



# **Modelltechnische Untersuchung des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens Schererpark**

Masterarbeit zum Erwerb des  
akademischen Titels Diplomingenieur der  
Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

**Matthias Stangl, BSc**

Verfasst am Institut für  
Wasserbau und Wasserwirtschaft  
der Technischen Universität Graz

Betreuer der Masterarbeit:  
Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Schneider Josef

Mitbetreuende Assistentin:  
Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Fuchs-Hanusch Daniela

Graz, Mai 2014

Kontakt:  
Matthias Stangl  
matthias\_stangl@gmx.at

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

## **Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am .....

.....

(Matthias Stangl

## Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken. Ohne eure großartige Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen diesen Bildungsweg einzuschlagen und meinen Weg zu gehen. Danke für alles!

Im Folgenden möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während meiner Masterarbeit sowohl fachlich als auch moralisch unterstützt haben.

Ein besonderer Dank ergeht an Frau Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Daniela Fuchs-Hanusch, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, und an Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Josef Schneider, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, welche mir den Weg für diese Masterarbeit geebnet haben.

Danken möchte ich auch Herrn Hofrat Dipl.-Ing. Rudolf Hornich, Koordinator für Hochwasserrisikomanagement des Landes Steiermark, für die ausgezeichnete Unterstützung während meiner Arbeit.

Ebenso möchte ich den Mitarbeitern der Abteilung Grünraum und Gewässer der Stadt Graz, im speziellen Herrn Bernhard Egger-Schinnerl, für die gute Zusammenarbeit danken.

Ein besonderer Dank ergeht auch an Herrn Dipl.-Ing Robert Scheucher vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau.

## Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der numerischen Simulation eines Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens, welches zugleich als Freizeitanlage genutzt wird. Situiert ist die Anlage am Gerinneende des Einödbaches in Graz-Wetzelsdorf. Charakteristisch für diese Art des Hochwasserschutzes ist der Volumsrückhalt bei gleichzeitiger Versickerung. Die durchgeführte 1D-numerische Berechnung mit PCSWMM von Computational Hydraulics Int. soll Aufschluss über die Funktionstüchtigkeit des Beckens geben. Mögliche betriebliche Probleme sollen dabei dargelegt und abgehandelt werden.

Zu Beginn der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen zum Thema Hochwasserschutz erläutert. Die anschließenden Charakterisierungen des Grazer Raums und des Projektgebietes bilden die Basis für die nachfolgende Bearbeitung. Den Kern der 1D-numerischen Modellierung bildet die Untersuchung der Funktionsfähigkeit der Anlage. Es folgen mehrere Berechnungen mit dem Bemessungsabfluss eines  $HQ_{30}$  und eine Simulation einer zunehmenden Verschlammung des Schotterkörpers. Als Ergebnis kann die Funktionsfähigkeit des Beckens ausgegeben werden. Den Abschluss bilden Empfehlungen mit konstruktiven Optimierungsmöglichkeiten für den Betrieb und Anregungen für eine zukünftige Fortführung des Projekts.

## **Abstract**

The following master thesis deals with a numerical simulation of a combined flood water storage and seepage reservoir which is also used as a local recreation area. It is located at the end of the Einödbach in Graz-Wetzelsdorf. The characteristic of this flood protection is the retention and infiltration at the same time. The aim of the 1D-numerical analysis with PCSWMM-Computational Hydraulic International is to check the functional design of the basin. Possible technical and operational errors should be located and handled.

The theoretical basic principles are exemplified at the beginning of this master thesis. The following analyses are based on the characterizations of the area around Graz and of the project area. The core of the simulation is the investigation of the functional design of the basin. Calculations are made with an inflow of an  $HQ_{30}$ . Also a silting up is simulated in the layer of the gravel. As result, the functional design of the basin can be checked.

## **Gleichheitsgrundsatz**

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>10</b>
1.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	11
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>12</b>
2.1	Geschichtliches .....	12
2.2	Flussbegradigung und Versiegelung .....	12
2.3	Abflusskomponenten .....	13
2.4	Gesamtniederschlag / Effektiver Niederschlag .....	14
2.5	Hochwasser im urbanen Raum .....	15
2.6	Niederschlags-Abfluss Modell (N-A-Modell) .....	17
2.7	Hochwasserschutz .....	17
2.7.1	Hochwasservorsorge .....	18
2.7.2	Natürlicher Wasserrückhalt .....	18
2.7.3	Technischer Hochwasserschutz .....	19
<b>3</b>	<b>Grazer Bäche</b> .....	<b>21</b>
3.1	Klima .....	23
3.2	Geologie .....	25
3.3	Hochwasserereignisse .....	26
3.4	Sachprogramm Grazer Bäche .....	30
3.4.1	Zielsetzung.....	30
3.4.2	Bearbeitung.....	31
3.4.3	Umsetzung.....	31
3.5	Besonderheit der westlich von Graz gelegenen Bäche .....	33
3.5.1	Bründlbach.....	33
3.5.2	Katzelbach .....	34
3.5.3	Einödbach .....	34
<b>4</b>	<b>Projektbeschreibung</b> .....	<b>36</b>
4.1	Geographie und Morphologie .....	36
4.2	Geologie .....	37
4.3	Klima .....	38

4.4	Ursprüngliche Abflusssituation .....	39
4.5	Hochwasserereignisse 2005 .....	41
4.6	Hydrologie .....	43
4.7	Bachausbau 2005 – 2011 .....	43
4.7.1	Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken .....	46
4.7.2	Gerinneneu- bzw. ausbau .....	57
4.7.3	Geschiebesperre.....	61
4.8	Zuständigkeiten .....	62
4.8.1	Bundeswasserbauverwaltung Steiermark .....	62
4.8.2	Stadt Graz.....	62
4.8.3	Wildbach- und Lawinenverbauung.....	62
<b>5</b>	<b>Berechnungen / Methodik.....</b>	<b>64</b>
5.1	ArcGIS.....	64
5.1.1	ArcMap 10.1.....	65
5.2	PCSWMM.....	66
5.2.1	Hydrologische Modellierung.....	67
5.2.2	Hydraulische Modellierung.....	67
5.2.3	Modellierung der Wasserqualität.....	68
5.3	Versickerung.....	68
5.4	Inhaltlinie .....	69
5.5	Modellbildung .....	73
5.5.1	Variante A - Ohne Berücksichtigung des Rückstaus.....	76
5.5.2	Variante B - Berücksichtigung des Rückstaus .....	76
5.5.3	Variante C - Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils im Schotterkörper .....	77
<b>6</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>78</b>
6.1	Versickerung.....	78
6.2	Inhaltlinie .....	80
6.2.1	Rückhaltevolumen .....	80
6.2.2	Rückhaltevolumen des Rückstaus .....	84
6.2.3	Rückhaltevolumen inkl. Rückstau .....	85
6.3	Modellierung.....	86



6.3.1 Variante A - Ohne Berücksichtigung des Rückstaus.....	86
6.3.2 Variante B - Berücksichtigung des Rückstaus .....	88
6.3.3 Variante C - Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils im Schotterkörper .....	90
<b>7 Interpretation der Ergebnisse.....</b>	<b>91</b>
<b>8 Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick .....</b>	<b>95</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>103</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>104</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>107</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BA	...	Bauabschnitt
BHQ	...	Bemessungshochwasser
DN	...	<i>Diameter Nominal</i> – Nennweite von Rohren
DTM	...	Digitales Geländemodell
müA.	...	Meter über Adria
HQ <sub>30</sub>	...	30-jährliches Hochwasser
HQ <sub>100</sub>	...	100-jährliches Hochwasser
k <sub>f</sub>	...	Durchlässigkeitsbeiwert in m/s
T <sub>n30</sub>	...	30-jährlicher Spitzenabfluss
T <sub>n100</sub>	...	100-jährlicher Spitzenabfluss
Ψ	...	Abflusskoeffizient

# 1 Einleitung

Ein Hochwasser ist ein natürlicher Zustand in einem Gewässer, bei dem der Wasserstand aufgrund eines erhöhten Abflusses einen zuvor festgelegten Schwellenwert überschreitet. Je nach Ausprägung lässt sich zwischen kleineren Hochwässern, die jährlich auftreten, und größeren mit niedrigeren Auftretswahrscheinlichkeiten unterscheiden. So entsteht zum Beispiel ein 50-jährliches Hochwasser  $HQ_{50}$  jedes Jahr nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % und ein 100-jährliches  $HQ_{100}$  mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 %. Überflutungen von Hochwässern sind grundsätzlich kein neues Phänomen und sollten auch keine generell negative Beurteilung erfahren. Überflutungen haben zu allen Zeiten das Aussehen unserer Flusslandschaften geprägt. Sie sind ein wichtiger Bestandteil für eine intakte Entwicklung von Flora und Fauna. Schäden an Hab und Gut entstehen erst dann, wenn ein Hochwasser landwirtschaftlich sensible Flächen oder bebautes Gebiet erreicht.

Viele ehemalige Überschwemmungsflächen wurden in den letzten Jahrzehnten einer gewerblichen oder landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt ohne die Risiken abzuschätzen. Ähnlich verhält es sich beim Thema Wohnbau. Häuser wurden in bekannten Überflutungsbereichen errichtet oder Keller in Wohnungen umgebaut und mit teuren Wertgegenständen versehen. Die teils enormen Schäden bzw. Kosten, die ein Hochwasser meist nach sich zieht, sind oft in der fehlerhaften Nutzung ehemaliger Überschwemmungsflächen zu finden.

Die Bereitschaft eines Gewässers Hochwasser zu führen, hängt von mehreren ineinandergreifenden Faktoren im Einzugsgebiet ab. Diese gehen von der Topografie, Vegetation, Vorfeuchte der Böden, Schneeverteilung, mobilisierbarer Geschiebemenge über landwirtschaftliche Nutzung bis hin zu technischen Eingriffen. Ereignisse wie eine starke Schneeschmelze oder extreme Niederschläge können schlussendlich ein Hochwasser auslösen.

Hochwasser wirken je nach Gerinnesystem unterschiedlich. Bei Wildbachsystemen überwiegen extensive Ablagerungen und Feststoffumlagerungen. Hauptsächlich kommt es zu Vermurungen, Übersarungen und starken Ufererosionen. Es können auch Sturzfluten entstehen. Eine Sturzflut entsteht nach Starkregenereignissen und führt zu extrem schnell ansteigenden Wasserständen. Dies macht es nahezu unmöglich, eine Sturzflut rechtzeitig vorherzusagen. Bei flacheren und breiteren Gewässersystemen kommt es überwiegend zu großflächigen Überschwemmungen in Begleitung von Ufer- und Sohlerosionen (Strobl, et al., 2006).

In den letzten Jahren rückte der Hochwasserschutz immer mehr in das öffentliche Interesse. Es wurden unzählige Schutzmaßnahmen umgesetzt. Ein bewährtes Konzept sind hier Hochwasserrückhaltebecken. Hochwasserrückhaltebecken sind vereinfachte Stauanlagen, die die Möglichkeit besitzen, Hochwasser in einem zuvor definierten

Rückhalteraum zurückzuhalten und zeitverzögert, nach Ablauf des Hochwasserscheitels, abzugeben. Sie werden nur in Hochwasserfällen eingestaut, sind meist begrünt und gliedern sich daher auch sehr gut in die Landschaft ein. Der Abfluss aus dem Becken erfolgt meist über einen Grundablass. Durch die Situierung von beweglichen Wehren können die Abflüsse gesteuert werden.

Einen Sonderfall nimmt das „Hochwasserrückhalte und Versickerungsbecken Schererpark“ am Einödbach, in Graz Wetzelsdorf, ein. Wie im Namen schon zu erkennen ist, handelt es sich um ein Hochwasserrückhaltebecken und Versickerungsbecken in einem. Versickerungsanlagen dienen meist zum Auffangen von Niederschlagswasser bzw. Oberflächenwasser. Sie werden im herkömmlichen Sinn nicht im Hochwasserschutz eingesetzt. Dies ist aber nicht die einzige Besonderheit dieser Anlage. Aufgrund eines fehlenden Vorfluters besitzt das Becken keinen Grundablass. Das gesamte ankommende Wasser wird zurückgehalten und nicht wie sonst üblich, in den Unterlauf abgegeben. Die Funktionsfähigkeit des Beckens beruht rein auf seiner Sickerleistung. Da sich das Becken im Stadtgebiet befindet, wird es von der Bevölkerung als Freizeit und Erholungsanlage genutzt. Im Becken sind ein Beachvolleyballplatz sowie ein Fußballfeld situiert. Die Summe dieser Kombination stellt den Betrieb bzw. die Funktionsfähigkeit der Anlage vor große Herausforderungen.

## **1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung**

Ziel dieser Masterarbeit ist die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens Schererpark in Graz Wetzelsdorf hinsichtlich der geforderten Sickerleistung bei unterschiedlichen betrieblichen Randbedingungen.

Im Vordergrund steht die Modellbildung des Beckens mit dem Softwareprogramm PCSWMM der Firma Computational Hydraulics Int.. Mit Hilfe dieses Modells soll die Funktionstüchtigkeit des Beckens überprüft und eventuell auftauchende Schwachstellen aufgezeigt werden.

Im weiteren Verlauf wird das Rückhaltevolumen des Beckens auf Grundlage eines Digitalen Geländemodells aus dem Jahr 2011 berechnet. Ziel ist es die Anschlaglinien zu ermitteln und einen Vergleich der Rückhaltevolumen zwischen planlicher Vorgabe und Berechnung durchzuführen.

Abschließend sollen die Funktionsfähigkeit und die Sickerleistung des Beckens bei einem  $HQ_{30}$  beurteilt werden.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Geschichtliches

Im Laufe der Geschichte kam es immer wieder zu verheerenden Hochwassern. Stille Zeugen hierfür sind die oft an alten Gebäuden erkennbaren Hochwassermarken. Sehr oft übertrafen diese Hochwasser jene aus jüngerer Vergangenheit. Am 21. Juli 1342 trat eines der verheerendsten und größten Hochwasser des letzten Jahrtausends in Europa auf, das Magdalenenhochwasser. Aufgrund einiger Hochwassermarken wurde für den Main am Pegel Würzburg in Deutschland ein Durchfluss von etwa 3600 m<sup>3</sup>/s rückgerechnet. Das entspricht statistisch gesehen für diesen Pegel einem Wiederkehrwert eines HQ<sub>10000</sub>. Dies hatte enorme Auswirkungen auf alle großen Flussgebiete Mitteleuropas. Unzählige Brücken wurden weggerissen, ganze Flussverläufe änderten sich. Schätzungsweise fanden mehr als 6000 Menschen allein in der Donauregion den Tod. Als Grund für das Hochwasser wurden eine sehr starke Schneeschmelze in Verbindung mit einem feuchten Frühling, der die Pegelstände hoch gehalten hat, und einer kurz zuvor auftretenden Hitzeperiode genannt. Durch die Hitzeperiode trocknete der Boden vollkommen aus er und konnte daher keinen Niederschlag aufnehmen. Folglich wurde der gesamte mehrere Tage anhaltende Niederschlag den Gewässern zugeführt und es kam zur Hochwasserkatastrophe (Glaser, 2001); (Weikinn, 1958); (Wikipedia®, 2013).

Am Anfang des 19. Jahrhunderts gewannen Überflutungsflächen in Flusstälern aufgrund des starken Bevölkerungswachstums und der zunehmenden Nutzung des Wassers und der Wasserwege im Verlauf der industriellen Revolution immer mehr an Wert. Um diese Flächen bestmöglich nutzen zu können kam es zu anthropogenen Maßnahmen wie Eindeichungen, Flussbegradigungen und Flussverlegungen. Zusätzlich wurden durch den Siedlungsbau immer mehr Flächen versiegelt. All diese Faktoren beeinflussen die Entstehung eines Hochwassers (Strobl, et al., 2006).

### 2.2 Flussbegradigung und Versiegelung

Um dem stetig stark ansteigenden Platzbedarf Herr zu werden, wurden zahlreiche Flussverläufe begradigt. Nach dem heutigen Stand der Technik wirken sich aber gerade Flussbegradigungen negativ auf den zeitlichen Ablauf eines Hochwassers aus. Durch die Kanalisierung kommt es zu einer starken Beschleunigung der Hochwasserwelle. Folglich erreicht die Hochwasserwelle bedrohte Gebiete früher und führt zu einer Verkürzung der Reaktionszeit für etwaige Vorsorgemaßnahmen. Gleichzeitig wird durch die Begradigung dem Gewässer sein natürlicher Retentionsraum weggenommen.

Eine Versiegelung des Bodens wirkt sich ebenfalls negativ auf die Entstehung von Hochwassern aus. Man unterscheidet zwischen künstlicher und natürlicher Versiegelung. Naturgemäß fließt Wasser auf einem undurchlässigen Untergrund schneller ab

als auf einem durchlässigen wie etwa einer Wiese. In unverbauten Gebieten gelangt der Niederschlag nicht direkt in den Abfluss. Er wird zu einem großen Teil in Mulden bzw. Senken zurückgehalten. In Waldgebieten bleibt ein Teil des Niederschlages an Blättern haften und verdunstet. Der auf den Boden auftreffende Niederschlag versickert langsam in den Untergrund und wird anschließend dem Grundwasser zugeführt. Diese Faktoren tragen nicht zur Entstehung eines Hochwassers bei, sondern speisen vielmehr unsere Flüsse und Bäche mit ihrem Basisabfluss. Jener Anteil eines Niederschlages hingegen, der direkt über die Bodenfläche den Gewässern zugeführt wird und ein Hochwasser auslösen kann, wird effektiver Niederschlag genannt (vgl. Kap.2.4). Der Einfluss der künstlichen Versiegelung auf die Entstehung eines Hochwassers hängt stark mit der Größe des Einzugsgebietes zusammen. Bei kleinen, dicht bebauten Einzugsgebieten kann die Versiegelung einen wesentlichen Einfluss haben. Ab einer Größe von über 100 km<sup>2</sup> spielt dies keine Rolle mehr. Hier trägt die natürliche Versiegelung des Bodens die Hauptverantwortung für die Entstehung von Hochwassern (Strobl, et al., 2006).

Eine natürliche Versiegelung entsteht beispielsweise, wenn der Boden nach einer längeren Frostperiode gefroren ist und daher kein Wasser aufnehmen kann oder wenn der gesamte zur Verfügung stehende Porenraum bereits gesättigt ist. Bei einem nachfolgenden Niederschlagsereignis kann der Boden kein Wasser mehr aufnehmen oder zwischenspeichern. Als Folge gelangt der gesamte Niederschlag auf kürzestem Weg zum Abfluss und führt zu einem raschen Anstieg der Pegel (Strobl, et al., 2006).

## **2.3 Abflusskomponenten**

### Basisabfluss

Der Basisabfluss ist jener Teil des Abflusses, welcher kontinuierlich in einem natürlichen Gewässer vorherrscht. Er wird hauptsächlich vom Grundwasser gespeist und hat auf die Entstehung einer Hochwasserwelle keinen Einfluss.

### Oberflächenabfluss

Der Oberflächenabfluss ist jener Teil des Abflusses, welcher ausschließlich durch Niederschlag entsteht und dem Gewässer direkt über die Bodenoberfläche zufließt. Das Wasser folgt dem steilsten Geländegefälle bis es das nächstgelegene Gewässer erreicht. Der Oberflächenabfluss ist für die Entstehung und Größe eines Hochwassers maßgebend.

### Zwischenabfluss

Der Zwischenabfluss entsteht ebenfalls ausschließlich durch Niederschlag. Das Wasser dringt, im Gegensatz zum Oberflächenabfluss, in die oberste durchlässige Boden-

schicht ein. Es füllt dessen Porenraum und gelangt zum nächstgelegenen Fließgewässer noch bevor die Hochwasserwelle abgeklungen ist. Der Zwischenabfluss ist ein zeitverzögerter Teil jenes Niederschlages, welcher bei der Entstehung eines Hochwassers maßgebend ist.

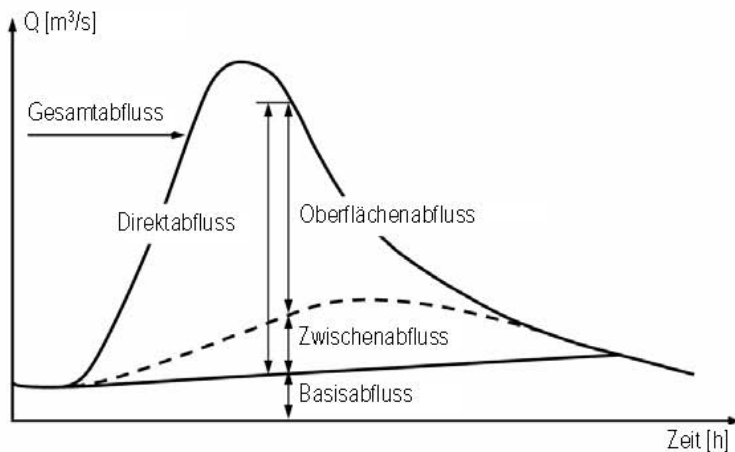
#### Direktabfluss

Der Direktabfluss setzt sich aus dem Oberflächen- und Zwischenabfluss zusammen. Er spiegelt den Effektivniederschlag wider (vgl. Kap.2.4).

#### Gesamtabfluss

Der Gesamtabfluss bildet sich aus der Summe von Direktabfluss und Basisabfluss.

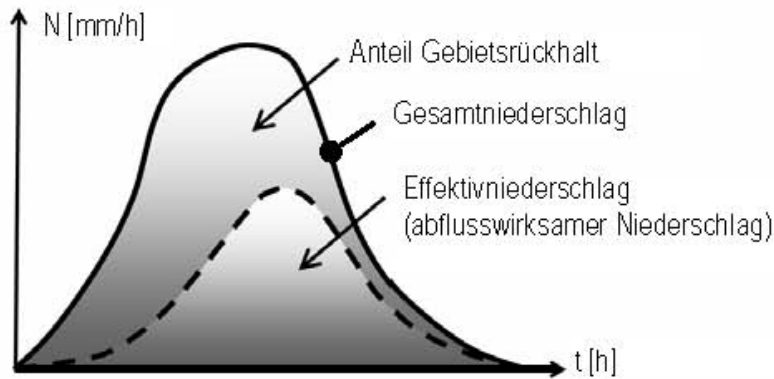
Abbildung 1 stellt den grafischen Zusammenhang der Abflusskomponenten dar (Strobl, et al., 2006).



**Abbildung 1: Abflusskomponenten bei einem Hochwasser (Strobl, et al., 2006)**

## 2.4 Gesamtniederschlag / Effektiver Niederschlag

Da nur ein Teil des gesamten Niederschlages dem Direktabfluss zufließt, wird zwischen Gesamt- und Effektivniederschlag unterschieden (Abbildung 2). Der Gesamtniederschlag ist der tatsächlich gemessene Niederschlag während eines Ereignisses. Jener Anteil, welcher zum Anstieg des Abflusses beiträgt, wird Effektivniederschlag oder abflusswirksamer Niederschlag genannt. Der übrige Niederschlag verdunstet oder wird in Senken oder Mulden zurückgehalten und zeitverzögert dem Grundwasser zugeführt. Man spricht vom sogenannten Gebietsrückhalt. Der Anteil des Gebietsrückhaltes ist abhängig von der Bodenart, Bodennutzung, Jahreszeit und der Bodenfeuchte.



**Abbildung 2: Aufteilung Gesamt- zu Effektivniederschlag (Strobl, et al., 2006)**

Der prozentuale Anteil des effektiven Niederschlages am Gesamtniederschlag wird über den Abflusskoeffizienten  $\Psi$  bestimmt. Dieser ist abhängig von der Bebauungsart und der Bodenbeschaffenheit bzw. Bodensättigung. Ein Abflusskoeffizient von 1,0 bedeutet, dass kein Niederschlag vom Boden gespeichert werden kann und somit 100 % des Niederschlages dem Gewässer zufließen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Abflussbeiwert in Abhängigkeit von der Bebauungsart (Strobl, et al., 2006).

**Tabelle 1: Abflussbeiwert  $\Psi$  in Abhängigkeit der Bebauungsdichte (Strobl, et al., 2006)**

Bebauungsart	Abflussbeiwert $\Psi$ [-]
Dichte Bebauung	0,7 bis 0,9
Geschlossene Bebauung	0,5 bis 0,7
Offene Bebauung	0,3 bis 0,5
Gartenreiche Außenviertel	0,2 bis 0,3
Unbebautes Gelände	0,1 bis 0,2
Parkanlagen	0,005 bis 0,1

## 2.5 Hochwasser im urbanen Raum

Der Hochwasserschutz hat im urbanen Raum mit zahlreichen Besonderheiten zu kämpfen. An erster Stelle sind die limitierten Platzverhältnisse zu nennen. Das dicht verbaute Stadtgebiet in Verbindung mit einer enormen Verkehrsinfrastruktur führt meist zu einer Flächennutzung bis an den Gewässerrand. Aufgrund der dadurch oft fehlenden Bearbeitungstreifen am Gewässerrand stellen schon kleine Sanierungsmaßnahmen beim Gewässer eine große Herausforderung dar, da die Stelle häufig nur schwer zu erreichen ist. Die beengten Platzverhältnisse spielen sowohl in der Planung als auch in der Bauausführung eine wichtige Rolle. Im Zuge eines Bachausbaues im urbanen Raum werden unweigerlich zahlreiche Kunstbauten (Brücken, Ufermauern



etc.) und Leitungstrassen berührt. Aufgrund der hohen Verkehrsdichte muss auch die Aufrechterhaltung des Verkehrs garantiert werden. Dies erfordert eine detaillierte Planung der Baustellenzufahrten sowie des An- und Abtransport von Bau- und Aushubmaterial. Die Detailplanung im urbanen Raum ist somit mehr als herausfordernd. Die Ausführung trägt durch die hohe Anzahl an potentiellen Gefährdungen ein größeres Risiko, was wiederum zu höheren Gesamtkosten führt (Wasserland Steiermark, 2007).

Hochwasser können im urbanen Raum enorme Schäden nach sich ziehen. Hauptgründe hierfür sind einerseits die hohe Siedlungsdichte und andererseits die beengten Platzverhältnisse. Die Grundlage ist aber in der Geschichte der Stadtentwicklung zu finden. Aufgrund des rasanten Wachstums mancher Städte und der damit verbundene erhöhte Platzbedarf, wurden zur Landgewinnung Gewässer begradigt und immer mehr Überflutungsflächen als Bauland freigegeben. Als Folge fehlt dem Gewässer sein natürlicher Überflutungsraum und es kommt zu Schäden an Hab und Gut.

In urbanen Lebensräumen ist man lange Zeit der Thematik des Hochwasserschutzes ausgewichen. Erst nach und nach, oft Hochwasserereignisse vorrauseilend, wurde der Hochwasserschutz im Stadtgebiet wieder ein Thema. Man erkannte die Problematik von Flussbegradigungen und der fehlenden natürlichen Retentionsräume (vgl. Kap. 2.2.). Schlussendlich entstanden Gefahrenzonenpläne in denen die jeweiligen Hochwasseranschlaglinien (meist HQ<sub>30</sub> und HQ<sub>100</sub>) angegeben werden. Als Folge daraus wurden erstmals keine Neuausweisungen von Bauland in überflutungsgefährdeten Bereichen mehr vorgenommen. Bereits bebaute Flächen in hochwassergefährdeten Bereichen wurden zum „Sanierungsgebiet“ erklärt. Bei nicht bebauten Flächen kam es oft zu einer Rückführung von „vollwertigen Bauland“ in „Aufschließungsgebiet“ oder in manchen Fällen in „Freiland“. Auf dieser Grundlage wird versucht, die Zielsetzungen der Stadtplanung mit jener der Schutzwasserwirtschaft, der Freiraumplanung und der Gewässerökologie bestmöglich in Übereinstimmung zu bringen und umzusetzen (Wasserland Steiermark, 2007).

In Abbildung 3 erkennt man das Ausmaß eines Hochwassers in einem Stadtteil von Deggendorf, Deutschland, während der Hochwasserkatastrophe im Juni 2013. Man kann gut erkennen wie ein Hochwasser im Stadtgebiet auf minimaler Fläche einen maximalen Schaden verursachen kann.



**Abbildung 3: Überschwemmter Stadtteil von Deggendorf, Deutschland, 2013 (DLR, 2014)**

## **2.6 Niederschlags-Abfluss Modell (N-A-Modell)**

Ein Niederschlags-Abfluss-Modell ist ein vereinfachtes Abbild der realen, komplexen Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss in einem Einzugsgebiet. Ziel der Modellierung ist es, Abflussganglinie mit Hilfe von gemessenen Niederschlägen und den jeweiligen Gebietseigenschaften bezüglich der Abflussbereitschaft zu ermitteln. Niederschlags-Abfluss-Modelle dienen als Grundlage für die Dimensionierung von Hochwasserschutzmaßnahmen, Rückhaltemaßnahmen und Hochwasserprognosen (Strobl, et al., 2006). Dem nachfolgenden Projekt liegt ebenfalls eine N-A-Modellierung zu Grunde.

## **2.7 Hochwasserschutz**

Das oberste Ziel des Hochwasserschutzes ist die Vermeidung von hochwasserbedingten Schäden. Dieses könnte ohne weiteres mittels baulicher Meidung von Überschwemmungsflächen erreicht werden. Überall dort wo die aus wirtschaftlichen oder volkswirtschaftlichen Zwängen nicht möglich ist, müssen aktive Hochwasserschutzmaßnahmen getroffen werden. Grundsätzlich stehen hierfür drei Konzepte zur Verfügung (Strobl, et al., 2006):

- Hochwasservorsorge
- Natürlicher Wasserrückhalt
- Technischer Hochwasserschutz

Die Wahl welches dieser Grundkonzepte zum Einsatz kommt hängt von der Gewässersituation und der zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit ab. Meist entstehen unterschiedliche Variationen und Kombinationen.

### **2.7.1 Hochwasservorsorge**

In die Hochwasservorsorge fallen all jene Maßnahmen um sich auf die Gefahr eines Hochwassers einzustellen zu können und notwendige Schritte einzuleiten, um folglich das Schadenspotential so gering wie möglich zu halten. Hierzu zählen (Strobl, et al., 2006):

- **Flächenvorsorge**  
Freihaltung der Überschwemmungsflächen von Bebauung oder hochwassersensibler Nutzung
- **Bauvorsorge**  
Bauliche Maßnahmen an Gebäuden (Keller als wasserdichte Wanne ausführen, Gebäude auf Pfahl- oder Ständerkonstruktionen über dem Grundwasser gründen, mobile Hochwasserverschlüsse für Kellerfenster und Türen, Rückstaudoppelverschlüsse in der Kanalisation, Hochwassersichere Rohrdurchlässe, angepasste Stromversorgung, Sicherung von Heizöltanks, usw.)
- **Hochwasservorsorge**  
Wettervorhersage, Abflussvorhersage, Vorwarnzeiten
- **Verhaltensvorsorge**  
Eigenverantwortliches Handeln jedes Bürgers (z.B. Wertgegenstände aus Keller entfernen, Auto aus Garage entfernen, usw.)
- **Organisationsvorsorge**  
Einsatzpläne für Einsatzkräfte, Informationen für die Bewohner seitens der Behörde bereitstellen, Organisationsstrukturen für den Ernstfall
- **Risikovorsorge**  
Abschluss von Versicherungen gegen hochwasserbedingte Schäden

### **2.7.2 Natürlicher Wasserrückhalt**

Das Ziel des natürlichen Wasserrückhaltes besteht darin, dass Hochwasser auf natürliche Art und Weise dort zurückzuhalten, wo es entsteht. Man spricht hier von einem vorbeugenden Hochwasserschutz. Der Rückhalt kann entweder in der Fläche oder

zum Teil auch im Boden stattfinden. Hierfür leisten ein intakter Mischwald, Maschineneinsatz mit geringer Bodenverdichtung, extensive Grünlandnutzung und auch Flächenstilllegungen ihren Beitrag. Darüber hinaus kann ein natürlicher Rückhalt im Gewässer oder in angrenzenden natürlichen Überschwemmungsflächen die Hochwasserwelle merklich verzögern und somit die Reaktionszeit für die Unterlieger erhöhen (Strobl, et al., 2006).

### **2.7.3 Technischer Hochwasserschutz**

Überall dort, wo ein Rückhalt im Gewässerquerschnitt oder in der angrenzenden Fläche aufgrund starker Verbauung oder intensiver Landnutzung nicht möglich ist und somit kein hinreichender Hochwasserschutz erzielt werden kann, kommen technische Schutzmaßnahmen zum Einsatz. Diese umfassen stationäre und mobile Bauwerke sowie bauliche Veränderungen des Gewässers bzw. des Gewässerumfeldes wie Rückbau von begradigten Gewässerabschnitten, Aufweitungen, Aktivierung von Altarmen, Schaffung künstlich angelegter Überflutungsflächen, usw. Im Folgenden werden die essentiellsten technischen Hochwasserschutzmaßnahmen erläutert (Strobl, et al., 2006).

#### Hochwasserrückhaltebecken

Hochwasserrückhaltebecken sind vereinfachte Stauanlagen, die die Möglichkeit besitzen, Hochwasser in einem zuvor festgelegten Rückhalteraum zurückzuhalten und zeitverzögert, nach Ablauf des Hochwasserscheitels, abzugeben. Ziel ist es, die Spitze der Hochwasserwelle zu kappen. Da die Wahrscheinlichkeit, die Spitze einer Hochwasserwelle zu kappen, aufgrund der zeitlich begrenzten Ausdehnung des Wellenscheitels im Oberlauf am größten ist, werden Hochwasserrückhaltebecken meist im Oberlauf situiert. Die Abflüsse aus dem Becken können durch die Anordnung von beweglichen Wehren oder Grundablässen exakt gesteuert werden.

Hochwasserrückhaltebecken werden nur in Hochwasserfällen eingestaut. Sie sind im Normalfall begrünt, können landwirtschaftlich oder für Naherholungszwecke genutzt werden und werden meist sehr gut in die Landschaft eingegliedert (Abbildung 4). Die ökologischen Eingriffe in die Natur werden somit minimiert (Strobl, et al., 2006).



**Abbildung 4: Hochwasserrückhaltebecken Gabriachbach Graz (Stadt Graz, 2014)**

#### Mobiler Hochwasserschutz

Ein mobiler Hochwasserschutz ist ein System, welches im Falle eines Hochwassers aus einem Lager antransportiert, aufgestellt und nach dem Ereignis wieder abgebaut wird. Voraussetzung ist ein einfacher und reibungsfreier Aufbau. Am weitesten Verbreitet sind mit Sand gefüllte Säcke und mobile Hochwasserschutzwände. Mobile Hochwasserschutzwände bestehen aus vertikalen Stützen und dazwischen befindlichen Wandelementen, welche dicht miteinander verbunden werden. Mit fix montierte Führungsschienen können ohne große Probleme auch Durchlässe, Tore, Fenster oder Türen dicht verschlossen werden (Strobl, et al., 2006).

#### Feststehende Hochwasserschutzwände

Aufgrund der hohen Bebauungsdichte in Städten besteht meist nicht die Möglichkeit, Überflutungsflächen zu schaffen oder gewässerspezifische Schutzmaßnahmen (Aufweitungen, Ausbau, usw.) umzusetzen. Treten zudem noch kurze Vorwarnzeiten auf, können keine mobilen Hochwasserschutzzelemente eingesetzt werden. Hier ist der Bau von stationären, feststehenden Hochwasserschutzwänden die einzige Möglichkeit sich vor Hochwassern zu schützen. Großteils kommen Gewichtsmauern und Stahlbetonmauern zum Einsatz (Strobl, et al., 2006).

Trotz all dieser möglichen Schutzmaßnahmen darf nicht darauf vergessen werden, dass nie ein absoluter Hochwasserschutz geschaffen werden kann, da meist die finanziellen Mitteln beschränkt sind und die Unkalkulierbarkeit dieser Naturgefahr den Maßnahmen immer Grenzen setzt.

### 3 Grazer Bäche

Graz wird nicht zu Unrecht oft als Grüne Stadt bezeichnet. Neben zahlreichen Park- und Grünraumanlagen ziehen sich 52 benannte Bäche und eine Vielzahl von kleineren Gerinnen durch das Stadtgebiet. Zusätzlich befinden sich 10 ausgewiesene Wildbäche im Grazer Raum. Somit kann Graz auch als „Stadt am Wasser“ bezeichnet werden. Das gesamte Gewässernetz des Grazer Raums weist eine Länge von etwa 270 km und ein Einzugsgebiet von ungefähr 140 km<sup>2</sup> auf. Auf den innerstädtischen Bereich fallen davon in der Länge 125 km und vom Einzugsgebiet rund 70 km<sup>2</sup> ab. Die Hälfte des Einzugsgebietes der liegt außerhalb des Stadtgebietes. Die Gewässerdichte ist östlich der Mur weitaus größer als im westlichen Bereich (Wasserland Steiermark, 2007).

