

## Master Thesis

Im Rahmen des Universitätslehrgangs  
„Geographical Information Science & Systems“  
(UniGIS MSc) am Zentrum für Geoinformatik (z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg  
zum Thema

# **Ansatz zur Unterstützung der fachlichen Qualitätssicherung von Ergebnissen aus hydrodynamisch-numerischen Fließgewässersedimentmodellierungen mittels räumlicher Analysemethoden**

Vorgelegt von

Diplom-Ingenieur (FH) Kartographie und Geomatik

**Marc Geörg**

102763 UniGIS MSc Jahrgang 2012

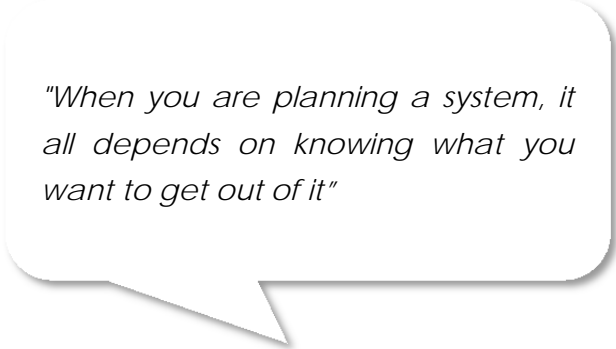
Zur Erlangung des Grades

„Master of Science“ (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)

Gutachter

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Stutensee, Dezember 2014



*"When you are planning a system, it  
all depends on knowing what you  
want to get out of it"*

Dr. Roger F. Tomlinson, OC  
(1933 - 2014)

DANKE

Rebecca, Nils & Moritz Geörg – Claudia Panczak & Alfred Zeiss – Judith & Günter Geörg  
Dr. Miriam Geörg & Janne Koivuperä – Manfred Müller – Erich Mattes – Wolfgang Schillinger  
Barbara Herwig – Dr. Klaus Dapp – Christoph Sommer – Peter Zeisler – Achim Hettel  
Keith Peterson – Klaudia Ratzinger

## Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Stutensee im Dezember 2014

Marc Geörg



## Abstract

The Application of computational fluid dynamic (CFD) for one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) hydraulic modelling has been increasingly supported by gaining processing power, sophisticated geospatial data sourcing methods and efficient algorithms. Nowadays the hydraulic modelling of water courses has become daily routine for Hydrology applications. The results are used in disaster management, flood prevention and in other areas. The water level, discharge, flow velocity, water depth and flood extent as well as the digital elevation model containing all hydraulically relevant information can be stated as significant results of these simulations and the associated pre- and post-processing of data. Expert knowledge of complex stream flow characteristics, in both real-world and simulation environments, is needed to perform the quality assurance (QA) on these results. Within the project "Baden-Württemberg flood hazard maps" (HWGK), the QA is performed as a visual and individual inspection enclosed by a multi-level QA-process on results of 1D and 2D hydraulic modelling. This study examines to what extent spatial analysis methods can support the QA of results derived from 1D and 2D hydraulic modelling. The basis for this research are the nine error categories from ZEISLER (2011). For these categories, he evaluated the QA-process of the HWGK. His evaluation is based on the period between 2006 and 2011 and considered approximately 4.300 river-kilometres and 770 documented errors.

In this Master Thesis, spatial analysis methods are created for these nine error categories using expert interviews and explorative data analyses. The proof of concept will be the implementation of the methods and a comparison between the test results and the results of the QA by HWGK. Furthermore, this thesis examines what data is necessary and which spatial analyses methods are appropriate for the methodology. The result is the methodology, consisting of the spatial analyses methods. It will be documented through verbal descriptions, flowcharts and Map Algebra expressions based on TOMLIN 2012. This kind of documentation provides methodology for the QA that can easily be transferred to other hydraulic modelling.

## Zusammenfassung

1D und 2D hydraulisch-numerische Fließgewässermodellierungen (HN-Modellierungen) zählen dank steigender Rechnerleistung, immer fortschrittlicherer Geodatenerfassungsmethoden und effizienten Algorithmen heute zu gängigen Instrumenten der Wasserwirtschaft. Ihre Ergebnisse werden z.B. beim Katastrophenschutz oder der Schadenspotentialbetrachtung von Hochwassern verwendet. Als wesentliche Ergebnisse aus diesen Simulationen und den umgebenden Prozessen gelten das hydraulisch plausible Geländemodell, der Wasserspiegel, die Abflussmenge, Fließgeschwindigkeit sowie die Überflutungsflächen und -tiefen. Die Qualitätssicherung dieser Ergebnisdaten bedarf u.a. der Kenntnis der komplexen Strömungsabläufe in der Realität und in der Simulation. Im Rahmen der Hochwassergefahrenkarte von Baden-Württemberg wird die Qualitätssicherung als manuelle Individualprüfung in einem mehrstufigen Qualitätssicherungsprozess durchgeführt.

Die vorliegende Studie untersucht die Möglichkeit und den Umfang, mit dem die Qualitätssicherung von Ergebnissen aus HN-Modellierungen durch räumliche Analysemethoden unterstützt werden kann. Den Ausgangspunkt bilden die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011). Diese neun Fehlerkategorien basieren auf einer Auswertung des Qualitätssicherungsprozesses der Hochwassergefahrenkarte von Baden-Württemberg. Die Auswertung berücksichtigt die Fehlerdokumentation im Zeitraum von 2006 bis 2011 mit rund 4.300 untersuchten Flusskilometern und etwa 770 Einzelstellungennahmen.

Für diese neun Fehlerkategorien werden mittels explorativer Datenanalyse und Experteninterviews räumliche Analysemethoden erarbeitet, prototypisch realisiert und das Ergebnis von Testläufen mit den Fehler aus der Qualitätssicherung der Hochwassergefahrenkarte verglichen. Neben der Beantwortung der Frage nach dem Umfang, mit dem eine Unterstützung der Qualitätssicherung durch räumliche Analysemethoden erfolgen kann, werden die Fragen beantwortet, welche Eingangsdaten vorauszusetzen sind und welche räumlichen Analysemethoden sich eignen.

Das Ergebnis bildet die Methodik, die sich aus den erstellten räumlichen Analysemethoden zusammensetzt. Sie wird in Form einer verbalen Beschreibung, Flussdiagrammen, Gleichungen mittels *Map Algebra* nach TOMLIN (2012) sowie durch die prototypische Realisierung dokumentiert.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Forschungsfragen	2
1.2	Lösungsansatz & Methodik	2
1.3	nicht behandelte Themen	4
1.4	Zielgruppe	4
1.5	Aufbau dieser Master Thesis	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>6</b>
2.1	Hydrodynamisch-numerische Fließgewässermodellierung	6
2.1.1	<i>Einordnung in den Bereich der numerischen Simulation</i>	6
2.1.2	<i>Differenzierung, Gliederung &amp; Aufbau von HN-Modellierungen</i>	6
2.2	Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg	10
2.2.1	<i>Die Hochwassergefahrenkarte im Kontext der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie</i>	10
2.2.2	<i>Ablauf der HN-Modellierung</i>	11
2.2.3	<i>Ablauf der Qualitätssicherung</i>	12
2.3	Qualitätssicherung von HN-Modellierungen	14
2.3.1	<i>Qualitätssicherung räumlicher Daten im Allgemeinen</i>	14
2.3.2	<i>Qualität von numerischen Modellen</i>	14
2.3.3	<i>Fachliche Qualitätssicherung im Detail</i>	16
2.4	Räumliche Analysemethoden	18
2.4.1	<i>Begriffe</i>	18
2.4.2	<i>Fachliche Qualitätssicherung der HWGK</i>	19
2.4.3	<i>Verwendete räumliche Methoden</i>	20
<b>3</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>21</b>
3.1	Maßnahmen zur Unterstützung der fachlichen Qualitätssicherung von Ergebnissen aus HN-Modellierungen mittels räumlicher Analysemethoden	23
3.1.1	<i>Gemeinsame Komponenten der räumlichen Analysemethoden</i>	23
3.1.2	<i>FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung an Absturzbauwerken</i>	26
3.1.3	<i>FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- &amp; Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle</i>	29
3.1.4	<i>FK-C: Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege</i>	35
3.1.5	<i>FK-D &amp; E: Fehlende Berücksichtigung von abflussrelevanten Strukturen</i>	38
3.1.6	<i>FK-F: Fehlstellen an Datenrändern</i>	42
3.1.7	<i>FK-G: Freibord an Deichen</i>	46
3.1.8	<i>FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen</i>	51
3.1.9	<i>FK-I: Zu schließende Löcher &amp; Unterbrechungen an Gebäuden</i>	55
3.2	Allgemeine Maßnahmen	61
3.2.1	<i>M I: Schnittstellendefinition &amp; technische Prüfung</i>	61
3.2.2	<i>M II: Automatisierte und standardisierte Darstellung</i>	62
3.2.3	<i>M III: Offenlegung der QS-Analysemethoden</i>	63
3.3	Studiengebiet & Daten	64
3.4	Soft- & Hardware	65
<b>4</b>	<b>Prototypische Realisierung</b>	<b>66</b>
4.1	Gemeinsame Komponenten	66
4.1.1	<i>Gewässer- &amp; Vorlandbereich</i>	66
4.1.2	<i>Überflutungstiefen &amp; -flächen</i>	68
4.2	<i>FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei Ergebnissen aus 1D-Modellierungen</i>	70
4.3	<i>FK-B: Übertragung des Wasserspiegels auf Rückström-, Hinterström- &amp; Druckbereiche</i>	72
4.4	<i>FK-C: Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen</i>	74
4.5	<i>FK-F: Zu kleiner Modellbereich</i>	76
4.6	<i>FK-G: Freibord an Deichen</i>	78
4.7	<i>FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen &amp; deichähnlichen Strukturen</i>	81
4.8	<i>FK-I: Ausgesparte Gebäude &amp; Gebäudeinseln</i>	84

<b>5</b>	<b>Ergebnisse &amp; Analyse</b> .....	<b>87</b>
5.1	Umfang der Unterstützung der fachlichen Qualitätssicherung mittels räumlicher Analysemethoden.....	87
5.1.1	<i>Die erstellten räumlichen Analysemethoden</i> .....	87
5.1.2	<i>Erläuterung &amp; Analyse</i> .....	92
5.2	Ergänzende Maßnahmen.....	96
5.3	Benötigte & optionale Daten.....	97
5.4	Einsetzbare räumliche Transformationen & Operationen .....	98
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Ausblick</b> .....	<b>100</b>



# Abbildungsverzeichnis

Titelbild:	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: „Kompaktinformation Hochwassergefahrenkarten“	
Abb. 1:	Aufbau der Master Thesis.....	5
Abb. 2:	Aerodynamisch numerische Strömungssimulation an einem Airbus A380.....	6
Abb. 3:	Schematischer Ablauf einer HN-Modellierung.....	7
Abb. 4:	3D Darstellung von Gewässerquerprofilen im Gewässerbett.....	8
Abb. 5:	Schematischer Ablauf einer HN-Modellierung und QS der HWGK.....	11
Abb. 6:	Ablaufschema Qualitätsmanagement Hydraulik der HWGK.....	13
Abb. 7:	Beispiel einer kontrastarmen Rasterdarstellung.....	19
Abb. 8:	Beispiel einer kontrastreichen Rasterdarstellung.....	19
Abb. 9:	Lokale, fokale und zonale Transformation der Map Algebra.....	20
Abb. 10:	Beispielaufbau einer Map Algebra Gleichung nach TOMLIN (2012).....	22
Abb. 11:	Querschnitt durch einen Deich (Quelle: FAIGLE et al. 2007:5).....	23
Abb. 12:	Erstellung von Gewässer- und Vorlandbereich.....	24
Abb. 13:	Aufbau eines Querprofils.....	24
Abb. 14:	Exemplarische Darstellung von Überflutungsflächen und Überflutungstiefe.....	25
Abb. 15:	Erstellung von Überflutungstiefen und –flächen.....	26
Abb. 16:	Verdichtete Wasserstandgleichungen zeigen den Absturz des Wasserspiegels.....	27
Abb. 17:	Neigungs raster zeigt den Absturz des Wasserspiegels.....	27
Abb. 18:	Vom Gewässerprofil zum flächenhaften Wasserspiegel.....	27
Abb. 19:	Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung.....	28
Abb. 20:	Rückströmsituationen.....	30
Abb. 21:	Schematische Darstellung der Ausströmvarianten.....	31
Abb. 22:	Zuflusslose Senken bilden sogenannte Druckwasserbereiche.....	32
Abb. 23:	Identifizierung potenzieller Rückström-, Hinterström- oder Druckwasserbereiche.....	32
Abb. 24:	Wasserspiegel in Ausströmbereichen.....	34
Abb. 25:	Ausströmung in Fließrichtung.....	35
Abb. 26:	Vorlandabfluss ohne Rückfluss in das eigentliche Gewässer.....	36
Abb. 27:	Verzweigte Ausströmung.....	36
Abb. 28:	hydraulisch plausibles DGM und ausgedünntes Modell-DGM.....	37
Abb. 29:	Unterbrochene Vorlandabflüsse mittels Map Algebra.....	38
Abb. 30:	Graben wurde nicht berücksichtigt.....	39
Abb. 31:	Graben nach Korrektur abflussrelevant.....	39
Abb. 32:	Angedeutet, nicht im DGM eingearbeitete Durchlässe durch Schummerung sichtbar.....	40
Abb. 33:	Zu klein gewählter Modellbereich Beispiel 1.....	42



Abb. 34: Zu klein gewählter Modellbereich Beispiel 2.....	42
Abb. 35: Zu klein gewählter Modellbereich Beispiel 3.....	43
Abb. 36: Analyse von zu kleinen Modellbereichen mittels Map Algebra .....	44
Abb. 37: Topologische Beziehung nach CLEMENTINI bei Polygonen.....	45
Abb. 38: Prüfung auf Einhaltung der Modellgrenze.....	45
Abb. 39: Unnatürlicher Kantenverlauf von Überflutungsflächen innerhalb des Modellgebiets .....	46
Abb. 40: Beispiel einer Transformation von Raster nach Vektor. ....	46
Abb. 41: Schematische Darstellung einer fiktiven Freibordsituation.....	47
Abb. 42: Auszug aus der Sicherheitsbetrachtung der Deichkrone.....	48
Abb. 43: Sicherheitsbetrachtung von Deichen mit konstanter Freibordvorgabe .....	48
Abb. 44: Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords.....	50
Abb. 45: Unterstützung der fachlichen QS bei der Freibordbetrachtung .....	50
Abb. 46: Abfallender Wasserspiegel (WSP <sub>IST</sub> ) am Deich .....	52
Abb. 47: Abfallender Wasserspiegel vor einem Straßendamm .....	52
Abb. 48: Abfallender Wasserspiegel vor dem Damm eines Hochwasserrückhaltebeckens .....	52
Abb. 49: Untersuchung der Stetigkeit von Wasserspiegeln an Deichen mittels Map Algebra .....	53
Abb. 50: Überflutungsfläche zeigt scheinbare Genauigkeit im Bereich von Gebäuden .....	55
Abb. 51: Wasserwände im Wasserspiegel an Gebäuden in Randlage .....	56
Abb. 52: Kantenverlauf zwischen Gebäudepolygon und Überflutungsfläche .....	57
Abb. 53: Ergebnis bei Gebäude in Randlage, Fehlerkategorie I .....	57
Abb. 54: Potenziell zu schließende Unterbrechungen in Randlage .....	58
Abb. 55: Fehlerkategorie I Beispiel für Fall 1 und 2. ....	59
Abb. 56: Potenziell zu schließende Unterbrechungen bei Inselfolygonen.....	60
Abb. 57: Mögliche Eigenschaften einer technischen Prüfung von Vektor- und Rasterdaten.....	62
Abb. 58: Lage der Testgebiete.....	64
Abb. 59: Punkte zu Polygon Operation mit Convex Hull.....	67
Abb. 60: Punkte zu Polygon Operation mit dem ArcPy Geometry-Objekt .....	67
Abb. 61: Ergebnisse der Überflutungsflächenberechnung im Vergleich .....	69
Abb. 62: Ergebnisdarstellung von ins Vorland übertragenem Absturz im Wasserspiegel.....	71
Abb. 63: Detailansicht der Ergebnisdarstellung von Sprüngen im Wasserspiegel.....	71
Abb. 64: Potenziell zu prüfende Ausström- und Druckbereiche mit Gefälle im Wasserspiegel .....	72
Abb. 65: Exemplarisches Ergebnisse der Fehlerkategorie B und C an einem Druckbereich.....	74
Abb. 66: Terrain der HWGK Berechnungseinheit Schutter. ....	75
Abb. 67: Ergebnisdarstellung der Fehlerkategorie C .....	75
Abb. 68: Ergebnisdarstellung von potenziell zu klein gewähltem Modellbereich .....	77
Abb. 69: Ergebnisdarstellung der Freibordbetrachtung in der Übersicht.....	79
Abb. 70: Ergebnisdarstellung der Freibordbetrachtung im Detail .....	79

Abb. 71: Ausschnitt aus der Sicherheitsbetrachtung der HWGK .....	80
Abb. 72: Punktergebnisse der prototypischen Realisierung .....	80
Abb. 73: Flächenergebnisse der prototypischen Realisierung .....	80
Abb. 74: Ergebnis der Fehlerkategorie H. Unstetiger Wasserspiegel an einem Querbauwerk .....	83
Abb. 75: Fehler der Kategorie H außerhalb von Siedlungsflächen an einem Deich.....	83
Abb. 76: Fehler der Kategorie H im Radius von 20m von einem Wehr .....	83
Abb. 77:Ergebnis der Fehlerklasse I-1 und I-3.....	85
Abb. 78:Ergebnis der Fehlerklasse I-2 .....	86
Abb. 79: Methodischer Lösungsansatz und prototypische Realisierung im Überblick .....	88
Abb. 80: Differenzierung benötigter Daten. Ableitung von Sekundär- aus Primärdaten .....	97
Abb. 81: Beispiel für die Überflutungstiefen-Kartierung in Baden-Württemberg .....	101
Abb. 82: Beispiel für die Umgebungslärm-Kartierung in Baden-Württemberg .....	101

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Systematische Einteilung der QS Fehler in Kategorien nach ZEISLER (2011) .....	16
Tab. 2: Statistische Auswertung der vorliegenden Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK ..	17
Tab. 3: Analyse der Fehlerkategorie H .....	51
Tab. 4: Eingangsdaten und Parameter der Methodik zu Gewässer- & Vorlandbereich .....	66
Tab. 5: Eingangsdaten und Parameter der Methodik zu Überflutungstiefen & -flächen .....	68
Tab. 6: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie A.....	70
Tab. 7: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie B.....	72
Tab. 8: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklasse der Methodik zur Fehlerkategorie C.....	74
Tab. 9: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklasse der Methodik zur Fehlerkategorie F .....	76
Tab. 10: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie G .....	78
Tab. 11: Klassifizierung entsprechend der HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen .....	80
Tab. 12: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie H .....	81
Tab. 13: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie I.....	84
Tab. 14: Räumlich analytisch detektierte Fehler im Rahmen der prototypischen Umsetzung im Vergleich mit den Referenzfehlern der fachlichen QS der HWGK .....	93
Tab. 15: Ergebnisklassen der einzelnen Methoden in der Übersicht.....	95
Tab. 16: Übersicht über die benötigten und optionalen Daten je Fehlerkategorie .....	97

## Abkürzungsverzeichnis

1D, 2D, 3D	Ein-, zwei-, dreidimensional
ALS	Airborne Laser Scan
CFD	Computational Fluid Dynamics
DGM	Digitales Geländemodell
FK	Fehlerkategorie
GIS	Geoinformationssystem
HN-Modell	Hydrodynamisch-numerische Fließgewässermodellierung
HQ <sub>x</sub>	Abflussmenge [m <sup>3</sup> /s] in einem Beobachtungszeitraum, die statistisch gesehen einmal in x Jahren auftritt (z. B. HQ <sub>50</sub> )
HWGK	Hochwassergefahrenkarte
HWRM	Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
HWRM-RL	<i>„RICHTLINIE 2007/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“</i> , ugs. EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie.
QA	Quality Assurance, s. QS
QC	Quality Control, s. QS
QM	Quality Management, s. QS
QS	Qualitätssicherung
UF	Überflutungsfläche
UM	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
UT	Überflutungstiefe
WSP	Wasserspiegel

# 1 Einleitung

Aktuelle hydrodynamisch-numerische Fließgewässermodellierungen (HN-Modellierung) ermöglichen es, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand die Gefahren durch Hochwasser mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich der zu erwartenden Abflussmengen, der betroffenen Flächen und der jeweils zu erwartenden Überflutungstiefen zu ermitteln und räumlich darstellen. Damit werden wesentliche Grundlagen für ein effektives Hochwasserrisikomanagement geschaffen. Das Spektrum reicht von der Freihaltung von Flächen durch die Raumplanung über die Vorbereitung der Gefahrenabwehr bzw. des Katastrophenschutzes bis hin zur Ermittlung von Schwachstellen im technischen Hochwasserschutz.

In Baden-Württemberg werden seit 2003 die Hochwassergefahren für rund 12.000 Gewässerkilometer ermittelt und in der Hochwassergefahrenkarte (HWGK) dokumentiert. Damit stehen bis 2015 landesweit für alle Gewässerabschnitte, von denen relevante nachteilige Folgen durch Hochwasser erwartet werden, Informationen über die Hochwassergefahren öffentlich zur Verfügung. Damit verbunden sind wasserrechtlich vorgegebene Nutzungseinschränkungen für die Flächen, die statistisch einmal in 100 Jahren überflutet werden.

Während der mehrjährigen Mitwirkung im Projekt HWGK konnten wiederkehrende Fehler bei den erarbeiteten Ergebnissen aus HN-Modellierungen beobachtet werden, die eine aufwändige Überarbeitung zur Folge hatten. Weiter wurde beobachtet, dass die fachliche Qualitätssicherung (QS) als Individualprüfung weitgehend manuell durchgeführt wurde. Zunächst wurden die Ergebnisdaten für die fachliche QS aufbereitet, daraufhin sukzessive im Desktop-Geoinformationssystem (GIS) betrachtet und mittels räumlicher Analysemethoden manuell geprüft. Dieses Vorgehen ist aufwändig und selbst anfällig für Fehler.

Daher wird in dieser Master Thesis untersucht, wie GIS-fähige räumliche Analysemethoden erstellt und allgemeingültig formuliert werden können, die potenzielle Fehler in den Ergebnissen der HN-Modellierungen erkennen. Dadurch soll die QS vereinfacht und die HN-Modellierung effizienter werden, indem Fehler frühzeitig erkannt und mit deutlich geringerem Aufwand als bisher korrigiert werden können.

Speziell bei der Erstellung der HWGK wird der Prozess der QS in die Bereiche *technische* und *fachliche* QS geteilt. Daran schließt sich die Plausibilisierung von Ergebnisdarstellungen aus HN-Modellierungen durch betroffene Kommunen sowie die verantwortlichen unteren Wasserbehörden an (SOMMER 2013:439ff). Der Schwerpunkt dieser Master Thesis liegt dabei auf der *fachlichen* QS, da hier gegenüber der *technischen* QS und der *Vor-Ort-Prüfung* der Kartenentwürfe auf Plausibilität (ZEISLER 2008:30ff) das größte Potenzial zur Effizienzsteigerung vermutet wird.

Die Unterstützung der fachlichen QS stellt jedoch gleichzeitig hohe Ansprüche an das zu entwickelnde Instrumentarium. Bei der technischen QS stehen eindeutige Entscheidungsfragen, wie die Überprüfung von einzuhaltenden Wertebereichen und -listen in räumlicher und attributiver Hinsicht, im Vordergrund. Die fachliche QS muss dagegen möglichst weitgehend die ingenieurmäßige Betrachtung und Bewertung nachbilden. Dabei ist zu erwarten, dass aufgrund ihrer Komplexität und Situationsabhängigkeit nicht alle Vorgänge der fachlichen QS mittels automatisierter räumlicher Methoden unterstützt werden können. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen durch einfache räumliche Analysemethoden und eine möglichst geringen Anzahl von Hilfsdatensätzen eine Detektion von wiederkehrenden Fehlern unterstützen. Die Beschränkung auf eine möglichst geringe Anzahl von Hilfsdatensätzen soll die Verallgemeinerung beziehungsweise die Übertragbarkeit auf andere QSen von HN-Modellierungen erleichtern. Um weitgehend unabhängig von spezifischen GIS Software-Produkten zu bleiben, werden die resultierenden Analysemethoden mit möglichst einfachen räumlichen Einzeloperationen beschrieben, die sich mit geringem Aufwand in der jeweils verwendeten GIS Software umsetzen lassen.

Diese Untersuchung knüpft an eine Auswertung von ZEISLER (2011) an, welche die Fehler aus den HWGK Stellungnahmen der QS in neun Fehlerkategorien klassifiziert. Die Grundlage für die Auswertung bilden Ergebnisse aus HN-Modellierungen an knapp 4.300 Gewässerkilometern, die von der QS der HWGK begutachtet wurden. Dabei wurden durch die QS in den Jahren 2006 bis 2011 etwa 770 Einzelstellungnahmen dokumentiert. Die Auswertung stellt somit eine umfangreiche Basis für diese Master Thesis dar.

## 1.1 Forschungsfragen

Mit den zentralen Themenbereichen *HN-Modellierung* und *räumliche Analysemethoden* werden in dieser Master Thesis im Speziellen die folgenden Fragen beantwortet:

- In welchem Umfang lässt sich die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen für die neun Fehlerkategorien durch räumliche Analysemethoden unterstützen?
- Welche Daten können für eine QS von HN-Modellierungen allgemein vorausgesetzt und herangezogen werden oder stellen eine Ergänzung für eine erstellte räumliche Analysemethodik dar?
- Welche räumlichen Transformationen und Operationen eignen sich für die Anwendung in räumlichen Analysemethoden zur Unterstützung der fachlichen QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen?

## 1.2 Lösungsansatz & Methodik

Eine mit dieser Arbeit angestrebte Automation von räumlichen Analyseprozessen setzt voraus, dass die abzubildenden Prozesse wiederkehrend auftreten, wenn auch mit unterschiedlichen räumlicher Ausprägungen sowie sonstigen variierenden Parametern. Die Automation hilft, Bearbeitungszeit und Aufwand der fachlichen Qualitätssicherung zu verringern sowie die Prozesse zu dokumentieren, wodurch Transparenz bei den Beteiligten geschaffen wird. Das

Spektrum der zu erstellenden räumlichen Analysen war durch die Fehlerkategorien aus den HN-Modellierungen der HWGK nach ZEISLER (2011) definiert. Die Aufgabe dieser Arbeit war das Ermitteln geeigneter räumlicher Analysemethoden zur Auffindung der potenziellen Fehler. Dabei war auch immer die Frage nach der Allgemeingültigkeit von Bedeutung, um die Ergebnisse soweit möglich bei anderen HN-Modellierungen einsetzen zu können.

Für diese Untersuchung konnte auf Materialien des Projektes HWGK in Baden-Württemberg in Form

- von konkreten Stellungnahmen der fachlichen QS zu den jeweiligen Ergebnissen,
- der qualitativen Auswertung der QS-Stellungnahmen in den Jahren 2006 bis 2011 (s. oben) mit einer Klassifizierung der Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011),
- einer quantitativen Auswertung aller Fehler aus HN-Modellierungen der HWGK, klassifiziert nach Fehlerkategorien im Zeitraum von 2012 bis 2014,
- sowie auf reale HWGK Ergebnisdaten aus HN-Modellierungen an den Fließgewässern zurückgegriffen werden.

Die zentralen Themenbereiche *HN-Modellierung* und *räumliche Analysemethoden* wurden durch eine Literaturrecherche erschlossen und durch leitfragengestützte Experteninterviews weiter aufbereitet. Für die Interviews konnten drei Projektmitglieder des Projektes HWGK aus den Bereichen Projektleitung, GIS-technische Unterstützung und fachliche QS befragt werden.

Die Erstellung automatisierter räumlicher Analysemethoden je Fehlerkategorie nach ZEISLER (2011) wurde vorwiegend durch explorative Datenanalysen mit den oben benannten Realdaten durchgeführt und Lösungswege wurden sukzessive erstellt. Die Ergebnisse wurden software-unabhängig verbal beschrieben. Je nach methodischer Lösung erfolgte zusätzlich eine Dokumentation mit Gleichungen der *Map Algebra* nach dem Vorbild von TOMLIN (2012) oder mit Hilfe von Flussdiagrammen. Die Flussdiagramme wurden in Anlehnung an die Prozessmodellierungssprache *Unified Modeling Language (UML)* verfasst. Wo es sinnvoll erschien, fand außerdem die Notation und Sprache nach CLEMENTINI et al. (1993) oder EGENHOFER et al. (1990) Anwendung. Die erstellten Methoden waren die theoretische Grundlage für den folgenden Machbarkeitsnachweis, dem sogenannten *proof of concept*.

Für jede Fehlerkategorie wurde im Machbarkeitsnachweis die praktische Anwendbarkeit der ermittelten räumlichen Analysemethoden getestet. Dabei erfolgte eine prototypische Implementierung der Methoden mittels *ESRI Model Builder* oder *Python*. Die räumlich-analytische Funktionalität wurde konkret durch die *Python*-Erweiterung *ESRI ArcPy* bereitgestellt. Im ersten Schritt wurde je Methode ein Testdatensatz aus den Realdaten erzeugt, um die grundsätzliche Funktionsweise umzusetzen und Erfahrungen mit eventuellen Parametern und Randbedingungen zu sammeln und zu dokumentieren. Im zweiten Schritt wurden Testberechnungen für größere Gebiete mit den erstellten Methoden durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Testberechnungen wurden mit den Ergebnissen aus den HWGK Stellungnahmen für die entsprechenden Gewässerabschnitte verglichen.



### 1.3 nicht behandelte Themen

Wie bereits in Abschnitt 1.2 „*Lösungsansatz & Methodik*“ (S. 2) beschrieben, lag der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der fachlichen QS. Die technische QS wurde lediglich dann betrachtet, wenn es für den Themenschwerpunkt notwendig war. Ebenfalls nicht betrachtet wurde der in Baden-Württemberg vorgesehene Prozess der Plausibilisierung von Ergebnisdaten aus HN-Modellierungen durch die betroffenen Kommunen und verantwortlichen unteren Wasserbehörden (auch „*Vor-Ort-Plausibilisierung*“).

Generell ist zu beachten, dass sich diese Arbeit mit der fachlichen QS der Ergebnisdaten aus der Simulationsphase und dem *Pre-* und *Post-Prozess* (Abschn. 2.1.2, „*Differenzierung, Gliederung & Aufbau von HN-Modellierungen*“, S. 6) von HN-Modellierungen beschäftigte und nicht mit der zugrunde liegenden Qualität der HN-Modellierung. Die Qualität einer HN-Modellierung wird maßgeblich durch die Modellierungsmethode, die Kalibrierung und die Sensitivitätsanalysen unter Berücksichtigung der Genauigkeiten von Grundlagendaten und anderer Parameter bestimmt. Aus diesen Elementen resultiert eine Aussage über die Belastbarkeit der Simulationsergebnisse. Eine Aussage zur Qualität der HN-Modellierung lässt keine direkte Aussage über die Qualität der Ergebnisdaten zu, die im Mittelpunkt dieser Arbeit stand. Zum Beispiel lassen sich fachliche Aussagen zu Unsicherheiten eines errechneten Wasserspiegels an einer bestimmten Stelle erstellen, dies lässt jedoch noch keine Aussage darüber zu, ob dieser Wasserspiegel in den Ergebnissen korrekt wiedergegeben wird.

### 1.4 Zielgruppe

Fachbegriffe, das fachliche Vorgehen und Zusammenhänge für die Themenbereiche *HN-Modellierung* und *räumlicher Analysemethoden* werden hinreichend erläutert. Dennoch richtet sich diese Master Thesis an das Fachpublikum der Wasserwirtschaft insbesondere an die Hydrauliker, bei DAUCHER et al. (2003:26) auch *Modellierer* genannt, mit einem Verständnis für die Arbeit mit räumlichen Analysemethoden und deren Anwendung in GISen. Umgekehrt wird auch das Fachpublikum des Geoinformationsbereichs angesprochen, das einen einschlägigen Bezug zu HN-Modellierungen aufweist.

## 1.5 Aufbau dieser Master Thesis

Die Master Thesis ist in sechs Kapitel unterteilt. Das **erste Kapitel** gibt einen Überblick über die Problemstellung und die Bestandteile dieser Master Thesis. Es stellt die zentralen Fragestellungen vor und gibt Auskunft über die nicht behandelten Themen sowie die Zielgruppe, an die sich die Master Thesis idealerweise richtet. Das **zweite Kapitel** stellt die wesentlichen Themengebiete der Master Thesis detailliert vor. Zum einen ist das die *HN-Modellierung* im Allgemeinen mit dem Thema HWGK im Spezifischen und zum anderen sind dies die *räumlichen Analysemethoden*. Dabei werden fachliche Vorgänge, Zusammenhänge und Begriffe geklärt, die in der weiteren Master Thesis relevant sind. Der Lösungsansatz im **dritten Kapitel** bildet die theoretische Basis für den Machbarkeitsnachweis im **vierten Kapitel**. Beide Kapitel untergliedern sich im Wesentlichen in die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011). Dabei werden im Lösungsansatz die räumlichen Analysemethoden definiert, die im Machbarkeitsnachweis umgesetzt und an realen Daten getestet werden. Beide Kapitel können fortlaufend oder je Fehlerkategorie gelesen werden, entsprechende Verweise sind im Text enthalten. Das **fünfte Kapitel** fasst die Ergebnisse verbal, tabellarisch und grafisch zusammen, analysiert und bewertet diese. Die Master Thesis wird im **Kapitel sechs** mit einer Zusammenfassung der Untersuchung und deren Ergebnissen abgeschlossen. Außerdem werden Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen zur Klärung offener Fragestellungen gegeben.



Abb. 1: Aufbau der Master Thesis

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die Master Thesis erläutert. Dabei werden die wesentlichen Grundbegriffe definiert und in den aktuellen Stand der Forschung eingeordnet.

### 2.1 Hydrodynamisch-numerische Fließgewässermodellierung

Einzelne Daten aus dem *Pre-Prozess*, die Ergebnisse aus den HN-Modellierungen und deren Ableitungen aus dem GIS-basierten *Post-Prozess* bilden die Grundlage für diese Master Thesis. Die Ermittlung von Erkennungsmethoden für Fehler in diesen Ergebnisdaten erfordert ein detailliertes Wissen über deren Entstehung. Im Rahmen dieser Master Thesis werden die für den Lösungsansatz erforderlichen Begriffe definiert. Weitergehende Ausführungen zur HN-Modellierung und den umgebenden Prozessen finden sich u.a. in DAUCHER und KAROLUS (2003), FABER et al. (2012), HABERSACK et al. (2011), MADDOCK et al. (2013), ROUSSELOT et al. (2012) oder insbesondere auch zu den wasserwirtschaftlichen Grundlagen bei JIRKA et al. (2009).

#### 2.1.1 Einordnung in den Bereich der numerischen Simulation

Numerische Modellierungen gehören inzwischen - aufgrund der rasanten Entwicklung von Hard- und Software in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten zum Alltag im Ingenieurbereich. Sie lösen zum Großteil physische Modelle ab, da Änderungen oder die Bildung von Varianten bei Berechnungen flexibler, effizienter und kostengünstiger umgesetzt werden können. Wesentliche

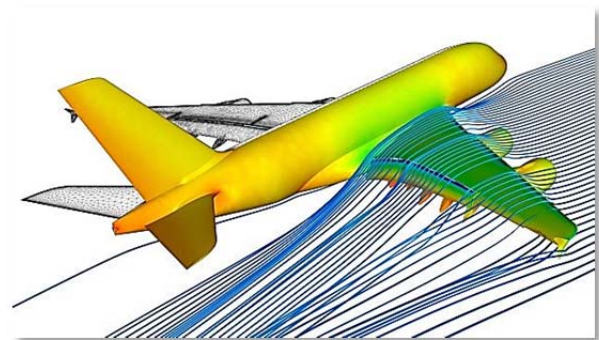


Abb. 2: Aerodynamisch numerische Strömungssimulation an einem Airbus A380 (Quelle: DLR)

Anwendungsbereiche sind unter anderem Crash-Tests (Festigkeitsberechnung), Wettervorhersagen (Klimaprognosen) oder Überflutungsszenarien. Letztere zählen zu den numerischen Strömungssimulationen, mit deren Ergebnissen sich diese Master Thesis beschäftigt. Während Strömungssimulationen im Allgemeinen das Bewegungsverhalten verschiedenster Stoffe in unterschiedlichen Aggregatzuständen simulieren können (Abb. 2), behandeln numerische Fließgewässermodellierungen im Speziellen das Fließverhalten des flüssigen oberirdisch abfließenden Mediums Wasser in Gewässern und dem angrenzenden Vorland.

#### 2.1.2 Differenzierung, Gliederung & Aufbau von HN-Modellierungen

Bei den numerischen Modellierungen differenziert man zwischen ein- und mehrdimensionalen Simulationen (GABL et al. 2014).

1D HN-Modellierungen eignen sich vorzugsweise für mittlere und große Gewässer mit homogener Fließcharakteristik und werden in der Wasserwirtschaft seit Jahrzehnten

erfolgreich eingesetzt. Bei der 1D HN-Modellierung werden Querprofile zur Ermittlung von Gewässer-Längsprofilen herangezogen. Aufgrund der homogenen Fließcharakteristik werden die Flächen zwischen den Profilen interpoliert. Vorteil der 1D HN-Modellierung ist der im Vergleich zur 2D HN-Modellierung deutlich geringere Aufwand.

2D HN-Modellierungen finden Anwendung bei komplexen Gerinnen oder bei großflächigen Ausuferungen, die weit über das eigentliche Gewässer hinaus reichen (ROUSSELOT et al. 2012:2). Die Gebietsgröße wird durch die Modellkomplexität und Rechnerleistung begrenzt. Dies bedeutet, dass mit steigender Komplexität und räumlicher Ausdehnung des zugrundeliegenden digitalen Geländemodells (DGM) die Rechenzeit ansteigt. Je nach Gebietsgröße kann nach ASSMANN et al. (2007:1) ein Rechenlauf mehrere Tage benötigen. So gilt es, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Faktoren Rechenzeit und Detailniveau für das im HN-Modell verwendete DGM zu finden. Vorteil der 2D HN-Modellierung ist die realitätsnähere Modellierung bei inhomogener Fließcharakteristik im Vergleich zur 1D HN-Modellierung.

3D HN-Modellierungen sind aufgrund der heutigen Rechnerleistungen in der Regel im kleinräumigen Bereich anzutreffen. Als Beispiel hierfür kann das Strömungsverhalten an Bauwerken wie z.B. an einer Hochwasserentlastungsanlage genannt werden (FABER et al. 2012:311f; HABERSACK et al. 2007:33f).

Die in dieser Master Thesis herangezogenen Ergebnisse aus 1D- und 2D HN-Modellierungen der HWGK, deren *Pre-Prozess* und deren Ableitungen aus dem *Post-Prozess* bilden komplexe Hochwasserabflussszenarien von Fließgewässern ab. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse der Überflutungssituation stellen die Grundlage für eine Vielzahl von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements dar. Das Spektrum reicht von der Vermeidung neuer Risiken durch die Freihaltung von gefährdeten Flächen über die Verringerung bestehender Risiken durch den baulichen Objektschutz bis hin zur Verringerung nachteiliger Folgen während eines

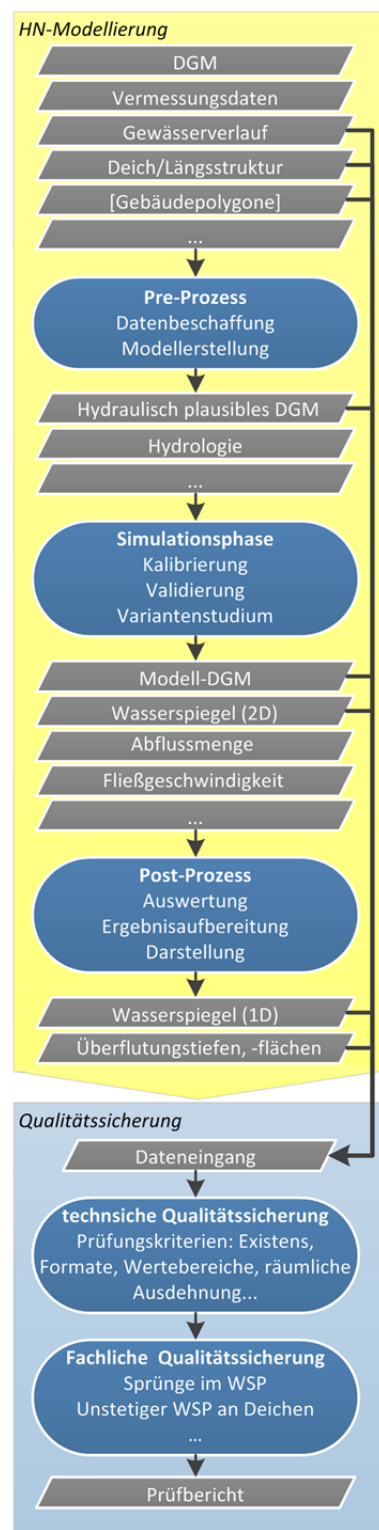


Abb. 3: Schematischer Ablauf einer HN-Modellierung

Hochwassers und danach durch die Vorbereitung der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes. Eine weitere wesentliche Anwendung finden sie bei der Abschätzung der Auswirkungen baulicher Maßnahmen am Gewässer, wie beispielsweise der Renaturierung von Fließgewässern.

Die HN-Modellierung ist in der Regel in die Schritte *Pre-Prozess*, *Simulationsphase* und *Post-Prozess* gegliedert (DAUCHER und KAROLUS 2003:42). Diese Schritte sind in Abb. 3 (S. 7) dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert.

Der als Pre-Prozess bezeichnete Teil der HN-Modellierung beinhaltet die Datenbeschaffung, die im Wesentlichen das Ziel hat, ein hinreichend genaues Geländemodell zu erstellen. Für Modellparameter wie beispielsweise Rauigkeitswerte, Anfangs- und Randbedingungen, werden oft multivariate Datensätze und Werte benötigt (HABERSACK et al. 2007:62). Darüber hinaus kann eine Vielzahl weiterer Daten für eine realitätsnahe Modellierung erforderlich sein. Dazu gehören Informationen über Bauwerke im und am Gewässer, sowie Luftbilder, Liegenschaftsdaten, Daten aus Niederschlag- und Grundwassermessnetzen, Planungsunterlagen, Daten anderer HN-Modellierungen und Informationen aus Vorortbegehungen.

Allgemein finden bei HN-Modellierungen im Pre-Prozess häufig Geländemodelle aus Airborne Laser-Scan (ALS) Anwendung. Technisch bedingt bilden gegenwärtig typische ALS-Daten lediglich den Wasserkörper mit seiner Oberfläche ab, weshalb die Flusssohle durch terrestrische Vermessung, Echolotvermessung o.ä. Vermessungstechniken in die Modellierung integriert werden muss

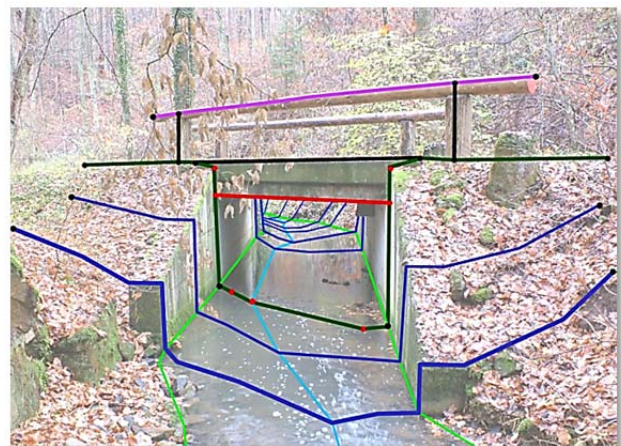


Abb. 4: 3D Darstellung von Gewässerquerprofilen und Bauwerksprofilen im Gewässerbett (Quelle: LUBW GPro)

(Abb. 4; MATTES 2008:36; SEITZ 2008:20ff). Dieser Prozess wird üblicherweise mit einem GIS durchgeführt. Das Ergebnis ist ein *hydraulisch plausibles DGM*, welches jedoch häufig zu hoch aufgelöst ist, als dass es aufgrund der heute üblichen Rechnerleistung in typischer Software für 2D HN-Modelle verwendet werden kann. Daher wird bei der Implementierung in das HN-Modell eine Ausdünnung des hydraulisch plausiblen DGM zu einem, hier als *Modell-DGM* bezeichneten, Geländemodell durchgeführt. Dies weist eine reduzierte Knotenzahl bzw. Auflösung auf, je nachdem ob das Modell vektor- oder rasterbasiert ist (MOSER et al. 2008a:28f; MANDLBURGER et al. 2007:734f).

