fkm 32,879 bis Fkm 35,307 wurden die Profildaten aus der Profilauswertung der Pöyry Infra GmbH verwendet (24 Profile) vom Februar 2016 bzw. Juli 2017, wovon 5 Profile zwischen Fkm 33,159 und Fkm 33,557 im Uferbereich mittels Daten aus dem digitalen Geländemodell des Landes Salzburg (5*5m) verlängert wurden.

Der oberste Abschnitt der Modellstrecke bis Fkm 35,718 wurde mit Hilfe einer Profilaufnahme des Landes Salzburg mit insgesamt 3 Profilen ergänzt. Dazu wurde das Profil 5SAAL035718 vom Juli 2013 verwendet und 2 zusätzliche Profile (Fkm 35,600 und Fkm 35,450) generiert, indem die Höhenlage der Gerinnesohle zwischen dem Profil 5SAAL035718 und dem Profil bei Fkm 35,307 linear interpoliert wurde. Bei allen drei Profilen wurde der Uferbereich mittels Daten aus dem digitalen Geländemodell des Landes Salzburg verlängert.

3.1.3 Rauigkeiten

Die Rauigkeiten als Strickler-Beiwerte im Bereich zwischen 12 und 25 (Sohl- und Uferbereich) wurden entsprechend den hydraulischen Modellberechnungen der Saalach gewählt und sind in Anhang C tabellarisch für die einzelnen Profile aufgelistet.

3.2 Korngrößen

Als Datengrundlage betreffend Wahl der Korngrößenklassen wurden die Sohlkorngrößen des Prüfberichts der Bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (bvfs) vom 31.01.2018 herangezogen. Dieser Bericht besteht aus 3 Korngrößenverteilungen von Bodenproben, die am 17.01.2018 aus 0,4 m Tiefe entnommen wurden. Die Entnahmestellen sind mit „Staubereich“, „flussabwärts vom Wehr“ und „Flatscher“ angegeben.

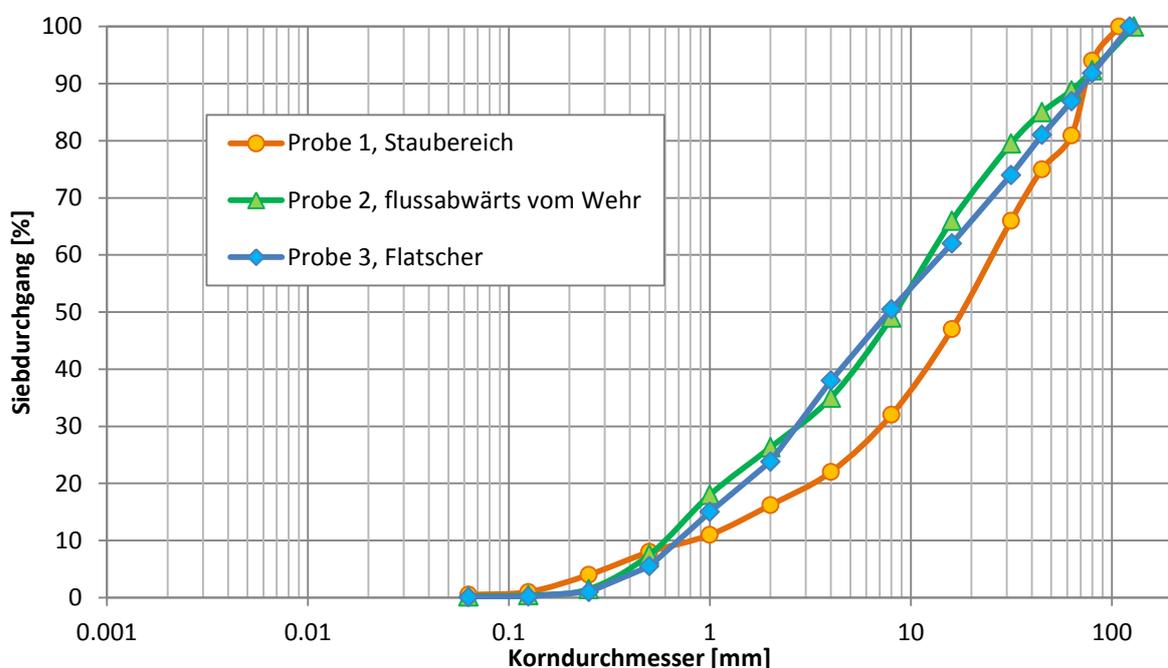


Abbildung 4: Korngrößenverteilung Bodenproben Saalach (bvfs)

Alle drei Siebkurven zeigen einen durchaus ähnlichen Verlauf und lassen auf ein weitgestuftes Material schließen (siehe Abbildung 4). Die angetroffenen Korngrößen reichen von Feinsand (0,063 mm) bis Geröll, das Größtkorn liegt zwischen 109 mm und 129 mm. Die Ungleichförmigkeitszahl bewegt sich in einem Bereich von 19 bis 30, die Krümmungszahl liegt zwischen 0,8 und 2,2.

Ein Vergleich mit den optischen Choriotopabschätzungen und der Mesohabitatkartierung vom Umweltgutachten des Technischen Büros PETZ OG zeigt, dass die Deckschicht aus weit größerem Material besteht.

Ausgehend von den Sohlkorngrößen wurden die Korngrößenklassen des Feststofftransportmodells gewählt (siehe 5.2.3).

3.3 Sedimenteintrag

Für die Quantifizierung des Sedimenteintrags wurden als Orientierungsgröße die Schwebstoff-Daten des Bayerischen Landesamts für Umwelt der Messstelle Unterjettenberg (Saalach) herangezogen. Es wurden die Tageswerte von Schwebstofffracht und Durchfluss des Zeitraums 10/2011-03/2018 gegenübergestellt und eine Exponentialbeziehung abgeleitet (siehe Abbildung 5), die im Feststofftransportmodell Eingang findet.

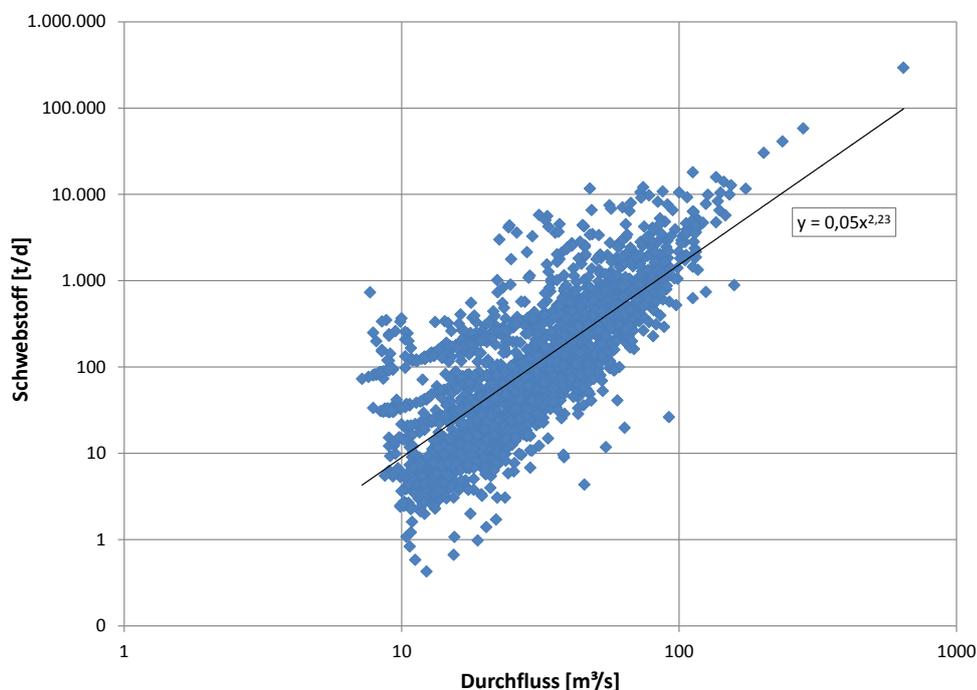


Abbildung 5: Durchfluss – Schwebstoffbeziehung auf Basis der Daten des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Unterjettenberg (Saalach)

Entsprechend den gängigen Annahmen, dass die Geschiebefracht im Verhältnis zur Schwebstofffracht wesentlich geringer ist, wird davon ausgegangen, dass der Anteil der transportierten Geschiebemenge an der Gesamtfeststoffmenge 10 % bis 15 % beträgt. Für die Modellierung wurde dieser Anteil analog zu Untersuchungen an der mittleren Salzach (Pöyry 2009) mit 12 % festgelegt und ein durchschnittlicher Geschiebeeintrag von ca. 14.500 t/a angenommen (basierend auf der Zeitreihe von 10/2011-03/2018 mit Q als Tagesmittelwerte).

Der Feststoffeintrag wird im Modell als Funktion der folgenden Form bestimmt:

$$\text{Fracht [t/d]} = a * Q^b$$

mit: Q = Durchfluss in m³/s

a = Konstante (aus Schwebstoff-Korrelation, abgemindert auf den Geschiebeanteil von 12% auf $6,2 * 10^{-3}$)

b = Konstante (aus obiger Korrelation: 2,23)

Aus der im gegenständlichen Modell verwendeten Exponentialbeziehung ergeben sich für MQ (38,3 m³/s) rund 21 t/d als Schwebstofffracht.

Diese Daten entsprechen der Sedimentfracht am Ende der Modellstrecke. Der Sedimenteintrag am Beginn der Modellstrecke sowie die Frachten der Zubringer werden in Abhängigkeit vom Anteil des jeweiligen Durchflusses für jeden Zeitschritt so aufgeteilt, dass sich in Summe die Sedimentfracht entsprechend der Exponentialfunktion am Ende der Modellstrecke ergibt. Die Frachten der Zubringer sind wegen der niedrigen Zuflussmengen von geringer Bedeutung.

3.4 Sohlhöhenentwicklung

Die Datengrundlage für eine Beurteilung der Sohlhöhenentwicklung ist zeitlich und räumlich nur punktuell gegeben, dennoch sollen auf Basis der vorhandenen Daten Tendenzen herausgearbeitet werden.

Als Datengrundlage für einen Profilvergleich liegen Informationen aus dem Jahr 2005 vor (14 Profile des Lands Salzburg), sowie Profile des WWA Traunstein aus dem Jahr 2013 und die von Pöyry Infra erstellten Profile aus dem Jahr 2016. So kann die Sohlhöhenentwicklung punktuell an 14 Stellen über ca. die Hälfte der Modellstrecke (Fkm 30,532 – 35,007) anhand von 2 Aufnahmezeitpunkten verglichen werden, nur beim Profil SA 26 (PR12, 5SAAL030800) können Profilaufnahmen von 3 verschiedenen Zeitpunkten verglichen werden.

In Abbildung 6 sind die 3 Profilaufnahmen des Profils SA 26 bei Fkm 30,759 am Fuß des Wendelbergs ca. in der Mitte der Modellstrecke dargestellt. Während im Zeitraum 2005-2013 ein

Sohlabtrag um durchschnittlich 0,17 m festzustellen ist, hat bis 2016 eine Anlandung im linken Uferbereich zu einer Aufhöhung geführt, sodass ein Vergleich der Mittleren Sohlhöhen für den Zeitraum 2005-2016 mit +0,01 m praktisch keine Veränderung erkennen lässt.

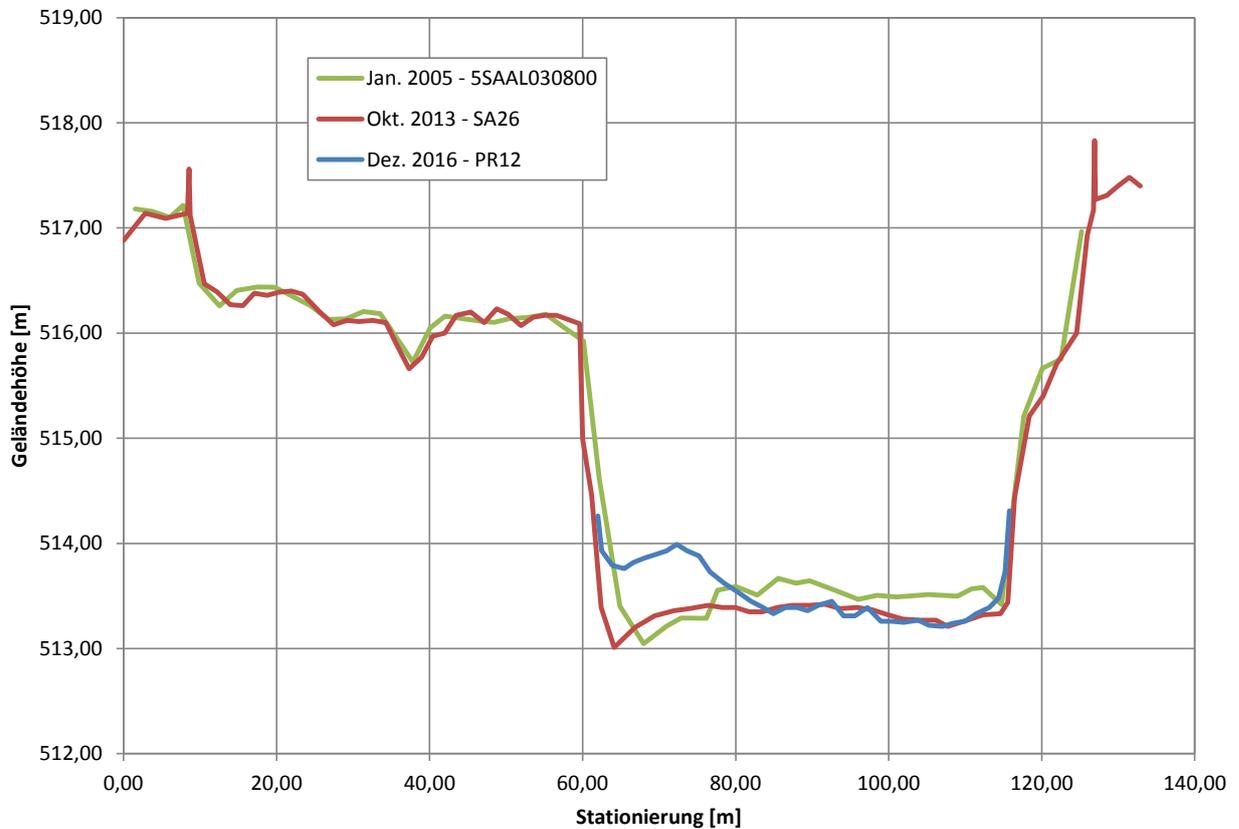


Abbildung 6: Vergleich der Sohlhöhenaufnahmen der Jahre 2005, 2013 und 2016 beim Fkm 30,759

In Tabelle 2 sind die Differenzen der mittleren Sohlhöhen für die einzelnen Profilvergleiche angeführt. Die Entwicklung von 2005-2013 weist eine Tendenz zur Eintiefung auf, die Werte reichen von -0,53 m bis +0,04 m (durchschnittlich -0,24 m), eine gegenläufige Entwicklung ist bis 2016 anzunehmen, die Differenzen reduzieren sich und reichen von -0,10 m bis +0,01 m (durchschnittlich -0,03 m). Insgesamt sind die Sohlhöhenänderungen relativ gering und weisen auf das Vorliegen einer stabilen Ausgleichssohle hin.

