

Speicherkanäle für die Mischwasserbewirtschaftung in Graz

Harald Kainz¹, Werner Sprung², Gerald Maurer², Werner Pirkner²,
Valentin Gamerith¹ und Günter Gruber¹

¹ TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau,
Stremayrgasse 10 / I, 8010 Graz, Österreich

² Holding Graz Services – Abwasser, Europaplatz 20, 8011 Graz, Österreich

Kurzfassung:

Durch die Errichtung von 2 Kraftwerksstufen an der Mur im Stadtgebiet von Graz wird ein Teil der Mischwasserentlastungen eingestaut. Dies erfordert eine Anpassung des Konzeptes zur Mischwasserbewirtschaftung und eine kurzfristige Errichtung von großen Speicherkanälen zur Ableitung (bis zu 80 m³/s) und Bewirtschaftung der bisher entlasteten Mischwässer. Durch diese Maßnahme darf kein negativer Einfluss auf die Rückstauerebenen im Entwässerungsgebiet erfolgen. Die Sammelkanäle sind 8 km lang und besitzen ein Volumen von 90 000 m³. Durch die Errichtung von 7 Kaskaden mit versenkbaren, steuerbaren Wehren gelingt es, das geschaffene Volumen von in Summe 90 000 m³ vollständig für die Bewirtschaftung zu nutzen. Das System kann nach den auf der Kläranlage verfügbaren Kapazitäten und qualitativen Eigenschaften des Mischwassers, wie Abwassertemperatur und Schmutzfracht, gesteuert werden. Durch ein spezielles automatisiertes Spülkonzept soll der Aufwand für die Reinigung gering gehalten werden. Die Entleerung in den Zulaufkanal der Kläranlage erfolgt weitgehend im freien Gefälle, nur die letzten 10 000 m³ sind in die Mischwasserüberlaufbecken der Kläranlage zu leiten und zu pumpen.

Key-Words: Mischwasserbewirtschaftung, Speicherkanal,
hydrologisches und hydrodynamisches Modell,
Absenkwehre, Spülkonzept

1 Einleitung

Das Kanalbauamt der Stadt Graz, seit Jänner 2011 Graz Holding Services – Abwasser, hat in den Jahren 2003 bis 2006 ein generelles Konzept zur Mischwasserbewirtschaftung erarbeitet. Gemeinsam mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz wurde 2006 ein Generalentwässerungskonzept (Sprung, W. und Ali, S., 2006) vorgelegt, das bereits die wesentlichen Zielvorgaben des Ende 2007 fertiggestellten ÖWAV RB 19 „Richtlinie für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ berücksichtigt. Neben der Erfüllung des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung für gelöste Stoffe und Feststoffe, die vor allem für die Einleitungen in den Hauptvorfluter Mur relevant sind, wurde auch die Immissionsseite für die kleinen Bachläufe im Stadtgebiet untersucht und strenge Limitierungen von Mischwassereinleitungen in diese Gewässer im Generalentwässerungskonzept 2006+ formuliert.

Überlagert wurden diese Arbeiten durch die Planungsaktivitäten für die Murkraftwerke Gössendorf und Graz. Beide beeinflussen durch ihre Stauräume die Entwässerungssituation in Graz ganz wesentlich. Das Kraftwerk Gössendorf liegt direkt flussaufwärts der Kläranlage Graz und staut die letzten 4 Mischwasserüberläufe vor der Kläranlage ein. Das Murkraftwerk Graz schließt flussaufwärts an, wirkt bis in das Stadtzentrum von Graz zurück und staut 9 Mischwasserüberläufe ein.

Dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz wurde die Herausforderung übertragen, gemeinsam mit den Planungsabteilungen des Kanalbauamtes der Stadt Graz und der Energie Steiermark ein Projekt zu erstellen, das die Ziele der Mischwasserableitung auf Grund der Murkraftwerke und der Mischwasserbewirtschaftung für das gesamte Einzugsgebiet von Graz hydraulisch, ökologisch und ökonomisch unter Nutzung aller möglichen Synergien erfüllt.

2 Ist-Stand Kanalnetz Graz

Die ersten Kanäle in Graz dienten der Regenwasserableitung und der Ableitung des Unrats, der von den Straßen in die Kanäle gespült wurde. Später wurde ein Abwassersammelsystem mittels Holzfässern aufgebaut. Die Fässer wurden von Fuhrwerken abgeholt und in die Mur entleert. 1910 wurde beschlossen, in Graz die Schwemmkanalisation einzuführen. Die Grundlagen dafür wurden schon vor 1900 erhoben, es wurden über mehrere Jahre Regenmessungen durchgeführt, Gelände und Straßen vermessen und der Kanalbestand aufgenommen.

Das Konzept sah vor, ein Mischkanalsystem zu errichten, das die bestehenden Regenwasserkanäle integriert. Die heutige Struktur des Kanalnetzes mit Haupt- und Nebensammlern und allen Entlastungen wurde damals entwickelt. Die hydraulische Bemessung der Kanäle, der Haupt-sammler und der Mischwasserentlastungen wurde detailliert durchgeführt.

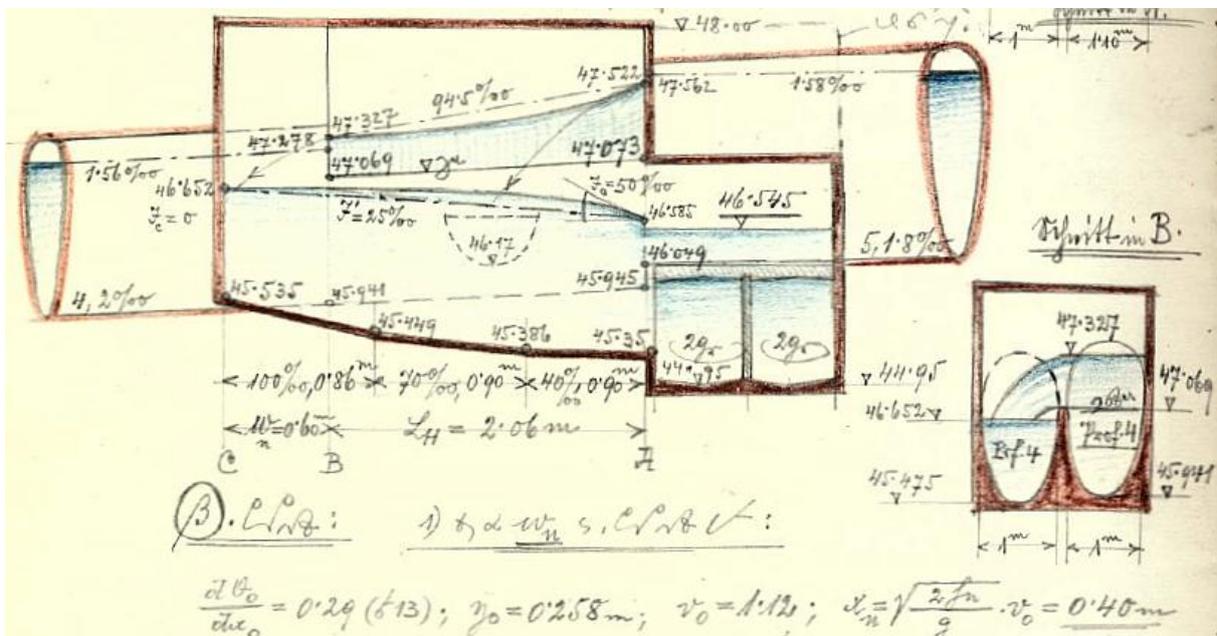


Abbildung 1: Ausschnitt aus der hydraulischen Bearbeitung der Entlastung R10 Ökonomiegasse (Czerny, 1927)

Im Jahr 1926 wurde mit dem Ausbau der Mischkanalisation begonnen. Die einzelnen Häuser mussten mit einer Wasserleitung versorgt und an

den Kanal angeschlossen werden. Die damals geplanten Kanäle bilden noch heute das Rückgrat der Abwasserentsorgung von Graz.

1960 wurde mit dem Bau der Hauptsammler entlang der Mur begonnen. 1974 ging die Kläranlage Graz mit der mechanischen Reinigung in Betrieb. Im Jahr 2010 wurde die Vollkanalisierung erreicht.

In Abbildung 2 ist der Kanalneubau in km/Dekade dargestellt. Das Diagramm zeigt zugleich die Altersstruktur des Kanalnetzes in Graz.

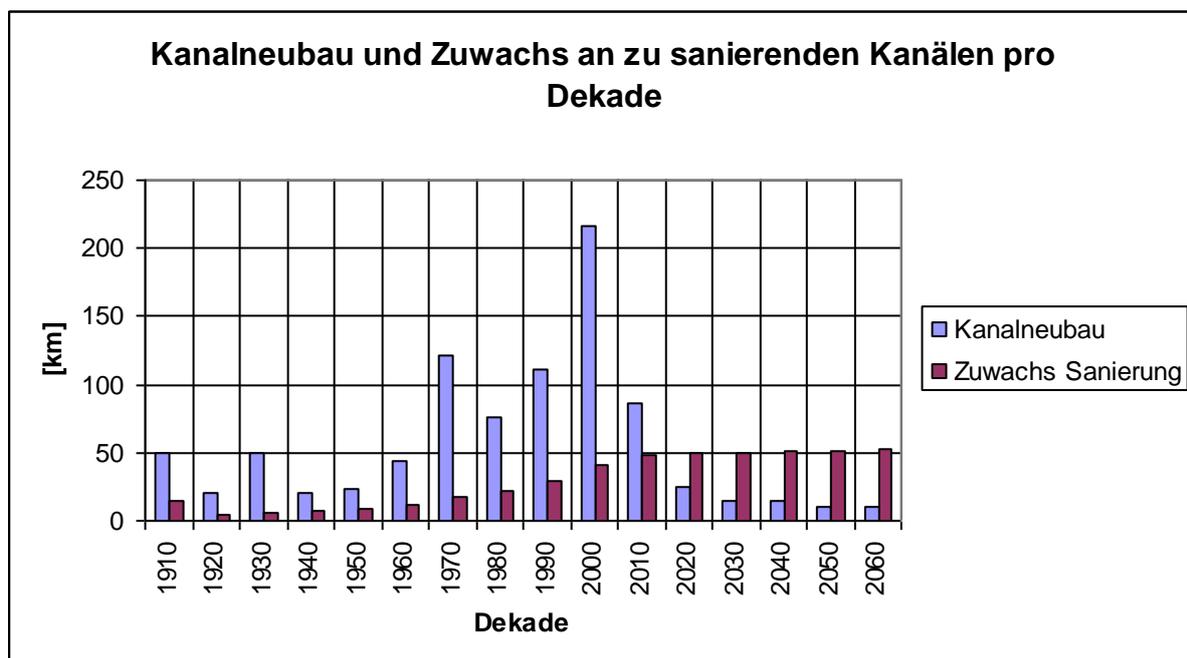


Abbildung 2: Kanalneubau und Zuwachs an zu sanierenden Kanälen pro Dekade (Sprung, Kanalsanierungskonzept 2006+, 2006)

Nach 100 Jahren Kanalnetzausbau in Graz ändern sich Ausrichtung und Anforderungen an die Stadtentwässerung deutlich. Die Ziele der Stadtentwässerung in Graz bestehen nun einerseits in der baulichen und hydraulischen Funktionssicherung der Kanäle und andererseits in der Umsetzung der Niederschlags- und Mischwasserbewirtschaftung.

Um die hydraulischen Untersuchungen durchführen zu können, wurde das physische Kanalnetz in virtuellen Kanalnetzmodellen nachgebildet. Sie bilden die Grundlage für alle weiteren Überlegungen zur nachhaltigen Funktionserweiterung und -sicherung. Sie erlauben die Erstellung zielgerichteter Konzepte der baulichen Kanalsanierung, sie zeigen erfor-

derliche Maßnahmen der hydraulischen Sanierung auf und sie ermöglichen in der Mischwasserbewirtschaftung die Investitionen zielgerichtet einzusetzen.

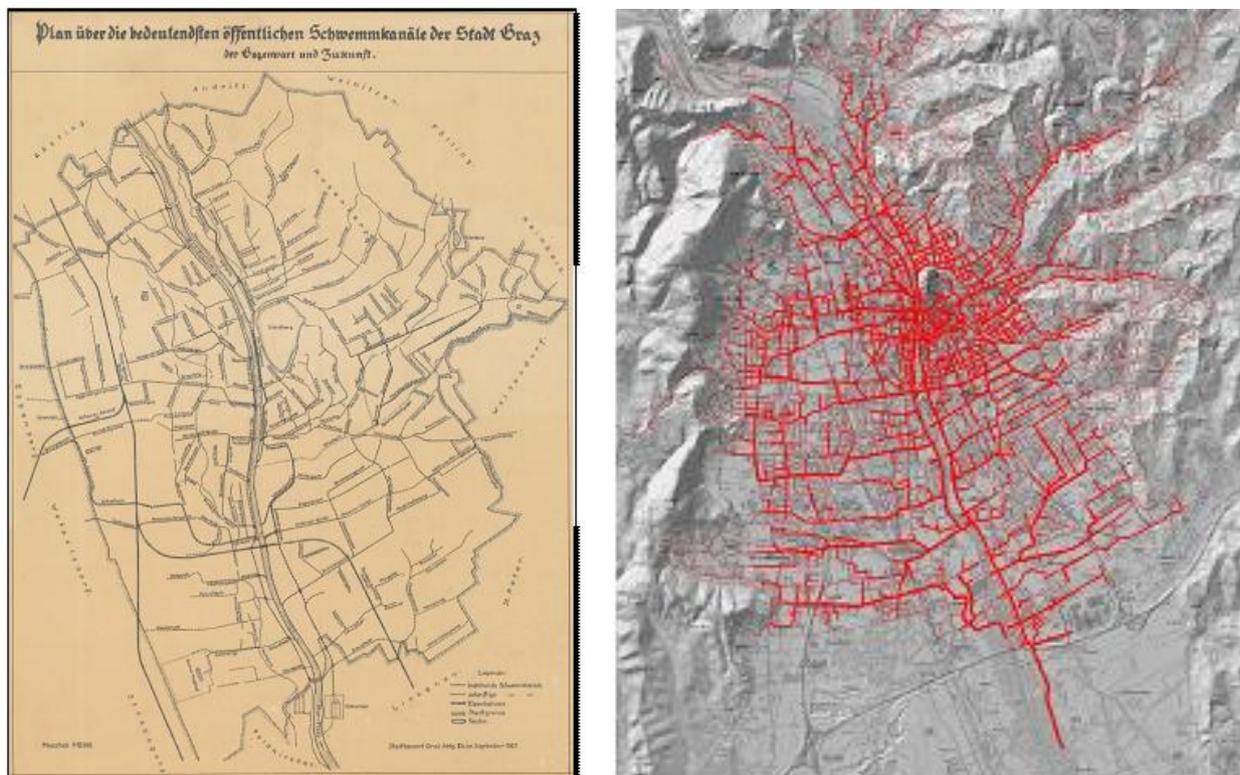


Abbildung 3: Kanalnetz Graz, Konzept 1927 (linkes Bild) und Stand 2010 mit 846 km (rechtes Bild)

Eckdaten zum Kanalnetz Graz:

- Das Kanalnetz hat dzt. eine Länge von 846 km.
- Etwa 70 % des Kanalnetzes sind Mischwasserkanäle.
- Im Kanalnetz befinden sich ein Mischwasserpumpwerk, sieben Schmutzwasserpumpwerke und neun Regenwasserpumpwerke.
- Das gesamte Abwasser gelangt in die Kläranlage der Stadt Graz in Gössendorf. Der Trockenwetterzufluss beträgt ca. 1,2 m³/s.
- Entlang der Mur bestehen 37 Mischwasserentlastungen.