Eine Besonderheit weisen drei westlich der Mur gelegenen Bäche auf. Sie besitzen keinen Vorfluter zur Mur und versickern daher entweder im Grazer Feld oder münden in die Kanalisation der Stadt (vgl. Kap. 3.5) (Wasserland Steiermark, 2007).

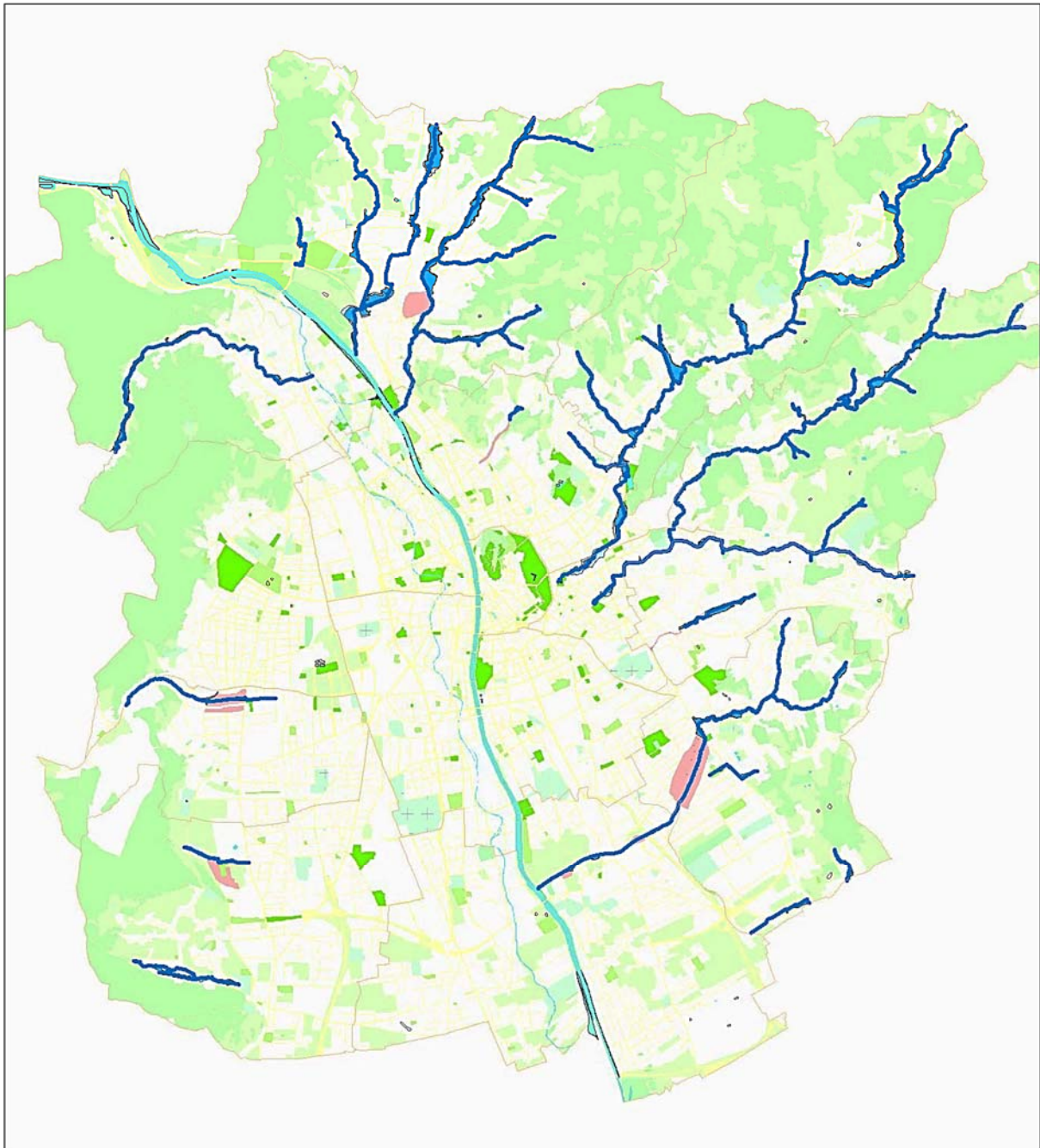
Seit dem 19. Jahrhundert ist in Graz ein kontinuierlicher Anstieg der Einwohnerzahlen erkennbar. Folglich wurden aufgrund des geografisch beschränkten Siedlungsraumes im Grazer Becken auch hochwassergefährdete Bereiche und natürliche Retentionsräume für die Besiedlung freigegeben. Dies führte zu einer Flächennutzung bis an den Gewässerrand und zu einer zunehmenden Versiegelung des innerstädtischen Bereiches. Den Bächen selbst wurde betreffend Hochwasserschutz wenig bis kaum Beachtung geschenkt. Auch seitens der Bevölkerung wurden die Grazer Bäche kaum registriert. Ihr zum Teil enormes Gefahrenpotential wurde lange Zeit unterschätzt (Wasserland Steiermark, 2007).

Ein katastrophales Hochwasserereignis im Jahr 2005 zeigte einmal mehr die zerstörerische Wirkung der vermeintlich harmlosen Bäche inmitten der Stadt. Es kam zu einem Aufschrei in der Bevölkerung. Dies war der Startschuss für das „Sachprogramm Grazer Bäche“, welches langfristig einen bestmöglichen Hochwasserschutz für alle Grazer Bäche garantieren und gleichzeitig die Bewusstseinsbildung der Bevölkerung für das Gewässer verbessern soll. Es umfasst unter Berücksichtigung der Verbesserung der gewässerökologischen Ist-Situation neben technischen Hochwasserschutzmaßnahmen auch ein modernes Hochwassermanagement von der Vorwarnung bis hin zu einer optimierten Einsatzstrategie für den Ernstfall. Für die Bevölkerung sollen durch gezielte gewässergestalterische Maßnahmen neue Lebens- und Erholungsräume geschaffen und somit das Gewässerbewusstsein gestärkt werden (vgl. Kap.3.4) (Wasserland Steiermark, 2007).



Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der sich aus der geografischen Lage in Graz ergebende Siedlungsdruck in Kombination mit Infrastruktur- und Standortproblemen die Thematik des Hochwasserschutzes im urbanen Raum mehr und mehr in Vergessenheit geraten ließ. Folglich war es nur eine Frage der Zeit, bis es zu einem Umdenken kam beziehungsweise Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung getroffen wurden (Wasserland Steiermark, 2007).

Abbildung 5 gibt eine Übersicht über das gesamte Gewässernetz der Stadt Graz.



**Abbildung 5: Gewässerübersicht der Stadt Graz (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012)**

### 3.1 Klima

Der Stadt Graz lässt sich klimatisch in mehrere Zonen unterteilen. Diese Klimazonen sind (Land Steiermark, 2013):

- A.2 Östliche Grazer Bucht
- A.4 Riedelland westlich von Graz
- A.12 Grazer Feld mit unterem Kainachtal
- A.12a Nördlicher Bereich des Grazer Feldes
- B.1a Gratkorner Becken und Reiner Becken
- B.7 Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz

Die Klimazonen A.2 Östliche Grazer Bucht und A.4 Riedelland westlich von Graz sind beide gekennzeichnet durch gewitterreiche Sommer und schneearme Winter. Insgesamt entspricht die Klimacharakteristik einem kontinental geprägten Klima. Die Zone A.2 Östliche Grazer Bucht weist aufgrund der Abschirmung durch die Alpen eine erhöhte Windarmut auf. Dies spiegelt sich im Winter in längeren Hochnebelperioden wieder (Land Steiermark, 2013).

Die Klimazone A.12 Grazer Feld mit unterem Kainachtal weist aufgrund der Talbecklage eine erhöhte Inversions- und Kaltluftgefährdung auf. Ebenso verursachen die ungünstigen Durchlüftungsbedingungen eine ausgesprochen hohe Nebelhäufigkeit. Als Beispiel sei der Flughafen Graz mit 140 Tagen Nebel im Jahr erwähnt. Wie die Klimazonen A.2 und A.4 weist die Zone A.12 bezüglich des Niederschlages kontinentale Eigenschaften auf. Die Sommer sind niederschlagsreich mit einer großen Anzahl an Gewittern. Im Schnitt werde pro Jahr 40-50 Tage mit Gewittern registriert. Die Winter sind eher schneearm. Die Klimazone A.12 ist im südlichen Teil der Stadt zu finden (Land Steiermark, 2013).

Die Klimazone A.12a Nördlicher Bereich des Grazer Feldes ist thermisch sehr stark abhängig vom Grad der Bebauung bzw. der Versiegelung. Generell ist sie der Klimazone A12 ähnlich. Sie ist im innerstädtischen und im nördlichen Bereich von Graz anzutreffen (Land Steiermark, 2013).

Die Klimazone B.1a Gratkorner Becken und Reiner Becken weist aufgrund ihrer Beckenlage eine sehr geringe Durchlüftung auf. Die Inversions- und Frostgefährdung ist größer als im Grazer Feld (Land Steiermark, 2013).

Die Klimazone B.7 Randgebirgsfuß Schöckl/Zetz ist geprägt durch ein sehr hohes Gewitterpotential, schneearme Winter und eine fehlende Schwüle im Sommer (Land Steiermark, 2013).



Abbildung 6 gibt einen geografischen Überblick über die oben angeführten Klimazonen im Umfeld der Stadt Graz (Land Steiermark, 2013).

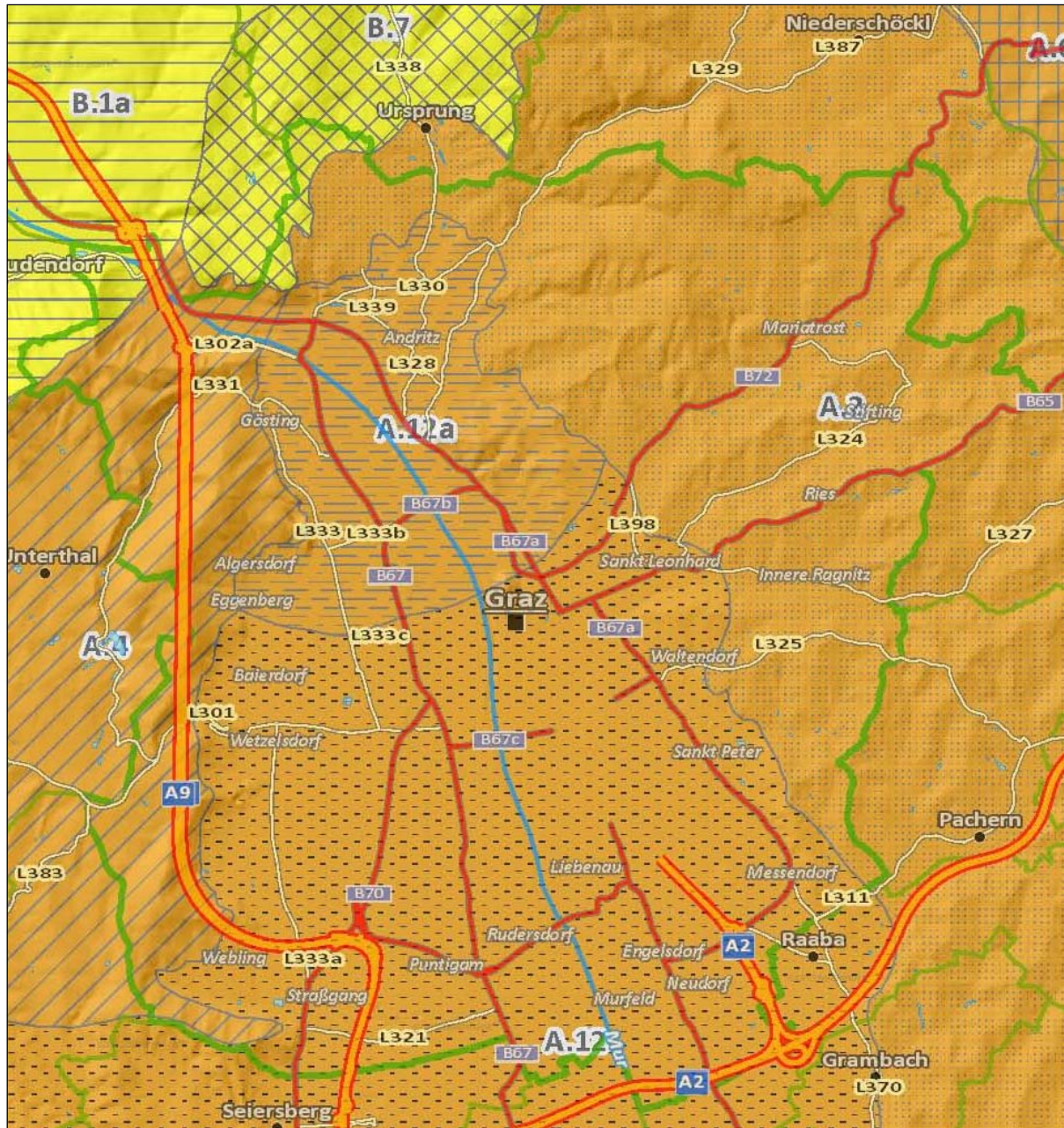


Abbildung 6: Übersicht Klimazonen Graz (GIS - Steiermark - Klima, 2012)

## 3.2 Geologie

Der geologische Aufbau des Grazer Stadtgebietes ist das Ergebnis einer sehr langen und vielseitigen Entwicklung der Erdgeschichte. Dieser hat aufgrund des Zusammenspiels von unzähligen Prozessen wie Gebirgsbildung mit Verfaltung, Deckenbildung, Vulkanismus, Diagenese, Metamorphose, Ablagerungen ehemaliger Meeres-, See- und Flussbereiche sowie durch den Einfluss der Eiszeit einen sehr komplexen Aufbau. In geologisch jüngster Zeit wurde der Aufbau durch Einwirkungen wie Verwitterung, Verkarstung und durch Einschneiden der heutigen Fluss- und Bachverläufe weitergebildet.

Im Grazer Stadtbereich findet man drei große geologische Bereiche. Das Grundgebirge wird von Festgesteinen des Grazer Paläozoikums (Karbonatgesteine, Schiefer) gebildet. Diese Festgesteine werden am Gebirgsrand von jungtertiären Lockersedimenten (Tone, Sande und Kiese) des Steirischen Beckens überlagert. Quartäre Ablagerungen des Pleistozäns (lehmbedeckte Schotterterrassen und Lößlehme des Eiszeitalters) und des heutigen Gewässersystems (Aubereiche) stellen die geologisch jüngste Schicht dar.

Altersmäßig wird das Grundgebirge des Grazer Paläozoikums von Silur bis Karbon (ca. 440-300 Mio. Jahre) aufgebaut. Ab den Gebirgsbildungsprozessen am Ende des Paläozoikums, welche eine Umformung der abgelagerten Schichten zur Folge hatte, sind im Grazer Raum über das gesamte Mesozoikum und des älteren Känozoikum keine entsprechenden Gesteine bekannt. Ablagerungen sind erst wieder aus den Jungtertiär (jüngeres Känozoikum) erhalten. Ein Teil dieser Ablagerungen wurde noch von der Hebung des Alpenkörpers betroffen. Daher werden diese Schichten oft in unterschiedlichen Höhen angetroffen. Die jungtertiäre Schichtfolge lässt sich aufgrund ihrer Komplexität in drei Bereiche gliedern:

- basale Ton/Schluff-Folge
- Ton/Sand/Kies-Folge (gekennzeichnet durch intensive Wechsellagerungen)
- hangende Kies/Sand Einheit

Am Ende des Tertiärs entwickelte sich das heutige Gewässernetz, welches mit seinen Aubereichen, Schwemmkegeln und Hangschleppen die letzten Ablagerungsprodukte geologisch aktiver Prozesse im Grazer Raum darstellt (Magistrat Graz, A10/6-Stadtvermessungsamt, 2008).

### 3.3 Hochwasserereignisse

Im Grazer Raum sind zahlreiche historische Hochwasserkatastrophen überliefert. Die ersten Aufzeichnungen eines schwerwiegenden Hochwassers gehen auf das Jahr 1827 zurück. Der Wasserstand der damals noch nicht verbauten Mur belief sich auf sechs Meter. Dies führte zu einer großflächigen Überschwemmung des Grazer Stadtgebietes. Abbildung 7 zeigt anschaulich die Katastrophe von 1827.

Aufgrund der späteren Regulierung und der sich daraus ergebenden Eintiefung geht von der Mur heute kaum noch Hochwassergefahr aus. Vielmehr rückten die bis dahin bezüglich Hochwasserschutzmaßnahmen wenig bis kaum beachteten Grazer Bäche in den Mittelpunkt. Von ihnen sollte in Zukunft speziell nach Starkregenereignissen die größte Gefahr von Hochwassern ausgehen (Wasserland Steiermark, 2007).



**Abbildung 7: Darstellung des Hochwassers von 1827 (REPRO SOMMER, 2014)**

Im Laufe der Zeit kam es immer wieder zu folgeschweren Hochwässern. 1913 trat der Leonhardbach über die Ufer, 1916 der Stiftingbach (Wasserland Steiermark, 2007).

1975 trat ein statistisch gesehen 100-jährliches Hochwasser in Graz auf. Hauptsächlich davon betroffen waren der Bezirk Mariatrost und der innerstädtische Bereich. Die Wassermassen traten durch Fenster und Türen in die Gebäude ein und fluteten unzählige Keller. Im Stadtbereich kam es zu großflächigen Überflutungen in der Elisabethstraße und in der Leechgasse. Nach dieser Katastrophe wurden erste Überlegungen über Hochwasserkonzepte angedacht. In Abbildung 8 ist das Ausmaß dieser Hoch-



wasserkatastrophe in der Mariatrosterstraße - Kirchbergstraße abgebildet. Der Wasserstand reichte teils bis zu den Fensterunterkanten im Erdgeschoss (Stadt Graz, 2013a).



**Abbildung 8: Hochwasser 1975, Mariatrosterstraße-Kirchbergstraße (Archiv Land Steiermark, 2013)**

In den Jahren 1996 und 1998 traten nach einem schweren Sommergewitter wieder unzählige Bäche lokal über die Ufer.

Prekär und sicherlich noch in den Köpfen vieler Grazer vorhanden ist das Hochwasserereignis von 2005. Auslöser war ein außergewöhnlich starker Niederschlag am 21. August 2005. Zahlreiche Grazer Bäche traten über ihre Ufer und setzten ganze Stadtteile unter Wasser. Besonders stark betroffen waren die Bezirke Andritz, mit den Bächen Andritzbach, Schöckelbach und Gabriachbach, und St. Peter mit dem Petersbach. Das Schadensvolumen belief sich auf rund 5 Mio. €. Bei der Jährlichkeit handelt es sich um ein HQ<sub>10</sub> – HQ<sub>20</sub>. Abbildung 9 zeigt den über die Ufer getretenen Schöckelbach im Bezirk Graz-Andritz. Der eigentliche Bachverlauf ist im linken Bildrand zu erkennen (Wasserland Steiermark, 2007).



**Abbildung 9: Hochwasserereignis 2005, Andritz, Schöckelbach (Jakober, 2005)**

Im Juli 2009 traten aufgrund massiv gewittriger Regenfälle etliche Grazer Bäche über die Ufer. Es wurde eine Niederschlagsmenge von 48 Litern pro Quadratmeter in nur vier Stunden aufgezeichnet. Diese gewaltige Regenmenge in Verbindung mit dem kurzen Zeitintervall brachte die Grazer Bäche sowie die Kanalisation an ihre Leistungsgrenzen. Begünstigt wurde die Situation noch von einigen Wochen vorhergehenden heftigen Niederschlägen mit lokalen Überflutungen. Der Boden war zum Teil noch gesättigt und konnte daher wenig bis kein zusätzliches Wasser mehr aufnehmen. Stark betroffen waren wiederum die Bezirke Andritz, hauptsächlich durch den Schöckelbach, und St. Peter mit dem Petersbach. Abbildung 10 zeigt die Wassermassen des über die Ufer getretenen Schöckelbaches wie sie das Zentrum von Andritz unter Wasser setzen (Stadt Graz, 2013b).





**Abbildung 10: Hochwasserereignis 2009, Andritz, Schöckelbach (Egger-Schinnerl, 2009)**

Am 25. Juli 2012 setzte ein sehr heftiges kurzes Sommergewitter mit einer Dauer von ca. 20 Minuten Teile der östlichen Stadtbezirke unter Wasser. Besonders betroffen war der Bezirk St. Peter. Der Petersbach und der Ragnitzbach traten binnen weniger Minuten über die Ufer und richteten große Schäden an. Ganze Straßenzüge wie die St. Peter Hauptstraße standen unter Wasser. Zahlreiche Keller und Tiefgaragen wurden geflutet. Es entstand ein enormer Sachschaden. Abbildung 11 zeigt einen überfluteten Straßenverlauf im Bereich der Schimautz-Kreuzung im Bezirk Graz St. Peter (Kleine Zeitung, 2012).



**Abbildung 11: Bereich der Schimautz-Kreuzung in Graz St. Peter (gipfelrast.at, 2012)**

### 3.4 Sachprogramm Grazer Bäche

Anfang 2005 wurde das „Sachprogramm Grazer Bäche“ in enger Kooperation zwischen der Stadt Graz, dem Land Steiermark, dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung und dem Lebensmittelministerium ins Leben gerufen. Bereits 2001 wurde im 3.0 Stadtentwicklungskonzept (Gemeinderatsbeschluss vom 18. Jänner 2001) als notwendige Maßnahme das Ziel ein „Sachprogramm Hochwasser“ umzusetzen, beschlossen. Dieses wurde nach der Erstellung des 3.0 Flächenwidmungsplanes 2002 (Gemeinderatsbeschluss vom 04. Juli 2002) als weiterführende Maßnahme für den Hochwasserschutz in Graz bestätigt. Anfang 2005 wurde schließlich das „Sachprogramm Grazer Bäche“ dem Gemeinderat präsentiert. Hierbei wurde folgende Ausgangssituation an den Grazer Bächen festgemacht (Wasserland Steiermark, 2007):

- Ca. 1000 hochwassergefährdete Gebäude in Graz
- Die ökologische Funktionsfähigkeit der Bäche ist stark eingeschränkt
- Die Naherholungsfunktion für die Bevölkerung ist kaum gegeben
- Die Stadt Graz ist nicht gewillt, kommunale Kosten für in das Kanalnetz mündende Bäche zu tragen

#### 3.4.1 Zielsetzung

Ziel des Sachprogrammes ist das Erreichen eines nachhaltigen Hochwasserschutzes für alle gefährdeten Objekte im innerstädtischen Bereich unter Berücksichtigung der Erfordernisse der Fachbereiche (Wasserland Steiermark, 2007):

- Freiraumplanung
- Gewässerökologie
- Katastrophenschutz
- Raumordnung
- Stadtentwicklung
- Siedlungswasserwirtschaft

Angestrebt wird ein Schutzgrad bis zu einem Hochwasser mit einer 100-jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit ( $HQ_{100}$ ). Hierfür sollen natürliche Überschwemmungsräume erhalten und neue geschaffen werden. Um eine ökologische Aufwertung des Gewässers zu erreichen, sollen etwaige Verrohrungen weit gehendst geöffnet und die örtlichen Gegebenheiten optimal ausgenützt werden. Migrationshindernisse in den Bächen sollen beseitigt werden. Hangwasserprobleme müssen markiert und beschrieben werden. Ebenso soll für die Bevölkerung ein Zugang zu den Gewässern geschaffen werden, um eine Verbesserung der Naherholungsfunktion zu gewährleisten (Hornich, 2012).

### 3.4.2 Bearbeitung

Für die Bearbeitung wurden die Grazer Bäche sieben Haupteinzugsgebieten zugeteilt. Die schutzwasserwirtschaftlichen Planungen wurden in Auftrag von der Stadt Graz von sieben Ingenieurbüros ausgeführt. Mit Hilfe umfangreicher Dokumentationen und Analysen des Hochwassers von 2005 in Abstimmung mit der 1997 von der Firma Hydroconsult durchgeführten Abflussuntersuchung aller wesentlichen Grazer Bäche mit Ausweisung der Abflussflächen für ein 30- und 100-jährlichen Hochwassers, konnte für 41 Bäche ein Maßnahmenprogramm ausgearbeitet werden. Dieses wurde 2006 fertiggestellt und umfasst folgenden Konzepte (Wasserland Steiermark, 2007):

- Verbesserung des Hochwasserschutzes und Erhöhung der Sicherheit für die Grazer Bevölkerung
- Unbedingte Freihaltung und zusätzliche Schaffung von Überflutungsräumen
- Errichtung von 29 Hochwasserrückhaltebecken mit einem Gesamttretentionsvolumen von ca. 1,0 Mio.m<sup>3</sup>
- Beseitigung von Engstellen (Durchlässe/Verrohrungen/Brücken)
- Erreichung eines guten ökologischen Potentials

### 3.4.3 Umsetzung

Obwohl die örtlichen Gegebenheiten maximal ausgenützt und zusätzliche Grundflächen angekauft wurden bzw. immer noch werden, kann nicht für alle gefährdeten Siedlungs- und Infrastrukturräume der gewünschte Idealzustand eines Hochwasserschutzes mit einer 100-jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit erreicht werden. Es wird aber überall im Vergleich zum Ist-Zustand eine deutliche Verbesserung erzielt. In jenen Abschnitten, in denen mit technischem Hochwasserschutz kein ausreichender Schutz zu erzielen war bzw. ist, werden ergänzende Schutzmaßnahmen in Form von Hochwasserprognosemodellen, Risikoanalysen sowie Alarm- und Einsatzpläne ausgearbeitet. Besonderer Wert wird auf die Öffentlichkeitsarbeit gelegt. Zielgerichtete Informationen an die Bevölkerung sollen zu einer Verbesserung des Gewässerbewusstseins führen. Dies beinhaltet selbständige Maßnahmen der Anwohner wie hochwasserangepasstes Bauen, Einsatz mobiler Hochwasserschutzzelemente, Hochwasserschadensversicherung und persönliche Notfallpläne (Wasserland Steiermark, 2007).

Die Umsetzung wird anhand einer Prioritätenreihung durchgeführt. Diese basiert auf der jeweiligen Hochwassergefährdung und das damit verbundene Schadenspotential. Der Zeitrahmen ist mit 10 Jahren veranschlagt (2005 – 2015). Die Gesamtkosten belaufen sich auf geschätzte 65,0 Mio. € (Preisbasis 2006). Die Finanzierung läuft gemeinsam mit dem Bund, dem Land Steiermark und der Stadt Graz. Der hohe finanzielle Aufwand lässt sich mit zahlreichen Vorteilen, die ein zeitgerechter Hochwasserschutz mit sich bringt, rechtfertigen (Wasserland Steiermark, 2007).



Bis zum Oktober 2013 wurden folgende Projekte des „Sachprogrammes Grazer Bäche“ umgesetzt (Abbildung 12):

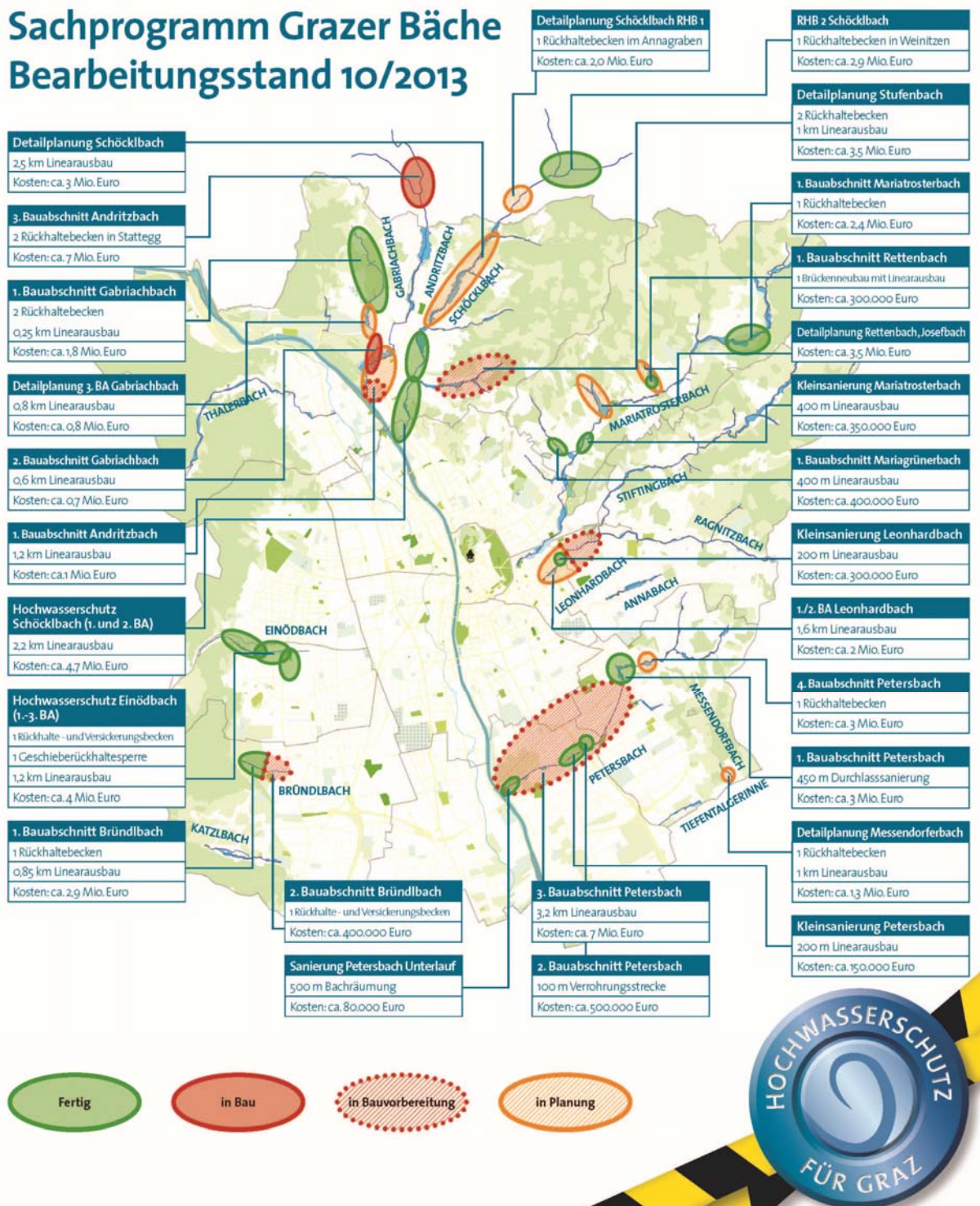


Abbildung 12: Sachprogramm Grazer Bäche – Umsetzungsstand 10/2013 (Stadt Graz, 2013b)

### 3.5 Besonderheit der westlich von Graz gelegenen Bäche

Einen Spezialfall weisen drei westlich der Mur gelegenen Bäche auf. Es handelt sich um den Bründlbach, Einödbach und den Katzelbach. Ihre Besonderheit besteht darin, dass sie keinen Vorfluter zu Mur besitzen und daher entweder im Grazer Feld versickern oder in das öffentliche Kanalnetz der Stadt Graz eingeleitet werden. Dadurch erfahren sie beim Thema Hochwasserschutz eine sehr intensive Betrachtung. Für den umliegenden Siedlungsbereich besteht aufgrund der fehlenden Abflusskapazität bzw. –möglichkeit eine erhöhte Hochwassergefahr. Die Lage verschärft sich weiter, da durch die hohe Siedlungsdichte rund um die Gewässer kaum mehr natürliche Überschwemmungsflächen vorhanden sind. Im Zuge des „Sachprogrammes Grazer Bäche“ (vgl. Kap. 3.4) wurden für die drei Bäche mehrere Hochwasserschutzvarianten ausgearbeitet. Die Maßnahmen für den Katzelbach befinden sich zu Zeit noch in der Planungsphase. Am Bründlbach wurden bereits Teile umgesetzt. Die Baumaßnahmen am Einödbach sind schon abgeschlossen (Stand Oktober 2013).

#### 3.5.1 Bründlbach

Der Bründlbach entspringt aus drei Quellbächen im Bereich des Bundesheer-Übungsgeländes Feliferhof, westlich des Buchkogels. Danach durchquert er den stark verkarsteten von Süd nach Nord verlaufenden Bergrücken Buchkogel und Ölberg durch ein Höhlensystem. Der Bründlbach tritt am Osthang des Buchkogels in der sogenannten Bründlquelle nordwestlich des Schlosses St. Martin wieder zu Tage. Er quert die Krottendorferstraße und verläuft durch landwirtschaftlich genutzte Flächen und das Gelände der Gablenz-Kaserne bis zur Straßgangerstraße, wo er schließlich in den Kanal der Stadt Graz eingeleitet wird.

Insgesamt entwässert der Bründlbach ein hydrographisches Gesamteinzugsgebiet von etwa 2,34 km<sup>2</sup> und weist ab dem Austritt am Buchkogel-Osthang bis hin zum Eintritt in den öffentlichen Kanal eine Länge von ungefähr 1300 m auf (Hydroconsult, 2006a).

Im Zuge des „Sachprogrammes Grazer Bäche“ (vgl. Kap.3.4) wurde am Bründlbach bereits ein Rückhaltebecken im Bereich Krottendorferstraße errichtet. Ein weiteres Rückhalte- und Versickerungsbecken ist im Bereich des Kasernengeländes geplant. Dieses soll künftig eine Einleitung in den öffentlichen Kanal minimieren bzw. bei Mittelwasser gänzlich verhindern. Zusätzlich wurde ein 850 m langer Linearausbau zwischen Krottendorferstraße und Straßgangerstraße errichtet. Die Gesamtkosten betragen in etwa 3,3 Mio. €.

### **3.5.2 Katzelbach**

Der Katzelbach entspringt zwischen dem Buchkogel und dem Florianiberg. Im oberen Einzugsgebiet findet man sehr steile und bewaldete Grabeneinhänge. Im Talboden wurde der Katzelbach einst aus seinem ursprünglichen Verlauf entlang der Taltiefenlinie wegverlegt. Bei Hochwasser ufert er immer wieder dorthin zurück aus. Der Bach versickerte ursprünglich nach seinem Austritt im Grazer Feld. Später wurde er im Bereich des Straßganger Bades in das öffentliche Kanalnetz der Stadt Graz eingeleitet. Der Einlauf weist nur eine geringe Kapazität auf und neigt zur Verklausung. Daher wurde von der Stadt Graz vor einigen Jahren eine Versickerungsanlage errichtet, die allerdings nur die Versickerung von mittleren Abflüssen zum Ziel hat und keine Hochwasserschutzfunktion darstellt.

Der Katzelbach bildet aufgrund seines Gewässerverlaufes (Verlegung aus der Taltiefenlinie, teils verrohrter Verlauf), der Gliederung des Einzugsgebietes (steile Grabeneinhänge, Hangwasserprobleme) und der dichten Bebauung im Talboden ein komplexes Entwässerungssystem. Er entwässert ein Einzugsgebiet von etwa 2,55 km<sup>2</sup> und weist eine Gesamtlänge von rund 1,6 km auf (Hydroconsult, 2006b).

