

Zusammenfassung zur Masterarbeit

## Eine ganzheitliche instationäre Abflussbetrachtung eines anthropogen geprägten Gewässers -am Beispiel Rumbach-

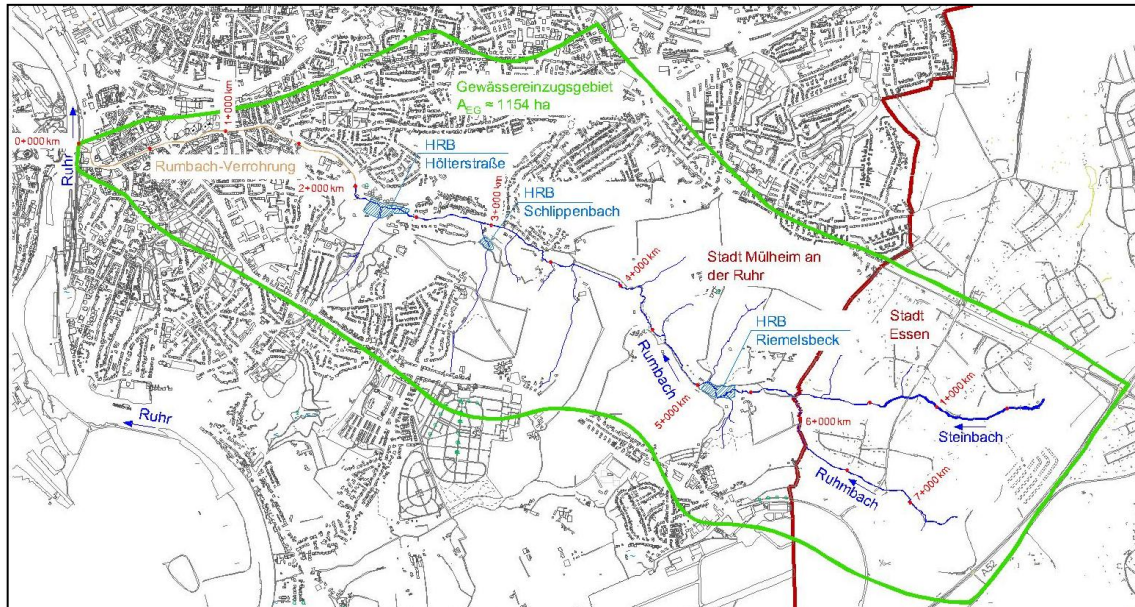
vorgelegt von  
Inna Dück

Zahlreiche ehemals natürliche Gewässer sind heute im urbanen Raum durch anthropogene Eingriffe stark beeinflusst und sind in der Vergangenheit ohne genügende naturgerechte Berücksichtigung der Folgen zum Zweck menschlicher Nutzung verändert worden. Durchlässe, Verrohrungen, Verlaufsumlegungen sowie hydraulische übermäßig hohe Einleitungsmengen aus der siedlungswasserwirtschaftlichen Entwässerung sind einige Faktoren, welche die natürliche Ökologie und das natürliche Abflussverhalten überprägen.

Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen dem siedlungswasserwirtschaftlichen Entwässerungssystem und dem Gewässer bedingen eine ganzheitliche hydraulische Betrachtung als ein Abflusssystem. In diesem Sinne sollte im Rahmen dieser Arbeit zum Zwecke einer integralen Betrachtung der Siedlungsentwässerung und einer realitätsnahen Überflutungsanalyse eine ganzheitliche instationäre Abflussbetrachtung für das Einzugsgebiet eines anthropogen geprägten Gewässers durchgeführt werden. Zu den wesentlichen Arbeitszielen gehörten eine detaillierte Niederschlag-Abfluss-Modellierung mit Berücksichtigung möglichst aller hydrologischen natürlichen Abflussprozesse und eine Wirkungsanalyse hinsichtlich der Wahl des maßgeblichen Niederschlagsereignisses für ein derartig ganzheitlich betrachtetes Abflusssystem.

Die Abflusssimulation ist anhand des Gewässereinzugsgebietes Rumbach in Mülheim an der Ruhr und Essen erstellt worden. Das Gewässer Rumbach ist ein repräsentativer Vertreter der Gruppe anthropogen geprägter Gewässer. Der 7,5 km lange, rechte Zufluss der Ruhr entwässert zusammen mit einigen Nebengewässern wie Steinbach, Gothenbach

und Schlippenbach das ca. 1154 ha große natürliche Einzugsgebiet des gleichnamigen Rumbachtals. Infolge der siedlungswasserwirtschaftlichen Funktion, der Nutzung als Vorfluter für die Kanalnetze der Städte Mülheim und Essen, ergibt sich für das hydraulisch wirksame Gesamteinzugsgebiet, einschließlich der kanalisierten Flächen, eine Größe von ca. 2013 ha.