Fkm	Profilname und Aufnahmezeitpunkt			Differenzen der Mittleren Sohlhöhen [m]	
	Land Salzburg (Jan. 2005)	WWA Traunstein (Okt. 2013)	Pöyry (Feb./Dez. 2016)	Okt. 2013 minus Jan. 2005	Feb. 2016 minus Jan. 2005
35,007	5SAAL035000		ZPR8		-0,10
34,009	5SAAL034000		PR84		0,01
32,706	5SAAL032800	SA36		-0,28	
32,493	5SAAL032600	SA35		-0,27	
32,299	5SAAL032400	SA34		-0,10	
32,107	5SAAL032200	SA33		-0,11	
31,893	5SAAL032000	SA32		-0,21	
31,691	5SAAL031800	SA31		-0,40	
31,478	5SAAL031600	SA30		-0,53	
31,305	5SAAL031400	SA29		-0,18	
31,115	5SAAL031200	SA28		-0,23	
30,930	5SAAL031000	SA27		-0,45	
30,759	5SAAL030800	SA26	PR12	-0,17	0,01
30,532	5SAAL030600	SA25		0,04	

Tabelle 2: Profilvergleich - Differenzen der Mittleren Sohlhöhen [m]

3.5 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur wurde als Mittelwert der Zeitreihe 2004 – 2018 der Station Unterjettenberg (834200017 Bayerisches Landesamt für Umwelt, Tageswertmittelwerte) übernommen, dieser beträgt 7,5°C. Die Wassertemperatur geht als Parameter ins Feststofftransportmodell ein.

4 MODELLERSTELLUNG

4.1 Modellstrecke

Die Modellstrecke wird mittels 64 Profilen abgebildet, umfasst 9,8 km und liegt sowohl auf österreichischem als auch auf deutschem Staatsgebiet zwischen Unken (Salzburg) und Unterjettenberg (Bayern). Die Flusskilometrierung wurde aus den hydraulischen Modellrechnungen übernommen und reicht von Fkm 25,916 bis Fkm 35,718. Die Profile der Modellstrecke stammen nicht aus einer einheitlichen Aufnahme (07/2013 – 07/2017) und sind in Anhang B dargestellt und in Anhang C tabellarisch aufgelistet.

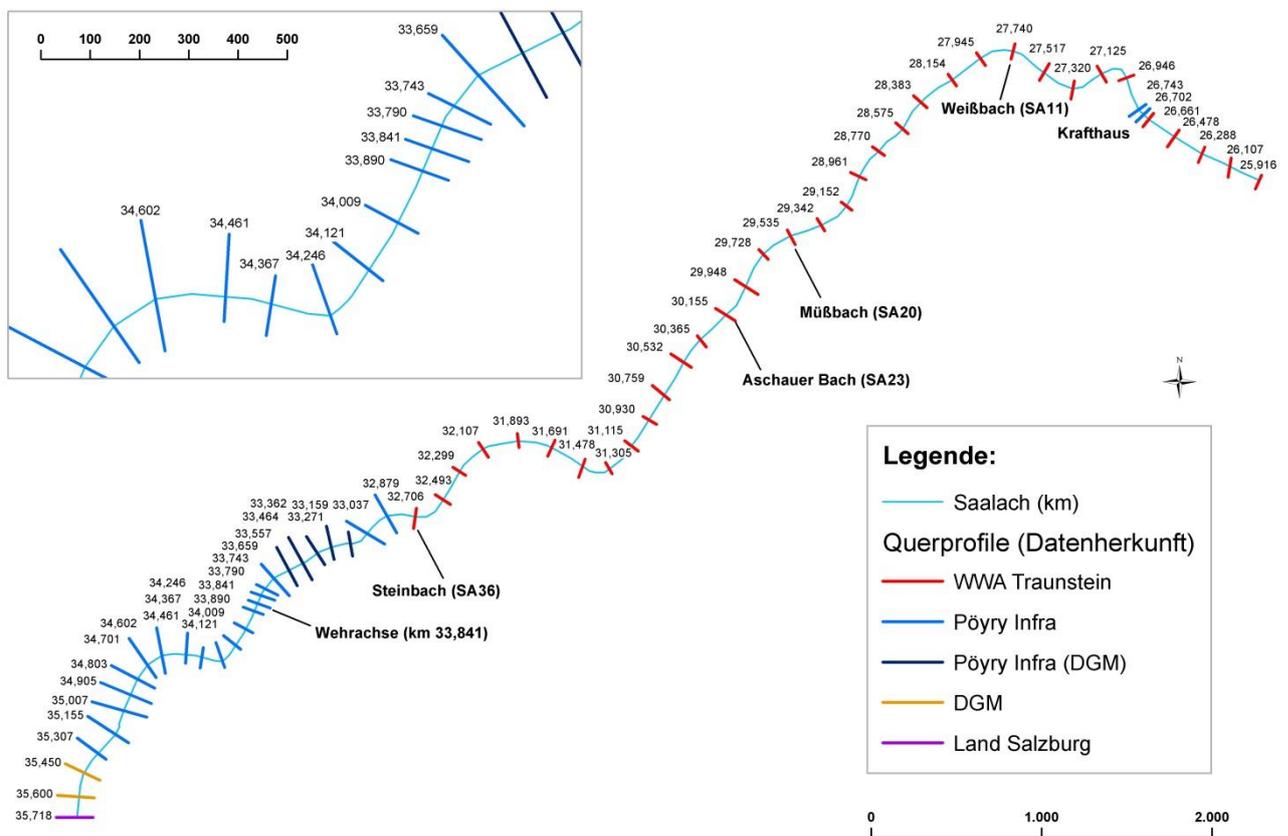


Abbildung 7: Lage der Profile – Modellstrecke (siehe Anhang B)

4.2 Zeitliche und räumliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung der Modellrechnungen erfolgt in Tagesschritten. Auf das Ansetzen mehrerer Stromröhren wird verzichtet, die einzelnen Profile werden als eine Stromröhre betrachtet.

4.3 Hydraulische Parameter

Die hydraulischen Parameter (Gerinnegeometrie, Rauigkeiten, Durchflüsse, Temperatur) wurden von den hydraulischen Modellberechnungen der Saalach des Berichts „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie“ (Pöyry, 03/2018) übernommen (siehe 3.1) bzw. auf Basis der Messdaten des Bayerischen Landesamts für Umwelt (Messstelle Unterjettenberg) festgelegt.

Die Durchflüsse der Periode 2005-2016 für die vier Zubringer innerhalb der Modellstrecke (siehe Anhang B) wurden entsprechend den in Kapitel 3.1.1 erläuterten Beziehungen ermittelt und zwar über eine lineare Korrelation mit dem Durchfluss beim Pegel Unterjettenberg. Bei den betreffenden Profilen des Modells wurden diese Durchflüsse als Zeitreihen mit Tageswerten für die einzelnen Zubringer eingegeben.

4.4 Hydraulische Randbedingung

Als hydraulische Randbedingung wird das unterste Profil bei Fkm 25,916 mittels Wasserstands-Durchfluss-Beziehung verwendet. Die Wasserstands-Durchfluss-Beziehung wurde aus den Modellergebnissen der Untersuchungen „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie (Pöyry, 03/2018)“ abgeleitet.

4.5 Korngrößenklassen

Ausgehend von den Sohlkorngrößen wurden die Korngrößenklassen des Feststofftransportmodells gewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass auch feineres Sediment berücksichtigt wird (Grobschluff/Feinsand 0,02 – 0,125 mm).

Korngrößenklasse	Untere Grenze [mm]	Obere Grenze [mm]
1	0,02	0,125
2	0,125	0,5
3	0,5	1
4	1	2
5	2	4
6	4	8
7	8	16
8	16	31,5
9	31,5	63
10	63	140

Tabelle 3: 10 Korngrößenklassen des Feststofftransportmodells

4.6 Parameter Feststofftransport

Grundsätzlich wurden die Default-Parameter-Einstellungen des Modells für die Festlegungen des Feststofftransports übernommen. Jene Parameter, die angepasst wurden, sind im Kapitel 5.2 Kalibrierung Feststofftransportmodell beschrieben.

4.7 Sedimentfrachten

Die Sedimentfrachten wurden entsprechend den in Kapitel 3.3 erläuterten Beziehungen ermittelt, und als Zeitreihen mit Tageswerten für den Beginn der Modellstrecke sowie für die einzelnen Zubringer bei den betreffenden Profilen des Modells (siehe Anhang B) eingegeben.

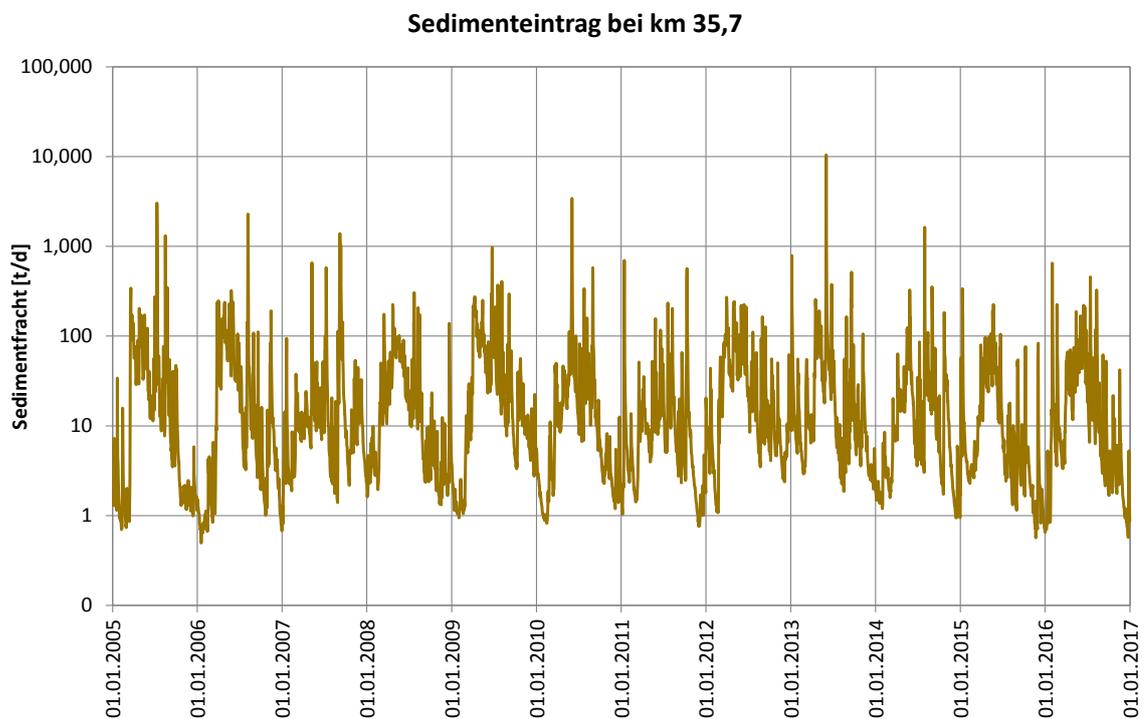


Abbildung 8: Sedimenteintrag am Beginn der Modellstrecke für den Zeitraum 2005-2016 [t/d]

5 MODELLVERIFIZIERUNG UND KALIBRIERUNG

5.1 Überprüfung der hydraulischen Berechnung

Zunächst wurde eine Modellsimulation ohne Feststofftransport durchgeführt, bei der die spezifischen Durchflüsse entsprechend den Untersuchungen „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie (Pöyry, 03/2018)“ gewählt und die Wasserspiegelhöhen mit den entsprechenden Ergebnissen des eindimensionalen, stationären, numerischen Abflussmodells WASPI Version 3.2. verglichen wurden.

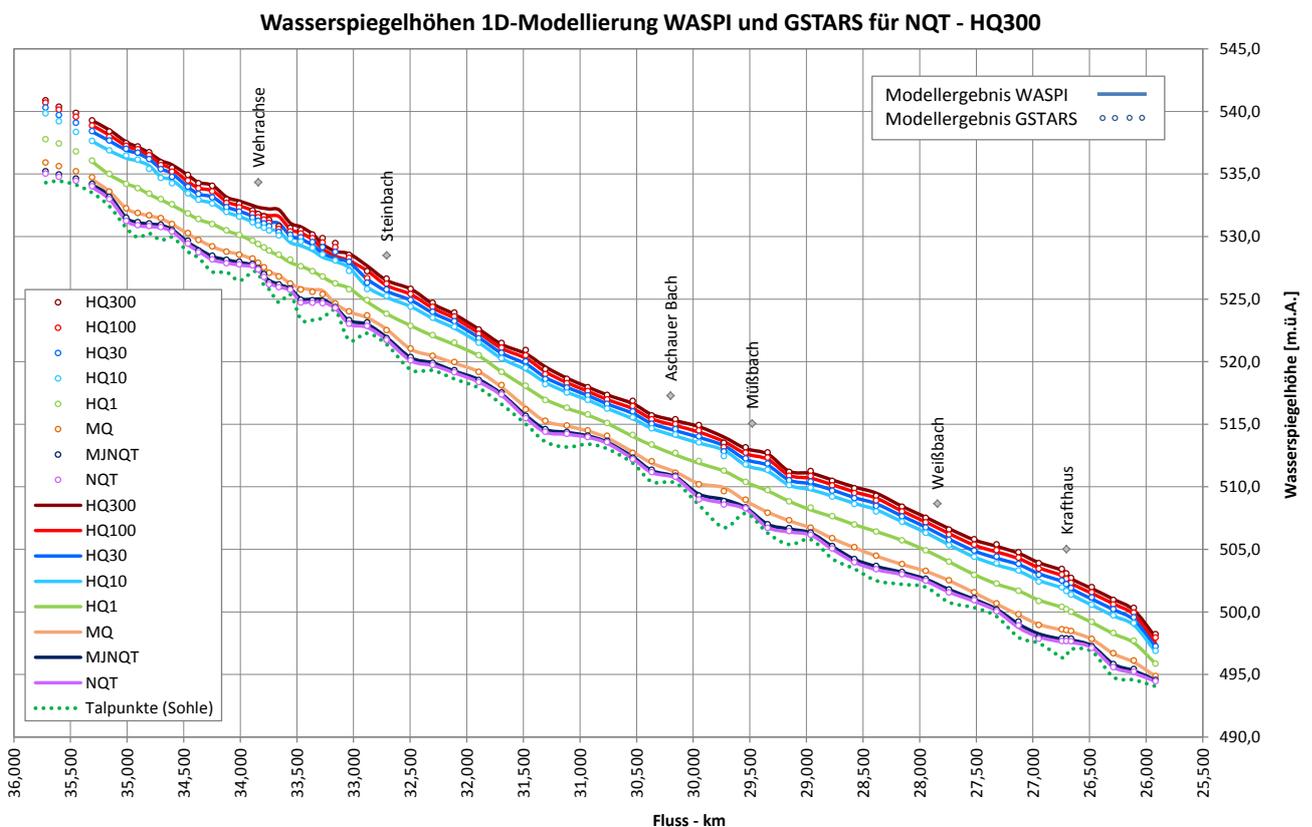


Abbildung 9: Vergleich der Wasserspiegelhöhen (hydraul. Berechnungen ohne Feststofftransport)

In Abbildung 9 sind die Wasserspiegelhöhen im Längenschnitt für Durchflüsse von NQT bis HQ300 dargestellt, die Modellergebnisse der Berechnung mittels WASPI (durchgehende Linien) stimmen mit den Ergebnissen des GSTARS-Modells (Punkte) gut überein.

Größere Differenzen ($> \pm 0,3$ m) sind bei hohen Durchflüssen größer als HQ 10 ($537 \text{ m}^3/\text{s}$) aufgetreten und in erster Linie auf die Profilgeometrie zurückzuführen. Einerseits ergeben sich Ungenauigkeiten bei Flachwasserzonen insbesondere nach Überschreiten von lokalen Hochpunkten im Profil und der Berücksichtigung der Wasserspiegel im Hinterland (z.B. Profil SA21 Fkm 29,728),

andererseits wurden die Profile beim GSTARS-Modell im Bereich Fkm 33,159 (PR02) bis Fkm 33,557 (PRA) auf Basis von DGM-Daten verlängert (siehe 3.1.2), was sich auf die Höhe der Wasserspiegel bis Fkm 33,890 auswirkt.