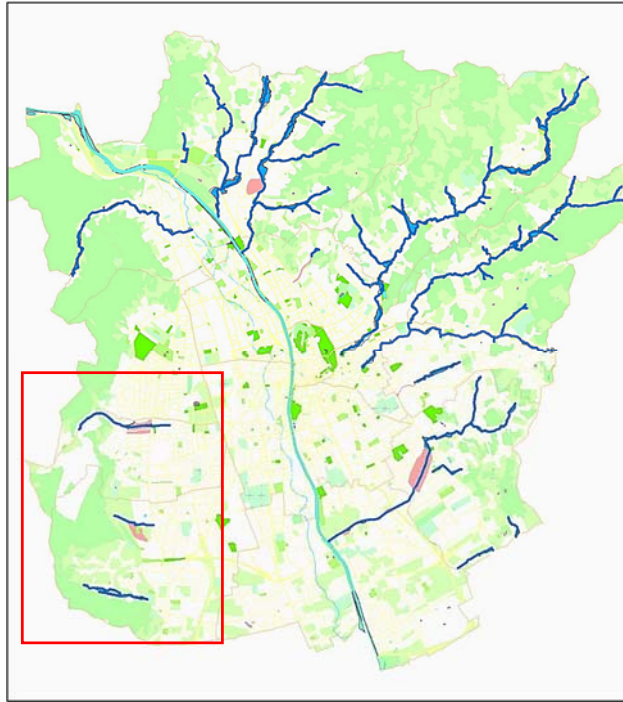
### **3.5.3 Einödbach**

Der Einödbach entspringt westlich von Graz im Einschnitt zwischen Kollerberg und Ölberg und mündet östlich der Straßgangerstraße in ein bereits errichtetes Rückhalte- bzw. Versickerungsbecken. Früher versickerte der Einödbach in diesem Bereich auf einer Grünfläche bzw. wurde in das Kanalnetz der Stadt Graz eingeleitet. Die Besonderheit des Einödbaches besteht darin, dass er die meiste Zeit des Jahres kein Wasser führt. Er springt nur nach Starkregenereignissen an.

Der Einödbach entwässert ein sehr kleines Einzugsgebiet von < 1 km<sup>2</sup>. Er weist eine Länge von 2,22 km auf (Ingenos, 2006).

Im Rahmen dieser Arbeit werden weiterführende Untersuchungen am Einödbach durchgeführt. Diese werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

Abbildung 13 und Abbildung 14 geben einen Überblick über die geografische Lage der Bäche. Deren Lage ist von Nord nach Süd verlaufend wie folgt festgelegt: Einödbach – Bründlbach – Katzelbach.



**Abbildung 13: Lage der drei Bäche im Westen von Graz ohne Vorfluter (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012)**



**Abbildung 14: Detailansicht Einödbach, Bründlbach und Katzelbach (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012)**



## 4 Projektbeschreibung

### 4.1 Geographie und Morphologie

Der Einödbach befindet sich im Westen der Stadt Graz. Er entspringt am rechtsufrig der Mur gelegenen Höhenzug des Plabutsch zwischen Kollerberg und Ölberg. Das in etwa 1,0 km<sup>2</sup> großes Einzugsgebiet entwässert die Abhänge des Koller- und Ölberges sowie die Verflachung Feliferhof im Oberlauf. Das Niederschlagswasser wird im flachen Oberlauf durch Straßenentwässerungsgräben gesammelt und in die anschließende Grabenstrecke eingeleitet. Hier weist der Einödbach die Charakteristik eines Wildbaches auf. Die Charakteristik beruht nicht auf seinem hohen Gefälle, da dies mit 5 – 10 % mäßig geneigt ist, sondern auf der Steilheit der Grabeneinhänge. Diese weisen im Oberlauf mehrere labile Abschnitte mit Rutschungen und Uferabbrüchen auf. Lokal wurden zur Sicherung bereits massive Stützverbauungen errichtet. Ab der Steinbergerstraße beginnt sich das Tal schwemmkegelartig aufzuweiten. Der Bachverlauf ist in Abbildung 15 dargestellt (Wildbach- und Lawinerverbauung, 2007).

Die Besonderheiten des Einödbaches beruhen einerseits auf das Nichtvorhandensein eines Vorfluters und andererseits auf seiner Wasserführung. Sein Bachbett ist in den Sommermonaten oft völlig ausgetrocknet und führt meist nur nach Starkregenereignissen Wasser. Es wird vermutet, dass es durch den Bau des Plabutschtunnels zu einer Änderung des Grund- bzw. Hangwasserzuzuges gekommen ist. Diese These stützt sich mit Aussagen der Anrainer (Wildbach- und Lawinerverbauung, 2007).

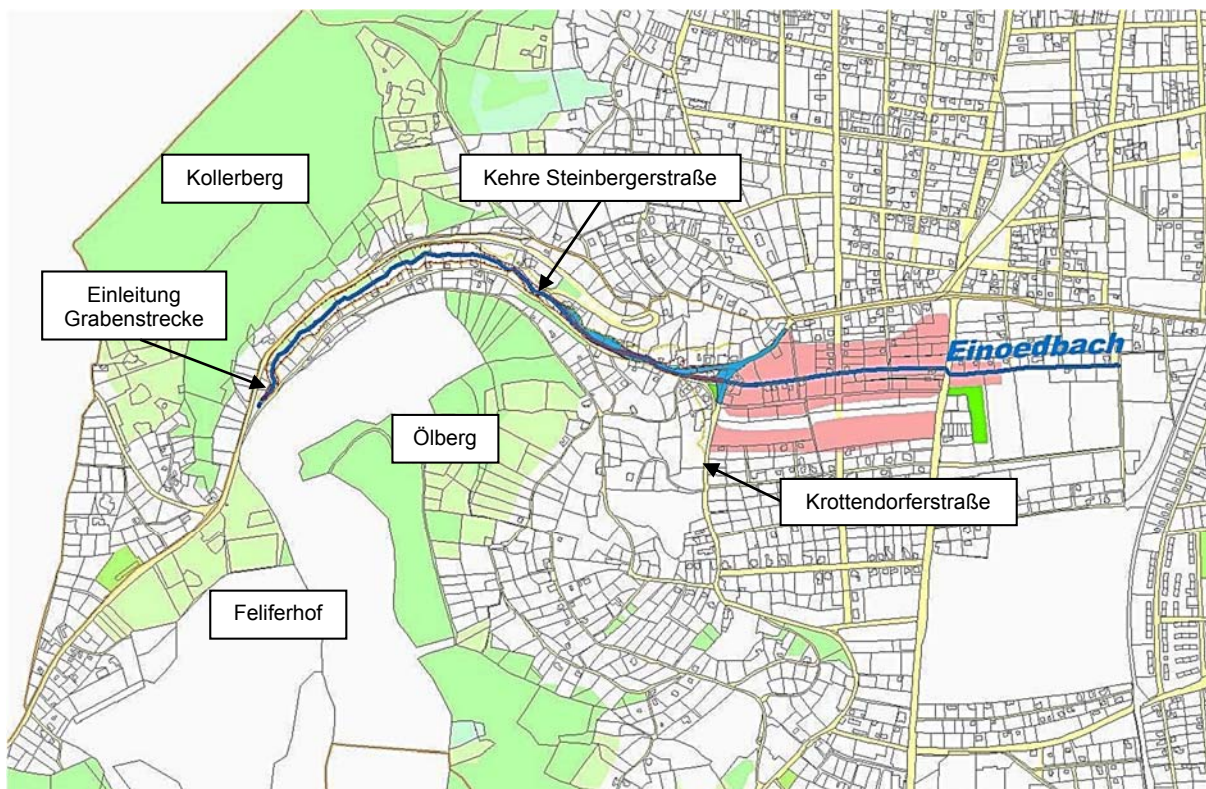
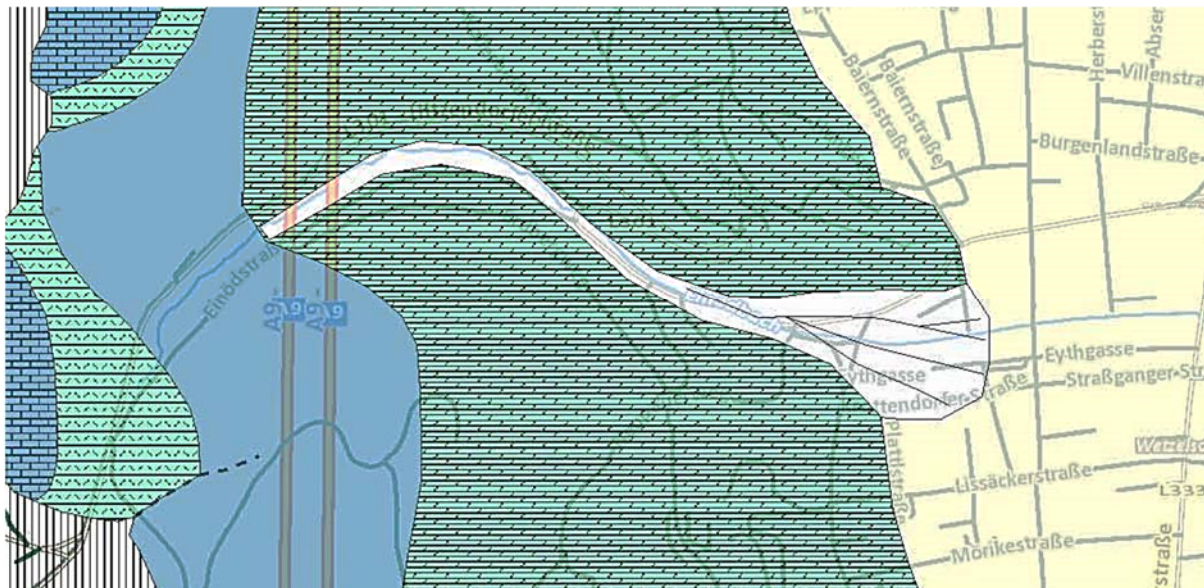


Abbildung 15: Lageplan Einödbach (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012)

## 4.2 Geologie

Im Oberlauf des Einödbaches finden sich im Bereich Feliferhof Ton/Sand/Kies-Wechselfolgen. Diese sind gekennzeichnet durch eine Wechselfolge von schlecht sortierten, lehmig-tonigen Kiesen bis Gerölltonen, schluffigen Sanden und mächtigen Ton/Schluff Zwischenlagen. Dieser Wechsel von wasserdurchlässigen und wasserstauenden Schichten kann in Verbindung mit größeren Hangneigungen zu Rutschungen führen. Zwischen Kollerberg und Ölberg trifft man örtlich unterschiedliche Schichten an. Diese umfassen den Kanzelkalk (neigt zur Verkarstung, standfest, Mächtigkeit zwischen 50 und 150 Meter), Barrandeikalk (neigt stark zur Verkarstung, daher auch wasserwegig, Mächtigkeit um die 80 Meter), Mitteldevondolomit (hohe Tragfähigkeit, Mächtigkeit ca. 20 bis 30 Meter) und die Dolomitsandsteinfole (hohe Tragfähigkeit). Die Dolomitsandsteinfole wird in wechselnder Mächtigkeit von Hangschutt und quartären Alluvionen überdeckt. Abbildung 16 gibt einen Überblick über die am Einödbach anzutreffende Geologie. Abbildung 17 ist die dazugehörige Legende (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).



**Abbildung 16: Übersicht Geologie Einödbach (GIS - Steiermark - Geologie & Geotechnik, 2013b)**

Legende Geologie Einödbach	
	Barrande-Schichten: dunkle, fossilreiche Bankkalk, örtliche Einschaltungen von Tonschiefer
	Kanzelkalk
	Helle und dunkelgraue Dolomite
	Mitteldevondolomit: dunkelgraue Dolomite
	Loßlehme, Lehme
	Tiefgründige Bodenbildung
	Niederterrasse

**Abbildung 17: Legende Übersicht Geologie Einödbach (GIS - Steiermark - Geologie & Geotechnik, 2013b)**



### 4.3 Klima

Klimatisch gesehen befindet sich das ca. 1,0 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Einödbaches in der Übergangszone zwischen der Klimaregion Westliche Grazer Bucht (A.4 Riedelland westlich von Graz) und der Klimaregion Grazer Feld (A.12 Grazer Feld mit unterem Kainachtal). Charakteristisch gesehen sind diese Klimabereiche sommerwarm mit einer hohen Anzahl an Gewittern. Im Schnitt werden pro Jahr 40-50 Tage mit Gewittern registriert. Die Winter sind mild, was sich in Schneearmut äußert. Insgesamt entsprechen diese Eigenschaften einem kontinental geprägten Klima (vgl. Kapitel 3.1). Abbildung 18 zeigt den Einödbach und die sich in diesem Bereich befindlichen Klimazonen (Land Steiermark, 2013).



Abbildung 18: Übersicht Klimazonen Einödbach (GIS - Steiermark - Klima, 2012)

#### 4.4 Ursprüngliche Abflusssituation

Da der Einödbach keinen Vorfluter zur Mur besitzt, versickerte er vor den durchgeführten Hochwasserschutzmaßnahmen im Grazer Feld bzw. mündete in den öffentlichen Kanal der Stadt Graz. Durch den Bau des Plabutschtunnels kam es zu einer Änderung des Grund- bzw. Hangwasserzuges. Seitdem führt der Einödbach in den Sommermonaten meist kein Wasser und ist völlig ausgetrocknet. Hochwasser bilden sich ausschließlich durch kurze, konvektive Starkregenereignisse die mit einem hohen Anstiegsgradienten ablaufen (Wildbach- und Lawinerverbauung, 2007).

Im Bereich des Feliferhofes im Oberlauf wurden die Niederschlagswasser in Straßenentwässerungsgräben gesammelt und in die Grabenstrecke eingeleitet. Die Grabenstrecke konnte nicht barrierefrei durchflossen werden, da seitens der Bevölkerung örtlich immer wieder Schutt, Erdaushübe und Geröll eingebracht wurde. Ab dem Grabenausgang bei der Kehre Steinbergerstraße glich das Bachbett einem Straßengraben. Dieser ist in Abbildung 19 abgebildet. Man erkennt die stark eingeeengten Platzverhältnisse, die fehlende Begleitvegetation und eine Hauszufahrt, welche den bereits kleinen Querschnitt noch weiter einengt. Zusätzlich waren noch lokal seitens der Anrainer hart verbaute Ufersicherungen anzutreffen (Wildbach- und Lawinerverbauung, 2007).



**Abbildung 19: Ursprünglicher Bachverlauf unterhalb der Steinbergerstraße – Blickrichtung bachab (Sackl, 2006)**



Ab der Querung mit der Krottendorferstraße verlief das Gerinne in einem wesentlich kleineren Querschnitt und gegenüber dem Vorland in erhöhter Lage (Abbildung 20) (Wasserland Steiermark, 2007).



**Abbildung 20: Ursprünglicher Bachverlauf ab der Krottendorferstraße – Blickrichtung bachab (Sackl, 2006)**

Die anschließende Straßgangerstraße wurde mittels zwei DN 500 Rohren durchquert. Dadurch verkleinerte sich das Abflussprofil abermals. Alle in diesen Bereich ankommenden Abflüsse versickerten anschließend entweder auf der in Abbildung 21 erkennbaren Grünfläche oder mündeten in den etwas weiter östlich gelegenen öffentlichen Kanal (Wasserland Steiermark, 2007).



**Abbildung 21: Ursprünglicher Bachverlauf - Versickerungsbereich (Sackl, 2006)**



#### 4.5 Hochwasserereignisse 2005

Am Einödbach kam es aufgrund des fehlenden Vorfluters zu Mur und der dichten Bebauung im Unterlauf nach kurzen konvektiven Niederschlägen wiederholt zu Überflutungen, welche meist große Schäden mit sich brachten. Im Oberlauf, speziell in der Grabenstrecke, kam es wiederholt zu lokalen Hangrutschungen (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).

Am 26. Juli 2005 zeigte ein schweres Sommergewitter die sehr begrenzte Wasserführungsfähigkeit des Einödbaches auf. Weitreichende Überflutungen waren die Folge. Keller und Eingangsbereiche standen unter Wasser, Straßen wurden gesperrt. Bachab der Steinbergerstraße kam es zu schweren Schäden im Bachbett (Abbildung 22). Fast alle Brücken zwischen der Krottendorferstraße und der Straßgangerstraße waren verkleist, wodurch es in diesem Bereich links- und rechtsufrig zu starken Ausuferungen kam (Abbildung 23). Die bis auf die Grünfläche bachab der Straßgangerstraße gelangenden Abflüsse drangen bis zur Schererstraße vor und wurden von den dortigen Straßeneinlaufschächten aufgenommen. Der Rest versickerte auf der Grünfläche (Abbildung 24) (Hydroconsult, 2005).

Am 21. August 2005 trat der Einödbach abermals über die Ufer. Die Ausuferungen waren aber weitaus geringer als noch vor gut einem Monat. Hauptsächlich betroffen war der Bereich bachab der Krottendorferstraße bis zur Straßgangerstraße. Beide Ereignisse wiesen eine Jährlichkeit von  $\leq \text{HQ}_{10}$  auf (Hydroconsult, 2005).



Abbildung 22: Brücke Josef-Schwarz-Weg, Blick bachauf, Anlandungen (Hydroconsult, 2005)



**Abbildung 23: Siedlung Nikolaus-Schönbacher Straße, 26.07.2005 (Hydroconsult, 2005)**



**Abbildung 24: Bereich Schererpark, 26.07.2005 (Hydroconsult, 2005)**

## 4.6 Hydrologie

Die für die hydraulische Berechnung notwendigen n-jährlichen Spitzenabflusswerte wurden in Abstimmung mit der Hydrografischen Landesabteilung aus der „Abflussuntersuchung Grazer Bäche“ (Hydroconsult, 1997) entnommen. Laut dieser beträgt der 150-jährliche Spitzenabfluss am Einödbach  $8,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , mit einer maximalen Geschiebefracht von  $1500 \text{ m}^3$ . Der 100-jährliche Spitzenabfluss beträgt  $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , der 30-jährliche  $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Für die Dimensionierung des 30-jährlichen Hochwasserschutzes wurde der Spitzenabflusswert von  $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$  auf  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  aufgerundet. Der Basisabfluss am Beginn eines Hochwassers wurde aufgrund der seltenen Wasserführung am Einödbach vernachlässigt und mit 0 angenommen. Als Standardganglinienform wurde eine nach Mendel/Sackl angenommen (Parameter  $a = 1,2$ ,  $m = 0,877$ , Abtrennungsfaktor 15, Abtrennungskriterium  $y_e = 0,03$ ,  $T_{\max} = 5$ ,  $V_s = 1,5$ ). Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die n-jährlichen Spitzenabflusswerte am Einödbach (Hydroconsult, 2005, BA1).

**Tabelle 2: Übersicht n-jährliche Spitzenabflusswerte Einödbach**

n-jährliche Spitzenabflusswerte	
HQ <sub>30</sub>	5,0 m <sup>3</sup> /s
HQ <sub>100</sub>	7,0 m <sup>3</sup> /s
HQ <sub>150</sub>	8,0 m <sup>3</sup> /s

## 4.7 Bachausbau 2005 – 2011

Die zwei schweren Hochwasserereignisse aus dem Jahr 2005 gaben Anlass für die Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes für den Einödbach. Ziel war es einen maximalen Schutzgrad für die dortigen Siedlungsgebiete zu erreichen und das Schadenspotential bestmöglich einzudämmen. Als Grundlage der Planungsphase diente die Abflussuntersuchung Grazer Bäche (Hydroconsult, 1997). Aufgrund des kleinen Bachquerschnittes im Unterlauf waren hier bestehende Objekte bereits bei  $\leq \text{HQ}_{10}$  hochwassergefährdet. Laut Gefahrenzonenplan fielen vor der Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen in die (Hydroconsult, 2005, BA1):

- Rote Gefahrenzone:
  - 13 Gebäude
  - 871 m Landstraße
  - 26 m Gemeindestraße
- Gelbe Gefahrenzone:
  - 59 Gebäude
  - 58 m Landesstraße
  - 372 m Gemeindestraße

*„Die Rote Gefahrenzone umfaßt jene Flächen, die durch Wildbäche oder Lawinen derart gefährdet sind, daß ihre ständige Benützung für Siedlungs- und Verkehrszwecke wegen der voraussichtlichen Schadenswirkungen des Bemessungsereignisses oder der Häufigkeit der Gefährdung nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist“* (Bundeskanzleramt, Rechtsinformationssystem, 2013). Dies bedeutet ein striktes Bauverbot für Neubauten. Bestehende Objekte müssen zur Erhöhung der Sicherheit modernisiert werden. Generell wird aber ein Abzug aus der Roten Gefahrenzone empfohlen (Lebensministerium.at, 2013).

*„Die Gelbe Gefahrenzone umfaßt alle übrigen durch Wildbäche oder Lawinen gefährdeten Flächen, deren ständige Benützung für Siedlungs- oder Verkehrszwecke infolge dieser Gefährdung beeinträchtigt ist“* (Bundeskanzleramt, Rechtsinformationssystem, 2013). Somit ist eine Bebauung in der Gelben Gefahrenzone unter Einhaltung von diversen Auflagen zulässig (Lebensministerium.at, 2013).

Es wurde eine Variantenstudie mit drei verschiedenen Varianten durchgeführt.

Variante A sieht die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens im Oberlauf im Bereich des Grabens vor. Aufgrund der sehr steilen, rutschungsanfälligen Grabeneinänge und der ungünstigen Geländeform (V-Form) wurde aus Kostengründen von dieser Variante abgesehen (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).

Variante B schlägt einen Anschluss des Einödbaches zur Mur vor. Aufgrund der großen Entfernung von etwa 2,5 km in Kombination mit dem ebenen Talboden und der hohen Bebauungsdichte wurde diese Variante als völlig unrealistisch fallen gelassen (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).

Variante C sieht die Errichtung eines Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens im Bereich des Schererparkes vor. Der gegenüber dem Vorland aufgedämmte Gewässerabschnitt zwischen der Krottendorferstraße und der Straßgangerstraße wird in ein neues Bachbett verlegt. Die Brücken in diesem Bereich sollen ebenfalls neu errichtet werden. Der Abschnitt zwischen der Krottendorferstraße und der Kehre mit der Steinbergerstraße soll ausgebaut werden. Am Grabenausgang soll zusätzlich eine Geschiebesperre errichtet werden. Der Grabenabschnitt selbst soll ökologisch bestmöglich ausgebaut werden (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).

Nach Betrachtung aller Varianten stellt Variante C die wirtschaftlichste und gleichzeitig jene mit dem optimalsten Schutzgrad für die Bevölkerung dar. Es wurde daher auch zugunsten dieser entschieden. Grundlage hierfür bot das „Sachprogramm Grazer Bäche“ (vgl. Kap. 3.4). Seitens der Planung wurde das erarbeitete Konzept in drei Bauabschnitte eingeteilt. Die Gesamtkosten betragen um die 4,0 Mio. € und wurden vom Bund, Land und der Stadt Graz getragen (Hydroconsult, 2005, BA1).



- 1.BA - Kosten ca. 1,5 Mio.€
  - 1 x Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken
  - 1 x Durchlass unter der Straßgangerstraße
- 2.BA - Kosten ca. 0,5 Mio.€
  - 0,5 km Linearausbau neu
  - Durchlass unter der Krottendorferstraße
- 3.BA - Kosten ca. 2,0 Mio.€
  - 1 x Geschieberückhaltesperre
  - 0,7 km Linearausbau
  - 1,0 km ökologischer Ausbau

Nach der Umsetzung dieser Hochwasserschutzmaßnahmen liegt kein umliegender Bereich mehr in die Rote Gefahrenzone. Aufgrund der örtlichen Gegebenheit konnte kein durchgehender 100-jährlicher Hochwasserschutz umgesetzt werden. So kann das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken infolge der geringen Sickerleistung des Untergrundes und der beengten Platzverhältnisse maximal ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit von  $\leq \text{HQ}_{30}$  aufnehmen. Folglich wurde der neue 0,5 km lange Linearausbau, welcher den Zulauf in das Becken darstellt, ebenfalls auf ein  $\text{HQ}_{30}$  ausgebaut. Alles über einem  $\text{HQ}_{30}$  soll wie bisher im Bereich der Steinbergerstraße ausufern. Dies erfolgt über eine entsprechende Verengung des Querschnittes beim Durchlass Steinbergerstraße und zusätzlich durch eine Tauchwand beim Durchlass Krottendorferstraße. Somit soll sichergestellt werden, dass keine Wassermassen  $\geq \text{HQ}_{30}$  in das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken gelangen. Der übrige Bachverlauf oberhalb des Bereiches Steinbergerstraße wurde auf das angestrebte  $\text{HQ}_{100}$  ausgebaut (Hydroconsult, 2006, BA2).

#### 4.7.1 Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken

Das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken wurde als erstes vom geplanten Hochwasserschutzkonzept am Einödbach umgesetzt. Die Planung wurde vom Büro Hydroconsult GmbH mit Sitz in Graz/Andritz im Auftrag der Stadt Graz übernommen. Ziel war es einen maximalen Schutzgrad für die bebauten Gebiete im Bereich des Schererparkes zu erreichen und gleichzeitig einen städtischen Naherholungsraum mit einer Park- und Erholungsfläche zu schaffen. Aufgrund des fehlenden Platzbedarfes und der geologischen Gegebenheiten kann für die Hochwasserrückhalte- und Versickerungsanlage nur ein Hochwasserschutzgrad bis zu einem HQ<sub>30</sub> gewährleistet werden. Die Anlage wurde Ende 2007 fertiggestellt. Die Hauptdaten des Beckens sind in Tabelle 3 aufgelistet (Hydroconsult, 2005, BA1).

**Tabelle 3: Hauptdaten des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens (Hydroconsult 2005)**

Hauptdaten Becken	
Gesamtfläche (bei 361,00 müA)	7520 m <sup>2</sup>
Maximaler Wasserstand	361,0 müA
Stauziel	360,7 müA
Freibord	30 cm
Maximale Wassertiefe	3,0 m
Beckenvolumen (bei 361,00 müA inkl. Hohlraumvolumen Schotter)	14380 m <sup>3</sup>
Beckenvolumen (bei 360,70 müA inkl. Hohlraumvolumen Schotter)	12169 m <sup>3</sup>
Hohlraumvolumen Schotter	3000 m <sup>3</sup>

Die Besonderheit des Beckens beruht auf seiner Funktion als Rückhalte- und Versickerungsbecken in einem. Um die erforderliche Sickerleistung zu gewährleisten wurde vorab die Sickerfähigkeit des anstehenden Bodens von der Material- und Bodenprüfstelle des Landes Steiermark ermittelt. Es wurden zwei Versickerungsschürfe hergestellt. Der daraus erkundete Bodenaufbau ist in Tabelle 4 angeführt (Hydroconsult, 2005, BA1).

**Tabelle 4: Ursprünglicher Aufbau des Bodens - Schererpark (Schönstein, 2005)**

Tiefe	Bodenart
0,0 – 0,8 m	Anschüttung, Schluff, sandig, braun, Ziegelreste
0,8 – 2,0 m	Kies, sandig, gering schluffig, braun, teils verlehmt, Rundkörner
2,0 – 2,8 m	Kies, sandig, grau, Rundkörner

Die Versickerungsrate ergab sich im grauen, sandigen Kies, in einer Tiefe von 2,0 – 2,8 m, mit 0,1 l/sm<sup>2</sup>. Der darüber liegende gering schluffige, braune Kies erzielte aufgrund seiner teilweisen Verlehmung eine deutlich geringere Versickerungsrate. Um eine konstante Sickerleistung zu garantieren, müssen alle für die Versickerung vorgesehenen Flächen auf der grauen Kiesschicht in 2,0 m Tiefe gründen (Hydroconsult, 2005, BA1).

Das Becken ist in drei Hauptebenen gegliedert. Ebene 1 unterteilt sich in einen 36 m<sup>2</sup> großen Einlaufbereich und eine 428 m<sup>2</sup> große Schotterfläche in Form einer Ellipse. Der 36 m<sup>2</sup> große Einlaufbereich ist der tiefste Punkt im Becken und kommt auf einer Höhe von 358,0 müA zu liegen. Die 428 m<sup>2</sup> große Schotterfläche der Ebene 1 befindet sich auf einer Höhe von 358,7 müA. Das Gefälle zwischen den beiden Flächen wurde mit 10 % ausgeführt. Ebene 1 wird im Hochwasserfall als erstes überflutet. Anschließend gelangt das Wasser auf die 2461 m<sup>2</sup> große Schotterfläche der Ebene 2. Diese befindet sich auf 359,20 müA. Der Übergang zwischen den beiden Ebenen erfolgt über eine Gabione. Die anschließende Ebene 3 wurde als 1375 m<sup>2</sup> große Grünfläche ausgeführt und befindet sich auf einer Höhe von 360,0 müA. Der Übergang zwischen Ebene 2 und Ebene 3 wurde mit einem Gefälle von 4-6 % ausgeführt. Das Becken und die jeweiligen Ebenen sind in Abbildung 25 schematisch dargestellt (Hydroconsult, 2005, BA1).



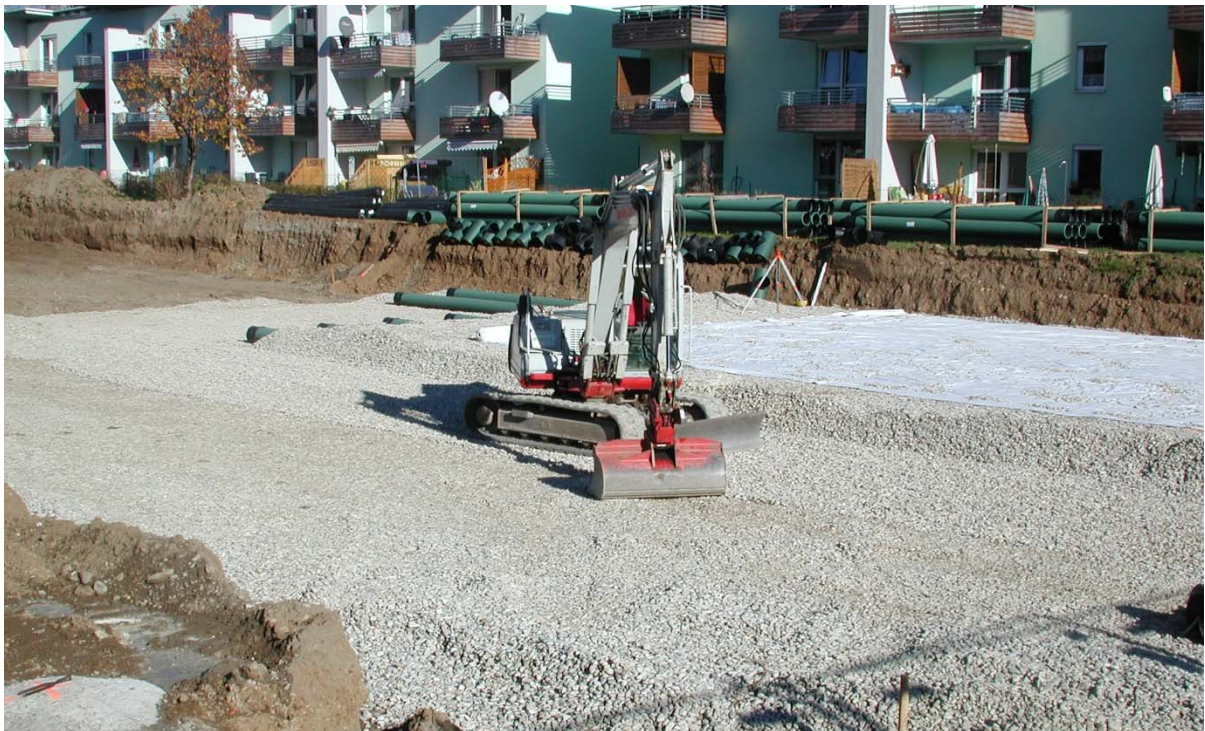
Abbildung 25: Luftaufnahme des Beckens (Stadt Graz, 2014)



Wie in Abbildung 25 zu erkennen ist, wurden die Ebene 1 und 2 als freie Schotterflächen mit einer Körnung von 16/32 ausgeführt. Sie gründen auf der grauen Kiesschicht in 2,0 m Tiefe. Dadurch kann ein  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s sichergestellt werden. Unter dem sich aufgrund der Mehrzwecknutzung befindlichen Beachvolleyballplatz der Ebene 2 wurde ein Drainagevlies verlegt. Dieses soll eine Einschwemmung des Sandes in den gut durchlässigen grauen Schotter verhindern. Um die Grünfläche der Ebene 3 ebenfalls für die Versickerung nutzen zu können, wurde ein Sickerrohrsystem situiert, bestehend aus:

- 18 x DN 300 in Richtung Nord-Süd (Längsrichtung)
- Rohrabstand 1,5 m
- Durchschnittslänge 66,5 m
- 18 x Wassereinläufe auf Schachtaufsetzrohren DN 300
- 3 x DN 300 in Querrichtung
- Gesamtlänge Rohre 1240 m

Das gesamte System wurde in einem 0,5 m starken Schotterkörper eingebaut (Abbildung 26). Das Wasser gelangt über 18 Wassereinläufe im Norden in das Rohrsystem, verteilt sich und wird umgehend zur Versickerung gebracht. Für die Wartung wurden am südlichen Ende des Systems übererdete Blindschächte bzw. Lüftungsschächte angeordnet. Diese ermöglichen eine einfachere Spülung und Reinigung (Hydroconsult, 2005, BA1).