3 Stand der Technik

Seit Oktober 2007 definiert in Österreich das neue ÖWAV-Regelblatt 19 „Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ den Stand der Technik bezüglich der Bemessung von Mischwasserentlastungen. Als neue Zielgröße wird für das gesamte Einzugsgebiet ein Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung definiert.

Emissionsseitig ist dabei der Nachweis zu führen, dass ein bestimmter Anteil der im Mischwasser enthaltenen Inhaltsstoffe im Jahresmittel zur Kläranlage weitergeleitet wird. Dieser Anteil wird als Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung η bezeichnet und getrennt für gelöste (η_R) und abfiltrierbare (η_{AFS}) Stoffe im ÖWAV Regelblatt 19 vorgegeben. Die Mindestwirkungsgrade gelten dabei nicht für einzelne Bauwerke, sondern immer für das gesamte Einzugsgebiet des Entwässerungssystems unabhängig davon, ob die Mischwasserentlastungen in einen oder in mehrere Vorfluter erfolgen.

Der erforderliche Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung hängt im Wesentlichen von der Bemessungsgröße der Kläranlage und der Niederschlagscharakteristik im Einzugsgebiet ab (siehe Rauch und de Toffol, 2006). Die charakteristische Größe wird durch die Niederschlagssumme während einer Dauer von 12 Stunden bei einer Wiederkehrzeit von 1 Jahr ($r_{720,1}$) bestimmt.

Der vorhandene Wirkungsgrad der Weiterleitung ist mittels Langzeitsimulation mit Hilfe von kalibrierten, einfachen hydrologischen Modellen über einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren für das gesamte Einzugsgebiet nachzuweisen und den erforderlichen Weiterleitungswirkungsgraden gegenüberzustellen. Bei Nichteinhaltung der Vorgaben des Regelblattes sind zur Zielerreichung entsprechende Strategien zu entwickeln und Maßnahmen im Einzugsgebiet umzusetzen.

In Tabelle 1 sind die erforderlichen Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung gemäß dem ÖWAV Regelblatt 19 (2007) für unterschiedliche Grazer Rasterflächen nach dem ÖWAV Leitfaden „Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV Regelblätter 11 und 19“ (OEWAV, 2007) für Graz gegenübergestellt (OPTIMISCH, 2009). Die erforderlichen Mindest-

wirkungsgrade der Weiterleitung liegen alle in einer Bandbreite von wenigen zehntel Prozentpunkten. Als Kläranlagengröße zur Bestimmung des Mindestwirkungsgrads wurde die Ausbaugröße der Kläranlage Graz Gössendorf (500.000 Einwohnerwerte) herangezogen. Die Zuschläge für angeschlossene Trenngebiete (Randgemeinden) und große Indirekt-einleiter sind in Graz vernachlässigbar.

Tabelle 1: Maßgebliche Regenspende $r_{720,1}$ und erforderliche Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung für verschiedene Grazer Rasterflächen (OPTIMISCH, 2009)

Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung nach ÖWAV Regelblatt 19 – Grazer Rasterflächen							
		Rasterfläche / Niederschlagsreihe					
Maßgeblicher Regen		St. Peter (Nr. 217)	Wetzelsdorf (Nr. 216)	Andritz (Nr. 211)	Maria-trost (Nr. 212)	Seiersberg (Nr. 220)	NIEDA Graz
$r_{720,1}$	mm/12h	42,0	42,5	42,8	42,9	42,0	41,9
η - gelöste Stoffe	-	54,0	53,8	53,6	53,6	54,0	54,1
η - AFS	-	69,0	68,8	68,6	68,6	69,0	69,1

Aktuelle Langzeitsimulationsberechnungen der Holding Graz Services – Abwasser für das gesamte Einzugsgebiet zur Kläranlage Graz ergeben für die abfiltrierbaren Inhaltstoffe einen aktuellen Wirkungsgrad der Weiterleitung von ca. 30 %.

4 Generalentwässerungskonzept Graz (GEK)

Das leitende Ziel der Stadtentwässerung von Graz ist die

„Sammlung, Ableitung und Reinigung der Abwässer im Einzugsgebiet der Stadt Graz unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Grundsätze und unter Gewährleistung höchstmöglicher Betriebssicherheit.“
 (GEK 2006+ Generalentwässerungskonzept, Kanalbauamt und TU Graz, SPRUNG, W. und ALI, S., 2006)

Aus diesem Ziel leiten sich die Forderung nach Kenntnis des Zustandes und nach Kenntnis der betrieblichen Erfordernisse der Kanalanlage ab. Erst durch diese Kenntnisse eröffnet sich die Möglichkeit einer zielge-

richteten und nachhaltigen Anpassung der Kanalanlage an den Stand der Technik und an die zukünftigen Bedürfnisse der Stadt Graz.

Wesentlich sind hier der bauliche Zustand, der hydraulische Zustand und die Wechselwirkung mit der Umwelt. Zu berücksichtigen sind dabei Randbedingungen, die das Kanalnetz beeinflussen, wie die Zuflussgrößen zur Kläranlage, Bacheinleitungen, Übernahme von Abwässern aus anderen Gemeinden und Entlastungen an sensiblen Gewässern. Aus den Zustandserhebungen ergab sich, dass sowohl Maßnahmen für einen nachhaltigen Funktionserhalt erforderlich als auch Funktionserweiterungen im Kanalnetz notwendig sind. Das Maß der Eingriffe in die Kanalanlage ist abhängig von der obigen Zielvorgabe und vom Zustand des Kanalnetzes.

4.1 Baulicher Zustand

Für eine erste Erkundung des baulichen Zustandes und der Abschätzung des Sanierungsbedarfs und der zu erwartenden Sanierungskosten wurde das Verfahren der selektiven Kanalinspektion angewandt. Dabei wurde das Kanalnetz nach mehreren Merkmalen wie Rohrmaterial, Durchmesser und Altersgruppe stichprobenartig untersucht. Die Ergebnisse der Kanalinspektion wurden nach der Berliner Methode und der DWA ausgewertet und die Ergebnisse auf das Kanalnetz hochgerechnet. Gemeinsam mit dem Institut für Statistik der TU Graz wurde ein eigenes Prognoseverfahren entwickelt und der Zuwachs an zu sanierenden Kanälen abgeschätzt.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde die Strategie der selektiv gebietsbezogenen Kanalinspektion, Sanierungsplanung und Kanalsanierung entwickelt und aufgebaut. Der wesentliche Datenfluss läuft über GIS. Damit können Daten und Erfahrungen aus anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Kanalreinigung in die Sanierungsplanung einfließen.

4.2 Hydraulischer Zustand

Auf Grund der Erfahrungen, den Aufzeichnungen und den Ergebnissen aus den Simulationen mit dem zyklisch kalibrierten, hydrodynamischen Modell ist eine hydraulische Sanierungen notwendig. Das Kanalnetz von

Graz stellt sich in einzelnen Gebieten als überlastet dar. Die Ergebnisse sind in Überlastungsplänen und Überstauplänen dargestellt.

In weiterer Folge wurde ein Verfahren zur Identifizierung jener Kanäle entwickelt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit Überlastungen verursachen und hydraulisch saniert werden müssen. Dadurch können die Kosten für eine hydraulische Sanierung des gesamten Kanalnetzes abgeschätzt werden. Die erforderlichen hydraulischen Sanierungen wurden in vier größere Teileinzugsgebiete zusammengefasst und eine zeitliche Reihung vorgenommen.

Die Sanierungsplanung für das erste Teileinzugsgebiet ist bereits abgeschlossen und wasserrechtlich bewilligt. Bei der Planung dieses Gebietes wurde ein Verfahren einer GIS gestützten und automatisierten Variantengenerierung und Variantenuntersuchung entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Es erlaubt eine integrierte Betrachtung aller das Projekt beeinflussenden Größen. Durch Variation von Gewichtungen sind Sensitivitätsanalysen möglich. Automatisch werden alle im Planungsgebiet möglichen Varianten ermittelt und ausgewertet. Dieses Verfahren wird in allen weiteren hydraulischen Sanierungsplanungen eingesetzt werden.

4.3 Wechselwirkung mit der Umwelt

Bei Niederschlagsereignissen strömt ein Teil des Mischwasserabflusses über die Mischwasserentlastungen in die Oberflächengewässer. Ein Maß für die Wechselwirkung mit der Umwelt ist der Wirkungsgrad der Weiterleitung nach dem ÖWAV Regelblatt 19 (2007). Um diesen Wirkungsgrad für das Kanalnetz Graz ermitteln zu können, wurde ein hydrologisches Modell des Kanalnetzes erstellt und am hydrodynamischen Modell kalibriert. Da die Drosselquerschnitte bei den Mischwasserentlastungen der Nebensammler teilweise sehr groß sind und sich daher bei Regenereignissen in Teilen der Hauptsammler die Fließrichtung umkehrt, wurde das hydrologische Modell so erstellt, dass eine Fließrichtungsumkehr über Sonderbauwerke simuliert werden kann. Damit kann durch das hydrologische Modell das Abflussverhalten im Kanalnetz von Graz ähnlich wie in einem hydrodynamischen Modell beschrieben werden.

Da die jahrelangen Schmutzfrachtmessungen der TU Graz belegen, dass Schmutzfrachtstöße mit hoher Konzentration und für einen relativ langen Zeitraum auftreten, die Schmutzfrachtstöße also einen merkba- ren Anteil am Schmutzfrachtaustrag haben, wurde das hydrologische Modell so erweitert und kalibriert, dass Schmutzfrachtstöße simuliert werden können.

Mit diesem Modell wurde der Wirkungsgrad der Weiterleitung für abfil- trierbare Stoffe mit etwa 30 % ermittelt. Es besteht somit großer Hand- lungsbedarf, den nach dem Stand der Technik geforderten Wirkungs- grad von ca. 70 % zu erreichen.

In einer Variantenuntersuchung, die über die Jahre wiederholt überprüft und erweitert wurde, wurden verschiedene Strategien zur Erreichung des erforderlichen Weiterleitungswirkungsgrades untersucht. Als wir- kungsvollste Variante hat sich die Errichtung eines zentralen Speicher- kanals ergeben, der einen Großteil der 37 Mischwasserentlastungen ent- lang der Mur fasst.

Parallel dazu werden ergänzende Maßnahmen verfolgt, die sich lokal als sinnvoll erweisen. So wurden einige Bäche, die in das Kanalnetz münde- ten, wieder in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt. In Einzel- fällen wird eine Auftrennung vom Mischsystem in ein Trennsystem durchgeführt. Im Sinne des Immissionsansatzes wird ein Programm zur deutlichen Reduzierung der Entlastungshäufigkeit von Mischwasserent- lastungen an abflussschwachen, sensiblen Bächen verfolgt.

5 Anforderungen an die Entwässerung von Graz

Das Kanalnetz Graz ist in seiner Struktur auf Sammlung, Weiterleitung und Entlastung ausgelegt. So sind die Querschnitte der Nebensammler meist wesentlich größer als jene der Hauptsammler. Der aktuell verfü- gbare Speicherraum im Kanalnetz ist gering und beläuft sich auf etwa 30 000 m³.

Die Struktur des Kanalnetzes Graz ist auf Grund der Funktionserweite- rung grundlegend zu ändern und darf keine Funktionseinschränkung im

Kanalnetz verursachen. Das hydrologische Modell des Kanalnetzes Graz ergab zur Erfüllung des geforderten Wirkungsgrades der Weiterleitung einen zusätzlichen Speicherbedarf von etwa 100 000 m³ für einen zentralen, von beiden Hauptsammlern befüllbaren Speicherkanal.

Für den konstruktiven Entwurf dieses Speicherkanals waren neben hydraulischen Erfordernissen vor allem betriebliche Erfordernisse maßgebend. Vorgabe des Kanalbetriebes war, den Reinigungsaufwand möglichst gering zu halten.

5.1 Kaskaden, Schwallspülung und Querschnitt

Die Vorgaben der Planung werden durch das Konzept eines zentralen, kaskadierten und steuerbaren Speicherkanals mit einheitlichem Querschnitt und Gefälle am besten erfüllt. Es wurde ein liegender Rechteckquerschnitt gewählt, da dieser neben geringen Wehrhöhen auch die Möglichkeit bietet, in die Mursohle auszuweichen. Die Querschnittsgröße von ca. 8 m² ergab sich aus einer Variantenuntersuchung zur Querschnittsoptimierung. Bei dieser Querschnittsgröße kann das Mischwasser aus den Entlastungen in ausreichender Geschwindigkeit vom zentralen Speicherkanal aufgenommen werden und es können ausreichend viele Entlastungen gefangen werden, um den geforderten Weiterleitungswirkungsgrad zu erreichen. Der zentrale Speicherkanal besitzt etwa das gleiche Gefälle wie die Mur und wird in 1 bis 1,5 km lange Kaskaden geteilt. Die Spülung wird automatisiert als Schwallspülung erfolgen.