NQT	MJNQT	Q30	MQ	HQ1	HQ10	HQ30	HQ100	HQ300
0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	-0,03	-0,07

Tabelle 4: Mittelwert der Wasserspiegeldifferenzen [m] Berechnung GSTARS minus WASPI

5.2 Kalibrierung Feststofftransportmodell

Die Kalibrierung beruht auf einem Vergleich der Talpunkthöhen (minimale Höhe des Profils) am Beginn und am Ende des Simulationszeitraums. Dieser 12-jährige Zeitraum wurde entsprechend den Profilaufnahmen (siehe 3.4) mit 2005-2016 angesetzt, wobei das Ziel der Kalibrierung darin lag, die Veränderungen der Sohlhöhen möglichst den Unterschieden der Profilaufnahmen anzugleichen.

5.2.1 Korngrößen des Sedimenteintrags

Ein weiterer Faktor für die Entwicklung der Sohlhöhen ist die Korngrößenverteilung des Sedimenteintrags am Beginn der Modellstrecke, während die entsprechenden Werte der Zubringer wegen der geringeren Frachten von untergeordneter Bedeutung sind.

Durchmesser [mm]	Modellstart (Fkm 35,7)	
	0 m ³ /s	1400 m ³ /s
0,02 < d < 0,125	55%	6%
d < 0,5	25%	16%
d < 1,0	10%	16%
d < 2,0	5%	16%
d < 4,0	3%	15%
d < 8,0	2%	14%
d < 16,0		10%
d < 31,5		4%
d < 63,0		2%
d < 140,0		1%

Tabelle 5: Korngrößenverteilung des Sedimenteintrags (Beginn der Modellstrecke und Zubringer)

Es wurden am Beginn der Modellstrecke Korngrößenverteilungen für 0 m³/s und 1.400 m³/s definiert (siehe Tabelle 5), die Prozentzahlen der dazwischen liegenden Durchflüsse werden automatisch linear interpoliert.

5.2.2 Active Layer Thickness

Als Parameter der Eintiefung und Anlandung wird im Transportmodell ein Faktor (Active Layer Thickness) für die gesamte Fließstrecke herangezogen. Der Active Layer (aktive Schicht) enthält das ganze innerhalb eines Zeitschritts für den Transport mobilisierbare Sediment. Die Active Layer Thickness wird über einen Multiplikationsfaktor des geometrischen Mittels der größten Korngrößenfraktion definiert und beträgt im Feststofftransportmodell Schneizlreuth 1, das ergibt eine mobilisierbare Schichtstärke von 94 mm/d. Größere Faktoren führen zu einer verstärkten Dynamik der Sohlentwicklung, die anhand der vorhandenen Daten (siehe 3.4) nicht erkennbar ist.

5.2.3 Sohlkorngrößen

Das Programm GSTARS verwendet ein Schichtsystem, dessen oberste Schicht das Material für Erosionsprozesse enthält. Die Korngrößenverteilungen des Prüfberichts (siehe 3.2) beurteilen jedoch Material in 40 cm Tiefe, wobei ein Vergleich mit den optischen Choriotopabschätzungen und der Mesohabitatkartierung vom Umweltgutachten des Technischen Büros PETZ OG zeigt, dass die Deckschicht aus weit größerem Material besteht.

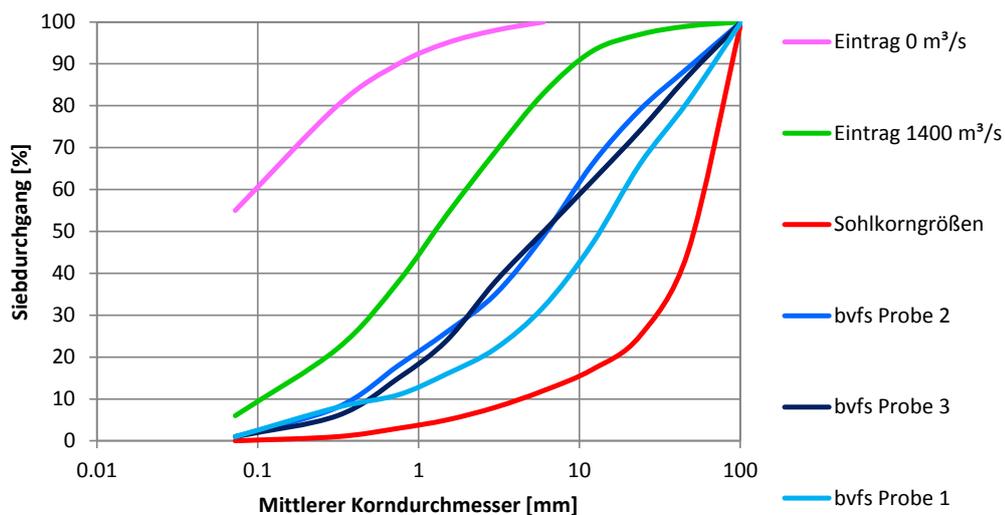


Abbildung 10: Korngrößen des Sedimenteintrags, der Bodenproben und der Deckschicht im Modell

Mit dem Ziel die Sohlveränderungen in einen realistischen Bereich zu bringen wurden die Sohlkorngrößen des Modells schrittweise gröber angesetzt, da die Deckschicht (= oberste Schicht des Modells) aus wesentlich größerem Material als jene des Prüfberichts besteht. Eine Differenzierung in feinere und gröbere Abschnitte bringt in Teilbereichen verbesserte Resultate, ist jedoch zeitlich variabel und erscheint aufgrund der fehlenden Informationen willkürlich. Es wurde daher für jedes Profil der Modellstrecke die gleiche Sohlkornverteilung angesetzt. Die eingetragene

Feststofffracht enthält auch Korngrößenanteile, die nicht abgelagert werden, daher ist die Kornverteilung des Feststoffeintrags insgesamt feiner als jene der Ablagerungen.

5.2.4 Kalibrierungsergebnisse

Bei der Betrachtung der Modellierungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine 1D-Modellierung handelt, die keinen Einfluss von Kurven oder Querströmungen berücksichtigt. Darüber hinaus sind einige Modellparameter mit Unsicherheiten behaftet (Eintrag der Sedimentfracht, Korngrößenverteilungen). Die Profile der Modellstrecke stammen nicht aus einer einheitlichen Aufnahme (07/2013 – 07/2017) und geben die Startbedingungen des Jahres 2005 nur bedingt wieder.

Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, zeigt das Modell in der oberen Hälfte der Modellstrecke bis Fkm 31,305 (ca. bis zum Schotterwerk Flatscher) eine Tendenz zur Eintiefung und in einzelnen flussabwärts gelegenen Profilen mit geringerem Gefälle eine Tendenz zur Anlandung (Profilen im Bereich Fkm 31,115, Fkm 28,961 und oberhalb der geplanten Krafthausausleitung um Fkm 26,743). Die Eintiefung des letzten Profils der Modellstrecke rund 800 m unterhalb der geplanten Krafthausausleitung ist überzeichnet, da die Modellrechnung in lokalen Flachstück darauf abzielt, ein Gefälls-Kontinuum zu erreichen.

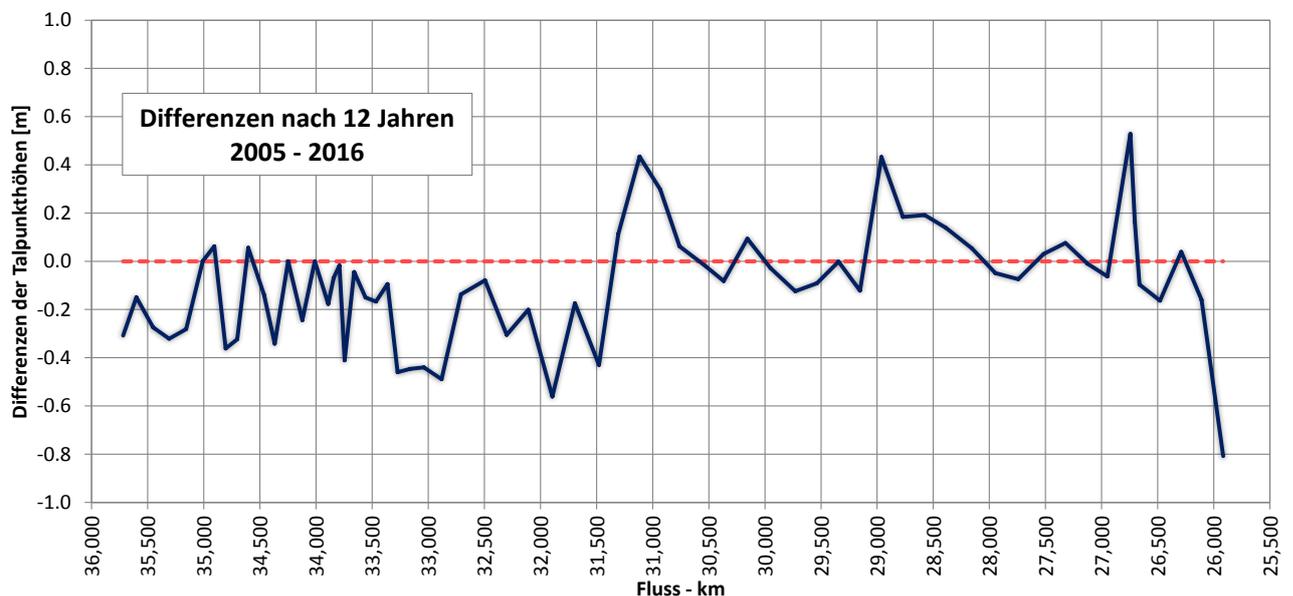


Abbildung 11: Längenschnitt der Differenzen der Talpunkte (Vergleich der Talpunkthöhen: Ende des Modellierungszeitraums minus Beginn des Modellierungszeitraums)

Die Veränderungen der Sohlhöhen der vorliegenden gemessenen Profilaufnahmen betragen wenige Dezimeter (max. 0,5 m im Bereich zwischen Fkm 35,0 und Fkm 30,5), es sind Eintiefungstendenzen, aber auch eine ausgeglichene Sohlentwicklung festzustellen. Im Vergleich dazu weist das Modellergebnis eine etwas stärkere Dynamik auf, die Bandbreite der Talpunktdifferenzen

(Ende 2016 minus Anfang 2005) beträgt mit Ausnahme des letzten Profils $\pm 0,6$ m. Im Mittel über die gesamte Modellstrecke ergibt sich eine geringfügig tiefere Sohle, der Mittelwert der Talpunktdifferenzen (Ende 2016 minus Anfang 2005) liegt bei $-0,1$ m.

Generell ergibt sich vor allem in der oberen Hälfte der Modellstrecke eine Tendenz zur Eintiefung, die in Abhängigkeit von den Hochwasserereignissen und den damit verbundenen Sedimenteintrag ausgeglichen wird. In Abbildung 12 ist die zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhen (2005-2016) im Bereich der Wehrachse dargestellt, die Auswirkungen der Hochwässer vom Juni 2010 ($350 \text{ m}^3/\text{s}$) und vom 03.06.2013 ($580 \text{ m}^3/\text{s}$) sind deutlich erkennbar. In den Bereichen mit Anlandungstendenz (Abbildung 13) findet der Anstieg vor allem in den ersten zwei Jahren des Modellierungszeitraums statt, dann verflacht der Anstieg der Talpunkthöhen.

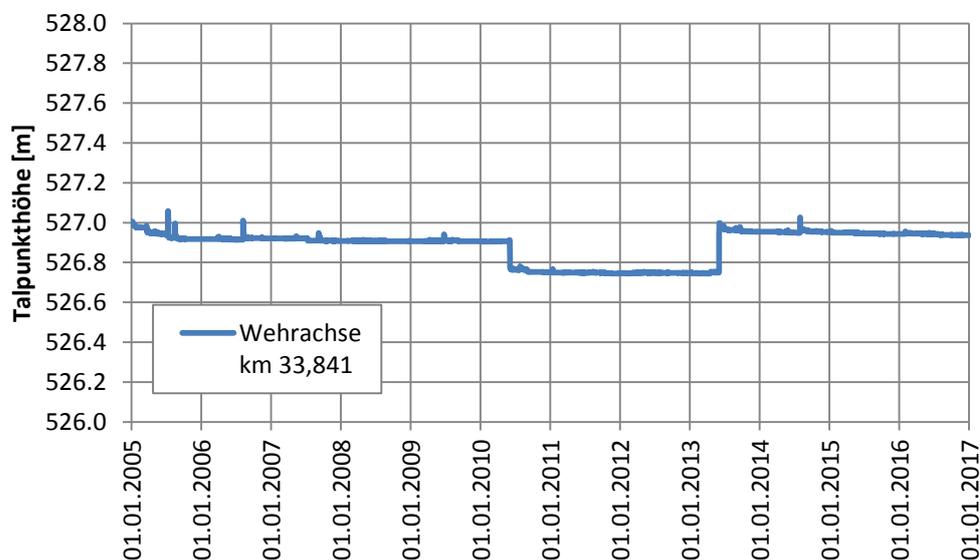


Abbildung 12: Zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhen (2005-2016) im Bereich der Wehrachse

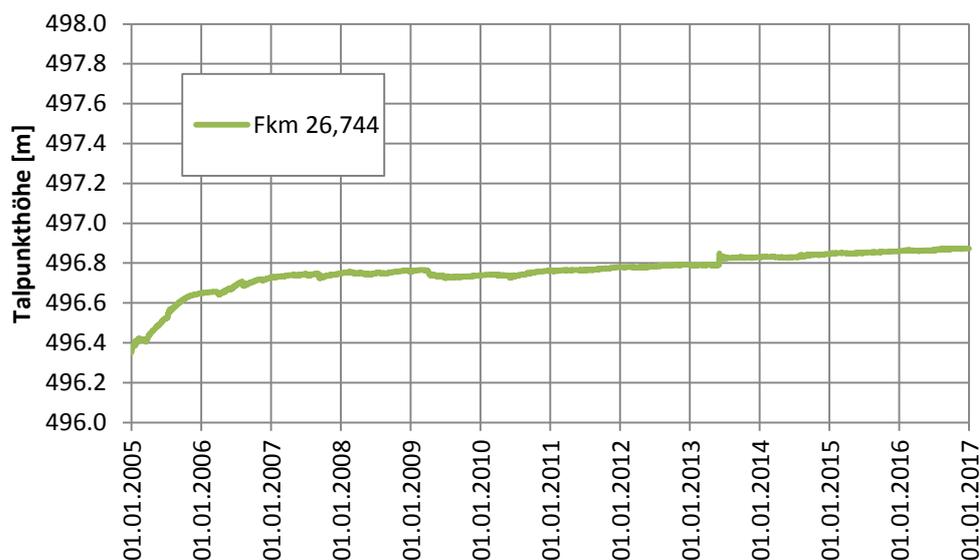


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhen (2005-2016) im Bereich der Ausleitung

6 MODELLERGEBNISSE

6.1 IST - Zustand

Die Modellergebnisse für den IST-Zustand wurden anhand der Durchflüsse des Zeitraums 2005-2016 ermittelt und sind im Kapitel 5.2.4 Kalibrierungsergebnisse beschrieben.