**Abbildung 26: Bau des unterirdisch verlegten Rohrrigolensystem (Hydroconsult, 2005, BA1)**

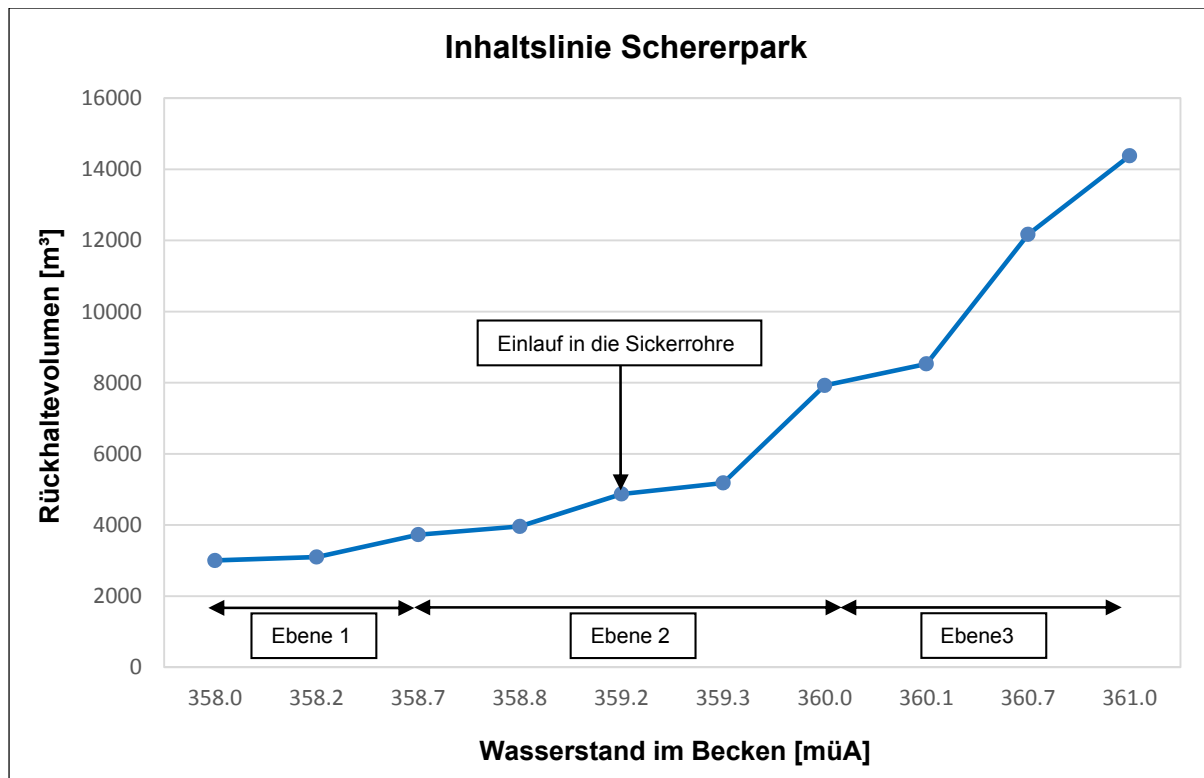
#### 4.7.1.1 Berechnung der Inhaltslinie und der Versickerungskapazität

Wie bereits erwähnt beruht die Funktion des Beckens auf seiner Sickerleistung. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse kann nur eine begrenzte Wassermenge gespeichert werden. Für die Berechnung des Rückhaltevolumens wurden 1/3 vom Volumen des Hohlraumanteils des verbauten Schotterkörpers, mit einer Körnung von 16/32, in Rechnung gestellt. Es wird angenommen, dass zu Beginn eines Ereignisses 3000 m<sup>3</sup> Porenvolumen sofort für die Versickerung zur Verfügung stehen (Tabelle 5 – Zeile 1). Der  $k_f$ -Wert des anstehenden Bodens von  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s wird erst nach der vollständigen Auffüllung des Hohlraumvolumens wirksam. Die Inhaltslinie des Beckens ergibt sich wie folgt (Hydroconsult, 2005, BA1):

**Tabelle 5: Berechnung der Inhaltslinie (Hydroconsult, 2005, BA1)**

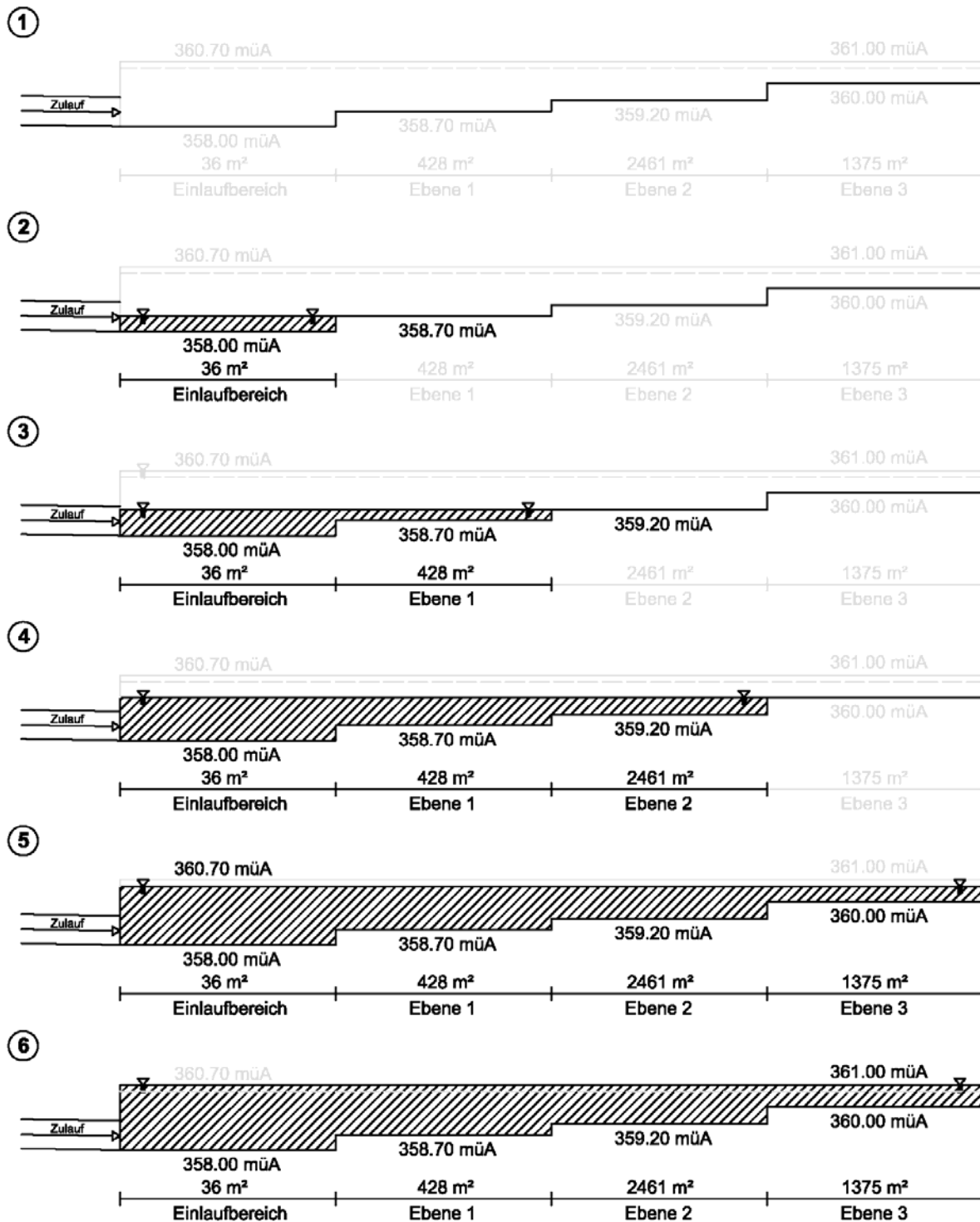
W [müA]	V [m <sup>3</sup> ]	Anmerkung
358,0	3000	Porenvolumen Schotter $k_f \gg 1 \cdot 10^{-4}$
358,2	3097	
358,7	3727	
358,8	3959	
359,2	4871	Ebene der größten Schotterfläche, Einlauf Sickerrohre
359,3	5181	
360,0	7923	Ebene der erweiterten Grünfläche
360,1	8528	
360,7	12169	Stauziel
361,0	14380	Umlaufende Dammkrone / maximaler Wasserstand

Tabelle 5 listet den Wasserstand im Becken (Spalte 1) mit dem dazugehörigen Beckenvolumen (Spalte 2) auf. Zeile 1 betrachtet den Einlaufbereich (Höhe 358.0 müA). Der grafische Verlauf der Inhaltslinie ist in Abbildung 27 dargestellt. Die Inhaltslinie verläuft bis zum Anspringen des Sickerrohrsystems relativ flach, da zuerst die Ebene 1 überströmt und bis zum Überlauf auf die Ebene 2 eingestaut wird. Im Anschluss wird die Ebene 2 überströmt und bis zum Überlauf auf die Ebene 3 eingestaut. Sobald auch die Ebene 3 vollkommen überströmt ist, beginnt der Einstau des gesamten Beckens (Abbildung 28). Bis zu diesem Zeitpunkt stehen etwa 8000 m<sup>3</sup> an Rückhaltevolumen zu Verfügung. Das Becken erreicht sein Maximum bei einer Wasserstandshöhe von 3 m, einer geometrischen Höhe von 361.0 müA und einem Rückhaltevolumen von 14380 m<sup>3</sup>.



**Abbildung 27: Inhaltlinie / Rückhaltevolumen Schererpark (Hydroconsult, 2005, BA1)**

Abbildung 28 zeigt den zeitlichen Verlauf des Einstaus in das Becken. Die am Rand angeordneten Zahlen 1–6 symbolisieren die jeweiligen Überströmungs- bzw. Stauschritte. Zu Beginn eines Ereignisses befinden wir uns bei Schritt 1, bei maximalen Einstau in das Becken bei Schritt 6. Alle dunkel dargestellten Flächen bzw. Linien stellen die bereits mit Wasser eingestauten Bereiche dar. Alle grau hinterlegten stehen hierfür noch zur Verfügung. Die bei Schritt 1 erkennbare dunkle Linie stellt die stufenförmige Geländeoberkante des Beckens dar. Die geometrische Höhe der Ebene ist darunter angeführt. Auf der horizontalen Beschriftungsachse befinden sich der Name der Ebene und die dazugehörige Fläche. Der sich einstellende Rückstau im Zulauf ist in dieser Abbildung nicht mit berücksichtigt. Alle in der Grafik angegebenen Werte beziehen sich auf jene lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1).



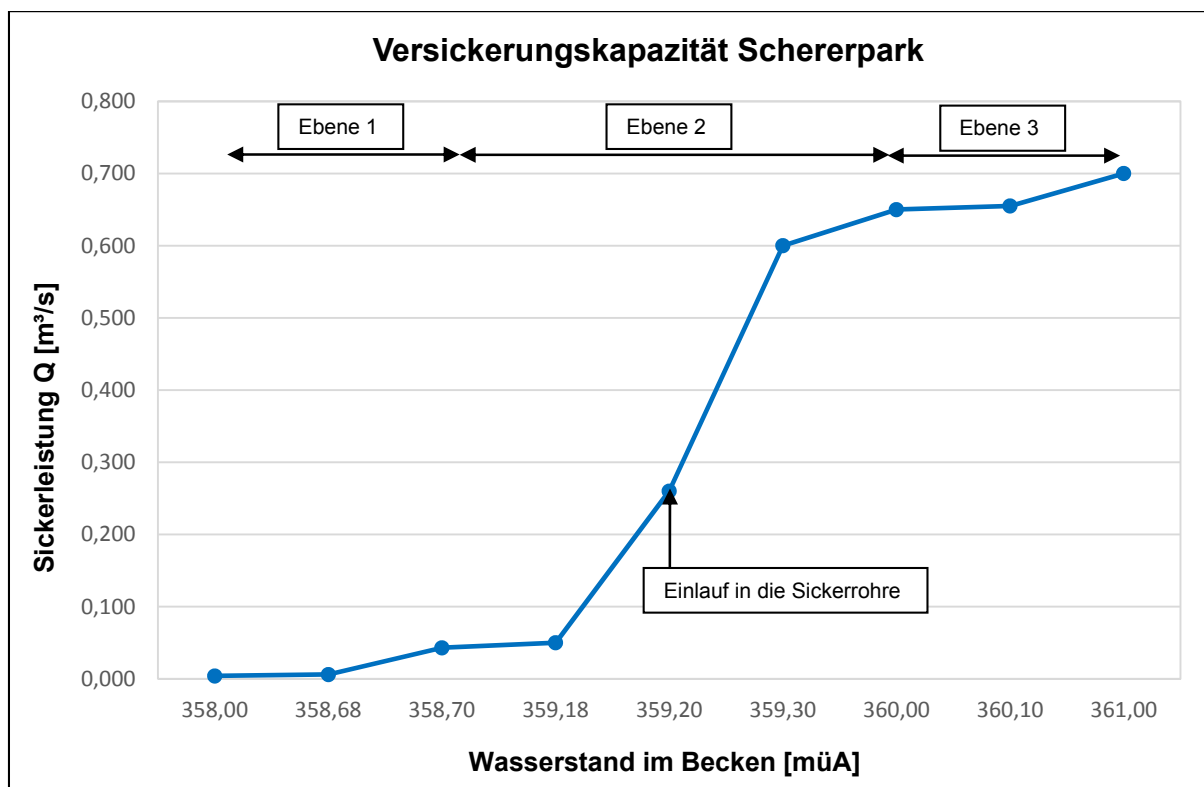
**Abbildung 28: Übersicht zeitlicher Einstau in das Becken**

Für die Versickerungskapazität des Beckens wurden folgende Sickerleistungen in Abhängigkeit der jeweiligen Wasserstandshöhen angesetzt (Tabelle 6). Aufgrund des steigenden Wasserstandes und der daraus resultierenden zunehmenden Druckhöhe kommt es mit steigendem Wasserstand zu einer höheren Versickerungsleistung (Hydroconsult, 2005, BA1).

**Tabelle 6: Berechnung der Versickerungskapazität (Hydroconsult, 2005, BA1)**

W [müA]	Q [m³/s]	Anmerkung
358,0	0,004	
358,68	0,006	
358,7	0,043	
359,18	0,050	
359,2	0,260	Ebene der größten Schotterfläche, Einlauf Sickerrohre
359,3	0,600	
360,0	0,650	Ebene der erweiterten Grünfläche
360,1	0,655	
361,0	0,700	Umlaufende Dammkrone

Abbildung 29 zeigt den grafischen Verlauf der angenommenen Versickerungskapazität im Becken. Die Sickerleistung ist nach dem Anspringen der Sickerrohre aufgrund der höheren Druckhöhe größer als zu Beginn. Die Sickerleistung bei maximalen Einstau ergibt sich zu 0,7 m³/s.

**Abbildung 29: Versickerungskapazität Becken Schererpark (Hydroconsult, 2005, BA1)**



#### 4.7.1.2 Mess- und Warneinrichtungen

Um die Funktionsfähigkeit des Beckens kontinuierlich zu überprüfen und einen Sicherheitsfaktor für die dort lebende Bevölkerung zu schaffen, wurden im Bereich des Beckens mehrere Mess- und Warneinrichtungen situiert. Diese umfassen:

- 1 x Pegelmessschacht Position a - Abbildung 34
- 1 x Niederschlagsmessung Position b - Abbildung 34
- 2 x Signalblitzlichter Position c - Abbildung 34
- 1 x Messkasten zur Auslesung der Daten Position d - Abbildung 34

Der Pegelmessschacht ist im Einlaufbereich der Ebene 1 situiert (Abbildung 30). Er besteht aus einem vertikalen Brunnenrohr (DN200), in welchem sich die Drucksonde befindet und einem horizontalen Verbindungsrohr (DN200) in den Schotterkörper. Bei der Drucksonde handelt es sich um einen Lufteinperlsensor. Dieser ist 320 cm unter der Schachtdeckeloberkante moniert. Der Sensor kann theoretisch einen Messbereich von -320 cm bis 1130 cm abdecken. Um zu verhindern, dass bei einem Hochwasser Feinteile in den Schacht gespült werden, ist der Deckel dicht verschraubt. Folglich kann die Drucksäule nur bis zur Schachtoberkante gemessen werden. Der darüber liegende Einstau wird nicht erfasst. Das Aufzeichnungsintervall beläuft sich auf 1 Minute und wird im Datensammler des Messkastens gespeichert (Stadt Graz, 2010).



Abbildung 30: Pegelmessschacht links und Luftperlsensor rechts (Stadt Graz, 2010)

Die Niederschlagsmessung (Abbildung 31) erfolgt über eine Niederschlagswaage der Firma Ott (Sensortyp Pluvio<sup>2</sup>). Diese ist hinter dem Pegelmessschacht im Einlaufbereich des Beckens in der Ebene 1 situiert. Der Sensor besitzt eine Auffangfläche von 200 cm<sup>2</sup> und ein Fassungsvermögen des Auffangbehälters von 30 Liter. Das Aufzeichnungsintervall beträgt 1 Minute und wird im Datensammler des Messkastens gespeichert (Stadt Graz, 2010).



**Abbildung 31: Niederschlagsmesseinrichtung (Stadt Graz, 2010)**

Um im Becken befindliche Personen rechtzeitig vor einer herannahenden Hochwasserwelle warnen zu können, wurden zwei Signalblitzlichter installiert (Abbildung 32). Diese beginnen in Abhängigkeit der im Pegelmessschacht gemessenen Wasserspiegellagen anfangs gelb und später rot zu leuchten. Gleichzeitig ergeht an die Behörde eine SMS-Nachricht mit der jeweiligen Warnstufe. Diese kann umgehend weitere notwendige Schritte setzen. Im Eingangsbereich des Beckens befinden sich Informationsschilder welche die Farben der Signalblitzlichter erläutern und Verhaltenstipps geben. Bei gelbem Warnlicht sollen Kinder nicht unbeaufsichtigt bleiben und der Wasserstand muss beobachtet werden. Rotes Warnlicht bedeutet akute Überflutungsgefahr und das Becken ist unverzüglich zu verlassen (Stadt Graz, 2010).



**Abbildung 32: Signalblitzlichter im Becken (Stadt Graz, 2010)**

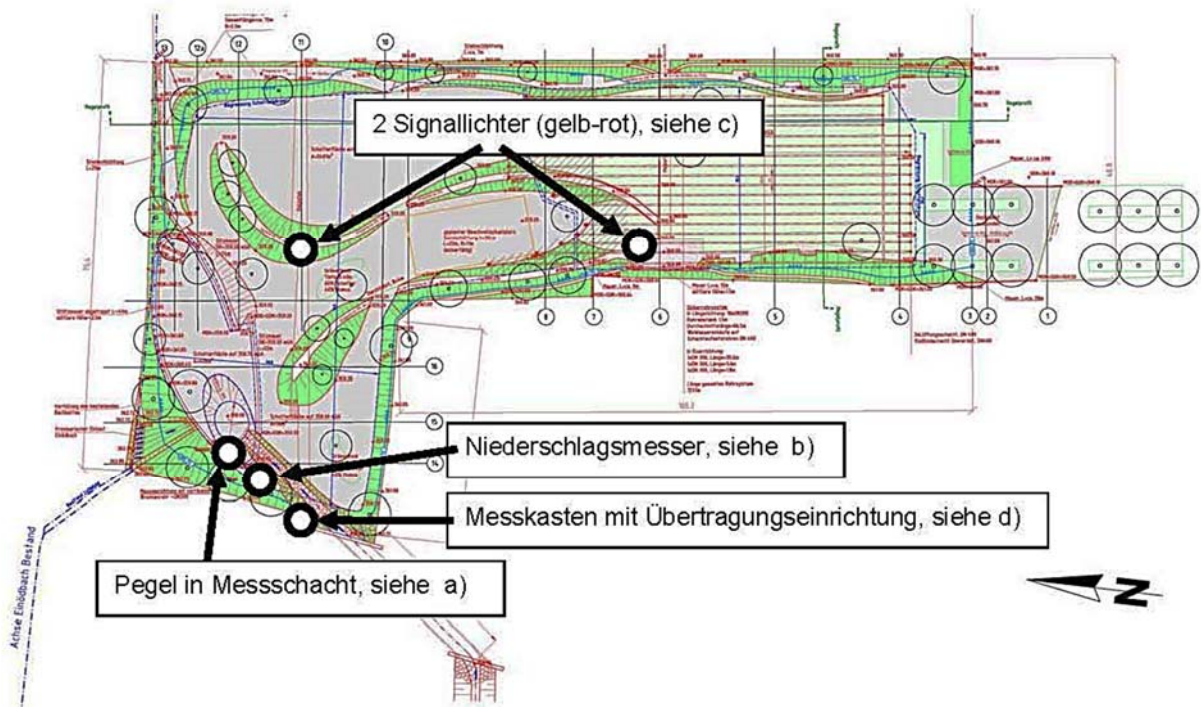


Der sich ebenfalls im Einlaufbereich befindliche Messkasten (Abbildung 33) dient zur Auslesung der Daten und zur Fernübertragung. Er befindet sich in der Ebene 1 auf Höhe der Straßgangerstraße außerhalb des HQ<sub>30</sub> Bereiches, um nicht durch ein Hochwasser beschädigt zu werden. Alle im Becken aufgezeichneten Messwerte werden hier gespeichert und zur Fernübertragung bereitgestellt (Stadt Graz, 2010).



**Abbildung 33: Messkasten (Stadt Graz, 2010)**

Abbildung 34 gibt einen Überblick über die Situierung der sich im Becken befindlichen Mess- und Warneinrichtungen.



**Abbildung 34: Übersicht der Situierung der Mess- und Warneinrichtungen im Becken (Stadt Graz, 2010)**

### 4.7.1.3 Wartung und Zufahrt

Um die Funktionsfähigkeit des Schotterkörpers und des Sickerrohrsystems sicherzustellen, müssen diese in regelmäßigen Abständen gewartet und kontrolliert werden. Im Hochwasserfall werden Schwebstoffe in das Becken eingebracht, welche die Sickerfähigkeit der Schotterkörper und die Leistung der Sickerrohre für nachfolgende Ereignisse negativ beeinflussen können. Um in solchen Fällen nicht die gesamten Schotterkörper tauschen zu müssen, wurde ein Drainagevlies ca. 15 – 20 cm unterhalb der Schotterflächenoberkante verlegt. Somit sind falls erforderlich nur die obersten 20 cm zu tauschen bzw. zu reinigen. Das Sickerrohrsystem kann über die dafür vorgesehenen Lüftungsschächte gereinigt und gespült werden (Stadt Graz, 2010).

Um Wartungsmaßnahmen im Becken durchführen zu können, wurden zwei Zufahrten in das Becken errichtet. Zwei Zu- bzw. Abfahrten waren notwendig, da das Becken aufgrund der geringen Überdeckung der Sickerrohre von nur 10 cm nicht durchgehend befahrbar ist. Im Nordosten des Beckens (Zufahrt 1) stehen zwei und im Süden (Zufahrt 2) eine Zu- bzw. Abfahrt zur Verfügung. Zufahrt 1 führt durch die angrenzende Siedlung, Zufahrt 2 wird über die Schererstraße erreicht. Die Lage der Zufahrten ist in Abbildung 35 dargestellt (Stadt Graz, 2010).

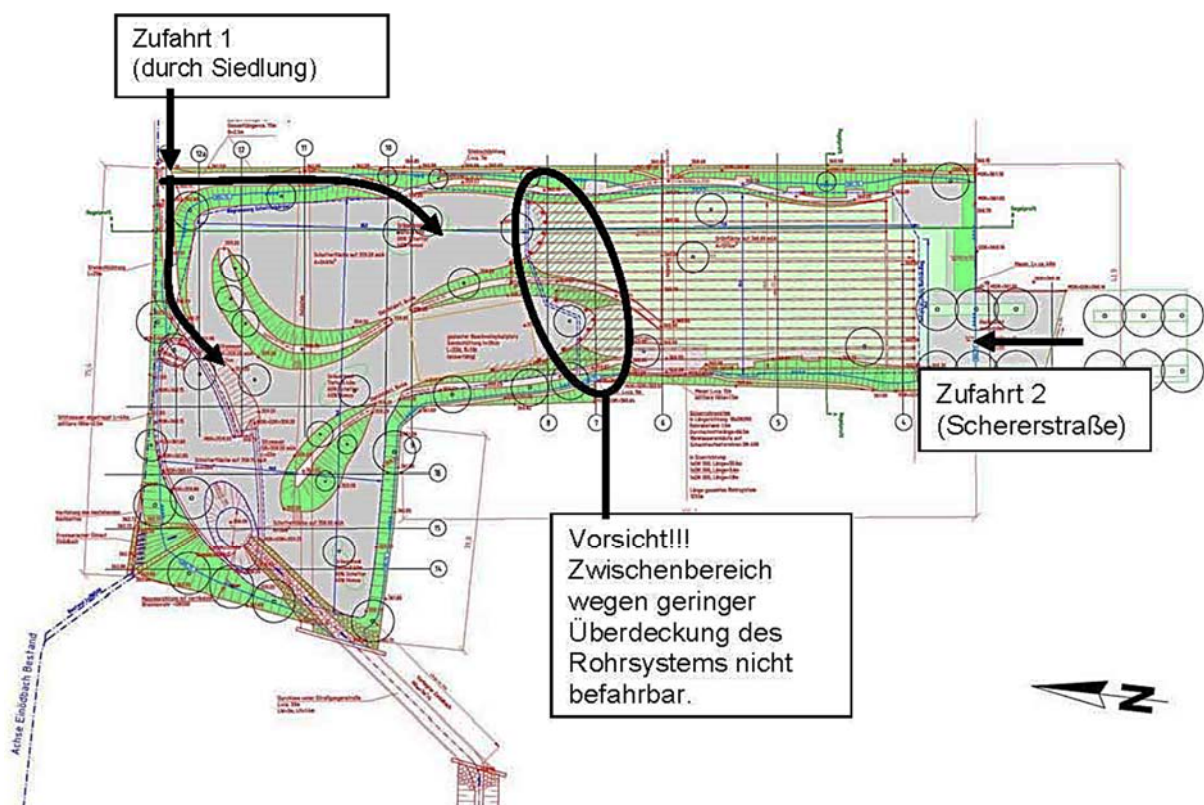


Abbildung 35: Übersicht Zu- bzw. Abfahrten in das Becken (Stadt Graz, 2010)



#### 4.7.2 Gerinneneu- bzw. ausbau

Der Bau der in etwa 0.5 km langen neuen Gerinnestrecke zwischen der Krottendorferstraße und der Straßgangerstraße wurde im Zuge des 2. Bauabschnittes im Jahr 2011 umgesetzt. Die Planung wurde vom Büro Hydroconsult GmbH mit Sitz in Graz/Andritz im Auftrag der Stadt Graz durchgeführt. Der Querschnitt des ursprünglichen Gerinnes bachab der Krottendorferstraße erwies sich als ungeeignet, da der Bach bereits bei Ereignissen  $< HQ_{10}$  an seine Leistungsgrenze stieß. Durch die Verlegung und den gleichzeitigen Neubau wurde das Abflussvermögen des Baches wesentlich erhöht und ermöglicht nun ein kontrolliertes Abfließen von Hochwassern  $\leq HQ_{30}$  in das Rückhalte- und Versickerungsbecken (Hydroconsult, 2006, BA2).

Die neue Gerinnestrecke wird von seinem bisherigen Verlauf ab der Steinbergerstraße weiter südlich zu einem neu errichteten Durchlass unter der Krottendorferstraße und weiter Richtung Straßgangerstraße geführt. Der bisherige Durchlass in das alte Bachbett wurde verfüllt. Im Zuge der Bachverlegung wurden auch zwei Brücken neu errichtet. Es handelt sich um die Brücke Buhrenstraße (Brücke 1) und die Brücke Alois-Kabelka-Weg (Brücke 2). Durch ein Freibord von 30 cm sollen künftig Verklausungen in diesem Bereich vermieden werden. Der neue Bachverlauf und die beiden Brücken sind in Abbildung 36 dargestellt (Hydroconsult, 2006, BA2).

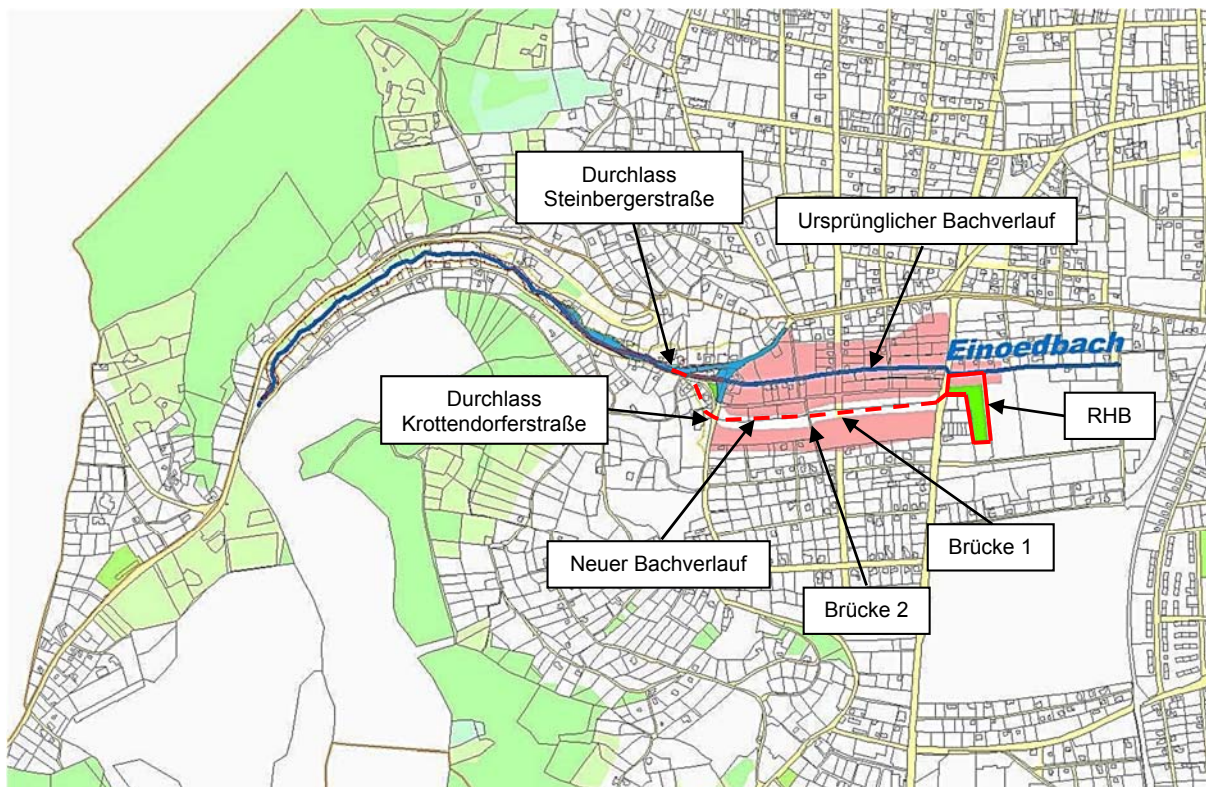


Abbildung 36: Übersicht Bachverlegung BA 2 (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012)

Die neue Gerinnestrecke wurde mit einem Trapezquerschnitt und einer Sohlbreite von etwa 2 m hergestellt. Die Böschungen wurden teils mit Wasserbausteinen gesichert und besitzen eine Neigung von 2:3. Bachauf des neuen Durchlasses unter der Krottendorferstraße (Abbildung 37) wurde die Böschung aufgrund des dort höheren Sohlgefälles und der folglich höherer Schleppspannung mit einer Steinschichtung gesichert. Die Sohle wurde zwischen den Sohlgurten berollt. Der Durchlass ist in Ortbetonweise hergestellt um die hydraulischen Reibungsverluste so gering wie möglich zu halten. Die Länge des Durchlasses beträgt rund 44 m.

Bachauf dem Durchlass unter der Straßgangerstraße wurde bis zur Brücke Buhrenstraße (Brücke 1) auf einer Länge von 211 m ein Sickerschlitz von 1 m Breite einge- zogen. Dieser soll das Becken bei geringer Wasserführung vor Verunreinigungen schützen. Etwa 15 cm unter der Sickerkörperoberkante wurde ein Trennvlies einge- baut, welches den Eintrag von Feinteilen in den Schotterkörper verhindern soll. Bei Wartungsmaßnahmen sind folglich nur die obersten 15 cm des Schotterkörpers zu wechseln bzw. zu reinigen. Für geringe Wasserführungen wurde eine pendelnde Niederwasserrinne errichtet. Dies wurde durch abwechselnd geneigten Sohlgurten im Ab- stand von 25 m und regellos versetzten Wasserbausteinen erreicht (Hydroconsult, 2006, BA2).



**Abbildung 37: Durchlass Krottendorferstraße, Blickrichtung bachauf**

Als Ausbaukriterium für den Bauabschnitt 2 galt das Bemessungskriterium eines  $HQ_{30}$  zuzüglich eines Freibordes von 20 – 30 cm, da das Rückhalte- und Versickerungsbecken maximal ein 30-jährliches Hochwasser aufnehmen kann. Um eine Überlastung des im dicht bebauten Siedlungsgebiet situierten Beckens zu verhindern, wurden zwei Regelorgane installiert um sicherzustellen, dass kein Hochwasser mit einer Jährlichkeit  $> HQ_{30}$  in das Becken gelangt. Als erstes Regelorgan wurde das Einlaufprofil beim Durchlass Steinbergerstraße auf ein  $HQ_{30}$  ( $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) verengt. Als zweites Regelorgan wurde das Einlaufprofil des Durchlasses Krottendorferstraße mit einer Tauchwand versehen. Alle Hochwasser  $> HQ_{30}$  sollen wie bisher bachauf des verengten Durchlasses Steinbergerstraße ausufern und anschließend in den Bereich des alten Bachbettes fließen. Für diesen Bereich ist somit ein vollständiger Schutz bis  $HQ_{30}$  gegeben. Bei größeren Hochwassern ist eine deutliche Verbesserung zu erwarten. Ein 100-jährlicher Hochwasserschutz kann für diesen Bereich nicht erreicht werden (Hydroconsult, 2006, BA2).

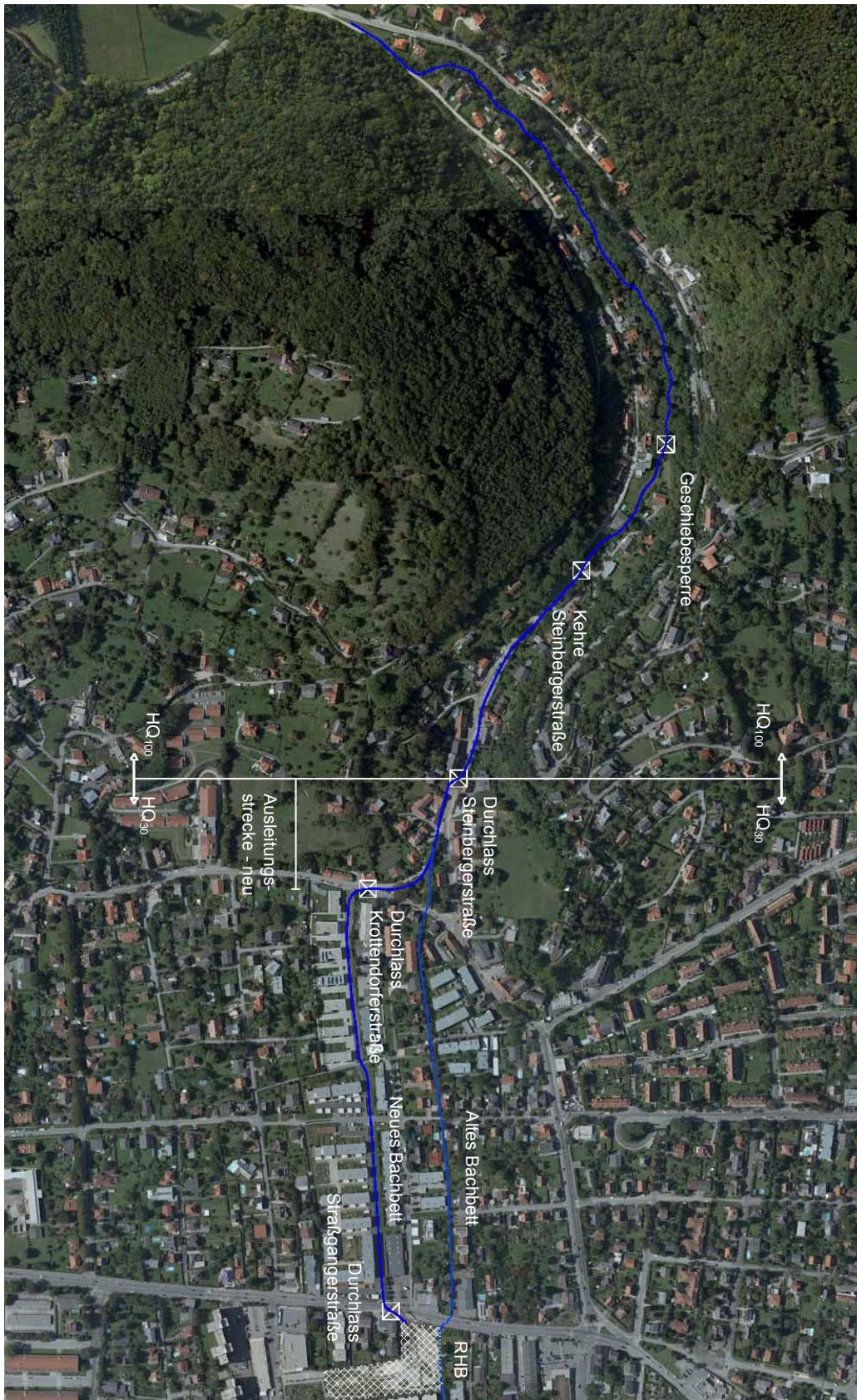
Der neu errichtete Bachabschnitt der Ausleitungsstrecke zur neuen Gerinnestrecke zwischen dem Durchlass unter der Steinbergerstraße und dem Durchlass Krottendorferstraße wurde als Trapezgerinne mit einer rau in Beton verlegten Steinsatzböschung mit einem Gefälle von 5:1 hergestellt. Sohlgurte im Abstand von 10 – 15 cm sollen die offene Sohle in diesem Bereich gegen Eintiefung schützen.

Oberhalb des Durchlasses Steinbergerstraße bis zum Eintrag in die Grabenstrecke wurde das Bachbett auf eine Bemessungsjährlichkeit von  $T_n = 100$  ausgebaut. Zusätzlich wurde ein Freibord von 20 cm eingeplant. Bachauf des Durchlasses unter der Steinbergerstraße wurde das Gerinne in Trapezform und mit offener Sohle errichtet. Sohlgurte in regelmäßigen Abständen sollen eine Unterspülung der seitlichen Sätze verhindern. Diese Baumaßnahmen wurden im Bauabschnitt 3 ausgeführt

In der Grabenstrecke oberhalb der Kehre mit der Steinbergerstraße wurde darauf geachtet, eine möglichst ökologische Bauweise zum Einsatz zu bringen. Dieser Bereich des Einödbaches ist der letzte der eine ökologische Lebensraumfunktion erfüllen kann. Infolgedessen wurden die Uferbereiche einerseits mit Steinsätzen, in deren Fugen Steckhölzer eingebracht wurden, und andererseits mit einwandigen, bepflanzten Holzkrainerwänden gesichert (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).



Abbildung 38 dient als Übersicht der Hochwasserschutzmaßnahmen am Einödbach.



**Abbildung 38: Übersicht Hochwasserschutzmaßnahmen Einödbach (GIS - Steiermark - Gewässer & Wasserinformation, 2013a)**



### 4.7.3 Geschiebesperre

Die Geschiebesperre ist am Ausgang des schluchtartigen Grabens oberhalb der Kehre mit der Steinbergerstraße situiert. Die Geschiebesperre lässt sich als Schlüsselbauwerk bezeichnen, da ihre Aufgabe Wildholz und Geschiebeeinstöße zurückzuhalten essentiell für die Funktionstüchtigkeit des gesamten Hochwasserschutzes am Einödbach ist. Durch sie können Verklausungen, Auflandungen und Ausuferungen im Unterlauf verhindert werden. Infolgedessen senken sich auch Ausgaben für diverse Räumungs- und Erhaltungskosten im Unterlauf.