5.2 Höhenlage und Gefälle

Im ersten Entwurf mündete der zentrale Speicherkanal kurz vor der Kläranlage beinahe sohlgleich in den linken Hauptsammelkanal. Damit waren die Vorteile eines Gefälles von ca. 1 Promille mit besseren Füll-eigenschaften und längeren Kaskaden gegeben.

Mit dem Bau des Kraftwerkes Gössendorf musste dieser Ansatz verworfen werden, da eine andere Einleitstelle erforderlich wurde und auf Grund der Geländeverhältnisse ein sohlgleicher Anschluss an den Hauptsammler nicht mehr möglich ist.

Das bereits teilweise ausgeführte Projekt geht von einem Gefälle von 1,6 bis 2,0 Promille im Hauptsammelentlastungskanal (HSKE) aus und schließt sowohl an den Hauptsammelkanal als auch sohlgleich an die Mischwasserüberlaufbecken der Kläranlage an. Die tiefere Lage hat den Vorteil, dass alle Entlastungen ohne Dükerung an den zentralen Speicherkanal angeschlossen werden können.

5.3 Schmutzfrachtsteuerung

Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist nicht nur eine hydraulische Steuerung der Abflussvorgänge sondern auch ein optimierter Rückhalt der Schmutzfracht anzustreben. Eine Optimierung ist unter anderem durch eine gezielte Beschickung der Kaskaden möglich. Für diese Schmutzfrachtsteuerung werden steuerbare Wehre und Schieber verwendet.

Um eine Schmutzfrachtsteuerung simulieren zu können, wurde das hydrologische Modell des Kanalnetzes Graz um steuerbare Wehre erweitert. Es zeigt sich, dass der erste Schmutzstoß zwar gefangen wird, jedoch nachströmendes, verdünntes Mischwasser die Konzentration im zentralen Speicherkanal und damit den Schmutzfrachtrückhalt wieder sinken lässt, sodass der Weiterleitungswirkungsgrad mit Berücksichtigung der Schmutzfrachtstöße geringer ist, als ohne Berücksichtigung derselben. Die Steuerstrategie wurde daher erweitert, um möglichst viel Schmutzfracht in den zentralen Speicherkanal zu bringen und bei Nachströmen von verdünntem Mischwasser die Zulaufschieber zum zentralen Speicherkanal zu schließen. Durch diese gezielte Schmutzfrachtsteuerung kann bis zu 15 % des Speicherraumes bei gleichem Wirkungsgrad eingespart werden.

6 Kraftwerksbau an der Mur

Die Mur besaß ursprünglich im Bereich Graz einen verzweigten Flusslauf, der durch Regulierungsmaßnahmen Ende des 19. Jahrhunderts deutlich abgesenkt und begradigt wurde. Diese eingetiefte und gestreckte Mur weist im Bereich Graz ein Gefälle zwischen 1,6 und 2 Promille

auf, das über einen Bereich von etwa 15 km bisher energetisch nicht genutzt wurde.

Die erfolgreichen Maßnahmen der letzten Jahrzehnte zur Verbesserung der Murwasserqualität (z. B. Kläranlagen Graz und Papierfabrik Gratkorn) sowie die hohe Bedeutung erneuerbarer Energien führten zu Projekten, die die Mur im Stadtgebiet von Graz und flussabwärts zur Energieproduktion zu nutzen. Die Entwässerung der Stadt Graz wird nun durch das noch 2011 in Betrieb gehende Kraftwerk Gössendorf und die Planung des Murkraftwerkes Graz wesentlich beeinflusst.

Das geplante Murkraftwerk Graz liegt im Süden des Stadtgebiets von Graz (Abbildung 4).

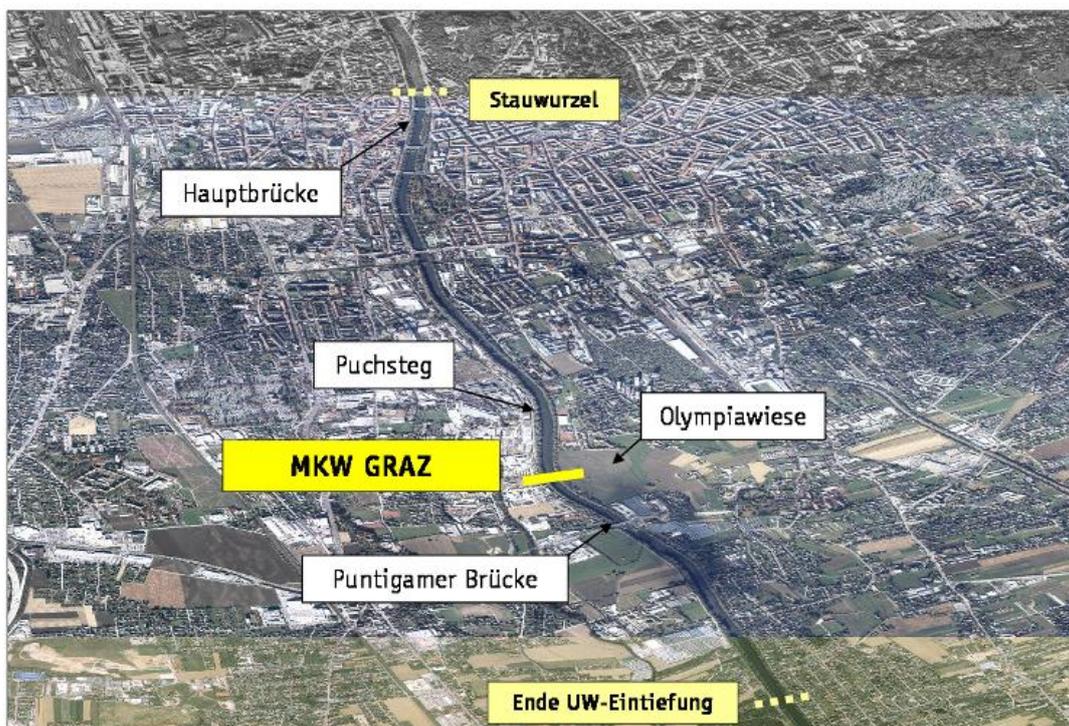


Abbildung 4: Übersichtsplan des geplanten Murkraftwerks Graz (zur Verfügung gestellt von der Energie Steiermark)

Die Stauwurzel des Kraftwerkes reicht etwa 3,5 km bis ins Stadtzentrum zurück. Bei einem Ausbaudurchfluss von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Fallhöhe, von 9,6 m kann eine maximale Engpassleistung von 16,3 MW abgegeben werden.

Das Murkraftwerk Gössendorf liegt in der südlichen Nachbargemeinde von Graz direkt oberhalb der Kläranlage Graz (Abbildung 5) und schließt mit seinem 4,5 km langen Staubereich direkt beim Murkraftwerk Graz an.

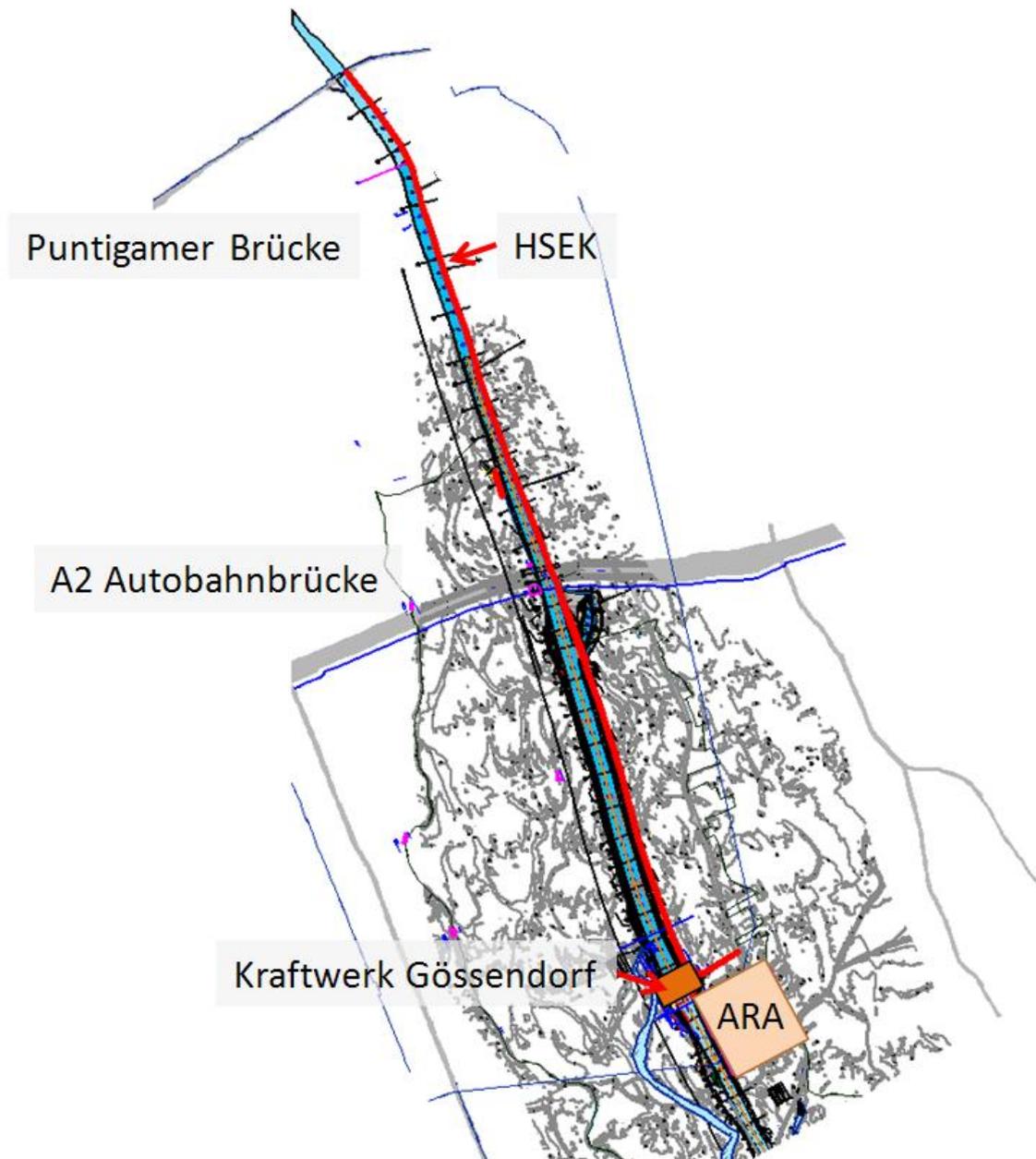


Abbildung 5: Übersichtslageplan Kraftwerk Gössendorf mit HSEK und Kläranlage

Bei einem Ausbaudurchfluss von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Fallhöhe, von 11 m kann bei diesem Kraftwerk eine maximale Engpassleistung von 18,75 MW abgegeben werden.

7 Synergieprojekt: Murkraftwerke – Mischwasserbewirtschaftung Graz

Im Generalentwässerungskonzept 2006+ der Stadt Graz (Sprung, W. und Ali, S., 2006) wurden die möglichen Varianten der Mischwasserbewirtschaftung für das gesamte Entwässerungsnetz von Graz durch die Planungsabteilung der Graz Holding Services – Abwasser gemeinsam mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz untersucht.

Die Zielvorgaben des ÖWAV RB 19 „Richtlinie für die Bemessung von Mischwasserentlastungen“ zur Erfüllung des Mindestwirkungsgrades der Weiterleitung für gelöste Stoffe und Feststoffe können im Stadtbereich am besten und wirtschaftlichsten durch einen zentralen Sammelkanal (ZSK) entlang der Mur bzw. unter der Mursohle erreicht werden. Durch die beidseitige Anbindung der Mischwasserentlastungen an diesen ZSK kann das Volumen auch bei schwachen und durchschnittlichen Niederschlagsereignissen optimal genutzt werden.

Da im letzten Abschnitt vor der Kläranlage die Mischwasserentlastungen ausschließlich am linken Murufer liegen, wurde im Generalentwässerungskonzept 2006+ ab dem Murdüker für die letzten 4 km linksufrig ein Hauptsammelentlastungskanal (HSEK) vorgeschlagen und konzipiert.

Die Planungsaktivitäten der Energie Steiermark für die Murkraftwerke Gössendorf und Graz überlagerten sich 2006 mit den Ausbauplänen der Graz Holding Services – Abwasser. Die beiden Kraftwerke heben den Murwasserspiegel vor den Wehranlagen um etwa 5 m an und stauen eine Reihe von Mischwasserüberläufen ein. Das Kraftwerk Gössendorf liegt direkt flussaufwärts der Kläranlage Graz und staut die letzten 4 linksufrigen Mischwasserüberläufe bis 3 km vor der Kläranlage ein. Am letzten Kilometer Richtung Stauwurzel bleibt die Vorflut für die Mischwasserüberläufe auf beiden Ufern erhalten (siehe auch Kainz und Gruber, 2006).

Flussaufwärts schließt das Murkraftwerk Graz mit einem Rückstau bis in das Stadtzentrum von Graz an. Auch hier werden alle Mischwasserentlastungen über 3 km Länge eingestaut. Unter diesen 9 Mischwasser-

überläufen befinden sich auch die Mischwasserüberläufe einiger Kernzonen der Stadt Graz mit hohen Entlastungsabflüssen.

Die Aufgabe für die Kraftwerksplaner bestand darin, die beachtlichen Mischwasserabflüsse – bei Bemessungsregen HSEK 14 m³/s bzw. ZSK 80 m³/s – an den Kraftwerken vorbei in das jeweilige Unterwasser zu leiten. Die Konzepte zur Ableitung der Mischwässer sahen an beiden Ufern kreisförmige Sammelkanäle vor. Diese Ableitungskanäle lagen teilweise in derselben Trasse wie die geplanten Speicherkanäle der Mischwasserbewirtschaftung.

Dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz wurde nun die Herausforderung übertragen, gemeinsam mit der Planungsabteilungen des Kanalbauamtes der Stadt Graz und der Energie Steiermark ein Projekt zu entwickeln, das die Ziele beider Partner weitgehend erfüllt. Die wesentlichen Aufgaben und Vorgaben für dieses Projekt waren:

- Verifizierung der Bemessungsniederschlagsereignisse
- Erstellung eines hydraulischen Konzeptes zur Ableitung der Mischwasserabflüsse ohne Einschränkungen des Entwässerungskomforts (ohne Erhöhung der Drucklinie) im gesamten Entwässerungsgebiet
- Nutzung der erforderlichen Querschnitte der Mischwasserableitung für die Kraftwerksprojekte als Stauraumkanäle für die Mischwasserbewirtschaftung von Graz
- Bauliche Anbindung aller Mischwasserüberläufe in den beiden Staubereichen an den zentralen Sammelkanal (ZSK – Staubereich Murkraftwerk Graz) und den Hauptsammelentlastungskanal (HSKE – Staubereich Kraftwerk Gössendorf)
- Prüfung der Sicherung bzw. Schaffung einer direkten Vorflut in die Mur für die Entlastungskanäle bestimmter Mischwasserüberläufe, sowie die gleichzeitige Anbindung dieser Entlastungskanäle an den zentralen Sammelkanal

- Rückführung des gespeicherten Mischwassers in die Kläranlage Graz möglichst ohne Pumpen
- Konzeption der Speicherkaskaden, deren Steuerung und der erforderlichen maschinellen Einrichtungen
- Konzept zur Betriebsführung der Speicherkanäle (Arbeitssicherheit, Spülung, Wartung und Entlüftung)

Die Erfüllung dieser Aufgaben und die Ergebnisse der hervorragenden Zusammenarbeit mit den Planungsabteilungen des Kanalbauamtes der Stadt Graz und der Energie Steiermark werden in den folgenden Abschnitten präsentiert und erläutert.

8 Hydraulisches Konzept

Auf Basis der Anforderungen zur Mischwasserableitung durch das Kraftwerk und den Zielen der Mischwasserbewirtschaftung der Graz Holding Services – Abwassers wurde ein hydraulisches Konzept für den Speicherkanal entwickelt. Dabei war die Ableitung des Bemessungsregens ohne negative Auswirkungen, d. h. ohne Erhöhung der Rückstauenen in den einzelnen Entwässerungsgebieten sicherzustellen. Die Nachweise wurden erbracht, dass es zu keiner bzw. nur zu einer geringfügigen Erhöhung der Drucklinie bei den betroffenen Entlastungsbauwerken kommt.

Weiters war eine Absicherung gegen Eindringen von Murwasser in das Entwässerungssystem bis zu einer 5-jährlichen Hochwasserführung der Mur (HQ_5 705 m³/s) sicherzustellen. Diese Vorgabe entspricht der aktuellen Entwässerungssicherheit des Grazer Kanalnetzes. Dazu wurden an allen Entlastungspunkten die Schwellenhöhen mit den berechneten Murwasserstandlinien der Kraftwerksprojekte abgeglichen.

Für die hydraulischen Konzepte wurde davon ausgegangen, dass im gesamten Betrachtungsbereich

- im Bemessungslastfall alle eingestauten Entlastungen komplett in den Speicherkanal abgeleitet werden können,
- Für kleinere Ereignisse der Kanal zur vollständigen Speicherung und nachträglichen Ableitung des Mischwassers in die Kläranlage genutzt werden kann und
- Entlastungen die nicht eingestaut werden, im Bemessungsfall vollständig in die Mur entlasten sollen. Sie sollen zusätzlich gesteuert in den Speicherkanal eingebunden werden, um bei schwachen Niederschlägen das Speichervolumen bestmöglich auszunutzen. Zur Aktivierung des vorhandenen Volumens werden Kaskaden mit absenkbaaren Wehren vorgesehen.

Auf Grund der zeitlichen Abfolge wurde zuerst der flussabwärts, direkt vor der Kläranlage angeordnete Speicherkanal (Hauptsammelentlastungskanal - HSEK) für die Ableitung der entlasteten Mischwässer im Rückstaubereich des Kraftwerks Gössendorf entwickelt. Erst nach Einreichung dieses Projekts wurde der oberhalb liegende, zentrale Speicherkanal (ZSK) für die Ableitung der entlasteten Mischwässer im Rückstaubereich des Murkraftwerks Graz geplant.

Im Bereich des Unterwassers des Murkraftwerks Graz muss die Möglichkeit einer vollständigen Entlastung der von oben kommenden Mengen gegeben sein, um eine Überlastung des flussabwärts liegenden Speicherkanals HSEK zu verhindern.

8.1 Modellierung des Systems

Auf Basis der erstellten Konzepte wurden hydrodynamische Modellrechnungen mit der Software Mike Urban (DHI-Software 2008) durchgeführt. Dabei wurde zuerst eine Querschnittsdimensionierung und –optimierung auf Basis der vorherrschenden Gefälleverhältnisse und Zwangspunkte zum Nachweis der möglichen rückstaufreien Ableitung des Bemessungsabflusses durchgeführt. Anschließend wurden Untersuchungen unterschiedlicher Lastfälle simuliert und untersucht:

- Berechnung mit konstantem Zulauf des Spitzenabflusses im Bemessungslastfall zum Nachweis der Ableitungsfähigkeit
- Berechnung im ausgespiegelten Zustand
- Berechnungen mit simulierten Ganglinien aus dem obenliegenden System und teilgefülltem Querschnitt

Auf Basis des dadurch ermittelten Längenschnitts wurden Kaskadenwehre zur Aktivierung des vorhandenen Volumens angeordnet. Die Wehre sind im Bemessungslastfall geöffnet, um eine rückstaufreie Ableitung zu ermöglichen. Im Bewirtschaftungsfall werden die Wehre je nach Zufluss gesteuert.

8.2 Validierung der Modellregen

Zur modelltechnischen Ermittlung der Entlastungsabflüsse wurden unterschiedliche Modellregen untersucht. Die Holding Graz Services – Abwasser verwendet seit Jahren für ihre hydraulischen Nachweise einen im Jahr 1995 gemeinsam mit der Dorsch Consult aus gemessenen Regendaten entwickelten Modellregen mit einer Dauerstufe von 45 Minuten, einer Gesamtniederschlagshöhe von 48,1 mm und einer Maximalintensität von 14,6 mm in 5 Minuten.

Im Vergleich dazu wurden Euler II Modellregen aus den für Graz geltenden Rasterflächen des ÖWAV Leitfadens „Niederschlagsdaten zur Anwendung in den ÖWAV Regelblättern 11 und 19“ (2007) mit einer Dauerstufe von 90 Minuten betrachtet. Vergleichsrechnungen aus anderen Projekten haben gezeigt, dass eine Dauerstufe von 90 Minuten für das Grazer Kanalnetz maßgeblich für die Entlastungsmengen ist. Nach dem ÖWAV RB 11 (2009) wurden Wiederkehrzeiten von 10 (Ländliche Gebiete) und 30 Jahren (Stadtzentren) untersucht.

In Abbildung 6 sind diese Euler II Modellregen bei Dauerstufen von 90 Minuten mit Wiederkehrperioden von 10 (Maximale Intensität 14,4 mm/5 min., Niederschlagssumme 54,9 mm) und 30 Jahren (Maximale Intensität 17,9 mm/5 min., Niederschlagssumme 69,3 mm) im Vergleich zum „Bemessungsregen Graz“ dargestellt.

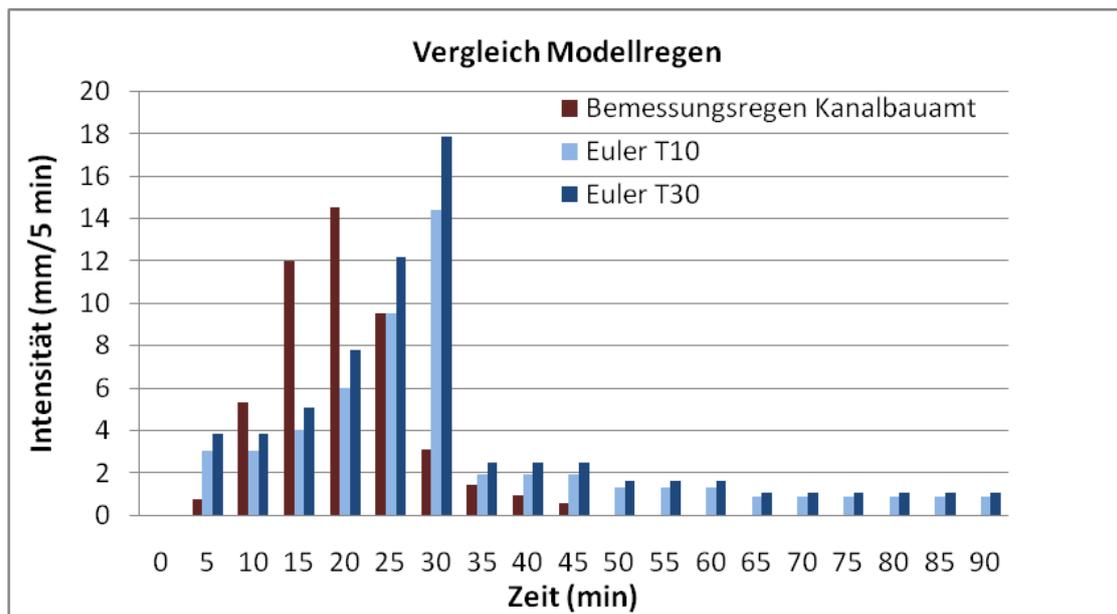


Abbildung 6: Vergleich zwischen dem „Bemessungsregen Graz“ und Euler II Modellregen mit $D = 90$ Min. und $T = 10$ bzw. 30 a (Kainz *et al.*, 2010)

Ein Vergleich der Abflusssituation mit allen 3 Modellregen zeigt, dass die maximalen Entlastungsabflüsse des „Bemessungsregens Graz“ und des Euler II Modellregen T10 nur geringfügig voneinander abweichen, während der Euler II Modellregen T30 je nach Mischwasserüberlauf um + 3 % bis + 30 % höhere maximalen Entlastungsabflüsse ergibt.

Da im Allgemeinen die Entlastungsabflüsse bei Eulerregen gegenüber der Auswertung von Starkregenserien leicht überschätzt werden und alle bisherigen Untersuchungen und Simulationen in Graz auf dem „Bemessungsregen Graz“ aufbauen, wurde vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz vorgeschlagen, den seit 1995 verwendeten „Bemessungsregen Graz“ für die Ermittlung der Bemessungsabflüsse zu verwenden.

8.3 Bereich Puntigamer Brücke bis Kraftwerk Gössendorf (HSEK)

Durch das Kraftwerksprojekt Gössendorf werden Entlastungen in einem Teilbereich der Mur zwischen der Staustufe und der Puntigamer Brücke eingestaut. Ein Übersichtsschema ist in Abbildung 7 dargestellt.

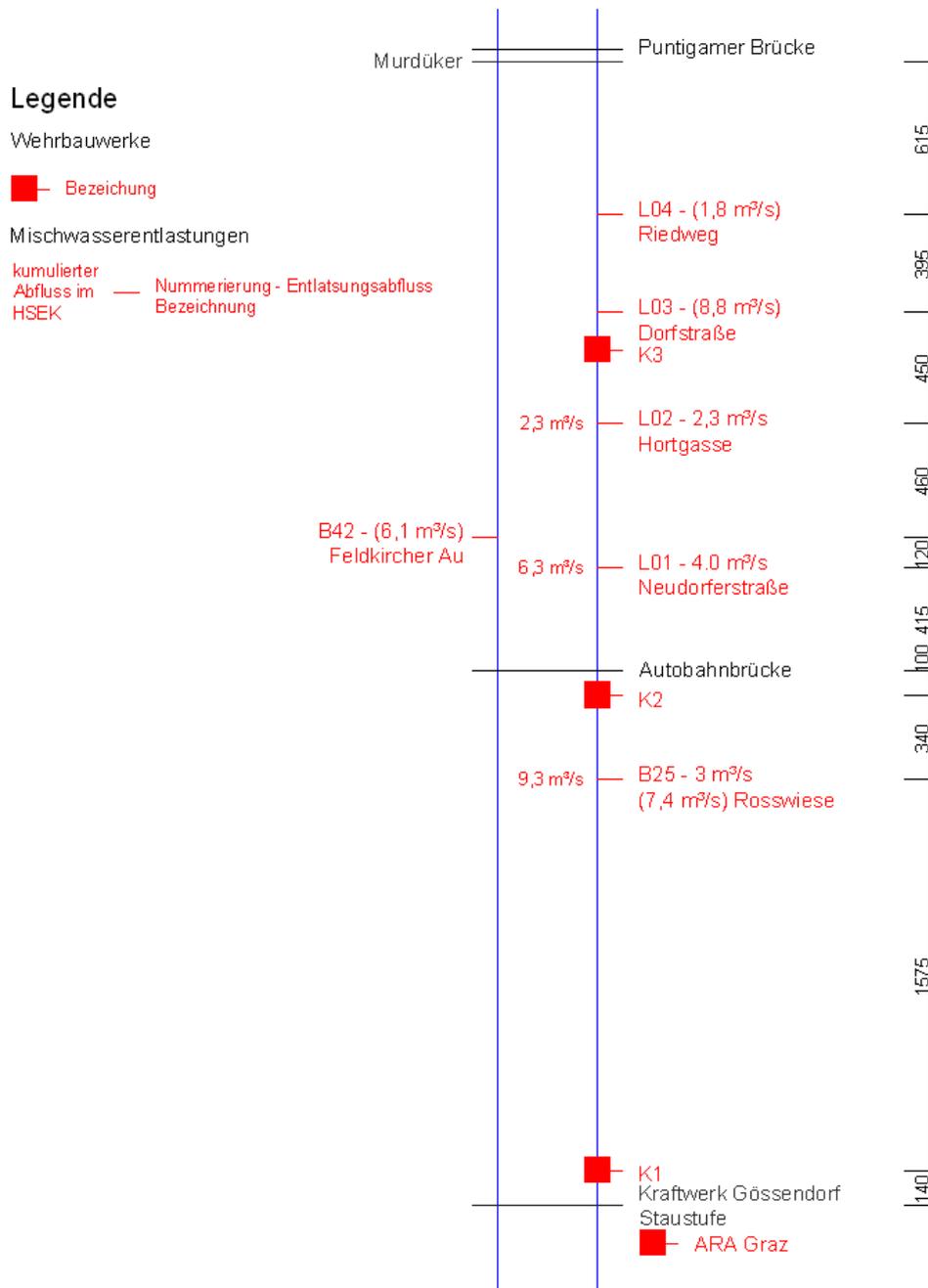


Abbildung 7: Hydraulisches Konzept – HSEK (Murkraftwerk Graz/Puntigamer Brücke bis Kraftwerk Gössendorf) mit Entlastungen und Bemessungsabflüssen. Werte in Klammer werden nicht eingeleitet. Kumulierter Abfluss in der Mitte, basierend auf Kainz *et al.* 2007b.