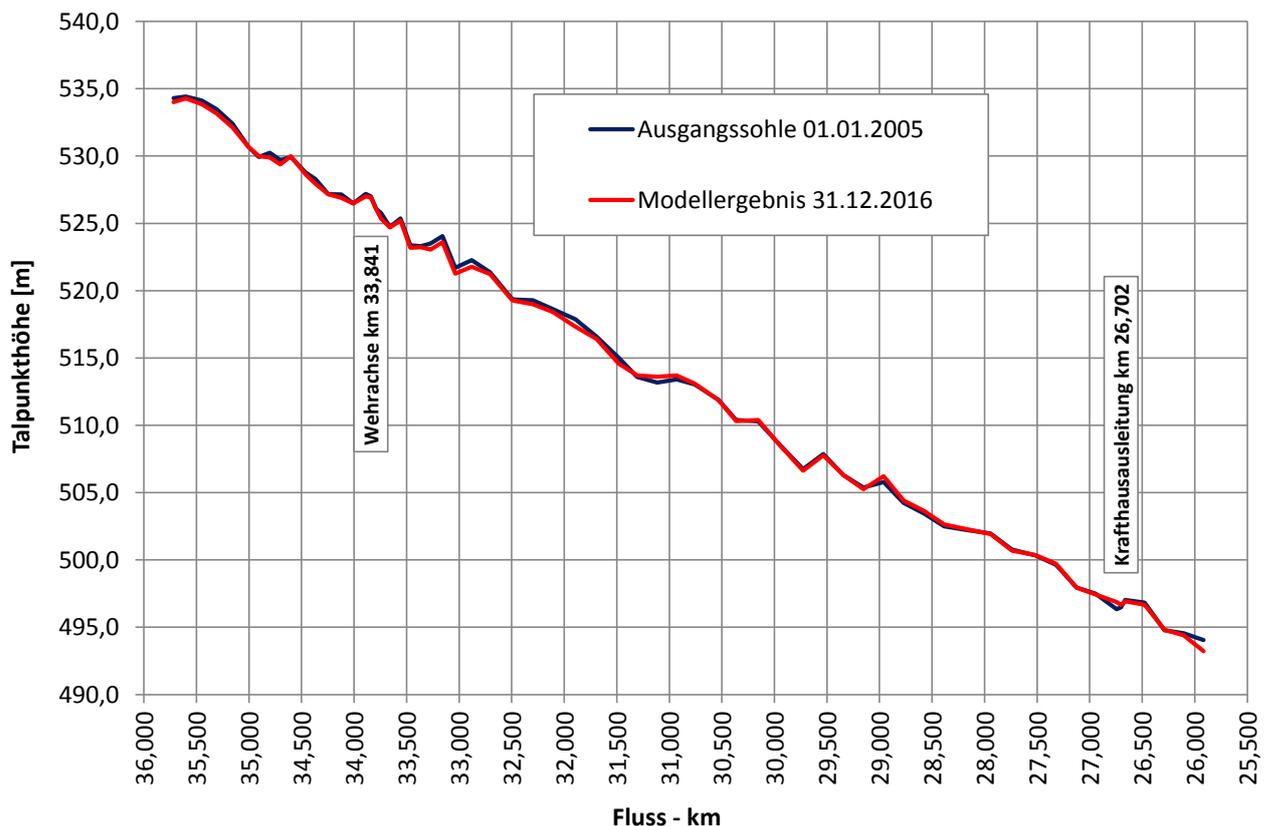


Abbildung 14: Längenschnitt der Talpunkthöhen (Beginn und Ende des Zeitraums 2005-2016)

In **Abbildung 14** sind die Talpunkthöhen (minimale Höhe des Profils) am Beginn und Ende des 12-jährigen Modellierungszeitraums als Modellannahme und –ergebnis im Längenschnitt dargestellt. Das Modellergebnis weist eine etwas stärkere Dynamik auf als es aus den Profilaufnahmen abzulesen ist, die Bandbreite der Talpunktdifferenzen (Ende 2016 minus Anfang 2005) beträgt $\pm 0,6$ m. Im Mittel über die gesamte Modellstrecke ergibt sich eine nahezu ausgeglichene Sohle, der Mittelwert der Talpunktdifferenzen (Ende 2016 minus Anfang 2005) liegt bei 0,10 m. Generell zeigt sich in der oberen Hälfte der Modellstrecke bis Fkm 31,305 (ca. bis zum Schotterwerk Flatscher) eine Tendenz zur Eintiefung, die in Abhängigkeit von den Hochwasserereignissen durch den damit verbundenen Sedimenteintrag kurzfristig ausgeglichen wird. Im anschließenden Flussabschnitt wurde in einzelnen Profilen mit geringerem Gefälle eine Anlandungstendenz berechnet, die vor allem in den ersten beiden Jahren des Modellierungszeitraums stattfindet.

6.2 Auswirkungen der Wasserkraftanlage im Staubereich

Um die Auswirkungen der Wasserkraftanlage auf die Verhältnisse im Staubereich berechnen zu können, wurde die Modellstrecke auf den Bereich Fkm 33,841 – 35,718 verkürzt, sodass der Wasserspiegel bei der Wehrachse als untere Randbedingung definiert werden kann.

Die Wasserkraftanlage Schneizlreuth hat hinsichtlich dieser Modellrandbedingung zur Folge, dass die Wasserspiegel bei der Wehrachse bei einem Durchfluss kleiner als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $530,00 \text{ m.ü.A.}$ (Stauziel) liegen, bei Durchflüssen größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ entsprechen die Wasserspiegel bei der Wehrachse den Wasserspiegeln des freien Durchflusses (Staulegung). Da Tagesschritte als kleinste Zeiteinheit verwendet werden, wird der Vorgang der Staulegung selbst nicht im Detail abgebildet.

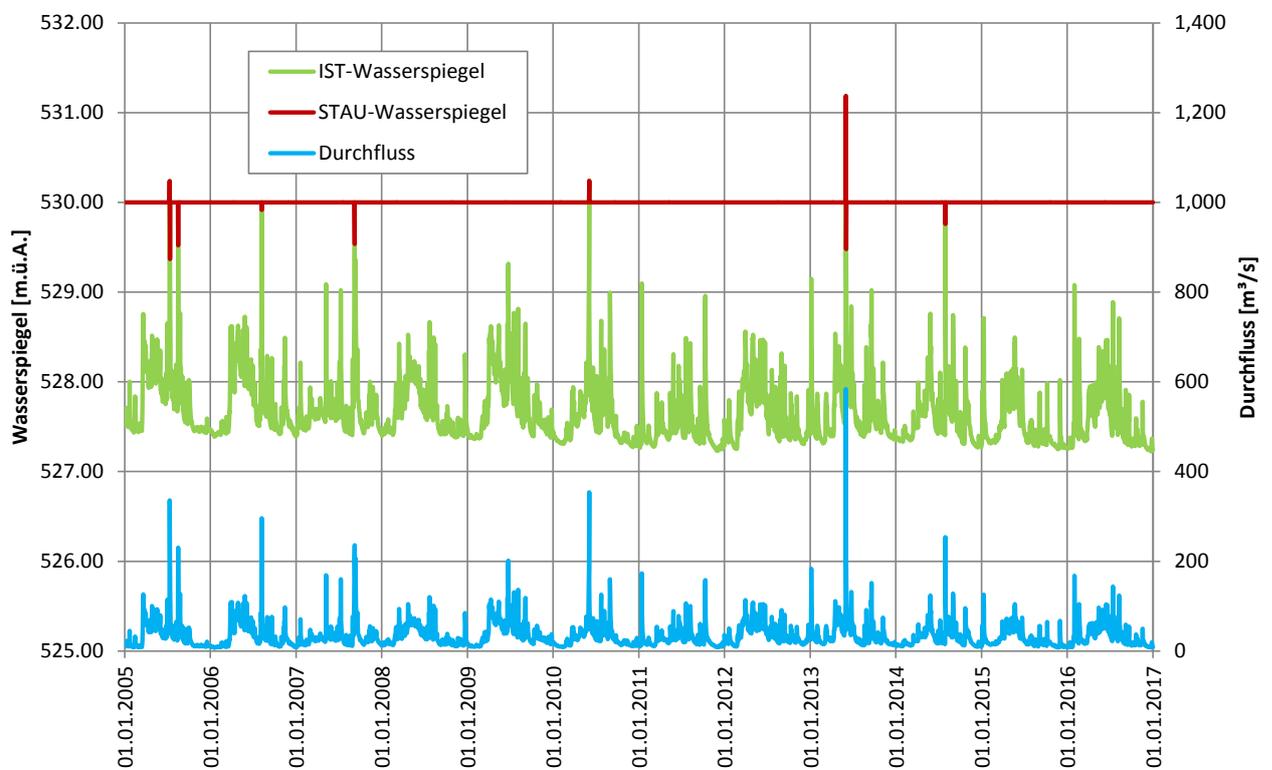


Abbildung 15: Durchfluss und Wasserspiegel an der Wehrstelle (2005-2016)

Die Randbedingung der Wasserspiegel wurde beim Profil Fkm 33,841 (Wehrachse) gesetzt, als neue Randbedingung wurden beim unmittelbar flussaufwärts gelegenen Profil Fkm 33,890 Zeitreihen für Durchfluss (Ausleitungsmenge) und Sedimentaustag definiert.

Die Ausleitungsmengen ergeben sich in Abhängigkeit von den Dotierwassermengen der Restwasserstrecke, die im Erläuterungsbericht „Wasserkraftwerk Schneizlreuth“ (Pöyry, 2018) beschrieben sind. Die folgende Tabelle 6 zeigt die Vorgaben zur Umsetzung der Durchfluss-Randbedingungen im Modell. Die Ausleitungsmengen betragen $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $44 \text{ m}^3/\text{s}$, bei niedrigen und hohen Durchflüssen (Staulegung) erfolgt keine Ausleitung.

Durchfluss [m ³ /s]	< 10,5	10,5 – 30,5	30,5 – 55,0	55,0 – 210	> 210
Ausleitungsmenge	0	4,4 – 24,4	24,4 – 44,0	44,0	0
Restwassermenge	< 10,5	6,1	6,1 – 11,0	11,0 - 166	> 210

Tabelle 6: Verteilung der Durchflussmengen auf Ausleitung und Restwasser

Die Darstellung der Modellergebnisse für den Staubereich bezieht sich auf die Höhenlage der Talpunkte (minimale Höhe des Profils). Im Vergleich mit dem IST-Zustand wurden wegen der Verringerung der Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen infolge der Stauhaltung (ohne Spülmaßnahmen) Anlandungen unmittelbar flussaufwärts der Wehrachse berechnet.

In der folgenden Abbildung 16 sind die maximalen Differenzen der Talpunkthöhen (Stauhaltung minus IST-Zustand) innerhalb des Simulationszeitraums gemeinsam mit den Differenzen am Ende des Simulationszeitraums dargestellt. Es ergeben sich vor allem positive Differenzen (Anlandungen) infolge der Stauhaltung flussabwärts der Stauwurzel und zwar bei Fkm 34,367 sowie bei den Profilen flussabwärts der Niederlandbrücke (B178) bis zur geplanten Wehranlage. Es wurden maximale Anlandungen in der Höhe von 0,7 m berechnet, im gesamten Staubereich bis ca. Fkm 34,6 beträgt die Anlandung durchschnittlich 0,3 m.

In Abbildung 17 sind die maximalen Anlandungsdifferenzen lagemäßig symbolisiert.

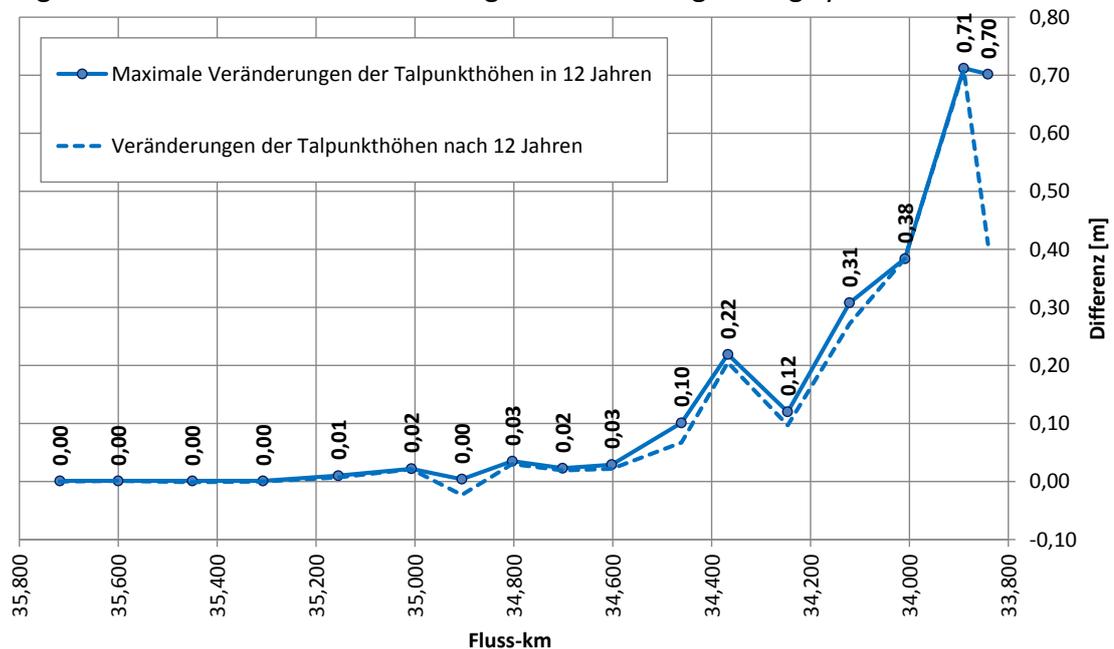


Abbildung 16: Differenz der Talpunkthöhen (Stauhaltung minus IST-Zustand) im Stauroam

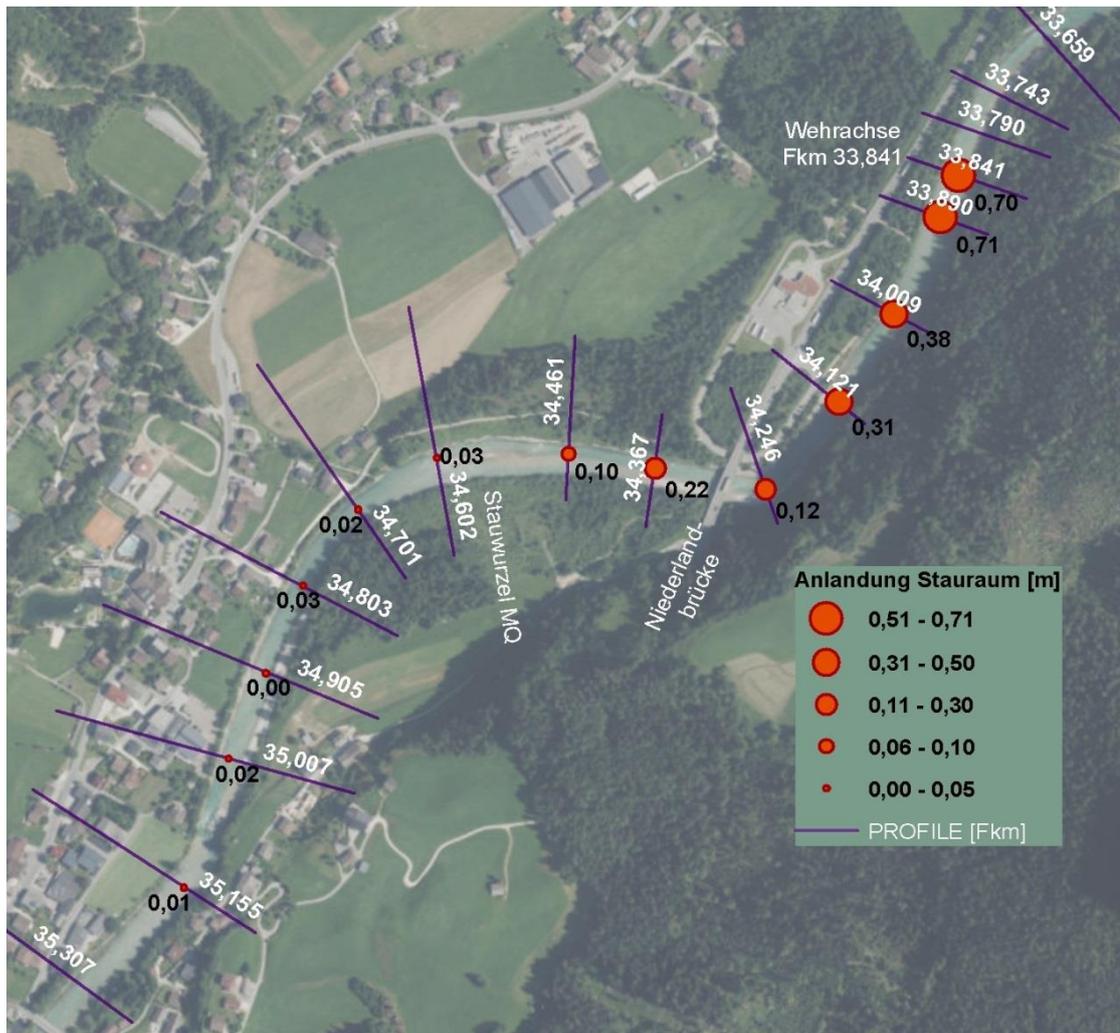


Abbildung 17: Lage der Differenzen der Talpunkthöhen (Stauhaltung minus IST-Zustand)

In Abbildung 18 ist der zeitliche Verlauf der Talpunkthöhen 2005-2016 bei der Wehrachse dargestellt. Wie bei der Beschreibung des IST-Zustands erläutert, wird bei einer Berechnung ohne Stauhaltung eine geringe Eintiefung im Staubereich ausgegeben, größere Hochwässer wirken sich ereignisabhängig sowohl mit Anlandungen als auch mit Abtrag aus.