Die Erstellung eines hydraulisch plausiblen Geländemodells betrifft vor allem 2D HN-Modellierungen. Diese Verfahren bieten gegenüber 1D HN-Modellierungen den Vorteil, dass sie das Fließverhalten in der Fläche und die Ausuferungen in verzweigte Fließstränge im



Gewässerbereich oder Vorland berücksichtigen können. 1D HN-Modellierungen hingegen basieren auf in der Regel terrestrisch vermessenen Querprofilen entlang des Gewässerverlaufs. Somit sind für 1D HN-Modellierungen nicht zwingend Geländemodelle als Modellgrundlage notwendig. Vereinfacht betrachtet werden die Ergebnisse je Querprofil gemittelt errechnet. Sie können erst im Post-Prozess zu einem flächigen Wasserspiegel interpoliert werden. In der Weiterverarbeitung ist u.a. für die Erstellung von Überflutungstiefen (auch Differenzenraster) dann auch bei 1D HN-Modellierungen ein idealerweise hydraulisch plausibles Geländemodell notwendig (ROUSSELOT et al. 2012:4f; DAUCHER und KAROLUS 2003:46).

Die Modellierungsart muss je nach Fragestellung und Gebietscharakteristik ausgewählt werden. Nachdem das DGM und die hydrologischen Kennwerte in das HN-Modell eingebracht sind, beginnt die Simulationsphase. Zuerst wird das Modell anhand bekannter Wasserstände aus abgelaufenen Hochwasserereignissen, Hochwassermarken oder Geschwemmsellinien durch Anpassung der Rauigkeitsbeiwerte kalibriert. Danach erfolgen die Berechnungen von synthetischen Hochwasserereignissen. Je nach Fragestellung werden Varianten berechnet, wie z.B. der Vergleich zwischen dem IST- und dem SOLL-Zustand bei einer Bauwerksplanung oder die Ausbreitung und die Überflutungstiefe bestimmter statistischer Hochwasserereignisse wie im Falle der HWGK.

Als typische Ergebnisse bei 1D- und 2D HN-Modellierungen sind Wasserspiegel in [müNN], Abflussmenge in [m<sup>3</sup>/s] und Fließgeschwindigkeiten in [m/s] zu nennen (SOMMER 2014; MATTES 2014). Bei 1D HN-Modellierungen werden diese Werte gemittelt für die Querprofile angegeben und müssen für die Erstellung eines flächigen Wasserspiegels im Post-Prozess in die Fläche interpoliert werden. Bei 2D HN-Modellierungen entfällt diese Interpolation aufgrund der von vorneherein flächigen Betrachtung der Situation. Bei den 2D HN-Modellierungen werden für jede Recheneinheit (Gitter- oder Rasterzelle) die oben genannten Ergebniswerte ermittelt. Die Interpolation des Wasserspiegels in die Vorländer bei 1D HN-Modellierungen mit ihrer im Vergleich zu 2D HN-Modellierungsergebnissen geringeren Wertedichte ist oftmals Ursache für Fehler in den Ergebnissen. Häufige Fehler sind unter anderem die fehlende Berichtigung von sich überkreuzenden Querprofilen in Gewässerkrümmungen oder eine nicht plausible Projektion von errechneten Wasserspiegeln aus dem Gewässer auf parallel verlaufende Fließstränge in den Vorländern. Diese und weitere Fehler müssen in der QS aufgedeckt werden und sind im Weiteren ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit.

Im Post-Prozess kann aus dem DGM [müNN] und dem Wasserspiegel [müNN] die Differenz berechnet werden, die der Überflutungstiefe [m] entspricht. In einem weiteren Schritt lässt sich aus den positiven Überflutungstiefen der Bereich der Überflutungsfläche abgrenzen. Die Überflutungstiefe und -fläche lässt sich als Höhe und Ausbreitung des Wasserspiegels über dem Gelände verstehen UMWELT NRW (2003:3). Die Aufbereitung zur kartographischen Präsentation der Ergebnisse wird ebenfalls dem Post-Prozess zugeordnet.

Als Ergebnisdatensätze werden im Weiteren die Ergebnisse aus dem Pre-Prozess, der HN-Modellierung und dem angeschlossenen Post-Prozess zusammengefasst. Dies sind insbesondere DGM [müNN], hydraulisch plausibles DGM [müNN], Modell-DGM [müNN], Wasserspiegel [müNN], Abflussmenge [m<sup>3</sup>/s], Fließgeschwindigkeiten [m/s] sowie Überflutungstiefen [m] und –flächen [m<sup>2</sup>].

## 2.2 Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg

Das Ziel dieser Arbeit ist es, nicht einen projektspezifischen, sondern einen allgemeinen Ansatz zur Unterstützung der fachlichen QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen durch räumliche Analysemethoden zu erstellen. Allerdings benötigt dieser Ansatz ein spezifisches Untersuchungsobjekt. In diesem Fall ist es die HWGK Baden-Württemberg. Die Erstellung der HWGK ist der Rahmen für die qualitative und quantitative Auswertung von Fehlerkategorien für HN-Modellierungen nach ZEISLER (2011). Die Auswertung ist der Impulsgeber und Basis für diese Untersuchung. Mit einer Projektlaufzeit von über 10 Jahren, rund 12.000 zu untersuchenden Flusskilometern, und weit über 130 umfangreiche HN-Modellierungen an Fließgewässern mit unterschiedlichsten Charakteristiken, einem aufwendigen QS-Prozess und über 50 Terrabyte an Projektdaten bietet das Projekt HWGK für die vorliegende Arbeit genügend Substanz.

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über das Projekt und dessen Einordnung in die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und fokussiert dann den Projektteil der QS.

### 2.2.1 Die Hochwassergefahrenkarte im Kontext der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie

Die Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) verpflichtet die Mitgliedsstaaten bis 22.12.2013, Überflutungsflächen und –tiefen für geringe, mittlere und hohe Hochwasserwahrscheinlichkeiten in Form von Hochwassergefahrenkarten darzustellen. Die HWGK dient der Identifizierung und der Definition von Maßnahmen für die Vermeidung und Verminderung von Hochwasserrisiken. Entsprechend der EUROPEAN COMMISSION (2007:Art.6) wurden durch die HWRM-RL 2014 erstmals die entsprechenden Überflutungstiefeninformatio n und -flächeninformatio n von den Mitgliedsstaaten an die EU berichtet. Zukünftig ist die Berichterstattung alle sechs Jahre vorzunehmen, wofür eine Überprüfung und Aktualisierung der Daten durch die Richtlinie vorgeschrieben ist (EUROPEAN COMMISSION 2007:Art.14; BUCHHOLZ et al. 2012:2). In Baden-Württemberg wurde mit der Erarbeitung der HWGK bereits 2003 vor Verabschiedung der Richtlinie als Gemeinschaftsprojekt des Landes und der Kommunen begonnen. Baden-Württemberg ist das einzige deutsche Bundesland, in dem die HWGK eine rechtliche Relevanz hat. Die in der HWGK dargestellte Flächenausdehnung des Szenarios mit mittlerer Wahrscheinlichkeit, d.h. einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren, hat deklaratorische Wirkung und gilt per Gesetz als wasserrechtliches Überschwemmungsgebiet, solange keine aktuelleren Informationen



vorliegen. Für diese Flächen gelten die Nutzungsbeschränkungen des § 76 Wasserhaushaltsgesetz, die bis hin zum Bauverbot reichen.

Die HWGK ist somit eine wichtige Entscheidungsgrundlage für wasserrechtliche und wasserwirtschaftliche Fragestellungen. Aber auch bei der Planung der Gefahrenabwehr oder des Katastrophenschutzes nimmt sie nach BRAUNER (2013:36), RIMEK (2011:421f) oder auch MOSER et al. (2008b:16) eine wichtige Rolle ein. Für HASCHER (2013:51), sowie KRÄMER (2012:28f) ist sie die Chance, Betroffene für die Gefahren und Risiken von Hochwasser zu sensibilisieren. Die HWGK hilft ihren Nutzern allerdings nur, wenn die Datenbasis aktuell und qualitativ hochwertig ist.

### 2.2.2 Ablauf der HN-Modellierung

Der Projektplan der HWGK in Baden-Württemberg dokumentiert in über 30 Arbeitspaketen den Entstehungsprozess der HWGK. Dieser umfasst u.a. die Vermessung, die Erstellung der Hydrologie oder die Beschaffung von bereits vorliegenden Informationen (SOMMER 2014). Diese Arbeitspakete sind abzuarbeiten, bevor die HWGK in einer von knapp 140 Erstellungseinheiten fertiggestellt werden kann. Die Abb. 5 ist eine vereinfachte Beschreibung des Prozesses für eine solche Erstellungseinheit, mit den für diese Master Thesis relevanten Schritten.

Für die Beschreibung der Topologie des Flussstrauchs wird als Ergänzung zum DGM der Landesvermessung eine terrestrische Vermessung entlang der 12.000 Flusskilometer durchgeführt. Neben Querprofilen werden mit sogenannten Verbundprofilen (Abb. 4, S. 8) alle relevanten Bauwerke in und am Gewässer aufgenommen und jedes Profil mit digitalen Fotos dokumentiert (SEITZ 2008:18ff).

Die in der Hydrologie enthaltenen Bemessungskennwerte werden in Baden-Württemberg zentral durch die sogenannte *Regionalisierung* bereitgestellt (LIEBERT et al. 2007). Die Regionalisierung enthält u.a. Werte für Hochwasserscheitelabflüsse in [m<sup>3</sup>/s] je signifikantem Gewässerabschnitt. Die zentrale Bereitstellung durch die Regionalisierung gewährleistet ein einheitliches Vorgehen im Projekt HWGK (GERLINGER 2008:22ff).

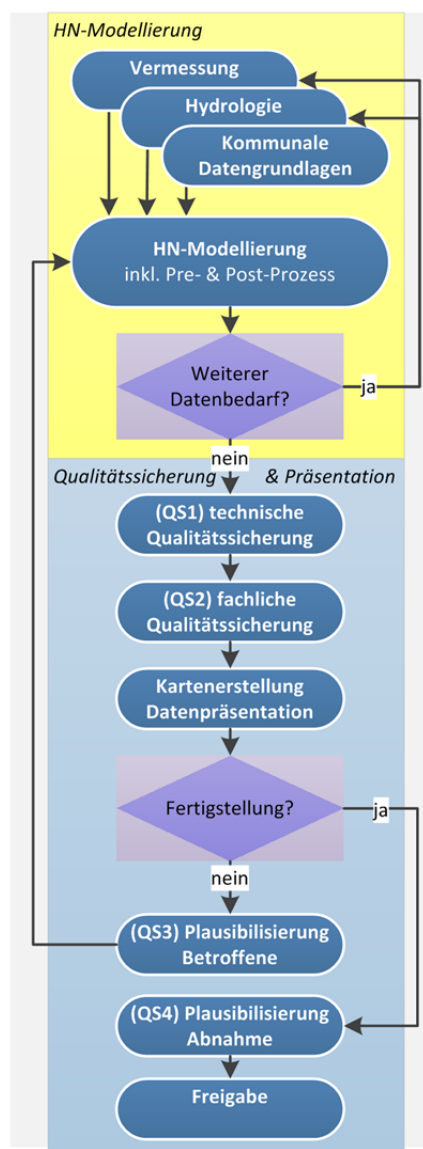


Abb. 5: Schematischer Ablauf einer HN-Modellierung und QS der HWGK

Die Recherche nach und Aufbereitung von bereits vorhandenen Daten, die z.B. aus früheren Flussgebietsuntersuchungen stammen, oder Informationen zu Hochwasserschutzanlagen, -rückhaltebecken sowie Verdolungen bilden den wesentlichen Dateneingang für die eigentliche HN-Modellierung.

Vor der Erstellung der HN-Modellierung ist zwischen 1D und 2D HN-Modellierung zu entscheiden. Dabei ist die Abstimmung der Randbedingungen zu den räumlich benachbarten Modellierungen unabdingbar. Andernfalls sind Diskrepanzen wie „Wasserwände“ zu erwarten. Dieses Phänomen tritt vor allem auf, wenn zwei HN-Modellierungen aneinandergrenzen und an den Schnittstellen unterschiedliche Wasserspiegel errechnet wurden. Um einen homogenen Wasserspiegel als zentrales Projektziel zu erreichen, müssen die Randbedingungen zwischen den Erstellungseinheiten abgestimmt werden. Im Überlappungsbereich von Mündungen wird die Zusammenführung der Daten durch die zentrale QS durchgeführt (MOSER et al. 2008a:26ff). Werden im Prozess der Modellerstellung weitere Daten – z.B. aus der Vermessung – benötigt, wird eine Prozessschleife mit dem entsprechenden Arbeitspaket (Vermessung oder Hydraulik) vollzogen. Im Anschluss an die HN-Modellierung erfolgt die vierstufige QS, welche im Folgenden detaillierter beschrieben wird.

### 2.2.3 Ablauf der Qualitätssicherung

Im Rahmen der HWGK Projektdurchführung in Baden-Württemberg entstand eine aufwändige vierstufige QS für Ergebnisse aus HN-Modellierungen (Abb. 6, S. 13). Gründe dafür sind die gewünschte Akzeptanz der Karten und die Koppelung mit wasserrechtlichen Nutzungsbeschränkungen nach § 76 Wasserhaushaltsgesetz bis hin zum Bauverbot. Die QS gliedert sich in die Bereiche technische und fachliche QS, sowie die Plausibilitätsprüfung 1 und 2 (Abb. 5, S. 11).

Der in dieser Arbeit als technische QS benannte Vorgang hat in der recherchierten Literatur verschiedene Bezeichnungen. So beschreibt MATTES (2008:36) diesen Teil der QS als „*formale Vollständigkeits- und Trivialprüfung*“, während JOOS (2000:69) von „*Konsistenzprüfung*“ spricht. Die Aufgaben und Kriterien der technischen QS sind durch die im Leistungsverzeichnis (MOSER 2009) festgelegten technischen Rahmenbedingungen vorgegeben. Danach werden Prüfungen für verschiedene Dateneigenschaften durchgeführt. Geprüft werden u.a. die Existenz des Datensatzes, das Datenformat und die räumlich topologischen Merkmale wie die Orientierung, Auflösung und Projektion sowie die attributive Formatierung, zu der die korrekte Anwendung von Wertebereichen oder Schlüssel Listen zählt.

Die Übergabe der Ergebnisdaten an die fachliche QS erfolgt über eine projektspezifisch definierte Schnittstelle. Die wesentliche Aufgabe der fachlichen QS ist das Auffinden fachlicher Fehler mittels ingenieurmäßiger Betrachtung. Zu der Vielzahl an Fehlermöglichkeiten gehört die fehlerhafte Interpolation von Wasserspiegeln in die Vorländer oder Fehlstellen an Datenrändern u.v.m. Das Vorgehen sieht zuerst eine Sichtung des Erläuterungsberichts aus der

HN-Modellierung vor. Im Anschluss werden die Daten sukzessive betrachtet und mittels manueller räumlicher Analysemethoden in einem GIS analysiert. Eine detailliertere Sicht auf diesen Teil der QS wird in Abschnitt 2.3.3 „*Fachliche Qualitätssicherung im Detail*“ (S. 16) vorgenommen.

Stellt die technische oder die fachliche QS Fehler fest, werden diese an den Hydrauliker zurückgegeben, um eine erneute Prozessschleife zu durchlaufen. Bestehen die Ergebnisse aus der HN-Modellierung die technische und fachliche QS, werden die Daten in digital statischen und webbasierten- interaktiven Karten visualisiert und an die betroffenen Akteure zur sogenannten Plausibilisierung gegeben. Im Fall der HWGK sind dies die betroffenen Kommunen und die zuständigen unteren Wasserbehörden. Dieser Teil der QS ist in zweierlei Hinsicht unverzichtbar. Zum einen stärkt er die Akzeptanz der Ergebnisse bei den Betroffenen, indem die betroffenen Akteure aktiv mit in die Erstellung einbezogen werden, zum anderen fließt durch den Plausibilisierungsvorgang lokales Wissen mit in die Ergebnisse ein (WALLISCH 2013:44). Nach Beendigung der Plausibilisierungsphase werden die Erkenntnisse, Anmerkungen und Fehler geprüft und bei entsprechender Relevanz zur Einarbeitung an den Prozess der HN-Modellierung zurückgegeben. Nach dieser Einarbeitung wird die technische und fachliche QS erneut durchlaufen und nach Bestehen an die vierte Stufe der QS weitergegeben.



Abb. 6: Ablaufschema Qualitätsmanagement Hydraulik der HWGK(Quelle: ZEISLER 2008:31)

Die vierte Stufe der QS enthält neben den technisch und fachlich geprüften Ergebnisdaten aus Stufe drei, eine Visualisierung in Form von digitalen, statischen und webbasiert-interaktiven Karten. Die Aufgabe der vierten QS-Stufe ist die formale Abnahme der Ergebnisse, bevor die Daten und deren Visualisierung zur Veröffentlichung freigegeben werden (SOMMER 2013:43f; ZEISLER 2008:4ff). Auch auf dieser Stufe werden – sofern ein Fehler festgestellt wird – die Daten zurück in den Prozess der HN-Modellierung gegeben und sie durchlaufen danach die beschriebenen QS-Stufen erneut.

## 2.3 Qualitätssicherung von HN-Modellierungen

### 2.3.1 Qualitätssicherung räumlicher Daten im Allgemeinen

Eine Qualitätssicherung (kurz „QS“, auch „Quality Assurance oder Quality Control“) wird in vielen Anwendungsbereichen bzw. Prozessen eingesetzt, um durch ein strukturiertes Vorgehen einem vorgegebenen Qualitätsanspruch zu genügen. Eine allgemeine Definition des DEUTSCHEN INSTITUT FÜR NORMUNG (1995:Ziff.3.5) beschreibt Qualität als die Summe aller „objektiven Merkmale einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“. Als Einheit sind im vorliegenden Fall die Ergebnisse der HN-Modellierung zu betrachten. Die Merkmale werden durch die Berücksichtigung der Fehlerkategorien definiert.

Der 2013 vorgelegte Standard des Qualitätsmanagement für Geodaten (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1995) konkretisiert Anforderungen an die Dokumentation der Qualität. Er bildet damit eine wichtige Grundlage für die Qualitätssicherung im Allgemeinen. Dieser und vergleichbare Ansätze zur Qualitätssicherung von Geodaten bestätigen die im Rahmen der QS der HWGK vorgenommene Strukturierung in eine technische und fachliche QS sowie die Plausibilitätsprüfung auf Basis von Vorortkenntnissen (WILTSCHKO et al. 2005; GERKE et al. 2004, JOOS 2000). Weitergehende Schlüsse lassen sich daraus jedoch für die speziellen Fragestellungen dieser Arbeit nicht ableiten.

### 2.3.2 Qualität von numerischen Modellen

Ein zentraler Aspekt der Qualitätssicherung von numerischen Modellen ist in der Regel die Abschätzung der Qualität von HN-Modellierungen im Hinblick auf die Prognose- oder Vorhersagesicherheit der Ergebnisse, d.h. die Genauigkeit, mit der ein berechnetes Ereignis in der Realität eintritt. In diesem Zusammenhang werden Unsicherheiten aus Grundlagedaten ebenso betrachtet wie Modell- oder Parameterunsicherheiten (KOPMAN et al. 2004:259). Diese Betrachtungen beschäftigen sich folglich mit dem Dateneingang, der Modellierung und der Kalibrierung von HN-Modellen. Die Betrachtung der fachlichen QS für die HWGK stellt hingegen eine Individualprüfung einzelner Situationen in den Ergebnissen aus HN-Modellierungen dar und ist bei chronologischer Betrachtung des Ablaufs einer HN-Modellierung den zuvor genannten Prozessen (Dateneingang, Modellierung und Kalibrierung) nachgestellt.

CASEY et al. (2000) beschreibt, wie im Abschnitt oben dargestellt, die Unsicherheiten und Grundlagenfehler. Bezüglich der fachlichen QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen wird als Hilfsmethode die Empfehlung gegeben, Konturlinien für kritische Stellen in den Ergebnissen zu erstellen (2000:89), um Unregelmäßigkeiten zu visualisieren. Dieses Vorgehen wird bei der QS der HWGK bereits angewandt.

WALLISCH (2013:43f) benennt einige wiederholt auftretende Fehlerarten aus HN-Modellierungen. Diese finden sich ebenso in den Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011).

Nach WALLISCH (2013) sollten bei 1D HN-Modellierungen dem Verlauf der Querprofile, der Abflusssituation bei verzweigten Fließwegen, „Rückströmungsbereichen in den Vorländern“ (2013:43), überströmten Hochwasserschutzanlagen sowie Gewässern in Hanglage besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Im Falle von 2D HN-Modellierungen empfiehlt er die kritische Betrachtung von weit ausufernden Simulationsergebnissen im flachen Gelände, bei denen sich die Überflutungstiefe im Ungenauigkeitsbereich des Geländemodells bewegt. Außerdem nennt er eine eventuell zu eng gewählte Modellgrenze als mögliche Fehlerquelle, sodass eine Überflutungssituation unzureichend abgebildet wird. Bereits im Abschnitt 2.2.3 („Ablauf der Qualitätssicherung“, S. 12) wurde erwähnt, dass der QS bei HN-Modellierungen im Allgemeinen ein hoher Stellenwert eingeräumt werden muss, da eine hohe Qualität der Ergebnisse bei den Betroffenen wesentlich zur Akzeptanz der Ergebnisse beiträgt. WALLISCH (2013:44) schlägt zum Erreichen eines hohen Qualitätsniveaus vor, bekannte, bestenfalls von Betroffenen erlebte Hochwasserereignisse zu modellieren, sodass aufgrund der Erfahrung die Ergebnisse akzeptiert werden können. In der Folge werden durch die Betroffenen auch Modellierungen von seltenen Hochwasserereignissen akzeptiert, die meist nicht selbst erlebt wurden. Dieser Vorschlag ist im Falle der HWGK eher der QS-Stufe 4, *Plausibilisierung durch Betroffene* anzusetzen. Dies unterstreicht die Bedeutung der Modellierung häufig wiederkehrender Hochwasserszenarien.

BIELITZ (2008:572ff) stellt eine GIS-gestützte Implementierung für die QS vor und kommt damit der vorliegenden Arbeit bereits sehr nahe. Er befasst sich allerdings mit der technischen QS. Es handelt sich daher um den vorausgehenden Prozessschritt, der auch im Rahmen des Abschnitts 3.2 „Allgemeine Maßnahmen“ (S. 61) aufgegriffen wird und in den Abschnitten 1.3 „nicht behandelte Themen“ (S. 4) und 2.2.3 „Ablauf der Qualitätssicherung“ (S. 12) von der im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchenden fachlichen QS differenziert wurde.

YÖRKÜR et al. (2014:634f) behandelt die fachliche QS von 2D HN-Modellierungen und nennt als wesentliche Fehlerquellen die Approximation der terrestrisch vermessenen Profile bei der Erstellung des hydraulisch plausiblen DGMs, die Interpolation zwischen den Querprofilen, sowie die Ausdünnung des hydraulisch plausiblen DGMs zum Modell-DGM. Zur Behandlung von auftretenden Fehlern werden einige Prüffragen und Ansatzpunkte gegeben, die sich auch bei ZEISLER (2011) wiederfinden. Methodisch beschreibt YÖRKÜR den fachlichen QS Prozess als manuelles Verfahren, wie es die fachliche QS der HWGK ebenfalls vollzieht. Generell bestätigt YÖRKÜR das Vorgehen für die vorliegende Untersuchung.

Andere Ansätze der Qualitätssicherung gehen entweder von Grundgedanken des allgemeinen Qualitätsmanagements aus oder nehmen Bezug auf Qualitätssicherungen anderer Disziplinen, wie beispielsweise Liegenschafts- oder Straßennetz-Daten (vgl. GERKE et al. 2004; JOOS 2000; WILTSCHKO und KAUFMANN 2005; CASEY und WINTERGERSTE 2000). Da bei der hydrodynamisch-numerischen Simulation sehr spezifische Prüfkriterien und Methoden für die QS gelten, wie durch YÖRKÜR et al. (2014:634f) und vor allem ZEISLER (2011) deutlich wird, lassen sich diese Ansätze nicht direkt übertragen.

Zusammengefasst liegt bei der aktuellen Literatur die Schwerpunktbetrachtung der QS von numerischen Fließgewässersimulationen im Allgemeinen und HN-Modellierungen im Speziellen auf der Prognose- oder Vorhersagesicherheit, sowie auf der Betrachtung von Unsicherheiten in den Grundlagedaten, wodurch die Phase der Datenbeschaffung und HN-Modellierung abgedeckt wird. Ein anderer Qualitätsschwerpunkt liegt auf der Verifikation, Kalibrierung und Validierung (DAUCHER und KAROLUS 2003:31ff) der HN-Modelle. Für die Phase der formalen und der fachlichen QS finden sich einzelne, zum Teil ähnliche Methoden oder Empfehlungen wie bei ZEISLER (2011), allerdings ohne dass sie vertieft betrachtet und daraus Schlussfolgerungen abgeleitet werden.

### 2.3.3 Fachliche Qualitätssicherung im Detail

Für das Vorhaben in dieser Arbeit, die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen durch räumliche Analysemethoden zu unterstützen, bietet die HWGK die notwendigen Grundlagen.

Innerhalb der HWGK QS findet eine Differenzierung zwischen der technischen, auch formale QS genannt, und der fachlichen QS statt. Während sich die technische QS als Vorstufe zur fachlichen QS mit der Einhaltung von technischen Vorgaben wie Wertebereichen, Schlüssellisten, Datenformaten, Vollständigkeit, korrekte Topologie und anderen Merkmalen beschäftigt, befasst sich die fachliche QS mit der Individualprüfung (ZEISLER 2011) der Ergebnisdaten. Bei dieser werden die Daten sukzessive betrachtet und mit hydraulischem Expertenwissen geprüft.

Tab. 1: Systematische Einteilung der QS Fehler in Kategorien nach ZEISLER (2011)

Fehler-kategorie	Erläuterung
A	Sprünge im Wasserspiegel durch Verschnitt der 1D Ergebnisse an Brücken und Wehren
B	Rück- und Hinterströmungen mit Aufstau oder Gefälle
C	Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege
D	Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen
E	Fehlende Einarbeitung von Durchlässen / durchgängigen Fließwegen
F	Fehlstellen an Datenrändern / „geometrische“ Ergebnisse
G	Freibord an Deichen / geschützte Bereiche / Druckwasserbereiche
H	Dellen im Wasserspiegel insbesondere im Bereich von Deichen
I	Löcher / Unterbrechungen bei Gebäuden
Z	Sonstige Anmerkungen/Fehler

Zwischen Anfang 2008 und Ende 2011 wurden in der fachlichen QS der HWGK in 37 von etwa 140 Bearbeitungseinheiten die Ergebnisse aus den HN-Modellierungen der HWGK geprüft. Die Ergebnisdaten stammen von 11 unterschiedlichen Auftragnehmern und umfassen sowohl 1D als auch 2D HN-Modellierungen. Im Laufe der fachlichen QS wurde eine Klassifikation der wiederkehrenden Fehler vorgenommen, um die Qualität der Ergebnisse erfassen, vergleichen



und bewerten zu können. Dafür wurden etwa 4.300 Flusskilometer begutachtet und etwa 770 Einzelstellungen festgehalten.

Die Auswertung „Systematische Fehler der Qualitätssicherung“ nach ZEISLER (2011) dokumentiert diese Fehlerklassifikation in sogenannten Fehlerkategorien und stellt damit die wesentliche Grundlage für diese Master Thesis dar. Die Auswertung wurde im Rahmen des Projekts HWGK für den sogenannten „Hydrauliker Tag 2011“ erstellt. Im Rahmen dieser Veranstaltung fand ein Workshop statt, bei dem die projektbeteiligten Auftragnehmer zusammen mit der Projektleitung die Fehlerkategorien (Tab. 1, S.16) diskutierten. Die Ergebnisse dieses Workshops sind in RPS (2011) protokolliert und wurden für diese Arbeit ausgewertet.

Tab. 2: Statistische Auswertung der vorliegenden Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK

HWGK Bearbeitungseinheit (Datum des Eingangs – Ausgangs bei der QS 2 HWGK)	Daten- vol. in GB <b>344</b>	Fehler- summe <b>264</b>	Fehleranzahl nach Fehlerkategorien								
			A <b>1</b>	B <b>135</b>	C <b>34</b>	D <b>8</b>	E <b>11</b>	F <b>9</b>	G <b>20</b>	H <b>11</b>	I <b>35</b>
TBG 643 Aitrach (11.10.2011 - 15.05.2012)*	38	14	1	3	-	-	4	1	4	1	-
TBG 100 Argen (11.10.2011 - 15.05.2012)*	44	64	-	15	3	2	1	2	7	2	32
TBG 642 Riß/Rot (13.03.2012 - 01.11.2012)*	90	145	-	112	12	5	3	2	4	7	-
TBG 652 EZG Brenz, Egau und Eger, sowie Rotach (01.02.2013 - 12.03.2013)*	57	11	-	-	6	-	1	1	2	1	-
TBG 212 Wiese	56	4	-	-	1	1	-	-	2	-	-
TBG 482 Seitengewässer Jagst	21	7	-	2	3	-	-	1	1	-	-
TBG 502 Nebengewässer der Tauber	26	11	-	3	1	-	2	2	-	-	3
TBG 631 Große Lauter	12	8	-	-	8	-	-	-	-	-	-

Drei weitere Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK lagen vor, in denen die einzelnen Fehlersituationen betrachtet werden konnten, aber aufgrund fehlender Einteilung in die neun Fehlerkategorien werden diese Stellungnahmen nicht berücksichtigt.

\* Die Daten dieser Bearbeitungseinheiten liegen zur Verwendung in dieser Arbeit vor.

Seit dem oben genannten „Hydrauliker Tag 2011“ wurden durch die fachliche QS der HWGK sogenannte Stellungnahmen zu jeder Bearbeitungseinheit erstellt. Die darin enthaltenen Einzelstellungen zu den individuellen Fehlern sind jeweils erläutert und mit georeferenzierten Bildern dargestellt. Darüber hinaus wurde der Name der Bearbeitungseinheit als Gebietsbezug, die Häufigkeit der Fehler je Fehlerkategorie, die untersuchte Gewässerstrecke, das Datenvolumen der Bearbeitungseinheit sowie die Anzahl der Fehler je Flusskilometer festgehalten. Im Anhang enthalten ist eine umfangreiche tabellarische Zusammenstellung aus dem Projekt HWGK (Anh. „Quantitative Betrachtung der systematischen Fehler der Qualitätssicherung“, S. 108). Diese Zusammenstellung ist ein statistischer Auszug über die Anzahl systematischer Fehler, die in der fachlichen QS nach der Definition von ZEISLER (2011) je HWGK Bearbeitungseinheit festgestellt wurden. Die Tabelle wurde von der Projektleitung HWGK im Jahr 2011 als Instrument der Projektsteuerung



eingeführt und in dieser Arbeit quantitativ ausgewertet. Die Statistik umfasst den zum Teil noch nicht abgeschlossenen Stand von 47 Bearbeitungseinheiten in einem Zeitraum von knapp 2 Jahren im Anschluss an den oben erwähnten „Hydrauliker Tag 2011“. Die Mehrfachnennung von Gewässerbezeichnungen bedeutet eine Wiedervorlage der Ergebnisse aus den HN-Modellierungen aufgrund einer zuvor nicht bestandenen QS. Berücksichtigt man diese Wiedervorlagen, wurde die QS in diesen zwei Jahren an weiteren 9.800 Flusskilometern durchgeführt. Dabei wurden weitere 785 Fehler festgestellt (SOMMER 2014). Die Tab. 2 (S. 17) ist eine abgeleitete Zusammenstellung. Dabei sind nur die HWGK Bearbeitungseinheiten wiedergegeben, die im Rahmen dieser Arbeit als Stellungnahme ausgewertet wurden. Die einzelnen Fehlerkategorien der Auswertung werden im Lösungsansatz im Detail vorgestellt.

## 2.4 Räumliche Analysemethoden

### 2.4.1 Begriffe

Mittels räumlicher Analysemethoden, sollen die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Fehlerkategorien für die QS möglichst vollständig erkannt werden oder es soll zumindest eine unterstützende Methodik gefunden werden, die das Auffinden von Fehlern für die QS vereinfacht.

BARTELME (2005) führt den Begriff der *Methoden* durch einen Vergleich mit einem Verbrennungsmotor ein. Für ihn sind die Daten der „Treibstoff“ (2005:30) und die Methoden werden durch die Komponenten des Motor dargestellt, die den Treibstoff verarbeiten, wobei es effiziente und weniger effiziente Motoren, respektive Methoden für die gleiche Aufgabe geben kann.

TOMLIN (2012:31ff) spezifiziert den Begriff der Methode („*data processing methods*“) mit der Definition von Operationen und Prozeduren. Operationen ordnet TOMLIN in folgende Gruppen ein: systemspezifische Operationen („*operation for programming*“), Datenaufbereitung- und Verarbeitung („*data preparation*“), Operationen für die Präsentation sowie Operationen für die Dateninterpretation. Vor allem die letzten beiden Gruppen werden im Lösungsansatz in Kapitel 3 (S. 21) zur Problemlösung aufgegriffen. Die Vorgänge, welche die Operationen durchführen, beinhalten etwa Messungen oder Beurteilungen von Phänomenen in den Daten und werden von Tomlin als „*Transformationen*“ definiert. Als „*Prozess*“ definiert TOMLIN (2012:34f) die Zusammenfassung von Operationen. Durch die Möglichkeit, Operationen nacheinander automatisiert ablaufen zu lassen und das Ergebnis einer Operation als Eingangsparameter für eine folgende Operation nutzen zu können, werden mit einer bestimmten, endlichen Anzahl von Operationen sogenannte Prozeduren erzeugt. Eine Prozedur, ihr struktureller Ablauf und die notwendigen Daten bilden zusammen eine räumliche Analysemethode, mit der sich eine räumliche Fragestellung beantworten lässt.

Zusammenfassend kann für diese Master Thesis festgehalten werden, dass räumliche Analysemethoden im Allgemeinen geometrische und topologische Struktur- und

Oberflächenoperationen sowie Selektions- und Aggregationsoperationen sind. Diese Operationen lassen sich zu Prozeduren kombinieren. Aus der Zusammenfassung von Operationen, ihrem strukturellen Ablauf und den erforderlichen Daten entstehen räumliche Analysemethoden. Für die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) müssen im Rahmen dieser Arbeit räumliche Analysemethoden erstellt werden, um den Bedarf der fachlichen QS von HN-Modellierungen zu unterstützen.

## 2.4.2 Fachliche Qualitätssicherung der HWGK

Welche Methoden die QS der HWGK aktuell anwendet, wurde im Wesentlichen aus Experteninterviews mit ZEISLER (2014), MATTES (2014) und SOMMER (2014) abgeleitet.

Allgemein lässt sich in Bezug auf die fachliche QS der HWGK festhalten, dass manuelle, nicht zu Prozeduren zusammengefasste Operationen verwendet werden. Hierzu gehört aus dem Bereich der Oberflächenanalysen die Erstellung von Wasserstandgleichen mit geringer Äquidistanz (z.B. 10cm), durch deren Verlauf zueinander vor allem Sprünge im Wasserspiegel visuell lokalisiert werden können. Dem gleichen Zweck dient die Erstellung einer Schummerung aus dem Wasserspiegel, die aufgrund des stetigen Charakters des Wasserspiegels vielfach überhöht wird, um den visuellen räumlichen Eindruck zu verstärken.

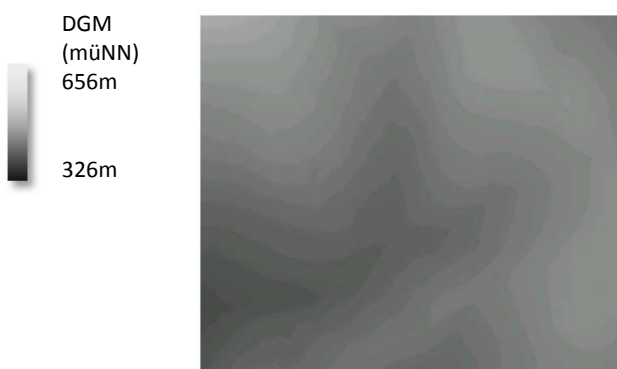


Abb. 7: Beispiel einer kontrastarmen Rasterdarstellung. Graustufen angewandt auf das gesamte Raster, nicht nur auf den hier sichtbaren Bereich



Abb. 8: Beispiel einer kontrastreichen Rasterdarstellung. Graustufen nur angewandt auf den sichtbaren Bereich

Bedarfsweise werden Quer- und Längsprofile an markanten Situationen erstellt, an denen Fehler vermutet werden. Bei der Bearbeitung von mehreren Wasserspiegeln für Hochwasser mit unterschiedlichen Jährlichkeiten<sup>1</sup> ( $HQ_x$ ) und der Verwendung des DGMs lassen sich abfallende, steigende, unterbrochene und unter- oder oberhalb des Geländes verlaufende Wasserspiegel aufzeigen und dadurch Fehler erkennen. Auch das topologische Verhalten von Wasserspiegeln zueinander lässt sich mit Quer- und Längsprofilen anschaulich darstellen und interpretieren (z.B. Abb. 34, S. 42; Abb. 47, S. 52 oder Abb. 48, S. 52).

Eine datensatzspezifische, meist nur räumlich eingeschränkte Visualisierung (Abb. 7, Abb. 8) mit mehrfarbigen Farbskalen hilft beispielsweise, Rückströmungen und falsch projizierte

<sup>1</sup> Bsp. für eine *Jährlichkeit*: Bei einem Hochwassers mit dem statistischen Wiederkehrintervall 1 mal in 100 Jahren, spricht man von *hundertjährlichem Hochwasser* oder kurz  $HQ_{100}$

Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierungen im Vorland zu erkennen. Ungeachtet der kartographischen Regeln bei der Visualisierung steht hier eine hohe visuelle Differenzierbarkeit im Vordergrund. Die räumliche Einschränkung dient der Begrenzung des betrachteten Wertebereichs. Die Einfärbung dieses kleineren Wertebereichs schafft einen höheren Kontrast im Gegensatz zu einer Einfärbung des gesamten Wertebereichs eines Datensatzes.

### 2.4.3 Verwendete räumliche Methoden

Bei den im Wesentlichen beteiligten Datensätzen handelt es sich um Rasterdatensätze (DGM und Wasserspiegel). Wenn es im Lösungsansatz möglich war, wurde die Map Algebra nach TOMLIN eingesetzt. Die Erstellung von Neigungsrastern, die Suche nach Mittelwerten in benachbarten Zonen eines Wertes und andere Methoden wurden mittels der von TOMLIN beschriebenen Syntax der Map Algebra verfasst.

War aufgrund der Beteiligung von Vektordatensätzen die Anwendung der Map Algebra nicht möglich und eine Transformation der Vektor- zu Rasterdaten nicht sinnvoll, wurden zur Beschreibung der Methodik Flussdiagramme eingesetzt, die in Anlehnung an die DIN 66001 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1998) angelegt wurden.

Im Lösungsansatz wurden aus dem weiten Bereich der räumlichen Analysemethoden u.a. Oberflächenanalysen, fokale Methoden (TOMLIN 2012:69ff;167ff; Abb. 9) unter Betrachtung der nächsten Nachbarn, Pufferungen und attributive und topologische Selektionen - letzteres

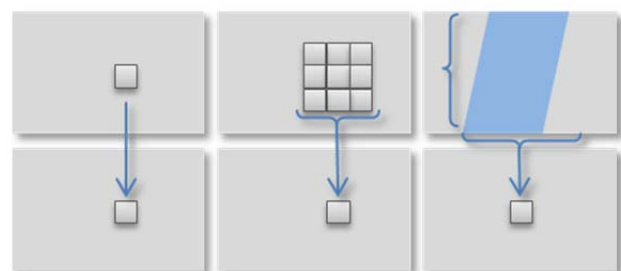


Abb. 9: Lokale, fokale und zonale Transformation der Map Algebra

nach CLEMENTINI et al. (1993) bzw. EGENHOFER et al. (1991) - verwendet. Im Detail werden die angewandten Methoden im Lösungsansatz in Kapitel 3 (S. 21) erläutert.

## 3 Lösungsansatz

Dieses Kapitel bildet die konzeptuelle Basis für die prototypische Realisierung in Kapitel 4 (S. 66). In diesem Kapitel werden die einzelnen Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) im Detail vorgestellt, untersucht und Lösungsvorschläge für die Unterstützung der fachlichen QS erarbeitet. Ziel der Lösungsvorschläge ist es, die potenziellen Fehler der einzelnen Fehlerkategorien möglichst vollständig zu erkennen, mindestens aber die Arbeit der QS zu unterstützen. Dies geschieht durch räumlicher Analysemethoden (vgl. Abschn. 2.4.3 „*Verwendete räumliche Methoden*“, S. 20). Es wird davon ausgegangen, dass selbst die Methoden, die eine vollständige Detektion einer Fehlerkategorie im Lösungsansatz versprechen, letztendlich durch die fachliche QS und eine ingenieurmäßige Betrachtung bestätigt werden müssen. Die Notwendigkeit dieser Nacharbeit ist durch die Komplexität der spezifischen hydraulischen Situationen bedingt. Methoden zur Detektion einer Fehlerkategorie lassen sich nur schwierig oder bedingt formalisieren, denn sie müssen individuelle Besonderheiten berücksichtigen, wie die folgenden Abschnitte zeigen werden.

Daher ist die Erstellung von automatisierten Prüfmethoden für fachliche Fehler eine große Herausforderung (Joos 2000:69) im Vergleich zur automatisierten Prüfung bei der technischen QS. Unabhängig davon kann bereits eine (teil)automatisierte Vorbereitung die Arbeit der fachlichen QS wesentlich effektiver machen.

Den Ausgangspunkt für die Untersuchung jeder Fehlerkategorie bilden die „**systematischen Fehler der Qualitätssicherung**“ nach ZEISLER (2011), sowie das **Workshop Protokoll** des „*Hydraulikertag 2011*“ RPS (2011). Die in diesen beiden Dokumenten enthaltenen Beschreibungen der Fehlerkategorien sind der Einstieg in die jeweilige Problematik. Die Auswertung enthält auch eine Fehlerkategorie „Z“. Diese wird im Weiteren nicht betrachtet, da es sich um eine Ansammlung verschiedenster Fehler handelt, die nicht in die anderen Fehlerkategorien eingeordnet und daher keiner Formalisierung unterzogen werden können.

Um die Varianz sowie die qualitativen und quantitativen Eigenschaften einer Fehlerkategorie besser zu verstehen, werden die 13 zur Verfügung stehenden **Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK** (s. Abschn. 2.3.3 „*Fachliche Qualitätssicherung im Detail*“, S. 16) für jede Fehlerkategorie ausgewertet. Sie umfassen jeweils eine Bearbeitungseinheit der HWGK in Baden-Württemberg von denen es, wie bereits erwähnt, etwa 140 gibt.

Für die Erarbeitung der Lösungsvorschläge werden die Modellansätze, deren Parameter und Variablen mittels **explorativer Datenanalyse** ermittelt. Dafür stehen die Ergebnisdaten zu einigen der oben genannten Stellungnahmen zur Verfügung (Tab. 2, S. 17). Die verwendeten Daten werden im Abschnitt 3.3 „*Studiengbiet & Daten*“ (S. 64) detaillierter beschrieben.

Die im Lösungsansatz erarbeiteten **räumlichen Analysemethoden** werden nicht in Form bestehender Modelle angewandt, sondern als generische Operationen zu neuen, einfach

verständlichen Modellen kombiniert, sodass eine Implementierung in beliebige GIS ermöglicht wird.

Um das **Ziel** einer **allgemeinen Unterstützung der fachlichen QS von Ergebnissen aus HN-Modellierung** zu erreichen, muss beim Vorgehen im Lösungsansatz immer differenziert werden, ob eine Fehlerkategorie bzw. deren Methode, verallgemeinert werden kann, da die Fehlerkategorien für die QS der HWGK erstellt worden sind. Sofern projektspezifische Eigenschaften erkannt werden, muss jeweils untersucht werden, welche Elemente der Fehlerkategorie verallgemeinerbar sind. Beispielsweise liegen der QS der HWGK immer Ergebnisse der Jährlichkeiten  $HQ_{10}$ ,  $HQ_{50}$ ,  $HQ_{100}$  und  $HQ_{EXTREM}$  vor (MOSER 2009:16). Dadurch kann die QS der HWGK etwa topologische Vergleiche der Ereignisse zu einander anstellen, die in einem allgemeinen Ansatz nicht vorausgesetzt werden können.

Fragen zum fachlichen Verständnis oder Diskussionen zu Lösungsansätzen werden bedarfsweise in **Experteninterviews** geklärt bzw. erörtert. Da die Interviews zu umfangreich für eine Wiedergabe in dieser Arbeit sind, werden sie beim Autor als Protokoll vorgehalten.