**Abbildung 1: Gewässereinzugsgebiet Rumbach**

Ausgehend vom Quellgebiet im süd-westlichen Teil von Essen fließt das Hauptgewässer bis zum Stadtkern von Mülheim in seinem annähernd natürlichen oberirdischen Bett. Auf den letzten zwei Kilometer fließt der Rumbach unterhalb der Mülheimer Innenstadt vollständig in einem verrohrten Querschnitt und mündet schließlich in die Ruhr. Die Einmündung liegt durch den geregelten Wasserspiegel der Ruhr in diesem Bereich teilweise im Ruhrwasser, welches sich bis ca. 800 m entgegen der Fließrichtung in der Rumbach-Verrohrung ausbreitet. Zahlreiche vorhandene Durchlässe, kleinere verrohrte Abschnitte als Straßenunterquerungen sowie drei Hochwasserrückhaltebecken üben einen Einfluss auf das Abflussverhalten des Gewässersystems aus. Einleitungsstellen aus Kanalisationen im Trennsystem sowie Einleitungen während der Entlastung von Regenüberlaufbauwerken aus dem Mischwasserentwässerungssystem transportieren teilweise um ein vielfaches höhere Wassermengen im Vergleich zum natürlichen Basisabfluss ins Gewässer und verursachen punktuelle hydraulischen Überlastungen.

Das Untersuchungsgebiet ist für die Erstellung des Niederschlag-Abflussmodells unter hydrologischen Aspekten hinsichtlich Oberflächenbeschaffenheit und Flächennutzung sowie Geologie analysiert worden. Im Quell- und Oberlaufbereich des Rumbachs sind überwiegend naturbelassene und landwirtschaftliche Flächen vertreten. Mit zunehmender

Nähe zum Stadtkern erhöht sich der Versiegelungsgrad entsprechend der zunehmenden Bebauungsdichte. Verkehrsflächen, Gewerbe- und Wohnbebauung bestimmen größtenteils die Oberflächenbeschaffenheit im innerstädtischen Bereich. Der Anteil durchlässiger Flächen liegt bei ca. 66 %.

Die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet sind durch schlecht wasserdurchlässige Böden charakterisiert. Es sind Bodentypen in Form von *Parabraunerde*, *Pseudogley* und *Anmoorgley* vertreten, überwiegend geprägt durch Vorkommnisse vom lehmigen Schluff und sandig-tonigem Lehm. Die tiefer gelagerten Festgesteinsschichten aus Sand- und Tonstein bilden eine wasserstauende Schicht, die eine tiefgreifende Perkolations- und Durchdringung stark vermindert, und bewirken teilweise gesättigte Untergrundverhältnisse (*pseudovergleyt*). Infolge dessen weist der Boden eine geringe Wasseraufnahmekapazität bzw. Regenverdaulichkeit auf. Die geografische Lage des Rumbachs, liegend in einem Kerbtal mit stellenweise hohen Geländeneigungen, in Verbindung mit geringer Regenverdaulichkeit des anstehenden Bodens bedingt einen verstärkten Oberflächen- und Zwischenabfluss (Interflow).

Als theoretische Grundlage für die Aufstellung einer N-A-Simulation ist im Rahmen der Arbeit eine detaillierte, zunächst allgemeingültige Betrachtung einzelner zu berücksichtigender Abflussprozesse des Wasserkreislaufs durchgeführt worden. Es sind Prozesse des Oberflächenabflusses, die Abflussbildung und die Abflusskonzentration, sowie der unterirdische Abfluss (Interflow) in der angewandten Methodik wissenschaftlich untersucht worden. Die Infiltrations-, Interzeptions- und Verdunstungsprozesse sind ebenfalls theoretisch betrachtet worden. Es wurde herausgestellt, welche Parameter zur Quantifizierung des Abflusses einflussnehmend sind, und in welcher Form diese bei der Modellierung berücksichtigt werden können.

Mit dem Ziel einer realitätsnahen Überflutungsanalyse ist als praktische Kernaufgabe dieser Arbeit eine detaillierte Niederschlag-Abfluss-Modellierung für das Gesamteinzugsgebiet Rumbach durchgeführt worden. Als Modellierungswerkzeug kam das Programmpaket „++SYSTEMS<sup>1</sup>“ zum Einsatz.