Die Geschiebeuntersuchung zeigt, dass ohne Berücksichtigung von Spülmaßnahmen die Verlandung des Stauraums durch den Einfluss von Hochwasserereignissen teilweise wieder ausgeräumt wird. Dieser Effekt tritt bei Durchflüssen größer als $100 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, wird jedoch erst bei größeren Hochwasserereignissen ($> 200 \text{ m}^3/\text{s}$) deutlich wirksam (siehe Abbildung 18). Diese Aussagen sind im Betriebsfall durch laufende Profilvermessungen (Monitoring) abzusichern.

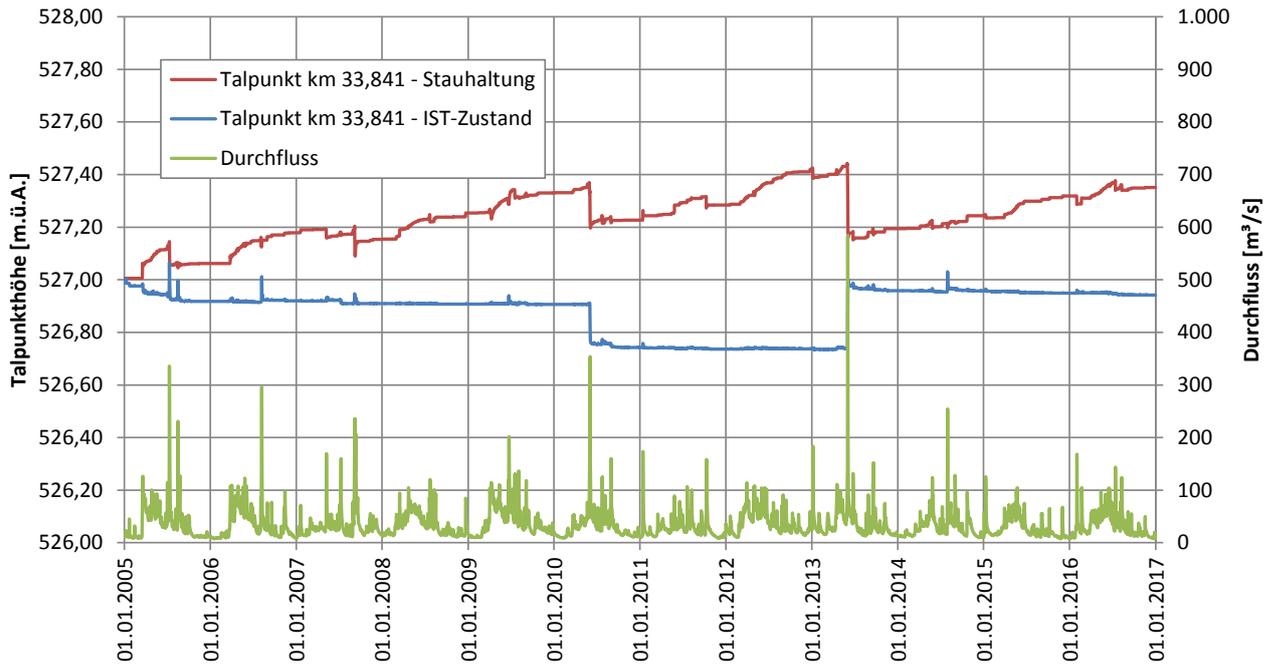


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhe bei der Wehrachse (Fkm 33,841) im 12-jährigen Modellierungszeitraum (IST-Zustand und Stauhaltung)

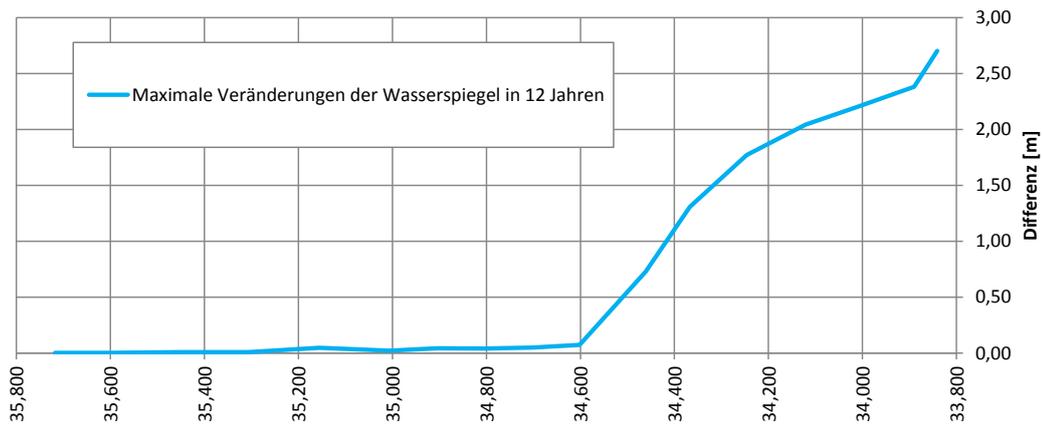


Abbildung 19: Differenz der Wasserspiegel (Stauhaltung minus IST-Zustand) im Stauraum

Zusätzlich sind die Wasserspiegeldifferenzen in Abbildung 19 dargestellt. Die ermittelten Unterschiede sind auf die Stauhaltung zurückzuführen und waren zu erwarten. Hinsichtlich der Berechnung mit beweglicher Sohle ist jedoch darauf hinzuweisen, dass sich dabei für die Profile flussaufwärts der Stauwurzel (ca. Fkm 34,6) infolge der teilweisen Verlandung des Stauraums im Zeitraum 2005-2016 keine wesentlichen Differenzen der Wasserspiegellhöhen ergaben.

6.3 Auswirkungen der Wasserkraftanlage in der Restwasserstrecke

Um die Auswirkungen der Wasserkraftanlage auf die Verhältnisse flussabwärts in der Restwasserstrecke berechnen zu können, wurde die Modellstrecke auf den Bereich Fkm 25,916 – Fkm 33,790 verkürzt, womit der Wasserspiegel am Modellende bei Fkm 25,916 wie beim IST-Zustand als untere Randbedingung definiert ist.

Als neue Randbedingung wurden beim Profil Fkm 26,702 Zeitreihen für Durchfluss (Krafthaus – Einleitungsmenge in die Modellstrecke) und Sedimenteintrag definiert.

Der Sedimenteintrag am Beginn dieser Modellstrecke bei Fkm 33,790 wurde aus den Ergebnisfiles der Modellberechnungen des Stauraums ausgelesen. Die Kornverteilung entspricht jener des IST-Zustands am Beginn der Modellstrecke.

Die Darstellung der Modellergebnisse für die Restwasserstrecke bezieht sich auf die Höhenlage der Talpunkte (minimale Höhe des Profils). Insgesamt sind die Unterschiede, die sich durch die flussaufwärts gelegene Stauhaltung ergeben, gering. Die Differenzen bewegen sich in einem Bereich von $\pm 0,2$ m (Abbildung 20).

In einem kurzen Abschnitt und zwar in den ersten 500 m flussabwärts der Wehrachse wurden leicht erhöhte Veränderungen berechnet ($\pm 0,1$ m), ebenso im Bereich der Ausleitung bis zum Ende der Modellstrecke (Fkm 26,7 bis 25,9). Hier wurde die maximale Differenz des Vergleichs (Stauhaltung minus IST-Zustand) mit $-0,23$ m bei Fkm 25,916 am Ende der Modellstrecke ermittelt.

In Abbildung 21 ist ein Längenschnitt der Talpunkthöhen der Restwasserstrecke am Beginn und am Ende des 12-jährigen Modellierungszeitraums (IST-Zustand und Stauhaltung) dargestellt. Da hier keine wesentlichen Unterschiede erkennbar sind, wurde der Bereich der Ausleitung bis zum Ende der Modellstrecke (Fkm 26,7 bis 25,9) in Abbildung 21 im Detail dargestellt. Mögliche Sohlhöhenänderungen in diesem Bereich können durch laufende Kontrolle der Flussquerprofile überprüft werden. Dieses Monitoring sollte die tatsächliche Sohlentwicklung in der Praxis des Kraftwerksbetriebes erfassen.

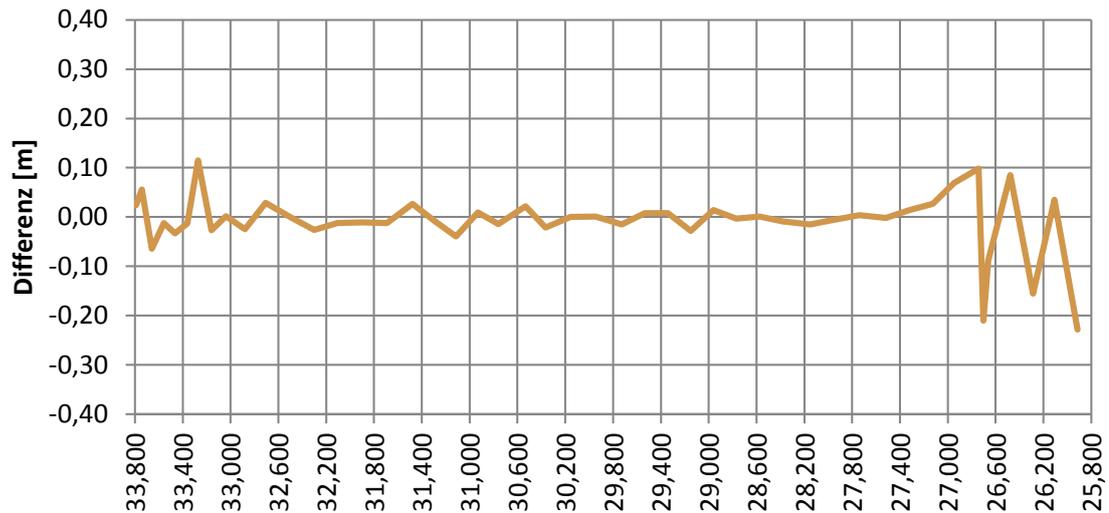


Abbildung 20: Differenz der Talpunkthöhen in der Restwasserstrecke am Ende des 12-jährigen Modellierungszeitraums (Stauhaltung minus IST-Zustand)

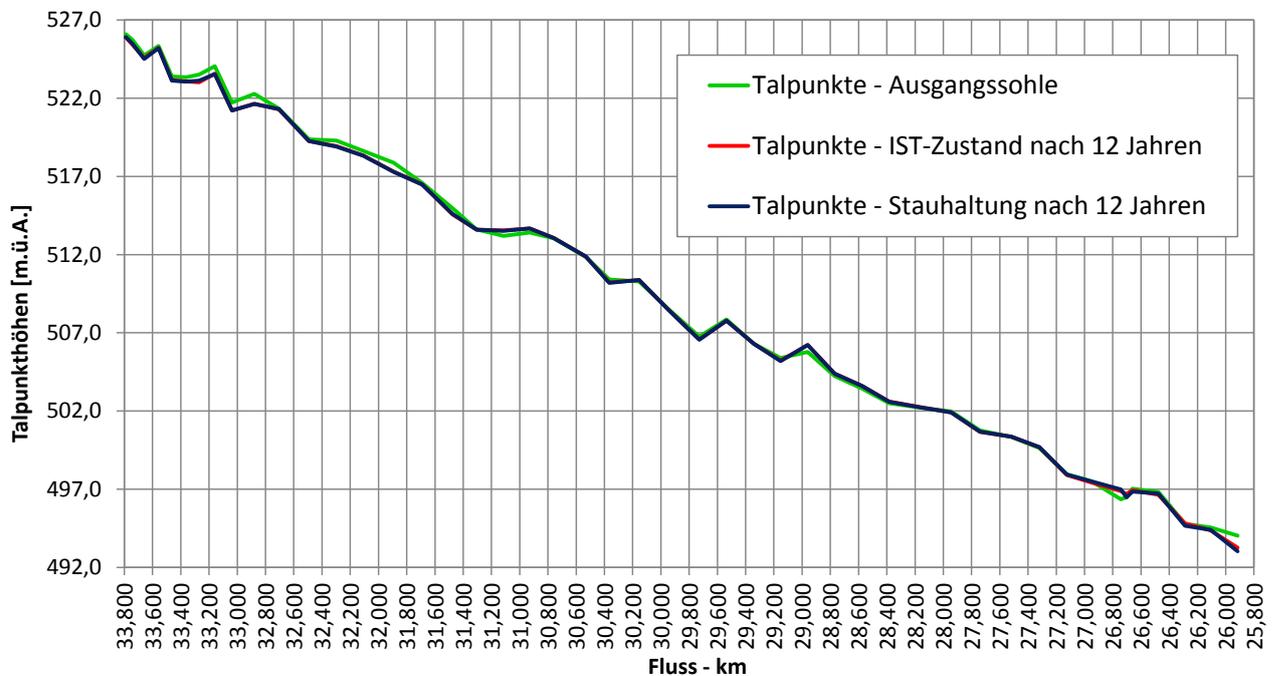


Abbildung 21: Längenschnitt der Talpunkthöhen der Restwasserstrecke am Beginn und am Ende des 12-jährigen Modellierungszeitraums (IST-Zustand und Stauhaltung)

Ein Vergleich aller Talpunkthöhen zeigt nur geringe Unterschiede (siehe Abbildung 21), im Mittel über die Modellstrecke des Restwassers sind keine maßgeblichen Veränderungen berechnet worden (-0,01 m), was auf eine ausgeglichene Sohlentwicklung schließen lässt. Ein maßgeblicher Einfluss der Krafthaus-Einleitungsmenge ist nicht zu erkennen.