Zur Vermittlung und Dokumentation der Lösungsansätze werden neben einer ausführlichen **verbalen Beschreibung** Gleichungen entsprechend der **Map Algebra** Syntax (Abb. 10) nach TOMLIN (2012) oder **Flussdiagramme** in Anlehnung an die DIN 66001 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1998) verwendet (vgl. Abschn. 2.4.3 „*Verwendete räumliche Methoden*“, S. 20). Wenn im Weiteren räumliche Analysen mittels Map Algebra beschrieben werden, besteht diese Beschreibung immer aus zwei Teilen (Abb. 10). Der obere Teil deklariert alle verwendeten Eingangsdatensätze und ggf. Parameter. Der untere Teil enthält die eigentlichen Operationen mit allen Zwischenschritten und -ergebnissen. Die Benennung der Zwischenergebnisse und des Ergebnisses erklärt sich durch die nebenstehende Operation in der gleichen Zeile.

```

INPUT1      = ein erstes Inputraster
INPUT2      = ein zweites Inputraster
p           = ein Parameter
# eine Zeile mit einem Kommentar

ZWISCHENERG = Local|Focal|ZonalFunction of INPUT1 - INPUT2
OUTPUT      = Local|Focal|ZonalFunction of ZWISCHENERG * p

```

Abb. 10: Beispielaufbau einer Map Algebra Gleichung nach TOMLIN (2012). Deklarationen im oberen Abschnitt. Die Eingangsdatensätze und Parameter, eigentlichen Operationen darunter

Im ersten Unterabschnitt (Abschn. 3.1.1 „*Gemeinsame Komponenten der räumlichen Analyse*“) sind Komponenten in Form von Methoden zusammengestellt, die durch die Lösungsansätze in den Folgeabschnitten mehrfach genutzt werden und daher in eigenständige Prozeduren ausgelagert wurden. Dieses Vorgehen ist vergleichbar mit der Auslagerung von Funktionen bei der objektorientierten Programmierung.

Die Reihenfolge der folgenden Unterabschnitte entspricht der Reihenfolge der Fehlerkategorien in „*Systematische Fehler der Qualitätssicherung*“ nach ZEISLER (2011)

(s. Tab. 1, S. 16), wobei die Bezeichnungen der erstellten Methoden im Zuge der Verallgemeinerung teilweise abgeändert wurden, um die jeweils erstellte Methode präziser zu benennen. Den Abschluss bilden Maßnahmen (Abschn. 3.2 „Allgemeine Maßnahmen“, S. 61), welche bei der Erarbeitung der Lösungsansätze für die Fehlerkategorien als notwendig erachtet wurden und die das erstellte Methodenpaket für die Unterstützung von Ergebnissen aus HN-Modellierungen mittels räumlicher Analysemethoden komplettieren.

Die Unterabschnitte der Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) werden jeweils dreigeteilt. Der erste Teil gibt den notwendigen **fachlichen Hintergrund**, der zweite Teil stellt in Kürze die bisherige **Praxis der fachlichen QS** vor und der dritte Teil erörtert und beschreibt den **Lösungsansatz** für die jeweilige Fehlerkategorie.

## 3.1 Maßnahmen zur Unterstützung der fachlichen Qualitätssicherung von Ergebnissen aus HN-Modellierungen mittels räumlicher Analysemethoden

### 3.1.1 Gemeinsame Komponenten der räumlichen Analysemethoden

Bei den einzelnen Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) wiederholen sich Teilprozesse bei einigen räumlichen Analysemethoden. Um diese Teilprozesse bei der Beschreibung der einzelnen systematischen Fehler nicht wiederholen zu müssen, wurden diese Teilprozesse in eigene Prozesse ausgelagert und in den nachfolgenden Abschnitten separat erläutert.

#### 3.1.1.1 Gewässer- und Vorlandbereich

Einige der neun Fehlerkategorien, die in den folgenden Unterabschnitten untersucht werden, unterscheiden in ihrer Fragestellung zwischen dem Bereich des *Gewässers* (Abb. 11: *Flussbett*) und des *Vorlandes*. Das *Vorland* wird als die Differenz zwischen dem *Modell-* und dem *Gewässerbereich* definiert.

In diesem Abschnitt werden zwei Möglichkeiten beschrieben, wie die beiden Polygeometrien erstellt werden können, die den *Gewässer-* und den *Vorlandbereich* abgrenzen. Damit können diese beiden Datensätze im Weiteren für räumliche Analysen genutzt werden.



Abb. 11: Querschnitt durch einen Deich (Quelle: FAIGLE et al. 2007:5)

Die linienhaften Querprofile werden in der Regel aus klassifizierten Einzelpunkten erstellt. Dies gilt auch für das Projekt HWGK. Aus den terrestrischen Vermessungen liegen für die Querprofile insbesondere fünf Punktarten vor (SEITZ 2008:19; Abb. 13):

- Böschungsoberkante links und rechts
- Böschungunterkante links und rechts
- Gewässersohle bzw. Talweg

Zusammen mit der Information über die räumliche Abfolge der Profile entlang eines Gewässers lassen sich die Punkte weitgehend automatisiert zu einem Gewässerpolygon zusammenfügen. Dieses definiert den Bereich des Gewässers.

Liegen keine klassifizierten Punktinformationen für den Gewässerbereich vor, kann als Alternative ein Wasserspiegel mit einer geringen Hochwasserwahrscheinlichkeit errechnet werden. Bei einem Hochwasser mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit von zwei Jahren ( $HQ_2$ ) wird unter Berücksichtigung der Charakteristik des Gerinnes angenommen, dass es mit großer Wahrscheinlichkeit nicht aus dem Gewässerbett ausufert und den Bereich des Gewässers wiedergibt. Nach einer visuellen Prüfung und ggf. manuellen Korrektur kann die Geometrie als Gewässerbereich verwendet werden (MATTES 2014).

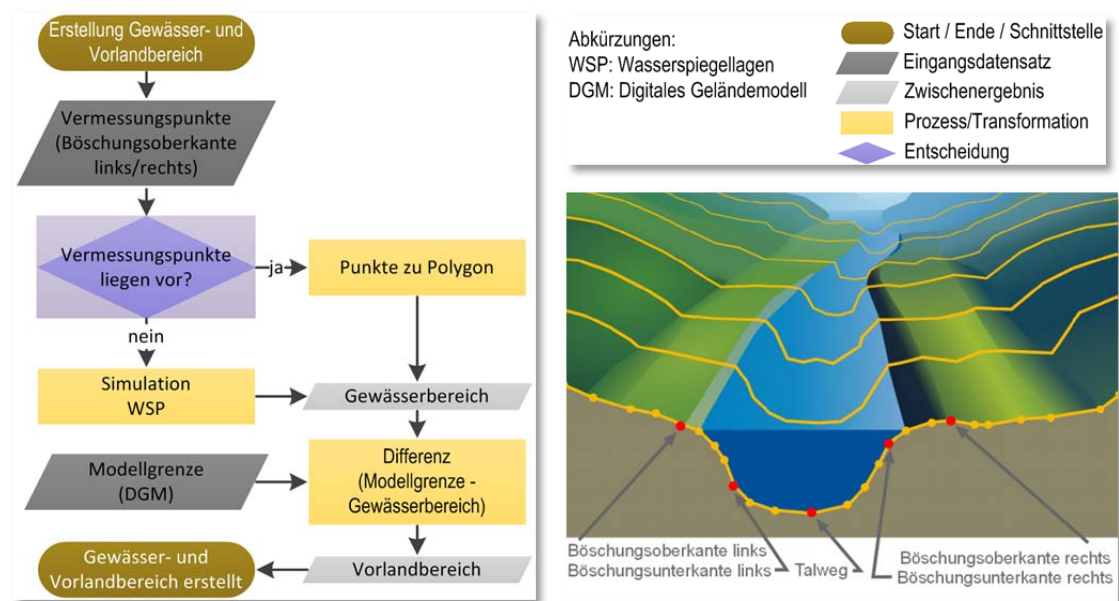


Abb. 12: Erstellung von Gewässer- und Vorlandbereich    Abb. 13: Aufbau eines Querprofils (Quelle: LUBW GPro)

Das DGM wird wie in Abschnitt 2.2.2 „Ablauf der HN-Modellierung“ (S. 11) beschrieben, im Pre-Prozess räumlich auf den Modellbereich reduziert. Dadurch kann der Vorlandbereich als Differenz zwischen dem Modellbereich und dem erstellten Gewässerbereich definiert werden. Dieser Prozess ist schematisch in Abb. 12 dargestellt.

Ungenauigkeiten können sich bei den klassifizierten Punkten durch die Interpretation bei der Punkterstellung ergeben. Ist eine Uferböschung beispielsweise sehr flach, wird die genaue Festlegung der Böschungsoberkante subjektiv durch die vermessende Person vorgenommen. Außerdem kann bei einem Rechenlauf mit einer häufigen Jährlichkeit (z.B.  $HQ_2$ ) nicht völlig



sichergestellt werden, dass der errechnete Wasserspiegel tatsächlich im Gewässerbett verbleibt. Eventuelle Ausuferungen sollten allerdings durch die visuelle Nachkontrolle entfernt werden. Die prototypische Realisierung der Methode erfolgt in Abschnitt 4.1.1 „Gewässer- & Vorlandbereich“ (S. 66).

### 3.1.1.2 Überflutungstiefe und -fläche

Die Überflutungstiefe und -fläche sind keine direkten Ergebnisse aus HN-Modellierungen, sondern Produkte des Post-Prozesses (Abschn. 2.1.2 „Differenzierung, Gliederung & Aufbau von HN-Modellierungen“, S. 6). Die Überflutungstiefe ist die Differenz zwischen dem Wasserspiegel und dem DGM. Sie wird meist in Meter oder Zentimeter angegeben und wird gewöhnlich in einem Rasterformat gespeichert (s. Abb. 14: unten). Die Überflutungsfläche - auch als Überschwemmungsfläche oder Flächenausbreitung bezeichnet (UMWELT BW 2014) - zeigt die Ausbreitung in einem Gebiet, das durch ein berechnetes Hochwasserereignis überschwemmt oder durchflossen wird (s. Abb. 14: oben). Die Überflutungsfläche wird durch die positiven Werte der Differenz aus Wasserspiegel und DGM repräsentiert. Die Erzeugung der Überflutungsfläche ist somit eine Operation, deren Ergebnis durch ein binäres Raster repräsentiert werden kann. Die Überflutungsfläche lässt sich auch mit oder ohne Generalisierung in ein Vektorformat transformieren. Wie der Gewässer- beziehungsweise Vorlandbereich aus dem vorherigen Abschnitt, sind die Überflutungstiefe und die Überflutungsfläche Datensätze, die häufig in den Methoden der QS Verwendung finden bzw. selbst Gegenstand der Prüfung sind.

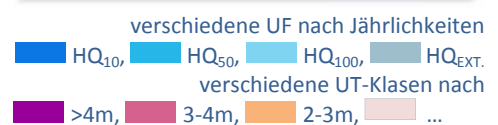
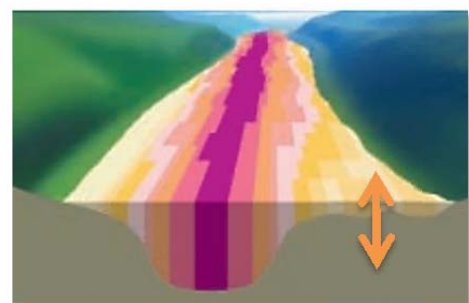
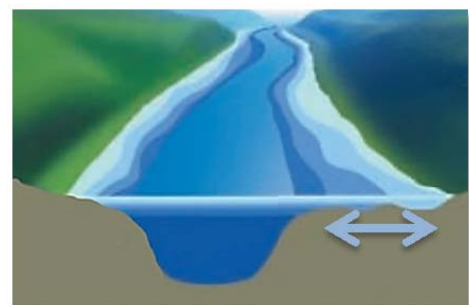


Abb. 14: Exemplarische Darstellung von Überflutungsflächen (UF) oben und Überflutungstiefe (UT) unten (Quelle: UM HWGK Leitfaden)

Bei der Berechnung der Überflutungstiefe oder -fläche ist die Wahl des richtigen DGMS wichtig. Wie in Abschnitt 2.2.2 „Ablauf der HN-Modellierung“ (S. 11) erläutert, können bis zu drei verschiedene Bearbeitungsstufen eines DGMS in einer HN-Modellierung vorliegen. Wird beispielsweise das hydraulisch plausible DGM statt des ausgedünnten Modell-DGM verwendet, können in der Überflutungstiefe und -fläche Lücken auftreten, deren Entstehen in Abschnitt 3.1.4 „FK-C: Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege“ (S. 35) erläutert und in Abb. 28 (S. 37) dargestellt wird.

Der QS werden die Überflutungstiefe und -fläche zur Verfügung gestellt. Diese Daten weisen allerdings die Besonderheit auf, dass im Post-Prozess Unstimmigkeiten häufig nur in der

Überflutungstiefe oder –fläche bereinigt wurden, nicht aber im DGM oder dem Wasserspiegel. Dies kann beispielsweise aus kartographischen Gründen für die Korrektur von rechnerisch auftretenden Überflutungsflächen ohne Verbindung zur sonstigen Überflutungsfläche sinnvoll

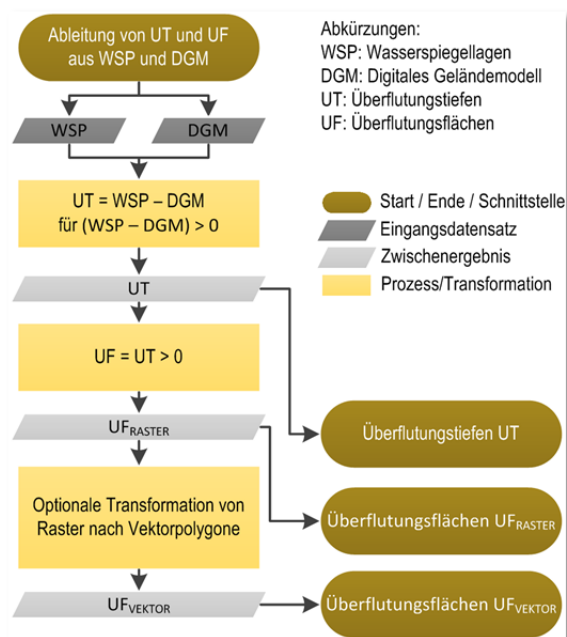


Abb. 15: Erstellung von Überflutungstiefen und –flächen

sein. Aber bei diesem Vorgehen kann es sich auch um Variantenstudien handeln, bei denen Korrekturen wiederholt durchgeführt werden müssten und solch kaschierten Fehler wiederholt auftreten würden. Daher ist es für die QS unumgänglich, die Überflutungstiefe und –fläche selbst zu reproduzieren (s. Abb. 15), um die Ergebnisse der HN-Modellierung so neutral wie möglich beurteilen zu können. Die Methode wird in Abschnitt 4.1.2 „Überflutungstiefen & –flächen“ (S. 68) prototypisch realisiert.

### 3.1.2 FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung an Absturzbauwerken

In diesem Abschnitt werden die Maßnahmen zur Unterstützung der fachlichen QS für die Fehlerkategorie A „*Sprünge im Wasserspiegel durch Verschnitt der 1D-Ergebnisse an Brücken und Wehren*“ nach ZEISLER (2011:3f) erläutert.

**Fachlicher Hintergrund:** Meist im Bereich von Querbauwerken wie Abstrzen und Wehren, aber auch wie in Abb. 16 und Abb. 17 (S. 27) dargestellt an einem Straßendamm können große Wasserspiegeldifferenzen zwischen Ober- und Unterwasser im Gewässer auftreten. Ufert das Wasser oberhalb des Bauwerks in die Vorländer aus und umströmt das Bauwerk, wird in den Vorländern abhängig von der Geländetopologie dieser Höhenunterschied sanfter und stetiger, über eine größere Distanz ausgeglichen.

Bei einer 1D HN-Modellierung werden die Gewässerprofile auf Basis des DGMs in das Vorland verlängert und die errechneten Wasserspiegel übertragen. Auf diese Weise werden die Wasserspiegelwerte zwischen den einzelnen Querprofilen im Post-Prozess in die Fläche interpoliert, das Resultat ist ein flächenhafter Wasserspiegel (Abb. 18, S. 27). Durch die Extrapolation der Querprofile in das Vorland wird aber auch der Sprung des Wasserspiegels im Gewässer auf das Vorland übertragen. Die errechnete Überflutungsfläche kann auf dem Vorland nicht nachvollziehbar enden, obwohl das Wasser in der Realität weiterfließen würde.

Die Problematik tritt ausschließlich bei 1D HN-Modellierungen auf, sofern diese bei der Bearbeitung nicht sachgerecht berücksichtigt wurde. Wesentliche Maßnahmen zur Vermeidung des Fehlers sind die entkoppelte Betrachtung des Vorlandes, die sinnvolle Kürzung des nächsten flussabwärtsliegenden Profils, die direkte Modifikation des Wasserspiegels nach der Interpolation oder es werden die Überflutungstiefen und -flächen kaschiert.

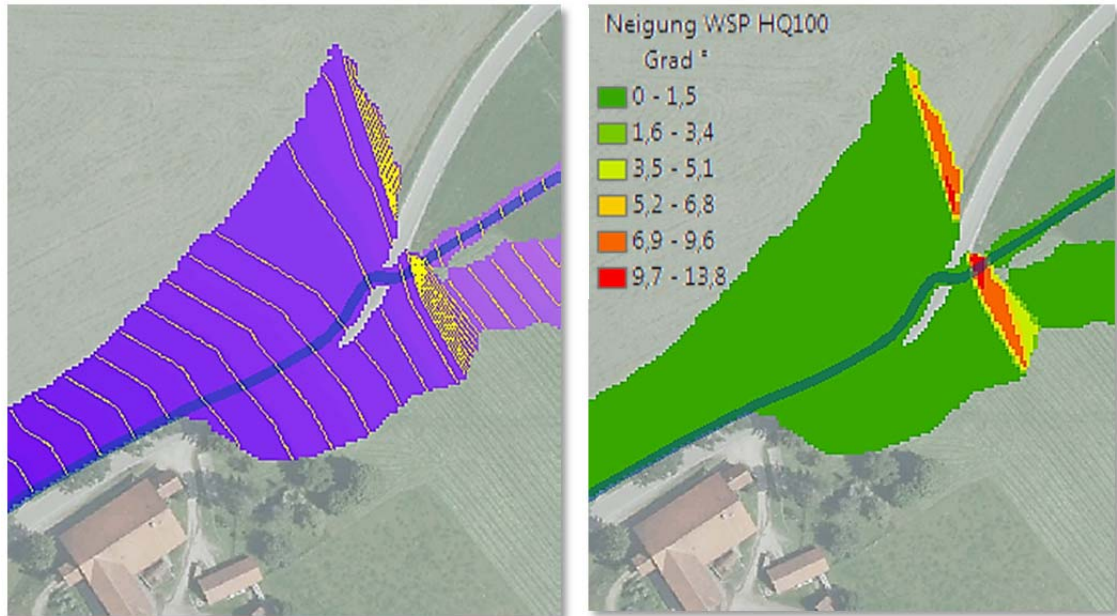


Abb. 16: (l.o.) Verdichtete Wasserstandgleichen zeigen den Absturz des Wasserspiegels      Abb. 17: (r.o.) Neigungsraster zeigt den Absturz des Wasserspiegels

Der bestmögliche Zeitpunkt für die Anwendung einer der genannten Maßnahmen ist zum einen davon abhängig, bei welchem Prozessschritt der Fehler auftritt und zum anderen, ob es sich um einen einmaligen Prozessschritt handelt oder dieser mehrmals wiederholt wird. Bei sich mehrfach wiederholenden Prozessschritten ist es sinnvoll, den Fehler möglichst früh im Bearbeitungsprozess zu beheben, um Fehlerfortpflanzungen und somit einen Mehraufwand bei der Korrektur zu vermeiden.

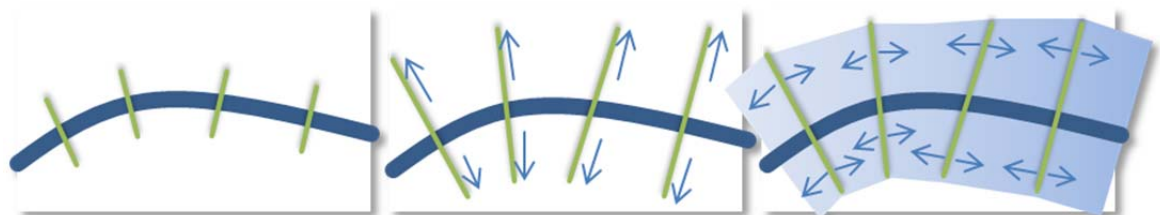


Abb. 18. Vom Gewässerprofil zum flächenhaften Wasserspiegel

Querprofile einer 1D HN-Modellierung (links), Extrapolation bis zum Geländeanstieg über dem Wasserspiegel (mittig), Interpolation in die Fläche (rechts)

Die bisher gängige **Praxis der fachlichen QS** sieht zur Lokalisierung dieses Fehlers vor, mittels räumlicher Analysemethoden im Desktop-GIS, aus dem Wasserspiegel manuell Wasserstandgleichen mit einer Äquidistanz von etwa 10cm zu erstellen. „Manuell“ bedeutet ein nicht automatisiertes Vorgehen, bei dem einzelne räumliche Analysemethoden in Form

von GIS-basierten Methoden nacheinander per Hand ausgeführt und die Ergebnisse anschließend ebenfalls per Hand visuell aufbereitet werden. Danach wird der Verlauf der Wasserstandgleichen visuell nach Verdichtungen abgesucht. Eine Verdichtung der Wasserstandgleichen weist auf einen abrupten Höhenunterschied im Wasserspiegel hin und stellt einen Hinweis auf einen möglichen Fehler, besonders im Bereich des Vorlands, dar. Größere vertikale Sprünge sind in dem stetig verlaufenden Wasserspiegel untypische Erscheinungen, mit Ausnahme von Verwerfungen im Relief oder an Bauwerken im Gewässer wie Wehren oder Brücken.

**Lösungsansatz:** In Abb. 19 wird der in dieser Arbeit entwickelte Lösungsansatz für die Fehlerkategorie A erläutert, sowie Alternativen diskutiert.

Der Prozess beginnt mit einer Abfrage, ob es sich um eine 1D HN-Modellierung handelt. Die Abfrage wird in der prototypischen Realisierung als Parameter implementiert, da - wie oben beschrieben - die Problematik nur bei 1D HD-Modellierungen auftritt.

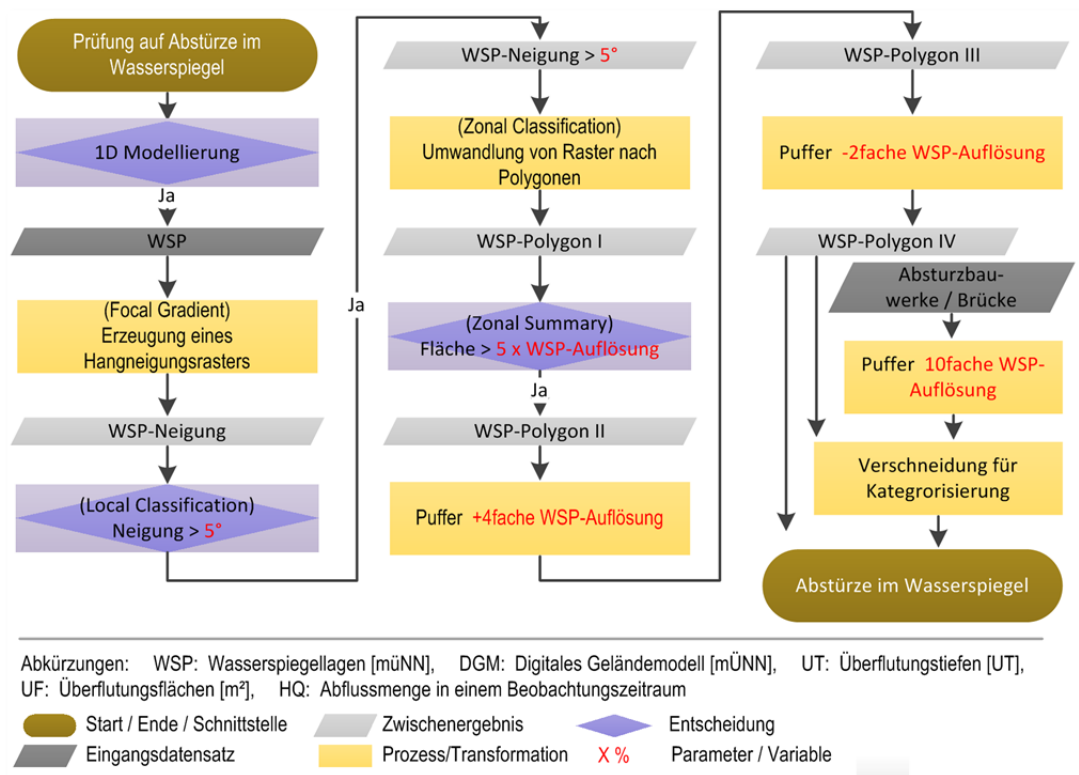


Abb. 19: Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung

Als nächstes wird ein Neigungsraaster – nach TOMLIN (2012:127f,171) ein „focal gradient“ - aus dem zu untersuchenden Wasserspiegel erstellt. Danach werden mittels „local classification“ (2012:46f,172), d.h. durch eine Selektion, die Zellen identifiziert, die einen Wert größer der definierten Neigung aufweisen. Dies ist ein erster Schritt, mit dem nicht plausible Sprünge identifiziert werden können. Danach erfolgt eine Umwandlung der identifizierten Zellen in Vektorflächen. Dabei handelt es sich nach TOMLIN (2012:114f,175) um eine „zonal summary“, da neben dem betrachteten Zellwert auch die benachbarten Zellwerte herangezogen werden. Die Zonen sind in diesem Fall Zellen mit einer Neigung größer des oben erwähnten Wertes in

Grad. Abweichend von Tomlin werden hier Vektorflächen erzeugt statt Rasterflächen. Auf diese Weise können allgemein Sprünge im Wasserspiegel ermittelt werden, die potenziell den oben beschriebenen Fehler als Ursache haben können.

In einem weiteren Schritt werden mittels topologischer Selektion aus den gefundenen potenziellen Sprüngen solche gefiltert, welche den Vorland- und den Gewässerbereich (Abschn. 3.1.1.1 „Gewässer- und Vorlandbereich“, S. 23) schneiden oder berühren. Es müssen beide Bereiche betroffen sein, da nur solche potenziellen Sprünge detektiert werden sollen, die entsprechend dem Vorgehen der 1D HN-Modellierung aus dem Gewässerbereich auf das Vorland übertragen wurden, ohne jedoch die Querbauwerke sachgerecht zu berücksichtigen.

Alternativ könnte in den Bereichen der ermittelten Sprünge die Neigung des Wasserspiegels mit dem zugrunde liegenden Geländemodell verglichen werden. Sofern der Sprung im Vorland durch die nicht sachgerechte Übertragung der Ergebnisse im Gewässer auf das Vorland hervorgerufen wird, ist davon auszugehen, dass dieser Sprung des Wasserspiegels nicht im DGM wiedergespiegelt wird. D.h. das DGM weist im gleichen Bereich keine vergleichbare Neigung in einem zu bestimmenden Verhältnis auf. Dieser Ansatz wurde aus Zeitgründen nicht weiter verfolgt.

Optional können bei Vorliegen der Geometrien von Absturzbauwerken an Gewässern diese für eine weitere Konkretisierung eingesetzt werden. Durch topologische Selektion kann geprüft werden, ob sich in der gemeinsamen Fläche von Gewässerbereich und den gefundenen Bereichen von Sprüngen im Wasserspiegel ein Absturzbauwerk befindet.

Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt potenzielle Flächen von Sprüngen im Wasserspiegel, differenziert nach Flächen ohne und mit beteiligtem Absturzbauwerk. Die prototypische Realisierung der Methode erfolgt in Abschnitt 4.2 „FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei Ergebnissen aus 1D-Modellierungen“ (S. 70).

### 3.1.3 FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle

Der Inhalt dieses Abschnitts bezieht sich auf die Fehlerkategorie B „Rück- und Hinterströmungen mit Aufstau oder Gefälle“ nach ZEISLER (2011:5f).

**Fachlicher Hintergrund:** Ähnlich wie bei den Sprüngen im Wasserspiegel an Querbauwerken, tritt dieser Fall ausschließlich bei 1D HN-Modellierungen auf und hat ebenfalls einen fehlerhaften Wasserspiegel im Vorland zur Folge. Verursacht wird dieser Fehler durch die Extrapolation der Gewässerquerprofile vom Gewässer in das Vorland und die anschließende Interpolation zwischen den Querprofilgraphen, um einen flächigen Wasserspiegel zu erzeugen. Hierbei ist es möglich, dass Rückström-, Hinterström<sup>2</sup>- oder Druckwasserbereiche<sup>3</sup> nicht plausibel abgebildet werden, da durch das Näherungsverfahren der Extrapolation und

<sup>2</sup> Strömungssituation bei der bspw. ein Längsbauwerk wie ein Deich landseitig hinterströmt wird.

<sup>3</sup> Zuflusslose Senke ohne Anbindung an den Hauptüberflutungskörper.



Interpolation der resultierende Wasserspiegel den hydraulischen Gegebenheiten nicht in allen Situationen gerecht wird. Die Abb. 20 zeigt eine reale Situation einer Rückströmung vor und nach der Korrektur. Vor der Korrektur verläuft der Wasserspiegel im Bereich der Rückströmung (gelbe Markierung) gegen das Gefälle, was durch die roten Wasserstandsgleichen (schmale rote Linien) zusätzlich verdeutlicht wird. Dies würde bedeuten, dass das Wasser bergauf fließen würde. Nach der Korrektur enthält der gesamte Rückströmbereich einen homogenen Wasserspiegel, d.h. das Wasser wird auf einer Höhe aufgestaut. Dieser Wasserspiegel erhält korrekterweise den Wasserspiegelwert der Ausströmstelle.

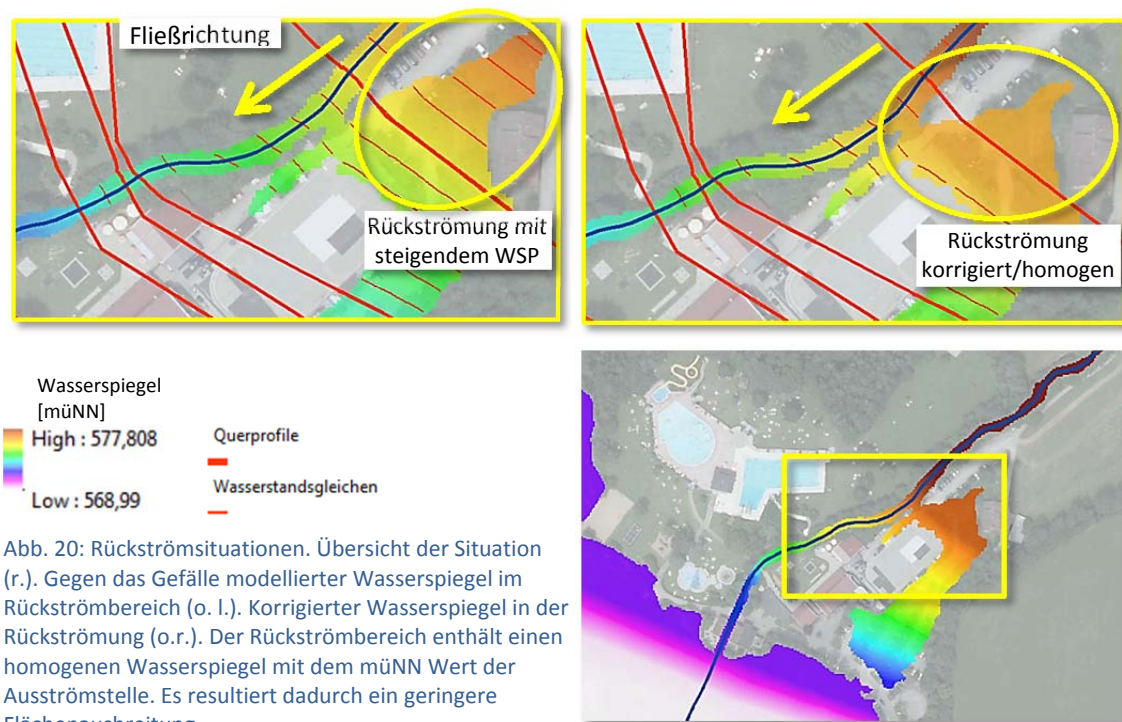


Abb. 20: Rückströmsituationen. Übersicht der Situation (r.). Gegen das Gefälle modellierter Wasserspiegel im Rückströmbereich (o. l.). Korrigierter Wasserspiegel in der Rückströmung (o.r.). Der Rückströmbereich enthält einen homogenen Wasserspiegel mit dem müNN Wert der Ausströmstelle. Es resultiert dadurch ein geringere Flächenausbreitung

Abb. 21 (S. 31) zeigt schematisch die unterschiedlichen Ausströmvarianten entlang eines Gewässers. In der linken Spalte sind die Fälle jeweils mit den fehlerhaften, parallel zum Gewässer verlaufenden Wasserspiegeln zu sehen. In der rechten Spalte sind die in der Realität zu erwartenden Wasserspiegel dargestellt, welche sich bei einer vom eigentlichen Gewässer entkoppelten Modellbetrachtung einstellen würden. Grundsätzlich müssen für die Fälle A bis C die Gewässer getrennt hydraulisch modelliert und die Ergebnisdaten im Rahmen des Post-Processing plausibel zusammengeführt werden.

Bei der Rückströmung (Fall A) sind in der fehlerhaft berechneten Situation (links) unterschiedliche – in Rückströmrichtung steigende - Wasserspiegel dargestellt. Tatsächlich ist in der Realität ein einheitlicher Wasserspiegel (rechts) zu erwarten. Im Fall B stellt sich in der fehlerhaften (links) wie in der erwarteten Situation (rechts) ein in Fließrichtung fallender Wasserspiegel ein. In der Regel werden die einzelnen Höhen der Wasserspiegel bei der Hinterströmung nicht vollständig parallel zum Gewässer verlaufen. Der Fall C (Abb. 21) zeigt eine Ausströmung mit einer Überleitung in ein paralleles oder in der Nähe verlaufendes Gewässer, bei dem eine der hydraulischen und topographischen Situation angepasste

Modellierung erfolgen muss (rechts). Die Abb. 22 (S. 32) zeigt die Situation in Druckwasserbereichen.

Die bisher gängige **Praxis der fachlichen QS** basiert auf einer kontrastreichen, meist mehrfarbigen Einfärbung des Wasserspiegels (Abb. 20, S. 30). Ziel ist es, entlang des Gewässers lotrecht in das Vorland projizierte Wasserspiegel in Rückström-, Hinterström- oder Druckwasserbereichen zu identifizieren. Außerdem werden Wasserstandgleichen mit einer Äquidistanz im Dezimeterbereich erstellt und die Querprofile visualisiert. Letztere helfen durch ihren der topographischen und hydraulischen Situation angepassten Verlauf die Entstehung des flächigen Wasserspiegels einfacher zu verstehen.

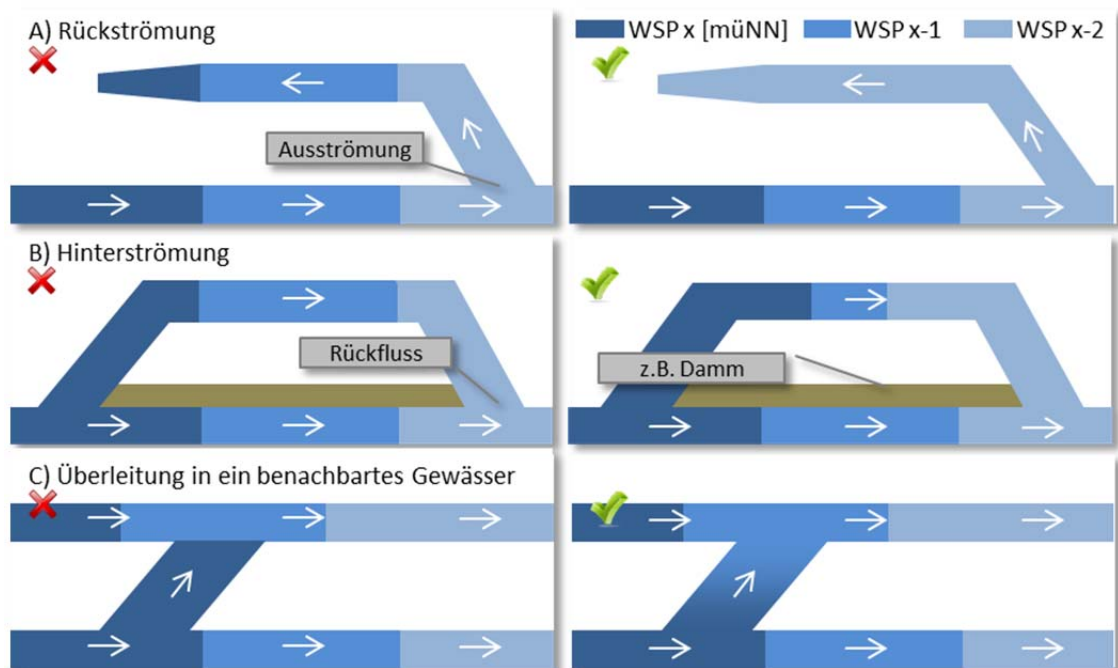


Abb. 21: Schematische Darstellung der Ausströmvarianten mit je falschem und erwartetem Wasserspiegel (Ansicht von oben)

**Lösungsansatz:** Durch die Unterstützung der fachlichen QS mittels automatisierter räumlicher Analysemethoden bei dieser Fehlerkategorie soll geprüft werden, ob im Falle einer 1D HN-Modellierung ein Ausströmbereich vorliegt. Weiter muss festgestellt werden, ob die Wasserspiegelwerte im Ausströmbereich ausschließlich parallel zu den Wasserspiegelwerten im eigentlichen Gewässer verlaufen. Ist dies zutreffend, können Fehler detektiert werden. Dabei ist eine Fallunterscheidung zwischen den verschiedenen Ausströmarten nicht zwingend notwendig, denn im Falle einer Rückströmung wird ein homogener Wasserspiegel im Rückströmbereich erwartet und auch in Hinterström- oder Druckwasserbereichen ist in der Regel davon auszugehen, dass vollständig parallel zum eigentlichen Gewässer verlaufende Wasserspiegelwerte nicht plausibel sind. Mit der Feststellung, dass die Wasserspiegelwerte in den Ausströmbereichen parallel zum Verlauf der Wasserspiegelwerte im eigentlichen Gewässer auftreten, ist die Detektion für potentielle Fehler dieser Kategorie hinreichend gegeben.

Bei explorativen Tests zu dieser Fehlerkategorie wurde deutlich, dass diese Aufgabe mit den bisherigen Ausgangsdatensätzen (Wasserspiegel, Geländemodell, Überflutungstiefen und -flächen, sowie Gewässer- bzw. Vorlandbereich) alleine nicht zu erledigen ist. Es fehlt die Lageinformation zum Gewässergraphen, um für die Erstellung der Lotrechten in der folgenden Methode eine 0° Orientierung vorzugeben. Die flächige Lageinformation, welche der Gewässerbereich (Abschn. 3.1.1.1, „Gewässer- und Vorlandbereich“, S. 23) gibt, ist für diese Analyse aufgrund des Geometrietyps nicht geeignet. Die Möglichkeit beispielsweise mittels *Skelettierung* (VETTER et al. 2011:51ff; WILL 2014:40ff) eine Mittelachse oder Mittellinie zu erstellen wurde getestet, allerdings konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis in Form eines Gewässergraphen erzeugt werden. Aus den Experteninterviews (MATTES 2014:Abschn.3.3; SOMMER 2014:Abschn.2.3) ging jedoch hervor, dass bei HN-Modellierungen eine linienhafte Geometrie des Gewässers im Modellbereich mit großer Wahrscheinlichkeit als vorhanden angenommen werden kann, da diese für verschiedene vorbereitende Aufgaben im Rahmen der HN-Modellierung benötigt wird. Zudem können auch die Querprofile der 1D HN-Modellierungen als verfügbar angenommen werden.



Abb. 22: Zuflusslose Senken bilden sogenannte Druckwasserbereiche (Ansicht von oben)

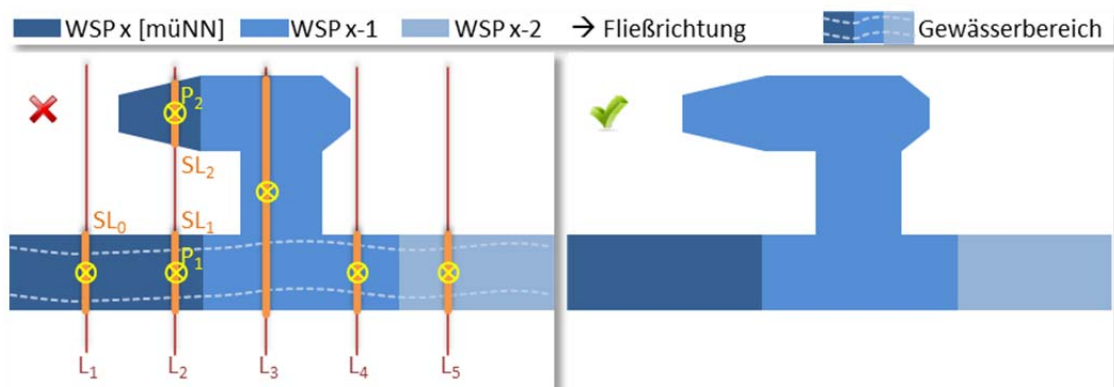


Abb. 23: Identifizierung potenzieller Rückström-, Hinterström- oder Druckwasserbereiche

Die Methodenentwicklung wird mit der Erstellung von Lotrechten (Abb. 23:  $L_1$ ) begonnen, die in einem zu definierenden konstanten Abstand auf dem Gewässergraphen angelegt werden. Je geringer das Intervall gewählt wird, desto exakter werden Ausströmbereiche im Folgenden erkannt, wobei als Untergrenze aus der explorativen Datenanalyse die Auflösung der beteiligten Rasterdaten empfohlen wird. Für die Länge der Lotrechten, die sich zu beiden Seiten des Gewässergraphen ausbilden, muss ein konstanter Wert verwendet werden. Es liegt kein Bereich außer dem Modellbereich vor, der die maximale Ausdehnung begrenzen könnte, in dem potenzielle Ausströmbereiche auftreten. Gleichzeitig müsste für diesen Bereich



sichergestellt werden, dass keine Ausströmbereiche anderer Gewässer detektiert werden, welche die weitere Betrachtung stören würden. Dies birgt die Unsicherheit, dass durch eine zu kurz gewählte Länge potenzielle Fehler nicht erkannt werden. Durch die Verschneidung der Lotrechten  $L_1$  mit der Überflutungsfläche wird die Schnittlinie  $SL_0$  erzeugt (Abb. 23, S. 32). Dieser Vorgang wird entlang der Gewässergeometrie solange wiederholt, bis durch die Verschneidung mehr als eine Schnittlinie zurückgegeben wird (Abb. 23:  $SL_1$  und  $SL_2$ ). Liegen zwei oder mehr Schnittlinien einer Lotrechten vor, kann davon ausgegangen werden, dass ein Ausströmbereich vorliegt. Dies wurde in den explorativen Tests bestätigt. Durch eine weitere Verschneidung der Schnittlinien je Lotrechte mit dem Gewässerbereich wird festgestellt, welche der Schnittlinien einen Ausströmbereich darstellen. Hat eine Schnittlinie keine topologische Relation zum Gewässerbereich, stellt sie einen Ausströmbereich dar. Der anschließende Vergleich der Wasserspiegelwerte in den Punkten P1 und P2, für die die Mittelpunkte der Schnittlinien herangezogen werden, lassen erkennen, ob der Wasserspiegel parallel – und damit wie oben dargelegt – nicht sachgerecht aus dem Gewässer übertragen wurde. Die mit den Lotrechten ermittelten Wasserspiegelwerte sind jedoch in der Regel nicht für einen Vergleich zwischen Gewässer und Ausströmbereich nutzbar. Die Querprofile, mit denen in den HN-Modellierungen der flächige Wasserspiegel erstellt wird, werden bei der Modellierung den topographischen und hydraulischen Gegebenheiten angepasst (Abb. 20, S. 30: s. abgewinkelter Verlauf der Querprofile). Dadurch weichen die in der vorliegenden HN-Modellierung berechneten Wasserspiegelwerte regelmäßig von den Wasserspiegelwerten ab, die mit den in dieser Methode erstellten Lotrechten ermittelt wurden.

Gegen die Verwendung der Querprofile für die Detektion der Ausströmbereiche spricht hingegen der unregelmäßige, für diese Betrachtung zu weite Abstand auf dem Gewässergraphen, wodurch potenzielle Ausströmungen übergangen werden könnten.