Die Sperre selbst, in Abbildung 39 ersichtlich, wurde aus Stahlbeton hergestellt und besitzt eine Kronenlänge von 25,7 m. Sie überspannt den gesamten unteren Grabenquerschnitt. Der Rechenabstand des Stahlrechens beträgt 19 cm. Die Sohle der Sperre ist absturzfrei gehalten, um Organismen den Durchgang zu ermöglichen. Die Ufersicherung vor und nach der Sperre wurde mit Steinsatzschichtungen hergestellt. Die Sperre wurde vom forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung im Jahr 2010 errichtet (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007).



Abbildung 39: Geschiebesperre, Blickrichtung bachauf (Egger-Schinnerl, 2010)

## **4.8 Zuständigkeiten**

Die Zuständigkeiten für die Planung, Finanzierung, Errichtung, Erhaltung, Betreuung und Wartung des Gewässers, der Geschieberückhaltesperre und des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens obliegt den drei beteiligten Behörden des Projektes. Im Anschluss werden die Zuständigkeitsbereiche vom Bau bis hin zur Erhaltung bzw. Wartung aufgeschlüsselt.

### **4.8.1 Bundeswasserbauverwaltung Steiermark**

Die Bundeswasserbauverwaltung Steiermark repräsentiert beim Hochwasserschutzkonzept „Einödbach“ gemeinsam mit der Wildbach und Lawinenverbauung die Fördergeber, wobei die Bundeswasserbauverwaltung Steiermark ausschließlich als Fördergeber auftritt.

### **4.8.2 Stadt Graz**

Die Stadt Graz, Abteilung für Grünraum und Gewässer, tritt als Konsensinhaber und Bauherr auf. Ihre Aufgaben umfassen die Begutachtung, Auftragsvergabe, Planung und die Bauüberwachung. Die Stadt Graz trug während der Bauphase die Verantwortung für den Bau des gesamte Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens sowie für den Gerinneneubau ab dem neuen Durchlass unter der Krottendorferstraße bis zum Einlauf in das Becken. Die Krottendorferstraße ist gleichzeitig die Zuständigkeitsgrenze zwischen der Stadt Graz und der Wildbach und Lawinenverbauung.

Da die Stadt Graz Konsensinhaber ist, obliegt sie einer Instandhaltungspflicht. Diese beinhaltet die Betreuung bzw. Wartung des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens und der neuen Gerinnestrecke zwischen Krottendorferstraße und Straßgangerstraße. Ihre Aufgaben umfassen (Hydroconsult, 2005, BA1):

- Betreuung und Überwachung der dortigen Mess- und Warneinrichtungen
- Freihaltung der Schotterflächen im Becken
- Eventueller Austausch der obersten Schotterkörperschicht
- Regelmäßige Wartung und Spülung der Sickerrohre
- Sicherstellung der Funktionalität der Anlage
- Erhaltungsmaßnahmen

### **4.8.3 Wildbach- und Lawinenverbauung**

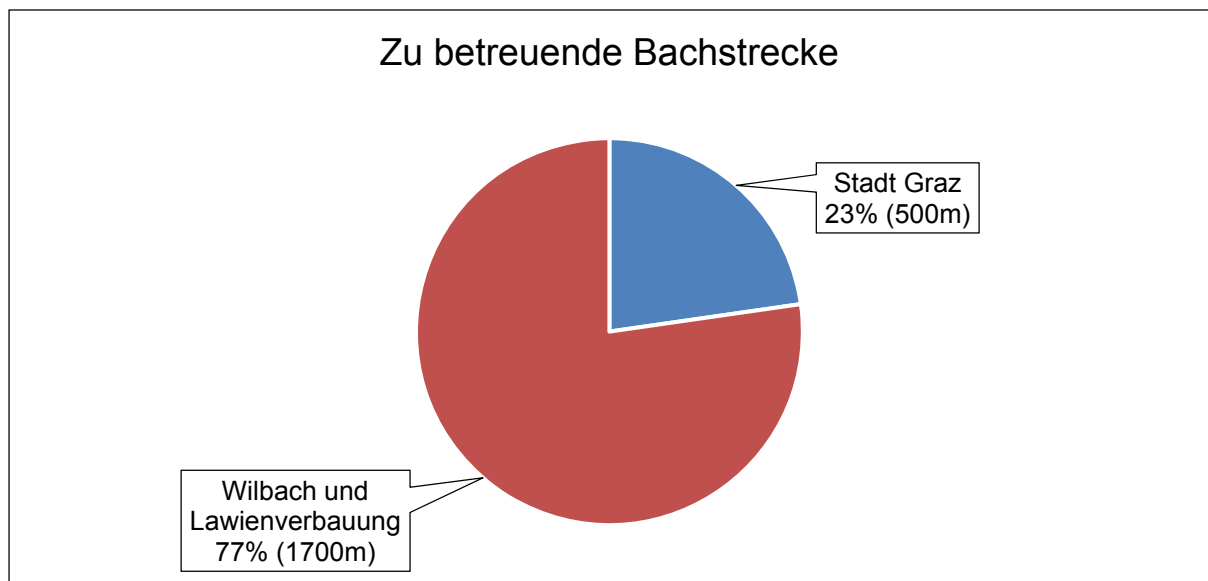
Die Zuständigkeit der Wildbach- und Lawinenverbauung am Einödbach beschränkt sich auf ihren Zuständigkeitsbereich. Dieser betrifft am Einödbach den Abschnitt bachaufwärts der Krottendorferstraße. Während der Bauphase wurden von der Wildbach- und Lawinenverbauung folgende Arbeiten ausgeführt (Wildbach- und Lawinenverbauung, 2007):

- Errichtung des neuen 44 m langen Durchlasses unter der Krottendorferstraße
- ca. 700 m langer Gerinneausbau
- ca. 1 km langer ökologischer Ausbau der Grabenstrecke
- 1 x Geschieberückhaltesperre
- Errichtung von sieben Zufahrtsbrücken für Anrainer

Die Wartungsaufgaben der Wildbach und Lawinenverbauung während des Betriebes:

- Betreuung der Geschiebesperre
- Erhaltungsmaßnahmen
- Sicherstellung der Funktionalität der Anlage

Abbildung 40 stellt die Zuständigkeitsaufteilung in Bezug auf die Bachlänge am Einödbach dar. Die Wildbach- und Lawinenverbauung betreut 77 % (1700 m) und die Stadt Graz 23 % (500 m) des Einödbaches.



**Abbildung 40: Zuständigkeit in Bezug auf die Bachlänge**

## 5 Berechnungen / Methodik

Um das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken auf seine Funktionstauglichkeit hin zu überprüfen, wird das Becken in einem 1-dimensionalen numerischen Modell im Softwareprogramm PCSWMM abgebildet. Als Grundlage dient eines für diese Zwecke von der Stadt Graz zur Verfügung gestelltes, mittels ALS (Airborne Laserscanning) aufgenommenes, Digitales Geländemodell. Eine ebenso wichtige Rolle spielen die zur Verfügung gestellten Messwerte aus dem Becken. Diese umfassen Wasserstandsschacht- und Niederschlagswerte aus dem Becken und Durchflussdaten vom Zulauf. Die Aufbereitung des Digitalen Geländemodelles wird mit dem Softwareprogramm ArcGIS durchgeführt. Die vorhandenen Messwerte werden anschließend mit dem Microsoft Office Programm Excel (Version 2013) tabellarisch erfasst und ausgewertet.

Zu Beginn werden die dafür verwendeten Softwareprogramme aufgelistet und kurz beschrieben. Abschließend werden die Kalibrierungs- und Berechnungsschritte angeführt.

### 5.1 ArcGIS

ArcGIS ist der Oberbegriff für verschiedene GIS-Softwareprodukte der Firma ESRI zum Bearbeiten von Karten und geographischen Informationen. Es ist ein vollständiges System mit welchem geographische Informationen erfasst, organisiert, analysiert, kommuniziert und verteilt werden können. Das kommerzielle Programm ArcGIS wird weltweit in Unternehmen, Verwaltung, Wissenschaft und Lehre eingesetzt. Das Unternehmen ESRI stellt somit ein führendes Produkt für das Erstellen und Verwenden geographischer Informationssysteme bereit (ESRI-Austria, 2014).

ESRI bietet je nach Art der Anwendung mehrere GIS-Softwareprodukte an. Es gibt vier Hauptproduktvarianten welche allesamt mehrere Varianten des Hauptprogrammes beinhalten (Wikipedia®, 2014).

- ArcGIS Desktop
  - ArcView, ArcEditor, ArcInfo, ArcReader, ArcGIS Explorer, ArcGIS Engine
    - ArcCatalog
    - ArcMap
    - ArcGlobe
    - ArcScene
- ArcGIS Server
  - ArcSDE
  - ArcGIS Server

- ArcGIS Server
- ArcIMS
- ArcGIS Mobile
  - ArcGIS Mobile
  - ArcPad
- ArcGIS Online

Da für diese Arbeit ausschließlich mit dem Hauptprogramm ArcGIS Desktop gearbeitet wird, werden die hierfür in Gebrauch gewesenen Produktvarianten kurz erläutert. Die Produktvariante ArcCatalog dient hauptsächlich als Datenverwaltungskomponente. Mit Hilfe von ArcMap können 2D Karten bis in das kleinste Detail bearbeitet werden. Die Produktpalette rund um ArcGlobe kann 3D Modelle anzeigen und gestalten. Für eine spezielle 3D Bearbeitung steht die Produktvariante ArcScene zur Verfügung (Wikipedia®, 2014).

Darüber hinaus bietet ArcGis eine Vielzahl von Erweiterungen an, welche zusätzliche Funktionen für das Kernprodukt bereitstellen. Zu erwähnen ist hierbei die Erweiterung ArcGIS 3D Analyst, welche im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben wird (ESRI, 2013).

### **5.1.1 ArcMap 10.1**

ArcMap 10.1 ist eine Produktvariante der Hauptgruppe ArcGIS Desktop / ArcView mit der Geodaten digitalisiert, editiert, symbolisiert, bearbeitet und neu erstellt werden können. Karten können für eine digitale oder analoge Ausgabe aufbereitet werden. ArcMap dient somit als zentrale Anwendung für alle interaktiven Tätigkeiten wie editieren, analysieren und Kartenerstellungen. Folgende Aufgabenbereiche werden mit ArcMap 10.1 abgedeckt (ESRI, 2013):

- GIS-Datasets kompilieren und editieren
- Organisieren und Verwalten von Geodatabases und ArcGIS-Dokumenten
- Dokumentieren von geographischen Informationen
- Arbeiten mit Karten
- Drucken von Karten
- Mit der Geoverarbeitung Tasks automatisieren und Analysen durchführen
- Benutzeroberfläche und Funktionsumfang individuell anpassen

In ArcMap 10.1 werden alle vorhandenen geographischen Informationen, bestehend aus einer Sammlung von Layern und diversen anderen Elementen, entweder als Datenansicht oder als Layout-Ansicht, in der Kartenansicht angezeigt. In der Datenan-



sicht können alle Daten aus dem Kartenlayer angezeigt, bearbeitet und analysiert werden. Die Layout-Ansicht ist eine Art Seitenansicht, in welcher der Datenrahmen, eine Maßstabsleiste, der Kartentitel, das Drucken, Exportieren und Veröffentlichen geregelt ist (ESRI, 2013).

Im Karten-Layer werden die geographischen Datasets als übereinander gelegte Layer angezeigt. Jeder Layer entspricht einem bestimmten über die Karte gelegten Layer. Der Karten-Layer enthält einzelne Feature-Classes (Sammlungen von Punkten, Linien und Polygonen), kontinuierliche Oberflächen (Höhen, die unterschiedlich dargestellt werden können) und Luft- oder Satellitenbilder. Der Karten-Layer kann beispielhaft fließende und stehende Gewässer, Gemeinden, Straßen, Gebäudeumrisse, Luftbilder oder Versorgungsleitungen beinhalten. Zusätzlich zu den geographischen Informationen besitzt der Karten-Layer eine Vielzahl von Symbolen, Farben und Beschriftungen, welche der Beschreibung von Objekten in der Karte dienen. Die Layer selbst können je nach Verwendung stets ein- und ausgeblendet werden. Die Speicherung einer im ArcMap erstellten Karte erfolgt im .mxd Format (ESRI, 2013).

Zusätzlich zu den Standard Bearbeitungspaket bietet ArcMap 10.1 die Möglichkeit mit der dreidimensionale Visualisierungs- und Analysen-Erweiterung *ArcGIS 3D Analyst* zu arbeiten. Diese ermöglicht ein Erstellen von 3D-Features und Oberflächen, ein konvertieren von 2D- in 3D-Features, eine Durchführung von 3D Analyse- und Geoverarbeitungstasks, ein öffnen von ArcGlobe und ArcScene sowie ein erstellen, kopieren und einfügen von Layern in ArcGlobe oder ArcScene (ESRI, 2013).

## 5.2 PCSWMM

Mit Hilfe des kommerziellen Programms PCSWMM kann eine Regenwasser- und Schmutzwasserbewirtschaftung im 1 dimensionalen oder 2 dimensionalen Zustand numerisch modelliert und analysiert werden. Entwickelt und betreut wird das Programm vom Unternehmen Computational Hydraulics Int., kurz CHI, mit Sitz in Guelph, Ontario, Kanada. Mittlerweile kommt es rund um den Globus sowohl in der Praxis als auch in der Forschung zum Einsatz. Bisher wurden mehr als 10.000 Projekte mit PCSWMM bearbeitet. Ein großer Vorteil von PCSWMM besteht darin, dass geographischen Informationen nahtlos mit dem Programm verknüpft werden können. Sie dienen als Grundlage für eine möglichst realistische Modellgrundlage. Dem modellieren im PCSWMM sind kaum Grenzen gesetzt. Jedes Modell kann ohne weiteres (Chiwater, 2014a):

- Mehr als 100.000 Knoten generieren
- Echtzeit Überwachungen durchführen
- Zeitreihen für Niederschläge generieren
- Digitale Geländemodelle verwenden
- GIS-Daten unterstützt arbeiten

- Automatische Ausgabefiles generieren
- Google Earth für eine bessere Visualisierung integrieren

Für die Umsetzung eines möglichst realgetreuen Modelles stehen im PCSWMM drei wesentliche Modellierungsmöglichkeiten zur Verfügung.

### **5.2.1 Hydrologische Modellierung**

In PCSWMM steht eine große Anzahl von verschiedenen hydrologischen Prozessen für die Simulation von Abflüssen zur Verfügung. Diese umfassen (Chiwater, 2014a):

- Über die Zeit veränderliche Regenereignisse
- Verdunstung von stehenden Gewässern
- Anhäufung und abschmelzen von Schnee
- Auffangen von Regen in Mulden
- Infiltration von Regen in ungesättigte Böden
- Versickerung
- Unterirdischer Abfluss zwischen Grundwasser und einem Drainage System
- Nichtlineare hydraulische Berechnung des Oberflächenabflusses
- Speicherung mit gleichzeitiger Versickerung durch ein LID (Low Impact Development)

### **5.2.2 Hydraulische Modellierung**

Mit PCSWMM können auch großzügige hydraulische Berechnungen durchgeführt werden. Diese enthalten (Chiwater, 2014a):

- Berechnung sehr großer Querschnitte im Leitungsnetz
- Berechnung eines natürlichen Gewässers so wie standardisierte Rohrleitungen
- Spezielle Modellierungsmöglichkeiten mit Durchlässe, Pumpen, Wehre, Ausflussöffnungen, Drosseln, Mengenverteiler sowie Rückhalteanlagen
- Auswahl zwischen stationärer, kinematischer oder voll dynamischer Wellenberechnung
- Eingabemöglichkeit der Wasserqualität
- Fließverhalten bei Rückstau, Gegenströmungen, Oberflächenwasserhaltungen, Überlastungsfälle sowie bei Hochwasser
- 2 dimensionale hydraulische Hochwasserberechnung

### 5.2.3 Modellierung der Wasserqualität

In PCSWMM besteht auch die Möglichkeit die Schadstoffbelastung eines Abflusses zu modellieren. Folgende Prozesse stehen hierfür zur Verfügung (Chiwater, 2014a):

- Schadstoffeintrag bei trockenen Wetter aufgrund unterschiedlicher Landnutzung
- Schadstoffeintrag aufgrund unterschiedlicher Landnutzung während eines Niederschlagsereignisses
- Schadstoffeintrag direkt über den Niederschlag
- Schadstoffeintrag aufgrund Straßenreinigungen
- Schadstoffeintrag in Mischwassersystemen
- Schadstoffeintrag durch anwenderspezifische externe Zuflüsse in das Gesamtsystem

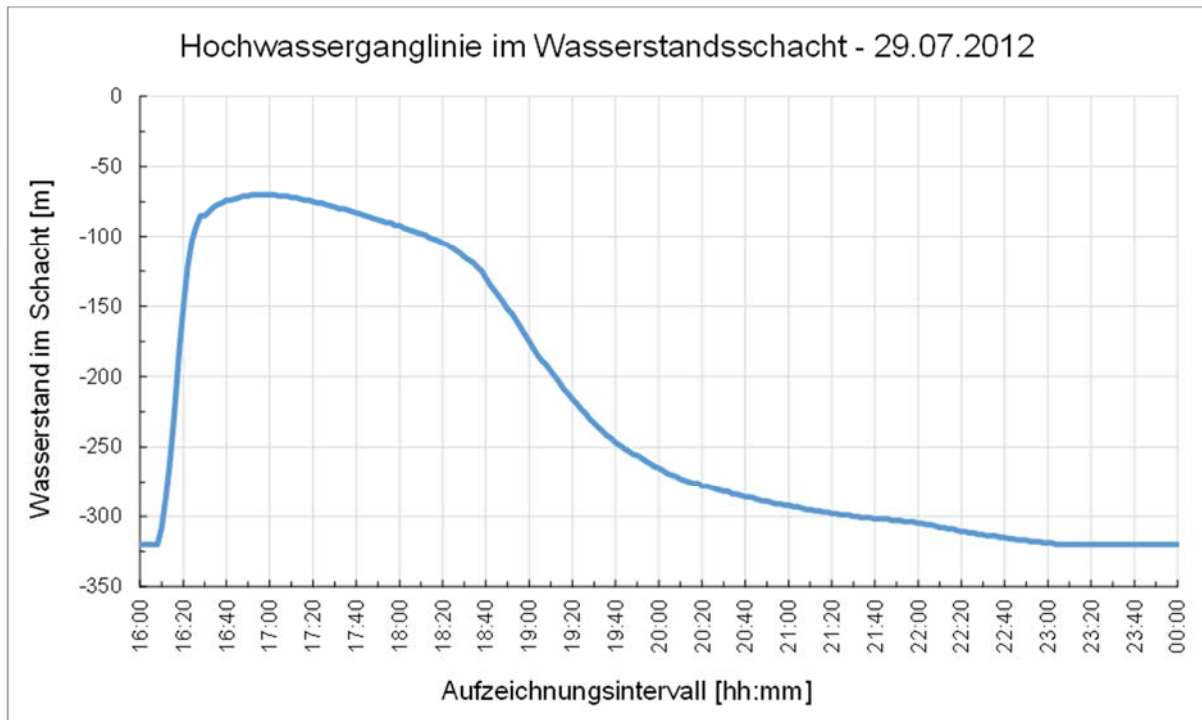
## 5.3 Versickerung

Um eine Aussage über die Funktionstüchtigkeit des Beckens tätigen zu können, ist es notwendig, die Versickerungsleistung des Schotterkörpers zu eruiieren. Hierfür werden die Aufzeichnungen des im Schotterkörper situierten Wasserstandschachtes ausgewertet. Der Wasserstandschacht befindet sich im Einlaufbereich der Ebene 1 (vgl. Kap.4.7.1.2). Folglich kann auf die tatsächliche Versickerungsleistung geschlossen werden.

Zu Beginn werden alle Ereignisse im Schacht im Zeitraum von März 2010 bis Oktober 2013 ausgewertet und analysiert. Die auszuwertende Datenmenge beläuft sich auf 1124176 Messwerte. Nach Durchsicht der Messwerte ergeben sich schlussendlich für die Versickerungsbetrachtung 15 maßgebende Ereignisse. Die Auswertung erfolgt über einen Vergleich der Abklingkurven der Hochwasserganglinien. Die Zeit, welche für eine vollständige Versickerung notwendig ist, wird in Relation zum maximalen Wasserstand gesetzt. Somit kann auf die jeweilige Sickerleistung geschlossen werden. Abbildung 41 spiegelt den unterirdischen Anstieg im Wasserstandsschacht eines Ereignisses vom 29.07.2012 wider. Gut zu erkennen ist der rasche Anstieg des Wasserstandes (244 cm in 20 Minuten). Die benötigte Zeit für die Versickerung beträgt 5 h und 56 min. Der maximale Wasserstand stellt sich bei 2,49 m ein. Für dieses Ereignis ergibt sich die Sickerleistung zu  $k_f = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Die Sickerleistung ist stark abhängig von der Sättigung des Bodens. Hierfür werden die Niederschlagsaufzeichnungen bis zwei Wochen vor jedem Ereignis ausgewertet. Dadurch kann auf eine etwaige Vorsättigung geschlossen werden.

Die aus der Analyse gewonnenen Versickerungsgrößen sind in Kapitel 6.1 zu finden.



**Abbildung 41: Unterirdische Hochwasserganglinie im Wasserstandsschacht vom 29.07.2012**

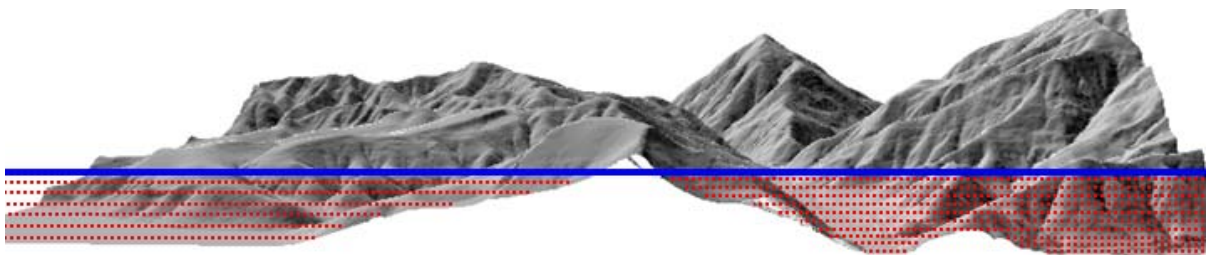
## 5.4 Inhaltslinie

Die für die Inhaltslinie notwendigen Volumina werden mit dem ArcGIS Programm Arc-Map 10.1 ermittelt (vgl. Kap. 5.1). Hierfür wird wie folgt vorgegangen. Zuerst wird das von der Stadt Graz zur Verfügung gestellte digitale Oberflächenmodell in ArcMap eingelesen und für die weitere Bearbeitung aufbereitet.

Im nächsten Schritt werden mittels der Oberflächenfunktion *Oberflächenvolumen* der ArcGIS Erweiterung *ArcGIS 3D Analyst* die jeweiligen Flächen berechnet. Mit diesem Werkzeug können Flächen und Volumen einer Oberfläche ober- oder unterhalb einer festgelegten Referenzebene bestimmt werden. Im Eingabefenster der Funktion sind folgende Inputs erforderlich bzw. Optionen zu wählen:

- Eingabe - Oberfläche
- Ausgabertextdatei (optional)
- Referenzebene (optional)
- Ebenenhöhe (optional)
- Z-Faktor (optional)

Als Eingabe – Oberfläche wird das zuvor bearbeitete DTM (Digitales Oberflächenmodell) verwendet. In der Ausgabedatei werden der Name und der Ort der zu speichernden Datei gewählt. Bei dem Argument Referenzebene stehen zwei Optionen zur Verfügung. Hier kann zwischen einer Berechnung oberhalb (ABOVE) oder unterhalb (BELOW) der im nächsten Schritt festzulegenden Ebenenhöhe gewählt werden. Für das vorliegende Projekt wird die Option BELOW verwendet. BELOW bedeutet, dass die Fläche und das Volumen zwischen der Referenzebene und der Oberfläche berechnet werden. Abbildung 42 dient zur Veranschaulichung dieser Option. Die blaue Linie spiegelt die Referenzebene und das rot schraffierte Areal den darunter liegende Bereich für die Berechnung von Fläche und Volumen bis zur Geländeoberkante wider.

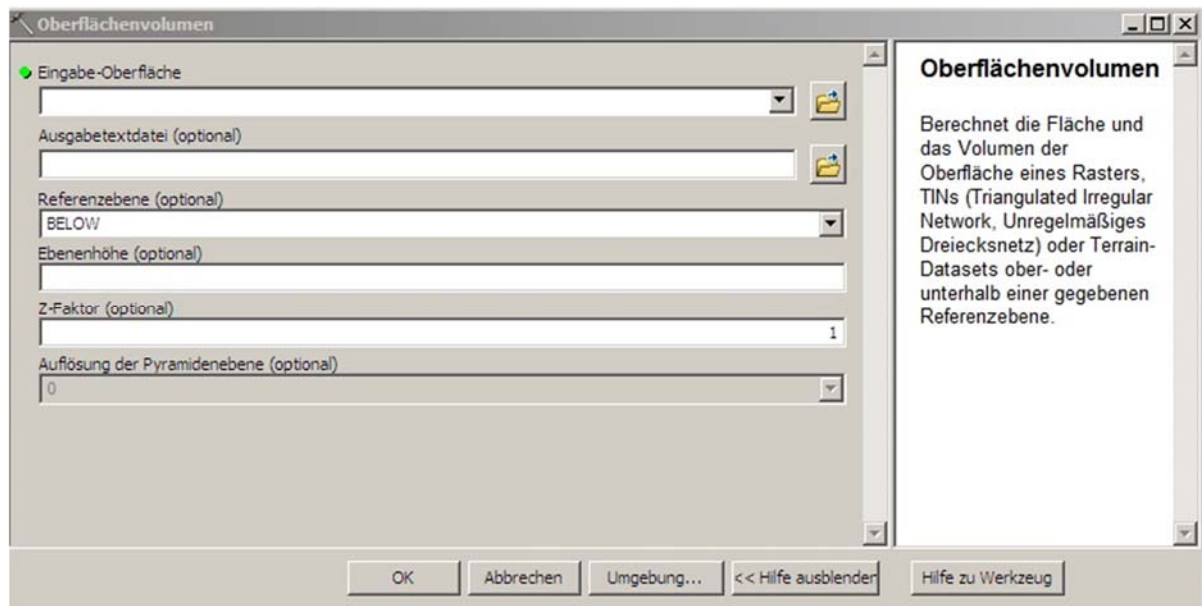


**Abbildung 42: Veranschaulichung der Oberflächenfunktion Referenzebene BELOW (ESRI, 2012)**

Abschließend wird für die Berechnung des Oberflächenvolumens noch ein Z-Faktor benötigt. Dieser Faktor dient in erster Linie zur Berichtigung der Volumenberechnung, falls die vorhandenen Z-Oberflächenwerte in einer anderen Maßeinheit als die XY-Einheiten (Geländeeinheiten) vorliegen. Der Z-Faktor wird mit den Höhen der Eingabeoberfläche multipliziert. Die Originaldateien werden durch den Z-Faktor nicht verändert. Folglich können Z-Werte auch in andere Maßeinheiten umgerechnet werden (z.B. Fuß in Meter). Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die XY-Einheiten und Z-Einheiten identisch sind. Da im vorliegenden Projekt keine Umrechnung der Maßeinheiten erforderlich ist, wird ein z-Faktor von 1,0 gewählt und die Berechnung gestartet. (ESRI, 2012)

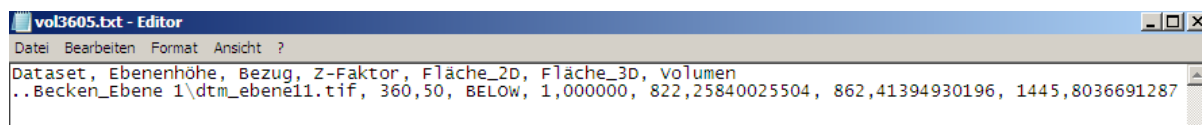
In Abbildung 43 ist die Eingabemaske zur Berechnung des Oberflächenvolumens mit den jeweiligen Inputattributen und Optionen dargestellt.





**Abbildung 43: Eingabemaske Oberflächenvolumen in ArcMap 10.1 (ArcMap 10.1)**

Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt in einer kommagetrennten ASCII-Textdatei. Der Aufbau der Datei ist in zwei Zeilen unterteilt. In der ersten Zeile befindet sich der Datei-Header mit dem Datensatz, der Ebenenhöhe, der Bezugshöhe, dem Z-Faktor, der 2D und der 3D Fläche und dem Volumen. Die dazugehörigen Werte sind in der zweiten Zeile aufgelistet. Abbildung 44 zeigt eine geöffnete Textausgabedatei mit dem Datei-Header und den Ergebnissen bei einer Höhe von 360,5 müA.



**Abbildung 44: Ausgabedatei Oberflächenvolumen**

Für eine möglichst genaue Darstellung wird beginnend bei der auf 358,0 müA. liegenden Einlaufhöhe die Referenzhöhe nach oben hin alle 10 cm neu definiert. Folglich werden bis zur Beckenoberkante bei 361,0 müA, alle 10 cm das jeweilige darunterliegende Volumen und die dazugehörige projizierte Geländeoberfläche ermittelt. Um das gesamte Volumen des Beckens zu erfassen wird die Berechnung ab einer Höhe von 357,0 müA, das ist ein Meter unter der lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) vorgegebenen Einlaufhöhe, gestartet. Somit werden etwaige bauliche Abweichungen von der Theorie bzw. der Planung abgedeckt.

Die Berechnungen erfolgen einmal für das Becken als Ganzes und einmal für jede Ebene. Die Berechnung des Beckens als Ganzes dient zur Ermittlung der Inhaltslinie. Die schrittweise Berechnung der Ebenen ist ausschließlich für die Modellierung in PCSWMM notwendig. Hier wird für jede Ebene eine Fläche zu Tiefe Beziehung benötigt. Die Abgrenzung für diese Berechnungen ist in Abbildung 45 ersichtlich. Die Ziffern

eins bis drei kennzeichnen die jeweiligen Ebenen für die Analyse in PCSWMM. Die äußere Umgebungslinie spiegelt den Bereich für die Berechnung der Inhaltslinie wider.

Bei der Berechnung der Inhaltslinie muss noch angemerkt werden, dass der Rückstau im Durchlauf und folglich im Gewässerabschnitt bachaufwärts des Beckens durch ein von der Stadt Graz zur Verfügung gestelltes DWG-File inklusive Höhenschichtlinien berechnet wird. Da zusätzlich die Länge des Rückstaus in den Einödbach aus einer vorhergehenden Berechnung der Stadt Graz bekannt ist, kann das Volumen des Rückstaus ermittelt werden.



## 5.5 Modellbildung

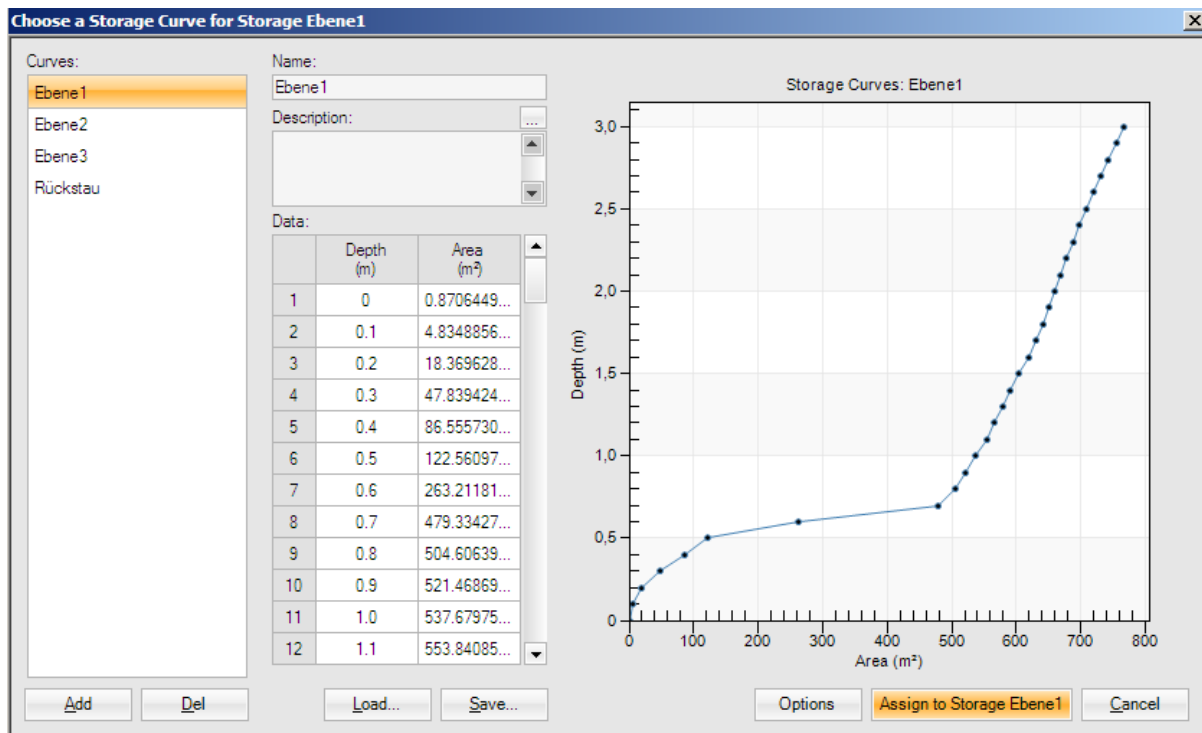
Die 1D-numerische Berechnung des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens Schererpark wird in PCSWMM durchgeführt. Es werden mehrere Rechenläufe durchgeführt, welche sich in unterschiedlichen Versickerungsleistungen bezüglich des Hohlraumvolumens des Schotterkörpers, Berücksichtigung des sich einstellenden Rückstaus und in der Zuflusssituation unterscheiden.

Bei der Modellbildung des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens Schererpark wird wie folgt vorgegangen. Zu Beginn der Modellierung wird ein von der Stadt Graz zur Verfügung gestelltes Orthophoto vom Becken in PCSWMM eingelesen. Dies ermöglicht eine einfachere Orientierung für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte. Anschließend werden die einzelnen Ebenen des Beckens als Storage-Knoten definiert und mit Hilfe des Orthophotos an die jeweils richtige Stelle im Becken gesetzt. Ein Storage-Knoten symbolisiert ein Speichermedium. Neben einer Vielzahl von geometrischen Eingabemöglichkeiten kann zusätzlich eine konstante Versickerung angegeben werden. Für die Abbildung der drei Ebenen sind drei Storage-Knoten nötig. Der bei einer Betrachtung mitmodellierter Rückstau wird ebenfalls mit einem Storage-Knoten abgebildet. Für die Definition eines Storage-Knoten werden folgende Parameter benötigt:

- Geometrische Höhe des Einlaufes
- Geometrische Höhe des Überlaufes auf die nächste Ebene
- Maximale Stauhöhe (361,0 müA)
- Grundfläche
- Sickerfähigkeit des anstehenden Bodens in m/s
- Kapillare Steighöhe des Bodens in mm (50,0 mm für sandigen Kies)
- Vorgeuchte des Bodens (wird mit 0 angenommen)

Um eine realitätsgetreue Abbildung der Beckenkubatur zu generieren wird für jede Ebene in ArcMap 10.1 eine Fläche zu Tiefe Beziehung aufgestellt (vgl. Kap. 5.4). Hierfür werden die Ebenen alle 10 cm in der vertikalen, horizontal geschnitten und die dazugehörige Fläche ermittelt. Die sich daraus ergebende Beziehung zwischen der Grundfläche und der Tiefe wird für die Berechnung des Rückhaltevolumens in Excel aufbereitet, anschließend in ein .dat-File umgewandelt und in PCSWMM als Storage Curve eingelesen.

In Abbildung 46 ist die Storage Curve des Beckens bei der Generierung in PCSWMM abgebildet. In der linken Spalte kann zwischen den einzelnen Storage Curves gewählt werden. In der Mitte befinden sich Input-Daten und in der rechten Bildhälfte der grafische Verlauf der Kurve. Mit dem Befehl *Assign to Storage Curve* wird die Kurve im ausgewählten Storage-Knoten übernommen.