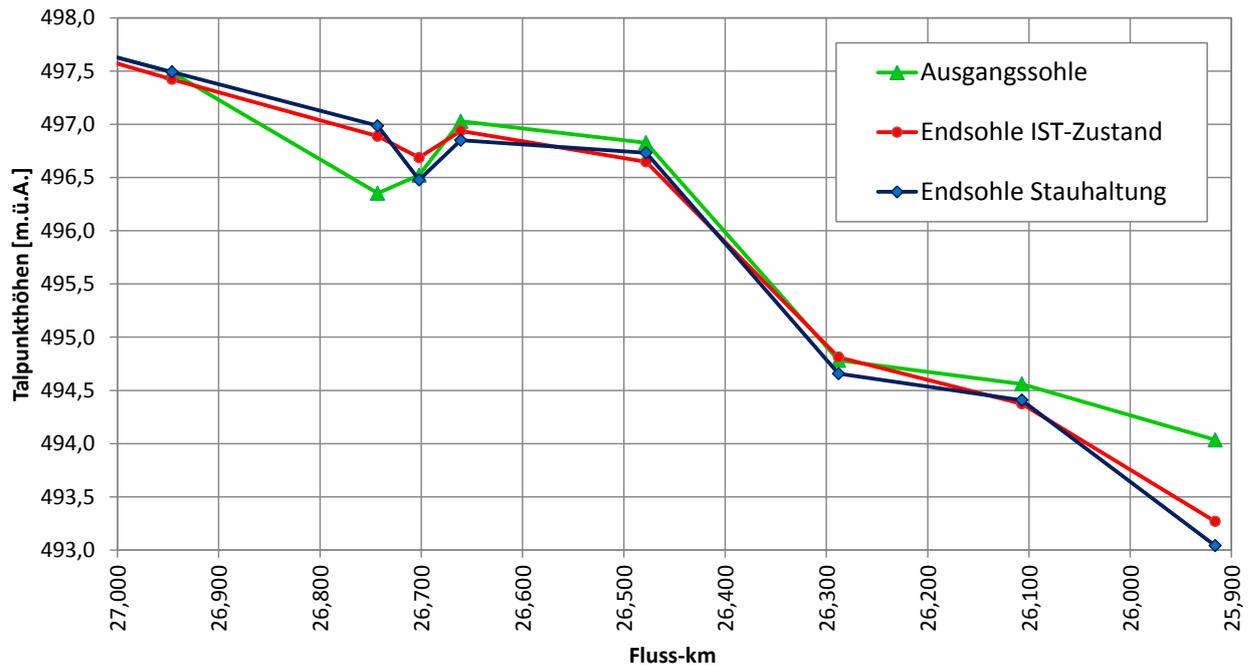


Abbildung 22: Talpunkthöhen der Restwasserstrecke im Bereich der Ausleitung am Beginn und am Ende des 12-jährigen Modellierungszeitraums (IST-Zustand und Stauhaltung)

6.4 Auswirkungen von Spülvorgängen

Wie sich bei der Modellierung des Stauraums gezeigt hat, werden maßgebliche Sohlbewegungen ab einem Durchfluss von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet. Bei Durchflüssen größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ wird der Stau gelegt (siehe 6.2). Weiterführend wurde untersucht, inwieweit eine Verlängerung der Staulegung um einen bzw. zwei Tage Anlandungen im Stauraum mobilisieren kann.

Es wurden 3 Spülszenarien betrachtet, wobei angenommen wurde, dass im Anschluss an einen Durchfluss größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ ein freier Durchfluss über den darauf folgenden Tag bzw. die darauf folgenden 2 Tage stattfindet sowie ein freier Durchfluss 1 Tag vor und nach einem Hochwasserereignis größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ gegeben ist (Vorabsenkung).

Diese drei Spülszenarien werden nachfolgend als „ $210 \text{ m}^3/\text{s} + 1 \text{ Tag}$ “, „ $210 \text{ m}^3/\text{s} + 2 \text{ Tage}$ “ bzw. als „ $210 \text{ m}^3/\text{s} \pm 1 \text{ Tag}$ “ bezeichnet. Während dieser Zeiten der zusätzlichen Staulegung wurde keine Ableitung in Richtung Krafthaus angenommen. Unter der Annahme der gemessenen Abflussverhältnisse des Zeitraums 2005-2016 würden diese Fälle an den in Tabelle 7 angeführten Tagen - von insgesamt 4.383 Tagen - auftreten:

Szenario	210 m ³ /s + 1 Tag	210 m ³ /s + 2 Tage	210 m ³ /s ±1 Tag
Spültage	7 (0,6 Tage/Jahr)	14 (1,2 Tage/Jahr)	14 (1,2 Tage/Jahr)
Hochwasser + Spültage	16 (1,3 Tage/Jahr)	23 (1,9 Tage/Jahr)	23 (1,9 Tage/Jahr)

Tabelle 7: Tage ohne Ausleitungsmengen bei Spülbetrieb und Hochwasser (2005-2016)

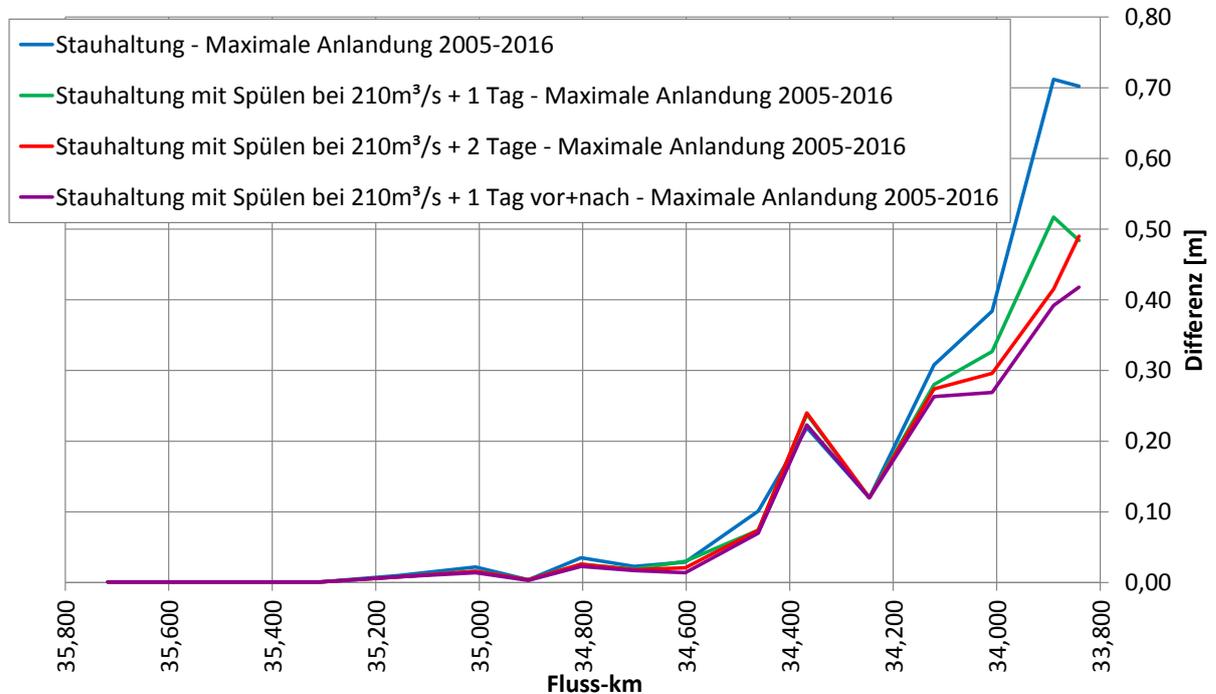


Abbildung 23: Verlandungsdifferenzen des Stauraums ohne Spülen und mit Spülszenarien gegenüber den Ergebnissen des IST-Zustandes

In Abbildung 23 sind die Differenzen der Talpunkthöhen der einzelnen Profile als Vergleich der Ergebnisse des IST-Zustandes mit den Ergebnissen der Stauhaltung mit und ohne Spülszenarien dargestellt. Mit den angenommenen Spülszenarien kann gemäß Modellrechnung eine Mobilisierung über rund 300 m flussaufwärts der Wehrachse erzielt werden. Das Profil unmittelbar flussabwärts der Niederlandbrücke (B178) bei Fkm 34,246 zeigt keine wesentlichen Änderungen der Sohlhöhen. Auch die geringen Anlandungen in der Höhe von maximal rund 0,2 m flussaufwärts der Niederlandbrücke können durch die angenommenen Spülungen nicht maßgeblich verringert werden. Diese Ergebnisse entsprechen ähnlichen Erfahrungen aus anderen Stauhaltungen.

Ein Vergleich der maximalen Anlandungen der oben beschriebenen Szenarien ergibt, dass im Durchschnitt über den Bereich der Mobilisierung (Fkm 33,841 bis 34,121) bei Normalbetrieb der Stauhaltung maximal 0,53 m anlanden, bei „210 m³/s + 1 Tag“ 0,40 m, bei „210 m³/s + 2 Tage“ 0,37 m und bei „210 m³/s ± 1 Tag“ 0,34 m. Im Verlauf des Simulationszeitraums ergeben sich naturgemäß geringere Unterschiede, so beträgt dieser Wert im Mittel der Periode 2005-2016 bei „210 m³/s + 1 Tag“ 0,20 m, bei „210 m³/s + 2 Tage“ 0,17 m und bei „210 m³/s ± 1 Tag“ 0,15 m. Ohne

Spülbetrieb würden die Aufhöhungen von Fkm 33,841 bis 34,121 im Mittel der Periode 2005-2016 durchschnittlich 0,29 m betragen.

Aufhöhungen [m]	Ohne Spülbetrieb	210 m ³ /s + 1 Tag	210 m ³ /s + 2 Tage	210 m ³ /s ±1 Tag
Mittelwert	0,29	0,20	0,17	0,15
Maximum	0,53	0,40	0,37	0,34

Tabelle 8: Aufhöhungen im Mittel über den Bereich Fkm 33,841 bis 34,121 in [m]

In Abbildung 24 ist die zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhe bei der Wehrachse (Fkm 33,841) im 12-jährigen Modellierungszeitraum für die einzelnen Szenarien abgebildet. Es ist zu erkennen, dass Durchflüsse bis ca. 100 m³/s hier zu Verlandungen führen und ab 200 m³/s ein deutlicher Abtrag stattfindet. Durch das Ansetzen der Spülszenarien wird dieser Abtrag im Modell verstärkt abgebildet. Da beim Profil rund 50 m flussaufwärts der Wehrachse bei Fkm 33,890 die größten Anlandungen berechnet wurden, ist der zeitliche Verlauf des 12-jährigen Simulationszeitraums für dieses Profil in Abbildung 25 dargestellt.

Zusammenfassend wird empfohlen, die geplanten Staulegungen im Betriebsfall bereits vor dem Eintreffen der Hochwasserwelle durchzuführen. Das Spülprogramm soll sich auch durch eine laufende Kontrolle der Flussquerprofile abstützen. Dieses Monitoring kann die tatsächliche Sohlentwicklung in der Praxis des Kraftwerksbetriebes erfassen. Damit sollen Anlandungen im Vergleich zum IST-Zustand minimiert und die Hochwassersicherheit im Stauraum gewährleistet werden.

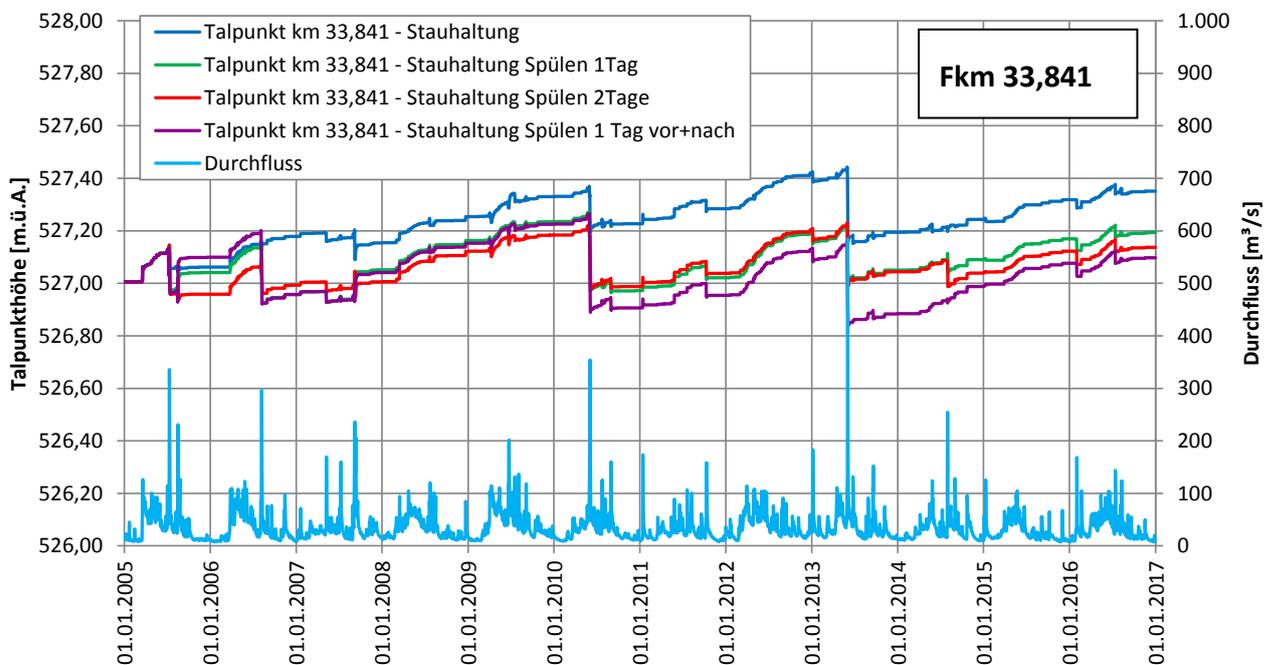


Abbildung 24: Zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhe bei der Wehrachse (Fkm 33,841) im 12-jährigen Modellierungszeitraum (Stauhaltung mit und ohne Spülung)

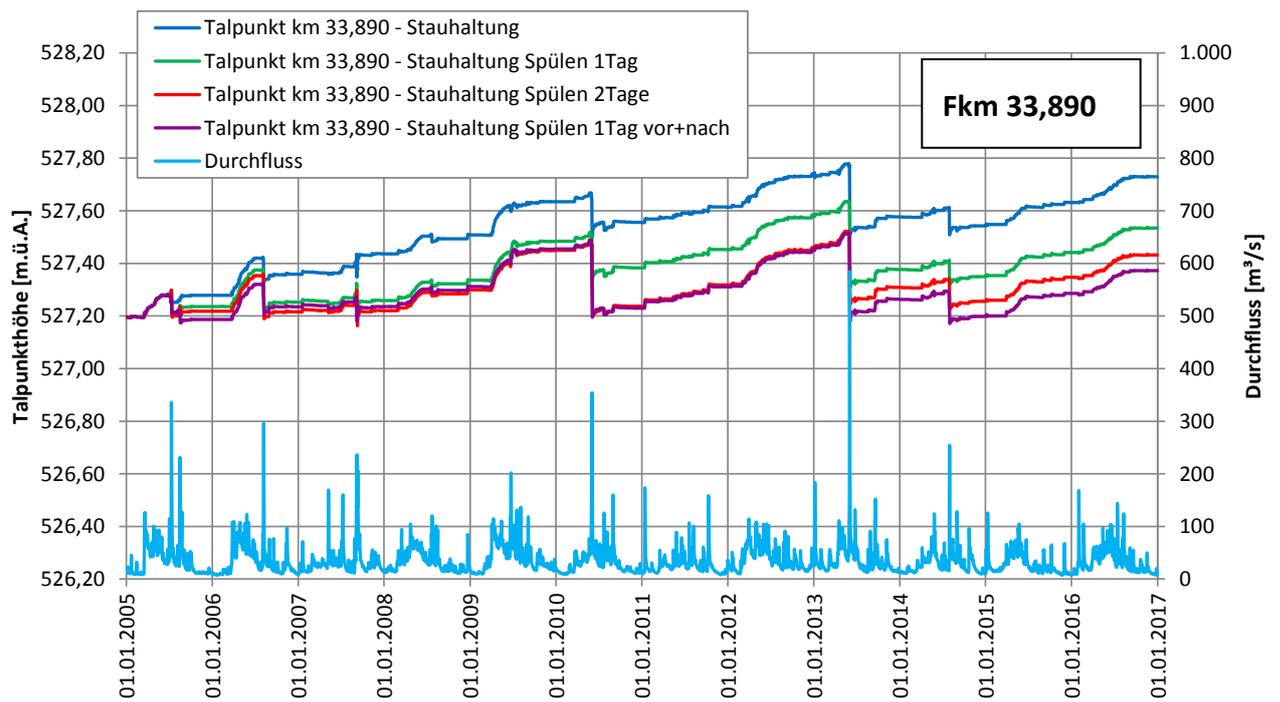


Abbildung 25: Zeitliche Entwicklung der Talpunkthöhe rund 50 m flussaufwärts der Wehrachse (Fkm 33,890) im 12-jährigen Modellierungszeitraum (Stauhaltung mit und ohne Spülung)

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Wasserkraft Schneizlreuth GmbH&Co.KG entwickelt ein Wasserkraftprojekt an der Saalach mit einer Wasserfassung auf österreichischer Seite, einem Triebwasserstollen an der rechten Talseite und einer Kraftstation auf bayerischer Seite im Bereich der Ortschaft Schneizlreuth.