Um sowohl die topographische und hydraulische Situation zu berücksichtigen als auch einen hinreichend geringen Abstand auf dem Gewässergraphen für die Erstellung von „Detektionsgraphen“ zu erreichen, wird die Erstellung der Wasserspiegelgleichungen aus dem im Rahmen der aktuellen QS angewandten manuellen Verfahren aufgegriffen. Diese Wasserspiegelgleichungen weisen bei der Erstellung zunächst – ebenso wie die Querprofile - einen unregelmäßigen Abstand auf dem Gewässergraphen auf, da sie anhand der Werteverteilung in den Wasserspiegeln erstellt werden. Besonders bei Gewässern mit geringem Gefälle können große Abstände zwischen diesen Wasserstandsgleichungen entstehen. Dies führte in den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten explorativen Tests zu einer unzureichenden Erkennung von Ausströmbereichen. Daher werden für den Lösungsansatz vor der Ermittlung der Detektionsgraphen in regelmäßigem Abstand Punkte auf dem Gewässergraphen angelegt und dafür jeweils die Wasserspiegelwerte berechnet. Für jeden dieser Wasserspiegelwerte wird im Anschluss ein Detektionsgraph ermittelt. Man kann die Wahl des Begriffs der „Detektionsgraphen“ auch damit begründen, dass im Zusammenhang mit dem Begriff der Wasserstandsgleichungen vor allem die Wasserspiegelhöhe assoziiert wird. Die hier verwendete

Intervallgröße bezieht sich allerdings auf den Abstand in der Ebene bzw. dem Abstand auf dem Gewässergraphen und nicht auf die Höhe.

Eine räumliche Selektion mit den erstellten Detektionsgraphen mit der Einschränkung, dass der Gewässergraph nicht berührt werden darf, selektiert die Detektionsgraphen, die innerhalb der gesuchten Ausströmbereiche liegen.

Durch diese Methodik wird das beschriebene Problem der fehlenden räumlichen Begrenzung des Untersuchungsraums zum Teil gelöst. Um zu verhindern, dass Detektionsgraphen von anderen Gewässern mit gleichen Wasserstandswerten selektiert werden, muss die Betrachtung für alle Gewässergraphen isoliert durchgeführt werden. Im nächsten Schritt werden die selektierten Detektionsgraphen um mindestens die Hälfte ihres Abstands zueinander nach außen gepuffert und anschließend wieder um den gleichen Wert nach innen gepuffert. D.h. der Pufferabstand entspricht je Pufferung dem halben Intervalls des Eingangs gewählten Punktabstandes. Dadurch werden die linienhaften Detektionsgraphen zu Flächen transformiert, die Flächen miteinander vereinigt und bilden im Ergebnis flächig die Ausströmbereiche ab.

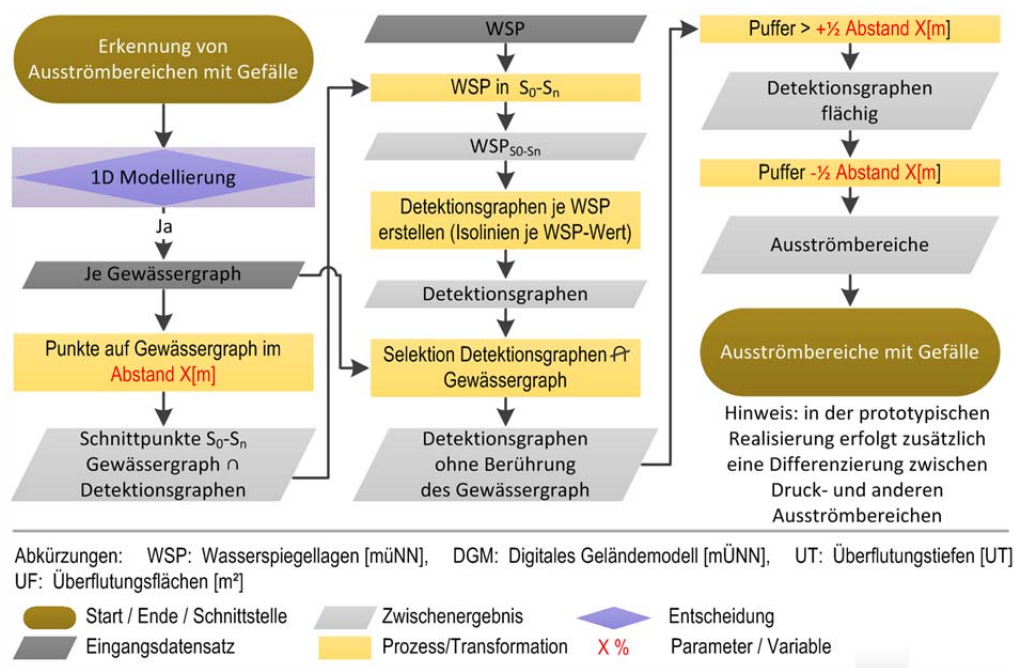


Abb. 24: Wasserspiegel in Ausströmbereichen

In weiteren explorativen Tests an mehreren Gewässerabschnitten konnten für den folgenden Vergleich der Wasserspiegelwerte zwischen Ausströmbereichen und zugehörigen Gewässerabschnitten keine eindeutigen Merkmale ermittelt werden, um den entsprechenden Gewässerabschnitt räumlich ausreichend genau zu bestimmen. Die beliebige Form der Ausströmungen, deren unterschiedliche räumliche Lage zum Gewässer sowie der Gewässerverlauf (besonders bei Biegungen) selbst ergeben eine zu hohe Variabilität, als dass der zur Ausströmung gehörende Gewässerabschnitt im Rahmen dieser Arbeit hinreichend genau erfasst werden kann. Zuletzt wurde bei den explorativen Test deutlich, dass beim

Vergleich von Wasserspiegelwerten zwischen Ausströmbereichen und manuell abgegrenzten Gewässerabschnitten, besonders bei Gewässern mit geringem Gefälle, die errechnete Wasserspiegeldifferenz zwischen dem minimalen und maximalen Wasserspiegelwert innerhalb eines Untersuchungsbereichs so gering sein kann, dass sie unter Berücksichtigung einer Toleranz nicht hinreichend genau erkannt werden kann um einen Fehler zu detektieren. Die Toleranz ergibt sich aus der Spanne der Wasserspiegelwerte innerhalb der Untersuchungsfläche, mit der ein Auströmbereich oder der Bereich eines zugehörigen Gewässerabschnitts abgegrenzt werden kann.

Die erstellte Methodik wird im Flussdiagramm (Abb. 24, S. 34) graphisch zusammengefasst. Als Parameter steht die Intervallgröße zwischen den Detektionsgraphen zur Verfügung.

Die fachliche QS wird durch die erstellte Methodik unterstützt, indem Ausströmbereiche in Form von Rückström-, Hinterström- und Druckwasserbereichen mit einem geneigten Wasserspiegel in ihrer Fläche erkannt und als zu prüfen detektiert werden. Dokumentiert werden die Ergebnisse als Polygonflächen mit dem minimalen und maximalen Wasserspiegel, sowie deren Differenz. Die prototypische Realisierung erfolgt im Abschnitt 4.3 „FK-B: Übertragung des Wasserspiegels auf Rückström-, Hinterström- & Druckbereiche“ (S. 72).

### 3.1.4 FK-C: Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege

Der Inhalt dieses Abschnitts behandelt die Fehlerkategorie C „Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege“ nach ZEISLER (2011:7ff).

**Fachlicher Hintergrund:** Wie im vorhergehenden Abschnitt 3.1.3 „FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle“ (S. 29) werden in dieser Fehlerkategorie ebenfalls Ausströmungen in das Vorland betrachtet. Die Ausströmung bildet sich hier allerdings in Fließrichtung aus und erzeugt neben dem eigentlichen Gewässer einen oder mehrere neue Abflussstränge. Ein Fehler ist in der Regel dann zu erwarten, wenn mindestens einer dieser Fließwege im Ergebnis der HN-Modellierung als unterbrochen dargestellt wird bzw. einer der neuen Abflussstränge nicht in das Gewässer zurückfließt, von dem er ausgeht. Der fehlende Rückfluss wird ebenfalls als Unterbrechung des Fließweges angesehen.

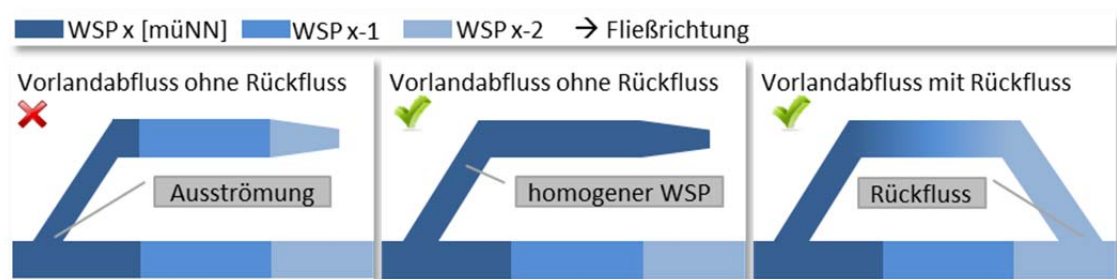


Abb. 25: Ausströmung in Fließrichtung (Ansicht von oben)

Fachlich wird allgemein angenommen, dass ausuferndes Wasser auch wieder in den Hauptabfluss zurückfließt (DAUCHER und KAROLUS 2003:20, RPS 2011:5). Stellt sich dies in einer Situation nicht ein, wie beispielsweise in Abb. 26 (S. 36) dargestellt, muss dies begründbar sein.

Gründe für scheinbar im Vorland verschwindendes Wasser können u.a. der Abfluss in die Kanalisation, Verdunstung oder Versickerung sein.

Die Fehlerkategorie C ist besonders bei 1D HN-Modellierungen anzutreffen, wenn im Oberstrom ein auf das Vorland ausufernder Wasserspiegel errechnet wird und im Unterstrom ein im Gewässer verbleibender. Bei der anschließenden Verschneidung des flächenhaften Wasserspiegels mit dem DGM können in Kombination mit Längsstrukturen im DGM nicht realistische Unterbrechungen im Fließweg auf dem Vorland entstehen. Eine Lösung, um Fehler dieser Kategorie zu vermeiden, wäre eine entkoppelte HN-Modellierung des Abflusses im Vorland mit eigenen Querprofilen.

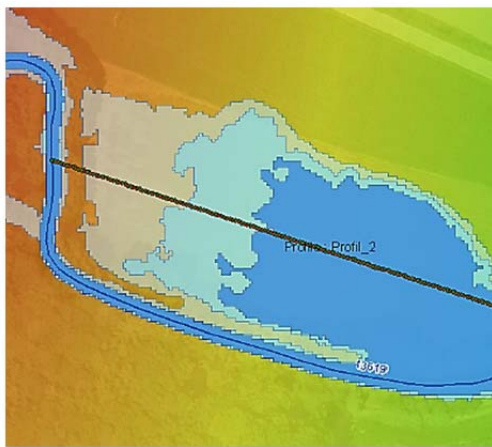


Abb. 26: Vorlandabfluss ohne Rückfluss in das eigentliche Gewässer. Fließrichtung von Ost nach West (Quelle: ZEISLER 2011:7)



Abb. 27: Verzweigte Ausströmung, z.T. mit Rückfluss, sowie abrupten Unterbrechungen. Fließrichtung von Südost nach Nordwest (Quelle: ZEISLER 2011:8)

verschiedene Überflutungsflächen nach Jährlichkeiten ■ HQ<sub>10</sub>, ■ HQ<sub>50</sub>, ■ HQ<sub>100</sub>, ■ HQ<sub>EXTREM</sub>

Auch bei 2D HN-Modellen können Lücken entstehen. Der Wasserspiegel wird gewöhnlich in der Modellrechnung mit einem ausgedünnten Modell-DGM berechnet (Abb. 28, S. 37: grüne Querschnittslinie), um den Rechenaufwand auf ein wirtschaftliches Maß zu begrenzen. Wird nach der Erstellung des Wasserspiegels für die Ableitung der Überflutungsflächen und -tiefen die Differenz zwischen dem Wasserspiegel und dem hydraulisch plausiblen Geländemodell (vgl. Abschn. 2.1.2 „Differenzierung, Gliederung & Aufbau von HN-Modellierungen“, S. 6) statt dem Modell-DGM gebildet, ergeben sich für den in Abb. 28 dargestellten Abschnitt A negative Überflutungstiefen und damit eine Lücke im Wasserspiegel, während sich bei der Verwendung des ausgedünnten Geländemodells im Abschnitt A positive Überflutungstiefen ergeben und keine Lücke vorhanden ist.

**Praxis der fachlichen QS:** In der bisherigen Praxis ging die fachliche QS - wie im Abschnitt zuvor erwähnt - davon aus, dass Ausströmungen in das Vorland auch wieder zurück in den Hauptabfluss fließen. Endet eine Ausströmung dennoch im Vorland und liegt keine Begründung seitens des ausführenden Hydraulikers dafür vor, wurde bisher die Geländestruktur mit Längs- und Querprofilen unter Berücksichtigung des errechneten Wasserspiegels untersucht. Es wird auch untersucht, ob Verdolungen, die Kanalisation oder

andere, den Abfluss beeinflussende Faktoren verantwortlich für die entstehende Unterbrechung sein könnten.

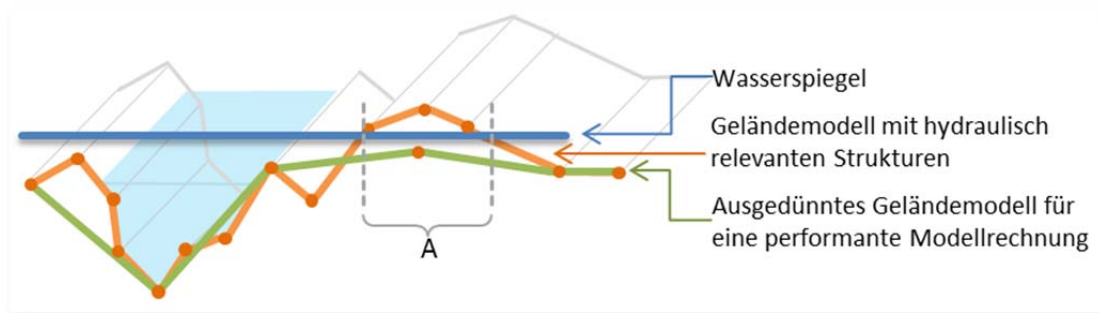


Abb. 28: hydraulisch plausibles DGM und ausgedünntes Modell-DGM

**Lösungsansatz:** Bei einer Unterstützung der fachlichen QS mittels automatisierter räumlicher Analysemethoden müssten zuerst die entsprechende Ausströmung und der Abfluss im Vorland identifiziert werden. Dabei ergibt sich die gleiche Problematik, wie sie bereits für die Rückströmung im vorherigen Abschnitt 3.1.3 „FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle“ (S. 29) diskutiert wurde. Dort wurde festgestellt, dass sich ein Ausströmbereich im Vorlandbereich identifizieren lässt, aber nicht die Stelle, an der die Aus- bzw. der Rückströmung aus dem Gewässer aus- bzw. wiedereintretet. Deshalb kann nicht bestimmt werden, ob sich der Abfluss im Vorlandbereich mit oder gegen die Fließrichtung ausbildet. Da diese Fehler in einem Großteil der im Rahmen der HWGK aufgetretenen Fälle mit besonderen Situationen vor Ort verbunden waren, kann für die Fehlerkategorie C im Rahmen dieser Arbeit keine vollständige Unterstützung durch räumliche Analysemethoden entwickelt werden. In etwa 85 Prozent der ausgewerteten Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK zur Fehlerkategorie C wurde deutlich, dass Bauwerke wie Verdolungen, Unterführungen, Tunnel oder ähnliche hydraulisch relevante Objekte oftmals ursächlich für die Abflusslücken sind. Daten über diese Objekte liegen zur Einbeziehung in diese Arbeit allerdings nicht vor und können auch nicht generell vorausgesetzt werden. Da dies eine Verallgemeinerung der Methoden verhindern würde, wird auf eine weitere Betrachtung verzichtet.

Daher können Ausströmungen in zusätzlichen Fließwegen und daraus resultierenden Lücken in Vorlandabflüssen nicht automatisiert geprüft werden. Durch die räumlichen Analysemethoden lässt sich die Fehlerkategorie C jedoch als weiterer Fall einer Ausströmart im Sinne des vorherigen Abschnitts 3.1.3 „FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle“ (S. 29) behandeln. Die dort möglichen Varianten werden um diese Situation in Abb. 25 (S. 35) „Ausströmung in Fließrichtung“ erweitert. Methodisch kann somit für diese Fehlerkategorie festgestellt werden, wo eine Ausuferung mit Gefälle stattfindet.

Wenn im Falle einer 2D HN-Modellierung aufgrund der hydraulischen Parameter, der räumlichen Gebietsgröße und einer performanten Rechnerleistung das hydraulisch plausible DGM für die eigentliche Simulation im HN-Modell in ein ausgedünntes Modell-DGM überführt wurde (vgl. Abschn. 2.1.2 „Differenzierung, Gliederung“, S. 6), liegen zwei Geländemodelle vor,



die - wie bereits in diesem Abschnitt erläutert - ebenfalls Ursache für Unterbrechungen in den Abflüssen sein können. Mit der in Abb. 29 dargestellten Analysemethode lassen sich die Fehlstellen mittels Map Algebra nach TOMLIN (2012) identifizieren, in denen sich die beiden Geländemodelle in Relation zum Wasserspiegel unterscheiden. Im Detail werden Fehlstellen erkannt, in denen das hydraulisch plausible DGM über dem Wasserspiegel liegt und das Modell-DGM darunter, sowie der umgekehrte Fall (Abb. 28, S. 37: Abschn. A). Diese Bereiche weisen auf fehlende Überflutungsflächen hin, die zu Abflusslücken bei 2D HN-Modellierung führen können, sofern für die Berechnung des Wasserspiegels das Modell-DGM benutzt wurde und für die Berechnung der Überflutungstiefen und -flächen das hydraulisch plausible DGM.

DGM <sub>HydRel</sub>	= hydraulisch plausibles Geländemodell
DGM <sub>Modell</sub>	= ausgedünntes Geländemodell des HN-Modells (Modell-DGM)
WSP	= Wasserspiegel
FEHLER <sub>POT</sub>	= Potenzielle Fehlstellen
Differenz <sub>A</sub>	= WSP - DGM <sub>HydRel</sub>
Differenz <sub>B</sub>	= WSP - DGM <sub>Modell</sub>
Differenz <sub>AB</sub>	= LocalCalculation of Differenz <sub>A</sub> - Differenz <sub>B</sub>
FEHLER <sub>POT</sub>	= LocalCalculation of Differenz <sub>AB</sub> setting Differenz <sub>AB</sub> <> 0 to 1

Abb. 29: Unterbrochene Vorlandabflüsse mittels Map Algebra

Somit kann die fachliche QS bei dieser Fehlerkategorie auf zwei Arten mittels räumlicher Analysemethoden unterstützt werden. Zum einen können durch die zuvor genannten Analysen Unterbrechungen im Falle von 2D HN-Modellierungen aufgedeckt werden, vorausgesetzt es wurden ein ausgedünntes Modell-DGM und ein hydraulisch plausibles Geländemodell eingesetzt. Die prototypische Realisierung hierzu erfolgt in Abschnitt 4.4 „FK-C: *Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen*“ (S. 74). Zum anderen können insbesondere für 1D HN-Modellierungen mit der Methode aus Abschnitt 3.1.3 „FK-B: *Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle*“ (S. 29) parallel verlaufende Fließwege im Vorland als Ausströmungen identifiziert werden. Die prototypische Realisierung zu diesem Teil erfolgt in Abschnitt 4.3 „FK-B: *Übertragung des Wasserspiegels auf Rückström-, Hinterström- & Druckbereiche*“ (S. 72).

### 3.1.5 FK-D & E: Fehlende Berücksichtigung von abflussrelevanten Strukturen

In diesem Abschnitt werden aufgrund ihrer vergleichbaren Behandlung bei der fachlichen QS die beiden Fehlerkategorien D „*Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen*“ und E „*Fehlende Einarbeitung von Durchlässen / durchgängige Fließwege*“ nach ZEISLER (2011:10ff) zusammen behandelt.

**Fachlicher Hintergrund zu D:** Bei der Modellierung des hydraulisch plausiblen Geländemodells unter Berücksichtigung der hydraulisch relevanten Strukturen, wie Dämmen, Deichen, Wehren, Durchlässen usw. liegt der Schwerpunkt der Bearbeitung auf dem Gewässerbereich

und gewässernahen Vorlandbereich. Sind im übrigen Vorland hydraulisch relevante und ggf. abflussentlastende Gräben oder Kanäle enthalten, die im Pre-Prozess bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurden, werden diese Strukturen teilweise ungenügend im Geländemodell abgebildet und führen zu Simulationsergebnissen, die nicht der Realität entsprechen.

Wesentliche Faktoren sind dabei die Auflösung des Geländemodells und dessen Entstehung. Bei der HWGK wird im Vorlandbereich das Geländemodell der Landesvermessung eingesetzt. Bei dessen Erstellung durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg wird ein Glättungsalgorithmus angewendet (Panczak 2003:34), der Geländestrukturen ebnet und Kleinstrukturen wie Gräben nahezu verschwinden lässt. Dies führt dazu, dass insbesondere schmale lineare Strukturen wie Gräben, Mühlkanäle oder Kleinstgewässer nicht im Geländemodell enthalten sind.

Bei der Verwendung dieses geglätteten Geländemodells im Vorland wird deshalb eine Überflutungsfläche berechnet, die möglicherweise die Abflüsse relevanter Gräben oder Kanäle nicht berücksichtigt. Die Abb. 30 und Abb. 31 zeigen die gleiche Situation ohne und mit Berücksichtigung des parallel zum Gewässer verlaufenden Grabens. Nach der notwendigen Korrektur (Abb. 31) ist entsprechend der realen Verhältnisse im Bereich der Gebäude im Nordwesten mit einer geringeren Betroffenheit zu rechnen.

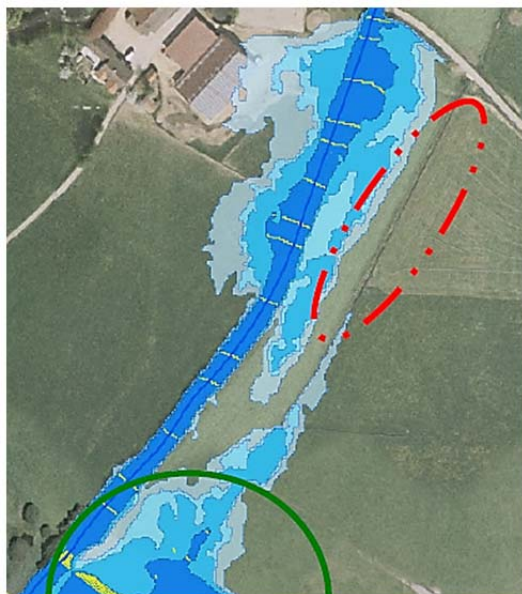


Abb. 30: Graben wurde nicht berücksichtigt (rot)

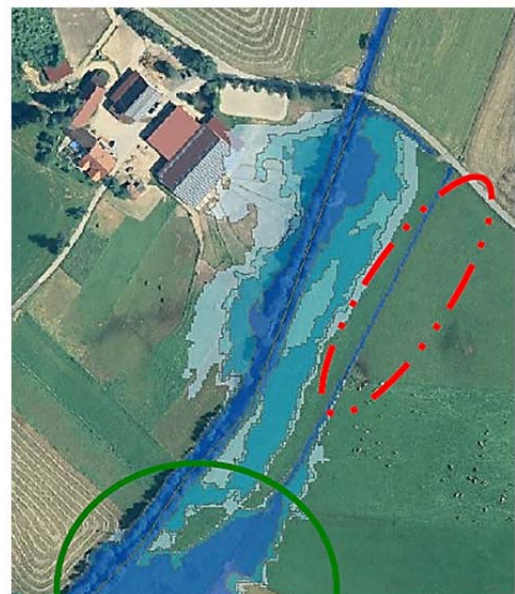


Abb. 31: Graben nach Korrektur abflussrelevant (rot).  
Auflösung von stehendem Wasser im Vorland

(Quelle: Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK)

Verschiedene Überflutungsflächen nach Jährlichkeiten: ■ HQ<sub>10</sub>, ■ HQ<sub>50</sub>, ■ HQ<sub>100</sub>, ■ HQ<sub>EXTREM</sub>

**Fachlicher Hintergrund zu E:** Während zuvor bei der Fehlerkategorie D „*Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen*“ hauptsächlich die nicht sachgemäße Berücksichtigung von hydraulisch relevante Strukturen wie Gräben oder Kanälen für die auftretenden Fehler ursächlich ist, werden bei der Fehlerkategorie E hydraulisch relevante



Durchlässe an Querbauwerken nicht vollständig oder überhaupt nicht im Geländemodell eingearbeitet.

Wenn beispielsweise bei einem Straßendamm Durchlässe wie Unterführungen oder Rohre bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden, wird vor diesem Straßendamm ein höherer Aufstau berechnet als in der Realität zu erwarten ist. Durch den falschen, zu hohen Wasserstand ist es möglich, dass in der fehlerhaften Modellierung deutlich andere Fließwege als in der Realität ermittelt werden. Insbesondere ist mit fehlerhaften parallel zum Straßendamm verlaufenden Fließwegen zu rechnen. In diesem Zusammenhang ist es auch möglich, dass eine fehlerhafte Unterbrechung des Fließweges ermittelt wird.

**Praxis der fachlichen QS für beide Fehlerkategorien:** Die HWGK QS nutzt bisher bei ihrer Vorgehensweise die hydraulische Dokumentation, die im Projekt zu jeder Modellierung erstellt werden muss. Dort sollte vermerkt sein, ob im Pre-Prozess bei der Modellierung des Gebiets die Durchlässe an Querbauwerken detailliert berücksichtigt wurden und diese Analyse beispielsweise in Form eines „Durchlass-Shape“ dokumentiert wurde. Wenn zu Querbauwerken wie Bahn- oder Straßendämmen keine entsprechende Dokumentation vorliegt, werden die Ergebnisse im Rahmen der QS hinterfragt.

Für die Erstellung der HWGK wird als Vorbereitung der Modellierung grundsätzlich erwartet, dass eine Ortsbegehung durchgeführt wird, bei der festgehalten wird, ob Durchlässe vorhanden sind, wo sich diese befinden und wie diese dimensioniert sind. Außerdem ist die Modellierung einschließlich ihrer Vorbereitung in einem Erläuterungsbericht zu dokumentieren. Darüber hinaus wird den bearbeitenden Akteuren empfohlen, bei der Modellerstellung eine GIS-fähige geometrische Dokumentation zu erstellen („Durchlass-Shape“), in welcher die hydraulisch relevanten Objekte festgehalten werden. Es handelt sich dabei um eine projektspezifische Vorgabe, welche nicht allgemein vorausgesetzt werden kann. Aus den Erfahrungen mit der Erstellung der HWGK kann jedoch geschlossen werden, dass dieses Vorgehen allgemein zu empfehlen ist.

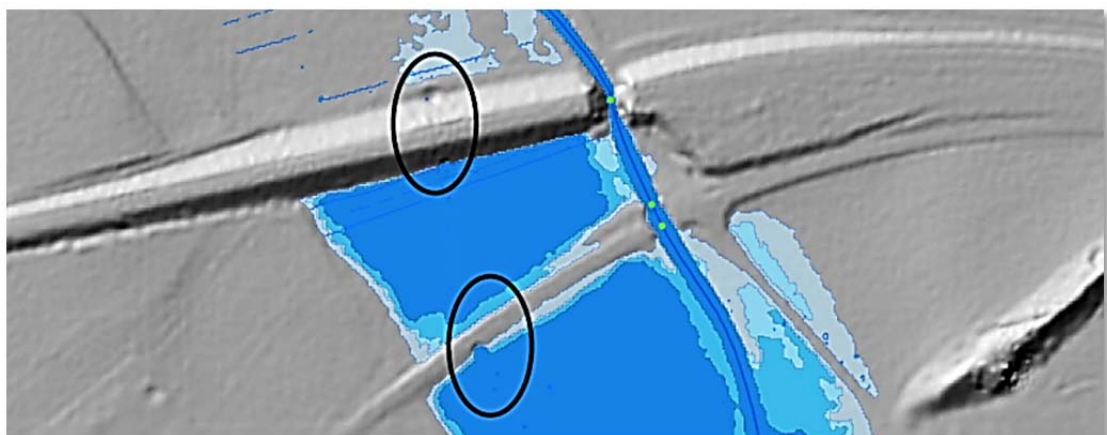


Abb. 32: Angedeutet, nicht im DGM eingearbeitete Durchlässe durch Schummerung sichtbar (Quelle: Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK)

Versch. Überflutungsflächen nach Jährlichkeiten: HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>50</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>EXTREM</sub>

Für eine **Unterstützung der QS mittels automatisierter räumlicher Analysemethoden** für die Fehlerkategorien D „*Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen*“ und E „*Fehlende Einarbeitung von Durchlässen / durchgängige Fließwege*“ nach ZEISLER (2011:10ff) ist die Kenntnis von tatsächlich vorhandenen Durchlässen erforderlich. Die in Abb. 32 (S. 40) dargestellte Situation zeigt in den beiden markierten Bereichen kleinste Strukturänderungen des Geländes, die durch eine von ZEISLER (2011) empirisch entwickelte Darstellung und durch geübte Fachanwenderinnen und -anwender in einem visuellen Verfahren identifiziert werden können. Diese Strukturänderungen deuten darauf hin, dass sich an den markierten Stellen möglicherweise Durchlässe befinden, die bei ihrer Berücksichtigung im HN-Modell die Überflutungssituation ändern. Diese Einschätzung muss mit weiteren Maßnahmen wie der Betrachtung von hochaufgelösten Luftbildern oder einer Ortsbegehung validiert werden.

Werden diese Informationen nicht im Rahmen der Bearbeitung ermittelt und dokumentiert, ist es sehr aufwändig, die notwendigen Informationen aus Quellen Dritter zu beziehen. Zum einen handelt es sich um eine Vielzahl verschiedener Objekte wie Unterführungen, Rohre und andere Bauwerke, die zu berücksichtigen sind, zum anderen liegen diese Daten – wie im Rahmen der Erarbeitung der HWGK in Baden-Württemberg deutlich wurde, oft auch nicht in der benötigten Genauigkeit und Form vor. Als Quellen kämen möglicherweise die Liegenschaftskataster, Daten von Netzbetreibern (insbesondere Bahn und Abwasser) oder der Straßenbauverwaltung in Frage. Die Beschaffung der Daten und Informationen, sowie die notwendige Aufbereitung für eine automatisierte Unterstützung der fachlichen QS würden jedoch wesentlich aufwändiger sein als die bisher praktizierten visuellen Verfahren.

Prinzipiell ist auch eine automatisierte Erkennung der räumlichen Strukturen denkbar. Am Beispiel von Häusern zeigen SOHN et al. (2007), wie aufwändig ein entsprechendes Vorgehen ist und welche Grenzen bei der Erkennung bestehen. Bei den für die Analyse der Fehlerkategorien D und E erforderlichen hydraulischen Objekten wäre eine automatisierte Erkennung aufgrund der weniger eindeutigen Strukturen wesentlich komplexer. Die visuelle Auswertung von weiteren Daten wie Luftbildern widerspricht dem Ziel einer automatisierten Unterstützung und wird voraussichtlich ebenfalls keine relevante Verminderung des Aufwandes ermöglichen.

Liegen Informationen zu den hydraulisch relevanten Objekten vor, so ist eine unterstützende räumliche Analyse der QS generell möglich. Wenn für das Beispiel der in Abb. 32 dargestellten Situation die Unterführung als Punkt- oder Liniengeometrie aufgenommen wurde und als sogenanntes „*Durchlass-Shape*“ vorliegt, ließe sich beispielsweise testen, ob die Geometrie des Punktes oder der Linie komplett innerhalb einer Überflutungsfläche liegt. Fällt diese Prüfung negativ aus, ist ein Fehler der Fehlerkategorie E wahrscheinlich. Dieser müsste im Zuge der weiteren QS geprüft werden. Wenn sichergestellt ist, dass diese Objekte als Geometrie differenziert nach deren Typ (Unterführung, Rohr usw.) vorliegen, ist die Prüfung aus Sicht der unterstützenden räumlichen Analyse möglich.

Für die Fehlerkategorie D „*Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen*“ ist die unterstützende räumliche Analyse auch bei Vorliegen aller Kanäle und Gräben als Liniengeometrie in der Regel nicht möglich. Die Prüfung, ob Kanäle und Gräben ganz oder in Teilen in der Überflutungsfläche liegen erfordert eine Betrachtung der hydraulischen Situation im Einzelfall. Diese Entscheidung ist auf dieser Basis nicht automatisiert zu treffen. Daher ist die Erstellung eines Algorithmus zur automatisierten Erkennung der gesuchten potenziellen Objekte wie in Abb. 30 (S. 39) bis Abb. 32 (S. 40) nicht hilfreich.

### 3.1.6 FK-F: Fehlstellen an Datenrändern

In diesem Abschnitt wird der Lösungsansatz für die Fehlerkategorie F „*Fehlstellen an Datenrändern / ‚geometrische‘ Ergebnisse*“ nach ZEISLER (2011:14f) erläutert.

**Fachlicher Hintergrund:** An den Modellrand stoßende Überflutungsflächen und -tiefen sind meist ein Indiz für einen zu klein gewählten Modellbereich wie dies an den Beispielen in Abb. 33 bis Abb. 35 (S. 43) zu sehen ist. Die Folge ist eine unzureichende fachliche Abdeckung des Untersuchungsgebiets. Die Geometrie der Überflutungsfläche oder -tiefe endet mit einer in der Regel geometrisch unnatürlichen, meist linearen Kante. Wenn das Untersuchungsgebiet, welches durch die Ausbreitung des Geländemodells zu Beginn der Untersuchung begrenzt wurde, groß genug gewählt worden wäre, würden die Überflutungsfläche oder -tiefe eine entsprechend größere und anders geformte Ausdehnung zeigen.

**Praxis der fachlichen QS:** Die bisherige Vorgehensweise der fachlichen QS sieht vor, eine visuelle Kontrolle des Untersuchungsgebiets durchzuführen, wobei auf längere lineare Segmente in den Kanten der Überflutungsflächenpolygone geachtet wird. Das Anzeigen des DGMs erleichtert dabei, die Ausdehnung des Untersuchungsgebiets zu erkennen.

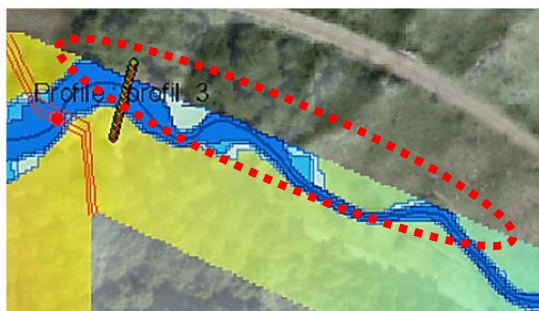


Abb. 33: Zu klein gewählter Modellbereich (rot)  
Beispiel 1. Überflutungsflächen mehrerer HQ (blau) über dem DGM (Quelle: ZEISLER 2011:14)

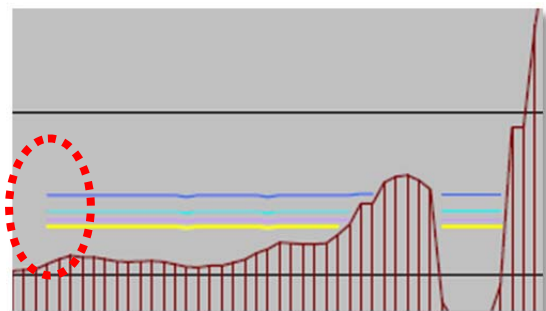


Abb. 34: Zu klein gewählter Modellbereich (rot)  
Beispiel 2. Alle Wasserspiegel enden ohne Anschlag am Gelände (dunkelroter Graph)  
(Quelle: Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK)

**Lösungsansatz:** Für eine Unterstützung der QS mittels automatisierter räumlicher Analysemethoden wurden zehn Situationen mit der vorliegenden Fehlerkategorie F in den vorliegenden Testdaten der HWGK untersucht. Dabei wies die kürzeste unnatürliche Kante eine gemessene Länge von etwa 25m und die längste eine Länge von mehreren hundert Metern auf. Alle Fälle wiesen einen optisch linearen Kantenverlauf auf, der bei genauer Betrachtung der Geometrie in den meisten Fällen nicht stetig verlief. Das bedeutete, dass

geometrisch innerhalb dieses augenscheinlich geraden Verlaufs mehrere Polygonstützpunkte und Kantensegmente mit zueinander wechselnden Winkeln enthalten sein konnten. Bei den vorliegenden Testdaten wurden zudem die Überflutungsflächen aus den Rasterdaten ohne Generalisierungstoleranz erstellt, sodass sich die Zellstruktur des Rasters in der Kante des Polygons widerspiegelt (Abb. 39 und Abb. 40, S. 46). Deshalb konnte eine geometrische Prüfung der Polygonkante bzw. der einzelnen darin enthaltenen Segmente, nicht für eine Prüfung auf Stetigkeit herangezogen werden.



Abb. 35: Zu klein gewählter Modellbereich (rot) Beispiel 3  
 ■ Wasserspiegel ■ Modellbereich

Die folgende Alternative folgte dem Lösungsvorschlag des RPS (2011:7) und zieht das DGM, das mit seiner Ausdehnung den Modellbereich repräsentiert, für eine entsprechende Analyse hinzu. Ein Vergleich der Ausdehnung der Überflutungsfläche und der Außengrenze des eingesetzten DGMs (s. Abschn. 3.1.1.1, „Gewässer- und Vorlandbereich“, S. 23) ergab die hinreichende Methodik zur Prüfung dieser Fehlerkategorie. Dabei wurde untersucht, ob eine Überflutungsfläche an die Außengrenze des Modellbereichs reicht. Dafür wurden zwei Möglichkeiten zur Umsetzung der Prüfung mittels räumlicher Analysemethoden betrachtet. Die eine Möglichkeit verarbeitete ausschließlich Rasterdaten und konnte dadurch mittels

Map Algebra umgesetzt werden. Eine zweite Umsetzungsmöglichkeit verwendete neben Raster- auch Vektordaten.

Bei der Analyse von zu kleinen Modellbereichen mittels Map Algebra (Abb. 36, S. 44) musste zur Abbildung der Überflutungsfläche zuerst die Überflutungstiefe als Differenz zwischen dem Wasserspiegel und dem hydraulisch plausiblen Geländemodell errechnet werden (vgl. Abschn. 3.1.1.2 „Überflutungstiefe und -fläche“, S. 25).

Um im Folgenden mit den Zellen rechnen zu können, die einen *NULL* Wert (auch *NoData*, LANG et al. 2007:52) enthalten, wurden die Zellen mittels lokaler Neuklassifikation (TOMLIN 2012:46f,173) mit einem rechenbaren und eindeutig identifizierbaren Wert ungleich *NULL* belegt. Dies konnte z.B. die Untergrenze des Wertebereichs im verwendeten Datenformat sein. Die Funktion *focal minimum* (TOMLIN 2012:70f,168) übernahm für jede Zelle den niedrigsten Wert aus der unmittelbaren 3x3 Zellnachbarschaft. Grenzte eine Zelle an den ehemaligen *NULL* Bereich, so wurde sie nun mit dem Wert -9999 belegt. Wurde mittels *zonal*

*classification* (TOMLIN 2012:114,174) die nächste Operation auf den Bereich der Überflutungsfläche beschränkt, konnten die Zellen in den Überflutungsflächen identifiziert werden, die am Rand des Geländemodells lagen. Dies waren alle Zellen, die den Wert -9999 enthielten. Im letzten Schritt wurden diese Werte für einen binären Ergebnisdatsatz auf 1 und alle übrigen Werte auf 0 gesetzt. Die Zellen mit dem Wert 1 zeigten die Übereinstimmung der Grenze der Überflutungsfläche mit der Grenze des Modellbereichs und damit Fehlstellen an den Datenrändern.

DGM <sub>HydRel</sub>	= hydraulisch plausibles Geländemodell
WSP	= Wasserspiegel
UT	= Überflutungstiefe
UF	= Überflutungsfläche
UT	= LocalClassification of WSP setting ((WSP - DGM <sub>HydRel</sub> )>0) to (LocalCalculation of WSP - DGM <sub>HydRel</sub> )
UF	= LocalCalculation of UT > 0
DGM <sub>LC1</sub>	= LocalClassification of DGM <sub>HydRel</sub> setting(null=-9999)
DGM <sub>FS</sub>	= FocalMinimum of DGM <sub>LC</sub>
UF_BORDER	= ZonalClassification of DGM <sub>FS</sub> in UF setting (LocalCalculation of DGM <sub>FS</sub> <> -9999) to 0 -9999 to 1

Abb. 36: Analyse von zu kleinen Modellbereichen mittels Map Algebra

Die Prüfung mittels kombinierter Raster- und Vektormethoden als zweite mögliche Methode leitete die Überflutungsfläche wie bei der beschriebenen, ausschließlich auf Rasterdaten basierenden Methode aus dem Wasserspiegelraster und dem hydraulisch plausiblen Geländemodell ab, wobei als Zwischenschritt die Überflutungstiefe zu berechnen ist. Bei dieser Methode wurden Polygone verwendet (vgl. Abschn. 3.1.1.2 „Überflutungstiefe und -fläche“, S. 25). In einem parallelen Schritt wurde der Modellbereich abgegrenzt, indem alle Zellen des hydraulisch plausiblen Geländemodells größer dem Wert 0 ein Polygon bildeten. Danach folgte eine Prüfung der Topologie mit der Bedingung *TOUCHES* (CLEMENTINI et al. 1993:277ff), wie dies in Abb. 37 links zu sehen ist. Bei *TOUCHES* wurden alle Polygone der Überflutungsfläche selektiert, bei denen mindestens ein eigenes Kantensegment mit mindestens einem Kantensegment der Modellfläche übereinstimmte. Mit der räumlichen Selektion wurden die Überflutungsflächenpolygone ermittelt, die an den Modellrand stießen. Die Abb. 38 (S. 45) stellt diesen Prozess als Flussdiagramm dar.

ZEISLER (2011:15) beschreibt in seinen Beispielen einen Fall, bei dem annähernd stetige Segmente der Kante von Überflutungsflächenpolygonen innerhalb des Modellbereichs aufgetreten sind (Abb. 39). In den ausgewerteten Beispielen war kein weiterer Fall dieser Art enthalten. Auch das RPS (2011:7) stuft das von ZEISLER (2011:15) benannte Beispiel als Sonderfall ein, diese Situation wird deshalb in dieser Master Thesis nicht weiter untersucht.



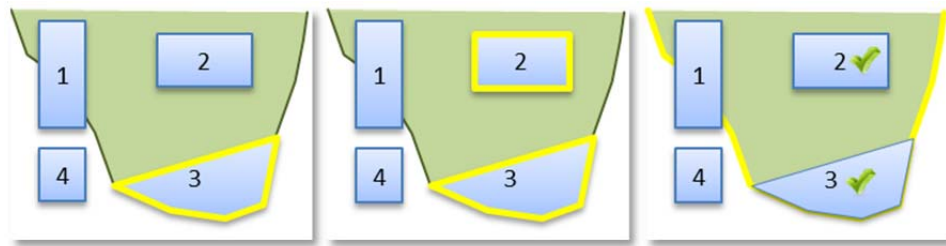


Abb. 37: Topologische Beziehung nach CLEMENTINI bei Polygonen - TOUCH (l.), WITHIN (m.), CONTAINS (r.).  
Überflutungsflächen (blau), Modellbereich (grün), Selektion (gelb)

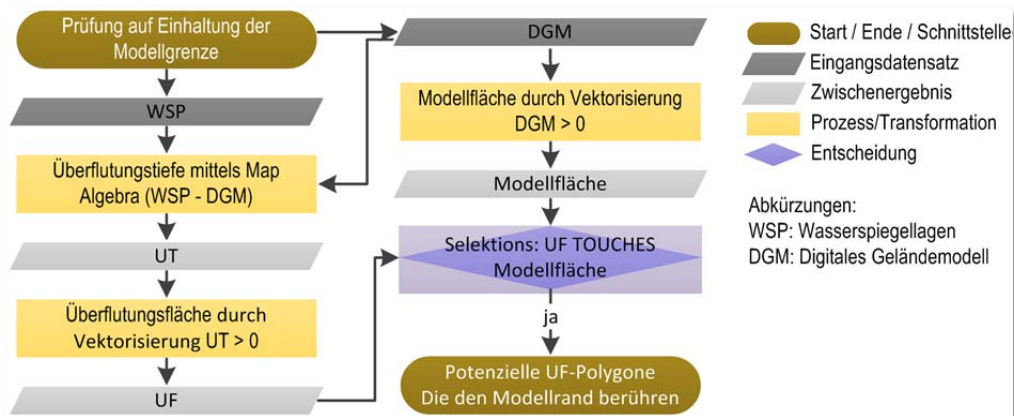


Abb. 38: Prüfung auf Einhaltung der Modellgrenze

Für die Umsetzung wurde die rasterbasierte Methode der Map Algebra bevorzugt. Der Vorteil dieser Methode ist die Einsparung der Transformation der Raster zu Vektoren und der damit verbundene Berechnungsaufwand. Werden insbesondere die Überflutungsflächenpolygone durch eine Transformation von Raster zu Vektoren ohne die Anwendung eines Generalisierungsalgorithmus erzeugt, entstehen Polygone mit je einem Stützpunkt entlang der Kanten der Rasterzellen, wie in Abb. 39 (S. 46) zu sehen ist. D.h. dass sich die Struktur der Rasterzellen in der Kante der Überflutungsflächenpolygone widerspiegelt. Müssen diese Geometrien weiterverarbeitet werden, stellt dies aufgrund der hohen Anzahl von Stützpunkten je nach Größe des Untersuchungsgebiets eine sehr rechenintensive Aufgabe dar. Diese Überlegung kann durch eigene Erfahrungen bei der Bearbeitung der HWGK in Baden-Württemberg belegt werden. Zudem wird eine höhere Performanz der Map Algebra Variante erwartet, da die Matrizenberechnung in der Regel zwar mehr Rechenschritte als ein Vektordatenmodell benötigt, diese hingegen von trivialerem mathematischem Charakter sind. Matrizenberechnungen stellen somit einen geringeren Anspruch dar als die vektorielle Berechnung von rasterbasierten Nachbarschaftsverhältnissen (BARTELME 2005:68f,136).