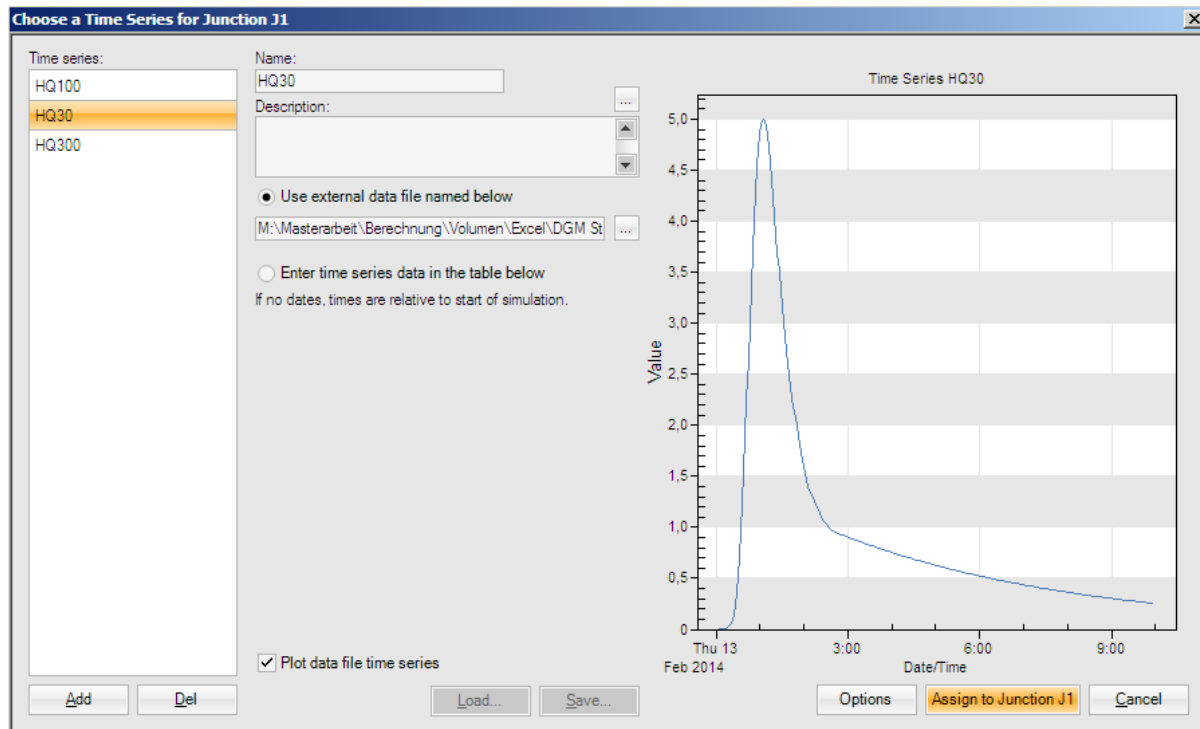


**Abbildung 46: Storage Curve in PCSWMM**

Das aufgrund des Schotterkörpers vorhandene Holraumvolumen im Becken ( $3000 \text{ m}^3$ ) wird in der Storage Curve mitberücksichtigt. Da sich das Becken theoretisch erst nach Auffüllung des Hohlraumvolumens füllt, wird bei der Modellierung ein entsprechendes Volumen unter dem Einlaufbereich geschaffen. Um die erforderlichen  $3000 \text{ m}^3$  zu gewährleisten wird ein ellipsenförmiger Bereich  $8,50 \text{ m}$  unter der GOK in der Ebene 1 angesetzt. Als Grundlage dient ein von der Stadt Graz zur Verfügung gestelltes DWG inkl. Höhenschichtlinien. Hier wurde für die Abbildung das Hohlraumvolumen ebenfalls  $8,50 \text{ m}$  unter GOK angesetzt. Anschließend wird das Volumen in der Storage Curve der Ebene 1 hinzugefügt. Zusätzlich muss der Einlaufbereich der Ebene 1  $8,50 \text{ m}$  tiefer, also auf  $349,5 \text{ müA}$  gesetzt werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich im Modell sowie in der Realität zuerst das Porenvolumen des Schotterkörpers füllt und anschließend der Einstau im Becken beginnt.

Im nächsten Schritt wird der Zufluss in das Becken generiert. Die instationären Zuflussganglinien für ein  $HQ_{30}$ ,  $HQ_{100}$  und  $HQ_{300}$  wurde von der Firma Hydroconsult zur Verfügung gestellt. Die Daten stammen aus einer aktuellen Abflussuntersuchung (November 2013). Die Ganglinien wird ähnlich wie bei der Flächen zu Tiefen Beziehung in Excel aufbereitet, anschließend in ein .dat-File umgewandelt und in PCSWMM als Time Serie eingelesen. Die Time Serie wird bei der Berechnung mit einem Skalierungsfaktor multipliziert. Da die Zuflussganglinie nicht mehr korrigiert bzw. skaliert werden muss, wird der Skalierungsfaktor mit  $1,0$  gewählt.

Es besteht somit die Möglichkeit, drei Hochwassersituationen bei allen gebildeten Modellvarianten durchzuspielen. Maßgebend für die Betrachtung ist das Bemessungshochwasser eines HQ<sub>30</sub>. HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>300</sub> repräsentieren die Überlastfälle. In Abbildung 47 ist das Importfenster der Hochwasserganglinien für ein HQ<sub>30</sub> als Zeitserie in PCSWMM dargestellt. In der linken Spalte kann zwischen den jeweiligen Ganglinien gewählt werden. In der Bildmitte befindet sich der Inputbereich, in dem das .dat-File eingelesen wird. Rechts daneben wird der grafische Verlauf der Ganglinie angezeigt. Mit dem Befehl *Assign to* wird die Zuflussganglinie für den ausgewählten Knoten übernommen.



**Abbildung 47: Import der HQ-Zuflussganglinien in PCSWMM**

Die Verbindung zwischen zwei Storage-Knoten wird mit einem Wehr hergestellt. Durch diese Verbindung wird kein zusätzliches Rückhaltevolumen, welches zum Beispiel mit einer Rohrleitung erzeugt werden würde, generiert. Die Überfallhöhe jedes Wehres ist jene der nächstgelegenen Ebene. Somit kann eine realitätsgetreue Überströmung sichergestellt werden. Für die Überfallbreite wird die tatsächliche Breite der Ebenen in ArcGIS gemessen. Folglich ergibt sich für die Ebene 1 eine Überfallbreite von 76 m. Die der Ebene 2 beträgt 42 m und für die der Ebene 3 43 m. Die maximale Wehrhöhe kommt auf dem Beckenmaximum bei 361,0 müA zu liegen. Der Überfallbeiwert  $\mu$  wird mit 0,8 gewählt.

Der Zulauf in das Becken wird gemäß der planlichen Vorgabe abgebildet. Der rechteckige Wellblechdurchlass unter der Straßgangerstraße weist eine Länge von 32,80 m, bei einer Breite von 3,50 m und einer Höhe von 1,35 m auf. Sein Gefälle ist mit  $I = 1 \%$  gering geneigt.



Um die Wassermassen eines möglichen Überstaus zu erfassen, wird am Ende des Modells ein Auslass situiert. Sollte also der Wasserstand höher als das Beckenmaximum steigen, wird der Auslass aktiv. Mit dieser Funktion kann zwar nicht erkannt werden, an welcher Stelle es zu einem Überlauf kommt, jedoch kann die Abflussmenge in Kubikmeter und die Überströmungshöhe in Meter gemessen werden.

Im Folgenden wird die Variantenstudie erläutert. In Summe werden drei unterschiedliche Varianten untersucht, wobei Variante A das Grundmodell für die restlichen Varianten darstellt.

- Variante A – Ohne Berücksichtigung des Rückstaus
- Variante B – Berücksichtigung des Rückstaus
- Variante C – Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils im Schotterkörper

### **5.5.1 Variante A - Ohne Berücksichtigung des Rückstaus**

Das Grundmodell - Variante A ist mit drei Storage-Knoten ausgestattet. Dies bedeutet, dass jede Ebene als Storage-Knoten modelliert wird und eine eigene Storage Curve besitzt. Der Hohlraumanteil des Schotterkörpers wird in der Ebene 1 berücksichtigt. Die Überläufe zwischen den Knoten werden als Wehre definiert. Die Sickerfähigkeit des anstehenden Bodens (grauer, sandiger Kies) und die des Rohrrigolensystems in der Ebene 3 wird mit  $k_f=1*10^{-4}$  m/s angesetzt.

Der Zulauf in das Becken, sprich der Durchlass unter der Straßgangerstraße, wird als Rechteckquerschnitt abgebildet. Ein Knotenpunkt zu Beginn des Durchlasses dient als Einleitpunkt der unterschiedlichen Hochwasserganglinie. Dieser Knotenpunkt besitzt in der Variante A bzw. im Grundmodell keine Speicherfunktion.

### **5.5.2 Variante B - Berücksichtigung des Rückstaus**

In Variante B wird der Einleitpunkt für die Hochwasserganglinie in einen Storage-Knoten umgewandelt. Somit kann der sich einstellende Rückstau im Einödbach und folglich das zusätzlich aktivierte Volumen in der Modellierung mit abgebildet werden. Die Gerinnekubatur des Rückstaubereiches wird als Storage Curve eingelesen. Da in diesem Gewässerabschnitt kurz vor dem Durchlass unter der Straßgangerstraße ein Sickerschlitz situiert ist, kann zusätzlich dessen Sickerleistung im Storage-Knoten mit abgebildet werden. Die Durchlässigkeit in diesem Bereich wird ebenfalls mit  $k_f=1*10^{-4}$  m/s angesetzt.

### 5.5.3 Variante C - Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils im Schotterkörper

In Variante C wird das Hohlraumvolumen des Schotterkörpers untersucht. Da davon auszugehen ist, dass es aufgrund von Einträgen diverser Feinteilen zu einer Verschlammung und folglich zu einer Verschlechterung des festgelegten  $k_f$ -Wertes des Schotterkörpers kommt, wird der festgelegte durchflusswirksame Porenanteil Schritt für Schritt um jeweils 5 % reduziert bis der Porenanteil fiktiv nicht mehr vorhanden ist. Folglich kann für den Schotterkörper ein „Grenz- $k_f$ -Wert“ festgelegt werden, bei welchem das Becken bei gleichbleibenden Zufluss ( $HQ_{30}$ ) aufgrund des abnehmenden durchflusswirksamen Porenanteils und folglich geringerer Durchlässigkeit die Wassermassen nicht mehr aufnehmen kann. Variante C ist eine Modifikation der Variante B. Somit ist der sich einstellende Rückstau im Durchlass und bachaufwärts mit abgebildet.

Abbildung 48 zeigt die schematische Darstellung der Modellbildung in PCSWMM. Grün stellt die Storage-Knoten, blau die Wehre und rot den Auslass dar. Der Durchlass ist in gelb gehalten. Der blau dargestellte Knotenpunkt spiegelt den Einleiteknoten für die Hochwasserganglinie wieder.

Die Ergebnisse aus den Berechnungen sind in Kapitel 6.3 zu finden.

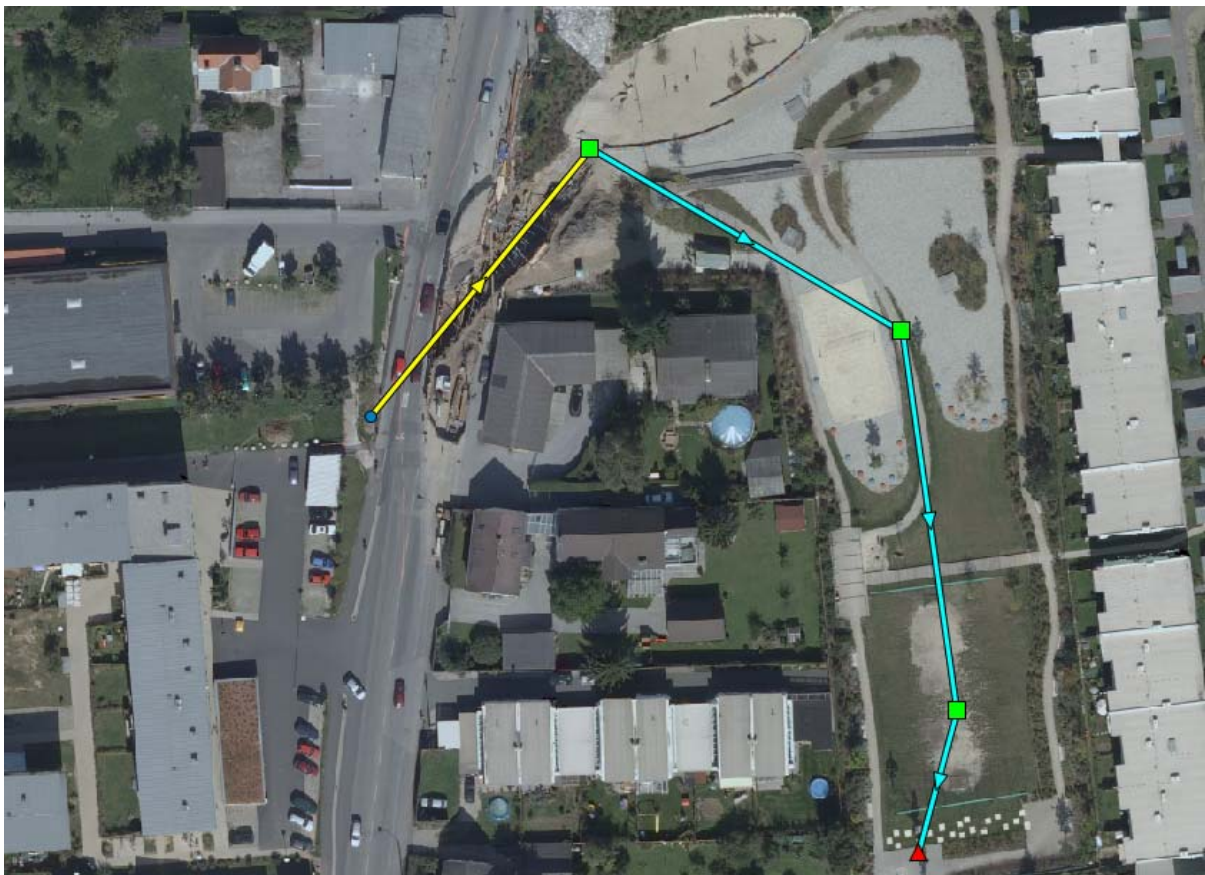


Abbildung 48: Luftbild des Modells in PCSWMM

## 6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die aus den Programmen ArcGIS und PCSWMM gewonnenen Werte ausgewertet, gegenübergestellt und analysiert. Zusätzlich werden die Ergebnisse aus der Analyse der Messwerte im Wasserstandsschacht angeführt.

### 6.1 Versickerung

Nach Analyse aller Messwerte vom Wasserstandsschacht kann die Sickerleistung des Schotterkörpers im Becken überprüft werden. Insgesamt werden 1124176 Messwerte ausgewertet. Zuerst werden alle Ereignisse im Schacht dargestellt (Abbildung 49). Es ist zu erkennen, dass das Becken hauptsächlich in den Sommermonaten, Mai bis September, anspringt. Oft geht dem ein Starkregenereignis oder Gewitter voraus. Im Schnitt springt das Becken bzw. der Wasserstandsschacht viermal im Jahr an. Die meisten Ereignisse traten 2011 auf. Hier waren es sieben. 2010 und 2013 waren es hingegen nur drei. In der Regel verteilen sich die Ereignisse recht konstant über die Sommermonate. Eine Ausnahme stellt das Jahr 2012 dar. Hier traten alle über das Jahr gemessenen Ereignisse in einem Monat auf. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass ein anspringen des Wasserstandsschachtes nicht automatisch mit einem Einstau des Beckens gleichgesetzt werden darf. Zum Einstau im Becken kommt es erst, nachdem sich der Schacht komplett mit Wasser gefüllt hat. Dies geschah in den untersuchten vier Jahren dreimal (Juni 2010, August 2011 und August 2013). In den ersten beiden Fällen kam es zu einem Einstau der ersten Ebene, im August 2013 erreichte das Wasser erstmals die Ebene 3.

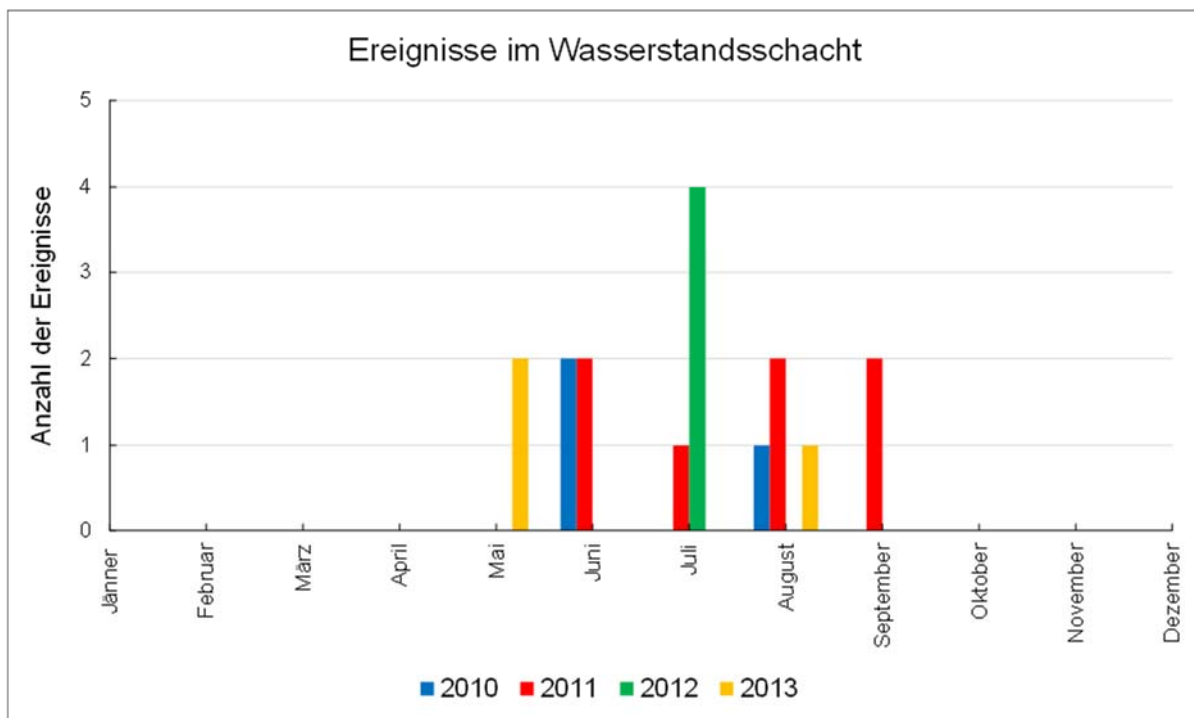


Abbildung 49: Ereignisse im Wasserstandsschacht

Im Folgenden sind die Ergebnisse aus der Berechnung der Sickerleistung des Schotterkörpers angeführt. Wie in Kap. 5.3 bereits erwähnt, werden hierfür 15 Ereignisse im Wasserstandsschacht herangezogen. Bei der Auswertung kann festgestellt werden, dass die lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) vorgeschriebene Versickerungskapazität des Schotterkörpers von  $k_f \gg 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  eingehalten wird. Im Schnitt ergibt sich ein errechneter  $k_f$  - Wert des Schotterkörpers von  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ . Bei der Betrachtung der errechneten Sickerleistung lässt sich feststellen, dass die Versickerungskapazität über die analysierten vier Jahre nicht abgenommen hat. Ein sehr wichtiger Punkt ist die Vorsättigung des Schotterkörpers. Es kann festgehalten werden, dass bei vorhergehenden Regenereignissen die Sickerleistung im Becken bei einem Hochwasser aufgrund schon vorherrschender Sättigung abnimmt (bis auf  $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ). Ist der Boden wie gewünscht nicht durch vorhergehende Regenereignisse bereits gesättigt bzw. teilgesättigt, steigt die Sickerleistung bis auf  $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .

In Abbildung 50 sind die errechneten  $k_f$ -Werte des Schotterkörpers aus der Auswertung der Messwerte des Wasserstandsschachtes dargestellt. Hier wird der zuvor erwähnte Einfluss der Bodensättigung auf die Sickerleistung deutlich. Gut zu erkennen ist dies bei den Ereignissen vom 03.07.2012 und 25.07.2012. In den letzten zwei Wochen vor dem jeweiligen Ereignis regnete es vor dem 03.07.2012 29,2 mm und vor dem 25.07.2012 156,8 mm. Aufgrund des recht deutlichen Sprungs in der Versickerungsleistung kann darauf geschlossen werden, dass hier die Sättigung des Bodens eine wesentliche Rolle spielt. Alle Ergebnisse aus dieser Berechnung sind in Anhang A1 beigelegt.

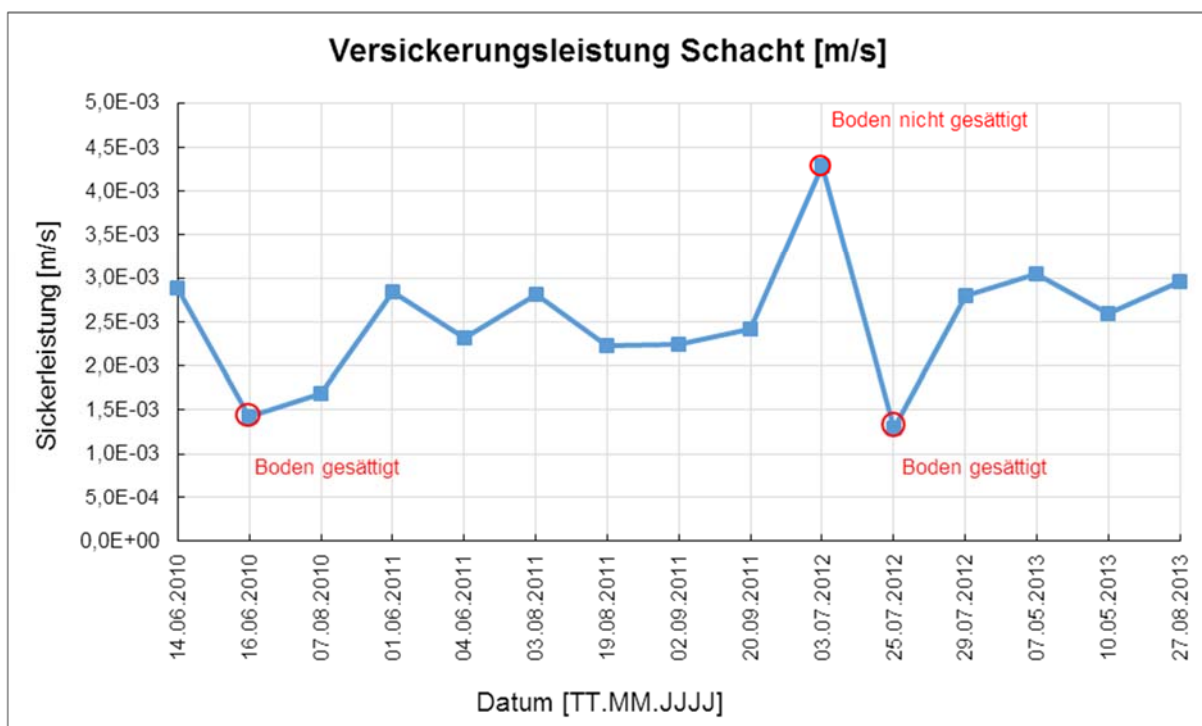


Abbildung 50: Errechnete Versickerungsleistung des Schotterkörpers

## 6.2 Inhaltslinie

Mit ArcGIS/ArcMap 10.1 wird das Volumen und die Grundfläche des Beckens auf Grundlage des von der Stadt Graz zur Verfügung gestellten Digitalen Geländemodells ermittelt. Infolgedessen kann ein Vergleich zwischen den lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) angegebenen und jenen via ArcMap 10.1 ermittelten Flächen und Volumina bezüglich der Rückhalteberechnungen durchgeführt werden.

### 6.2.1 Rückhaltevolumen

Die Berechnung der Flächen und des Volumens wird in 10 cm Schritten durchgeführt. Dadurch lässt sich ein relativ genaues Abbild der Beckenkubatur erstellen. Folglich spiegelt die Darstellung der Grundfläche (Abbildung 51) den stufenförmigen Aufbau des Beckens wieder. Die Übergänge zwischen den Ebenen sind gestrichelt dargestellt. Schlussendlich ergibt sich eine Gesamtgrundfläche bei der maximalen Einstauhöhe von 361,0 müA von 7291 m<sup>2</sup>.

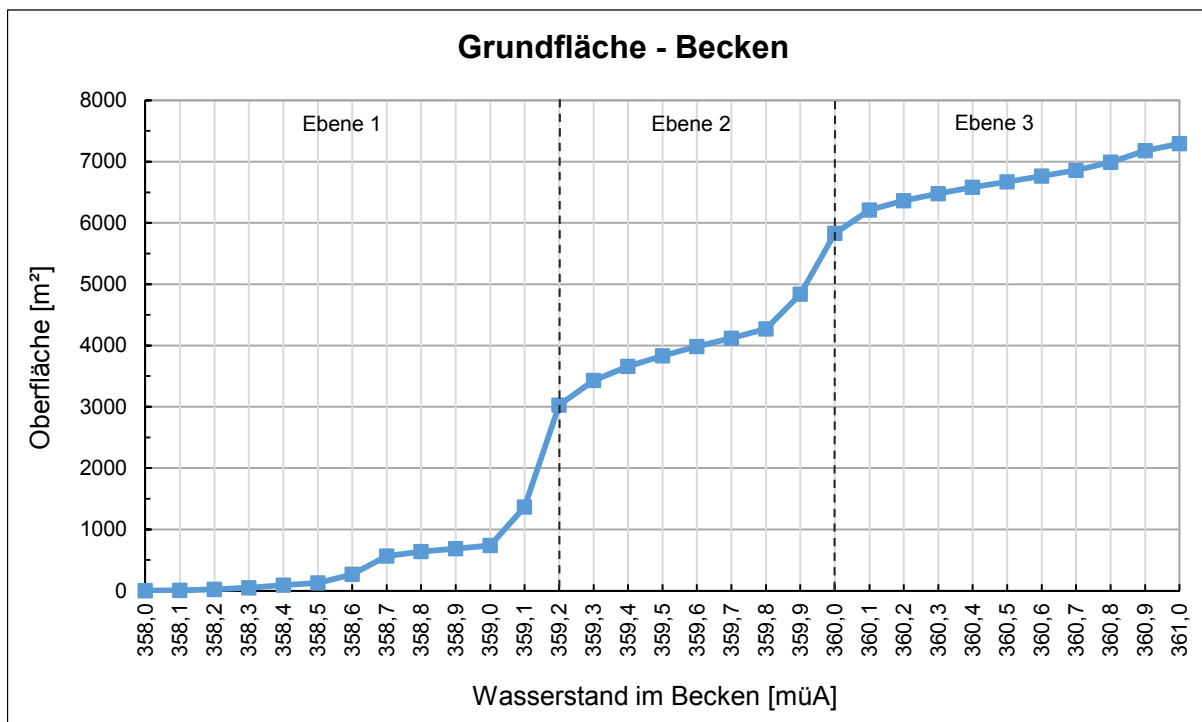


Abbildung 51: Grundfläche des Beckens lt. Berechnung



In Tabelle 7 ist die Gesamtgrundfläche für das Becken bis zu einer Höhe von 361,0 müA angegeben. Ebene 1 wird bis zum Überlauf auf Ebene 2 auf eine Höhe von 359,2 müA, Ebene 2 bis auf 360,0 müA und Ebene 3 bis auf das Beckenmaximum bei 361,0 müA gestaut. Ein direkter Vergleich zwischen den Flächen ist aufgrund fehlender Flächeninformationen nicht möglich. Es können daher nur die Gesamtfläche und die Größe der jeweiligen Ebenen miteinander verglichen werden. Tabelle 7 gibt die Grundfläche des Beckens bei den jeweiligen Ebenenübergängen bis hin zum maximalen Wasserstand an. Tabelle 7 steht im direkten Zusammenhang zu Abbildung 51.

**Tabelle 7: Gesamtgrundflächen des Beckens lt. Berechnung**

Wasserstand im Becken [müA]	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Anmerkung
358,0	0,9	Einlaufbereich
358,7	563,1	Überlauf auf Ebene 1
359,2	3027,3	Überlauf auf Ebene 2
360,0	5829,2	Überlauf auf Ebene 3
360,7	6860,9	Stauziel
361,0	7291,4	max. Wasserstand

Bei einem Vergleich der Grundflächen der einzelnen Ebenen können folgende Resultate erzielt werden. Die Flächen der Ebenen sind bei der Berechnung mit dem digitalen Geländemodell bis auf Ebene 1 kleiner als die angenommenen lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1). Die größte Abweichung findet sich im Bereich des Einlaufes. Die Differenz beträgt 35,1 m<sup>2</sup>. Dies entspricht einer Abweichung von 4000 %. Die Differenz der Ebene 1 beträgt 22 %, jene der Ebene 2 24 % und die der Ebene 3 18 %.

**Tabelle 8: Vergleich der Grundflächen der Ebenen**

Wasserstand [müA]	Grundfläche [m <sup>2</sup> ] lt. Bericht	Grundfläche [m <sup>2</sup> ] lt. Berechnung	Anmerkung
358,0	36,0	0,9	Einlauf
358,7	464,0	566,1	Ebene 1
359,2	2925,0	2352,1	Ebene 2
360,0	1375,0	1162,6	Ebene 3

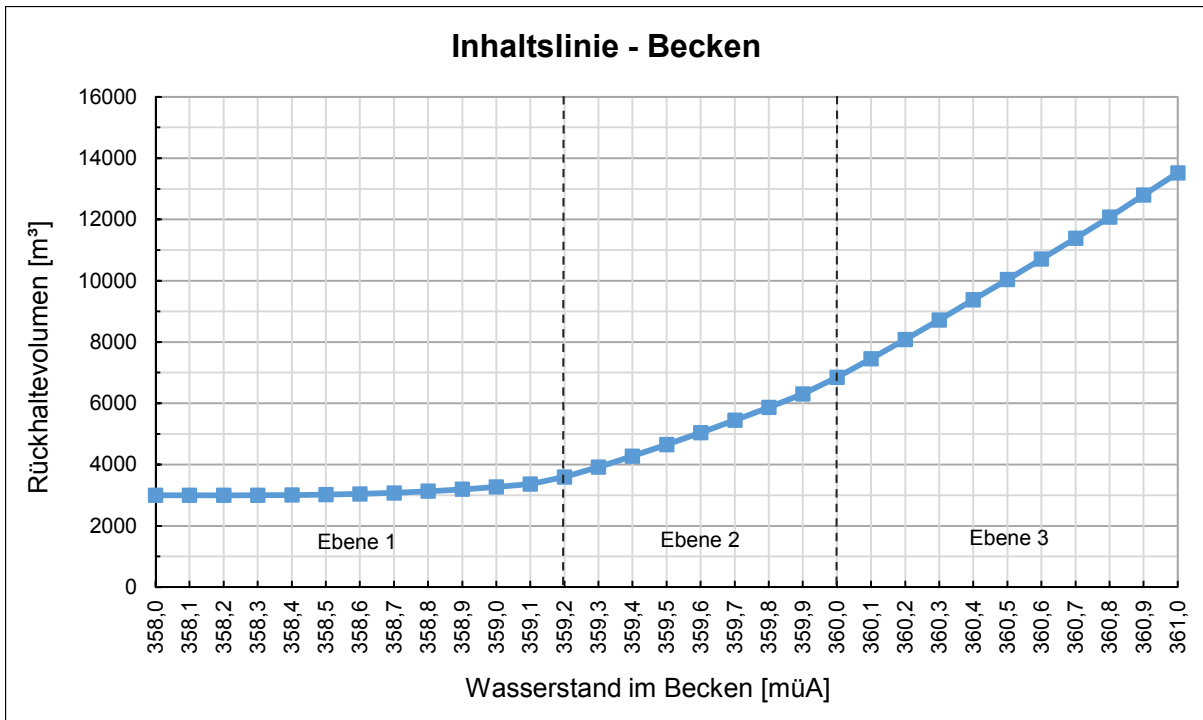
Im nächsten Schritt werden die Volumina miteinander verglichen. Grundlage für einen Vergleich bietet die lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) ausgegebene Inhaltlinie.

Demzufolge können die für die Darstellung der Inhaltslinie notwendigen Volumina in Bezug auf den Wasserstand verglichen werden. Die Analyse zeigt, dass das Rückhaltevolumen lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) stets größer ist als jenes aus der Berechnung. Die Abweichung des Gesamtvolumens liegt bei 5,6 %.

**Tabelle 9: Vergleich der Volumina des Beckens lt. Berechnung**

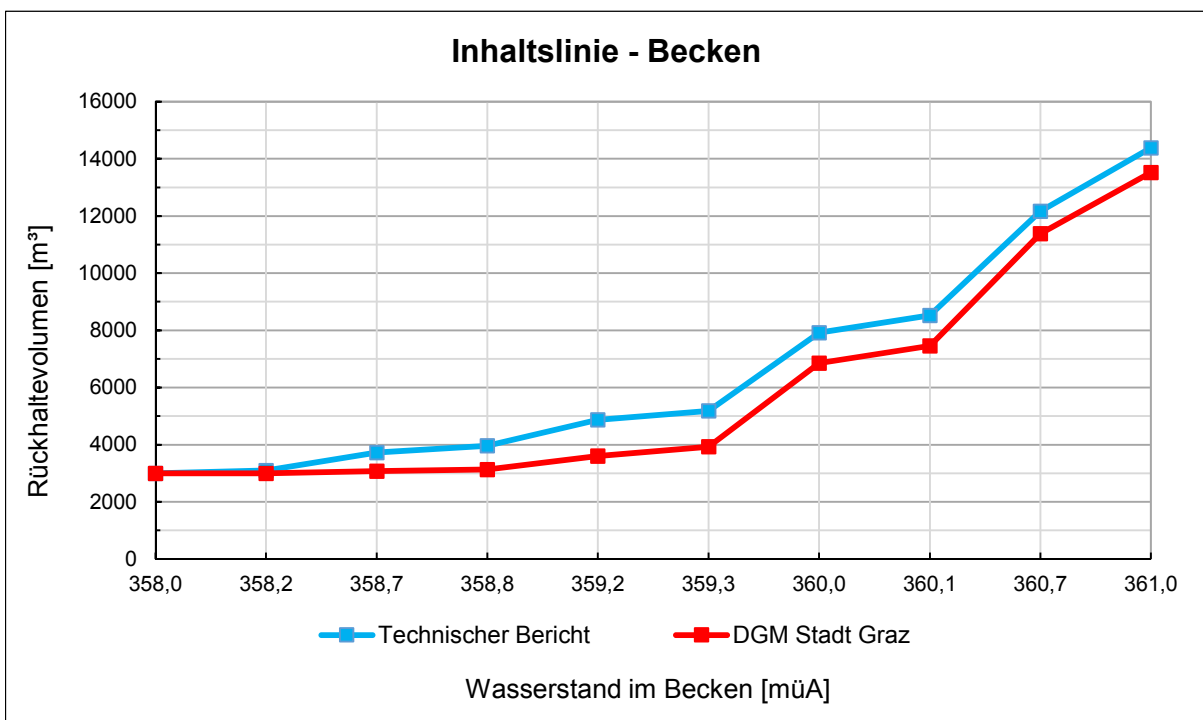
Wasserstand [müA]	Volumen [m <sup>3</sup> ] lt. Bericht	Volumen [m <sup>3</sup> ] lt. Berechnung	Anmerkung
358.0	3000	3000	Ebene 1
358.2	3097	3001	
358.7	3727	3077	
358.8	3959	3136	
359.2	4871	3598	Ebene 2
359.3	5181	3923	
360.0	7923	6852	Ebene 3
360.1	8528	7458	
360.7	12169	11387	
361.0	14380	13523	

Angesichts dieser Ergebnisse wird eine neue Inhaltslinie (Abbildung 52) für das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken Schererpark erstellt. Aufgrund der hohen Anzahl an Messpunkten (alle 10 cm) verläuft diese im Vergleich zu der in Kapitel 4.7.1, Abbildung 27, dargestellten, homogener. Das 3000 m<sup>3</sup> große Hohlraumvolumen wird ebenfalls berücksichtigt. Abbildung 52 ist in die einzelnen Ebenen des Beckens unterteilt. Die gestrichelten vertikalen Linien symbolisieren den Überlauf zu der jeweiligen nächst höheren Ebene. Ab dem Überlauf zwischen Ebene 1 und 2 besitzt die Inhaltslinie einen konstanten, linearen Verlauf. Bis zu diesem Punkt ist noch kaum ein Rückhaltevolumen vorhanden (598 m<sup>3</sup>). Das Gesamtvolumen des Beckens ergibt sich mit 13523 m<sup>3</sup>. Die Auflistung aller berechneten Flächen und Volumina ist im Anhang A2 beigelegt.