Hydraulische Simulationen mit Feststofftransport sollen Aufschlüsse über den Geschiebehaushalt in der Saalach für den Untersuchungsabschnitt von Fkm 26,0 bis 35,7 (Staubereich und Restwasserstrecke) geben.

Modellerstellung

Das Feststofftransportmodell wurde mit dem Programm GSTARS 2.1.1 (Generalized Stream Tube model for Alluvial River Simulation) einem quasistationären 1-dimensionalen Modell durchgeführt. Dieses Modell wurde durch die "Sedimentation and River Hydraulics Group of the U.S. Bureau of Reclamation (Denver, CO)" entwickelt.

Die hydraulischen Bedingungen wie Gerinnegeometrie, Durchflüsse und Rauigkeiten wurden einerseits entsprechend den Werten der hydraulischen Modellberechnungen der Saalach - siehe Bericht „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie“ (Pöyry, 03/2018) – angesetzt, andererseits wurde auf zusätzliche Daten des Bayerischen Landesamts für Umwelt (Messstelle Unterjettenberg - Saalach) zurückgegriffen. Die Modellstrecke wird mittels 64 Profilen abgebildet, umfasst 9,8 km und liegt sowohl auf österreichischem als auch auf deutschem Staatsgebiet zwischen Unken (Salzburg) und Unterjettenberg (Bayern). Die Flusskilometrierung wurde aus den hydraulischen Modellrechnungen übernommen und reicht von Fkm 25,916 bis Fkm 35,718.

Zunächst wurde eine Modellsimulation ohne Feststofftransport durchgeführt, bei der die spezifischen Durchflüsse entsprechend den Untersuchungen „Wasserkraftanlage Schneizlreuth, Wasserwirtschaft & Hydrologie (Pöyry, 03/2018)“ gewählt und die Wasserspiegelhöhen mit den entsprechenden Ergebnissen des eindimensionalen, stationären, numerischen Abflussmodells WASPI Version 3.2. verglichen wurden. Die Modellergebnisse der Berechnung mittels WASPI stimmen mit den Ergebnissen des GSTARS-Modells gut überein.

Modellkalibrierung

Um die Veränderungen der Gewässersohlhöhen beurteilen zu können, wurden die gemessenen Profilaufnahmen betrachtet. Die Veränderungen der Sohlhöhen der vorliegenden Profilaufnahmen betragen wenige Dezimeter (max. 0,5 m im Bereich zwischen Fkm 35,0 und Fkm 30,5), es sind Eintiefungstendenzen, aber auch eine ausgeglichene Sohlentwicklung festzustellen.

In weiterer Folge wurden die Parameter des Feststofftransports (u.a. Fracht des Feststoffeintrags und Korngrößenverteilungen) auf Basis der vorhandenen Datengrundlage angenommen. Nach Implementierung der Parameter des Feststofftransports im GSTARS-Modell wurde der IST-Zustand mit Feststofftransport berechnet und anhand der Profilaufnahmen kalibriert.

Im Vergleich zu der Sohlhöhenentwicklung der gemessenen Profilaufnahmen weist das Modellergebnis nach der Kalibrierung eine etwas stärkere Dynamik auf, die Bandbreite der Talpunktdifferenzen (Ende 2016 minus Anfang 2005) beträgt mit Ausnahme des letzten Profils $\pm 0,6$ m. Im Mittel über die gesamte Modellstrecke ergibt sich eine geringfügig tiefere Sohle, der Mittelwert der Talpunktdifferenzen (Ende 2016 minus Anfang 2005) liegt bei $-0,1$ m.

Auswirkungen der Wasserkraftanlage im Staubereich

Um die Auswirkungen der Wasserkraftanlage auf die Verhältnisse im Staubereich berechnen zu können, wurde die Modellstrecke auf den Bereich Fkm 33,841 – 35,718 verkürzt, sodass der Wasserspiegel bei der Wehrachse als untere Randbedingung definiert werden kann.

Im Vergleich mit dem IST-Zustand wurden wegen der Verringerung der Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen infolge der Stauhaltung (ohne Spülmaßnahmen) Anlandungen unmittelbar flussaufwärts der Wehrachse ermittelt. Mit den getroffenen Annahmen zum Feststofftransport, die mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind, würden sich Differenzen vor allem in den ersten 200 m des Staubereichs ergeben. Es ergeben sich vor allem positive Differenzen (Anlandungen) infolge der Stauhaltung flussabwärts der Stauwurzel bei Fkm 34,367 sowie bei den Profilen flussabwärts der Niederlandbrücke bis zur geplanten Wehranlage. Es wurden maximale Anlandungen in der Höhe von 0,7 m berechnet, im gesamten Staubereich bis ca. Fkm 34,6 beträgt die Anlandung durchschnittlich 0,3 m.

Hinsichtlich der Berechnung der Wasserspiegelhöhen mit beweglicher Sohle ist festzustellen, dass sich für die Profile flussaufwärts der Stauwurzel (ca. Fkm 34,6) trotz der teilweisen Verlandung des Stauraums im Zeitraum 2005-2016 keine wesentlichen Differenzen der Wasserspiegelhöhen ergaben. In Hinblick auf die Hochwassersicherheit und die Minimierung von Anlandungen zeigt die vorliegende Geschiebeuntersuchung, dass Stauraumspülungen vorteilhaft sind. Das Spülprogramm soll sich aber auch auf die Ergebnisse laufend durchgeführter Profilvermessungen (Monitoring) abstützen.

Auswirkungen der Wasserkraftanlage in der Restwasserstrecke

Weitere Berechnungen betreffen die Auswirkungen der Wasserkraftanlage auf die Verhältnisse flussabwärts der Wehrachse in der Restwasserstrecke, dazu wurde die Modellstrecke auf diesen Bereich von Fkm 25,916 bis Fkm 33,790 verkürzt.

Insgesamt sind die Unterschiede, die sich durch die flussaufwärts gelegene Stauhaltung ergeben gering. Die Differenzen der einzelnen Profile bewegen sich in einem Bereich von $\pm 0,2$ m. In einem kurzen Abschnitt und zwar in den ersten 500 m flussabwärts der Wehrachse wurden leicht erhöhte Veränderungen berechnet ($\pm 0,1$ m), ebenso im Bereich der Ausleitung bis zum Ende der Modellstrecke (Fkm 26,7 bis 25,9). Hier wurde die maximale Differenz des Vergleichs (Stauhaltung minus IST-Zustand) ermittelt mit $-0,23$ m bei Fkm 25,916. Im Mittel sind in der Restwasserstrecke keine maßgeblichen Veränderungen berechnet worden ($-0,01$ m), was auf eine ausgeglichene Sohlentwicklung schließen lässt.

Auswirkungen von Spülvorgängen

Es wurden 3 Spülszenarien betrachtet, wobei angenommen wurde, dass im Anschluss an einen Durchfluss größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ ein freier Durchfluss über den darauf folgenden Tag bzw. die darauf folgenden 2 Tage stattfindet sowie ein freier Durchfluss 1 Tag vor und nach einem Hochwasserereignis größer als $210 \text{ m}^3/\text{s}$ gegeben ist (Vorabsenkung). In dieser Reihenfolge zeigten die Modellergebnisse Verbesserungen betreffend Anlandungshöhen.

Mit den angenommenen Spülszenarien kann gemäß Modellrechnung eine Mobilisierung über rund 300 m flussaufwärts der Wehrachse erzielt werden. Das Profil unmittelbar flussabwärts der Niederlandbrücke (B178) bei Fkm 34,246 zeigt bei den Spülszenarien keine wesentlichen Änderungen der Sohlhöhen.

Zusammenfassend wird empfohlen, die geplanten Staulegungen im Betriebsfall bereits vor dem Eintreffen der Hochwasserwelle durchzuführen. Das Spülprogramm soll sich auch durch eine laufende Kontrolle der Flussquerprofile abstützen. Dieses Monitoring kann die tatsächliche Sohlentwicklung in der Praxis des Kraftwerksbetriebes erfassen. Damit sollen Anlandungen im Vergleich zum IST-Zustand minimiert und die Hochwassersicherheit im Stauraum gewährleistet werden.

ANHANG

Wasserkraftanlage Schneizreuth
Untersuchungen des Geschiebehalt
ÜBERSICHTSLAGEPLAN