Die prototypische Realisierung dieser Methode erfolgt in Abschnitt 4.5 „FK-F: Zu kleiner Modellbereich“ (S. 76).

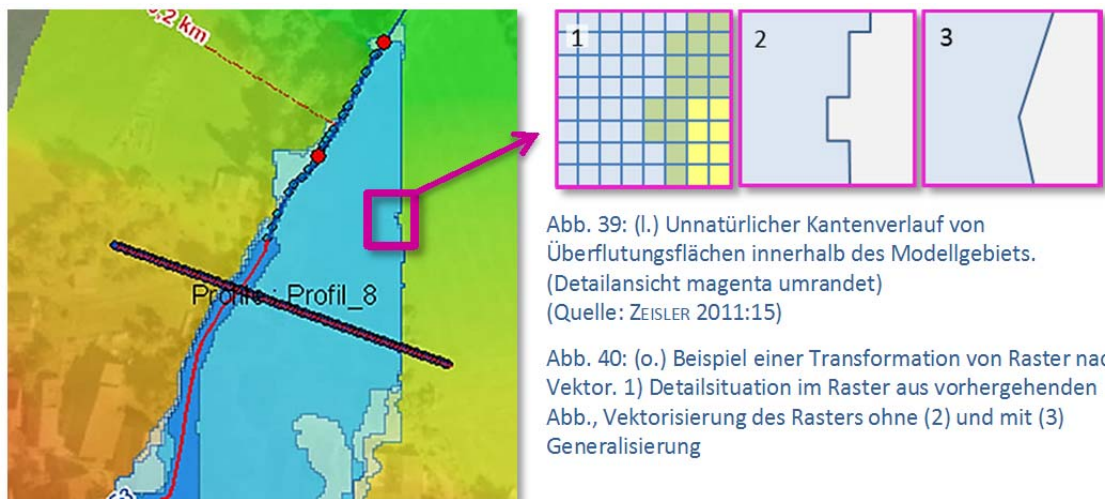


Abb. 39: (l.) Unnatürlicher Kantverlauf von Überflutungsflächen innerhalb des Modellgebiets. (Detailansicht magenta umrandet) (Quelle: ZEISLER 2011:15)

Abb. 40: (o.) Beispiel einer Transformation von Raster nach Vektor. 1) Detailsituation im Raster aus vorhergehenden Abb., Vektorisierung des Rasters ohne (2) und mit (3) Generalisierung

### 3.1.7 FK-G: Freibord an Deichen

Dieser Abschnitt erläutert den Lösungsansatz für die Fehlerkategorie G „*Freibord<sup>4</sup> an Deichen / geschützte Bereiche / Druckwasserbereiche*“ nach ZEISLER (2011:16ff). In dieser Fehlerkategorie werden Fehler in den drei Bereichen „*Nichteinhaltung des Freibords an Deichen*“, „*geschützte Bereiche bei Gewässern in Hochlage*“ und „*außerorts liegende Druckwasserbereiche bei Längsstrukturen*“ behandelt. Die Problematik bei „*Gewässern in Hochlage*“ wurde für diese Master Thesis nach Auswertung der vorliegenden quantitativen Fehlerstatistik und der Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK aufgrund ihrer Seltenheit in den vorliegenden Fällen ausgelassen. Ebenso wurden die Fehler bei der „*Ausweisung von Druckbereichen bei Längsstrukturen*“ nicht weiter analysiert. Sie beruhen auf projektspezifischen Vorgaben für die Erarbeitung der HWGK in Baden-Württemberg und lassen sich deshalb nicht verallgemeinern (MATTES 2014).

Die Frage, ob an einem Deich das Freibord eingehalten und damit die Schutzwirkung angenommen werden kann, ist für die Bereiche hinter den Deichen, in denen in der Regel eine große Zahl von Menschen lebt und erhebliche Sachwerte angesiedelt sind, von großer Bedeutung. Die Information muss deshalb für viele Akteure, die mit dem Risiko durch Hochwasser umgehen müssen, in hoher Qualität vorliegen. Beispiel sind der Katastrophenschutz und die Gefahrenabwehr im Hochwasserfall oder die Wasserwirtschaftsverwaltung, die auf Basis der Ergebnisse die Priorisierung von Sanierungsprogrammen vornimmt. Die Qualitätssicherung der Fehlerkategorie G ist deshalb besonders wichtig und eine Unterstützung mittels räumlicher Analysemethoden von großer Bedeutung.

**Fachlicher Hintergrund:** Der Freibord ist ein Sicherheitszuschlag bei der Planung von Wasserbauwerken, der Faktoren wie Wellenschlag, Verklausung, Wind- oder Eisstau

<sup>4</sup> Der Freibord kann als vertikaler Abstand zwischen der Oberkante eines Bauwerks, wie einem Deich und dem höchsten zu erwartenden Stauziel definiert werden (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 2013b:22ff)



berücksichtigt. Der Freibord ist unter anderem in der DIN 19712 (2013:22ff) und dem DWA-MERKBLATT-507-1 (2011:16) mit einer Höhe  $f \geq 0,5\text{m}$  für Deiche an Fließgewässern vorgeschlagen.

Vor Überflutung geschützte Flächen hinter Deichen oder sonstigen technischen Hochwasserschutzanlagen wie Rückhaltebecken, Schutzmauern usw. werden wie oben beschrieben in der HWGK-Methodik in Baden-Württemberg im Falle eines Hochwassers mit dem statistischen Wiederkehrintervall 1 mal in 100 Jahren („*hundertjährliches*“ Hochwasser,  $HQ_{100}$ ) als *geschützter Bereich* ausgewiesen (SOMMER 2014). Dieser *geschützte Bereich* definiert sich durch die Differenz zwischen der Überflutungsfläche mit, beziehungsweise ohne Wirkung der Schutzanlage und ist in der Abb. 41 mit der schraffierten Fläche im Hinterland angedeutet. In der Abbildung wird deutlich, dass bei einer Inanspruchnahme des Freibords kein *geschützter Bereich* ausgewiesen wird. Dies trifft im Beispiel auf alle WSP größer gleich 100,0 müNN zu.

Ein Fehler in den Ergebnisdaten der HWGK entsteht, wenn der Freibord nicht eingehalten wird und die hinter einer Schutzanlage liegende Fläche nicht als überflutet deklariert wird, sondern als *geschützter Bereich* oder als „*nicht überflutet*“ ausgewiesen wird. Beide Fälle traten bei der Erstellung der HWGK in Baden-Württemberg auf und wurden durch die QS festgestellt. Grundsätzlich sind bei der QS die folgenden drei Zustände des Freibords zu überprüfen (Abb. 41):

- Der Freibord ist nicht in Anspruch genommen.
- Der Freibord ist in Anspruch genommen.
- Der Deich wird überflutet.

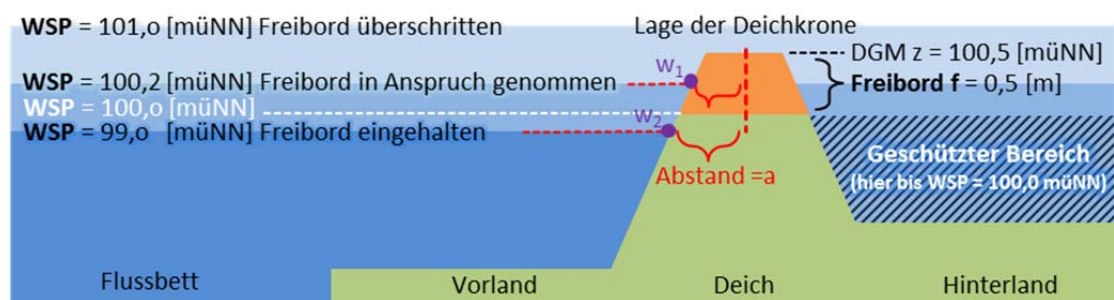


Abb. 41: Schematische Darstellung einer fiktiven Freibordsituation mit Wasserständen, Freibord und *geschütztem Bereich*

**Praxis der QS:** Die technische QS der HWGK hat diesen Fehler anfangs durch topologische Prüfungen erkannt. Beispielsweise wurde in einer Modellierung ein  $HQ_{50}$  berechnet, das eine Überflutungsfläche hinter einem Deich ausgebildet hatte. An derselben Stelle wurde jedoch für ein selteneres Hochwasserereignis (z.B.  $HQ_{100}$ ), welches in der Regel eine größere Überflutungsfläche ausbildet, hinter dem Deich keine überflutete Fläche dargestellt. In diesem Fall wirkt der Deich auch bei einem  $HQ_{50}$ , so dass die  $HQ_{50}$  Fläche hinter dem Deich nicht als überflutet dargestellt werden darf. Als weitere Hilfsmittel dienen der fachlichen QS Quer- und Längsprofile, Wasserstandsgleichen der Wasserspiegel und eine entsprechende kartographische

Darstellung. Heute ergänzt eine im Rahmen des Projekts HWGK entwickelte Methodik die topologische Prüfung. Bei einer Rasterdatenauflösung von 1x1m führt diese Methodik in 2m Abstände auf dem Deich eine sogenannte Sicherheitsbetrachtung unter dem Aspekt des verbleibenden Freibords bei Deichen durch. Dabei werden in jedem Punkt auf der Deichkrone das Gelände und der errechnete Wasserspiegel miteinander verglichen. Das Ergebnis lässt eine Aussage darüber zu, ob der vorgegebene Freibord in Anspruch genommen oder das Bauwerk gar überströmt wird. Für diese Betrachtung wurden das hydraulisch plausible Geländemodell und der errechnete Wasserspiegel verwendet. Das Ergebnis wurde geometrisch durch Punkte (Datenformat: Punkt-Shape-Datei) mit den entsprechenden Attributen dokumentiert (s. Abb. 42, S. 48).

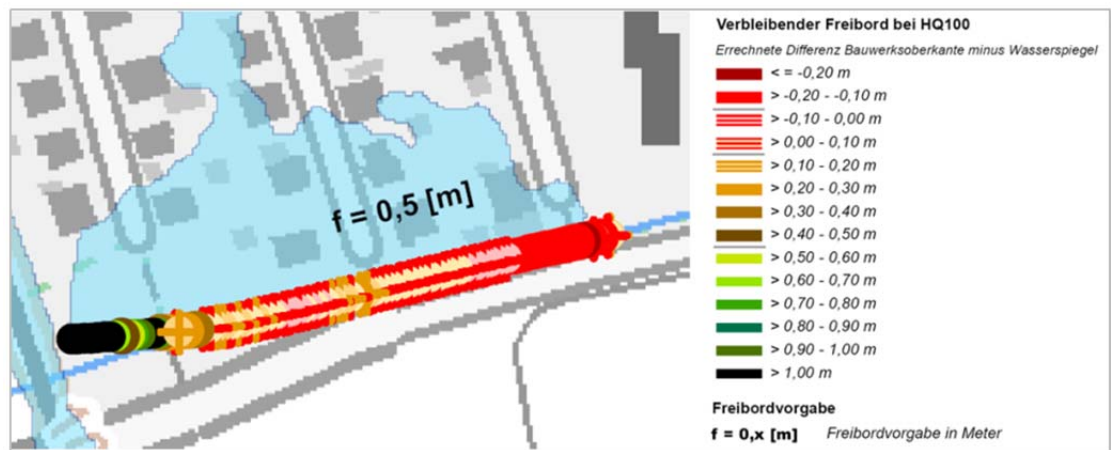


Abb. 42: Auszug aus der Sicherheitsbetrachtung der Deichkrone mit punktuellen Angaben zur Einhaltung des Freibords nach HWGK (Angelehnt an: PANCAK-GEÖRG et al. 2013:14ff)

```

DGMHydRel = hydraulisch plausibles Geländemodell
WSP = Wasserspiegel
REST_DH = verbleibende Deichhöhe
f = vorgegebener Freibord

REST_DH = LocalCalculation of DGMHydRel - WSP
STATUS_FB = LocalClassification of REST_DH setting REST_DH to
            (REST_DH > f) = 1
            (REST_DH ≥ 0) AND (f ≥ REST_DH) = 2
            (REST_DH < f) = 3

# 1 = Der Freibord nicht in Anspruch genommen.
# 2 = Der Freibord ist in Anspruch genommen
# 3 = Der Deich gilt als überflutet
    
```

Abb. 43: Sicherheitsbetrachtung von Deichen mit konstanter Freibordvorgabe mittels Map Algebra

**Lösungsansatz:** Die Deichkrone liegt in der Regel bei HN-Modellierungen als Vektorlinie vor. Sie wird beispielsweise bei der Modellierung des hydraulisch plausiblen Geländemodells als Bruchkante benötigt. Dagegen liegt die beschriebene Sicherheitsbetrachtung von Schutzanlagen in Form einer Punkt-Shape-Datei nicht generell vor und kann deshalb bei einer Verallgemeinerung der Methodik zur Betrachtung der Freibordnutzung nicht vorausgesetzt werden.

Bei 1D HN-Modellierungen kann durch die Extrapolation und Interpolation des Wasserspiegels in das Vorland meist ein Wasserspiegelwert direkt unter der Deichkrone ermittelt werden, da der Wasserspiegel sozusagen durch den Deich hindurchprojiziert wird. Anders ist dies bei 2D HN-Modellierungen. Bei 2D HN-Modellierungen muss immer dann zuerst der Wasserspiegelwert direkt unter der Deichkrone ermittelt werden, wenn der Deich nicht überströmt wird. Der Wasserspiegel wird bei 2D HN-Modellierungen nur für die Fläche berechnet, die überflutet wird. Er liegt deshalb bei dieser Modellierung immer nur mit einem bestimmten Abstand zur Deichkrone vor (in Abb. 41. S. 47: bei einem Wasserspiegel von 99 müNN der Abstand  $a$ ). Der Abstand wird durch die Breite der Deichkrone und den Böschungswinkel des Deichs vorgegeben. Um einen Wasserspiegelwert für die Berechnung direkt unter der Deichkrone zu erhalten, musste der nächste gewässerseitige Wasserspiegelwert im Abstand  $a$  bestimmt werden. Da Wasserspiegel im Allgemeinen eine weitgehend stetige Oberfläche aufweisen, konnte der im Abstand  $a$  entfernt liegende Wasserspiegelwert für die Betrachtung unter der Deichkrone herangezogen werden.

Für eine allgemeine Unterstützung der QS mittels räumlicher Analysemethoden konnten die notwendigen Schritte bei 2D HN-Modellierungen wie folgt zusammengefasst werden:

- Bestimmung des Wasserspiegels unter der Deichkrone, sofern der Deich nicht überflutet wird.
- Wenn kein Wasserspiegelwert unter der Deichkrone ermittelt wurde
  - Bestimmung der Wasserseite des Deiches
  - Ermittlung des nächsten Wasserspiegelwertes
- Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords nach Abb. 41

Die Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords sollte in den ersten Überlegungen im Rahmen dieser Arbeit, wie in Abb. 43 (S. 48) gezeigt, mittels Map Algebra erfolgen. Es wurde jedoch deutlich, dass dieser Ansatz die diskrete Betrachtung in einzelnen Punkten, wie dem Deichkronenpunkt  $b_b$  (Abb. 44, S. 50) oder dem Untersuchungspunkt  $w_b$  des Wasserspiegels nicht unterstützt, sondern auf einem zonalen Vergleich beruht. Dieser Vergleich war eingeschränkt auf den gerasterten Verlauf der Deichkrone. Hinzu kam die Problematik, dass die Punkte  $b$  und  $w$  (Abb. 44) nicht kongruent zueinander lagen, was der Map Algebra Ansatz ebenfalls voraussetzte. Für diesen Ansatz wäre deshalb eine Transformation der Datensätze notwendig gewesen. Dabei war davon auszugehen, dass die zu vergleichenden Werte beliebig verteilt liegen, was durch den Abstand  $a$  des Wasserspiegelrands zur Deichkrone in Abb. 41 wiederspiegelt wurde. Darüber hinaus waren für die notwendige Ermittlung der Wasserseite des Deiches drei Vektordatensätze zu benutzen, deren Konvertierung zu Rasterdaten prinzipiell möglich wäre, aber die im Weiteren benötigten Operationen befürworteten ebenfalls eine gemischte Bearbeitung von Raster- und Vektordaten. Deshalb wurde im Lösungsansatz eine gemischte Bearbeitung von Raster- und Vektordaten vorgenommen, die in einem Flussdiagramm (Abb. 45, S. 50) dokumentiert ist.

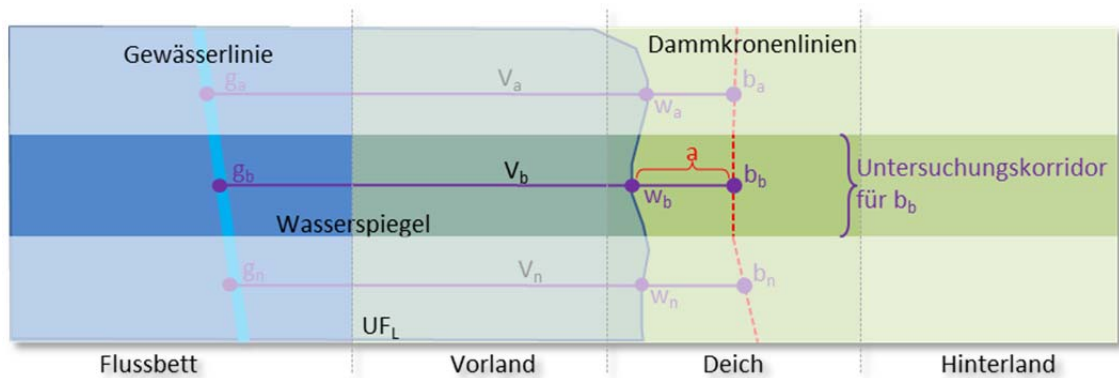


Abb. 44: Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords. Ansicht von oben. Ergänzend zur Abb. 41 (S. 47)

Für die allgemeine Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords wurden nach explorativer Datenanalyse die folgenden Schritte erarbeitet. Im ersten Schritt mussten die Punkte entlang der Deichkrone bestimmt werden, die für die anschließende Freibordbetrachtung herangezogen wurden. Dafür wurden Punkte in gleichmäßigen Intervallen entlang des Deichkronengraphen erstellt (Abb. 44, Punkte  $b_a$  bis  $b_n$ ). Für jeden dieser Punkte  $b$  wurde die Freibordbetrachtung durchgeführt, was durch den Untersuchungskorridor (Abb. 44) dargestellt wird.

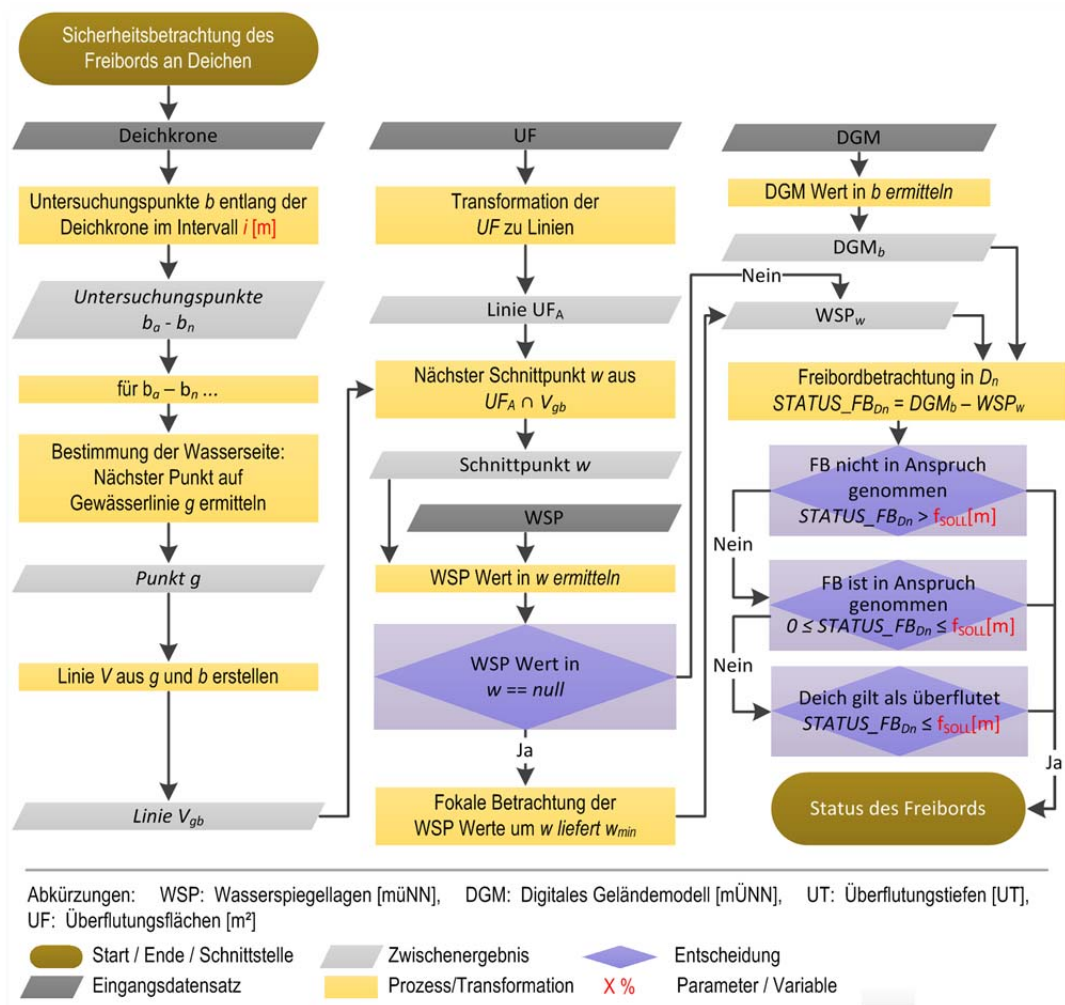


Abb. 45: Unterstützung der fachlichen QS bei der Freibordbetrachtung mittels räumlicher Analysemethoden

Im folgenden Schritt musste die Wassenseite des Deiches bestimmt werden. Damit wurde verhindert, dass bei der Bestimmung des nächsten Wasserspiegelwert  $w$  zum Deichkronenpunkt  $b$  ein Wert aus einem Wasserspiegel im Hinterland (Abb. 41, S. 47 und Abb. 44 S. 50) des Deiches bestimmt wird. Der Wasserspiegel im Hinterland kann etwa durch Hinterströmung einen für die Betrachtung des Freibords falschen Wert aufweisen. Um dies zu vermeiden wurde die Gewässerlinie als Orientierung hinzugezogen. Dafür wurde, wie in Abb. 44 exemplarisch dargestellt, von Punkt  $b_b$  ausgehend der nächste Punkt  $g_b$  auf dem Gewässergraphen ermittelt. Die beiden Punkte  $b_b$  und  $g_b$  werden zu einer Linie  $V$  verbunden. Parallel wurden die Kanten der Überflutungsflächenpolygone zu Linien  $UF_L$  transformiert, um den gemeinsamen Linienschnittpunkt  $w$  zu ermitteln. Mit diesem Punkt  $w$  konnte der nächste Wasserspiegelwert zum Punkt  $b_b$  berechnet und die eigentliche Freibordbetrachtung durchgeführt werden.

Kann aufgrund der Randlage des Punktes  $w$  zum Wasserspiegel kein Wasserspiegelwert festgestellt werden, ist durch eine Untersuchung der nächsten Nachbarn im Wasserspiegel der Wasserspiegelwert zu ermitteln. Die explorative Datenanalyse hat gezeigt, dass sich dafür ein Radius eignet, welcher der doppelten Auflösung der Rasterdaten entspricht und den minimalen Wasserspiegel in dieser fokalen Betrachtung zurückgibt.

Die Abb. 45 (S. 50) fasst die genannten Schritte plattform- und systemunabhängig in einem Flussdiagramm zusammen. Dabei werden die Überflutungsflächen als Eingangsdatensatz vorausgesetzt. Die Erstellung der Überflutungsflächen ist als eigenständige Komponente in Abschnitt 3.1.1.2 „Überflutungstiefe und -fläche“ (S. 25) beschrieben. Die prototypische Realisierung dieser Methode erfolgt in Abschnitt 4.6 „FK-G: Freibord an Deichen“ (S. 78).

### 3.1.8 FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen

In diesem Abschnitt wird der Lösungsansatz für die Fehlerkategorie H „Dellen im Wasserspiegel insbesondere im Bereich von Deichen“ nach ZEISLER (2011:19f) dargestellt.

Tab. 3: Analyse der Fehlerkategorie H in vier HWGK Bearbeitungseinheiten (Quelle: Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK)

	Längsstruktur	Deich	Gelände	Sonstiges
	5	1	2	2
TBG 643 Aitrach	1			
TBG 100 Argen	1		1	
TBG 642 Riß/Rot	3	1	1	1
TBG 652 EZG Brenz, Egau und Eger, sowie Rotach				1

**Fachlicher Hintergrund:** Die Fehlerkategorie H trat in den untersuchten Fällen insbesondere

an Deichen oder Geländebeziehungen auf, die eine deichähnliche Wirkung haben wie Straßen oder Bahndämme (vgl. Zusammenstellung Tab. 3).

Tritt die Fehlerkategorie bei 2D HN-Modellierungen auf, stellt sie sich in Form eines abfallenden Wasserspiegels nahe des Deiches dar (vgl. schematische Darstellung in Abb. 46, S. 52 im rot markierten Bereich des Wasserspiegels  $WSP_{IST}$ ). Abb. 47 und Abb. 48 (S. 52) zeigen



Beispiele aus den Bearbeitungseinheiten der HWGK für die Fehlerkategorie im Profil. Die Ursache für den Fehler wird in den Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK bei 1D HN-Modellierungen meist auf eine nicht sorgfältig durchgeführte Extrapolation des Wasserspiegels in das Gelände zurückgeführt. Bei 1D HN-Modellierungen wird der errechnete Wasserspiegel in der Regel ausgehend vom Gewässerprofil waagrecht „durch den Deich oder die deichähnliche Struktur“ in das Vorland extrapoliert (Abb. 46:  $WSP_{SOLL}$ ). Generell tritt der Fehler daher in der Regel nur dann bei 1D HN-Modellierungen auf, wenn die Extrapolation nicht bis an die Deichböschung heranreicht.

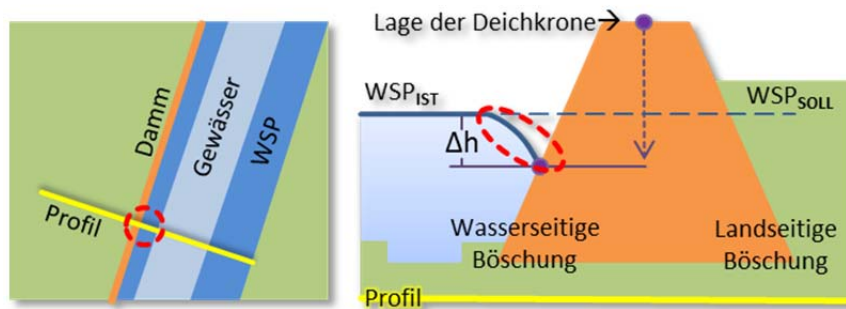


Abb. 46: (l.) Ansicht von oben mit eingezeichneter Lage des Profils. (r.) Profil in der Seitenansicht. Abfallender Wasserspiegel ( $WSP_{IST}$ ) am Deich (rot).

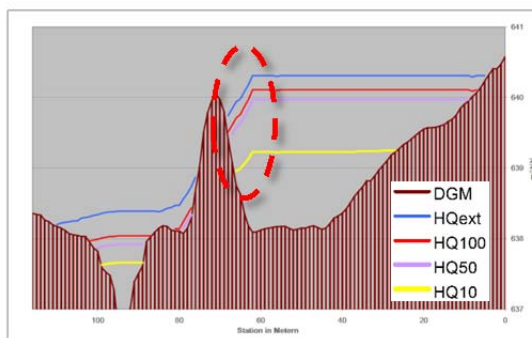


Abb. 47: (l.) Abfallender Wasserspiegel vor einem Straßendamm

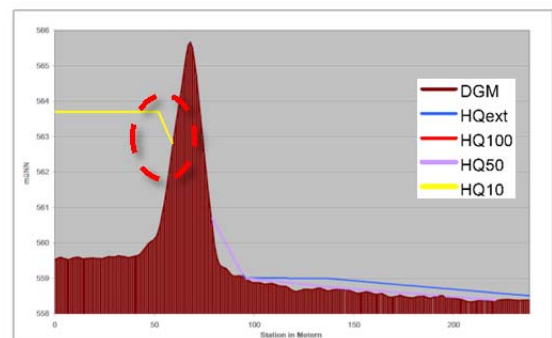


Abb. 48: (r.) Abfallender Wasserspiegel vor dem Damm eines Hochwasserrückhaltebeckens

(Quelle: Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK)

Bei sachgerechten 2D HN-Modellierungen endet der Wasserspiegel an der wasserseitigen Deichböschung, wenn die müNN-Werte des Wasserspiegels kleiner als die Werte des Geländes werden. Darauf baut unter anderem die in Abschnitt 3.1.7 „FK-G: Freibord an Deichen“ (S. 46) beschriebene Sicherheitsbetrachtung des Freibords auf, bei der jeweils der nächste Wasserspiegel neben der Deichkrone herangezogen wird (Abb. 46, „Lage der Deichkrone“). Wird dieser Wasserspiegel nicht sachgerecht modelliert, folgen daraus Fehleinschätzungen bei der Freibordauswertung und der Bestimmung des Schutzgrads der Hochwasserschutzanlage.

**Praxis der fachlichen QS:** Um unetliche und nicht plausible Bereiche visuell zu ermitteln, sieht die bisherige Vorgehensweise der fachlichen QS der HWGK vor, stichprobenhaft überhöhte Querprofile oder Wasserstandgleichungen entlang von Deichen zu erstellen. Darüber hinaus kann auch die Einfärbung des Wasserspiegels durch eine kontrastreiche, mehrfarbige Farbskala derartige Bereiche aufzeigen.

**Lösungsansatz:** Wasserspiegel verhalten sich im Allgemeinen weitgehend stetig und in einem gewissen Umfang unabhängig vom Gelände. Daher soll für eine allgemeine Unterstützung der QS mittels automatisierter räumlicher Analysemethoden die absolute Differenz im Wasserspiegel durch eine Nachbarschaftsanalyse (fokale Betrachtung in der Map Algebra) im deichnahen Bereich festgestellt werden, wobei „*deichnah*“ sowie weitere Parameter zu definieren sind. Anhand der Wasserspiegelwerte im deichnahen Bereich sollen abfallende Wasserspiegel erkannt werden, in dem ein zu definierender Schwellenwert im Wasserspiegel innerhalb einer Nachbarschaftsanalyse überschritten wird. Der Schwellenwert wird durch die Höhendifferenz  $\Delta h$  (Abb. 46, S.52) im Wasserspiegel dargestellt. Die Wasserspiegel in den untersuchten Fällen der explorativen Datenanalyse zeigten eine Höhendifferenz von maximal 1,7m und durchschnittlich 0,6m. Für die Verwendung als Schwellenwert wurde dieser Durchschnitt um 0,2m gesenkt, um die Identifizierung von Wasserspiegeldifferenzen im Wertebereich um den Durchschnittswert besser erfassen zu können. Somit wurde 0,4m als Standard für den Schwellenwert zur Identifizierung von Wasserspiegeldifferenzen angesetzt.

WSP	= Wasserspiegel
ZoneW	= Ausgangspunkt der Untersuchung als Rastermaske
r	= Untersuchungsradius
s	= Schwellenwert für die maximal tolerierte Differenz im WSP
FMin	= ZonalClassification of WSP in ZoneW setting FocalMinimum of WSP at Radius r
FMax	= ZonalClassification of WSP in ZoneW setting FocalMaximum of WSP at Radius r
WSPdelta	= ZonalClassification of WSP in ZoneW setting (LocalCalculation of FMax - FMin)
STATUS_WSP	= LocalClassification of REST_DH setting REST_DH to (WSPdelta < s) = 0 # WSP ist potenziell stetig (WSPdelta > s) = 1 # WSP ist potenziell unstetig

Abb. 49: Untersuchung der Stetigkeit von Wasserspiegeln an Deichen mittels Map Algebra

Der Untersuchungsraum der fokalen Analyse wurde kreisförmig gewählt. Zur Bestimmung des Untersuchungsradius wurden im Rahmen dieser Arbeit mehrere Variantenberechnungen mit verschiedenen Radien durchgeführt und visuell die Auswirkung auf die Ergebnisse geprüft. Dabei wurde deutlich, dass mit steigendem Radius die Unschärfe der Verortung von potenziellen Fehlern zunimmt, da die Höhendifferenzen des Fehlers durch die Höhendifferenzen aus dem natürlicherweise fallenden Wasserspiegel überlagert werden. Ein zu klein gewählter Radius hingegen erfasste die Wasserspiegeldifferenzen nicht hinreichend. Ein Radius (hier 5m) mit der fünffachen Auflösung der Rasterdaten (hier 1m) erbrachte das beste Ergebnis. Die Wasserspiegeldifferenzen selbst wurden durch zwei fokale Operationen (TOMLIN 2012:171f) errechnet. Im Radius des Untersuchungsraumes wurde das fokale Minimum und Maximum (2012:70ff) des Wasserspiegels ermittelt und anschließend die Differenz gebildet.



Eine Differenzierung der Dammseite, wie sie in Abschnitt 3.1.7 „FK-G: Freibord an Deichen“ (S. 46) vorgenommen wurde, ist hier nicht notwendig, da der Fehler unabhängig von der Dammseite auftreten kann. Um den Parameter „*deichnah*“ in Form einer Distanz zwischen den Fehlstellen und den Deichen zu definieren, wurde in der HWGK Bearbeitungseinheit „*Riß/Rot*“ (im Weiteren „*Riß*“) durch eine Distanzanalyse der Abstand zwischen den potenziellen Fehlstellen und dem jeweils nächsten Deich berechnet. Die detaillierte Auswertung dieser Analyse ist in der prototypischen Realisierung enthalten. Mit der Analyse konnte eine maximale Distanz von 20m bestimmt werden, mit der eine Fehlstelle einem Deich bzw. einer deichähnlichen Geländestruktur zugeordnet werden kann. Mit diesem Distanzparameter können Aussagen zu den Fehlstellen auch dann getroffen werden, wenn keine Geometrien zu Deichen oder entsprechenden Geländestrukturen vorliegen. Dies war in den Testdaten an der Riß in der Mehrzahl der Fehlstellen der Fall (s. Tab. 3, S. 51) Aus diesem Grund werden in diesem Lösungsansatz auch die methodisch erkannten Fehlstellen berücksichtigt, die keinen Bezug zu Deich- oder Längsstruktur-Geometrien haben. Mit Hilfe des Distanzparameters können diese von Fehlstellen mit einem Bezug zu einem Deich oder einer Längsstruktur unterschieden werden.

Damit bei der Erkennung der Fehlstellen nicht der gesamte Wasserspiegel herangezogen werden musste, half die Maskierung des Wasserspiegels, den Untersuchungsbereich einzuschränken und damit den Aufwand zu verringern. Dabei wurde der Untersuchungsraum als Band vom Wasserspiegelrand nach innen betrachtet. Die Breite des Bandes sollte mindestens den zweifachen Radius des Untersuchungsraums aus der Nachbarschaftsanalyse (fokale Operation nach TOMLIN 2012:167ff) betragen, um die im Untersuchungsraum zur Verfügung stehenden Werte nicht zu reduzieren. Nachdem innerhalb des Bandes die Höhendifferenzen des Wasserspiegels erstellt wurden (Abb. 49, S. 46), wurden die Rasterzellen entsprechend des oben genannten Schwellenwerts klassifiziert und dabei in ein Binärraster transformiert. Für die eigentliche Ergebnisdarstellung erfolgte eine Transformation in Vektorflächen.

Die Berechnung der Wasserspiegeldifferenz als Kern dieser Methode wurde mittels Map Algebra mit den in Abb. 49 dargestellten Schritten durchgeführt. Die prototypische Realisierung dieser Methode wird in Abschnitt 4.7 „FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen & deichähnlichen Strukturen“ (S. 81) beschrieben.

### 3.1.9 FK-I: Zu schließende Löcher & Unterbrechungen an Gebäuden

Dieser Abschnitt stellt den Lösungsansatz für die Fehlerkategorie I „Löcher / Unterbrechungen bei Gebäuden“ nach ZEISLER (2011:21f) dar. Diese wird im Folgenden in drei Fälle unterteilt:

- (Fall 1) Ausgesparte Gebäude in Randlage mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Überflutungsflächengrenze,
- (Fall 2) Ausgesparte Gebäude in Inselepolygonen mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Inselepolygongrenze,
- (Fall 3) Abrupt endender Wasserspiegel an der Überflutungsflächengrenze.

**Fachlicher Hintergrund:** Die Berücksichtigung von Gebäuden in 2D HN-Modellierungen kann auf zwei Arten erfolgen. Entweder werden die Gebäude im hydraulisch plausiblen Geländemodell modelliert oder im Bereich von Gebäuden wird alternativ das Gelände mit einem sehr niedrigen Rauheits- oder Widerstandsbeiwert belegt, so dass der Fließwiderstand verstärkt wird. In beiden Fällen ist die Kenntnis der Lage von Gebäuden und deren räumlicher Ausprägung notwendig. Das Ergebnis ist jeweils ein Wasserspiegel, welcher die enthaltenen Gebäude im Wasserspiegel und den abgeleiteten Datensätzen ausspart, wie an den Gebäuden D1 und R1 in Abb. 50 zu sehen ist. Es wird dabei angenommen, dass Gebäude nicht durchströmt werden.

Die Vorgabe für die Erstellung der HWGK in Baden-Württemberg, Inselepolygone bei Gebäuden innerhalb der Ergebnisdatensätze zu schließen, ist vorhabenspezifisch. Es ist demnach nicht zwingend notwendig, im Post-Prozess einer HN-Modellierung die Ergebnisdatensätze dahingehend zu korrigieren, dass die ausgesparten Gebäudeflächen geschlossen werden. Muss beispielsweise für die Planung eines Bauwerks mittels HN-Modellierung nachgewiesen werden, dass von dem Vorhaben keine nachteiligen Auswirkungen ausgehen, so ist die Aussage über den hydraulischen Zustand in der untersuchten Situation wichtiger als eine anschauliche Visualisierung. Sollen die Ergebnisdatensätze hingegen wie bei der HWGK primär kartographisch genutzt werden, sollten die Inselepolygone geschlossen werden, um eine aussagekräftige Darstellung zu erreichen.

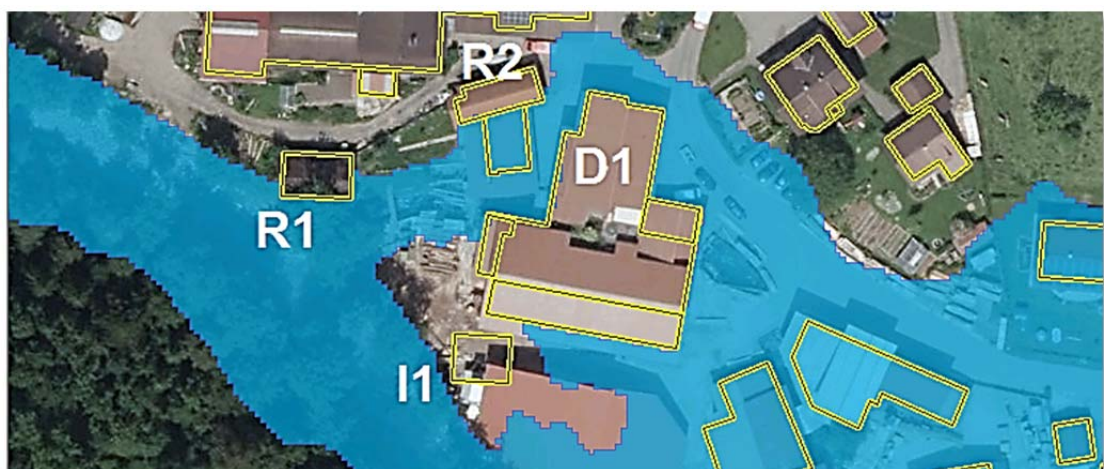


Abb. 50: Überflutungsfläche (blau) zeigt scheinbare Genauigkeit im Bereich von Gebäuden (gelb)

Geschlossene und somit durchströmte Gebäudeflächen in den Ergebnisdatensätzen sind zudem für einige weiterführende Analysen notwendig. So ist eine Analyse des Schadenspotenzials nur möglich, wenn die Überflutungsflächen im Bereich von Gebäuden geschlossen sind und dadurch die Gebäude als betroffene Objekte mit monetärer Bedeutung berücksichtigt werden (ASSMANN et al. 2003:6). Es ist deshalb zu erwarten, dass die bei der HWGK getroffene Vorgabe, Inselepolygone innerhalb der Ergebnisdatensätze bei Gebäuden durch Interpolation zu schließen, auch bei einer Vielzahl anderer HN-Modellierungen angewendet wird. Eine Unterstützung der QS mittels räumlicher Analysemethoden hat deshalb ein breites Anwendungsspektrum.

**Praxis der fachlichen QS:** Bei dieser Fehlerkategorie untersucht die fachliche QS bisher durch visuelle Analyse die Überflutungsflächen im Zusammenhang mit dem hydraulisch plausiblen DGM und den Gebäudepolygonen. Indikatoren für Fehler dieser Kategorie sind geometrisch außerhalb am Rand der Überflutungsfläche und innerhalb von Inselepolygonen liegende Gebäudepolygone oder Teile von Gebäudepolygonen. Außerdem können zur Prüfung manuell Profile erstellen werden, in denen geprüft wird, ob der Wasserspiegel ohne einen Schnittpunkt mit dem DGM endet. Durch das Ende des Wasserspiegels oberhalb des DGM entstehen die in Abb. 51 dargestellten „Wasserwände“.

Für diese Fehlerkategorie stand ein Testgebiet mit klassifizierten Anmerkungen der fachlichen QS der HWGK zur Verfügung. In dieser Bearbeitungseinheit („Argen“) der HWGK liegen Stellungnahmen zu 32 Situationen vor, was für die explorative Datenanalyse ausreicht. Eine Voraussetzung für die methodische Behandlung dieser Fehlerkategorie sind vorhandene Gebäudedaten. Diese werden für die Geländemodellierung bzw. die Modellkonfiguration im Pre-Prozess benötigt. Liegen die Gebäude als Polygone vor, können diese in der weiteren Untersuchung mit den vorhandenen Daten topologisch in Beziehung gesetzt werden.

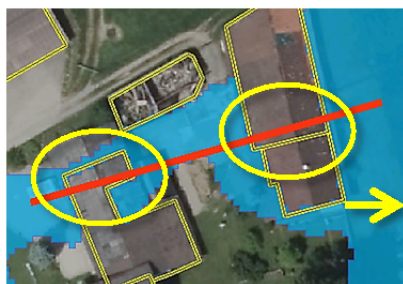
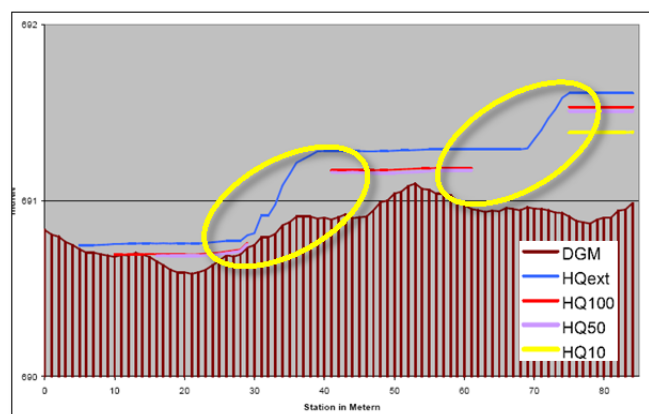


Abb. 51: Wasserwände im Wasserspiegel an Gebäuden in Randlage. (Rechts) Wasserspiegel als rote Linie. DGM in dunkelrot, senkrecht schraffiert



**Lösungsansatz:** Für die Erstellung einer unterstützenden Methode, welche potenzielle Fehlstellen dieser Fehlerkategorie aufdeckt, werden zuerst zwei Fälle unterschieden. Zum einen sollen Fehlstellen in Form von ausgesparten Gebäuden entlang der Überflutungsflächenkante (Abb. 50, S. 55: Gebäude D1, R1 und R2) erkannt werden, Zum

anderen sollen Fehlstellen in Form von Gebäuden erkannt werden, die vollständig innerhalb von Inselepolygonen der Überflutungsfläche liegen (Abb. 50, S. 55: Gebäude I1).