Die Entlastungen L02 und L01 sind vollständig im Hauptsammelentlastungskanal (HSEK) zu fassen. Die Entlastung B25 soll später so umgebaut werden, dass maximal 3 m³/s in den HSEK entlasten und der Rest vor der Kläranlage über die vorhandenen Mischwasserüberlaufbecken abgeschlagen werden kann. Die Entlastungen L03 und L04 können

weiterhin in die Mur ausgeleitet werden. Eine gesteuerte Anbindung an den HSEK ist vorgesehen.

Für die Festlegung des Gefälles von 1,6 ‰ in der gewählten Variante waren vor allem die folgenden Zwangspunkte maßgeblich:

- Höhe der Entlastungsschwellen für rückstaufreie Einbindung,
- Querung des Murdükers im Bereich der Puntigamer Brücke und
- Anbindung an die Kläranlage.

In Summe sind aus den Entlastungen im Bemessungslastfall 9,3 m³/s in den HSEK abzuleiten. Auf Grund der Auslegung des HSEK können zusätzlich bis zu 5 m³/s aus dem obenliegenden Bereich (Murdükers bzw. Puntigamer Brücke) bei hochgefahrenen Schiebern aufgenommen werden. Bei heruntergefahrenen Wehren steigert sich das Abfuhrvermögen auf maximal 21 m³/s.

Insgesamt sind im Bereich Murkraftwerk Graz/Puntigamer Brücke bis zum Kraftwerk Gössendorf vier Wehrbauwerke (K1 bis K4) angeordnet, um das Volumen des Stauraumkanals (HSEK) in der Bewirtschaftung optimal ausnutzen zu können.

8.4 Bereich Radetzkybrücke bis Murkraftwerk Graz (ZSK)

Durch das Murkraftwerk Graz werden einige der maßgebenden Entlastungen direkt im stark versiegelten Stadtgebiet eingestaut. Ein Übersichtsschema ist in Abbildung 8 dargestellt. Alle durch die Stauhaltung eingestauten Entlastungen sind an den zentralen Sammelkanal (ZSK) anzubinden. In Summe müssen im Bemessungslastfall im ZSK etwa 80 m³/s abgeleitet werden können.

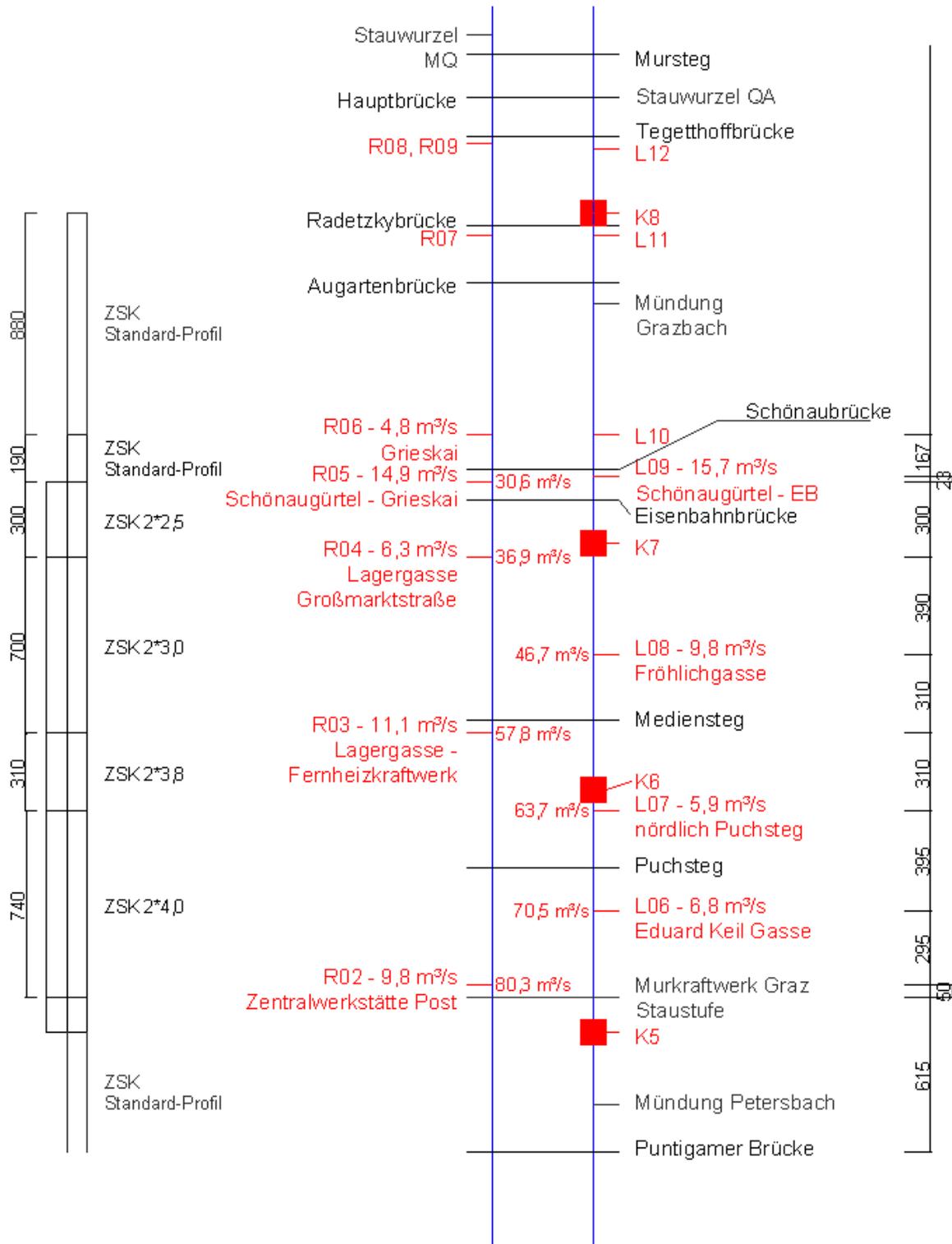


Abbildung 8: Hydraulisches Konzept – ZSK (Hauptbrücke bis Murkraftwerk Graz/Puntigamer Brücke) mit Entlastungen und Bemessungsabflüssen. Werte in Klammer werden nicht eingeleitet. Kumulierter Abfluss in der Mitte (Kainz *et al.*, 2010)

Für die Festlegung der Höhenlage des ZSK sind vor allem der Anschlusspunkt bei der Puntigamer Brücke und das minimal einzuhalten- den Gefälle maßgebend. Aufgrund betrieblicher Anforderungen wurde ein minimales Gefälle von 1 ‰ festgelegt. In Bereichen, wo ein größeres Gefälle möglich ist, wurde ein steileres Gefälle von 2 ‰, angepasst an das Gefälle der Mursohle, gewählt.

Der benötigte Querschnitt des ZSK (siehe auch Kapitel 8.5) wird im Projektgebiet hauptsächlich durch die Anforderung der Ableitung des Bemessungsereignisses ohne negativen Einfluss auf das oben liegende Kanalsystem bestimmt. Durch die vorgeschlagene Lage des ZSK nahe dem linken Murofer sind die rechtsufrigen Entlastungen dabei durch Verbindungskanäle unter der Mursohle anzuschließen.

Die Anbindung der Entlastungen erfolgt je nach Murofer getrennt in eines der beiden ZSK-Doppelprofile. Linksufrige Entlastungen werden an das linke Profil und rechtsufrige Entlastungen an das rechte Profil des ZSK-Doppelprofils mit Querverbindungen zur hydraulischen Kommunikation zwischen den beiden Profile hergestellt.

Direkt im Unterwasser ist ein Wehrbauwerk (K5) vorgesehen, bei dem ein Abschlagen des gesamten Bemessungsabflusses von 80 m³/s möglich ist, um den flussabwärts liegenden Abschnitt des ZSK nicht zu überlasten. Drei weitere Wehrbauwerke (K6 bis K8) sind bis zur Stauwurzel zur Aktivierung des vorhandenen Volumens vorgesehen.

8.5 Optimierte Querschnitte und Speichervolumen

In Abbildung 9 sind die ermittelten Querschnittsprofile aus der Optimierung dargestellt. Ausgehend von dem im Rahmen des Projekts Kraftwerk Gössendorf definierten Regelquerschnitts für den Hauptsammelentlastungskanal (HSEK) darf aufgrund betrieblicher Vorgaben (vereinfachte Reinigung und Spülung) auch für den ZSK die Profillbreite von 3,2 m nicht verändert werden. Dadurch wird, wie weiter unten in den Berechnungen dargestellt, im Betrachtungsraum ab der Entlastung R05 ein Doppelprofil zur Ableitung des Bemessungsereignisses benötigt.

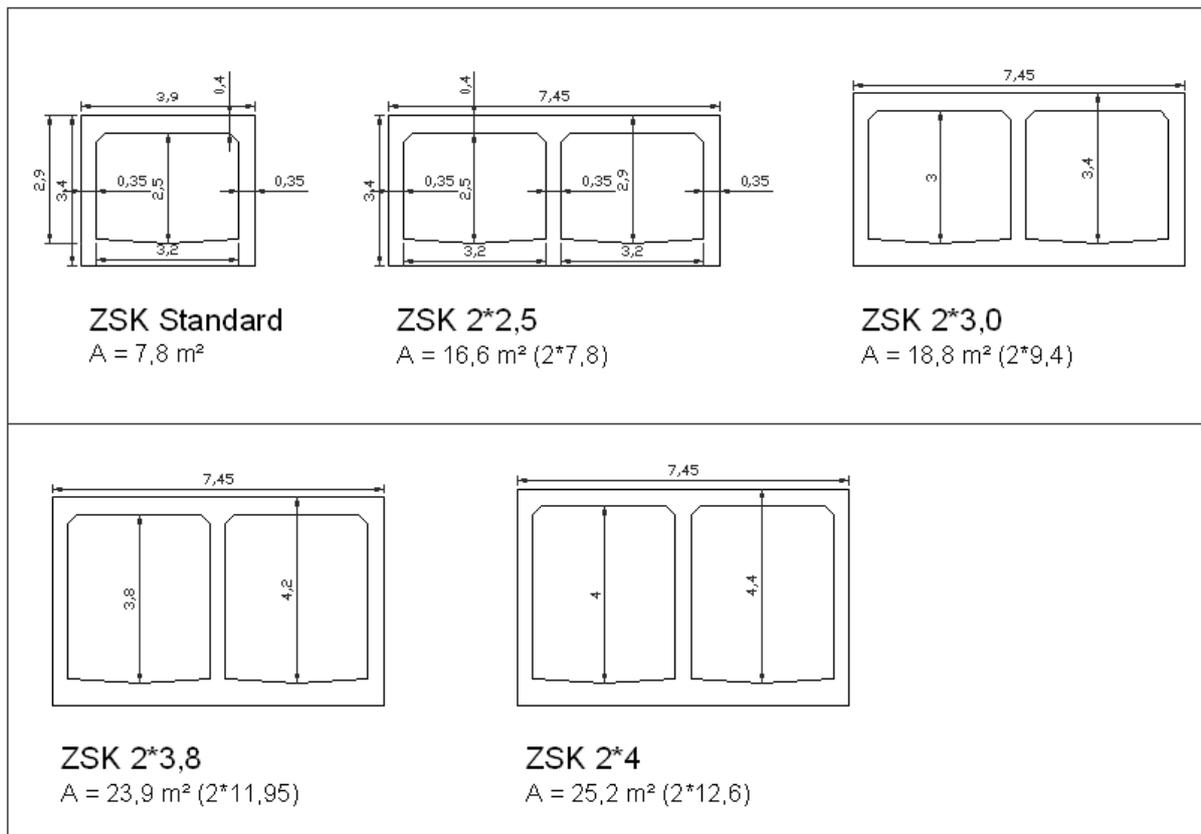


Abbildung 9: Querschnittsoptimierung durch Simulation mit Mike Urban

Im gesamten Bereich zwischen Radetzkybrücke bis ins Unterwasser Kraftwerk Gössendorf können durch die geplanten Profile wie in Tabelle 2 dargestellt insgesamt über 90 000 m³ Speichervolumen aktiviert werden.

Tabelle 2: Längen und aktivierbares Volumen des zentralen Speicherkanals im Bereich Radetzkybrücke bis Unterwasser Kraftwerk Gössendorf

ZSK im Bereich Radetzkybrücke bis Unterwasser KW Gössendorf - Längen und Volumina				
Abschnitt	Länge	Länge kumuliert	Volumen	Volumen kumuliert
-	m	m	m³	m³
K8 - K7	1070	1070	8400	8400
K7 - K5	2050	3120	44200	52600
K5 - L02	2100	5220	16400	69000
L02 - K1	2900	8120	22600	91600

Durch dieses große Speichervolumen im zentralen Speicherkanal (ZSK) und dem anschließenden Hauptsammelentlastungskanal (HSEK) kann

der erforderliche Wirkungsgrad der Weiterleitung im Grazer Kanalnetz deutlich angehoben werden. Die im ÖWAV RB 19 geforderten Mindestwirkungsgrade werden zwar nicht ganz erreicht, durch zusätzliche Maßnahmen an den kleinen Bächen im Osten und Nord-Osten von Graz ist dieses Ziel aber in Reichweite.

9 Anbindung des Speicherkanals an die Kläranlage

Um das in den Kaskaden 1 bis 8 gespeicherte Volumen nach einem Regenereignis in der Kläranlage abarbeiten zu können, war eine Anbindung des Speicherkanals an die Kläranlage vorzusehen. Zielsetzung dabei war, die Ableitung so weit wie möglich im freien Gefälle in die Kläranlage einzuleiten.