**Abbildung 52: Inhaltslinie Schererpark It. Berechnung**

Nachfolgend folgt ein Vergleich der vorhandenen Inhaltslinien mit der neu berechneten (Abbildung 53). Blau dargestellt ist die Inhaltslinie aus dem Bericht, rot jene aus der Berechnung in ArcMap 10.1. Der Verlauf der beiden Inhaltslinien ist annähernd gleich. Die Inhaltslinie aus der Berechnung liegt konstant unter jener aus dem Bericht.



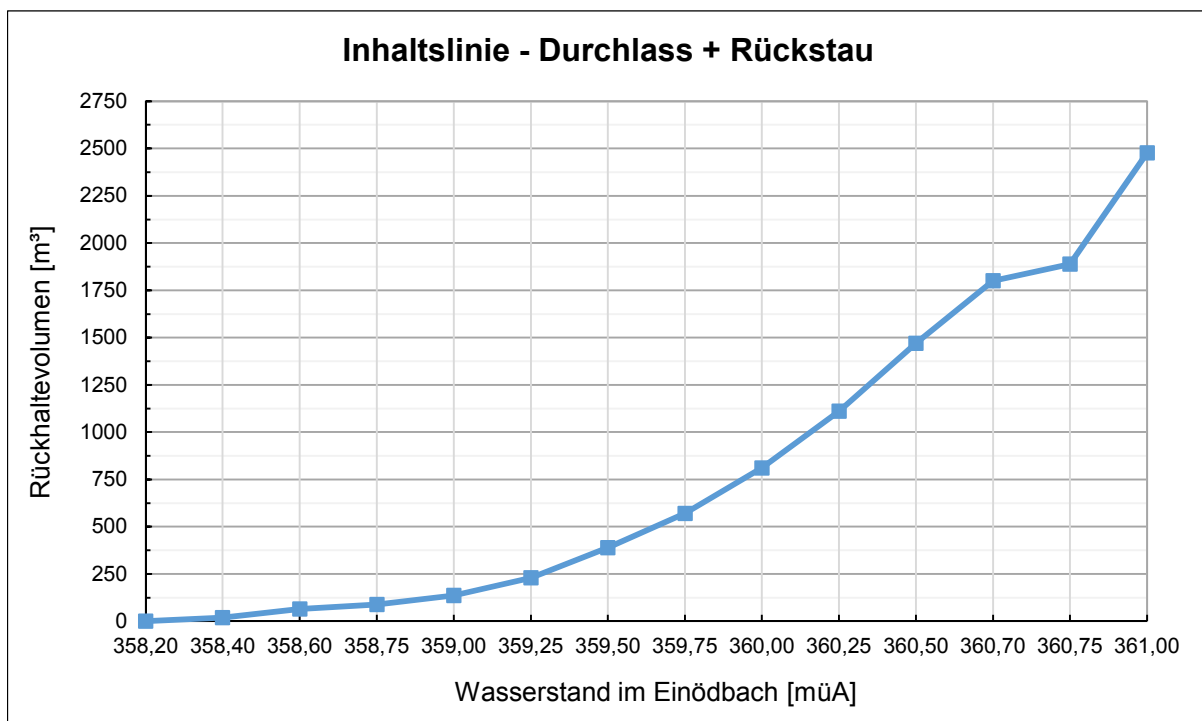
**Abbildung 53: Vergleich der Inhaltslinien**

## 6.2.2 Rückhaltevolumen des Rückstaus

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse des sich mit der Zeit einstellenden Rückstaus im Durchlass und bachaufwärts im Einödbach aufgelistet. Tabelle 10 beinhaltet das Volumen des Rückstaus in den Einödbach inklusive des Volumens des Durchlasses unter der Straßgangerstraße. Der Rückstau in den Durchlass beginnt ab einer Höhe von 358,0 müA und endet für den Durchlass auf einer Höhe von 359,6 müA. Ab diesen Zeitpunkt ist der Durchlass komplett mit Wasser gefüllt. Der Bach erfährt einen Rückstau bis auf 361,0 müA. Dadurch ergibt sich ein maximal zusätzliches Rückhaltevolumen von 2476 m<sup>3</sup>. In Abbildung 54 ist der grafische Verlauf der Inhaltlinie dargestellt.

**Tabelle 10: Rückhaltevolumen durch den Rückstau**

Wasserstand [müA]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Anmerkung
358,2	1	Beginn Einstau im Durchlass
359,0	136	
360,0	812	
360,7	1800	Stauziel
361,0	2476	max. Wasserstand



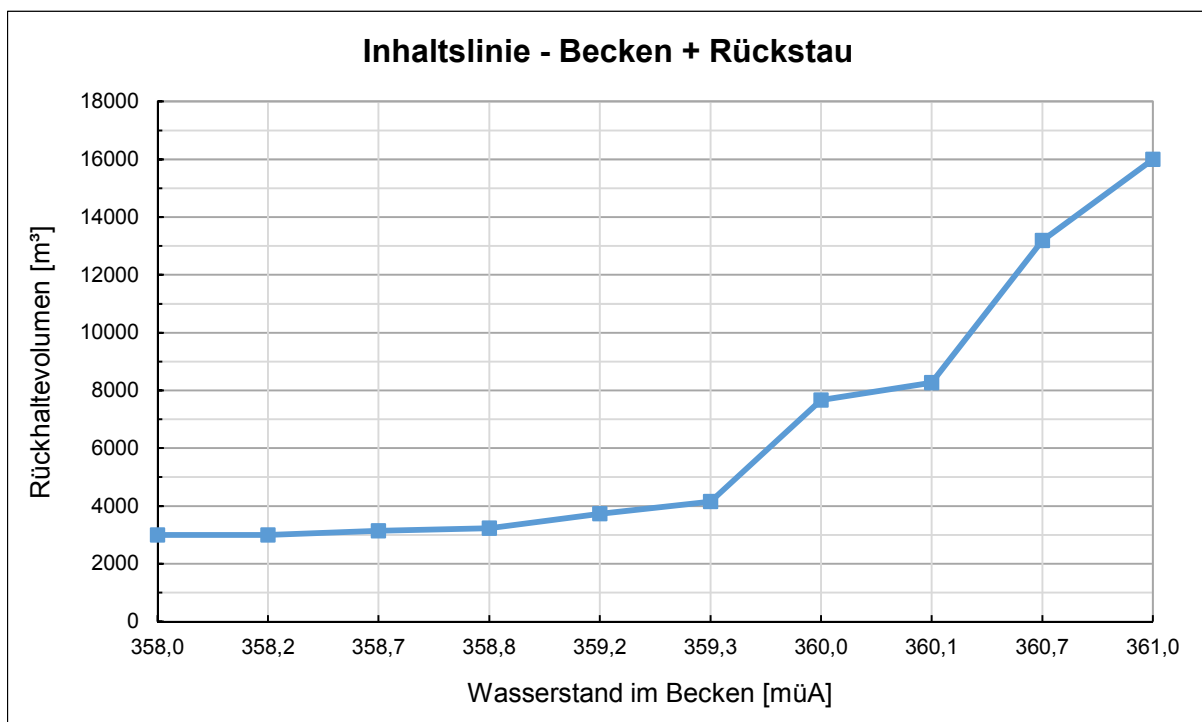
**Abbildung 54: Inhaltlinie des Rückstaus im Einödbach inkl. Durchlass**

### 6.2.3 Rückhaltevolumen inkl. Rückstau

Abschließend wird das durch den Rückstau gewonnene Volumen zu der zuvor berechneten Inhaltlinie des Beckens addiert. Tabelle 11 beinhaltet das Rückhaltevolumen des Beckens inklusive des sich einstellenden Rückstaus. Der Verlauf der Inhaltlinie ist annähernd ident zu jener ohne Rückstau. Ersichtlich ist das um 2476 m<sup>3</sup> größere Rückhaltevolumen. Dieses ergibt sich nun zu 16000 m<sup>3</sup>. Abbildung 55 spiegelt den grafischen Verlauf der Inhaltlinie wieder. Alle Ergebnisse dieser Berechnung sind in Anhang A3 beigelegt.

**Tabelle 11: Rückhaltevolumen des Beckens inkl. Rückstau**

Wasserstand [müA]	Volumen [m <sup>3</sup> ] Inkl. Rückstau	Anmerkung
358,0	3000	Einlauf Becken
358,2	3001	Beginn Rückstau Durchlass
358,7	3143	Ebene 1
359,2	3734	Ebene 2
360,0	7664	Ebene 3
360,7	13187	Stauziel
361,0	16000	max Wasserstand



**Abbildung 55: Inhaltlinie des Beckens inkl. Rückstau in den Einödbach**



## 6.3 Modellierung

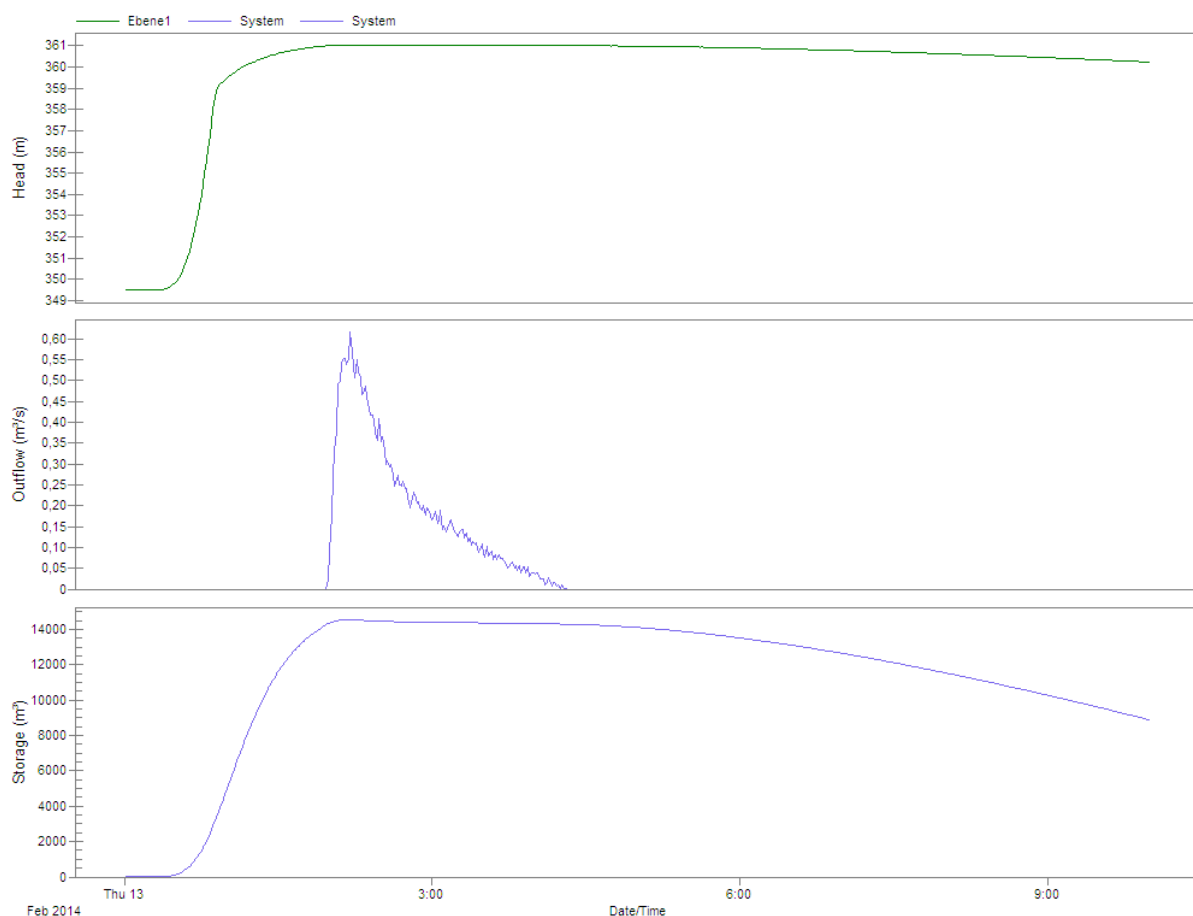
Im nachfolgenden sind die Ergebnisse aus der Berechnung mit dem Softwareprogramm PCSWMM angeführt.

Da alle Ebenen annähernd idente Wasserstandsverläufe aufweisen wird im Folgenden aus Gründen der Übersichtlichkeit immer nur die Wasserstandshöhe der Ebene 1 angeführt. Alle Ergebnisse beziehen sich auf die Zuflussganglinie eines HQ<sub>30</sub> und auf deren Abflussdauer von 10 Stunden.

### 6.3.1 Variante A - Ohne Berücksichtigung des Rückstaus

Zu Beginn werden die Ergebnisse der Modellierung ohne Berücksichtigung des sich einstellenden Rückstaus angeführt.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 56 zu finden. Der erste in grün gehaltene Verlauf spiegelt den Wasserstand in der Ebene 1 wieder. Die mittlere Grafik gibt die Abflussgeschwindigkeit aus dem Becken in m<sup>3</sup>/s an. Diese wird jedoch nur erzeugt, wenn das Becken überläuft. Der letzte Verlauf stellt die dazugehörige Inhaltlinie dar. Wie auf den ersten Blick zu erkennen ist hält das Becken einem HQ<sub>30</sub> nicht stand und es kommt zu einem Überstau bzw. zu einem Abfluss aus dem Becken (Outflow).



**Abbildung 56: Ergebnisse der Modellierung ohne Rückstau**

Bei genauerer Betrachtung kann folgendes festgestellt werden. Die Wasserstandshöhe übersteigt in allen Ebenen das Beckenmaximum und stellt sich bei 361.03 müA ein. Folglich kommt es zu einem Überstau von 3 cm. Die sich daraus errechnete Abflussmenge aus dem Becken ergibt sich zu 1632 m<sup>3</sup>. Das aktivierte Volumen beläuft sich auf 14540 m<sup>3</sup>.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

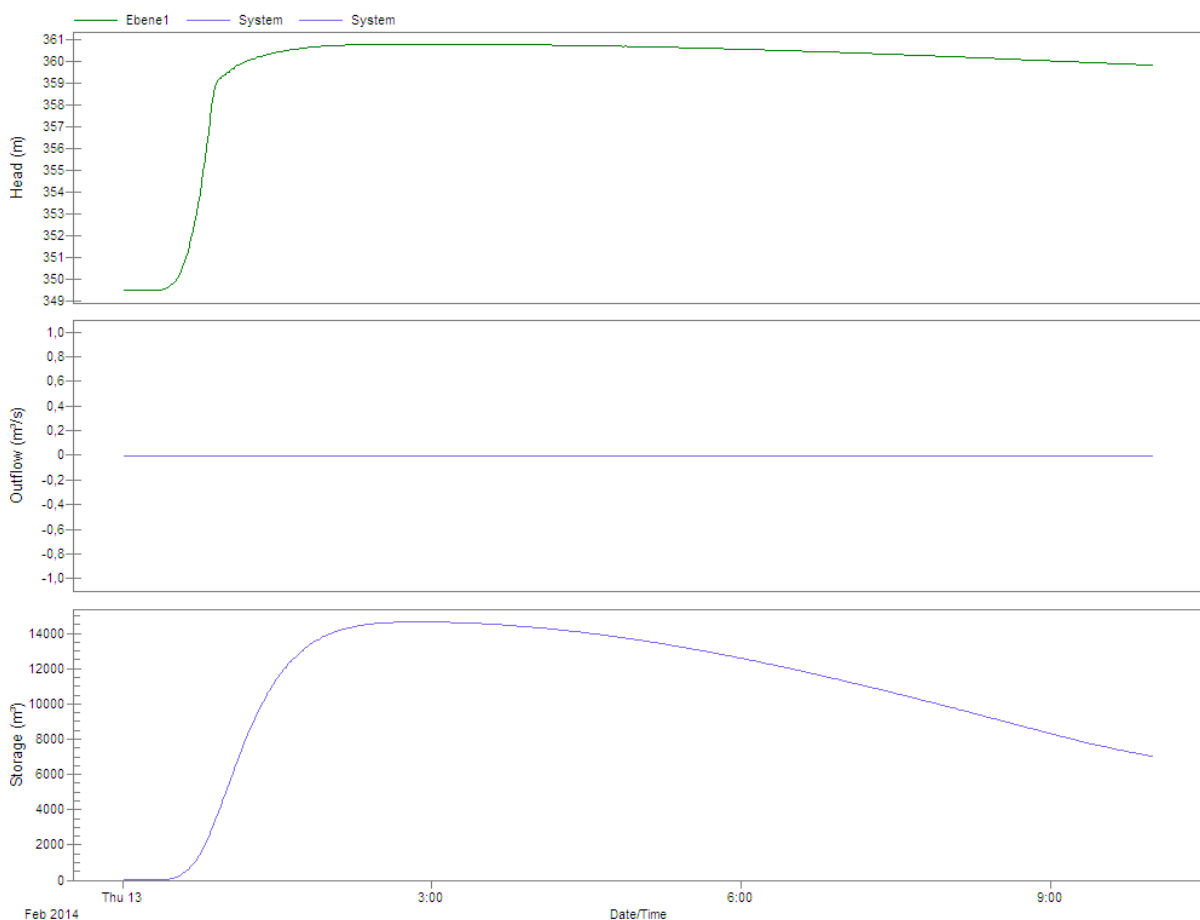
**Tabelle 12: Ergebnisse der Modellierung ohne Rückstau**

Wasserstandshöhe [müA]			Aktiviertes Volumen [m <sup>3</sup> ]	Abfluss	
Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	System	Menge [m <sup>3</sup> ]	Höhe [m]
361,03	361,03	361,03	14540	1632	0,03

### 6.3.2 Variante B - Berücksichtigung des Rückstaus

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellierung unter Berücksichtigung des sich einstellenden Rückstaus angeführt.

Die grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 57 zu finden. Der erste in grün gehaltene Verlauf spiegelt den Wasserstand in der Ebene 1 wieder. Die mittlere Grafik gibt die Abflussgeschwindigkeit aus dem Becken in  $\text{m}^3/\text{s}$  an. Diese wird jedoch nur erzeugt, wenn das Becken überläuft. Die unterste Grafik stellt die dazugehörige Inhaltlinie dar. Wie sofort zu erkennen ist hält das Becken einem  $\text{HQ}_{30}$  stand, da es zu keinem Überstau bzw. zu Abfluss aus dem Becken (Outflow) kommt.



**Abbildung 57: Ergebnisse Modellierung mit Rückstau**

Die Wasserstandshöhe übersteigt in keiner Ebene das Beckenmaximum und stellt sich bei 360,8 müA ein. Folglich kommt es auch zu keinem überstaubedingten Abfluss aus dem Becken. Das aktivierte Volumen beläuft sich auf 14650  $\text{m}^3$  und kann aufgrund des nun zusätzlich vorhandenen Rückhaltevolumens des Rückstaus und der Wirkung des Sickerschlitzes im Zulauf aufgenommen werden. Es ergibt sich ein Freibord von 20 cm.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

**Tabelle 13: Ergebnisse der Modellierung mit Rückstau**

Wasserstandshöhe [müA]			Aktiviertes Volumen [m <sup>3</sup> ]	Abfluss	
Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	System	Menge [m <sup>3</sup> ]	Höhe [m]
360,8	360,8	360,8	14650	0.0	0.0

### 6.3.3 Variante C - Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils im Schotterkörper

Abschließend werden die Ergebnisse aus der Reduktion vom Porenvolumen des Schotterkörpers angeführt.

Die grafische Auswertung der Untersuchung ist in Abbildung 58 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, wie der Wasserstand im Becken mit abnehmender Durchlässigkeit des Schotterkörpers sinkt. Bei der Berechnung mit den lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) festgehaltenen 3000 m<sup>3</sup> an Porenvolumen stellt sich ein Wasserstand von 360,8 müA ein. In diesem Fall beträgt der  $k_f$ -Wert des Schotterkörpers  $2,83 \cdot 10^{-3}$  m/s. Der durchflusswirksame Porenanteil liegt bei  $n = 0,29$  [-]. Das Beckenmaximum wird nach schrittweiser Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils bei einem noch vorhandenen Porenvolumen von etwa 500 m<sup>3</sup> erreicht. Hier liegt der Wasserstand im Becken 1,5 cm unter dem Schwellwert. Der Durchlässigkeitsbeiwert sinkt auf  $4,72 \cdot 10^{-4}$  m/s. Dies entspricht einem durchflusswirksamen Porenanteil von  $n = 0,05$  [-].

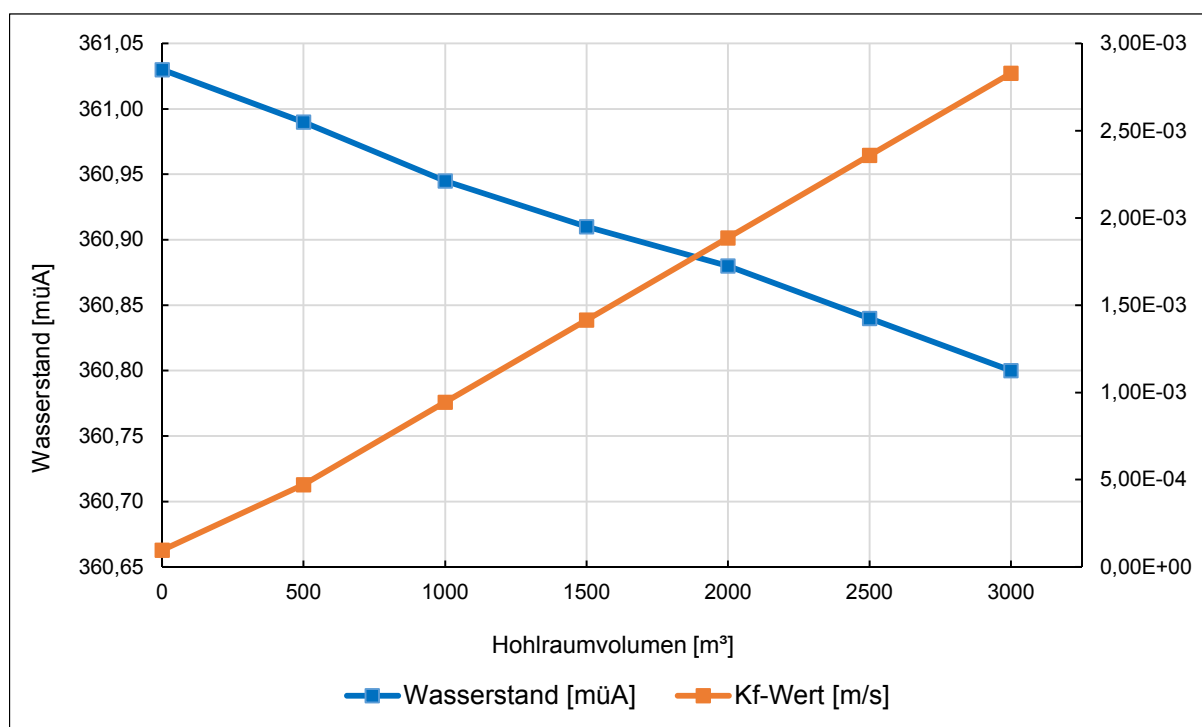


Abbildung 58: Zusammenhang von Wasserstand und Durchlässigkeit des Schotterkörpers



## 7 Interpretation der Ergebnisse

Abschließend werden die in Kapitel 6 angeführten Ergebnisse zusammengefasst und interpretiert. Zu Beginn wird auf die Versickerungsleistung des Schotterkörpers eingegangen. Anschließend werden die Ergebnisse aus der Berechnung der Inhaltslinien analysiert. Am Ende folgt die Interpretation der Resultate aus der 1D-numerischen Berechnung in PCSWMM.

Die Auswertung der Daten des Wasserstandschachtes ergibt, dass die im Technischen Bericht vorgeschriebene Versickerungskapazität des Schotterkörpers von  $k_f \gg 1 \cdot 10^{-4}$  m/s eingehalten wird. Im Schnitt stellt sich ein errechneter  $k_f$ -Wert des Schotterkörpers von  $2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s ein. Es lässt sich festhalten, dass die Versickerungskapazität über den Betrachtungszeitraum von vier Jahre nicht abgenommen hat. Ein essentieller Punkt ist die Vorsättigung des Schotterkörpers. Es stellt sich heraus, dass bei vorhergehenden Regenereignissen die Sickerleistung des Schotterkörpers im Becken, aufgrund schon vorherrschender Sättigung, bis auf  $1,3 \cdot 10^{-3}$  m/s abnimmt. Ist der Schotterkörper wie gewünscht nicht durch vorhergehende Regenereignisse bereits gesättigt bzw. teilgesättigt, steigt seine Sickerleistung auf  $4,3 \cdot 10^{-3}$  m/s. Bei der Nachrechnung des geforderten Hohlraumvolumens von  $3000 \text{ m}^3$  wird ein angesetzter  $k_f$ -Wert von  $2,83 \cdot 10^{-3}$  m/s errechnet. Dieser korreliert mit jenem aus der Auswertung der Daten des Wasserstandschachtes, welcher wie bereits erwähnt mit  $2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s ermittelt wurde.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Berechnung der Inhaltslinie zusammengefasst und interpretiert. Es wird ein Vergleich des Rückhaltevolumens zwischen dem Technischen Bericht und jenem aus der Berechnung einmal ohne und einmal mit Rückstau durchgeführt. Die Abweichungen werden aufgezeigt und prozentuell ausgegeben. Der Vergleich ist in Tabelle 14 und Tabelle 15 zu finden. Beide Tabellen beziehen sich im oberen Teil auf das Stauziel und im unteren Teil auf den maximalen Wasserstand. Tabelle 14 beinhaltet die Werte ohne Rückstau, Tabelle 15 mit Rückstau.

**Tabelle 14: Vergleich Grundflächen und-Beckenvolumen ohne Rückstau**

360,7 müA	Grundfläche lt. Technischen Bericht	unbekannt	-
	Grundfläche lt. DGM	6861 m <sup>2</sup>	
	Beckenvolumen lt. Technischen Bericht	12169 m <sup>3</sup>	-782 m <sup>3</sup>
	Beckenvolumen lt. DGM	11387 m <sup>3</sup>	-6,4 %

361,0 müA	Grundfläche lt. Technischen Bericht	7520 m <sup>2</sup>	-229 m <sup>2</sup>
	Grundfläche lt. DGM	7291 m <sup>2</sup>	-3,0 %
	Beckenvolumen lt. Technischen Bericht	14381 m <sup>3</sup>	-858 m <sup>3</sup>
	Beckenvolumen lt. DGM	13523 m <sup>3</sup>	-6,0 %

Tabelle 14 zeigt, dass gemäß der aktuellen Berechnungen sowohl das Rückhaltevolumen als auch die Grundfläche des Beckens ohne Berücksichtigung des sich einstellenden Rückstaus im Einödbach kleiner sind als jene laut Technischen Bericht. Bei der Gegenüberstellung der Grundfläche des Beckens bei 361,0 müA liefert die Berechnung mit ArcMap 10.1 eine um 229 m<sup>2</sup> kleinere Fläche. Dies entspricht in Bezug auf die Gesamtfläche laut Bericht (7520 m<sup>2</sup>) einer Abweichung von 3 %. Ein maßgebender Unterscheid ist bei der Analyse des Beckenvolumens zu erkennen. Hier beträgt die Differenz zwischen Plan und Berechnung 858 m<sup>3</sup>. Dies entspricht einer Abweichung von 6 %. Infolgedessen besitzt das Becken gemäß der Berechnungen auf Grundlage des Digitalen Geländemodells, ohne Berücksichtigung des Rückstaus ein um 6 % geringeres Rückhaltevolumen.

Mögliche Gründe für die Abweichung könnten die Auflösung des Digitalen Geländemodells oder Unterschiede in der Böschungsneigungen zwischen Plan und Realität darstellen.

In Tabelle 15 wird der sich einstellende Rückstau im Durchlass unter der Straßgangerstraße und bachaufwärts im Einödbach in der Volumsberechnung mit berücksichtigt. Durch den Rückstau wird ein zusätzliches Rückhaltevolumen generiert. Folglich steigt das gesamte Rückhaltevolumen des Beckens. Dies spiegelt sich sowohl beim Stauziel (+1018 m<sup>3</sup>) als auch beim maximalen Wasserstand (+1619 m<sup>3</sup>) wieder. Bei maximalen Einstau in das Becken entsteht ein um 11,3 % größeres Rückhaltevolumen als lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) vorgesehen. Die Grundflächen können nicht miteinander verglichen werden, da nach Durchsicht der zu Verfügung gestellten Unterlagen keine entsprechenden Werte bezüglich des Rückstaus anzufinden sind.

**Tabelle 15: Vergleich Grundflächen und-Beckenvolumen mit Rückstau**

360,7 müA	Grundfläche lt. Technischen Bericht	unbekannt	-
	Grundfläche lt. DGM	8612 m <sup>2</sup>	
	Beckenvolumen lt. Technischen Bericht	12169 m <sup>3</sup>	+1018 m <sup>3</sup>
	Beckenvolumen lt. DGM	13187 m <sup>3</sup>	+8,4 %

361,0 müA	Grundfläche lt. Technischen Bericht	unbekannt	-229 m <sup>2</sup>
	Grundfläche lt. DGM	10191 m <sup>2</sup>	-3,0 %
	Beckenvolumen lt. Technischen Bericht	14381 m <sup>3</sup>	+1619 m <sup>3</sup>
	Beckenvolumen lt. DGM	16000 m <sup>3</sup>	+11,3 %

Bei der Analyse von Tabelle 15 ist anzumerken, dass im lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) der Rückstau nicht mit berücksichtigt wurde und somit der hier durchgeführte Vergleich der Volumina und Flächen nicht aussagekräftig ist. Es zeigt jedoch auf, dass durch den Rückstau in den Einödbach ein zusätzliches Volumen entsteht, welches zum Rückhaltevolumen des Beckens gezählt werden kann. Es entsteht ein zusätzlicher Puffer welcher als „Volumenreserve“ angesehen werden kann. So könnten die berechneten 2476 m<sup>3</sup> theoretisch eine etwaige zeitliche Verschlammung des Sickerkörpers mit abdecken.

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Berechnung von Variante A mit PCSWMM fällt auf, dass das Becken einem HQ<sub>30</sub> nicht standhält. Laut Berechnung kommt es zu einem Überstau von 0,03 cm und einem Abfluss aus dem Becken von 1632 m<sup>3</sup>. In dieser Variante wurde allerdings wie auch in der ursprünglichen Bemessung des Beckens der Rückstau im Zulaufbereich nicht mit eingerechnet

Bei der Berechnung der Variante B, mit Rückstau, nimmt das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken ein HQ<sub>30</sub> ohne Probleme auf. Der Wasserstand stellt sich hier bei 360,8 müA ein. Es stehen 20 cm als Freibord zur Verfügung. Das aktivierte Rückhaltevolumen beläuft sich auf 14650 m<sup>3</sup>.

Bei der Reduktion des durchflusswirksamen Porenanteils des Schotterkörpers in Variante C wird die Theorie bestätigt, dass mit abnehmender Versickerungskapazität der Wasserstand im Becken steigt. Bei der Modellierung mit den veranschlagten Porenvolumen von 3000 m<sup>3</sup> ergibt sich ein  $k_f$ -Wert des Schotterkörpers von  $2,83 \cdot 10^{-3}$  m/s. Hier wird der HQ<sub>30</sub>-Zufluss ohne Probleme vom Becken aufgenommen. Der Wasserstand im Becken stellt sich in diesem Fall bei 360,8 müA ein. Der maximale Wasserstand ergibt sich bei einem Durchlässigkeitsbeiwert des Schotterkörpers von  $4,72 \cdot 10^{-4}$  m/s. Als Grenz- bzw. Schwellenwert wird ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $9,43 \cdot 10^{-4}$  m/s empfohlen. Hier stehen laut der Modellierung noch 10 cm an Freibord zur Verfügung.

Zusätzlich wird festgestellt, dass die Reduktion des Porenvolumens mit dem Volumen des sich einstellenden Rückstaus korreliert. Aufgrund des Rückstaus wird ein zusätzliches Rückhaltevolumen von 2476 m<sup>3</sup> generiert. Dem Becken stehen folglich 2476 m<sup>3</sup> mehr an Volumen zur Verfügung. Ohne das Becken zu überlasten, kann die Reduktion des Porenvolumens bis auf 500 m<sup>3</sup> durchgeführt werden. Vergleicht man nun die Differenz aus der Reduktion des Porenvolumens (2500 m<sup>3</sup>) mit dem zusätzlichen Volu-

men des Rückstaus (2476 m<sup>3</sup>) wird erkennbar, dass bei Berücksichtigung des zusätzlichen Volumens aus dem Rückstau eine zunehmende Verschlämmung des Schotterkörpers kompensiert werden kann. Eine solche Verschlämmung kann aus verschiedenen Gründen stattfinden, wie z.B. Teil- oder Komplettsättigung des Bodens durch vorangehende Niederschläge oder Verfüllung des Porenraumes durch Feinteile bei vorhergehenden Ereignissen. Generell ist mit zunehmender Betriebsdauer auch mit einer Beeinträchtigung der Sickerleistung zu rechnen.

Das verfügbare Rückstauvolumen kann aber nicht uneingeschränkt als Sicherheitsfaktor verstanden werden, da ein Wegfall des kompletten Porenvolumens von 3000 m<sup>3</sup> eine Überlastung des Beckens zur Folge hat. Es wird darauf hingewiesen, dass in der Berechnung keine Sättigungen des Bodens berücksichtigt wurden. So könnte beispielsweise eine Teilsättigung in Kombination mit einer gleichzeitigen zunehmenden Verfüllung des durchflusswirksamen Porenanteils das Becken bereits bei geringeren Wassermassen als mit den gerechneten an seine Grenzen bringen.

## 8 Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

Die Gefahren, welche von einem Hochwasser ausgehen, wurden lange Zeit unterschätzt. Aufgrund in letzter Zeit immer häufiger auftretenden Hochwasserereignissen stehen Hochwasserschutzkonzepte mehr und mehr im Fokus der Öffentlichkeit.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wurden zu Beginn grundlegende Begriffe zum Thema Hochwasserschutz angeführt. Diese umfassen einen kurzen geschichtlichen Überblick über die Siedlungsentwicklung inklusive daraus folgender zunehmender Versiegelung. Im Vordergrund standen die unterschiedlichen Hochwasserschutzkonzepte mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen.

Im Anschluss an den ersten theoretischen Teil folgte eine spezifische Betrachtung des Grazer Raums. Graz wird nicht zu Unrecht als „Grüne Stadt“ bezeichnet, denn neben zahlreichen Park- und Grünraumanlagen ziehen sich 52 benannte Bäche und eine Vielzahl von kleineren Gerinnen durch das Stadtgebiet. Zusätzlich befinden sich 10 ausgewiesene Wildbäche im Grazer Raum. Die Länge des gesamten Gewässernetzes beträgt in etwa 270 km. Das Einzugsgebiet beläuft sich auf ungefähr 140 km<sup>2</sup>.