Mit der Randlage ist sowohl die äußere als auch die innere geometrische Grenze der Überflutungsflächenpolygone gemeint, da dieser Fall (innere geometrische Grenze), wie in Abb. 50 mit dem Gebäude D1 exemplarisch dargestellt, auch bei Inselepolygonen auftritt. Im Gegensatz dazu liegen beim zweiten Fall die Gebäude vollständig innerhalb der Inselepolygone, d.h. weder schneiden noch berühren sie die Überflutungsflächengrenze (Abb. 50: Gebäude I1).

In der weiteren explorativen Analyse konnten zur Identifizierung des ersten Falls folgende topologische Merkmale festgelegt werden:

- Am Rand der Gebäude endet der Wasserspiegel ohne einen Schnitt mit dem DGM (Abb. 51, S. 56: rechts). Es entstehen Sprünge („Wasserwände“) im ansonsten weitgehend stetigen Wasserspiegel.
- Gebäude in Randlage lassen sich durch die topologische Beziehung zu den Überflutungsflächen mittels Verschneidung selektieren.

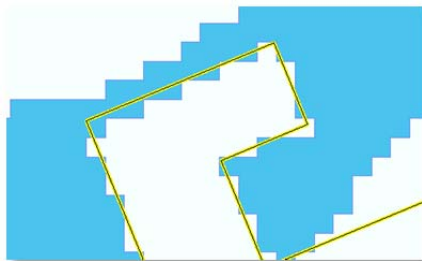


Abb. 52: (o.) Kantenverlauf zwischen Gebäudepolygon und Überflutungsfläche



Abb. 53: (r.) Ergebnis bei Gebäude in Randlage, Fehlerkategorie I. Die roten Punkte stellen Überflutungstiefen größer 0,2m. D.h. der Wasserspiegel endet ohne Anschlag an das Geländemodell

Durch diese beiden Merkmale war eine Untersuchung der Überflutungstiefe an der gemeinsamen Schnittkante zwischen Gebäudepolygonen und Überflutungsfläche möglich. Trat eine Überflutungstiefe größer 0 entlang dieser Kante auf, lag für das Gebäude ein Fehler vor. Bei der Detailbetrachtung dieser gemeinsamen Kante wurde ersichtlich (Abb. 52), dass Gebäude- und Überflutungsflächenkanten sich nicht eine Kante teilen, sondern unregelmäßig aneinandergrenzen oder sich überschneiden. Daher war eine Nachbarschaftsanalyse der Überflutungstiefenwerte an den Kanten des Gebäudepolygons notwendig, die von der Überflutungsfläche berührt wurden. Alternativ zur Geometrie der Kanten könnten auch diskrete Punkte auf diesen Kanten zur Untersuchung herangezogen werden. Durch die Operation *focal mean* (TOMLIN 2012:70f,168) konnten auch Rasterzellen oder Punkte untersucht werden, die außerhalb des Rasters liegen, sofern der Untersuchungsraum der Nachbarschaftsbetrachtung hinreichend groß ist. Dies war im vorliegenden Fall bei einem 3x3 Zellen großen Untersuchungsraum gegeben. Sowohl das Wasserspiegelraster als auch das DGM wurden mittels *focal mean* transformiert. Parallel wurden aus den Überflutungsflächen



die Stützpunkte als „Untersuchungspunkte“ extrahiert. An deren Position wurden die Höhenwerte des Wasserspiegels und des DGMs mittels *local classification* (TOMLIN 2012:46f,172) ermittelt und deren Differenz bestimmt. Das Ergebnis dieser Berechnungen wird im Weiteren als Fall 1 bezeichnet, es enthält Rasterzellen mit Überflutungstiefenwerten in den Untersuchungspunkten entlang der Überflutungsflächenkanten. Um nur die Werte zu betrachten, die an Gebäuden liegen, wurden die Untersuchungspunkte durch gepufferte Gebäudepolygone selektiert. Für die Pufferdistanz (2m) wurde in der explorativen Datenanalyse die doppelte Rasterauflösung (1m) verwendet. Das Ergebnis ist für einen Fall aus der HWGK-Stellungnahme in Abb. 53 (S. 57) durch die roten Punkte exemplarisch visualisiert. Die Methode wird in Abb. 54 schematisch dargestellt.

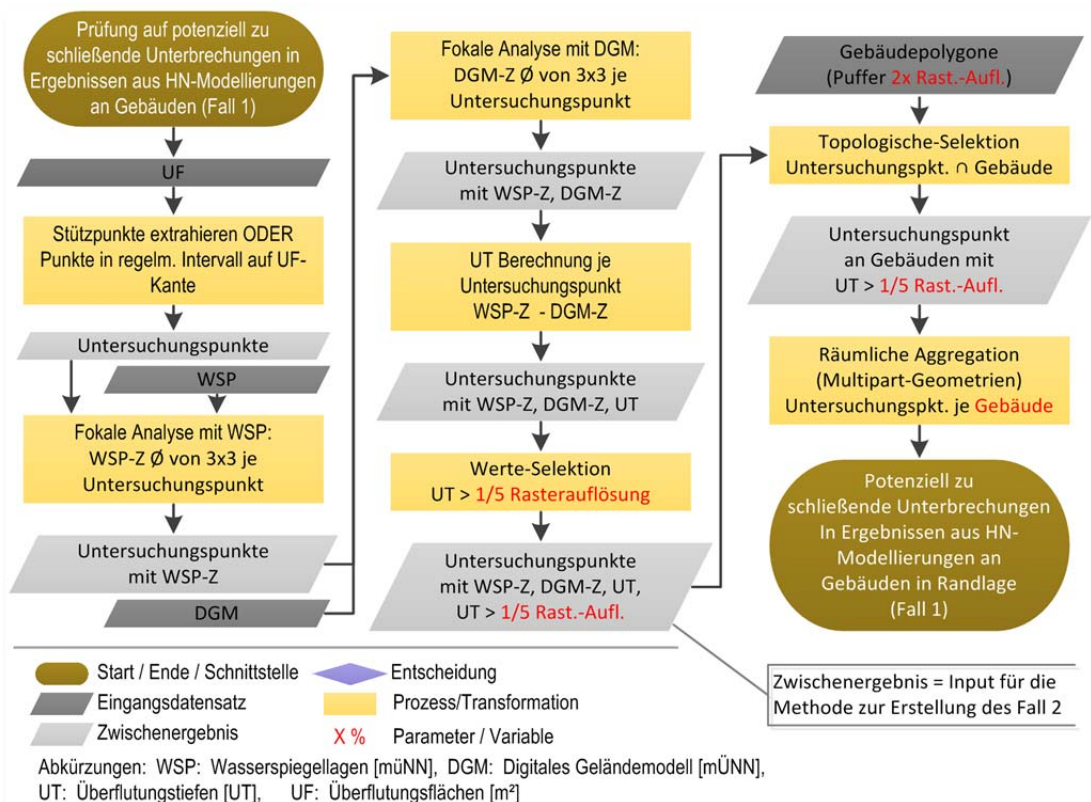


Abb. 54: (Fall 1) Potenziell zu schließende Unterbrechungen In Ergebnissen aus HN-Modellierungen an Gebäuden in Randlage

Darüber hinaus sind auch die in Abb. 53 orange dargestellten Punkte für die fachliche QS der HWGK relevant. Die orangenen Punkte markieren Sprünge („Wasserwände“) an den Überflutungsflächenkanten ohne den in dieser Fehlerkategorie geprüften Bezug zu Gebäuden. Einzelne Fehlstellen der Art sind sicherlich tolerierbar, allerdings sollte eine Konzentration von derartigen Punkten durch die fachliche QS im Weiteren Prozess analysiert werden. Diese Punkte werden daher in die Ergebnisdarstellung aufgenommen und als Fall 3 bezeichnet. Methodisch werden sie nicht weiter berücksichtigt, da dieser Fehler nicht zur ursprünglichen Fragestellung dieser Fehlerkategorie gehört und ein weiterer für diese Fehlerkategorie relevanter Fall 2 folgt. Daher wird Fall 3 auch nicht in Abb. 54 oder Abb. 56 (S. 60) näher beschrieben.

Der zweite zu betrachtende Fall dieser Fehlerkategorie betrifft Gebäude, die innerhalb des Wasserspiegels und dessen abgeleiteten Produkten ausgespart wurden. Die Gebäude liegen in sogenannten Inselepolygonen. Aufgrund der Polygontopologie lassen sich Inselepolygone in anderen Polygonen identifizieren (Bartelme 2005:80f, LONGLEY et al. 2011:216f). Sie werden in der Polygontopologie als eigenständige Polygone angesehen und zeichnen sich durch den Besitz von lediglich einem Polygonnachbarn aus und einer umgekehrten Koordinatenfolge zum benachbarten Polygon.

In der explorativen Datenanalyse wurde untersucht, ob eine Abhängigkeit zwischen der Kompaktheit (DE SMITH et al. 2013:Abschn.4.2.8) des Inselepolygons und der Kompaktheit des Gebäudepolygons besteht. Ziel war es, bei korrelierenden Werten ein Inselepolygon oder die Gebäudepolygone als potenziell zu schließendes Inselepolygon zu betrachten. Allerdings enthielten mit wenigen Ausnahmen alle 236 Inselepolygone des Testdatensatzes an der Argen mehr als nur ein Gebäude. Der erweiterte Ansatz, mehrere Gebäudepolygone innerhalb eines Inselepolygons zu einem kompakten Polygon zusammenzufassen und mit diesem Polygon wiederum einen Kompaktheitsvergleich mit dem Inselepolygon anzusetzen, wurde nicht weiter verfolgt, da kein Grenzwert für die maximale Anzahl von Gebäuden festgelegt werden konnte, die ein Inselepolygon maximal enthalten kann. Daher ist der Ansatz mit Hilfe der geometrischen Kompaktheit auf potenziell zu schließende Inselepolygone nicht zielführend.

Mit Hilfe der topologischen und attributiven Beziehungen zwischen Gebäudepolygonen, „Inselepolygonen der Überflutungsflächen“ und den „Überflutungstiefen an den Überflutungsflächenkanten“ konnte die Detektion der Fehlerkategorie I erreicht werden. Bei den Überflutungstiefen an den Überflutungsflächenkanten handelt es sich um ein Zwischenprodukt aus der Berechnung des Fall 1. Es sind die Ergebnispunkte (im Weiteren „Untersuchungspunkte“ genannt) aus der Nachbarschaftsanalyse des Wasserspiegels, des DGMs und der Überflutungstiefe.

Im ersten Schritt der Methode wurden die Inselepolygone in den Überflutungsflächen wie oben beschrieben topologisch identifiziert. Anschließend erfolgte eine Reduktion der Inselepolygone auf solche, die Gebäude in einer Distanz der zweifachen Rasterauflösung (hier 2m) von der Inselepolygonkante beinhalten (Abb. 55: gelbes Gebäude). Diese Distanz wird aus der Berechnung des ersten Falls aufgegriffen. Während im ersten Fall die Gebäude innerhalb



Abb. 55: Fehlerkategorie I Beispiel für Fall 1 und 2. Gebäude des ersten Fall (orange). Gebäude des zweiten Fall (gelbe Fläche), Untersuchungspunkte (gelbe Punkte) Überflutungsfläche (blau, transparent mit roter Kante)



dieser Distanz betrachtet wurden, werden hier die Gebäude außerhalb dieser Distanz zu den Polygonkanten betrachtet (Abb. 55, S. 59). Mit Hilfe der Ergebnispunkte aus der Nachbarschaftsanalyse des ersten Falls wurden die Polygone ein weiteres Mal reduziert. Es wurden nur die Inselpolygone weiter betrachtet, die zusätzlich an ihrem Rand ein abruptes Ende des Wasserspiegels von mehr als einem Fünftel der Rasterauflösung haben (Abb. 55: gelbe Punkte). Mit diesem Selektionsmerkmal wurde angenommen, dass in die Inselfläche Wasser fließt, wodurch auch Gebäude innerhalb des Inselpolygons potenziell gefährdet sind. Der Schwellenwert, ab dem ein Wasserspiegel als relevant eingestuft wird, wurde von der Berechnung des ersten Falls aufgegriffen und berücksichtigte die unterschiedliche Genauigkeit, die durch abweichende Rasterdaten im Zuge der Verallgemeinerung angenommen werden musste. Die Festlegung des Schwellenwerts, beruhte auf Erfahrungswerten, die mit den Testdaten im Zuge anderer räumlicher Analysen gewonnen werden konnten. Bei der Verallgemeinerung dieser Analyse muss dieser Faktor durch weitere Tests bestätigt werden. Das Vorgehen für die beschriebene Methode zur Berechnung des zweiten Falls ist in Abb. 56 (S. 60) schematisch dargestellt.

Durch die Anwendung der beiden Methoden konnten in der explorativen Datenanalyse alle Situationen aus den Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK abgedeckt werden. Die Validierung erfolgte mit Hilfe eines visuellen Vergleichs zwischen den Ergebnissen der Methoden und der Ausdehnung von georeferenzierten Bildern, die als Hilfsmittel den Stellungnahmen beigefügt sind. Die Bilder dokumentieren die einzelnen

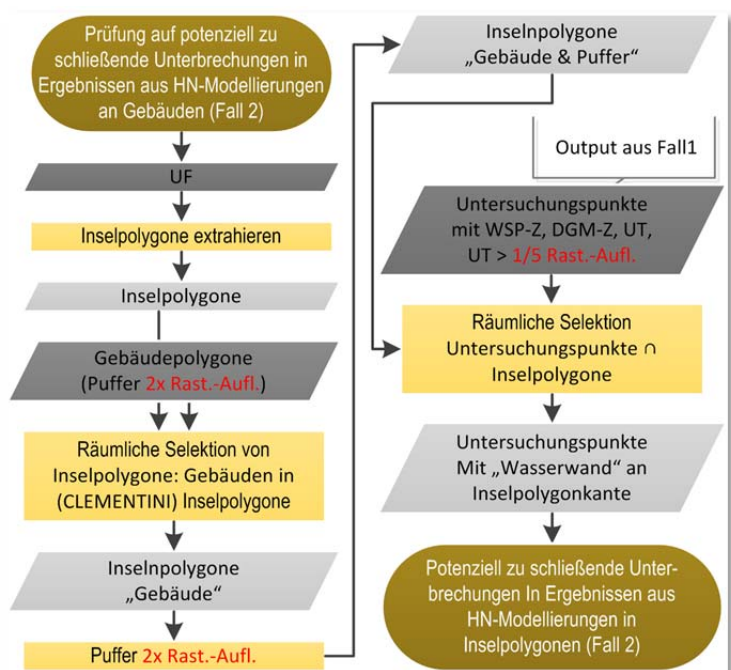


Abb. 56: (Fall 2) Potenziell zu schließende Unterbrechungen In Ergebnissen aus HN-Modellierungen an Gebäuden bei Inselpolygonen. Legende s. vorherige Abbildung

Anmerkungen in den Stellungnahmen. Die prototypische Realisierung dieser Fehlerkategorie erfolgt in Abschnitt 4.8 „FK-I: Ausgesparte Gebäude & Gebäudeinseln“ (S. 84).

## 3.2 Allgemeine Maßnahmen

In diesem Kapitel werden allgemeine Maßnahmen für die fachliche QS von HN-Modellierungen beschrieben. Während der Bearbeitung der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Fehlerkategorien wurden durch die Interviewpartner (MATTES 2014, SOMMER 2014, ZEISLER 2014) Vorgehensweisen und Methoden aus der Praxis benannt. Daraus wurden im Rahmen dieser Arbeit Maßnahmen abgeleitet. Sie werden neben den Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) als notwendig für die fachliche QS der HWGK erachtet und ergänzen den erstellten Ansatz des Methodenpakets zur Unterstützung der QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen.

Im Sinne der Allgemeingültigkeit sind die hier genannten Maßnahmen hinsichtlich der räumlichen Größe, der Komplexität einer HN-Modellierung oder deren organisatorischen Abläufen unabhängig von der QS der HWGK beschrieben. Maßnahmen wie eine Schnittstellendefinition für den Dateneingang und -ausgang zwischen Bearbeitungsstationen, die automatisierte technische Prüfung der übergebenen Daten, sowie Visualisierungsvereinbarungen können in der Praxis sowohl innerhalb einer kleinen Erstellungseinheit, wie einem Ingenieurbüro mit wenigen Akteuren und Bearbeitungsstationen, als auch in großen Projekten mit einer Vielzahl von verteilten Aufgaben und Akteuren angewandt werden. Die im Folgenden vorgestellten Maßnahmen müssen je nach Anwendung noch um die entsprechenden jeweiligen projektspezifische Ansätze ergänzt werden, wie beispielsweise proprietäre Datenformate oder individuelle Software.

Die folgenden drei Maßnahmen wurden neben weiteren prozessoptimierenden und -steuernden Maßnahmen im Projekt HWGK eingesetzt. Diese haben in relevantem Umfang dazu beigetragen, die Projektlaufzeit der einzelnen Bearbeitungseinheiten zu senken (Auswertung der Projektberichte sowie MOSER 2012a, SOMMER 2014).

### 3.2.1 M I: Schnittstellendefinition & technische Prüfung

Geht man davon aus, dass es sich beim Gesamtprozess der Erstellung einer HN-Modellierung von der Datenrecherche bis zum fertigen Produkt um einen Prozess mit mehreren Akteuren und Stationen handelt, ist für die Übergabe der Daten zwischen diesen Stationen die Definition einer Datenschnittstelle notwendig, damit im Anschluss eine automatisierte Unterstützung der QS mittels räumlicher Analysemethoden möglich wird. Im ersten Schritt gilt es daher, eine Schnittstelle für den Dateneingang für die fachlichen QS zu definieren. Bei dieser Schnittstelle handelt es sich um die Definition von Formaten und Strukturen physischer Daten. Dateiformate sind vorhabenspezifisch und müssen für die Aufgaben der QS ausreichend beschrieben sein. Hierzu gehört je nach Datenart neben räumlichen Merkmalen wie der Orientierung, Auflösung und Projektion die attributive Formatierung. Diese Formatierung besteht im Wesentlichen aus der Festlegung des Datenformats und dessen Wertebereich oder einer Werteliste. Ein praktische Beispiel einer solchen Datenschnittstelle liefert MOSER (2009).

Ist eine entsprechend Datenschnittstelle definiert, können topologische Beziehungen und konkrete Attribute im Rahmen der räumlich analytischen Möglichkeiten geprüft werden. Für ein bei der fachlichen QS eingehendes Datenpaket bedeutet die Prüfung der Struktur und dessen Inhalt eine technisch-organisatorische Prüfung, die auch formale Prüfung (MATTES 2008:36, MOSER 2012b:Anl.11) genannt wird. Sie ist weitgehend von den in der Datenschnittstelle beschriebenen Definitionen abhängig und damit anwendungsspezifisch. Wird beispielsweise das Vorhandensein von einzelnen Datensätzen geprüft, ist die Behandlungsweise davon abhängig, ob es sich um Datenbankformate oder um dateibasierte Formate handelt. Während eine Prüfung der Existenz eines Datensatzes innerhalb eines Dateionders bei dateibasierten Formaten genügen kann, muss bei Datenbankformaten aufgrund von Beziehungen und Abhängigkeiten eines Datenbankmodells eine andere Prüfstrategie angewandt werden. In Anlehnung an das Leistungsverzeichnis nach MOSER (2009) werden im Folgenden (Abb. 57) einige der möglichen Eigenschaften genannt, die für Vektor- und Rasterdaten allgemein technisch geprüft werden können, und im Anhang durch eine Implementierung mittels ArcPy exemplarisch demonstriert (Anh. „*Demonstration einer technischen Qualitätsprüfung einer fiktiven Geodatenchnittstelle*“, S. 130).

<p><b>Allgemein</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Existenz des Datensatzes am erwarteten Speicherort</li> <li>▪ Korrektheit des Datenformats (Shape, DBase-Tabelle, Datenbankraster usw.)</li> <li>▪ Versionsprüfung des Formats</li> <li>▪ Vorhandensein von Inhalt im Datensatz, bzw. Datensatz ist nicht leer.</li> <li>▪ Räumliche Ausdehnung der Daten entspricht dem Untersuchungsgebiet</li> <li>▪ Vorhandene Projektion und deren Eigenschaften</li> <li>▪ Räumlicher oder inhaltlicher Differenz/Vergleich mit vorhandenen Ausgangsdaten</li> </ul>	
<p><b>Bei Vektordaten, je Attribut</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Datentyp</li> <li>▪ Format</li> <li>▪ Einhaltung des Wertebereichs oder der Werteliste</li> <li>▪ Vorhandensein von Inhalt, bzw. ist nicht leer.</li> </ul>	<p><b>Bei Rasterdaten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Auflösung</li> <li>▪ Zellorientierung (Die Ausrichtung der Zellmittelpunkte muss zwischen den verschiedenen Rasterdaten einheitlich sein. Als hilfreich hat sich die Prüfung mittels Referenzrasters bewährt.)</li> </ul>

Abb. 57: Mögliche Eigenschaften einer technischen Prüfung von Vektor- und Rasterdaten

### 3.2.2 M II: Automatisierte und standardisierte Darstellung

Eine weitere allgemeine Maßnahme ergibt sich aus dem Experteninterview mit ZEISLER (2014), in dem deutlich wurde, welcher zeitliche Aufwand für die Verarbeitung der eingehenden Daten bis zur eigentlichen fachlichen Bearbeitung anfällt. Dabei entstehen im Projekt HWGK wegen der großen Anzahl von Datensätzen Wartezeiten, die vor allem auf das Datenvolumen zurückzuführen sind. Bei den vorliegenden HWGK Testdatensätzen lag dieses Volumen zwischen 12 und 90 Gigabyte (s. Tab. 2, S. 17) je Bearbeitungseinheit. Durch die Definition einer Datenschnittstelle ist es in Folge der Maßnahmen aus dem vorherigen Abschnitt 3.2.1 „*M I: Schnittstellendefinition & technische Prüfung*“ (S. 62) möglich, dass die Visualisierung der

Daten automatisiert und standardisiert wird (PIMPLER 2013:Kap.3). Diese automatisierte und standardisierte Darstellung trägt dazu bei, Arbeitszeit in kostengünstigere Rechenzeit umzuwandeln (ROBNIK et al. 2011). Erst nach diesem Prozess werden die Ergebnisse aus HN-Modellierungen

von einer Person in Augenschein genommen.

Konkret wird als Maßnahme empfohlen, die Visualisierung des mittels Schnittstellendefinition festgelegten Dateneingangs wie auch die Ergebnisse der QS (Abschn. 3.1.2 bis 3.1.9) nach einem festgelegten Muster, ähnlich einem kartographischen Musterblatt in der systemspezifische Projektumgebung (z.B. *Quantum-GIS* oder *ESRI ArcGIS*), automatisiert darzustellen. Hierfür werden im Anhang (Anh. „*Demonstration einer automatisierten Visualisierung einer fiktiven Geodatenchnittstelle*“, S. 134) einige konkrete Anwendungsbeispiele gezeigt. Beispielsweise wird erläutert, wie mittels *ArcPy* (s. Abschn. 3.4. „*Soft- & Hardware*“, S. 65) eine Projektdatei erzeugt, mit Daten aus einer fiktiven Datenschnittstelle befüllt und nach spezifischen Vorgaben dargestellt werden kann.

### 3.2.3 M III: Offenlegung der QS-Analysemethoden

Wie die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Maßnahme der automatisierten und standardisierten Darstellung basiert auch diese Maßnahme auf Praxiserfahrungen der fachlichen QS im Projekt HWGK (ZEISLER 2014) sowie einer Empfehlung von BIELITZ (2008:572ff). Diese organisatorische Maßnahme besteht aus der Offenlegung und der Bereitstellung der Analysemethoden aus der QS an alle Beteiligten. Die Offenlegung dient dem besseren Verständnis und einer größeren Akzeptanz der QS. Durch die Bereitstellung der Methoden, was bestenfalls softwaregestützt geschieht, wird es allen Akteuren ermöglicht, ihre Ergebnisse entsprechend zu prüfen und auf diese Weise unnötige Prozessschleifen zu vermeiden. Dies setzt allerdings die Nutzung einer gemeinsamen technischen Basis der Akteure voraus. Diese wird in der Regel aus dem Zugriff auf die gleiche Software und ggf. Softwareversionen bestehen. Die Aufgabe der fachlichen QS ist bei dieser Maßnahme insbesondere die Prüfung der Fehlerkategorien, die nicht technisch unterstützt werden. Die Offenlegung der QS hat neben dem beschriebenen zeitlichen Vorteil auch einen positiven Effekt auf die Projekt- oder Arbeitskulturr. Eine negative Rückmeldung aus der QS stellt für den jeweils betroffenen Akteur eine Kritik an der eigenen Arbeit dar. Dies bringt die gleiche negative Reaktion mit sich, wie sie FRÜHAUF et al. (2002:88f) für einen Review Prozess beschreiben. Ist der QS-Prozess offengelegt, werden auch die Akzeptanz und das Verständnis zwischen den beteiligten Akteuren gefördert.

### 3.3 Studiengebiet & Daten

Für die vorliegende Master Thesis kann auf Projektdaten der HWGK zurückgegriffen werden. Wie im Abschnitt 2.2 „Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg“ (S. 10) bereits erwähnt, beläuft sich der Projektdatenbestand auf etwa 50 Terrabyte. Dies beinhaltet Entwurfsdaten sowie finalisierte Daten der rund 140 Bearbeitungseinheiten der HWGK in Baden-Württemberg. Bei Wiedervorlage einer Bearbeitungseinheit durch einen Auftragnehmer beim Auftraggeber, beispielsweise wegen einer nicht bestandener QS, werden die Daten einer Bearbeitungseinheit entweder insgesamt oder inkrementell bereitgestellt. Die

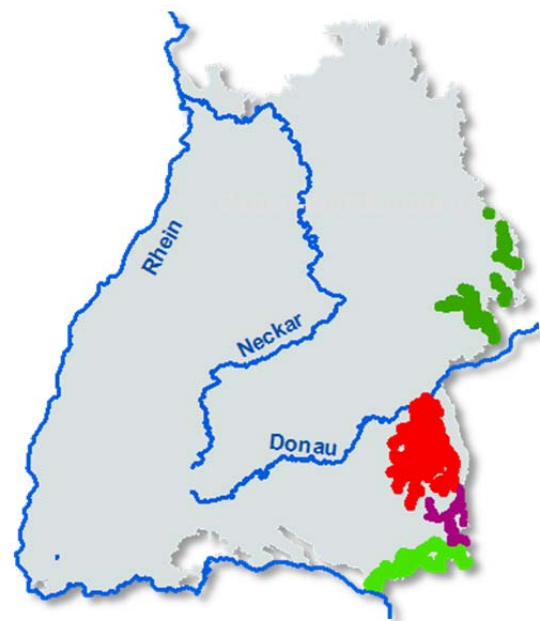


Abb. 58: Lage der Testgebiete

■ Brenz, Egau, Eger & Rotach     ■ Aitrach  
■ Argen     ■ Riss & Rot

Lieferung selbst kann wiederum in mehreren Teilen erfolgen. Jeder Dateneingang beim Auftraggeber wird im unveränderten Abgabestatus archiviert, sowie als Bearbeitungsstand für die auftraggeberseitige QS und die weiterverarbeitenden Prozesse vorgehalten, wodurch sich das sehr große Datenvolumen erklärt. Der Datensatz der QS ist strukturell und inhaltlich homogenisiert. Der dafür notwendige Aufbereitungsprozess ist erforderlich, da innerhalb der Projektlaufzeit von mehr als 10 Jahren sechs wesentliche Varianten des Leistungsverzeichnisses für die hydraulischen Berechnungen aufgestellt werden mussten, um den sich ändernden Anforderungen gerecht zu werden (MATTES 2014).

Aus dem HWGK Datenbestand konnten die nachstehenden Bearbeitungseinheiten entsprechend der vorliegenden Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK in dieser Master Thesis genutzt werden. Die Testdaten (Abb. 58) haben ein Datenvolumen von zusammen knapp **240 Gigabyte**, repräsentieren rund **725 Gewässerkilometer** in vier Bearbeitungseinheiten und weisen dabei insgesamt **241 Fehler** laut der Stellungnahmen auf (s. Tab. 2, S.17):

- TBG 100 Argen
- TBG 642 Riß/Rot
- TBG 643 Aitrach
- TBG 652 EZG Brenz, Egau und Eger, sowie Rotach

Die ausgewählten Daten weisen eine hohe Fehleranzahl und –varianz auf (vgl. Tab. 2), sodass entsprechende Tests in der prototypischen Realisierung (Kap. 4, S. 66) durchgeführt werden können. Darüber hinaus konnte für diese ausgewählten Daten sichergestellt werden, dass diese im vollen Umfang und im erforderlichen Zeitrahmen für diese Master Thesis bereitstanden.

## 3.4 Soft- & Hardware

Die explorative Datenanalyse im Lösungsansatz sowie die prototypische Realisierung werden mit *ESRI ArcGIS 10 Service Pack 3*, den Erweiterungen *ESRI Spatial Analyst* und *ESRI 3D Analyst* durchgeführt. Die Methoden werden im Rahmen der prototypischen Realisierung so implementiert, dass eine Überprüfung der Machbarkeit möglich ist. In wenigen Fällen ist der *ESRI Model Builder* dafür ausreichend. In den überwiegenden Fällen wird die Skriptsprache *Python* und das *ESRI* spezifische Python Site Package *ESRI ArcPy* verwendet. Als Entwicklungsumgebung dienen *Microsoft Visual Studio 2010* mit der Erweiterung *Python Tools for Visual Studio* von *Code Plex* sowie *PyScripter*. In *Python* lassen sich gegenüber dem *ESRI Model Builder* beispielsweise Variablen, die zur Laufzeit berechnet werden, einfacher realisieren. Darüber hinaus können *Python*-Funktionen verwendet werden, die über das Geo-Package *ArcPy* hinausgehen. Hierzu zählen beispielsweise Systemoperationen oder der Umgang mit komprimierten Daten.

Die Wahl der Software für diese Arbeit fiel auf die *ESRI* Produkte, da diese auch im Projekt HWGK eingesetzt werden. Dadurch konnte der Aufwand für die Datenaufbereitung begrenzt werden, da die Datenhaltung der Rasterdaten des Projektes HWGK im proprietären *ESRI GRID* Format und die der Vektordaten in der Regel im *ESRI* spezifischen Datenbankformat *file geodatabase* erfolgte.

Die verwendeten *ESRI* Produkte sind für die prototypische Realisierung nicht zwingend erforderlich. Alternativ sollte der Lösungsansatz mit jedem automationsfähigen GIS durchführbar sein. Beispielsweise ist auch eine Automatisierung mittels der Open Source Software *Quantum GIS* ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)) denkbar. Auch diese Software verwendet *Python* u. a. für die Prozessautomation. Auf einen Machbarkeitsnachweis mit dieser Software muss im Rahmen dieser Master Thesis allerdings aus Zeitgründen verzichtet werden.

Für die explorative Datenanalyse, die prototypische Realisierung und die Tests ganzer HWGK Bearbeitungseinheiten wurde Hardware mit der folgenden Spezifikation eingesetzt:

- Dell XPS 8500
- 16 GB RAM
- Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz
- 150 GB SSD
- Microsoft Windows 7 64-bit Service Pack 1

Da sich die Rechenleistung der Hardware stark auf die Rechenzeit der getesteten Methoden auswirkt und die Rechenzeiten bis auf wenige Ausnahmen in der prototypischen Realisierung angegeben werden, bieten diese Informationen die Möglichkeit, den Rechenaufwand für die hier abgelaufenen Prozesse durch den Vergleich mit eigenen Erfahrungswerten einzuordnen.



## 4 Prototypische Realisierung

Die prototypische Realisierung dient als Machbarkeitsnachweis für die im Kapitel 3 „Lösungsansatz“ (S. 21) gefundenen Methoden, sowie der weiteren Ergänzung des theoretischen Lösungsansatzes. Die verwendeten Daten wurden im Abschnitt 3.3 „Studiengbiet & Daten“ (S. 64) dargestellt und die verwendete Soft- und Hardware in Abschnitt 3.4 (S. 65) erläutert.

Die folgenden Abschnitte entsprechen den im Lösungsansatz beschriebenen Methoden für die Fehlerkategorien (s. Abb. 79, S. 88). Jede Methode wurde zuerst anhand eines kleinräumigen Datensatzes umgesetzt. Darauf aufbauend wurde mittels der vorliegenden Realdaten (Tab. 2, S. 17) getestet, in wieweit die Ergebnisse mit denen der Stellungnahmen der QS HWGK übereinstimmen. Darauf aufbauend konnten Aussagen zur Nutzbarkeit der Methoden getroffen werden.

Die Unterabschnitte je Fehlerkategorie – mit Ausnahme des Abschnitts 4.1 „Gemeinsame Komponenten“ (S. 66) – werden jeweils in drei Teile gegliedert. Der erste Teil beschreibt die spezifische **Umsetzung** der jeweiligen Methode aus dem Lösungsansatz. Der zweite Teil dokumentiert den **Realdatentest** und der dritte Teil beschreibt die Umsetzung und vor allem die Erkenntnis aus dem Realdatentest in einer **Zusammenfassung**.

### 4.1 Gemeinsame Komponenten

#### 4.1.1 Gewässer- & Vorlandbereich

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.1.1 „Gewässer- und Vorlandbereich“ (S. 23).

Tab. 4: Eingangsdaten und Parameter der Methodik zu Gewässer- & Vorlandbereich

##### Eingangsdaten

- Vermessungspunkte (meist aus terrestrischen Geländeaufnahmen)
  - alternativ Überflutungsfläche mit geringer Jährlichkeit, z.B. HQ<sub>2</sub>
  - oder vorliegende flächige Gewässergeometrie für den Gewässerbereich
- Hydraulisch plausibles DGM (zur Repräsentation des Modellbereich)

##### 4.1.1.1 Umsetzung des Gewässerbereichs

Im Abschnitt 3.1.1.1 „Gewässer- und Vorlandbereich“ (S. 23) werden die oben genannten drei Möglichkeiten als Eingangsdaten für den Gewässerbereich beschrieben. In den beiden Fällen „Flächenhafte Gewässergeometrie für den Gewässerbereich“ und „HQ mit hoher Wahrscheinlichkeit, z.B. HQ<sub>2</sub>“ liegen flächige Geometrien vor, die als Gewässerbereich direkt bzw. nach einer visuellen Kontrolle verwendet werden können. Für den Fall, dass codierte Punktdaten aus der Querprofilvermessung vorliegen, ist eine Transformation erforderlich. Dazu wurden sogenannte „out of the box“ (oder auch „generische“) Werkzeuge der genutzten

Software untersucht. Dabei kommt die Operation der „engsten Umhüllenden“ (ESRI: „Convex Hull“) dem Vorhaben am nächsten. Durch die Mäander im Gewässer führt die Transformation der Punkte zu Polygonen, aber nicht zu einem hinreichend genauen Ergebnis, wie in Abb. 59 zu sehen ist.

Alternativ wurden Operationen analysiert, die aus Punkten in einem Zwischenschritt die linke und rechte Uferlinie erzeugen und aus den Linien wiederum ein Gewässerpolygon erstellen. Hierbei sind bei den vorhandenen Operationen umfangreiche Vorarbeiten zu leisten. Es müssen bei der Operation „Punkte zu Linien“ (ESRI: „points to line“) in Textform die Koordinaten von Start-, Stütz- und Endpunkt vorhanden sein, sowie weitere Bedingungen eingehalten werden, wodurch der Aufwand der Umsetzung der Methode dem Ziel widerspricht, eine



Abb. 59: Punkte zu Polygon Operation mit Convex Hull

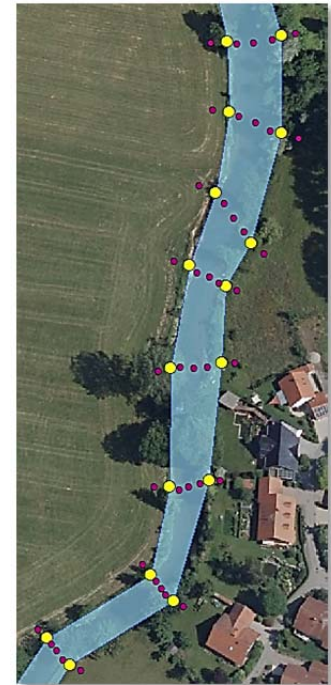


Abb. 60: Punkte zu Polygon Operation mit dem ArcPy Geometry-Objekt

Kleinste Umhüllende
  Mittels ArcPy erstellte Gewässergeom.
  linke oder rechte Böschungsoberkante
  restliche Profilpunkte

Unterstützung der QS zu bewirken. Aber es kann festgehalten werden, dass die Information der Punktreihenfolge und des Punkttyps wichtig sind. Letzteres, da mindestens zwei Arten von Punkten behandelt werden, nämlich Böschungsoberkante-links und -rechts vom Gewässer. Das bedeutet, dass eine Voraussetzung für die Vermessungspunkte die Attributierung des Punkttyps und der Reihenfolge ist. Die Attributierung des Punkttyps differenziert im Falle von Vermessungspunkten, um welche Art von Vermessungspunkt es sich handelt (vgl. Abschn. 3.1.1.1 „Gewässer- und Vorlandbereich“, S. 23: Vermessungspunkte). Im vorliegenden Fall sind die linke und rechte Böschungsoberkante des Gewässers von Interesse. Deshalb muss eine Differenzierung nach der Gewässerseite vorliegen. Bei der Vermessung der Punkte ist zudem die Abfolge der Profile entlang des Gewässers zu dokumentieren.

Wie in den ersten beiden Ansätzen dieses Abschnitts festgestellt, konnten mit keiner Standardoperation von ESRI ArcGIS das gewünschte Ergebnis erzeugt werden. Mit der beschriebenen Punktinformation und der Geometrieobjektklasse von ArcPy konnten allerdings eine Gewässergeometrie aus Vermessungspunkten erzeugt werden (Abb. 60), wobei die Vorarbeit, d.h. das Einlesen und Sortieren der Punkte den meisten Aufwand verursachte. Das

im Rahmen dieser Master Thesis erarbeitete ArcPy Skript ist im Anhang enthalten (Anh. „Gemeinsame Komponenten – Gewässer“, S. 110).

#### 4.1.1.2 Umsetzung des Vorlandbereichs

Im Projekt HWGK liegt der Gewässerbereich in Form einer flächenhaften kartographisch aufbereiteten Gewässergeometrie vor. Sie wurde aus den Profilpunkten der terrestrischen Vermessung erstellt und kartographisch mittels Orthobildern nachbearbeitet, da die Geometrie auch zu Darstellungszwecken verwendet wird.

Das weitere Vorgehen zur Erzeugung des Vorlandbereichs bei der prototypischen Realisierung bestand aus dem Zwischenschritt der Erstellung der Modellfläche als Polygon. Sie wurde aus der Außengrenze des hydraulisch plausiblen Geländemodells abgeleitet. Danach folgte die geometrische Differenzbildung zwischen Modell- und Gewässerbereich, das Ergebnis stellt den Vorlandbereich dar. Das in dieser Master Thesis erarbeitete Skript zur Umsetzung des beschriebenen Vorgehens ist im Anhang enthalten (Anh. „Gemeinsame Komponenten – Vorlandbereich“, S. 112).

Da die drei Datensätze *Gewässer-, Vorland- und Modellbereich* für die weitere prototypische Realisierung mehrfach benötigt wurden, wurden alle Datensätze in den vorliegenden Testgebieten berechnet und durch eine visuelle Kontrolle geprüft, dazu wurden die Schritte des erarbeiteten Skripts manuell nachvollzogen.

Den größten Aufwand erzeugte die Erstellung des Gewässerbereichs, sofern dieser in Form von Vermessungspunkten vorlag. Das Ergebnis der Methodik waren drei Polygon-Themen: *Gewässer-, Vorland- und Modellbereich*, wobei gilt:

$$\text{Gewässerbereich} + \text{Vorlandbereich} = \text{Modellbereich}.$$

#### 4.1.2 Überflutungstiefen & –flächen

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.1.2 „Überflutungstiefe und -fläche“ (S. 25).

Tab. 5: Eingangsdaten und Parameter der Methodik zu Überflutungstiefen & -flächen

Eingangsdaten	Parameter
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Wasserspiegel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Flächengröße in m<sup>2</sup>, bis zu der Überflutungsflächen oder Inselepolygone optional gelöscht werden.</li> </ul>

**Umsetzung und Realdatentest:** Die prototypische Realisierung wurde, wie in Abschnitt 3.1.1.2 beschrieben und in Abb. 15 (S. 26) dargestellt umgesetzt. Zusätzlich wurde ein Parameter implementiert, mit dessen Hilfe es möglich war, Flächen bis zu einer bestimmten Größe aus den Überflutungsflächen zu löschen (Abb. 61, S. 69). Besonders bei flachem Gelände treten eine Vielzahl von Kleinstflächen unter 100m<sup>2</sup> auf, die bei 1D HN-Modellierungen eine nicht vorhandene Genauigkeit suggerieren. Daher wurde mit diesem Bereinigungsparameter optional die Möglichkeit gegeben, diese Kleinstflächen zu filtern. Die Umsetzung erfolgte mit

ArcPy und ist im Anhang enthalten (Anh. „Gemeinsame Komponenten - Überflutungstiefen und -flächen“, S. 113). Die Laufzeit betrug 12 Minuten für die Berechnung des  $HQ_{100}$  mit der HWGK Bearbeitungseinheit *Argen*, ohne die Filterung von Flächen.

Zur Validierung der Ergebnisse wurde mit den Überflutungstiefen und -flächen jeweils die geometrische Differenz des entsprechenden Testdatensatzes an der *Argen* berechnet. Die errechnete Überflutungsfläche betrug  $15,7 \text{ km}^2$ . Die Überflutungsfläche der Testdaten betrug  $16,2 \text{ km}^2$ . In der gemeinsamen Schnittmenge der Überflutungsflächen konnte 2,3 % Abweichung zwischen den Werten der Überflutungstiefenraster ermittelt werden. Diese Abweichung lässt sich durch die ingenieurmäßige Nachbearbeitung der HWGK Daten erklären (MOSER 2009:31). Dabei wurden manuelle Korrekturen im Post-Prozess an den Ergebnissen entsprechend der errechneten Situation und den Projektvorgaben vorgenommen.

Die Ergebnisse dieses Prozesses waren zum einen Überflutungstiefen als Fließkommaraster und zum anderen Überflutungsflächen als Binärraster. Als weiteres Ergebnis wurden die Überflutungsflächen ohne Interpolation zu Polygonen (Vektordaten) transformiert, da dieses Format neben dem Rasterformat in den weiteren Methoden genutzt wird.



Ergebnis der Methode ohne  
Bereinigung

Ergebnis der Methode mit  
Bereinigung von  $100 \text{ m}^2$  Flächen und  
Löchern

Ergebnis der HWGK mit  
ingenieurmäßiger, manueller  
Bereinigung

Abb. 61: Ergebnisse der Überflutungsflächenberechnung im Vergleich

## 4.2 FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei Ergebnissen aus 1D-Modellierungen

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.2, „FK-A: Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung an Absturzbauwerken“ (S. 26).

Tab. 6: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie A „Sprünge im Wasserspiegel bei Ergebnissen aus 1D-Modellierungen“

Eingangsdaten		Parameter (Standardwert)
▪ Wasserspiegel		▪ Neigungsgrenzwert im Wasserspiegel (5°)
▪ Vorlandbereich (Abschn. 4.1.1)		▪ Mindestgröße für erkannte Bereiche mit überschrittenem Neigungsgrenzwert (10m <sup>2</sup> )
▪ Gewässerbereich (Abschn. 4.1.1)		
▪ Siedlungsbereich (optional)		
▪ Absturzbauwerk (optional)		
Ergebnisklassen		
<b>A</b>	<b>1</b>	Potenzieller Absturz hat Flächenanteile im <u>Gewässer</u> - sowie <u>Vorlandbereich</u> und berührt einen <u>Siedlungsbereich</u> oder enthält ein Absturzbauwerk.
<b>A</b>	<b>2</b>	Potenzieller Absturz hat Flächenanteile im <u>Gewässer</u> - sowie <u>Vorlandbereich</u> .
<b>A</b>	<b>3</b>	Potenzieller Absturz hat nur Flächenanteile im <u>Gewässerbereich</u> .
<b>A</b>	<b>4</b>	Potenzieller Absturz hat nur Flächenanteile im <u>Vorlandbereich</u> .