Aus einer Variantenuntersuchung wurde eine Lösung gewählt, bei der der ZSK über einen Düker an das bestehende Zulaufprofil zur Kläranlage (Doppel-Kreisprofil DN 2000) angeschlossen wird und eine Restentleerung über die vorhandenen Mischwasserüberlaufbecken auf der Kläranlage und das zugehörige Pumpwerk durchgeführt wird. Je nach Druckverhältnissen im HSEK und ZSK kann dadurch der Großteil des gespeicherten Volumens (bis zu 80 000 m³) bei geschlossenem Wehr K1 im freien Gefälle über das Doppelprofil der Kläranlage zugeführt werden. Nur die Restentleerung von rund 10 000 m³ erfolgt über das Pumpwerk der Mischwasserüberlaufbecken vor der Kläranlage. Die Funktionsweise des Systems ist schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

Die Abarbeitung des Volumens erfolgt nach Ende eines Regenereignisses. Zuerst wird das im Zulaufprofil zur Kläranlage und im Mischwasserüberlaufbecken rückgestaute Mischwasser in der Kläranlage abgearbeitet. Danach kommt es zu einer kaskadenweisen Entleerung des HSEK und anschließend des ZSK im freien Gefälle über das Doppelprofil Richtung Kläranlage. Wenn die Entleerung nicht mehr in freiem Gefälle möglich ist, wird die Restmenge aus dem HSEK über die Schneckenpumpen der Mischwasserüberlaufbecken in die Kläranlage gepumpt.

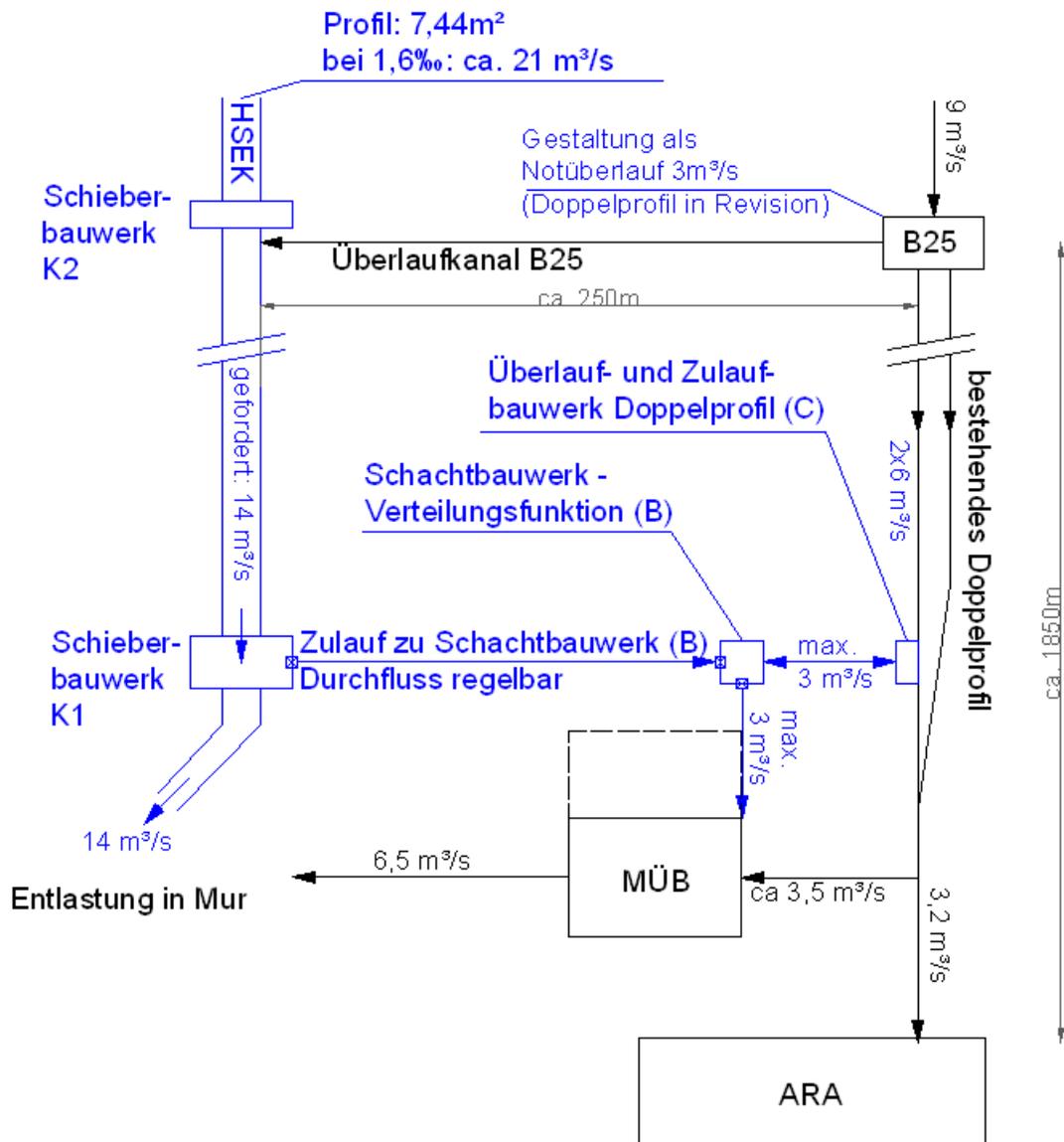


Abbildung 10: Konzept zur Anbindung des Hauptsammelentlastungskanals (HSEK) an die Kläranlage Graz Gössendorf (Kainz *et al.*, 2007a)

10 Technische Umsetzung

Im Rahmen der Umsetzung der konzeptiven und hydraulischen Planungen stellte sich als erstes die Frage nach der Profilwahl. Dabei waren sowohl bautechnische Überlegungen als auch betriebliche und hydraulische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Aufgrund der geforderten Dichtheit des Profils ergab sich eine Wandstärke von 35 cm, aus dem gewählten Herstellungsverfahren in Ortbeton ergab sich die Wahl eines annähernd rechteckigen Profils. Die Sohlgestaltung wurde in Abstimmungen mit den Erfahrungen diverser Schwallspülverfahren relativ eben mit einem Abstich von 5 cm gewählt, um eine gleichmäßige Verteilung der Spülenergie zu gewährleisten.

Zur Erleichterung der mechanischen Reinigung werden alle Profile mit einer Breite von 3,20 m ausgeführt. Die Profilhöhe ergab sich aus der hydraulischen Leistungsfähigkeit mit 2,50 m (siehe Abbildung 11). Die hydraulischen Anforderungen, insbesondere die Ableitung der bemessungsrelevanten Mischwassermengen im Bereich des Murkraftwerks Graz, wurden durch eine Verdopplung des Profils und eine größere Profilhöhe erfüllt.

Lediglich im Bereich des Anschlusses zur Kläranlage wurde ein kleineres Profil mit 1,20 m Breite und 1,80 m Höhe eingesetzt. Dieses wurde auf die maximale Ableitungsmenge zur Kläranlage von rund 3,0 m³/s dimensioniert. Durch die bauliche Ausbildung ergibt sich somit eine Sicherheit gegen hydraulische Überlastung für die Kläranlage.

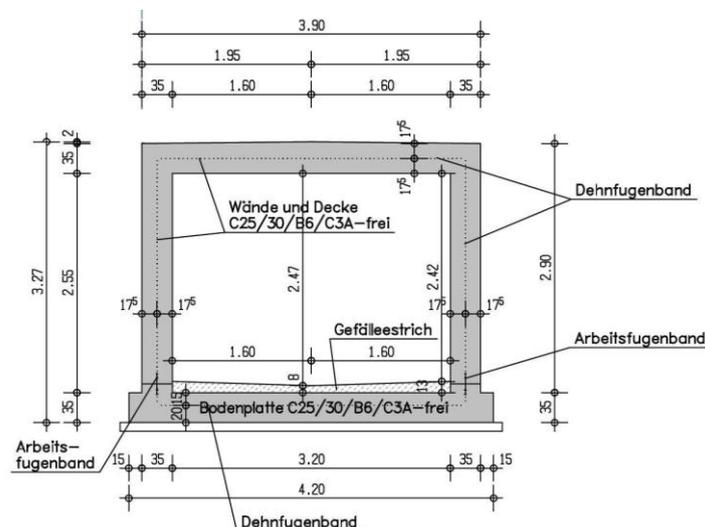


Abbildung 11: ZSK und HSEK Regelquerschnitt

Im Wesentlichen ist im Bereich der Trasse des ZSK und HSEK in Murnähe mit kiesigem und sandigem Untergrund mit einem Grundwasserstand ungefähr auf Niveau des Mittelwassers zu rechnen. Eine undurchlässige Schicht befindet sich nach Norden zu steigend in Tiefen zwi-

schen 10 m und 25 m. Es wurde eine Bauweise in Ortbeton mit offener Baugrube gewählt. In den Bereichen mit kritischer Auftriebssicherheit wird die Sohlplatte breiter ausgeführt und die Auflast des Bodens aktiviert. Die Herstellung erfolgt mittels offener Wasserhaltung und einer Baugrubenumschließung mit Spundwänden.

Aufgrund des Längsgefälles war es für die Speicherung erforderlich, in Abständen von ca. 1 km Kaskadenbauwerke zu errichten. In einer Variantenuntersuchung wurde die maschinelle Ausrüstung anhand der Kriterien Überlastungssicherheit, Drosselgenauigkeit, Möglichkeit der Schwallpülung, Freigabe des gesamten Fließquerschnittes und Betriebssicherheit bewertet.

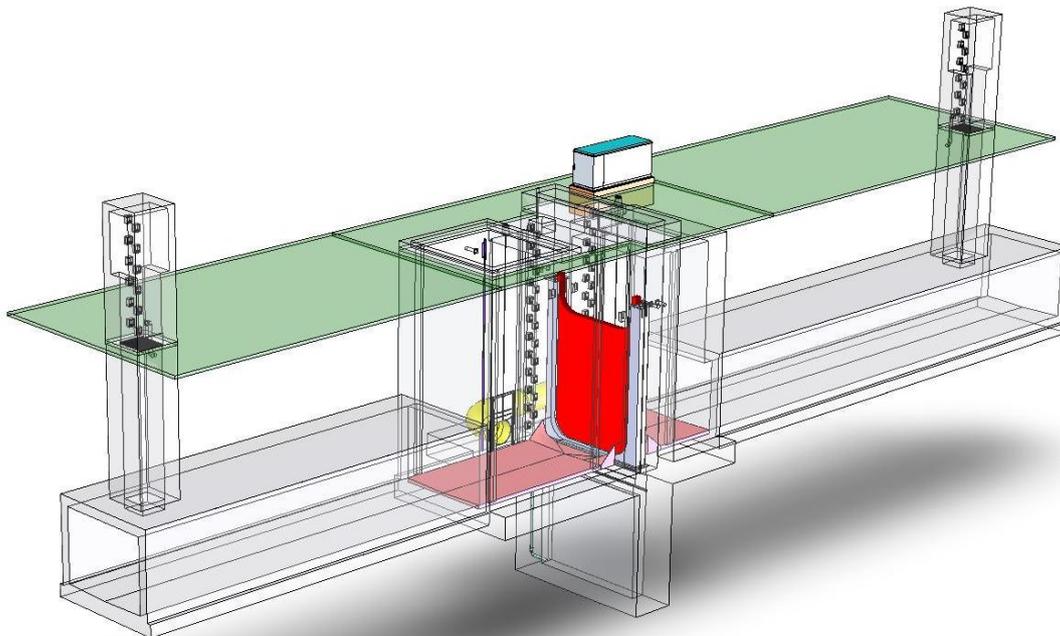


Abbildung 12 Kaskadenbauwerk mit Wehranlage, Fa. ASA Technik

Für den ZSK und den HSEK wurden überströmbare Kaskadenwehre mit ebenen Wehrtafeln, wie in Abbildung 12 dargestellt, ausgewählt. Diese Wehre können mit einem hydraulischen Antrieb in einen Köcher unter der Sohle abgesenkt werden. Wesentlichste Vorteile beim gewählten System sind die Unempfindlichkeit auf Abflussschwankungen durch die

Überfall-Charakteristik sowie die hohe Verfahrgeschwindigkeit der Wehre von bis zu 8 m/min. Durch den freien Überfall über die Kaskadenwehre ist zudem die Überlastungssicherheit des ZSK und HSEK auch bei einem mechanischen Ausfall sichergestellt.

Lediglich im untersten Kaskadenbauwerk K1 wurde in Richtung des Vorfluters Mur ein normales Hub-Tafelschütz vorgesehen. Hier ist die Überlastungssicherheit durch 2 Wehrklappen gegeben. Das Hub-Tafelschütz weist, wie auch die Kaskadenwehre und das Profil selbst, einen lichten Querschnitt von 3,20 m x 2,50 m auf. Für den Fall der Entlastung von Mischwässern in den Vorfluter wurde zum Rückhalt von Schwimmstoffen eine Tauchwand vorgesehen.

Eine Befahrbarkeit des gesamten Kanals ist durchgehend gegeben. Im Bereich der beiden Murkraftwerke werden die Entlastungen vollständig in den ZSK eingebunden. Außerhalb der Einstaubereiche sind weiterhin Entlastungen in die Mur über die bestehenden Entlastungskanäle möglich. Zusätzlich erfolgt der Anschluss dieser Entlastungskanäle über einen sinusförmigen Absturz in das Profil des ZSK, um bei kleinen Niederschlagsereignissen das Speichervolumen des zentralen Sammelkanals nützen zu können. Dieser Anschluss kann mit einem Schieber abgeschlossen werden. Beispielhaft ist die Anbindung einer Entlastung in Abbildung 13 dargestellt.

Ein weiterer, wesentlicher Teil der maschinellen Ausrüstung sind die eingebauten Sensoren, welche einerseits zur rein hydraulischen Abflusssteuerung und andererseits zur schmutzfrachtgesteuerten Bewirtschaftung dienen. Anhand einer Multispektrometer-Sonde (s::can) und mehreren Trübungssensoren werden die Schmutzfrachten gemessen, um auf die zugrunde liegenden Transport- und Absetzvorgänge schließen zu können. Eine in Hinblick auf die Schmutzfrachten optimierte Bewirtschaftung lässt in den vorliegenden Simulationen ein deutliches Einsparungspotenzial erkennen. Die praktische Umsetzung dieser Steuerung wird für den Betrieb eine große Herausforderung darstellen.