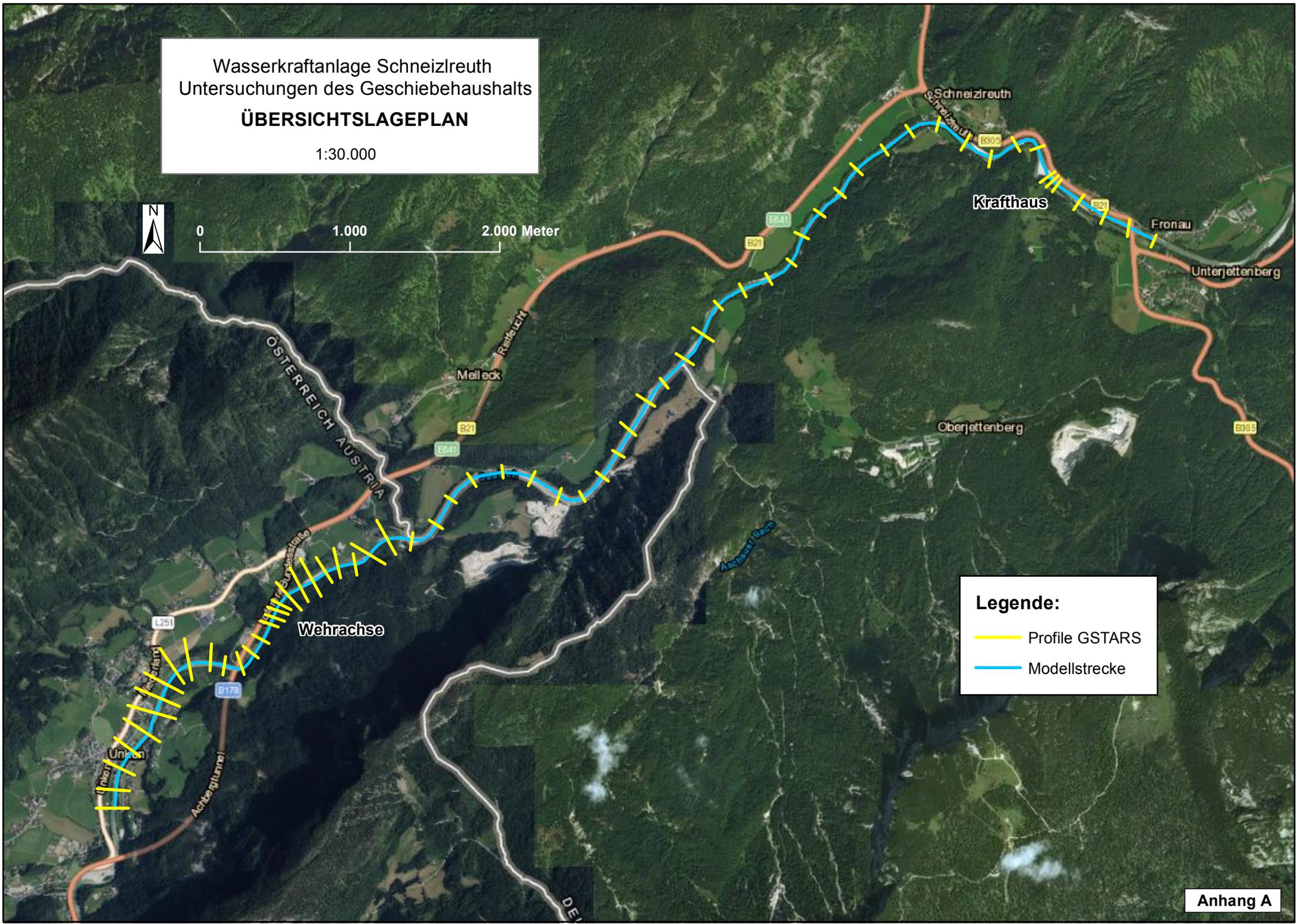
1:30.000

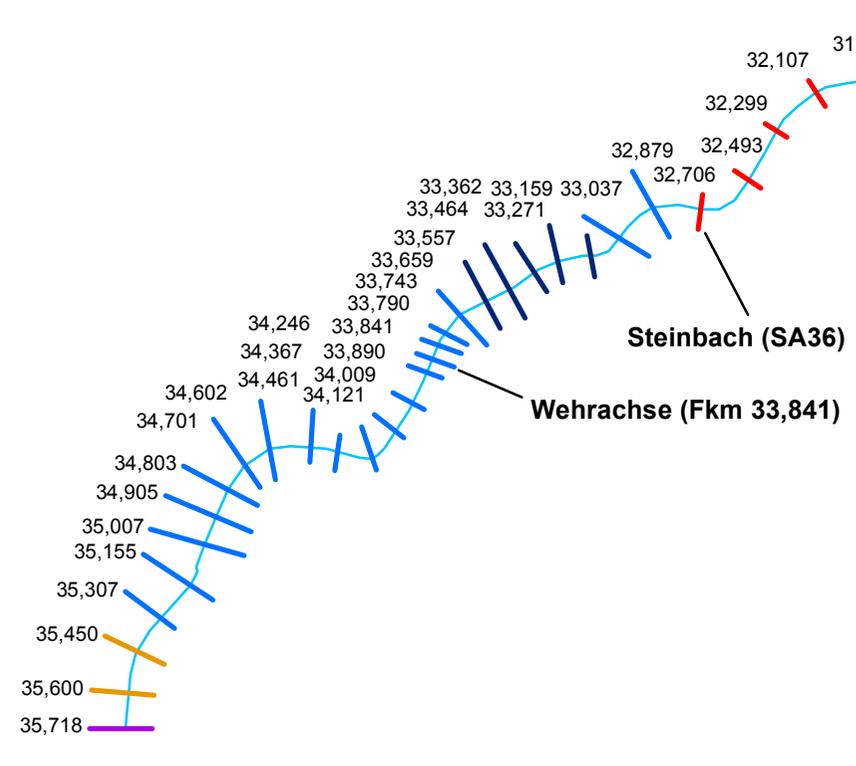
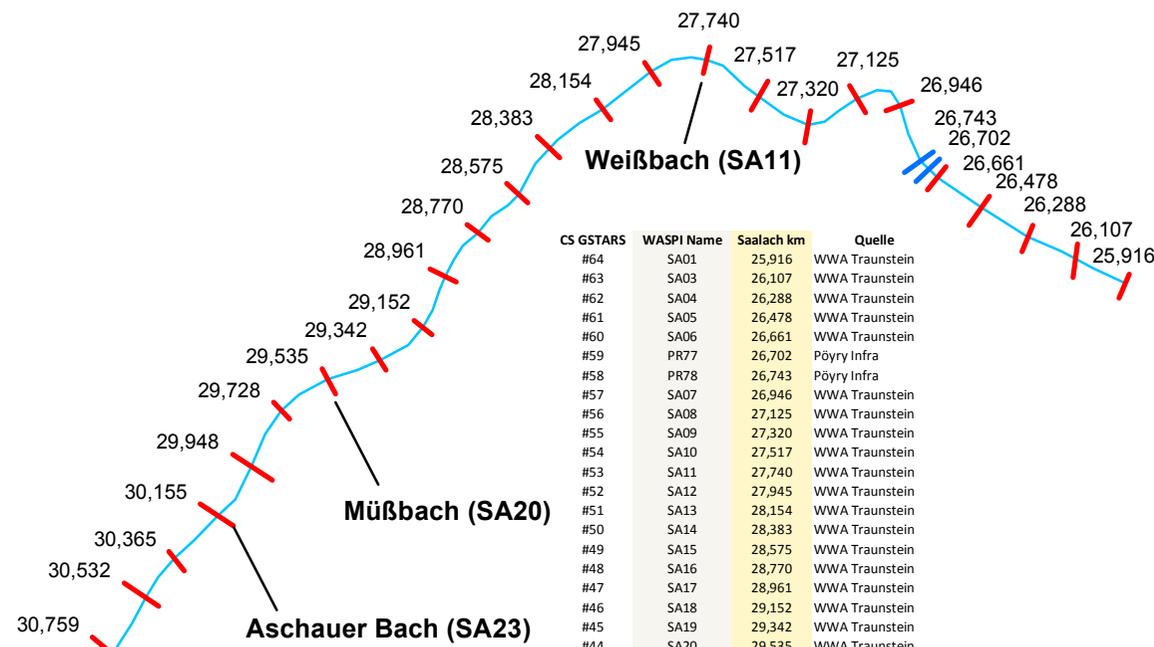
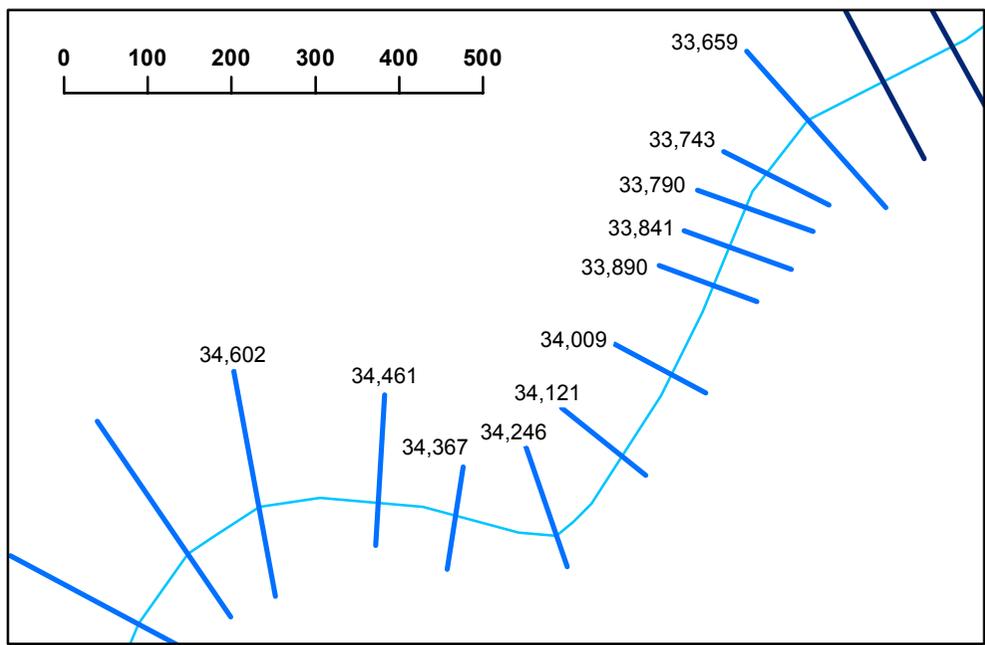


0 1.000 2.000 Meter

Legende:

-  Profile GSTARS
-  Modellstrecke





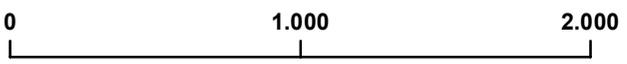
**Wasserkraftanlage Schneizlreuth
Untersuchungen des Geschiebehaltals
LAGEPLAN der PROFILE**

1:25.000

Legende:

Querprofile (Datenherkunft)

- WWA Traunstein
- Pöyry Infra
- Pöyry Infra (DGM)
- DGM
- Land Salzburg
- Saalach (km)



CS GSTARS	WASPI Name	Saalach km	Quelle
#64	SA01	25,916	WWA Traunstein
#63	SA03	26,107	WWA Traunstein
#62	SA04	26,288	WWA Traunstein
#61	SA05	26,478	WWA Traunstein
#60	SA06	26,661	WWA Traunstein
#59	PR77	26,702	Pöyry Infra
#58	PR78	26,743	Pöyry Infra
#57	SA07	26,946	WWA Traunstein
#56	SA08	27,125	WWA Traunstein
#55	SA09	27,320	WWA Traunstein
#54	SA10	27,517	WWA Traunstein
#53	SA11	27,740	WWA Traunstein
#52	SA12	27,945	WWA Traunstein
#51	SA13	28,154	WWA Traunstein
#50	SA14	28,383	WWA Traunstein
#49	SA15	28,575	WWA Traunstein
#48	SA16	28,770	WWA Traunstein
#47	SA17	28,961	WWA Traunstein
#46	SA18	29,152	WWA Traunstein
#45	SA19	29,342	WWA Traunstein
#44	SA20	29,535	WWA Traunstein
#43	SA21	29,728	WWA Traunstein
#42	SA22	29,948	WWA Traunstein
#41	SA23	30,155	WWA Traunstein
#40	SA24	30,365	WWA Traunstein
#39	SA25	30,532	WWA Traunstein
#38	SA26	30,759	WWA Traunstein
#37	SA27	30,930	WWA Traunstein
#36	SA28	31,115	WWA Traunstein
#35	SA29	31,305	WWA Traunstein
#34	SA30	31,478	WWA Traunstein
#33	SA31	31,691	WWA Traunstein
#32	SA32	31,893	WWA Traunstein
#31	SA33	32,107	WWA Traunstein
#30	SA34	32,299	WWA Traunstein
#29	SA35	32,493	WWA Traunstein
#28	SA36	32,706	WWA Traunstein
#27	ZPR1	32,879	Pöyry Infra
#26	ZPR2	33,037	Pöyry Infra
#25	PR02	33,159	Pöyry Infra (DGM)
#24	PR05	33,271	Pöyry Infra (DGM)
#23	PR07	33,362	Pöyry Infra (DGM)
#22	PR10	33,464	Pöyry Infra (DGM)
#21	PRA	33,557	Pöyry Infra (DGM)
#20	ZPR3	33,659	Pöyry Infra
#19	Pr80	33,743	Pöyry Infra
#18	Pr81	33,790	Pöyry Infra
#17	Pr82	33,841	Pöyry Infra
#16	Pr83	33,890	Pöyry Infra
#15	Pr85	34,009	Pöyry Infra
#14	Pr87	34,121	Pöyry Infra
#13	Pr88	34,246	Pöyry Infra
#12	Pr89	34,367	Pöyry Infra
#11	Pr90	34,461	Pöyry Infra
#10	ZPR4	34,602	Pöyry Infra
#9	ZPR5	34,701	Pöyry Infra
#8	ZPR6	34,803	Pöyry Infra
#7	ZPR7	34,905	Pöyry Infra
#6	ZPR8	35,007	Pöyry Infra
#5	ZPR9	35,155	Pöyry Infra
#4	ZPR10	35,307	Pöyry Infra
#3	SAAL35450	35,450	DGM
#2	SAAL35600	35,600	DGM
#1	SSAAL035718	35,718	Land Salzburg

Wasserkraftanlage Schneizreuth
 UNTERSUCHUNGEN GESCHIEBEHAUSHALT
 Profile

CS_GSTARS	WASPI_Name	WASPI_Nr	SAAL_KM	DIST	STAT_KM	KM_STAT	Quelle	Datum	Kst Links	Kst Sohle	Kst Rechts
#64	SA01	Profil-Nr. 1	25,916	0,000	0,000	9,802	WWA Traunstein	Okt.2013	18,0	18,0	12,0
#63	SA03	Profil-Nr. 3	26,107	0,191	0,191	9,611	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#62	SA04	Profil-Nr. 4	26,288	0,181	0,372	9,430	WWA Traunstein	Okt.2013	18,0	18,0	12,0
#61	SA05	Profil-Nr. 6	26,478	0,190	0,562	9,240	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#60	SA06	Profil-Nr. 12	26,661	0,183	0,745	9,057	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#59	PR77	Profil-Nr. 13	26,702	0,041	0,786	9,016	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	18,0	12,0
#58	PR78	Profil-Nr. 14	26,743	0,041	0,827	8,975	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	18,0	12,0
#57	SA07	Profil-Nr. 15	26,946	0,203	1,030	8,772	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	18,0
#56	SA08	Profil-Nr. 16	27,125	0,179	1,209	8,593	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#55	SA09	Profil-Nr. 27	27,320	0,195	1,404	8,398	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	20,0	20,0
#54	SA10	Profil-Nr. 31	27,517	0,197	1,601	8,201	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	18,0
#53	SA11	Profil-Nr. 32	27,740	0,223	1,824	7,978	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#52	SA12	Profil-Nr. 33	27,945	0,205	2,029	7,773	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#51	SA13	Profil-Nr. 34	28,154	0,209	2,238	7,564	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#50	SA14	Profil-Nr. 35	28,383	0,229	2,467	7,335	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	18,0
#49	SA15	Profil-Nr. 36	28,575	0,192	2,659	7,143	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#48	SA16	Profil-Nr. 37	28,770	0,195	2,854	6,948	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	18,0	12,0
#47	SA17	Profil-Nr. 50	28,961	0,191	3,045	6,757	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,0	12,0
#46	SA18	Profil-Nr. 56	29,152	0,191	3,236	6,566	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#45	SA19	Profil-Nr. 57	29,342	0,190	3,426	6,376	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#44	SA20	Profil-Nr. 58	29,535	0,193	3,619	6,183	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#43	SA21	Profil-Nr. 59	29,728	0,193	3,812	5,990	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#42	SA22	Profil-Nr. 60	29,948	0,220	4,032	5,770	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#41	SA23	Profil-Nr. 61	30,155	0,207	4,239	5,563	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#40	SA24	Profil-Nr. 62	30,365	0,210	4,449	5,353	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#39	SA25	Profil-Nr. 63	30,532	0,167	4,616	5,186	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	23,5	12,0
#38	SA26	Profil-Nr. 67	30,759	0,227	4,843	4,959	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#37	SA27	Profil-Nr. 74	30,930	0,171	5,014	4,788	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	25,0	12,0
#36	SA28	Profil-Nr. 80	31,115	0,185	5,199	4,603	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#35	SA29	Profil-Nr. 81	31,305	0,190	5,389	4,413	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#34	SA30	Profil-Nr. 82	31,478	0,173	5,562	4,240	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#33	SA31	Profil-Nr. 83	31,691	0,213	5,775	4,027	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#32	SA32	Profil-Nr. 84	31,893	0,202	5,977	3,825	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	24,0
#31	SA33	Profil-Nr. 85	32,107	0,214	6,191	3,611	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#30	SA34	Profil-Nr. 86	32,299	0,192	6,383	3,419	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#29	SA35	Profil-Nr. 87	32,493	0,194	6,577	3,225	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#28	SA36	Profil-Nr. 88	32,706	0,213	6,790	3,012	WWA Traunstein	Okt.2013	12,0	24,0	12,0
#27	ZPR1	Profil-Nr. 88.11	32,879	0,173	6,963	2,839	Pöyry Infra	Jul.2017	24,0	24,0	24,0
#26	ZPR2	Profil-Nr. 88.4	33,037	0,158	7,121	2,681	Pöyry Infra	Jul.2017	24,0	24,0	24,0
#25	PR02	Profil-Nr. 90	33,159	0,122	7,243	2,559	Pöyry Infra (DGM)	Dez.2016	24,0	24,0	24,0
#24	PR05	Profil-Nr. 93	33,271	0,112	7,355	2,447	Pöyry Infra (DGM)	Dez.2016	24,0	24,0	24,0
#23	PR07	Profil-Nr. 96	33,362	0,091	7,446	2,356	Pöyry Infra (DGM)	Dez.2016	22,0	22,0	22,0
#22	PR10	Profil-Nr. 99	33,464	0,102	7,548	2,254	Pöyry Infra (DGM)	Dez.2016	22,0	22,0	22,0
#21	PRA	Profil-Nr. 103	33,557	0,093	7,641	2,161	Pöyry Infra (DGM)	Dez.2016	22,0	22,0	22,0
#20	ZPR3	Profil-Nr. 103.21	33,659	0,102	7,743	2,059	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#19	Pr80	Profil-Nr. 104	33,743	0,084	7,827	1,975	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#18	Pr81	Profil-Nr. 105	33,790	0,047	7,874	1,928	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#17	Pr82	Profil-Nr. 106	33,841	0,051	7,925	1,877	Pöyry Infra	Feb.2015	12,0	22,0	12,0
#16	Pr83	Profil-Nr. 107	33,890	0,049	7,974	1,828	Pöyry Infra	Feb.2015	12,0	22,0	12,0
#15	Pr85	Profil-Nr. 109	34,009	0,119	8,093	1,709	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#14	Pr87	Profil-Nr. 111	34,121	0,112	8,205	1,597	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#13	Pr88	Profil-Nr. 112	34,246	0,125	8,330	1,472	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#12	Pr89	Profil-Nr. 113	34,367	0,121	8,451	1,351	Pöyry Infra	Feb.2016	12,0	22,0	12,0
#11	Pr90	Profil-Nr. 114	34,461	0,094	8,545	1,257	Pöyry Infra	Mär.2016	12,0	22,0	12,0
#10	ZPR4	Profil-Nr. 116	34,602	0,141	8,686	1,116	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#9	ZPR5	Profil-Nr. 117	34,701	0,099	8,785	1,017	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#8	ZPR6	Profil-Nr. 118	34,803	0,102	8,887	0,915	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#7	ZPR7	Profil-Nr. 119	34,905	0,102	8,989	0,813	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#6	ZPR8	Profil-Nr. 120	35,007	0,102	9,091	0,711	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#5	ZPR9	Profil-Nr. 121	35,155	0,148	9,239	0,563	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#4	ZPR10	Profil-Nr. 122	35,307	0,152	9,391	0,411	Pöyry Infra	Jul.2017	22,0	22,0	22,0
#3	SAAL35450		35,450	0,143	9,534	0,268	DGM		22,0	22,0	22,0
#2	SAAL35600		35,600	0,150	9,684	0,118	DGM		22,0	22,0	22,0
#1	5SAAL035718		35,718	0,118	9,802	0,000	Land Salzburg	Jul.2013	22,0	22,0	22,0