**Umsetzung:** Für die Datenexploration und die Umsetzungstests lag insgesamt nur ein Fehler dieser Fehlerkategorie vor. Es handelt sich um den Testdatensatz der *Aitrach*. Dies schränkt die Aussagekraft hinsichtlich der Parameterstandardwerte und der Vergleichsergebnisse ein. In der explorativen Datenanalyse konnte beim vorliegenden Fehler am *Schmiedebach* (Gemeinde *Bad Wurzach*, Baden-Württemberg) im Bereich der Fehlstelle eine Neigung zwischen 5° und 13° festgestellt werden, weswegen der Standardwert der Neigungsgrenze bei 5° festgelegt wird. Mit dem Neigungsparameter wurde festgelegt, ab wann eine Neigung als potenzieller Absturz definiert wird. Die Flächengröße eines potenziellen Absturzes wurde ebenfalls parametrisiert, da ohne eine Einschränkung dieses Parameters 167 von 766 detektierten Flächen unter der Auflösung des Wasserspiegelrasters von 1 m<sup>2</sup> lagen. Nach empirischer Betrachtung wurden Flächen ab 10 m<sup>2</sup> als relevant eingestuft, wodurch wiederum knapp 500 von 766 dieser Flächen entfielen. Auf die zonale Betrachtung und die Pufferung aus dem Lösungsansatz konnte verzichtet werden, da die Flächen, welche die Sprünge repräsentieren, nicht wie im Lösungsansatz erwartet, fragmentiert vorliegen sondern diskrete Polygone bilden.

Des Weiteren wurden verschiedene Klassen der Fehlerkategorie A in Abhängigkeit der Flächenanteile am Gewässer- sowie Vorlandbereich und optional am Siedlungsbereich eingeführt (Tab. 6). Im Interview mit ZEISLER (2014) wurde deutlich, dass ein Absturz im Siedlungsbereich im Rahmen der QS kritischer zu bewerten ist als außerhalb von Siedlungsbereichen. Eine Klasse „sonstiges“ wurde nicht benötigt, da der Vorland- und der Gewässerbereich sich zum Modellbereich ergänzen, wobei der Modellbereich gleichzeitig den



gesamten Untersuchungsraum umfasste. Daher musste jeder potenzielle Absturz mindestens einem Vorland- oder Gewässerbereich zugeordnet werden können. Die Klassen wurden entsprechend ihrer Restriktionen absteigend angelegt, wobei die Klasse A1 die meisten Restriktionen beinhaltet.

Die explorative Datenanalyse und der methodische Aufbau konnte weitgehend mit dem *ESRI Model Builder* durchgeführt werden. Die eigentliche prototypische Realisierung wurde mit ArcPy umgesetzt. Eine lauffähige Version des erarbeiteten Skripts ist im Anhang enthalten (Anh. „Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierungen“, S. 114). Das Ergebnis dieser Methodik sind Polygone, die potenzielle Abstürze darstellen, welche den Klassen in Tab. 6 (S. 70) zugeordnet werden.

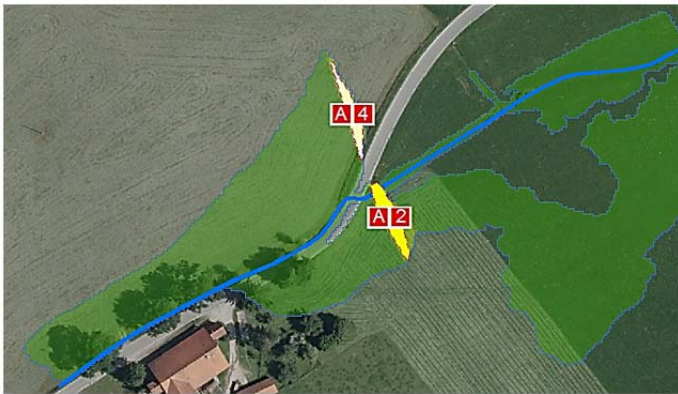
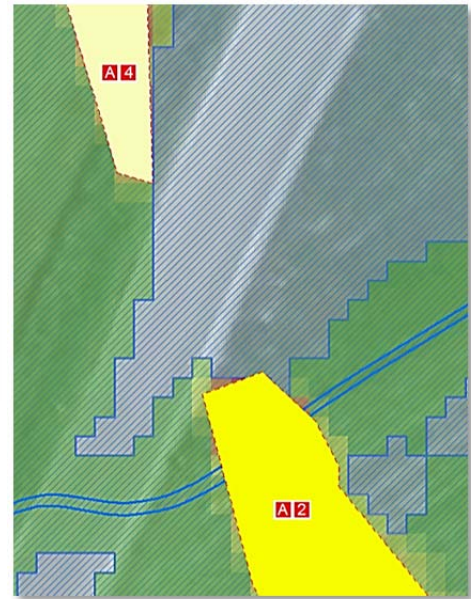


Abb. 62: (oben) Ergebnisdarstellung von ins Vorland übertragenem Absturz im Wasserspiegel

Abb. 63: (rechts) Detailansicht der Ergebnisdarstellung von Sprüngen im Wasserspiegel. Der Fehler A2 liegt sowohl im Gewässerbereich (blau schraffiert), als auch im Vorlandbereich (hellblaue Fläche). Der potenzielle Fehler A4 liegt ausschließlich im Vorlandbereich



**Realdatentest:** Die Ergebnisklasse A2 stellt den Fall dar, wie ihn die QS bisher behandelt. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Klasse A2 wurde bei einem Testlauf mit dem gesamten Bearbeitungsgebiet der *Aitrach* genau ein potenzieller Fehler detektiert (Abb. 62, Abb. 63). Dabei handelte es sich um denselben Fehler, der auch in der entsprechenden Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK beanstandet wurde. Ob die mit Hilfe der räumlichen Analysemethoden detektierten potenziellen Fehler der anderen Klassen betrachtet werden, ist von der jeweiligen Aufgabenstellung der QS abhängig. Die Rechenzeit für das gesamte Bearbeitungsgebiet der *Aitrach* belief sich auf etwa 15 Minuten.

**Zusammenfassung:** Die Methode konnte erfolgreich implementiert werden. Die Aussagekraft der prototypischen Umsetzung ist dadurch eingeschränkt, dass nur ein Fehler dieser Kategorie zum Vergleich hinzugezogen werden konnte. Auf den Vorschlag, aus dem Lösungsansatz eine zonale Untersuchung sowie die Pufferung der detektierten potenziellen Abstürze durchzuführen, konnte aufgrund der positiven Testergebnisse verzichtet werden. Dafür konnten die gefundenen Abstürze optional durch Siedlungsbereiche und Absturzbauwerke weiter differenziert und klassifiziert werden.



### 4.3 FK-B: Übertragung des Wasserspiegels auf Rückström-, Hinterström- & Druckbereiche

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus den Abschnitten 3.1.3 „FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle“ (S. 29) und 3.1.4 „FK-C: Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege“ (S. 35), wobei in letzterem Fall nur der erste Teil „unterbrochene Vorlandabflüssen aufgrund von 1D HN-Modellierungen“ umgesetzt wird, da das methodische Vorgehen dem aus Abschnitt 3.1.3 entspricht. Die Behandlung des zweiten Teils „unterbrochene Fließwege aufgrund der Nutzung unterschiedlicher Geländemodelle bei 2D HN-Modellierungen“ wird im folgenden Abschnitt behandelt.

Tab. 7: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie B „Übertragung des Wasserspiegels auf Rückström-, Hinterström- & Druckbereiche“

Eingangsdaten		Parameter (Standardwert)
▪ Überflutungsfläche (Abschn. 4.1.2)		▪ Intervallgröße der „Detektionsgleichen“ (1m)
▪ Wasserspiegel		▪ Pufferung (doppelte Intervallgröße)
▪ Gewässergraph		▪ Mindestgröße für erkannte Bereiche (10m <sup>2</sup> )
Ergebnisklassen		
<b>B 1</b>	Zu prüfende Ausströmung mit Gefälle im Wasserspiegel	
<b>B 2</b>	Zu prüfender Druckbereich mit Gefälle im Wasserspiegel	

**Umsetzung:** Die Umsetzung wurde anhand des *Krebsbaches*, einem Nebengewässer der *Argen*, realisiert. Die Situation am *Krebsbach* enthält auf einer Länge von 3,2km nach Definition einer Mindestgröße sechs Ausström- sowie zwei Druckbereiche. In der vorliegenden Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK wurden zwei Rückströmungen zur Prüfung und ein zu löschender Druckbereich beanstandet, diese stellen ein Teil der sechs Ausström- und zwei Druckbereiche dar.



Abb. 64: Potenziell zu prüfende Ausström- und Druckbereiche mit Gefälle im Wasserspiegel. Auström- oder Druckbereiche (gelbe Fläche), Detektionsgraphen (gelbe Linien), Wasserspiegel (blau)

Die prototypische Realisierung wurde zweigeteilt. Der erste Teil wurde als Skript im Rahmen dieser Master Thesis erarbeitet, da einige der Operationen Variablen enthalten, die erst zur

Laufzeit berechnet wurden. Beispielsweise musste für die Erstellung von Punkten auf der Gewässerachse (Abb. 64, S. 72: grüne Punkte) die Anzahl Punkte in Bezug zur Länge des Gewässergraphen und des Punktabstandes gesetzt und berechnet werden. Daher war mit Blick auf die Variantenberechnung die Umsetzung per Skript im ersten Teil der prototypischen Realisierung flexibler gegenüber einer manuellen Vorgehensweise. Das im Rahmen dieser Master Thesis erarbeitete Skript setzt die Schritte des Lösungsansatzes bis zur Flächenerzeugung der Ausströmbereiche aus den Detektionsgraphen (Abb. 64: gelbe Linien) um. Der zweite Teil der Umsetzung wurde im Desktop GIS nachvollzogen. Je erkanntem Bereich wurde mittels zonaler Berechnung der niedrigste und höchste Wasserspiegelwert sowie deren Differenz als Information für die QS errechnet. Zudem konnte die Methode um eine Klasse erweitert werden, in dem durch topologische Prüfung festgestellt wurde, ob bei dem erkannten Bereich ein Druckbereich vorlag. Ein Druckbereich definiert sich durch seine diskrete Lage ohne Verbindung zum Hauptwasserkörper. Durch diese Eigenschaft konnten Druckbereiche separiert werden, indem Überflutungsflächen ohne Berührung des Gewässergraphen räumlich selektiert wurden (Tab. 7, S. 72).

**Realdatentest:** Es wurden drei Testläufe mit 1, 2 und 5m Abstand der Detektionsgraphen durchgeführt und eine Mindestgröße der Ergebnisfläche von 10m<sup>2</sup> nach explorativer Datenanalyse festgelegt. Im Falle des 5m Abstandes für die Detektionsgraphen wurde lediglich eine Ausströmung zerlegt in drei Teilflächen erkannt, wovon zwei Teilflächen nach Anwendung der Mindestgröße entfallen sind. Bei dem erkannten Bereich handelte es sich um einen der beiden Druckbereiche im Testgebiet. Dieser Druckbereich wurde mit weniger als der Hälfte seiner eigentlichen Fläche erkannt.

Der Testlauf mit 2m Abstand für die Detektionsgraphen ermittelte alle acht Ausström- und Druckbereiche, die mit 17 Flächen abgedeckt wurden und von denen nach Abzug der Mindestgröße 11 Flächen verblieben.

Der Testlauf mit 1m Abstand für die Detektionsgraphen ermittelte ebenfalls alle acht Ausström- und Druckbereiche. Nach Abzug der Mindestgröße verblieben 14 von 22 Ergebnisflächen.

Wie in Abb. 65 (S. 74) im mittleren und rechten Ausschnitt exemplarisch zu sehen ist, erkannte nicht das dichteste Detektionsgraphen-Intervall mit 1m die Fläche des Druckbereiches am besten, sondern das 2m Intervall. Unter Betrachtung der eingeblendeten Detektionsgraphen wird deutlich, dass die Kerben im Nordwesten und Süden durch die zu geringe Pufferung entstanden sind, da die Pufferdistanz als lineare Funktion in Abhängigkeit des Detektionsgraphen-Intervalls angelegt wurde. Weitere Tests mit beispielsweise einer exponentiellen Funktion konnten aus Zeitgründen im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgenommen werden.

Beim Vergleich aller Ergebnisflächen, in denen die acht Auströmungs- und Druckbereiche in den Testläufen mit 1 und 2m Intervallen erkannt wurden, unterschieden sich die

Ergebnisflächen um weniger als ein Prozent. Der Druckbereich in Abb. 65 zeigt somit ein Extrem.

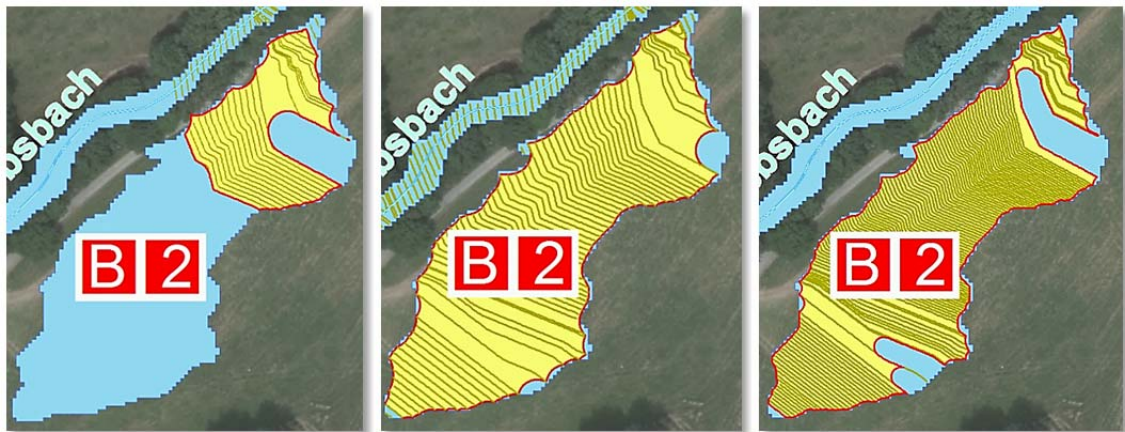


Abb. 65: Exemplarisches Ergebnisse der Fehlerkategorie B und C an einem Druckbereich. (l.) 5m, (m.) 2m, (r.) 1m Abstand der Detektionsgraphen

**Zusammenfassung:** Die beschriebene Methode aus dem Lösungsansatz konnte prototypisch umgesetzt werden. Alle Ausström- oder Druckbereiche im Testgebiet konnten ebenfalls festgestellt werden. Es wird empfohlen, das Intervall der Detektionsgraphen nach Möglichkeit gering zu halten. Mit steigendem Intervall sollte die Pufferdistanz herabgesetzt werden, da ansonsten zu viele der potenziellen Fehlstellen miteinander verschmolzen werden. Zudem sollte eine exponentielle Funktion statt der hier verwendeten linearen für die Pufferdistanz untersucht werden. Zuletzt konnte die Methode des Lösungsansatzes um eine weitere Klasse ergänzt werden, welche die Druckbereiche von den restlichen Ausströmarten unterscheidet.

#### 4.4 FK-C: Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse zur Thematik von „unterbrochenen Fließwegen aufgrund der Nutzung unterschiedlicher Geländemodelle bei 2D HN-Modellierungen“ aus dem Abschnitt 3.1.4 „FK-C: Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege“ (S. 35).

Tab. 8: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklasse der Methodik zur Fehlerkategorie C „Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen“

Eingangsdaten	Parameter
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wasserspiegel</li> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Ausgedünntes Modell-DGM</li> <li>▪ Überflutungstiefen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mindestgröße für potenzielle Fehlstellen</li> <li>▪ Maximaler Abstand zwischen potenziellen Fehlstellen, innerhalb dessen die Fehlstellen zusammengeführt werden</li> </ul>
Ergebnisklasse	
<b>C 1</b> Lücke in den abgeleiteten Produkten von Ergebnissen aus 2D HN-Modellierungen	

**Umsetzung:** Die prototypische Realisierung erfolgte in diesem Fall als Modell des *ESRI Model Builder*, da der Prozess keine Kontrollstrukturen wie Schleifen oder laufzeitabhängige Variablen

enthält. Die Methode, wie sie im Lösungsansatz formuliert wurde, konnte mittels Map Algebra realisiert werden, wodurch sie gegenüber einer getesteten, zum Teil vektorbasierten Variante mit den vorhandenen Rahmenbedingungen (Abschn. 3.4, „Soft- & Hardware“, S. 65) überhaupt erst rechenbar war. Die ersten beiden Schritte bestanden aus der Erstellung von Überflutungstiefen und –flächen separat für jedes der beiden Geländemodelle mit dem Wasserspiegel. Anschließend erfolgte die Differenzenbildung zwischen den beiden resultierenden binären Überflutungsflächenrastern. Damit wurde der Ergebnisdatensatz erstellt, alle weiteren Schritte dienten lediglich der Präsentation. In den folgenden Schritten griff einerseits der oben angeführte optionale Parameter für die Mindestgröße von erkannten Fehlstellen als Filter, andererseits die Option, Fehlstellen innerhalb einer anzugebenden Distanz zusammenzufassen.

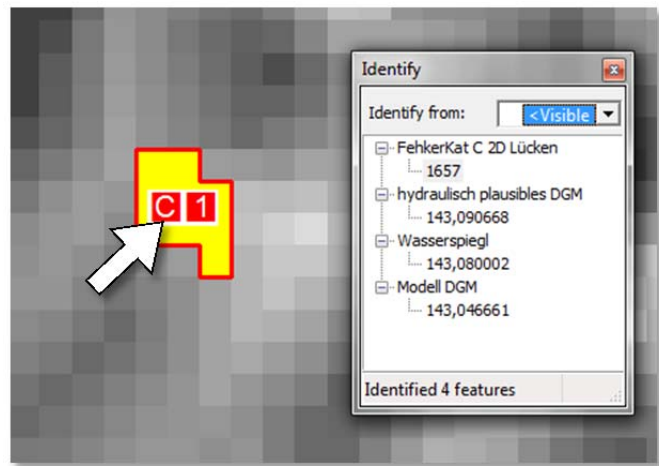


Abb. 66: (I.) Terrain der HWGK Berechnungseinheit Schutter. Die große Fläche im Nordwesten zeigt die flache Rheinebene

Abb. 67: (o.) Ergebnisdarstellung der Fehlerkategorie C (gelbe Fläche). Die Objektinformation („Identify“-Dialog) zeigt die Rasterwerte je beteiligtem Raster

**Realdatentest:** Für die Testläufe der Fehlerkategorie C wurde statt eines ausgedünnten Modell-DGMs das unbehandelte Eingangs-DGM<sup>5</sup> verwendet, welches als Eingangsdatensatz bei der Modellierung des hydraulisch plausiblen DGM verwendet wird. Dieser Schritt war notwendig, da das ausgedünnte Modell-DGM nicht zum Standardumfang der vorliegenden Datenpakete von HWGK Bearbeitungseinheiten gehört und somit keine entsprechenden realen Testdatensätze vorliegen. Die Abb. 66 zeigt das Testgebiet der Schutter im Überblick. Die große homogene Fläche im Nordwesten stellt einen Teil der Rheinebene dar. Hier sind gegenüber Regionen mit größerer Reliefenergie großflächige Überflutungsflächen mit Tiefen im Genauigkeitsbereich des Geländemodells zu erwarten (vgl. WALLISCH 2013:44). Bei realen Testdaten würde in diesen Bereichen am ehesten diese Fehlerkategorie zu erwarten sein, da großflächig geringe Überflutungstiefen nahe der Geländehöhe verlaufen.

<sup>5</sup> Es handelt sich im Falle der HWGK um das in einem halbautomatischen Verfahren nachbearbeitete Geländemodell des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg mit bereits eingearbeitetem terrestrisch vermessenem Flusschlauch.



Im Ergebnis des Rechenlaufs wurden für 2.615m<sup>2</sup> Überflutungsfläche von insgesamt 20,43km<sup>2</sup> Abweichungen errechnet und verortet. Dies entspricht 0,013% der Gesamtfläche. Abb. 67 (S. 75) zeigt die Ergebnispräsentation für eine der errechneten Flächen, die hier als Polygon gezeigt wird. Die Flächen bestehen aufgrund der nur sehr geringfügig voneinander abweichenden Geländemodelle größtenteils aus einzelnen Rasterzellen. Der nebenstehende Dialog in der Abbildung zeigt die Werte der beteiligten Datensätze einer Rasterzelle innerhalb der Fehlstelle. Aus den dargestellten Werten lässt sich erkennen, dass das als Modell-DGM verwendete Eingangs-DGM 34cm unter dem Wasserspiegel liegt, während das hydraulisch plausible DGM 1cm über dem Wasserspiegel liegt.

**Zusammenfassung:** Diese Realisierung lässt aufgrund der fehlenden Realdaten zwar keinen Vergleich mit den Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK zu, sie zeigt allerdings, dass sich potenzielle Lücken in den abgeleiteten Produkten von Ergebnissen aus 2D HN-Modellierungen detailliert berechnen lassen. Hierzu werden die beteiligten Geländemodelle jeweils in Bezug zum Wasserspiegel gesetzt und die Ergebnisse miteinander verglichen.

## 4.5 FK-F: Zu kleiner Modellbereich

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.6 „FK-F: Fehlstellen an Datenrändern“ (S. 42).

Tab. 9: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklasse der Methodik zur Fehlerkategorie F „zu kleiner Modellbereich“

Eingangsdaten	Parameter (Standardwert)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wasserspiegel</li> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Überflutungstiefen (Abschn. 4.1.2)</li> <li>▪ Überflutungsflächen (Abschn. 4.1.2)</li> <li>▪ Modellbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzahl/Größe der Zellen des Nachbarschaftsbereichs (3x3) für die Nachbarschaftsanalyse (fokale Betrachtung)</li> </ul>
Ergebnisklassen	
<b>F 1</b> Zu klein gewählter Modellbereich am Modellrand	

**Umsetzung:** Die im Lösungsansatz erstellte Methodik mittels Map Algebra konnte mit Hilfe des ESRI Spatial Analyst ausschließlich mit Rasterdaten realisiert werden, was der Stabilität und der Geschwindigkeit im Vergleich zu Vektortransformationen zugutekommt. Die Tests zur vektorbasierten Implementierung verliefen ergebnislos, da die verwendete Software aufgrund der Anzahl von Polygonstützpunkten die Daten nicht verarbeiten konnte. Bei der Implementierung mittels Map Algebra wurden lediglich für die Präsentation der Ergebnisse im letzten Schritt des Prozesses aus dem Ergebnistraster Polygonflächen erstellt.

Als optionaler Parameter wurde die Anzahl von Rasterzellen für die Kantenlänge des quadratischen Untersuchungsraums der *focal minimum* (TOMLIN 2012:70f,168) Operation angelegt. Mit diesem Untersuchungsraum wurde für jede Rasterzelle der Überflutungsfläche

die Nähe zur Modellgrenze geprüft. Der Standardwert wurde auf die direkten Nachbarn der zu untersuchenden Zelle beschränkt, folglich ist der Standardwert 3. Sofern bei der Analyse restriktiver vorgegangen werden soll und auch Flächen erkannt werden sollen, die einen bestimmten Mindestabstand zur Modellgrenze nicht einhalten, kann dieser Parameter entsprechend der gewünschten Mindestdistanz erhöht werden.

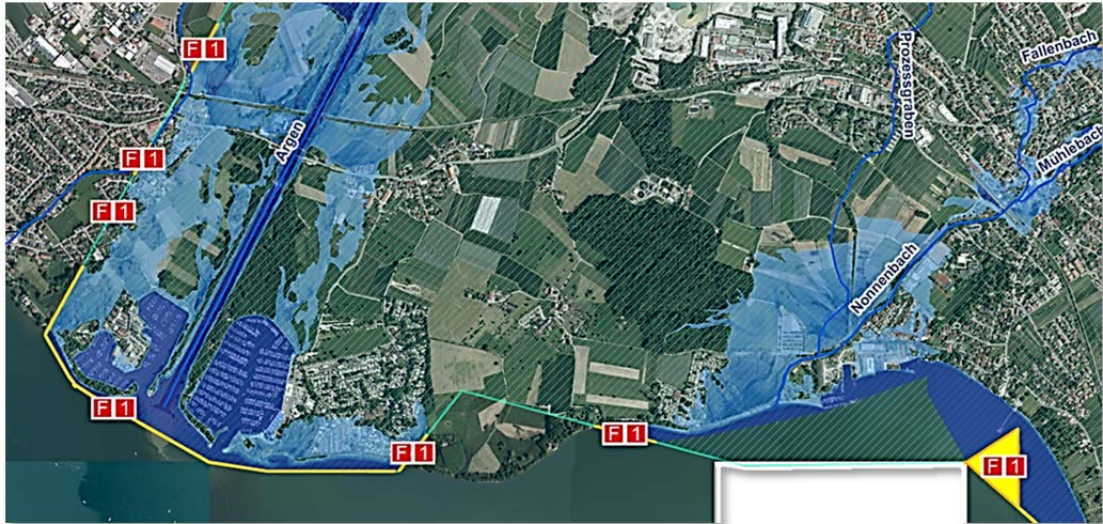


Abb. 68: Ergebnisdarstellung von potenziell zu klein gewähltem Modellbereich

**Realdatentest:** In der vorliegenden Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK ist zu erkennen, dass in der HWGK Bearbeitungseinheit *Argon* ein geeigneter Fehler vorliegt, der wie im Lösungsansatz angenommen am Modellrand liegt und sich somit als Testszenario eignet. Die Rechenzeit für die gesamte Bearbeitungseinheit (Tab. 2, S. 17: *Argon*) belief sich unter den in Abschnitt 3.4 („*Soft- & Hardware*“, S. 65) angegebenen Bedingungen auf 35 Minuten. Im Ergebnis zeigten die drei Fehler im Westen der Abb. 68, dass sich mit der umgesetzten Methodik die Fehler der QS erkennen lassen. Die im Süden der Abbildung gefundenen Fehler entstanden durch ein aus dem Modellbereich herausfließendes Gewässer (Mündungsbereich in den Bodensee). Daran ist zu erkennen, dass immer für jedes Gewässer und dessen Nebengewässer, die in den Modellbereich hinein- oder wieder herausfließen, ein Fehler in dieser Fehlerkategorie detektiert wird. Eine Topologieprüfung zwischen den Ergebnispolygonen dieser Fehlerkategorie und dem Gewässergraphen oder dem Gewässerbereich zur Filterung des zuletzt genannten Falles ergab, dass diese beiden Datensätze die Ergebnisse nicht zuverlässig reduzieren können, da den Geometrien oftmals die entscheidenden Rasterzellen bis zur Modellgrenze fehlten. Zwar besteht die Möglichkeit, mit einer Entfernungs- oder Nachbarschaftsanalyse die Ergebnisse zu reduzieren, allerdings zeigte sich in Versuchen, dass dabei auch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass tatsächliche Fehler ebenfalls reduziert, d.h. nicht erkannt werden. Daher wurde auf diese Einschränkung verzichtet. Das im Rahmen dieser Master Thesis entwickelte Skript ist im Anhang unter „*Zu kleiner Modellbereich*“ (S. 121) enthalten.



**Zusammenfassung:** Die Fehler dieser Fehlerkategorie können erkannt werden, sofern sie am Modellrand liegen. Zusätzlich werden Gewässeranschlüsse, die in den Modellbereich hinein- oder hinausfließen, detektiert. Die Ergebnisse werden als klassifizierte Polygone dokumentiert.

## 4.6 FK-G: Freibord an Deichen

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.7 „FK-G: Freibord an Deichen“ (S. 46).

Tab. 10: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie G „Freibord an Deichen“

Eingangsdaten		Parameter (Standardwert)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Wasserspiegel</li> <li>▪ Überflutungsflächen (Abschn. 4.1.2)</li> <li>▪ Deichgraph</li> <li>▪ Gewässergraph</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intervall der Deichkronenpunkte (2m)</li> <li>▪ Freibordvorgabe (0,5m)</li> <li>▪ Anzahl/Größe des Untersuchungsbereichs für die Nachbarschaftsanalyse (fokale Betrachtung) (3, für 3x3 Zellen)</li> </ul>
Ergebnisklassen		
<b>G</b>	<b>1</b>	Freibord ist nicht in Anspruch genommen
<b>G</b>	<b>2</b>	Freibord ist in Anspruch genommen
<b>G</b>	<b>3</b>	Deich gilt als überflutet

**Umsetzung:** Die prototypische Realisierung konnte in allen Teilen entsprechend der erstellten Methodik aus dem Lösungsansatz umgesetzt werden. Die nachstehenden wesentlichen Schritte wurden umgesetzt und in den Tests bestätigt:

- Bestimmung des Wasserspiegels unter der Deichkrone.
- Konnte kein Wasserspiegel unter der Deichkrone ermittelt werden:
  - erfolgte die Bestimmung der Wasserseite des Deiches
  - und danach die Ermittlung des nächsten Wasserspiegelwerts.
- Feststellung der potenziellen Inanspruchnahme des Freibords.

Wie in der Abb. 69 (S. 79) am südlichen Deich zu erkennen ist, ist die Bestimmung der Wasserseite des Deiches auch bei dessen Hinterströmung möglich. Die Verbindungen zwischen den Deichkronenpunkten und den jeweils errechneten nächsten Punkten auf der Gewässerlinie werden durch die gelben Linien präsentiert. In Abb. 70 (S. 79) lässt sich die Fallunterscheidung für Deichkronenpunkte mit und ohne direkt ermitteltem Wasserspiegelwert erkennen. Für Deichkronenpunkte mit Wasserspiegel (Abb. 70: blautransparenter Layer) direkt unterhalb der eigenen Koordinate müssen keine nächsten Punkte auf der Gewässerlinie gefunden werden, da die Wasserspiegelwerte direkt ermittelt werden können, daher existiert keine Verbindungslinie.

**Realdatentest:** Für die Tests wurden die Daten der Rems (83 Flusskilometer, Tab. 2, S. 17) verwendet, da für diese HWGK Bearbeitungseinheit entsprechende Ergebnisdaten sowie Daten

zur Sicherheitsbetrachtung des Freibords seitens HWGK zur Validierung der Testergebnisse vorlagen.

Die Methode konnte vollständig umgesetzt werden, sodass sie automatisiert für 135 Deiche, welche eine durchschnittliche Länge von 275 m (Länge min. 5 m, max. 1.700 m) aufweisen, durchgeführt werden konnte.

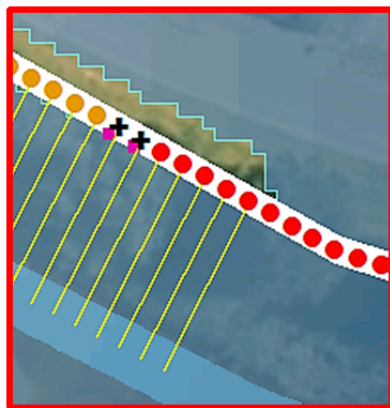












Abb. 69: (o.) Ergebnisdarstellung der Freibordbetrachtung in der Übersicht. Die Abbildung zeigt die Problematik des nicht erzielbaren Freibordstatus aufgrund der ESRI Operation „ExtractValuesToPoints“ (schwarzes „x“)

Abb. 70: (l.) Ergebnisdarstellung der Freibordbetrachtung im Detail

-  Wasserspiegel
-    Deiche mit Deichkronenpunkten
-  Der Freibord ist nicht in Anspruch genommen
-  Der Freibord ist in Anspruch genommen
-  Der Deich wird überflutet
-  Kein DGM oder WSP Wert ermittelt
-  Verbindungslinie zum nächsten Gewässerpunkt
-  Manuelle fokale Betrachtung

In zwei Rechenläufen wurde die Methodik mit unterschiedlichen Parametern getestet. Bei einem 5 m Intervall auf der Deichkrone ergaben sich 7.500 Deichkronenpunkte für die Untersuchung, wovon bei 3.050 (etwa 40%) kein Wasserspiegelwert festgestellt werden konnte (Abb. 69, Abb. 70). Die Rechenzeit betrug 45 Minuten.

Bei einem zweiten Test mit einem 2 m Intervall auf der Deichkrone ergaben sich 18.650 Deichkronenpunkte, wobei für 7.730 (etwa 41%) kein Wasserspiegelwert festgestellt werden konnte. Die Rechenzeit betrug in diesem Fall 55 Minuten.

Auffällig ist die hohe Anzahl von Deichkronenpunkte, für die keine Aussage zum Status des Freibords ermittelt werden konnte (Berechnungswert -9.999). Nach Untersuchung der Daten konnte die ESRI spezifischen „ExtractValuesToPoints“ Operation identifiziert werden, die trotz einer integrierten fokalen Interpolation keine Wasserspiegelwerte an den

Überflutungsflächenkanten lieferte, obwohl die Option „Null-Werte zu ignorieren“ aktiviert wurde und ausreichend Zellen ungleich Null für eine Berechnung vorhanden waren. Die 7.730 Deichkronenpunkte mit dem Ergebniswert von -9.999 wurden daraufhin manuell aus der Gesamtmenge der Ergebnispunkte extrahiert, in ein lagerichtiges Binärraster gewandelt und als Maske der generischen „focal statistic“ Operation des ESRI Spatial Analyst als Eingangswert angegeben. Dann wurde der letzte Schritt der Methodik manuell wiederholt. Die generische „focal statistic“ Operation untersuchte die Wasserspiegel in den 7.730 Punkten an der Wasserspiegelkante. Als Ergebnis konnten für alle zuvor fehlerhaften Deichkronenpunkte plausible und manuell nachvollziehbare Wasserspiegelwerte errechnet und eine Aussage zur Freibordsituation gegeben werden. Aus Zeitgründen wurde die „extract values to points“ Operation nicht im Skript (Anh. „Freibord an Deichen“, S. 122) ersetzt, beziehungsweise die generische „focal statistic“ Operation nicht implementiert.

Tab. 11: Klassifizierung entsprechend der HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen

Klassifizierung entsprechend der HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen: „Verbleibender Freibord bei HQ <sub>100</sub> “	
1	> 0,50 m verbleibender Freibord bei HQ <sub>100</sub>
2	0,26 - 0,50 m verbleibender Freibord bei HQ <sub>100</sub>
3	0,00 - 0,25 m verbleibender Freibord bei HQ <sub>100</sub>
4	< 0 m Überströmen bei HQ <sub>100</sub>



Abb. 71: (o.) Ausschnitt aus der Sicherheitsbetrachtung der HWGK. Die Klassifizierung zeigt den verbleibenden Freibord. Legende s. Tab. 11

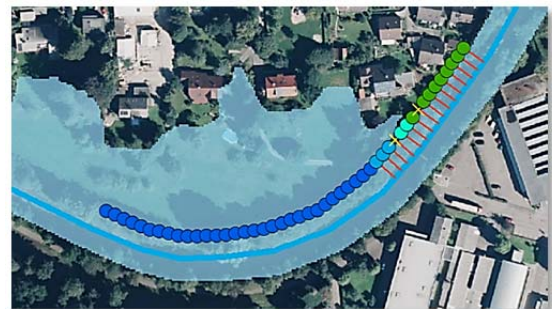
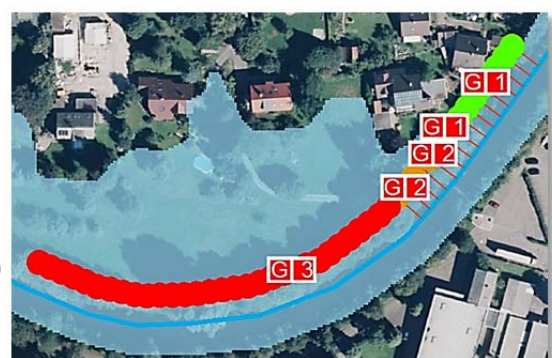


Abb. 72: (r.o.) Punktergebnisse der prototypischen Realisierung. Zum besseren Vergleich entsprechend der HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen klassifiziert

Abb. 73: (r.) Flächenergebnisse der prototypischen Realisierung. Klassifizierung entsprechend der Fehlerkategorien dieser Master Thesis. Legende s. Tab. 10



Die Ergebnisse wurden in 10 Fällen mit den vorliegenden Daten zur Sicherheitsbetrachtung der HWGK validiert, indem die Klassifizierung der HWGK für den Ergebnisdatensatz errechnet und angewandt wurde (Tab. 11). Die visuelle Prüfung der hier erstellen Ergebnisse entsprach in allen 10 Situationen den Ergebnissen der HWGK Sicherheitsbetrachtung der Deiche (Abb. 71, Abb. 72).

Die Ergebnisse enthalten als Attribute neben den absoluten Werten für DGM, Wasserspiegellage und Freibordstatus im jeweiligen Deichkronenpunkt die klassifizierte Freibordsituation entsprechend der drei Zustände des Freibords (s. Tab. 10, S. 78). Geometrisch werden die Ergebnisse als Vektorpunkte und im Zuge einer einheitlichen Präsentation der Ergebnisse im Rahmen dieser Arbeit als Vektorflächen erzeugt. Dabei werden die Deichkronenpunkte in einem letzten Schritt um die 5-fache Auflösung der Rasterdaten nach außen gepuffert (Abb. 73, S. 80) und entsprechend ihrer Klasse aufgelöst. Als weiteres Attribut ist die Klassifizierung entsprechend der HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen (Tab. 11, S. 80) enthalten. Die im Rahmen dieser Master Thesis erarbeitete Umsetzung ist als Skript im Anhang beigefügt (Anh. „Freibord an Deichen“, S. 122).

**Zusammenfassung:** Durch die manuelle Ergänzung der generischen „focal statistic“ Operation sowie die Validierung durch die Daten der Sicherheitsbetrachtung der HWGK im getesteten Bereich wurde gezeigt, dass die Methodik und die exemplarische Realisierung zuverlässige Werte errechnen können und den gewünschten Beitrag für die fachliche Qualitätssicherung in einer allgemeinen Form erbringen.

## 4.7 FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen & deichähnlichen Strukturen

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.8 „FK-H: Unstetiger Wasserspiegel an Deichen“ (S. 51).

Tab. 12: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie H „unstetiger Wasserspiegel an Deichen und deichähnlichen Strukturen“

Eingangsdaten		Parameter (Standardwert)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Wasserspiegel</li> <li>▪ Überflutungsflächen (Abschn. 4.1.2)</li> <li>▪ Deichgraph/Längsstruktur</li> <li>▪ Absturzbauwerke (optional)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anzahl/Größe des Nachbarschaftsbereichs für die fokale Betrachtung (Radius mit 5 Zellen)</li> <li>▪ Distanz für die Assoziation von potenziellen Fehlern zu Hochwasserschutzobjekten (20m)</li> </ul>
Ergebnisklassen		
<b>H</b>	<b>1</b>	unstetiger Wasserspiegel an Deich oder Längsstruktur
<b>H</b>	<b>2</b>	unstetiger Wasserspiegel

**Umsetzung:** Aufgrund der höchsten Fehlerzahl für diese Fehlerkategorie in den verschiedenen Testdatensätzen wurden die Daten der HWGK Bearbeitungseinheit *Riß* verwendet (Tab. 2, S. 17). Die Daten der *Riß* enthielten entsprechend der Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK sieben Anmerkungen, die auf einen unstetigen Wasserspiegel an einer Deich- oder Längsstruktur hinweisen.



Die sieben Situationen traten an folgenden Objekten auf:

- 2 Längsstrukturen (Straßendämme diagonal zu Fließrichtung),
- 2 Querbauwerke (Dämme) - unetweter Wasserspiegel an Querbauwerken,
- 1 unetweter Wasserspiegel an der Überflutungsflächenkante,
- 1 Mischform zwischen Längsstruktur und Querbauwerk.

Für keines der Objekte lagen in den Testdaten geometrische Informationen vor. Für weitere 95 Deiche und Dämme im Testgebiet, die keine Fehler im Wasserspiegel aufweisen, lagen Liniengeometrien vor.

Die Implementierung erfolgte im *ESRI Model Builder*, da sie ohne Kontrollstrukturen oder Variablen, die zur Laufzeit berechnet werden müssen, auskam (Anh. „*Unetweter Wasserspiegel an Deichen*“, S. 127). Für die Bildung des Untersuchungsraums als ein von der Wasserspiegelkante nach innen gerichtetes Band wurde die Überflutungsfläche nach innen gepuffert und Überflutungsflächen mit diesem Ergebnis ausgeschnitten. Die fokalen Operationen, die Differenzenbildung sowie die anschließende Neuklassifizierung konnten mittels Map Algebra umgesetzt werden. Die Assoziation der errechneten potenziellen Fehlstellen mit den Deichgraphen oder Längsstrukturen wurde vektoriell umgesetzt, nachdem zuvor die Rasterzellen zu Polygonflächen zusammengefasst wurden.

Im Ergebnis der Testläufe wurden neben den 7 Anmerkungen aus den Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK weitere 19 zusätzliche Situationen erkannt. D.h. es wurden insgesamt 230 weitere Flächen identifiziert, die anhand der Distanzbetrachtung 19 Dämmen oder Längsstrukturen zugeordnet werden konnten. Die Auswertung dieser zusätzlichen Situationen stellte sich wie folgt dar:

- Außerhalb einer Distanz von 20m zu einem Deich oder einer Längsstruktur lagen sieben Situationen.
- Innerhalb einer Distanz von 20m zu einem Deich oder einer Längsstruktur lagen 12 Situationen:
  - Fünf Situationen, die im Sinne der Fehlerkategorie als relevant angesehen werden, wurden vermutlich aufgrund der Lage außerhalb von Siedlungsflächen oder anderen kritischen Bereichen sowie aufgrund geringer Flächengröße nicht von der fachlichen QS der HWGK beanstandet.
  - An weiteren fünf Situationen waren Absturzbauwerke (z.B. Wehre) vorhanden, welche die Ursache für die Wasserspiegeldifferenz darstellen können.
  - Zwei Situationen konnten keiner Ursache zugeordnet werden.

Aufgrund dieser Auswertung wurde die Distanz für potenzielle Fehlstellen auf weniger als 20m Entfernung zum nächsten Deich oder der nächsten Längsstruktur gesetzt. Im Modell nicht realisiert wurde die räumliche Verschneidung mit den in der Auswertung genannten Absturzbauwerken. Dieser Abgleich wurde in der prototypischen Realisierung manuell vorgenommen, dazu wurden die Daten des *Anlagenkatasters Wasserbau Baden-Württemberg*

verwendet. Dabei wurden die Menge der potenziellen Fehler auf die fünf Fälle reduziert, die nach visueller Prüfung Bezug zu einem Absturzbauwerk haben.

Letztendlich konnten mit der entwickelten Methode in den Testläufen alle von der fachlichen QS der HWGK dokumentierten Fälle detektiert werden (bspw. Abb. 74). Darüber hinaus wurden nach Berücksichtigung der Fehler an Absturzbauwerken 14 weitere potenzielle Situationen eines un stetigen Wasserspiegels in Deich- oder Längsstrukturnähe ermittelt (bspw. Abb. 75, Abb. 76). Potenzielle Situationen außerhalb der Distanzbetrachtung wurden in die Fehlerklasse 2 aufgenommen, zu ihnen gehörten auch die sieben Fehler der fachlichen QS. Fehlstellen innerhalb der 20m Distanz zu Deichen oder Längsstrukturen erhielten die Fehlerklasse 1.



Abb. 74: Ergebnis der Fehlerkategorie H. Unstetiger Wasserspiegel (gelb) an einem Querbauwerk (grün)

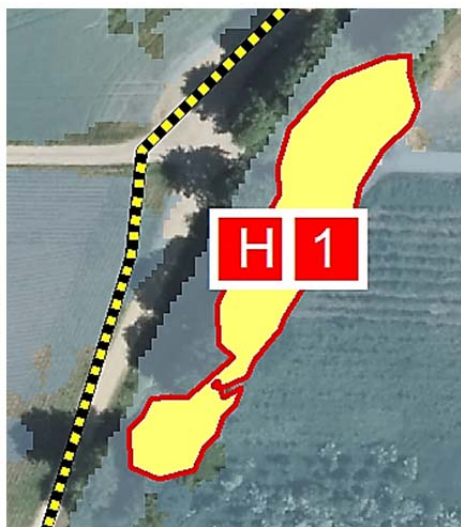


Abb. 75: Fehler der Kategorie H (gelb) zusätzlich zu den Anmerkungen der Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK, außerhalb von Siedlungsflächen an einem Deich (gelb/schwarz)

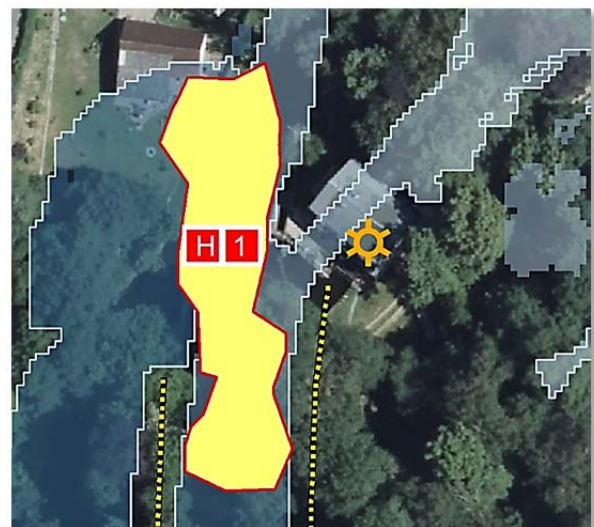


Abb. 76: Fehler der Kategorie H (gelb) zusätzlich zu den Anmerkungen der Stellungnahme der fachlichen QS der HWGK, im Radius von 20m von einem Wehr (orangenes Steuerrad) und einem Deich (gelb/schwarz)



## 4.8 FK-I: Ausgesparte Gebäude & Gebäudeinseln

Dieser Teil der prototypischen Realisierung bezieht sich auf die Überlegungen und die zugehörige explorative Datenanalyse aus Abschnitt 3.1.9 „FK-I: Zu schließende Löcher & Unterbrechungen an Gebäuden“ (S. 55).