Das Programmpaket „++SYSTEMS“ bietet eine Werkzeugpalette zur Modellierung und hydraulischen Berechnung von Ver- und Entsorgungsnetzen in der Siedlungswasserwirtschaft. Zur instationären hydrodynamischen Nachberechnung des Gewässereinzugsgebiets wurden hauptsächlich das Kanalnetzrechnungsmodul DYNA und das Modul GeoCPM (*Geoscientific Complex Parallel Method*) zur Oberflächenabflusssimulation mit einem digitalen Geländemodell eingesetzt. Dieses ist auf Grundlage von georeferenzier-

---

<sup>1</sup> Herstellung und Vertrieb durch *tandler.com GmbH*, [www.tandler.com](http://www.tandler.com)

ten Höhenpunkten aus Laserscanbefliegungen erstellt worden. Mit einer ursprünglichen Punktdichte von 1 bis 4 Punkten / m<sup>2</sup> ist eine virtuelle Abbildung des Geländes in einem hohen Detaillierungsgrad entstanden. Vertikale Fließhindernisse in Form von Gebäuden, Mauern, U-Bahn-Eingängen oder Bordsteinen sind mithilfe von Bruchkanten im Modell integriert worden. Des Weiteren wurde ebenfalls mit Bruchkanten eine gezielte Formung des Geländemodells ermöglicht, um beispielsweise Uferbereiche, Sonderbauwerke sowie Ein- und Auslaufbereiche von Durchlässen zu modellieren. Die Verteilung des Oberflächenabflusses auf dem Geländemodell wurde neben der Geländeneigung durch die Parameter Rauigkeit und Versickerungsverlust gesteuert. Diese sind entsprechend der Oberflächen- und Bodenbeschaffenheit des Untersuchungsgebietes festgelegt worden.

Das Gewässersystem wurde mithilfe von Haltungen und Knotenpunkten modelliert und mit dem Kanalnetz in einem zusammenhängenden Transportnetz im Modell integriert. Zur Abbildung des teilweise sehr stark variierenden natürlichen Gewässerquerschnitts ist die Methode eines geteilten Querschnitts entwickelt und angewendet worden. Zur Verringerung des Genauigkeitsverlustes bei der Geometrie und hydraulischen Eigenschaften durch Mittelung zweier gemessener Gewässerprofile, wurde diese nur für einen Teil des Querschnitts durchgeführt, für den sogenannten Minimalquerschnitt. Dieser Teilquerschnitt wurde durch ein entsprechend definiertes Haltungsprofil abgebildet. Der restliche Querschnitt ist ohne Mittelung und Genauigkeitsverlust durch das digitale Geländemodell simuliert worden. Bei der Modellierung von Durchlässen kam ebenfalls eine Kombination aus Haltungsprofil und digitales Geländemodell zur Anwendung und ermöglichte eine realitätskonforme Abbildung.

Die Modellierung der Teileinzugsgebietsflächen, welche für die „Erzeugung“ des Oberflächenabflusses konzipiert sind, erfolgte in einem hohen Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung der einflussnehmenden Parameter u.a. Befestigungsgrad, Versickerungsverluste und Rauigkeit. Für die Berücksichtigung des Interflow ist im Rahmen einer detaillierten Bodenspeicherbetrachtung aufgrund der annähernd gesättigten Bodenverhältnisse eine konstante Zuflussrate angesetzt worden.

Für das Untersuchungsgebiet sollte der Belastungsfall durch ein Niederschlagsereignis simuliert und analysiert werden. Als Grundlage dienten statistische Niederschlagsauswertungen der Messstation Selbeck in Mülheim für den Zeitraum von 1977 bis 2007. Für die Auswahl des maßgebenden Niederschlagsereignisses wurden in einer Vorauswahl zwei Simulationsvarianten zunächst ohne Einsatz des digitalen Geländemodells (GeoCPM-Oberfläche) durchgeführt. Repräsentativ für die Gruppe langanhaltender schwacher Regenereignisse, sogenannter Landregen, ist für die erste Variante ein Modellregen mit einer Dauer von 540 min, Wiederkehrzeit von 100 Jahren und einer Niederschlagsmenge

von 59,05 mm im Einzugsgebiet angesetzt worden. Die zeitliche Verteilung wurde nach der Empfehlung des DVWK-Regelwerks 113/1984 für N-A-Modelle kleiner Einzugsgebiete ermittelt. Für die zweite Variante wurde das maßgebende Niederschlagsereignis aus der Kanalnetzrechnung, repräsentativ für kurze und starke Regenereignisse, gewählt. Der hierbei maßgebende Modellregen, mit der zeitlichen Verteilung nach Euler Typ II, besitzt eine Dauer von 120 min, eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von  $n=1 \text{ 1/a}$  und eine Niederschlagsmenge von 19,7 mm.