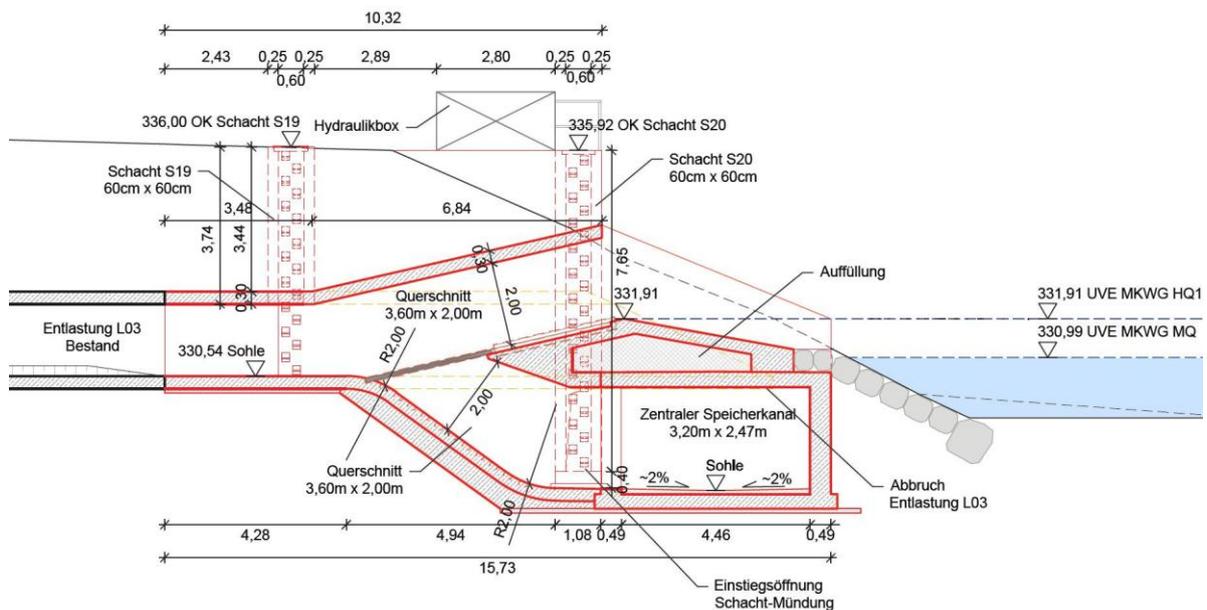


Abbildung 13: Anschluss eines Entlastungsbauwerks an den ZSK

Bei der Steuerung des ZSK und HSEK wird ein Mehr-Ebenen-System eingesetzt, um die unterschiedlichen Nutzungsansprüche, insbesondere aber auch die Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Als unterste Ebene werden den einzelnen Kaskadenbauwerken direkt lokale SPS-Einheiten zugeordnet. Diese übernehmen bei Ausfall der jeweils übergeordneten Einheit die Steuerung. Auf den nächstfolgenden Ebenen ist eine zentrale SPS für den Speicher- und Entleerungsbetrieb sowie ein Wartungsprogramm vorgesehen. Aufgrund vorhandener Infrastruktur wird die SPS-Hardware im Bereich der Kläranlage installiert und deren Überwachung mittels Ethernet an den Steuerstand der Kläranlage übertragen. Zudem ist ein Fernzugriff via VPN für alle weiteren Anwender vorgesehen.

Die Steuerungsanbindung der einzelnen lokalen Einheiten erfolgt über zwei parallel zum ZSK und HSEK verlegte und redundante Singlemode-Lichtwellenleiter. Die Stromversorgung der einzelnen Bauwerke und SPS erfolgt durch lokale Anschlüsse am Stromnetz, die zentrale SPS wird über die Kläranlage versorgt. Durch die überwiegende Verwendung von hydraulischen Antrieben und insbesondere durch die selbstöffnenden Kaskadenwehre kann auch im Rahmen eines Energie-Ausfalles die Überlastungssicherheit gewährleistet werden.

Abschließend ist noch auf die begleitenden Projekte der Stadt Graz hinzuweisen. So werden im Rahmen der beiden Kraftwerke Freizeit- und Naturraumprojekte umgesetzt und Synergiepotenziale durch eine gemeinsame Planung und Ausführung ausgeschöpft. Dabei übernehmen die Bauwerke des ZSK und HSEK teilweise platzgestaltende Funktionen, die Trasse dient teils als Fundament für Freizeitanlagen, teils als Unterbau für einen gewässerbegleitenden Fußweg.

11 Bauliche Umsetzung

Im Rahmen der Errichtung des KW Gössendorf wurde mit der baulichen Umsetzung des Hauptsammlerentlastungskanal (HSEK) im Winter 2009 begonnen. Seitens der Stadt Graz wurde mit dem Kraftwerkerrichter eine Vereinbarung zur Kosten- und Aufgabenteilung abgeschlossen. Dabei übernimmt der Kraftwerkerrichter die Funktionen des Bauherrn, der Bauaufsicht und Projektsteuerung. Die Stadt Graz verrechnet ihren Kostenanteil direkt mit dem Kraftwerkerrichter. Die Kostenanteile wurden im Vorhinein vertraglich zwischen der Stadt Graz und der Energie Steiermark entsprechend der synergetischen Nutzung von HSEK (hydraulische Ableitung der abgeworfenen Mischwässer bzw. Bewirtschaftung des Mischwasserabflusses) vereinbart.

Die Stadt Graz stellt zudem ihre fachliche Kompetenz im Rahmen der technischen Projektkontrolle zu Verfügung und behält sich im Gegenzug die Freigabe der Detailplanungen für die Kanalanlagen vor. Die maschinelle, elektrotechnische und Steuerungs-Ausrüstung sowie der Anschluss des HSEK an die Kläranlage wird, da diese Anlagen keine Auflagen des UVP-Bescheides sind, von der Stadt Graz allein getragen.

Durch diese Konstellation konnten wesentliche Einsparungspotenziale sowohl hinsichtlich der gemeinsamen Detailplanung und Ausführung durch den Auftragnehmer des Kraftwerkes als auch durch die günstigen Einheitspreise aufgrund des großen Gesamtvolumens erzielt werden. Die technische Kontrolle und Freigabe der Detailplanungen erwies sich im Zuge der Ausführung als unbedingt erforderlich, um die hohen Qualitätsansprüche der Stadt Graz durchsetzen zu können.

Aus baulicher Sicht wurde der HSEK in diesem Bereich in Ortbeton mit Betonierabschnitten von 13,30 m errichtet. Um das Schwinden des Betons in Längsrichtung auszugleichen, werden die Abschnitte im Pilgerschritt-Verfahren geschalt, bewehrt und betoniert. Die einzelnen Beton-Elemente werden querkraftschlüssig verdübelt und mit umlaufendem Dehnfugenband und einer Fugeneinlage abgedichtet. Die Profilausbildung der Sohle wird nachträglich durch einen monolithischen Estrich mit Kunststofffaser-Bewehrung und Hartkorn-Einstreuung hergestellt. Dies hat einerseits den Vorteil, dass die Sohle mit der erforderlichen Abriebfestigkeit, Glätte und Profil hergestellt werden kann, andererseits können die – bei einem Gefälle von 1,6 Promille unvermeidlichen – Bautoleranzen ausgeglichen werden. Im dargestellten Ablauf lassen sich, optimale Randbedingungen vorausgesetzt, 5 Betonierabschnitte bzw. rund 66,5 m pro Woche realisieren.



Abbildung 14: Baufortschritt - Bodenplatte und Wände (Foto: P. Zorko)

Die Zufahrt und Bauabwicklung erfolgte im Bereich des Kraftwerkes bzw. dessen Aufdämmungen direkt über das Baufeld, im Stadtbereich entlang einer rund 8,50 m breiten Baustraße auf Niveau des HQ₅ im Flussbett der Mur. Die Baugrubenumschließung erfolgt mit rund 150 m langen, ausgesteiften Spundwandkästen und offener Wasserhaltung, wobei der bereits fertiggestellte HSEK als Vorflut dient.

Die maschinelle und elektrotechnische Ausrüstung des HSEK erfolgt Zug um Zug, wobei insbesondere die LWL-Steuerleitungen sowie die Elektroanschlüsse bereits im Rahmen der Baumeisterarbeiten mit verlegt werden. Besonders hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit der frühzeitigen Abstimmung zwischen Stahlwasserbau- und Baumeisterarbeiten hinsichtlich der Abmessungen und der erforderlichen Einbauöffnungen sowie auf die terminliche Abstimmung zwischen den Bauabläufen einerseits und den langen Lieferzeiten der Edelstahl-Einbauteile andererseits.



Abbildung 15: Baufortschritt – Baustraße und Spundwandkasten (Foto: P. Zorko)



Abbildung 16: Kaskadenwehr – Montage (Foto: P. Zorko)

Über die Realisierung des untersten Abschnittes des HSEK im Rahmen der Kraftwerksbaustelle und die sich daraus ergebenden Synergien konnte für den Speicherraum ein Preis von rund € 700,- je m³ realisiert werden, wobei sich diese Kosten zu rund zwei Drittel den Erd- und Baumeisterarbeiten des Speicherkanals und ein Drittel der Ausrüstung und dem Anschluss an die Kläranlage zuteilen lassen.

12 Betriebliches Konzept

Neben den baulichen Anlagen stellt das betriebliche Konzept einen wesentlichen Teil des Gesamtprojektes zur Mischwasserbewirtschaftung dar.

12.1 Steuerung

Aufgrund der bestehenden baulichen und betrieblichen Strukturen werden die Abläufe im HSEK und ZSK von der Kläranlage aus gesteuert. Die maximale Übernahmemenge wird unter Berücksichtigung der freien Kapazitäten, aber auch der qualitativen Parameter des Mischwassers (Temperatur, Schmutzfracht, etc.) festgelegt. Der Zugriff auf alle Steuerorgane und Messwerte erfolgt von der Kläranlage aus via Ethernet auf das Prozessleitsystem des HSEK und ZSK.

Das Prozessleitsystem ist eine Ebene darunter angesiedelt und steuert, abhängig von der Vorgabe der Kläranlagen-Stellgröße „Drosselmenge“, die Bewirtschaftung des HSEK und ZSK. Es wurde mit wenigen und einfachen Betriebszuständen eine übersichtliche und verständliche Steuerung aufgebaut. Für einen weiteren Ausbau ist die Anbindung anderer Stellgrößen vorgesehen, beispielsweise ist eine Einbindung eines Prognose-Modells oder eine Schmutzfracht-Simulation möglich.

Unter diesem übergeordneten Prozessleitsystems kommt die lokale „Intelligenz“ durch jeweils vor Ort im Bereich eines Wehres installierte SPS-Elemente zum Einsatz. Diese Elemente werden so programmiert, dass sie die Steuerungsbefehle der übergeordneten SPS ausführen – beispielsweise muss von der zentralen SPS nur die Soll-Durchflussmenge vorgegeben werden, diese wird dann lokal in Schieberstellungen und

entsprechende Befehle umgesetzt. Zudem erkennt die lokale SPS einen Ausfall der zentralen Steuerung und reagiert entsprechend einer vordefinierten Sicherheits-Strategie.

Allen Steuerungsbefehlen übergeordnet ist ein Wartungsmodus vorgesehen, der sämtliche Anlagenteile in einem Sicherheitsmodus blockiert.

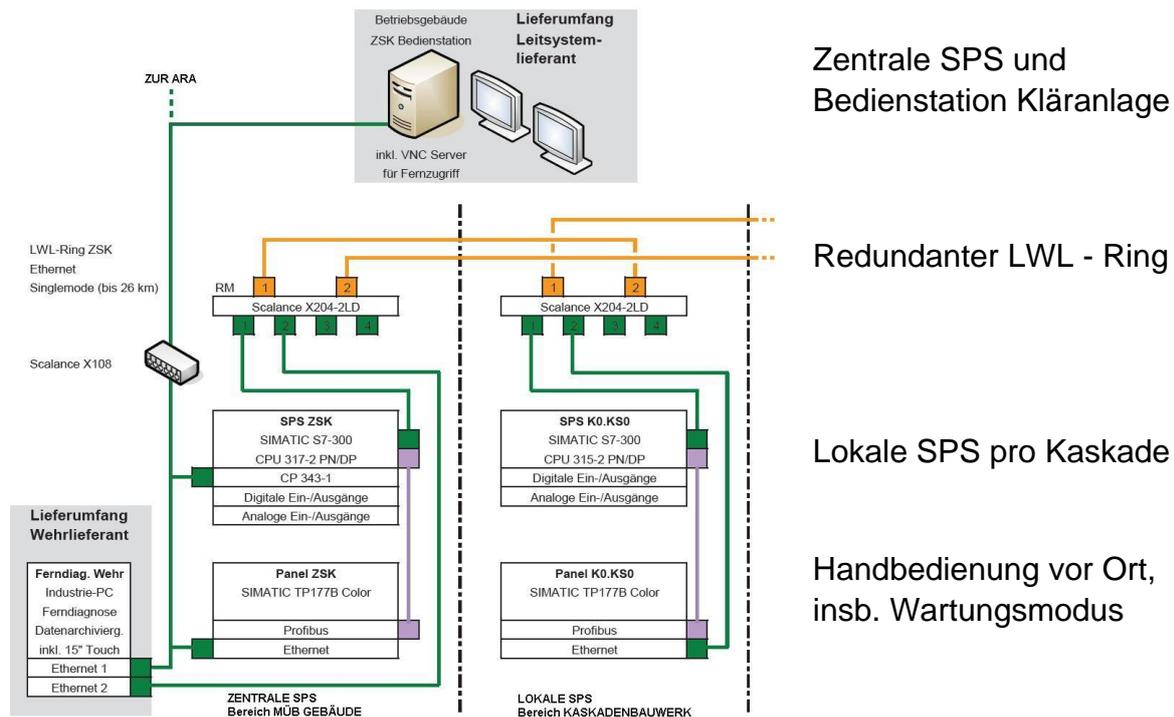


Abbildung 17: Auszug Steuerungskonzept

12.2 Speicherung

Zu Beginn jedes Speicher-Ereignisses sind alle Anlagenteile in der „Ruhestellung“ und die Schieber in Abflussrichtung bzw. in Richtung des Vorfluters geschlossen. Damit wird sichergestellt, dass bereits ab Entlastungsbeginn die entlasteten Mischwässer, und damit der auftretende Spülstoß, im HSEK und ZSK gefangen werden. Die Speicherung erfolgt sodann über die Steuerung der Kaskadenwehre, wobei ein Ausgleich zwischen den Kaskaden anhand der gemessenen Höhenstände möglich und vorgesehen ist.