Hier ist es nicht verwunderlich, dass die Stadt bzw. sein Umland im Laufe der Geschichte immer wieder von teils schweren Hochwassern heimgesucht wurde. Das erste aufgezeichnete Hochwasser in der Stadt Graz geht auf das Jahr 1827 zurück. In den letzten Jahren ist an erster Stelle das Hochwasser von 2005 zu erwähnen. Dieses führte zu einem Gesamtschadensvolumen von rund 5 Mio. €. 2009 und 2012 standen nach gewittrigen Starkregenereignisse ebenfalls teils ganze Bezirke unter Wasser. Das katastrophale Hochwasser von 2005 gilt als Initialzündung für das Maßnahmenprogramm Sachprogramm Grazer Bäche. Dieses setzt sich mit dem Hochwasserschutz im Raum Graz auseinander. Ziel ist das Erreichen eines nachhaltigen Hochwasserschutzes für alle gefährdeten Objekte im innerstädtischen Bereich. Als Schutzgrad wird ein HQ<sub>100</sub> angestrebt. Im Zuge dieses Maßnahmenprogrammes wurde für 41 Bäche ein Hochwasserschutzkonzept ausgearbeitet. Es umfasst in Summe die Errichtung von 29 Hochwasserrückhaltebecken mit einem Gesamttretentionsvolumen von ca. 1,0 Mio.m<sup>3</sup>. Die Gesamtkosten belaufen sich auf geschätzte 65,0 Mio. € (Preisbasis 2006). Alle angedachten Hochwasserschutzkonzepte sollen bis 2015 abgeschlossen werden.

Eine Besonderheit weisen drei westlich der Mur gelegenen Bäche auf (Bründlbach, Einödbach und den Katzelbach). Diese besitzen keinen Vorfluter zu Mur und versickern daher entweder im Grazer Feld oder werden in das öffentliche Kanalnetz der Stadt Graz eingeleitet.

Im Fokus dieser Masterarbeit stand das ab 2005 umgesetzte Hochwasserschutzkonzept des Einödbaches. Insbesondere das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken Schererpark. Der Einödbach befindet sich im Westen der Stadt Graz. Er ent-



springt am rechtsufrig der Mur gelegenen Höhenzug des Plabutsch zwischen Kollerberg und Ölberg und entwässert ein etwa 1,0 km<sup>2</sup> großes Einzugsgebiet. Seine Besonderheiten beruhen einerseits auf das Nichtvorhandensein eines Vorfluters und andererseits auf seiner Wasserführung. Sein Bachbett ist in den Sommermonaten oft völlig ausgetrocknet und führt nur nach Starkregenereignissen Wasser. Der Oberlauf weist aufgrund der Steilheit der Grabeneinhänge die Charakteristik eines Wildbaches auf. Der Unterlauf ist dicht besiedelt und glich vor den Ausbaumaßnahmen eher einem Straßengraben. Das ursprüngliche Gerinne verlief ab der Querung mit der Krottendorferstraße in einem wesentlich kleineren Querschnitt und gegenüber dem Vorland in aufgedämmter Lage. Schlussendlich versickerte der Einödbach auf einer Grünfläche östlich der Straßgangerstraße.

Auf Grundlage des Sachprogramms Grazer Bäche wurde ein Hochwasserschutzkonzept für den Einödbach ausgearbeitet. Dieses umfasst ein Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken im Bereich der zuvor erwähnten Grünfläche, einen etwa 500 m langen Gerinneneubau im Bereich des zuvor gegenüber dem Vorland aufgedämmten Verlaufs sowie einen Gerinneausbau bis zur Kehre mit der Steinbergerstraße. Zusätzlich wurde am Grabenausgang eine Geschiebesperre errichtet. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten konnte kein durchgehender 100-jährlicher Hochwasserschutz umgesetzt werden. Das Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken konnte aufgrund der beengten Platzverhältnisse sowie der geringen Sickerfähigkeit des anstehenden Bodens nur auf ein HQ<sub>30</sub> dimensioniert werden. Der Schutzgrad eines HQ<sub>100</sub> kann bis zum Durchlass unter der Steinbergerstraße sichergestellt werden.

Der Hauptteil dieser Masterarbeit beschäftigte sich mit der Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens. Vorrangig wurde die Versickerungsleistung untersucht. Diese ist essentiell für das Abfangen einer Hochwasserwelle. Das Becken wurde in einem 1D-numerischen Modell in PCSWMM abgebildet. Es wurden verschiedenen Szenarien mit unterschiedlichen Sickerleistungen und Zuflusssituationen betrachtet. In der ersten Berechnungsvariante wurde das Becken abgebildet. Im zweiten Schritt wurde das Becken mit einem sich einstellenden Rückstau im Durchlass und bachaufwärts im Einödbach modelliert. Abschließend wurde unter Annahme einer sich mit der Zeit einstellende Verschlämmung des Schotterkörpers die Funktionsfähigkeit der Anlage überprüft. Es wurde ein Grenzwert für die Durchlässigkeit des Schotterkörpers bestimmt, bis zu welchen die Funktionsfähigkeit des Beckens gegeben ist.

Im Zuge dieser Untersuchungen wurde auch das Rückhaltevolumen des Beckens überarbeitet. Die Inhaltlinie wurde auf Grundlage eines Digitalen Geländemodells ermittelt. Das Volumen des sich einstellende Rückstaus im Zulauf wurde mit berücksichtigt. Anschließend erfolgte ein Vergleich der Inhaltlinien lt. Sackl (Hydroconsult, 2005, BA1) und jener aus der Berechnung.

Abschließend wurden die Messwerte von einem sich im Becken befindlichen Wasserstandsschacht ausgewertet, analysiert und interpretiert. Daraus konnte auf die reale Versickerungsleistung des Schotterkörpers geschlossen werden.

Die Untersuchungen des Rückhaltevolumens ergaben, dass mit einem Rückstau ein zusätzliches Volumen von 2463 m<sup>3</sup> generiert wird. Inklusiv der 3000 m<sup>3</sup> an Porenvolumen ergab sich ein Rückhaltevolumen von 16000 m<sup>3</sup>. Es stehen also 2463 m<sup>3</sup> mehr an Rückhaltevolumen zur Verfügung. Dieses Volumen kann als Sicherheitspuffer für etwaige betriebliche Störungen angesehen werden.

Die 1D-numerischen Berechnung lieferte zwei aussagekräftige Erkenntnisse. Laut der Modellierung würde das Becken einem 30-jährlichen Hochwasser nicht standhalten. Es kam zu einem Überstau von 3 cm und zu einem Abfluss aus dem Becken von 1632 m<sup>3</sup>. Bei der Berechnung unter Berücksichtigung des sich einstellenden Rückstaus, wurde die Hochwasserwelle ohne Probleme vom Becken aufgenommen. In diesem Fall ergab sich ein Freibord von 20 cm. Dieses Ergebnis verdeutlicht einen maßgebenden Einfluss des Rückstaus auf die Funktionsfähigkeit des Beckens. Das zusätzlich generierte Rückhaltevolumen führt zu einer Erhöhung des Sicherheitsfaktors des Beckens.

Die 1D-numerischen Modellierung einer zunehmenden Verschlammung des Schotterkörpers bestätigte, dass mit abnehmender Versickerungsleistung der Wasserstand im Becken steigt. Der maximale Wasserstand stellte sich bei einem Durchlässigkeitsbeiwert des Schotterkörpers von  $4,72 \cdot 10^{-4}$  m/s ein. Für die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Beckens wird die Errichtung eines Warnsystems empfohlen. Hierfür müsste die Messeinrichtung des Wasserstandsschachtes in Bezug auf die Versickerungsleistung kalibriert werden. Als Grenz- bzw. Schwellenwert wird ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $9,43 \cdot 10^{-4}$  m/s empfohlen. Hier standen laut der Modellierung noch 10 cm an Freibord zur Verfügung. Sollte dieser Grenzwert erreicht werden, könnten sofortige Maßnahmen, beispielsweise Austausch oder Reinigung des Schotterkörpers, eingeleitet werden. Es wird auf die DWA-A 138 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2005) verwiesen.

Nach Durchsicht und Interpretation der Ergebnisse werden für eventuell weiterführende Forschungsarbeiten bezüglich dieses Projektes folgende Empfehlungen abgegeben.

Ein Problem bei den Berechnungen besteht darin, dass die verwendeten Durchlässigkeitswerte auf einem Bodengutachten von 2005 basieren. Es wird daher vorgeschlagen, Versickerungsversuche im Becken und bachaufwärts im Bereich des Rückstaus durchzuführen.

Für die Ermittlung des Rückhaltevolumens wurde ein Digitales Geländemodell aus dem Jahr 2011 verwendet. Dieses wurde mittels ALS (Airborne Laserscanning) aufgenommen und hat daher eine begrenzte Auflösung. Um das Becken mit einem hohen

Detailgrad abbilden zu können, wird zu einer hochauflösenden 2D-Laserscan Vermessung geraten. Dadurch könnte eine sehr realitätsnahe Abbildung sichergestellt werden. Folglich könnte direkt auf das reale Rückhaltevolumen geschlossen werden.

Die vorliegenden Berechnungen liegen einer 1D-numerischen Modellbildung zu Grunde. Da 1D-Modelle die dreidimensionale Realität nur sehr eingeschränkt abbilden können, sollte in der Folge auch eine 2D-numerischen Modellbildung stattfinden. Die Ergebnisse könnten verfeinert und auf GIS-Grundlagen visualisiert bzw. animiert werden. Eine beispielhafte Ausgabe wäre die optische Darstellung von Überflutungsflächen.

Bei der 1D-numerische Modellierung wurde mit einer HQ<sub>30</sub> Zuflussganglinie gerechnet. Für eine detailliertere Versickerungsmodellierung wäre weiters eine Simulation mit Dauerregensereien von Interesse.

Die vorliegende Masterarbeit zum Thema „Modelltechnische Untersuchung des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbeckens Schererpark“ dient als Grundlage für etwaige weitere Bearbeitungen.

---

## Literaturverzeichnis

**Archiv Land Steiermark. 2013.** Sommer 1975 - Gewässer Stadt Graz. [Online] 2013. [Zitat vom: 4. Oktober 2013.] <http://wasser.graz.at/cms/beitrag/10070336/1070840/>.

**Bundeskanzleramt, Rechtsinformationssystem. 2013.** RIS - Gesamte Rechtsvorschrift für Gefahrenzonenpläne - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 19.11.2013. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne.* [Online] 19. November 2013. [Zitat vom: 19. November 2013.] <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010379&ShowPrintPreview=True>. BGBl. Nr. 436/1976.

**Chiwater. 2014b.** Soil characteristics : CHI Support. [Online] 14. Februar 2014b. [Zitat vom: 22. April 2014.] <http://support.chiwater.com/support/solutions/articles/35660-soil>.

— **2014a.** SWMM modeling with PCSWMM - Advanced modeling software for stormwater management, wastewater and watershed modeling. [Online] 2014a. [Zitat vom: 18. März 2014.] <http://www.chiwater.com/Software/PCSWMM/index.asp>.

**Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. 2005.** Arbeitsblatt DWA-A 138. *Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.* Hennef, Deutschland : s.n., 2005.

**DLR. 2014.** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - DLR Presse Portal - Presse-Informationen - DLR-Luftbilder zeigen Ausmaß der Überflutungen. [Online] 2014. [Zitat vom: 30. Jänner 2014.] [http://www.dlr.de/dlr/presse/desktopdefault.aspx/tabid-10310/473\\_read-7265/year-all/#gallery/11096](http://www.dlr.de/dlr/presse/desktopdefault.aspx/tabid-10310/473_read-7265/year-all/#gallery/11096).

**Egger-Schinnerl. 2009.** 18. Juli 2009 Hochwasser in Graz nach massiven Regenfällen - Gewässer Stadt Graz. [Online] 2009. [Zitat vom: 28. Oktober 2013.] <http://wasser.graz.at/cms/beitrag/10122294/2491013>.

— **2010.** Hochwasser Einödbach 16.10.2010. 2010.

**ESRI. 2012.** ArcGIS Desktop. [Online] 2012. [Zitat vom: 20. März 2014.] <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//00q900000037000000>

— **2013.** ArcGIS Help 10.1 - Was ist ArcMap? [Online] 11. November 2013. [Zitat vom: 17. März 2014.] <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#//018q00000003000000>.

**ESRI-Austria. 2014.** ArcGIS. [Online] 2014. [Zitat vom: 17. März 2014.] <http://www.esri-austria.at>.

**gipfelrast.at. 2012.** Hochwasser Graz-St. Peter 2012 » gipfelrast.at. [Online] 25. Juli 2012. [Zitat vom: 28. Jänner 2014.] <http://gipfelrast.at/2012/07/hochwasser-graz-st-peter-2012/>.

**GIS - Steiermark - Geologie & Geotechnik. 2013b.** Digitaler Atlas Steiermark - Geologie & Geotechnik. [Online] 2013b. [Zitat vom: 28. Oktober 2013.] [http://gis2.stmk.gv.at/atlas/\(S\(353vyr45gfcbsy45kosly535\)\)/init.aspx?karte=erdwiss&ks=das&cms=da&massstab=800000](http://gis2.stmk.gv.at/atlas/(S(353vyr45gfcbsy45kosly535))/init.aspx?karte=erdwiss&ks=das&cms=da&massstab=800000).

**GIS - Steiermark - Gewässer & Wasserinformation. 2013a.** Digitaler Atlas Steiermark - Gewässer & Wasserinformation. [Online] 2013a. [Zitat vom: 12. November 2013.] <http://gis2.stmk.gv.at/atlas/%28S%28h HCI5j55lx1ysf55bb5c5cft%29%29/init.aspx?karte=gew&ks=das&cms=da&massstab=800000>.

**GIS - Steiermark - Klima. 2012.** Digitaler Atlas Steiermark - Klima. [Online] 2012. [Zitat vom: 4. November 2012.] [http://gis2.stmk.gv.at/atlas/\(S\(ao3j4fn3mk2zej55skj320e0\)\)/init.aspx?karte=klima atlas&ks=das&cms=da&massstab=800000](http://gis2.stmk.gv.at/atlas/(S(ao3j4fn3mk2zej55skj320e0))/init.aspx?karte=klima atlas&ks=das&cms=da&massstab=800000).

**Glaser, Rüdiger. 2001.** *Klimageschichte Mitteleuropas; 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen.* Darmstadt : Primus Verlag, 2001. ISBN 9783896784056.

**Hornich, Rudolf. 2012.** Referat Naturgefahrenmanagement - Wasser. [Hrsg.] Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau. Graz : s.n., 2012.

**Hydroconsult. 2006a.** *Bründlbach - Nr. 30; Kurzbereicht.* Graz : s.n., 2006a.

—, **2005.** *Einödbach (39) - Dokumentation Hochwasser 21.08.2005 (26.07.2005).* Graz : s.n., 2005.

—, **2005.** *Grazer Bäche, Dokumentation Hochwasser 21.08.2005 (26.07.2005), Einödbach 39.* Graz : s.n., 2005.

—, **2006b.** *Katzelbach Nr.41 / re. Zubringer Nr.42 - Technischer Bericht.* Graz : s.n., 2006b.

—, **2006, BA3.** *Technischer Bericht - HWS Einödbach - BA 3 - Bachausbau km 0.5635 bis km 1.0859 - Detailprojekt 2006.* Graz : s.n., 2006, BA3.

—, **2005, BA1.** *Technischer Bericht - HWS Einödbach - Hochwasserrückhalte- und Versickerungsanlage und Bachausbau - Detailprojekt 2005.* Graz : s.n., 2005, BA1.

—, **2006, BA2.** *Technischer Kurzbericht - HWS Einödbach - BA 2 - Bachausbau km 0.0711 bis 0.5635 - Detailprojekt 2005.* Graz : s.n., 2006, BA2.

**Ingenos. 2006.** *Sachprogramm Grazer Bäche, Maßnahmenprogramm 2006, Zusammenfassender Bericht, Stammdatenblatt Einödbach.* 2006.

**Jakober. 2005.** August 2005 - Gewässer Stadt Graz. [Online] 2005. [Zitat vom: 28. Oktober 2013.] <http://wasser.graz.at/cms/beitrag/10057934/1070897>.

**Kleine Zeitung. 2012.** Platzregen überflutet Teile von Graz > Kleine Zeitung. [Online] 25. Juli 2012. [Zitat vom: 28. Jänner 2014.]



<http://www.kleinezeitung.at/nachrichten/chronik/hochwasser/3076031/platzregen-ueberflutet-teile-graz.story>.

**Land Steiermark. 2014.** KLIMAREGIONEN DER STEIERMARK - Umweltinformation Steiermark - Land Steiermark. [Online] 2014. [Zitat vom: 04. November 2013.] <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/25206/DE/>.

**Land Steiermark, Amt der Steiermärkischen Landesregierung. 2013.** Klimaregionen der Steiermark. [Online] 5. Mai 2013. [Zitat vom: 04. November 2013.] <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/25206/DE/>.

**Lebensministerium.at. 2013.** Gefahrenzonenplanung. [Online] 2013. [Zitat vom: 18. November 2013.] <http://www.lebensministerium.at/forst/schutz-naturgefahren/wildbach-lawinen/leistungen/Gefahrenzonenplanung.html>.

**Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt. 2012.** Stadt Graz - WebGIS Bäche in Graz. [Online] 2012. [Zitat vom: 17. November 2012.] <http://geodaten1.graz.at/WebOffice/synserver?client=&project=baeche>.

**Magistrat Graz, A10/6-Stadtvermessungsamt. 2008.** *Baugrundatlas Graz*. Graz : Magistrat Graz, A10/6-Stadtvermessungsamt, 2008.

**REPRO SOMMER. 2014.** Mur 1827 - Damals in der Steiermark | Austria-Forum > Politik und Geschichte. [Online] 2014. [Zitat vom: 28. Jänner 2014.] [http://austria-forum.org/af/Wissenssammlungen/Damals\\_in\\_der\\_Steiermark/Mur\\_1827](http://austria-forum.org/af/Wissenssammlungen/Damals_in_der_Steiermark/Mur_1827).

**Sackl. 2006.** HWS Einödbach Istzustand/Fotodokumentation. Graz : s.n., 2006.

**Stadt Graz. 2014.** Gewässer und Hochwasserschutz - Stadtportal der Landeshauptstadt Graz. [Online] 2014. [Zitat vom: 14. April 2014.] <http://www.graz.at/cms/beitrag/10027819/427296/>.

**Stadt Graz, Abteilung für Grünraum und Gewässer. 2010.** *Datenblatt Messstelle Schererpark (Einödbach), Nr. 4, Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken*. Graz : s.n., 2010.

— **2013b.** Hochwasser in Graz nach massiven Regenfällen. *Katastrophenalarm ausgelöst*. [Online] 28. Oktober 2013b. [Zitat vom: 28. Oktober 2013.] <http://wasser.graz.at/cms/beitrag/10122294/2491013>.

— **2013b.** SACHPROGRAMM GRAZER BÄCHE - Gewässer Stadt Graz. [Online] 2013b. [Zitat vom: 30. Oktober 2013.] [http://wasser.graz.at/cms/dokumente/10059036\\_1066489/c19c4ebf/Gewaesserplan-Graz\\_A4\\_10-2013.pdf](http://wasser.graz.at/cms/dokumente/10059036_1066489/c19c4ebf/Gewaesserplan-Graz_A4_10-2013.pdf).

— **2013a.** Sommer 1975. *Dokumentierte Hochwässer*. [Online] 29. Oktober 2013a. [Zitat vom: 29. Oktober 2013.] <http://wasser.graz.at/cms/beitrag/10070336/1070840/>.

**Stadt Graz, Stadtvermessung. 2014.** Orthofoto. Graz : s.n., 2014.

**Strobl, Theodor und Zunic, Franz. 2006.** *Wasserbau, Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen.* s.l. : Springer Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-47857-7.

**Wasserland Steiermark. 2007.** 4. Grazer Bäche-Enquete. [Online] 22. Oktober 2007. [Zitat vom: 28. 10 2013.] [http://www.wasserland.steiermark.at/cms/dokumente/10046052\\_1356921/b27ad88c/GrazerB%C3%A4che-32Seiten.pdf](http://www.wasserland.steiermark.at/cms/dokumente/10046052_1356921/b27ad88c/GrazerB%C3%A4che-32Seiten.pdf).

**Weikinn, Curt. 1958.** *Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850. Hydrographie, Teil 1 (Zeitwende–1500).* Berlin : Akademie-Verlag, 1958.

**Wikipedia®. 2014.** ArcGIS – Wikipedia. [Online] 14. März 2014. [Zitat vom: 17. März 2014.]

—. **2013.** Wikipedia. [Online] 19. Oktober 2013. [Zitat vom: 15. Jänner 2014.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Magdalenenhochwasser>.

**Wildbach- und Lawinenverbauung. 2007.** *Projekt Einödbach 2007, Technischer Bericht.* Graz : Lebensministerium, 2007.

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abflussbeiwert $\Psi$ in Abhängigkeit der Bebauungsdichte (Strobl, et al., 2006).....	15
Tabelle 2:	Übersicht n-jährliche Spitzenabflusswerte Einödbach .....	43
Tabelle 3:	Hauptdaten des Hochwasserrückhalte- und Versickerungsbecken (Hydroconsult 2005) .....	46
Tabelle 4:	Ursprünglicher Aufbau des Bodens - Schererpark (Schönstein, 2005) .....	46
Tabelle 5:	Berechnung der Inhaltlinie (Hydroconsult, 2005, BA1) .....	49
Tabelle 6:	Berechnung der Versickerungskapazität (Hydroconsult, 2005, BA1).....	52
Tabelle 7:	Gesamtgrundflächen des Beckens lt. Berechnung .....	81
Tabelle 8:	Vergleich der Grundflächen der Ebenen.....	81
Tabelle 9:	Vergleich der Volumina des Beckens lt. Berechnung .....	82
Tabelle 10:	Rückhaltevolumen durch den Rückstau .....	84
Tabelle 11:	Rückhaltevolumen des Beckens inkl. Rückstau.....	85
Tabelle 12:	Ergebnisse der Modellierung ohne Rückstau .....	87
Tabelle 13:	Ergebnisse der Modellierung mit Rückstau.....	89
Tabelle 14:	Vergleich Grundflächen und-Beckenvolumen ohne Rückstau.....	91
Tabelle 15:	Vergleich Grundflächen und-Beckenvolumen mit Rückstau ..	92

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abflusskomponenten bei einem Hochwasser (Strobl, et al., 2006) .....	14
Abbildung 2: Aufteilung Gesamt- zu Effektivniederschlag (Strobl, et al., 2006) .....	15
Abbildung 3: Überschwemmter Stadtteil von Deggendorf, Deutschland, 2013 (DLR, 2014) .....	17
Abbildung 4: Hochwasserrückhaltebecken Gabriachbach Graz (Stadt Graz, 2014) .....	20
Abbildung 5: Gewässerübersicht der Stadt Graz (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012) .....	22
Abbildung 6: Übersicht Klimazonen Graz (GIS - Steiermark - Klima, 2012)	24
Abbildung 7: Darstellung des Hochwassers von 1827 (REPRO SOMMER, 2014) .....	26
Abbildung 8: Hochwasser 1975, Mariatrosterstraße-Kirchbergstraße (Archiv Land Steiermark, 2013) .....	27
Abbildung 9: Hochwasserereignis 2005, Andritz, Schöckelbach (Jakober, 2005) .....	28
Abbildung 10: Hochwasserereignis 2009, Andritz, Schöckelbach (Egger-Schinnerl, 2009).....	29
Abbildung 11: Bereich der Schimautz-Kreuzung in Graz St. Peter (gipfelrast.at, 2012) .....	29
Abbildung 12: Sachprogramm Grazer Bäche – Umsetzungsstand 10/2013 (Stadt Graz, 2013b) .....	32
Abbildung 13: Lage der drei Bäche im Westen von Graz ohne Vorfluter (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012) .....	35
Abbildung 14: Detailansicht Einödbach, Bründlbach und Katzbach (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012) .....	35
Abbildung 15: Lageplan Einödbach (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012) .....	36
Abbildung 16: Übersicht Geologie Einödbach (GIS - Steiermark - Geologie & Geotechnik, 2013b) .....	37
Abbildung 17: Legende Übersicht Geologie Einödbach (GIS - Steiermark - Geologie & Geotechnik, 2013b).....	37
Abbildung 18: Übersicht Klimazonen Einödbach (GIS - Steiermark - Klima, 2012) .....	38
Abbildung 19: Ursprünglicher Bachverlauf unterhalb der Steinbergerstraße – Blickrichtung bachab (Sackl, 2006).....	39
Abbildung 20: Ursprünglicher Bachverlauf ab der Krottendorferstraße – Blickrichtung bachab (Sackl, 2006).....	40

---

Abbildung 21: Ursprünglicher Bachverlauf - Versickerungsbereich (Sackl, 2006) .....	40
Abbildung 22: Brücke Josef-Schwarz-Weg, Blick bachauf, Anlandungen (Hydroconsult, 2005) .....	41
Abbildung 23: Siedlung Nikolaus-Schönbacher Straße, 26.07.2005 (Hydroconsult, 2005) .....	42
Abbildung 24: Bereich Schererpark, 26.07.2005 (Hydroconsult, 2005) .....	42
Abbildung 25: Luftaufnahme des Beckens (Stadt Graz, 2014) .....	47
Abbildung 26: Bau des unterirdisch verlegten Rohrrigolensystem (Hydroconsult, 2005, BA1).....	48
Abbildung 27: Inhaltslinie / Rückhaltevolumen Schererpark (Hydroconsult, 2005, BA1).....	50
Abbildung 28: Übersicht zeitlicher Einstau in das Becken .....	51
Abbildung 29: Versickerungskapazität Becken Schererpark (Hydroconsult, 2005, BA1).....	52
Abbildung 30: Pegelmessschacht links und Luftperlsensor rechts (Stadt Graz, 2010) .....	53
Abbildung 31: Niederschlagsmesseinrichtung (Stadt Graz, 2010).....	54
Abbildung 32: Signalblitzlichter im Becken (Stadt Graz, 2010).....	54
Abbildung 33: Messkasten (Stadt Graz, 2010) .....	55
Abbildung 34: Übersicht der Situierung der Mess- und Warneinrichtungen im Becken (Stadt Graz, 2010) .....	55
Abbildung 35: Übersicht Zu- bzw. Abfahrten in das Becken (Stadt Graz, 2010) .....	56
Abbildung 36: Übersicht Bachverlegung BA 2 (Magistrat Graz - Stadtvermessungsamt, 2012) .....	57
Abbildung 37: Durchlass Krottendorferstraße, Blickrichtung bachauf .....	58
Abbildung 38: Übersicht Hochwasserschutzmaßnahmen Einödbach (GIS - Steiermark - Gewässer & Wasserinformation, 2013a).....	60
Abbildung 39: Geschiebesperre, Blickrichtung bachauf (Egger-Schinnerl, 2010) .....	61
Abbildung 40: Zuständigkeit in Bezug auf die Bachlänge .....	63
Abbildung 41: Unterirdische Hochwasserganglinie im Wasserstandsschacht vom 29.07.2012 .....	69
Abbildung 42: Veranschaulichung der Oberflächenfunktion Referenzebene BELOW (ESRI, 2012) .....	70
Abbildung 43: Eingabemaske Oberflächenvolumen in ArcMap 10.1 (ArcMap 10.1) .....	71
Abbildung 44: Ausgabedatei Oberflächenvolumen .....	71
Abbildung 45: Übersicht der Ebenen für die Flächenberechnung.....	72
Abbildung 46: Storage Curve in PCSWMM .....	74
Abbildung 47: Import der HQ-Zuflussganglinien in PCSWMM.....	75

---

Abbildung 48: Luftbild des Modells in PCSWMM.....	77
Abbildung 49: Ereignisse im Wasserstandsschacht .....	78
Abbildung 50: Errechnete Versickerungsleistung des Schotterkörpers .....	79
Abbildung 51: Grundfläche des Beckens lt. Berechnung.....	80
Abbildung 52: Inhaltlinie Schererpark lt. Berechnung .....	83
Abbildung 53: Vergleich der Inhaltlinien.....	83
Abbildung 54: Inhaltlinie des Rückstaus im Einödbach inkl. Durchlass .....	84
Abbildung 55: Inhaltlinie des Beckens inkl. Rückstau in den Einödbach ....	85
Abbildung 56: Ergebnisse der Modellierung ohne Rückstau .....	86
Abbildung 57: Ergebnisse Modellierung mit Rückstau.....	88
Abbildung 58: Zusammenhang von Wasserstand und Durchlässigkeit des Schotterkörpers .....	90



## Anhang

## Anhang A1 – Auswertung Messwerte Wasserstandsschacht

		Versickerungsbetrachtung					Niederschlag [mm]									
Jahr	Ereignis Datum	Wasserstand [m]	Versickerungszeit [h]	Verwässerung [m/s]	letzten 14 Tage	letzten 7 Tage	letzten 5 Tage	letzten 2 Tage	letzter Tag	am Tag						
2010	14.06.2010	1,73	04:00	2,9E-03	21,7	12,3	0,1	0,1	0,1	17,3						
	16.06.2010	3,04	14:10	1,4E-03	42,4	22,9	22,9	22,8	5,5	55,5						
	07.08.2010	0,35	01:23	1,7E-03	76,8	56,0	56,0	41,0	18,3	3,3						
2011	01.06.2011	0,57	01:20	2,9E-03	37,8	37,1	37,1	3,0	3,0	7,7						
	04.06.2011	0,62	01:47	2,3E-03	49,0	34,9	14,2	3,5	3,5	17,0						
	03.08.2011	2,88	06:50	2,8E-03	61,9	24,1	1,3	0,2	0,0	50,8						
	19.08.2011	2,27	06:48	2,2E-03	23,2	2,8	1,2	0,0	0,0	22,2						
	02.09.2011	2,75	08:10	2,2E-03	27,9	5,3	5,3	0,2	0,1	39,4						
	20.09.2011	2,02	05:34	2,4E-03	21,3	19,6	19,5	4,2	2,0	39,2						
2012	03.07.2012	2,08	03:14	4,3E-03	29,2	0,3	0,3	0,0	0,0	50,6						
	25.07.2012	0,84	04:20	1,3E-03	156,8	74,0	70,6	27,7	27,7	21,3						
	29.07.2012	2,49	05:56	2,8E-03	131,6	84,5	56,8	8,6	8,6	26,9						
2013	07.05.2013	2,64	05:46	3,1E-03	73,4	73,2	73,2	61,7	49,0	54,3						
	10.05.2013	2,29	05:54	2,6E-03	149,8	138,3	125,6	0,0	0,0	22,3						
	27.08.2013	3,12	07:02	3,0E-03	53,6	32,5	32,5	13,0	2,1	69,0						

## Anhang A2 - Flächen und Volumina ohne Rückstau lt. ArcMap10.1

Höhe [müA]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
<b>358,0</b>	<b>0,870644933</b>	<b>0,043822745</b>
358,1	4,841340927	0,228208974
358,2	18,434629086	0,925618834
358,3	48,033664782	3,932099690
358,4	87,023924234	10,231089706
358,5	124,078383629	20,269687660
358,6	267,294848728	38,570710402
<b>358,7</b>	<b>563,085010064</b>	<b>76,808996903</b>
358,8	635,668366401	136,217556284
358,9	683,913528376	201,511409010
359,0	738,613009581	271,306805307
359,1	1366,217970651	363,200266326
<b>359,2</b>	<b>3027,299168132</b>	<b>598,117619440</b>
359,3	3429,816359084	922,822171747
359,4	3658,041080179	1276,664281842
359,5	3829,503922010	1648,963593220
359,6	3981,186886917	2039,295839104
359,7	4121,347117614	2443,055792599
359,8	4271,544822281	2863,436967294
359,9	4838,006146920	3309,416214560
<b>360,0</b>	<b>5829,225767325</b>	<b>3852,064679762</b>
360,1	6209,652409118	4457,905332945
360,2	6363,294477183	5082,873269177
360,3	6478,104135845	5723,261092269
360,4	6579,433653765	6375,793670715
360,5	6669,808629110	7034,968027750
360,6	6762,956388759	7707,328870728
<b>360,7</b>	<b>6860,907573691</b>	<b>8387,443636253</b>
360,8	6989,255605766	9080,811421185
360,9	7176,432114341	9792,381245263
<b>361,0</b>	<b>7291,416299233</b>	<b>10523,255400664</b>

+3000m<sup>3</sup> Hohlraumanteil

Höhe [müA]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
<b>358,0</b>	<b>0,9</b>	<b>3000,043822745</b>
358,1	4,8	3000,228208974
358,2	18,4	3000,925618834
358,3	48,0	3003,932099690
358,4	87,0	3010,231089706
358,5	124,1	3020,269687660
358,6	267,3	3038,570710402
<b>358,7</b>	<b>563,1</b>	<b>3076,808996903</b>

---

358,8	635,7	3136,217556284
358,9	683,9	3201,511409010
359,0	738,6	3271,306805307
359,1	1366,2	3363,200266326
<b>359,2</b>	<b>3027,3</b>	<b>3598,117619440</b>
359,3	3429,8	3922,822171747
359,4	3658,0	4276,664281842
359,5	3829,5	4648,963593220
359,6	3981,2	5039,295839104
359,7	4121,3	5443,055792599
359,8	4271,5	5863,436967294
359,9	4838,0	6309,416214560
<b>360,0</b>	<b>5829,2</b>	<b>6852,064679762</b>
360,1	6209,7	7457,905332945
360,2	6363,3	8082,873269177
360,3	6478,1	8723,261092269
360,4	6579,4	9375,793670715
360,5	6669,8	10034,968027750
360,6	6763,0	10707,328870728
<b>360,7</b>	<b>6860,9</b>	<b>11387,443636253</b>
360,8	6989,3	12080,811421185
360,9	7176,4	12792,381245263
<b>361,0</b>	<b>7291,4</b>	<b>13523,255400664</b>

## Anhang A3 Flächen und Volumina mit Rückstau lt. ArcMap10.1

Höhe [müA]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
358,0	0,870644933	0,043822745
358,1	4,841340927	0,228208974
358,2	18,434629086	0,925618834
358,3	48,033664782	3,932099690
358,4	87,023924234	10,231089706
358,5	124,078383629	20,269687660
358,6	267,294848728	38,570710402
358,7	563,085010064	76,808996903
358,8	635,668366401	136,217556284
358,9	683,913528376	201,511409010
359,0	738,613009581	271,306805307
359,1	1366,217970651	363,200266326
359,2	3027,299168132	598,117619440
359,3	3429,816359084	922,822171747
359,4	3658,041080179	1276,664281842
359,5	3829,503922010	1648,963593220
359,6	3981,186886917	2039,295839104
359,7	4121,347117614	2443,055792599
359,8	4271,544822281	2863,436967294
359,9	4838,006146920	3309,416214560
360,0	5829,225767325	3852,064679762
360,1	6209,652409118	4457,905332945
360,2	6363,294477183	5082,873269177
360,3	6478,104135845	5723,261092269
360,4	6579,433653765	6375,793670715
360,5	6669,808629110	7034,968027750
360,6	6762,956388759	7707,328870728
360,7	6860,907573691	8387,443636253
360,8	6989,255605766	9080,811421185
360,9	7176,432114341	9792,381245263
361,0	7291,416299233	10523,255400664

## Rückstau inkl. Durchlass - DWG Stadt Graz

Höhe [müA]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
358,16		0,00
358,20		0,57
358,40		20,08
358,60		65,85
358,75	3,1946	88,2994
359,00	78,8455	135,9694
359,25	375,2072	230,1410
359,50	592,1516	388,4758
359,75	854,3395	569,2872
360,00	1083,8650	811,5628
360,25	1313,0066	1111,1718

360,50	1552,8926	1469,4092
360,70	1751,3662	1799,8350
360,75	1802,2159	1888,6746
<b>361,00</b>	<b>2899,9371</b>	<b>2476,4437</b>

+3000m<sup>3</sup> Hohlraumanteil + Rückstau

Höhe [müA]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
<b>358,0</b>	<b>0,9</b>	<b>3000</b>
358,1	4,8	3000
358,2	18,4	3001
358,3	48,0	3004
358,4	87,0	3030
358,5	124,1	3020
358,6	267,3	3104
<b>358,7</b>	<b>563,1</b>	<b>3143</b>
358,8	635,7	3225
358,9	683,9	3290
359,0	738,6	3407
359,1	1366,2	3499
<b>359,2</b>	<b>3027,3</b>	<b>3734</b>
359,3	3429,8	4153
359,4	3658,0	4507
359,5	3829,5	5037
359,6	3981,2	5428
359,7	4121,3	5832
359,8	4271,5	6433
359,9	4838,0	6879
<b>360,0</b>	<b>5829,2</b>	<b>7664</b>
360,1	6209,7	8269
360,2	6363,3	8894
360,3	6478,1	9834
360,4	6579,4	10487
360,5	6669,8	11504
360,6	6763,0	12177
<b>360,7</b>	<b>6860,9</b>	<b>13187</b>
360,8	6989,3	13881
360,9	7176,4	14681
<b>361,0</b>	<b>7291,4</b>	<b>16000</b>