Im Vergleich der Berechnungsergebnisse bewirkt der kurze und starke Regen eine deutlich höhere hydraulische Belastung sowohl für das Kanalnetz als auch für das Gewässer. Hierbei ist die höhere Belastung im Gewässer nicht nur auf verstärkte Einleitung des Kanalnetzes zurückzuführen. „Einleitungsfreie“ Gewässerabschnitte, welche nur das Oberflächenwasser durchlässiger Flächen abführen, haben ebenfalls einen erhöhten Abfluss im Vergleich zum langen schwachen Regen. Daraus lässt sich ableiten, dass für dieses Einzugsgebiet aufgrund dessen Charakteristik (Bodenverhältnisse, Geländeneigung, Kanalnetzeinleitungen) primär kurze starke Niederschlagsereignisse maßgebend sind.

Für die ganzheitliche Simulation, einschließlich Oberflächenabflussmodell (GeoCPM) wurde ein Niederschlagsereignis mit einer Dauer von 120 min angesetzt. Zur Überprüfung der Überflutungssicherheit des anthropogenen Einzugsgebiets ist eine Wahrscheinlichkeit von  $n=0,033 \text{ 1/a}$  ( $T=30$  Jahre) gewählt worden, nach Maßgabe der geforderten Überflutungshäufigkeit für Stadtzentren nach DIN EN 752 (2008).

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnung mit dem Oberflächenabflussmodell (GeoCPM-Oberfläche) zeigten Bereiche auf, welche mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 30 Jahren überflutet werden. An der grafischen Darstellung der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten mit Fließrichtung waren die Fließwege und Wasseransammlungen klar ersichtlich. Vor allem auf die detailgetreue Modellierung war es zurückzuführen, dass das N-A-Modell virtuelle Überflutungen in Örtlichkeiten abbildet, wo sich das Wasser erfahrungsgemäß auch in der Realität ansammelt.

Bei der Betrachtung der Hochwasserrückhaltebecken wurde mit der durchgeführten Simulation eine instationäre realitätsnahe Abbildung der hydraulischen Abflussverhältnisse ermöglicht. Das Speichervolumen ist hier bereits durch die Gewässerausuferung aktiviert worden, noch bevor der maximale Drosselabfluss am Auslauf erreicht wurde.

Im Bereich der Durchlässe lässt sich dessen anthropogene Wirkung auf das Gewässer erkennen. Eine Querschnittbegrenzung ruft einen Rückstau hervor, welcher eine Ausuferung nach sich zieht. Als Folge werden zum Teil Flächen überflutet, die im ursprünglichen natürlichen Bachlauf nicht zwingend betroffen gewesen wären.

Im Bereich der Verrohrung in der Mülheimer Innenstadt besitzt der Rumbach keine natürlichen Zuflüsse, sondern fungiert nur als Vorfluter zur Abwasserableitung. Im simulierten Belastungsfall wurde trotz der hohen hydraulischen Abflussleistung stellenweise ein Einstau, jedoch mit einer Ausnahme kein Überstau erreicht. Durch die Simulation ermittelten Überflutungsbereiche unmittelbar am Rumbachverlauf und anderen Teilbereichen im Innenstadtbereich sind primär durch das überlastete Kanalnetz verursacht worden. Die Eingänge zu U-Bahn-Stationen sind durch diese Überflutungen ganz klar gefährdet, ebenso wie Tiefgarageneinfahrten und Tunneldurchfahrten.