Sobald der HSEK bzw. der ZSK seine volle Speicherkapazität erreicht hat sind im Rahmen der schmutzfrachtabhängigen Steuerung grundsätzlich zwei Fälle möglich. Falls das nachfließende Mischwasser eine höhe-

re Verschmutzung aufweist als das bereits gespeicherte Wasser, werden neue Volumina durch eine gesteuerte Entlastung in den Vorfluter geschaffen. Falls jedoch, wie es unter Berücksichtigung des Spülstoßes meist zu erwarten ist, das nachkommende Mischwasser geringer verschmutzt ist, werden die Schieber im Bereich der Einmündungen geschlossen, damit keine höher belasteten und bereits gespeicherten Abwässer durch den Nachlauf verdrängt werden.

12.3 Entleerung

Wie bereits festgehalten, erfolgt die Vorgabe der Entleerungsmenge durch die Kläranlage. Aufgrund der Charakteristik des Nachlaufes im Kanalnetz sowie der vordringlichen Entleerung der Mischwasserüberlaufbecken ist mit einem Entleerungsbeginn zwischen 5 und 10 Stunden nach Regenende zu rechnen.

Aufgrund der unter Kapitel 8 und 9 beschriebenen Höhenverhältnisse ist eine Entleerung im Freispiegel nicht für den ganzen HSEK möglich. Die unterste Kaskade (etwa 10 000 m³) muss zu einem erheblichen Teil über das Pumpwerk des Mischwasserüberlaufbeckens entleert werden.

Grundsätzlich ist daher eine Entleerung von unten nach oben, jedoch mit Ausnahme der untersten Kaskade, vorgesehen. Diese wird jedoch zu Beginn bis zur Grenze des Freispiegelabflusses vorentleert, damit geringe Schwankungen in der Steuerungsgenauigkeit abgefangen werden können und nicht zu einer Entlastung führen.

Daraus ergibt sich unter anderem, dass alle Kaskaden im Rahmen der Entleerung von den jeweils oben liegenden Volumina durchflossen werden. Bei einer maximalen Entleerungsmenge von rund 2 m³/s ergibt sich daraus ein Freispiegelabfluss mit bis zu 40 cm Höhe und bis zu 1,6 m/s Fließgeschwindigkeit.

12.4 Spülung

Es ist davon auszugehen, dass Mischwässer bis zu 20 Stunden im ZSK und HSEK gespeichert werden müssen. Dabei wird es zu Ablagerungen an der Sohle kommen. Um die Betriebskosten gering zu halten, wurde

daher bereits in den ersten Entwürfen eine Reinigung mittels Schwallspülung vorgesehen. Dabei werden ca. 400 m³ Murwasser oberhalb des letzten Kaskadenbauwerkes in einen separaten Speicher gefüllt und als Spülwelle durch den ZSK und HSEK geleitet.

Die Simulationen zeigen, dass ein einfaches Durchleiten der Spülwasser-Menge nicht den gewünschten Reinigungseffekt haben wird, da durch die große Länge und das geringe Längsgefälle die Spülwelle relativ schnell abflacht. Es wird deshalb mit einer Überlagerung von Spülwellen gearbeitet (Abbildung 18). Dabei wird ausgenutzt, dass sich eine Welle in tieferem Wasser schneller fortbewegt und so jeweils auf ihrer Vorgängerin aufschwimmt und diese einholt. An dem (Zeit)-Punkt wo sich beide Wellenköpfe treffen entsteht eine zusätzliche Geschwindigkeitsspitze.

Ziel ist es, durch Überlagerung mehrerer Spülwellen eine möglichst große Reinigungsleistung an den besonders ablagerungsgefährdeten Stellen des HSEK zu erzeugen. Durch den Entleerungsvorgang werden fast alle Kaskaden, außer der ersten und der letzten, lang anhaltend im Freispiegel durchflossen, sodass Ablagerungen vermehrt im obersten Teil des ZSK (Kaskade 7) und im untersten Teil des HSEK (Kaskade 1) zu erwarten sind. Zusätzlich können im Rahmen dieses Konzeptes auch vom Betrieb festgestellte Problemstellen gezielt gereinigt werden.

Für den Entwurf des Spülkonzeptes wurden teils Annahmen, wie z. B. der Rauigkeitsbeiwert, getroffen, die nur durch Messungen im Rahmen des Betriebes verifiziert werden können. Eine Anpassung der Spülung anhand dieser Erhebungen und den Betriebserfahrungen wird notwendig sein.



Abbildung 18: Überlagerung von Wellen: Geschwindigkeiten an 2 Stellen, Einzel- und Doppelwelle

12.5 Räumung

Neben der Schwallspülung ist auch eine mechanische Reinigung vorgesehen. Durch den gleichbleibenden Querschnitt kann dies mit einem Spezialfahrzeug wirtschaftlich erledigt werden. Aufgrund der fehlenden Betriebserfahrungen wurde für dieses Fahrzeug noch keine Entscheidung getroffen.

Für den Betrieb sind ungefähr alle 200 m Zufahrtsmöglichkeiten zu den Einstiegsöffnungen sowie eine Zufahrts- und Aufstellmöglichkeit für LKW bei den Kaskadenwehren vorgesehen. Beim Auslauf sowie bei 2 Kaskadenwehren ist die Möglichkeit gegeben, mit einem Fahrzeug entweder direkt einzufahren oder dieses einzuheben.

12.6 Entlüftung

Im Rahmen der Be- bzw. Entlüftung sind zwei verschiedene Problem- punkte zu beachten. Einerseits ergibt sich im Speicherungs- und Entlas- tungsfall aufgrund der sich bewegenden Wassermengen ein enormes Luftvolumen, welches auch bewegt bzw. verdrängt werden muss. Auch im Rahmen der Entleerung und Spülung kann es zu Luftbewegungen

kommen. Dafür ist entlang der ZSK- bzw. HSEK-Trasse eine Belüftung über die Einstiegsöffnungen und Anschlussbauwerke sowie an den einzelnen Kaskadenbauwerken über große Lüftungsöffnungen vorgesehen.

Als zweiter Problempunkt ergibt sich der ausreichende Luftaustausch im Ruhezustand. Während im normalen Kanal die Entlüftung aus den über Dach hochgezogenen Hausanschlüssen funktioniert, muss der Luftaustausch im ZSK und HSEK durch Druckunterschiede zwischen den Kaskadenbauwerken erfolgen. Dazu wurde ein mehrstufiges Belüftungskonzept ausgearbeitet.

Im Ausbau werden im Bereich der Schieberbauwerke Belüftungsöffnungen im Ausmaß von ca. 3 m x 3 m vorgesehen. Bei Bedarf werden diese Öffnungen etwa 4 m über Gelände hochgezogen, um einen Kamineffekt zu erreichen. Sollte die Entlüftung trotzdem nicht ausreichend erfolgen, wird eine mechanische Belüftung in den bereits existierenden hochgezogenen Messschächten im Bereich der Kaskadenbauwerke realisiert werden.

13 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Konzept der Sammlung der entlasteten Mischwässer über den zentralen Sammelkanal im Rückstaubereich des geplanten Murkraftwerkes Graz und den Hauptsammelentlastungskanal im Bereich des Kraftwerkes Gössendorf können die gestellten Aufgabenstellungen und Anforderungen weitgehend erfüllt werden.

Alle Sammelkanäle werden als 3,2 m breites Rechteckprofil ausgebildet. Die Anpassungen an die unterschiedlichen hydraulischen Anforderungen erfolgen durch eine angepasste Profilhöhe zwischen 2,5 m und 4,0 m sowie die Anordnung eines zweiten Profils. Durch die Errichtung dieser beiden Sammelkanäle wird eine ausreichende hydraulische Ableitung der Mischwässer sichergestellt. Die Drucklinie im Kanalsystem wird dadurch nicht bzw. lokal nur im Zentimeter- Bereich angehoben.

Das Volumen dieser in Summe 8 km langen Speicherkanäle beträgt etwa 90 000 m³. Eingestaute Entlastungen in den Rückstaubereichen der

Kraftwerke werden zur Gänze in die Speicherkanäle eingebunden. Entlastungen, bei denen die freie Vorflut in die Mur gegeben ist, entlasten bei extremen Regenereignissen in die Mur, kleine und mittlere Regenereignisse können aber auch bei diesen in die Speicherkanäle eingeleitet werden.

Durch die Ausbildung von 3 Kaskaden im Rückstaubereich des Kraftwerkes Gössendorf und 4 Kaskaden im Rückstaubereich des Murkraftwerkes Graz mit Hilfe von überströmbaren, im Boden versenkbaren Wehren kann praktisch das gesamte Volumen als Speicherraum genutzt werden. Eine ausgeklügelte Steuerung der Wehre erlaubt sowohl eine Optimierung des Schmutzfrachtrückhaltes als auch eine weitgehend automatisierte Spülung der Sammelkanäle.

Fast das gesamte gespeicherte Volumen kann über einen Zulaufkanal und einen Düker ohne Fremdenergie in die Zubringerkanäle der Kläranlage geleitet werden. Die Abmessungen dieses Dükers wirken als Drossel und verhindern eine hydraulische Überlastung der Kläranlage. Nur die letzten 10 000 m³ (Kaskade 1) werden in die Mischwasserüberlaufbecken vor der Kläranlage entleert und von dort in den Zulauf der Kläranlage gepumpt.

Das Projekt der Energie Steiermark zur der Ableitung der entlasteten Mischwässer in das Unterwasser beider Kraftwerke und das Projekt der Mischwasserbewirtschaftung für das Grazer Kanalnetz können über das vorgestellte Konzept mit großen wirtschaftlichen Synergien umgesetzt werden. Alle Partner profitieren durch diese Lösung:

- Es gibt kein Widerstreitverfahren um die Trassen für die Kanäle.
- Der Mindestwirkungsgrad der Weiterleitung von gelösten Verunreinigungen und abfiltrierbaren Stoffen wird durch die Errichtung der Sammelkanäle wesentlich angehoben. Die in die Mur ausgeleiteten Schmutzfrachten werden bei Regenereignissen in Graz innerhalb weniger Jahre deutlich reduziert.
- Für die Energie Steiermark ist diese Reduzierung der emittierten Schmutzfracht ein wichtiges Argument in der Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Murkraftwerke.

- Die Stadt Graz zahlt für die Speicherkanäle nur den Aufpreis für die Profilgestaltung und die Kosten für die Anschluss- und Schieberbauwerke sowie die Ausrüstung zur Steuerung und den Betrieb der Sammelkanäle.

14 Literatur

- Czerny (1927): Ing. Czerny, Schwemmkanalisation Graz, Rechter Hauptsammler, hydraulische Berechnungen Heft 5.
- DHI-Software (2008): Mike Urban - Collection System. Modellbeschreibung, DHI, Hørsholm, Dänemark.
- Fenz, R. (2007): Immissionsprobleme bei Mischwasserbehandlungen nach dem Stand der Technik und Möglichkeiten zu deren Minimierung. In: Wiener Mitteilungen "Der kombinierte Ansatz, das Wechselspiel zwischen Emission und Immission - Neue Herausforderungen bei Abwasserentsorgung und Gewässerschutz", Vol. 201, S. 317-338.
- Kainz, H. und Gruber, G. (2006): Mischwasserentlastungen in den Rückstaubereich des geplanten Murkraftwerks Gössendorf – Strategien und Lösungsansätze, Bericht, Energie Steiermark und TU Graz, Graz, Österreich.
- Kainz, H., Gruber, G., Gamerith, V., Sprung, W., Ali, S. (2007a): Mischwasserbewirtschaftung Graz – Konzept: Mischwasserbewirtschaftung Puntigamer Brücke bis Kläranlage Graz, Bericht, TU Graz, Graz, Österreich.
- Kainz, H., Gruber, G., Gamerith, V., Sprung, W., Ali, S. (2007b): Mischwasserbewirtschaftung Graz – Begleitung der Detailplanung Puntigamer Brücke bis Kläranlage Graz, Bericht, TU Graz, Graz, Österreich.
- Kainz, H., Gamerith, V. und Gruber, G. (2010): Mischwasser – Ableitung und Bewirtschaftung: Konzept zur Ableitung der betroffenen Mischwasserentlastungen im Rückstaubereich des geplanten Murkraftwerks Graz unter Berücksichtigung des Generalentwässerungskonzepts des Kanalbauamts der Stadt Graz, Energie Steiermark und TU Graz, Graz, Österreich.
- OPTIMISCH (2009): Optimierte Bemessung von Mischwasserentlastungsanlagen, Endbericht zum Forschungsprojekt. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Februar, 2009.
- ÖWAV Regelblatt 11 (2009): Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

ÖWAV Regelblatt 19 (2007): Richtlinie für die Bemessung von Mischwasserentlastungen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

ÖWAV Leitfaden (2007): Niederschlagsdaten zur Anwendung in den ÖWAV Regelblättern 11 und 19. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

Rauch, W. und de Toffol, S. (2006): Der Einfluss der Regencharakteristik auf den Wirkungsgrad von Mischwasserbehandlungsanlagen. In: Wiener Mitteilungen, Vol. 196, S. G1-G23.

Sprung, W. und Ali, S. (2006): GEK 2006+ Generalentwässerungskonzept, Kanalbauamt Graz und TU Graz.

Sprung, W. (2006): Kanalsanierungskonzept 2006+, Kanalbauamt Graz.

Korrespondenz an:

Univ.-Prof. DDipl.-Ing. Dr. techn. Dr.h.c. Harald Kainz

Technische Universität Graz

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

Stremayrgasse 10/I

A-8010 Graz

Tel.: +43 (0)316 873 8370

Fax: +43 (0)316 873 8376

E-mail: kainz@sww.tugraz.at

Dipl.-Ing. Werner Sprung

Holding Graz Services – Abwasser

Europaplatz 20

A-8011 Graz

Tel.: +43 316 872-3730

Fax: +43 316 872-3709

E-mail: werner.sprung@holding-graz.at