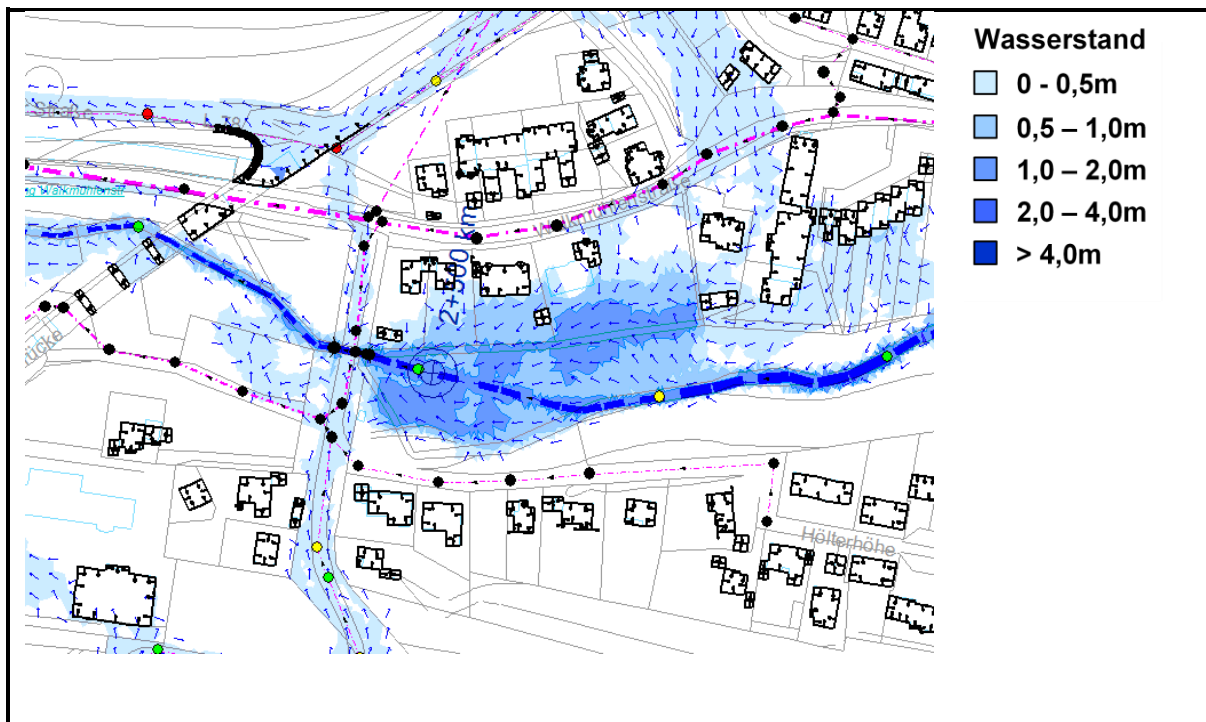


Abbildung 2: Auszug aus Simulationsergebnissen: Darstellung der Überflutungsflächen und Wasserstände

Übergreifend betrachtet lässt sich aus dem N-A-Modell und den hydraulischen Berechnungsergebnissen ableiten, wie stark die anthropogenen Faktoren das Abflussverhalten und auch Bemessungsgrundlagen für ein Gewässereinzugsgebiet beeinflussen. Durch die hydraulische Wirkung von Verrohrungen, Speicherbauwerken und vor allem der künstlichen Einleitungen reagiert das natürliche Gewässersystem im Untersuchungsbeispiel stärker auf kurze, intensive Regen entgegen der üblicherweise maßgebenden langen, schwachen Landregen. Diese Charakteristik ist bei hydraulischen Bemessungen und damit verbundener Niederschlagsauswahl unbedingt einzubeziehen. Es wurde deutlich, dass im Falle einer um das mehrfach größeren Einleitungsmenge im Vergleich zum natürlichen Basisabfluss, der für das Entwässerungsnetz maßgebliche Regen auch für das Gewässer maßgebend ist. Durch die synchrone Interaktion sind zum annähernd gleichen

Zeitpunkt sowohl im Gewässer als auch in der Entlastungshaltung des Kanals maximale Abflüsse aufgetreten.

In einer abschließenden Betrachtung lässt sich das aufgestellte Modell als ein detailgetreues N-A-Modell charakterisieren, welches eine instationäre ganzheitliche Wasserspiegellagenberechnung in einem Gewässereinzugsgebiet ermöglicht. Es zeigt auf welche Genauigkeit und Realitätsnähe für hydraulische Berechnungen mit dem heutigen Stand der Technik möglich sind. Je nach Größe und Beschaffenheit bzw. Inhomogenität des betrachteten Einzugsgebiets ist ein hoher Detaillierungsgrad und Modellierungsaufwand notwendig, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Vor allem im Bereich anthropogen geprägter Landschaften und Gewässer, wo siedlungswasserwirtschaftliche auf natürliche Wassersysteme treffen und diese in ihrem Verhalten überprägen, ist in erster Linie eine ganzheitliche hydraulische Betrachtung notwendig. Eine detaillierte Modellierung der Einzugsflächen mit Berücksichtigung des unterirdischen Abflusses ist für eine realitätsnahe Abbildung der natürlichen Abflussverhältnisse unabdingbar. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Vorgehensweise ist auf andere Gewässereinzugsgebiete übertragbar und in der allgemeingültigen Anwendung gezielt an entscheidenden Parameter anpassungsfähig. Weitere Anpassungen und Erweiterungen sind im Hinblick auf bestehende und geplante wasserwirtschaftliche Maßnahmen möglich, mit welchen diese in ihrer Wirkung beurteilt und eine hohe Investitionssicherheit erreicht werden kann.