Tab. 13: Eingangsdaten, Parameter & Ergebnisklassen der Methodik zur Fehlerkategorie I „ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln“

Eingangsdaten		Parameter (Standardwert)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hydraulisch plausibles DGM</li> <li>▪ Wasserspiegel</li> <li>▪ Überflutungsfläche (Abschn. 4.1.2)</li> <li>▪ Gebäudepolygone</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mindestüberflutungstiefe am Gebäude (20% der Rasterauflösung)</li> <li>▪ Maximale Distanz zwischen Gebäude und Überflutungsflächenkante (doppelte Rasterauflösung)</li> </ul>
Ergebnisklassen		
<b>I</b>	<b>1</b>	Ausgesparte Gebäude in Randlage mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Überflutungsflächengrenze
<b>I</b>	<b>2</b>	Ausgesparte Gebäude in Inselpolygonen mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Inselpolygongrenze
<b>I</b>	<b>3</b>	Potenziell abrupt endender Wasserspiegel in Randlage

**Umsetzung und Realdatentest:** Die Umsetzung konnte entsprechend dem theoretischen Lösungsansatz erstellt und getestet werden. Die in Abschnitt 3.1.9 „FK-I: Zu schließende Löcher & Unterbrechungen an Gebäuden“ (S. 55) definierten Fälle 1 bis 3 konnten im Folgenden analog zur Ergebnisdarstellung der anderen Fehlerkategorien durch die Fehlerklassen 1 bis 3 abgebildet werden. Die Umsetzung erfolgte für die Fehlerklasse 1 und 3 (Tab. 13) gemeinsam und für die Fehlerklasse 2 separat, da letztere auf Ergebnissen der Fehlerklasse 1 aufbaut. Beide Umsetzungen konnten prozedural realisiert werden, wodurch der *ESRI Model Builder* verwendet werden konnte. Beide Modelle sind im Anhang enthalten (Anh. „Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 1 und 3)“, S. 128; „Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 2)“, S. 129).

Bei der Berechnung der Fehlerklassen 1 und 3 wurden auf Basis eines HQ<sub>100</sub> an der Argen 56.660 Untersuchungspunkte entlang der Überflutungsflächenkanten erstellt und in die fokale Analyse einbezogen. Nach der Zuordnung zu den Gebäuden konnten 3.427 Untersuchungspunkte anhand der Gebäuden-ID zu 308 Multipart-Objekten zusammengefasst werden. 235 Multipart-Objekte lagen in den angemarkten Bereichen der HWGK-Stellungnahmen und deckten diese vollständig ab. Von den übrigen, zusätzlichen Multipart-Objekten wurden 10 als Stichprobe kontrolliert. Alle Stichproben enthielten Gebäude, die in Randlage der Überflutungsfläche ausgespart sind, wobei nicht alle als potenzieller Fehler aus fachlicher Sicht zu beanstanden wären. In drei Fällen waren am Objekt lediglich zwischen drei bis fünf Untersuchungspunkte vorhanden. Bei vier weiteren Objekten handelte es sich nicht um Wohn- oder in anderer Weise gefährdete Gebäude. Drei Fälle konnten als relevant im

Sinne der fachlichen Qualitätssicherung angesehen werden. Die Laufzeit für die Berechnung der Klasse 1 und 3 betrug durchschnittlich 3 Minuten für das Testgebiet an der Argen (vgl. Tab. 2, S. 17). Im Fall der Fehlerklasse 1 und 3 bestand das geometrische Ergebnis aus Vektorpunkten, die aus 1m Rasterzellen abgeleitet wurden. Diese ergaben zum Teil dichte Punkthaufen in der Nähe der untersuchten Gebäude. Um das Ergebnis übersichtlich zu präsentieren, wurden die Ergebnispunkte in Multipart-Geometrien je Gebäude zusammengefasst (Abb. 77). Bei den Attributdaten wurden die geringste, die höchste und die Überflutungstiefe je Multipart-Objekt zusammengefasst. Diese stehen der QS für ihre weitere Interpretation zur Verfügung.

Die Methode zur Ermittlung der Fehlerklasse 2 konnte ebenfalls in der gesamten HWGK Bearbeitungseinheit *Argen* getestet werden, wobei ein  $HQ_{EXTREM}$  und ein  $HQ_{100}$  zu Grunde gelegt wurden. Letzteres ist im Folgenden dokumentiert.

Die Ermittlung der Inselpolygone musste nicht durch Bearbeitung der Polygontopologie erfolgen, sondern konnte mit *ESRIs* „Eliminate“ und „Erase“ direkt auf die Überflutungsflächenpolygone angewandt werden (Anh. S. 128). Im Testgebiet waren 1.164 Gebäude durch die Überflutungsflächen betroffen, die Anzahl der Inselpolygone betrug 236. Die räumlichen und attributiven Selektionen in der Methode führten zur Reduktion der Menge von Inselpolygonen auf die fehlerrelevante Anzahl. Die Selektionen bauten aufeinander auf und stellen sich im Test wie folgt dar:

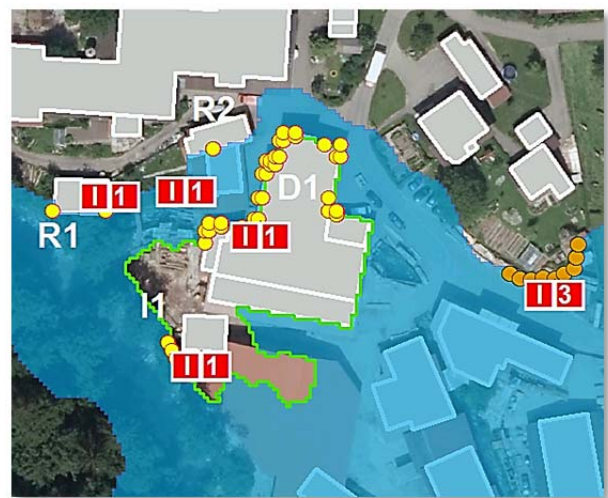


Abb. 77: Ergebnis der Fehlerklasse I-1 (gelb) und I-3 (orange). Inselpolygon (grün), Gebäude (grau), Überflutungsfläche (blau)

- Selektion G1 – Gebäude, die Inselpolygone schneiden: 249
- Selektion G2 - Gebäude G1 innerhalb (nach CLEMENTINI et al. 1993) von Inselpolygonen: 31
- Selektion G3 - Gebäude G2 innerhalb von Inselpolygonen mit einer Distanz von 2m zur Kante der Inselpolygone: 15
- Selektion I1 - Inselpolygone in den Überflutungsflächen insgesamt: 236 (min. Fläche 47m<sup>2</sup>, max. Fläche 4748m<sup>2</sup>).
- Selektion I2 – Inselpolygone I1 unter Berücksichtigung von G2: 20 (min. Fläche 603m<sup>2</sup>, max. Fläche 4316m<sup>2</sup>).
- Selektion I3 – Inselpolygone I2 unter Berücksichtigung von G3: 3.

Die Selektion G3 mit der Distanzberücksichtigung war notwendig, da in der Berechnung der Fehlerklassen 1 und 3 die Gebäude in Inselpolygonen bereits indirekt mit einbezogen wurden. Dort wurden Gebäude innerhalb eines Abstands von 2m (2fache Rasterauflösung) entlang der

Überflutungsflächenkante berücksichtigt. Zu dieser Kante zählten auch die Inselpolygone. In dieser Methode zu Fehlerkategorie 2 wurden solche Gebäude berücksichtigt, die außerhalb der Distanz von 2m zur Kante der Überflutungsflächen und innerhalb von Inselpolygonen lagen.

Die nächste und letzte räumliche Verschneidung fand zwischen der Selektion G3 und den Untersuchungspunkten aus der Berechnung der Fehlerklasse 1 und 3 statt. Die Untersuchungspunkte enthalten jeweils die Überflutungstiefen aus den fokalen Betrachtungen des Wasserspiegels und des DGMS. Dadurch wurde keine Reduktion der Inselpolygone erreicht, da sich in den verwendeten Testdaten an allen drei Inselpolygonen Untersuchungspunkte mit Überflutungstiefen größer 0,2m befanden. Im Ergebnis wurden die ermittelten Inselpolygone zur Dokumentation als potenzielle Fehler herangezogen. Zusätzlich konnten die selektierten Untersuchungspunkte und Gebäude präsentiert werden

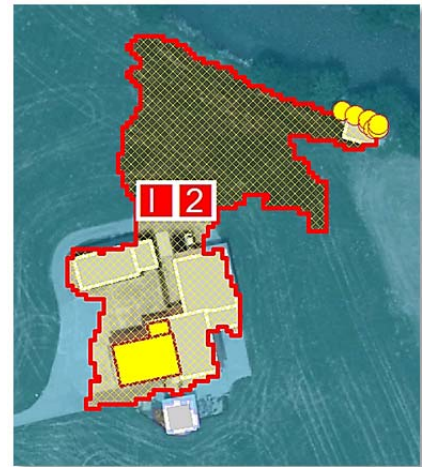


Abb. 78: Ergebnis der Fehlerklasse I-2 (gelb). Inselpolygon (gelb schraffiert), potenziell gefährdete Gebäude (gelb), kritische Überflutungstiefen an Kanten (gelbe Punkte) Überflutungsfläche (blau)

(Abb. 78). Zwei der ermittelten Inselpolygone lagen in Bereichen, in denen auch die Stellungnahme der QS der HWGK Fehler beanstandet hat. Ein weiterer Fall ist im Sinne der erstellten Methodik relevant, aber in den Stellungnahmen nicht dokumentiert. Dies deutet darauf hin, dass der Fehler entweder aus fachlicher Sicht als nicht relevant eingestuft oder nicht von der QS erkannt wurde. Die Laufzeit der Berechnung der Fehlerklasse 2 betrug 30 Sekunden im Testgebiet *Argen*.

**Zusammenfassung:** Die Testläufe haben gezeigt, dass die Methoden relevante Fehler mit hoher Wahrscheinlichkeit finden. Die Stichproben der Ergebnisse, die zusätzlich zu den Anmerkungen der fachlichen QS der HWGK gefunden wurden, machen deutlich, dass die Genauigkeit der Detektion noch verbessert werden kann. Beispielsweise kann eine Mindestzahl von Untersuchungspunkten an einem Gebäude festgelegt, die Gebäudenutzung mit einbezogen oder eine Differenzierung nach Siedlungs- und anderen Bereichen vorgenommen werden.

## 5 Ergebnisse & Analyse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse beschrieben und analysiert. Dabei werden die Ergebnisse den Forschungsfragen aus Abschnitt 1.1 (S. 2) gegenüber gestellt. Die Diskussion und Zusammenfassung erfolgt in Kapitel 6 (S. 100ff).

Im ersten Teil dieses Abschnitts werden die entwickelten und prototypisch realisierten methodischen Ansätze für die Unterstützung der QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen mittels räumlicher Analysemethoden dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse ist wie in den Kapiteln 3 *„Lösungsansatz“* (S. 21ff) und 4 *„Prototypische Realisierung“* (S. 66ff) in die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) gegliedert. Durch eine quantitative und qualitative Analyse wird die Frage beantwortet, in welchem Umfang die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen jeweils für die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) unterstützt werden kann.

Daran anschließend werden im zweiten Teil die ergänzenden Maßnahmen dargestellt, die unabhängig von den Fehlerkategorien die fachliche QS unterstützen.


Im dritten Teil wird die Frage beantwortet, welche Daten für eine QS vorausgesetzt und herangezogen werden müssen und welche eine optionale Ergänzung darstellen können.

Eine Zusammenstellung mit Erläuterungen zu den räumlichen Transformationen und Operationen, die in den konzipierten Analysemethoden eingesetzt wurden, klärt im vierten Teil dieses Kapitels die Frage, welche räumlichen Transformationen und Operationen sich unterstützend in räumliche Analysemethoden für die fachliche QS von HN-Modellierungen einsetzen lassen.

### 5.1 Umfang der Unterstützung der fachlichen Qualitätssicherung mittels räumlicher Analysemethoden

#### 5.1.1 Die erstellten räumlichen Analysemethoden

In diesem Abschnitt wird die Antwort auf die Forschungsfrage 1 dieser Master Thesis zusammengefasst (Abschn. 1.1 *„Forschungsfragen“*, S. 2), in welchem Umfang sich die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen jeweils für die neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) mittels räumlicher Analysemethoden unterstützen lässt.

 Für die **Fehlerkategorie A** *„Sprünge im Wasserspiegel durch Verschnitt der 1D-Ergebnisse an Brücken und Wehren“* nach ZEISLER (2011:3f) konnte im Lösungsansatz (Abschn. 3.1.2, S. 26) eine Methode konzipiert werden. Sie verwendet den Wasserspiegel sowie den Gewässer- und Vorlandbereich für die Ergebnisberechnung. Die Ergebnisdarstellung eines potenziellen Absturzes erfolgt jeweils als Polygon in bis zu vier Klassen. Dabei ist die Klasse A2 *„Absturz hat Flächenanteile im Gewässer- sowie Vorlandbereich“* die Klasse, die der Fehlerkategorie nach ZEISLER (2011:3f) entspricht. Diese Polygone können deshalb zum Auffinden von Fehlern genutzt werden. Die beiden Klassen A3 und A4 differenzieren jeweils

potenzielle Abstürze, die ausschließlich im Vorland- oder Gewässerbereich liegen und in der QS ebenfalls genutzt werden können, da Sprünge im sonst weitgehend stetigen Wasserspiegel in der Regel auf Berechnungsfehler zurückzuführen sind. Liegen optional räumliche Informationen zu Absturzbauwerken oder Siedlungsbereichen vor, kann die Klasse A2 weiter differenziert werden. Wenn ein Ergebnis der Klasse A2 mit mindestens einem der genannten optionalen Datensätze räumlich in Verbindung steht, ist dieser Fehler als ein Klasse A1 („Absturz hat Flächenanteile im Gewässer- sowie Vorlandbereich und berührt einen Siedlungsbereich oder enthält ein Absturzbauwerk“) zu klassifizieren. Für die prototypische Realisierung (Abschn. 4.2, S. 70) stand lediglich ein Referenzfehler aus dieser Fehlerkategorie zur Validierung der Methode zur Verfügung. Dieser Fehler wurde durch die Methode erkannt.

**B** Für Die **Fehlerkategorie B** „Rück- und Hinterströmungen mit Aufstau oder Gefälle“ nach ZEISLER (2011:5f) konnte im Lösungsansatz (Abschn. 3.1.3, S. 29; Abschn. 3.1.4, S. 35) keine zuverlässige Methode für die Klärung

der Frage erarbeitet werden, ob ein Wasserspiegel in einem Rückström-, Hinterström- oder Druckbereich korrekt interpoliert wurde. Der Grund dafür waren die Querprofile einer 1D HN-Modellierung, die bei der Extrapolation in das Vorland einen beliebigen, nicht linearen Verlauf beschreiben. Mittels des flächigen Wasserspiegels müsste auf diesen extrapolierten

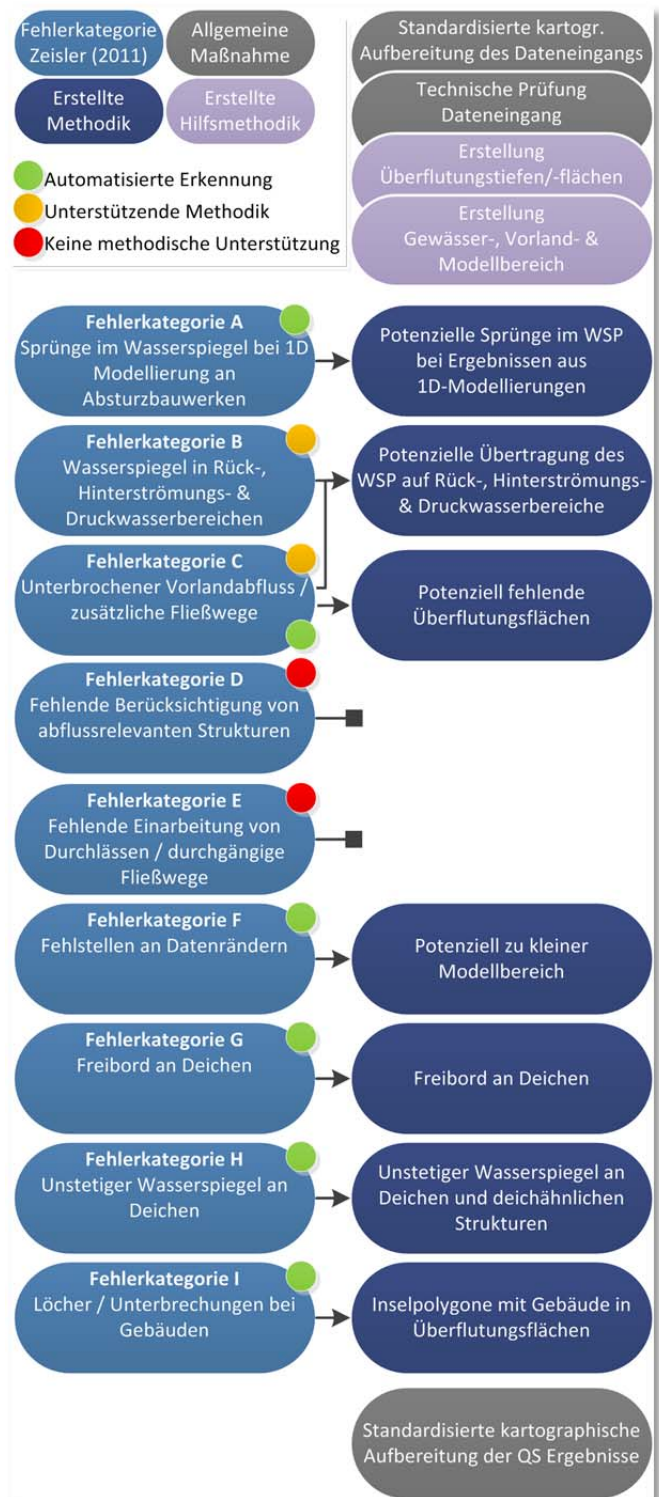


Abb. 79: Methodischer Lösungsansatz und prototypische Realisierung im Überblick. (l.) Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011). (r.) Methoden des Lösungsansatzes



Querprofilverlauf rückgeschlossen werden, um letztendlich einzelne Wasserspiegelwerte miteinander zu vergleichen (s. ausführlich Abschn. 3.1.3 „FK-B: Fehler in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen mit Aufstau oder Gefälle“ S. 29).

Es konnte allerdings eine Methode entwickelt werden, die Ausström- sowie Druckbereiche mit Gefälle erkennt. Dies stellt bereits einen wesentlichen Teil der Identifizierung von Fehlern der Kategorie B dar. Dabei konnten die Ausström- und Druckbereiche mit einem horizontalen Wasserspiegel ausgeschlossen werden, da sie im Sinne der Fehlerkategorie B keinen Fehler darstellen. Außerdem konnte zwischen Ausström- und Druckbereichen differenziert werden. Insgesamt wird die fachliche QS durch die Methode gezielt auf potenzielle Fehlstellen der Fehlerkategorie B geleitet. In den Tests im Rahmen der prototypischen Realisierung (Abschn. 4.3, S. 72) konnten alle Referenzfehler ermittelt werden, die auch durch die fachliche QS der HWGK dokumentiert wurden.

**C** Zur Erkennung von Fehlern der **Fehlerkategorie C** „*Unterbrochener Vorlandabfluss / zusätzliche Fließwege*“ nach ZEISLER (2011:7ff) konnten im Lösungsansatz (Abschn. 3.1.4, S. 35) zwei Methoden entwickelt werden. Die erste Methode erkennt „*Druckbereiche mit Gefälle im Wasserspiegel*“, die zweite Methode erkennt „*Lücken in Überflutungsflächen, welche aus einer 2D HN-Modellierung*“ resultieren. Aufgrund der ähnlichen Eigenschaften mit der Fehlerkategorie B erfolgte die prototypische Realisierung der ersten Methode – „*Druckbereich mit Gefälle im Wasserspiegel*“ – zusammen mit der Fehlerkategorie B (Abschn. 4.3, S. 72). Die zweite Methode „*Lücken in Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen*“ wurde in Abschnitt 4.4 (S. 74) prototypisch realisiert. Voraussetzung für deren Anwendung war das Vorliegen eines ausgedünnten Modell-DGMs neben dem hydraulisch plausiblen DGM. Die prototypisch realisierte Methode konnte lediglich exemplarisch getestet werden, da ein Modell-DGM in den Testdaten nicht vorlag. Alternativ wurde die Funktionsweise der Methode zwischen dem Eingangs-DGM und dem hydraulisch plausiblen DGM demonstriert. Die Ergebnisse zeigten in Form von Polygonen zuverlässig Differenzen zwischen den beiden Geländemodellen im jeweiligen Bezug zum Wasserspiegel. Diese Ergebnisse konnten aufgrund des Eingangs-DGMs als Ersatzdatensatz für das Modell-DGM nicht mit Referenzfehlern validiert werden. Aufgrund der Testergebnisse wird davon ausgegangen, dass die Methode zuverlässig funktioniert, da es sich aus technischer Sicht beim Eingangs-DGM zwar um einen anderen DGM Datensatz handelt als das Modell-DGM, dieses aber die gleichen formalen Eigenschaften besitzt.

**D** **E** Für die **Fehlerkategorie D** „*Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen*“ und die **Fehlerkategorie E** „*Fehlende Einarbeitung von Durchlässen / durchgängige Fließwege*“ nach ZEISLER (2011:10ff) konnte im Lösungsansatz keine methodische Unterstützung der fachlichen QS mittels räumlicher Analysemethoden entwickelt werden. Begründet ist dies für die Fehlerkategorie D mit einem nicht voraussetzbaren Detaillierungsgrad des Gewässergraphen, der sämtliche abflussrelevanten Strukturen wie Gräben abbilden müsste, um eine Überprüfung auf Berücksichtigung dieser



Strukturen in der QS zu ermöglichen. Selbst unter der Annahme, dass diese Information vorliegt und ihre Berücksichtigung in der Simulationsphase durch räumliche Analysemethoden prüfbar wäre, könnte eine abschließende Beurteilung durch die QS nur mit manuellen Methoden erfolgen, da nur so die jeweilige Situation im Einzelfall berücksichtigt werden kann. Auch für die Fehlerkategorie E ist die benötigte Anzahl geometrischer Information vielfältig und eine Integration dieser zusätzlichen Daten in die QS aufwändig. Der Aufwand für die Unterstützung der QS durch räumliche Analysemethoden ist deshalb aufwändiger als eine manuelle Durchführung der QS.

**F** Zur Erkennung von Fehlern der **Fehlerkategorie F** „*Fehlstellen an Datenrändern / ‚geometrische‘ Ergebnisse*“ nach ZEISLER (2011:14f) konnte im Lösungsansatz eine Methodik zur Unterstützung entwickelt werden. Diese erkennt vor allem mittels Nachbarschaftsanalyse ein zu klein gewähltes Modellgebiet. Dabei werden die Überflutungsflächen und die Modellabgrenzung, die aus dem hydraulisch plausiblen DGM abgeleitet wird, verglichen. Für die prototypische Realisierung wurden ausschließlich Rasterdaten genutzt, wodurch die Umsetzung mittels Map Algebra zuverlässige Ergebnisse lieferte. Eine getestete vektorbasierte Implementierung lieferte aufgrund der hohen Stützstellenzahl der Datensätze keine Ergebnisse. Optional kann in der Methodik der Mindestabstand zwischen Überflutungsflächen und Modellrand als Parameter angegeben werden. Letzteres hat den Vorteil, dass der Abstand der Überflutungsflächen zum Modellrand den spezifischen Bedürfnissen einer fachlichen QS angepasst werden kann. Die Ergebnisse wurden als Rasterdatensatz erzeugt und für die Darstellung in Vektoren transformiert.

In den Tests im Rahmen der prototypischen Realisierung (Abschn. 4.5, S. 76) konnten alle Referenzfehler ermittelt werden, die auch durch die fachliche QS der HWGK dokumentiert wurden. Zu den Ergebnissen zählen zusätzlich auch die Aus- und Einströmstellen der Fließgewässer im Modellgebiet. Diese konnten nicht von den restlichen Ergebnissen differenziert werden. Allerdings lassen sich diese Bereiche in der anschließenden visuellen Prüfung einfach erkennen.

**G** Für die **Fehlerkategorie G** „*Freibord an Deichen / geschützte Bereiche / Druckwasserbereiche*“ nach ZEISLER (2011:16ff) konnte im Lösungsansatz eine Methode zur Überprüfung der zentralen und verallgemeinerbaren Frage nach dem Status des Freibord an einer Schutzeinrichtung mittels räumlicher Analysemethoden entwickelt werden. Die zentralen Schritte sind die Bestimmung des Wasserspiegels direkt unter der Deichkrone, was mittels Map Algebra ermittelt werden kann, sofern der Deich überflutet wird oder eine 1D HN-Modellierung vorliegt. Kann kein Wasserspiegelwert unter der Deichkrone ermittelt werden, was bei 2D HN-Modellierungen mit Ausnahme von überströmten Deichen regelmäßig auftritt, wurde zunächst die Wasserseite des Deiches ermittelt um sicherzustellen, dass kein Wasserspiegelwert aus einer Hinterströmung als Vergleichswert herangezogen wird. Dies erfolgte durch die Ermittlung des nächsten Punktes auf den Gewässergraphen, ausgehend von einem zu definierenden Untersuchungspunkt auf der Deichkrone. Auf der linearen Verbindung

der beiden ermittelten Punkte wurde der Schnittpunkt mit der Wasserspiegelkante lokalisiert und der Wasserspiegelwert in diesem Punkt ermittelt. Dieser Wasserspiegelwert wurde für die eigentliche Berechnung der Freibordsituation herangezogen. Die Ermittlung der Freibordsituation erfolgte als letzter Schritt durch Differenzbildungen und Vergleichsoperationen mit dem vorgegebenen Sollwert des Freibords. Der resultierende Freibordstatus ist je Untersuchungspunkt auf der Deichkrone verortet. Der Abstand der Untersuchungspunkte wurde in der Methode als Parameter angelegt. Als weitere optionale Parameter wurden der Freibord-Sollwert und die Größe des Nachbarschaftsbereichs für die fokale Operation des Wasserspiegelwerts implementiert. Die Methode konnte in der prototypischen Realisierung (Abschn. 4.3, S. 72) an 135 Deichen und deichähnlichen Strukturen getestet und für 10 stichprobenhaft ausgewählte Deiche anhand der Ergebnisse aus der „Sicherheitsbetrachtung von Deichen der HWGK“ in allen Fällen validiert werden.

**H** Für die Fehlerkategorie H „*Dellen im Wasserspiegel insbesondere im Bereich von Deichen*“ nach ZEISLER (2011:19f) konnte im Lösungsansatz ein methodischer Ansatz erarbeitet werden. Die Methode hatte wie bei Fehlerkategorie G als Ausgangspunkt die Untersuchungspunkte in einem parametrisierten Abstand auf der Deichkrone. Auch hier fand wieder eine fokale Betrachtung des nächsten Wasserspiegelwertes innerhalb einer parametrisierten Distanz statt, wobei in dieser Fehlerkategorie die Dammseite nicht bestimmt werden musste, da diese Fehler auf beiden Dammseiten auftreten und relevant sind. Bei den Tests der prototypisch realisierten Methode (Abschn. 4.7, S. 81) wurden alle sieben Fehler in den Testdatensätzen erkannt, die auch durch die fachliche QS der HWGK dokumentiert wurden. Die Untersuchung dieser Fehler zeigte, dass in dieser Fehlerkategorie auch Deiche- oder Längsstrukturen ohne das Vorhandensein einer Geometrie berücksichtigt werden müssen, da in fünf der sieben untersuchten Fehler für die jeweilige Situation keine Geometrie vorhanden war. Die Erkennung dieser Fehlerkategorie war im Bereich von Deichen und Längsstrukturen mit entsprechender Geometrie hinreichend genau. Diese Fehler wurden in die Fehlerklasse 1 eingeordnet. Fehler ohne den Bezug zu Hochwasserschutzobjekten wurden der Fehlerklasse 2 zugeordnet, wobei die optionale Berücksichtigung von Bauwerken in und am Wasser eine Reduzierung von Fehlern in der Fehlerklasse 2 bewirkt. Die konsequente Erfassung fehlender Deich- und Längsstrukturen stellte keinen wesentlichen Zusatzaufwand im Pre-Prozess dar, zumal diese Objekte bei der Modellerstellung im hydraulisch plausiblen DGM modelliert werden. Der Mehrwert dieser Erfassung zeigt sich in einer besseren Fehlerdetektion und Klassifizierung der Ergebnisse.

**I** Für die Fehlerkategorie I „*Löcher / Unterbrechungen bei Gebäuden*“ nach ZEISLER (2011:21f) konnte je eine Methodik für die beiden Varianten „*Unterbrechung am Überflutungsflächenrand im Bereich von Gebäuden*“ und „*‘Gebäudeinseln’ innerhalb der Überflutungsfläche*“ entwickelt werden. Die erste Methode behandelt Gebäude am Überflutungsflächenrand, bei denen der Wasserspiegel mit einer sogenannten Wasserwand endet. D.h. der Wasserspiegel endete ohne einen Schnitt mit dem DGM. Als

Untersuchungspunkte wurden die Stützpunkte der Überflutungsflächen herangezogen und mittels Nachbarschaftsbetrachtung des Wasserspiegels und des DGMs die Überflutungstiefen ermittelt. Durch Pufferung der Gebäudepolygone wurde der Bezug zu den Gebäuden in Randlage der Überflutungsfläche und somit zu den Untersuchungspunkten hergestellt und die Überflutungstiefe analysiert. Untersuchungspunkte an Gebäuden mit einer positiven Überflutungstiefe wurden der Fehlerklasse 1 zugeordnet, Untersuchungspunkte ohne Gebäudebezug der Fehlerklasse 3. Letztere stellte besonders bei gehäuftem Auftreten eine zusätzliche hilfreiche Information für den weiteren QS Prozess dar. Parameter für diese Methode waren zum einen die Mindestüberflutungstiefe, mit der eine Wasserwand an einem Gebäude erkannt wird, und zum anderen die maximale Distanz zwischen Gebäude und Überflutungsflächenkante bzw. den aus den Stützstellen abgeleiteten Untersuchungspunkten. In der Fehlerklasse 2 wurden die Inselepolygone zusammengefasst, die mit der zweiten Methode erkannt werden. Nach der Isolierung der Inselepolygone von den Überflutungsflächen wurden solche selektiert, die eine Wasserwand an der Überflutungsflächenkante aufweisen und Gebäude beinhalten, die vollständig innerhalb des Inselepolygons liegen und nicht in der Fehlerklasse 1 berücksichtigt wurden. In der prototypischen Realisierung (Abschn. 4.8, S. 84) konnten alle 32 Fehler in den Testdatensätzen erkannt werden, die auch durch die fachliche QS der HWGK dokumentiert wurden.

Die Ergebnisse wurden für die Ergebnisklassen 1 und 3 als Punkte und im Fall der Klasse 2 als Polygone dokumentiert. Die Ergebnisse können weiter spezifiziert werden, in dem eine Mindestanzahl von Untersuchungspunkten mit Wasserwand an einem Gebäude festgelegt, die Gebäudenutzung berücksichtigt oder eine Differenzierung der Flächennutzung beispielsweise nach *Siedlungs-* und *andere Flächen* vorgenommen wird.

### 5.1.2 Erläuterung & Analyse

Die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen kann wie in Tab. 14 (S. 92) dargestellt mittels räumlicher Analysemethoden in etwa zwei Drittel der untersuchten Fehlerkategorien unterstützt werden. Dieses Ergebnis wird im Folgenden erläutert und analysiert. In Tab. 14 ist die vorhergehende verbale Darstellung der Ergebnisse aus der methodischen Umsetzung der Fehlerkategorien zusammengefasst. Dabei sind die Ergebnisse für die neun Fehlerkategorien quantifiziert.

Eine Besonderheit weist die Entwicklung der methodischen Unterstützung der Fehlerkategorie C auf. Diese wurde in zwei methodische Lösungsansätze aufgeteilt, wovon ein Teil aufgrund der methodischen Ähnlichkeiten zusammen mit der Fehlerkategorie B behandelt und der andere Teil direkt unter der Fehlerkategorie C betrachtet wurde (s. auch Abb. 79, S. 88). Die Unterstützung der anderen Fehlerkategorien basierte teilweise auch auf mehreren Methoden, diese wurden jedoch aufgrund fehlender Überschneidungen mit anderen Fehlerkategorien jeweils ausschließlich in der zugehörigen Fehlerkategorie betrachtet.

Die Spalte „Fehler im Test erkannt/gesamt“ der Tab. 14 stellt für eine Quantifizierung der Ergebnisse die räumlich-analytisch erkannten Fehler aus den Tests der prototypischen Realisierung den Referenzfehlern aus den Stellungnahmen der fachlichen QS der HWGK gegenüber. Für die Ermittlung der in dieser Arbeit erkannten Fehler und der Referenzfehler wurden die gleichen Daten verwendet. Die Referenzfehler wurden durch die QS der HWGK festgestellt und in Stellungnahmen je HWGK Bearbeitungseinheit dokumentiert. Die Werte in der Spalte „Fehler im Test erkannt/gesamt“ lassen erkennen, dass alle Referenzfehler detektiert wurden, sofern eine Methode für eine Fehlerkategorie erstellt werden konnte. Dies trifft für alle Fehlerkategorien mit Ausnahme der Kategorien D und E zu. Die vollständige Erkennung der Referenzfehler lässt sich dadurch erklären, dass für die Fehlererkennung die Methoden zuerst grob gefasst wurden und sukzessive durch die Einbeziehung von einschränkenden Merkmalen spezifischer auf die Fehlerkategorie und die Referenzfehler im Lösungsansatz zugeschnitten wurden. Dabei galt eine Methode als realisiert, sobald alle Referenzfehler einer Fehlerkategorie erkannt wurden. Wurden die einschränkenden Merkmale zu restriktiv, wurden nicht alle Referenzfehler erkannt. Daher wurde akzeptiert, dass neben den zu erkennenden Referenzfehlern weitere Fehler detektiert wurden.

Tab. 14: Räumlich analytisch detektierte Fehler im Rahmen der prototypischen Umsetzung im Vergleich mit den Referenzfehlern der fachlichen QS der HWGK

Fehlerkategorie	Fehler im Test erkannt/gesamt	Lageinterpretation der Ergebnisse notwendig	Wenige Referenzfehler oder Ersatzdaten	Zusätzliche Ergebnisse filter- oder klassifizierbar
<b>A</b> Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierung	1/1	Ja	1	Ja
<b>B</b> Übertragung des Wasserspiegels auf <b>(C)</b> Rückström-, Hinterström- & Druckbereiche	8/8	Ja	–	Nein
<b>C</b> Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen	Keine Referenzfehler	–	Ersatzdaten	Ja
<b>D</b> Fehlende Berücksichtigung von Gräben / Mühlkanälen	Keine Methodik	–	–	–
<b>E</b> Fehlende Berücksichtigung von Durchlässen / durchgängigen Fließwegen	Keine Methodik	–	–	–
<b>F</b> Fehlstellen an Datenrändern	1/1	Ja	1	Nein
<b>G</b> Freibord an Deichen	10/10	Ja	–	Ja
<b>H</b> Unstetiger Wasserspiegel an Deichen	7/7	Ja	–	Ja
<b>I</b> Gebäudepolygone am Randbereich bzw. innerhalb von Löchern in den Überflutungsflächen	32/32	Ja	–	Ja

Für die Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Einsetzbarkeit räumlicher Analysemethoden zur Unterstützung der fachlichen QS ist deshalb neben der Tatsache, dass alle Referenzfehler räumlich analytisch erkannt wurden, die Kenntnis der Qualität der zusätzlich gefundenen Fehler von besonderer Bedeutung. Denn das Erkennen zusätzlicher Fehler unterstützt die fachliche QS nur dann, wenn es sich um weitere relevante Fehler handelt, die im Rahmen der QS berücksichtigt werden müssen. Deshalb müssen diese Fehler filterbar bzw. klassifizierbar und somit von den eigentlichen Fehlern einer Fehlerkategorie unterscheidbar sein. Diese Art der zusätzlichen Fehler wurde für die Fehlerkategorien A, C, G, H und I ermittelt.

Nicht klassifizierbare zusätzliche Fehler werden bei den Fehlerkategorien B und F erkannt. Bei diesen beiden Fehlerkategorien konnten keine einschränkenden Merkmale identifiziert werden. Damit ist eine direkte Übernahme der Ergebnisse in die fachliche QS nicht möglich. Dafür konnte für die beiden Kategorien jedoch eine weitreichende methodische Unterstützung der fachlichen QS entwickelt werden.

Sowohl bei den klassifizierbaren als auch bei den nicht klassifizierbaren zusätzlichen Fehlern ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den zusätzlichen Fehlern um bisher nicht erkannte oder – wie häufig beim Vergleich mit den Referenzfehlern anzutreffen – um nicht relevante Fehler im Sinne der HWGK handelt. Dies bedeutet, dass Fehler beispielsweise weit außerhalb von relevanten Flächen wie Siedlungsbereichen liegen.

Darüber hinaus sind für die Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Einsetzbarkeit der entwickelten räumlichen Analysemethoden zur Unterstützung der fachlichen QS sowohl die teilweise eingeschränkte Möglichkeit zur Kalibrierung der Methoden und andererseits die unterschiedliche Detailschärfe der räumlichen Verortung zwischen den Referenzfehlern der QS und den durch die entwickelten räumlichen Analysemethoden detektierten Fehlern zu berücksichtigen. In den verwendeten Testdaten war für die Fehlerkategorien A und F je nur ein Fehler zur Kalibrierung der Methode nutzbar und bei Fehlerkategorie C mussten Ersatzdaten verwendet werden. Im Fall der Fehlerkategorie F wurden als zusätzlich nicht isolierbare Fehler die Ein- und Ausmündung von Gewässern in das Modellgebiet detektiert. Da diese Fehler bei der Sichtung durch die fachliche QS einfach zu identifizieren und nicht in einer großen Anzahl je Modellgebiet zu erwarten sind, stellt diese Eigenschaft nur eine unwesentliche Einschränkung der Nutzbarkeit der erstellten Methode dar. Im Fall der Fehlerkategorie C mussten Ersatzdaten verwendet werden, an denen die zellgenauen Ergebnisse der erstellten Methode demonstriert werden konnten. Auch hier ist zu erwarten, dass die Methode zuverlässig funktioniert und der fehlende Vergleich mit Referenzfehlern keine wesentliche Beschränkung der Nutzbarkeit mit sich bringt.

Bei allen Ergebnissen aus den Testläufen in der prototypischen Realisierung traten beim Vergleich der erkannten Fehler mit den Referenzfehlern erhebliche Unterschiede in der qualitativen Verortung der Ergebnisse auf. Während die fachliche QS der HWGK - für ihren Zweck völlig ausreichend - festhält, dass in einem verbalen und durch Kartenausschnitt mit



Markierungen umrissenen Bereich Fehler einer Fehlerkategorie auftreten, werden die Fehler mit den erstellten räumlichen Analysemethoden präzise verortet. So lieferte beispielsweise die Fehlerkategorie I für die Ergebnisklasse 1 und 3 als Rohergebnis Punkte entlang der Überflutungsflächen mit einer Mindestüberflutungstiefe. Nach der Aufbereitung der Rohergebnisse ließen sich die gesuchten Fehler gebäudescharf darstellen. Aufgrund dieses Unterschieds musste teilweise je Ergebnisklasse oder Fehlerkategorie interpretiert werden, wie viele der Referenzfehler bei einem Test erkannt wurden.

Die in den Absätzen zuvor genannten Merkmale finden sich in der Tab. 15 als eigene Spalte wieder. Sie stellen neben den quantitativen Ergebnissen der Spalte „Fehler im Test erkannt/gesamt“ eine qualitativ-empirische Ergänzung dar, um die Ergebnisse besser bewerten zu können.

Tab. 15: Ergebnisklassen der einzelnen Methoden in der Übersicht

Ergebnisklassen		
A	1	Absturz hat Flächenanteile im <u>Gewässer</u> - sowie <u>Vorland</u> bereich und berührt einen <u>Siedlungsbereich</u> oder enthält ein <u>Absturzbauwerk</u>
A	2	Absturz hat Flächenanteile im <u>Gewässer</u> - sowie <u>Vorland</u> bereich
A	3	Absturz hat nur Flächenanteile im <u>Gewässer</u> bereich
A	4	Absturz hat nur Flächenanteile im <u>Vorland</u> bereich
B	1	Zu prüfende Ausströmung mit Gefälle im Wasserspiegel
B	2	Zu prüfender Druckbereich mit Gefälle im Wasserspiegel
C	1	Lücke in den abgeleiteten Produkten von Ergebnissen aus 2D HN-Modellierungen
F	1	Zu klein gewählter Modellbereich am Modellrand
G	1	Freibord ist nicht in Anspruch genommen
G	2	Freibord ist in Anspruch genommen
G	3	Deich gilt als überflutet
H	1	Unstetiger Wasserspiegel an Deich oder Längsstruktur
H	2	Unstetiger Wasserspiegel
I	1	Ausgesparte Gebäude in Randlage mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Überflutungsflächengrenze
I	2	Ausgesparte Gebäude in Inselpolygonen mit abruptem Ende des Wasserspiegels an der Inselpolygongrenze
I	3	Potenziell abrupt endender Wasserspiegels in Randlage

## 5.2 Ergänzende Maßnahmen

Als Ergänzung zu den mittels räumlicher Analysemethoden unterstützten Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) wurden drei notwendige Maßnahmen für die fachliche QS von HN-Modellierungen in diese Arbeit aufgenommen. Dass die Maßnahmen notwendig sind, zeigten eigene Erfahrungen im Rahmen der Mitarbeit im Projekt HWGK und die Rückmeldungen der Interviewpartner (MATTES 2014, SOMMER 2014 und ZEISLER 2014). Die Maßnahmen wurden auf dieser Basis für die Anwendung in der Praxis konzipiert.

**M I** Als erste Maßnahme wurde die Implementierung einer Datenschnittstelle zwischen dem Prozess der HN-Modellierung und der fachlichen QS definiert. Damit wurde die Verknüpfung der technischen mit der fachlichen QS hergestellt. Es wurden anwendungsorientierte Merkmale für die technische, inhaltliche und topologische Prüfung von Vektor- und Rasterdaten benannt und in einer exemplarischen Implementierung ihre Anwendung demonstriert (Anh. „*Demonstration einer technischen Qualitätsprüfung einer fiktiven Geodatenchnittstelle*“, S. 130).

**M II** Die zweite Maßnahme baut auf die erste Maßnahme auf. Sie bedient sich der in Maßnahme I definierten Datenschnittstelle und visualisiert die von der fachliche QS benötigten Daten in einer festgelegten automatisierten Form, ähnlich einem kartographischen Musterblatt. Ergänzend konnten auch die QS Ergebnisse aus den im Rahmen dieser Arbeit erstellten Methoden automatisiert und standardisiert visualisiert werden. Ein entsprechender kartographischer Vorschlag wurde im Kapitel prototypischen Realisierung zu jeder realisierten Methode erarbeitet und in der Tab. 15 (S. 95) durch die Ergebnisklassen zusammengefasst. Auch für diese Maßnahme wurde die Anwendung in einer exemplarischen Implementierung überprüft. Sie ist im Anhang „*Demonstration einer automatisierten Visualisierung einer fiktiven Geodatenchnittstelle*“ (S. 134) erläutert.

**M III** Die dritte Maßnahme ist eine organisatorische Maßnahme. Sie umfasst die Empfehlung, die Methoden und Maßnahmen offen zwischen den beteiligten Akteuren zu kommunizieren. Die Maßnahme kann soweit geführt werden, dass jedem beteiligten Akteur die methodische Prüfung der technischen QS und die unterstützenden räumlichen Analysemethoden der fachlichen QS in einer einfach anwendbaren Form zur Verfügung stehen. Zum einen sollen Prozessschleifen und damit Zeit eingespart werden, in dem die erste QS Prüfung innerhalb des Prozesses der HN-Modellierung durch die beteiligten Akteure selbst vorgenommen wird, zum anderen soll durch die offene Kommunikation der Methoden die Transparenz und somit die Akzeptanz der Ergebnisse der QS bei allen beteiligten Akteuren gesteigert werden.

### 5.3 Benötigte & optionale Daten

In diesem Abschnitt wird die Antwort auf die Forschungsfrage 2 dieser Master Thesis zusammengefasst (Abschn. 1.1 „Forschungsfragen“, S. 2), welche Daten für eine QS von HN-Modellierungen allgemein vorausgesetzt und herangezogen werden können oder eine Ergänzung für die erstellten räumlichen Analysemethoden darstellen.

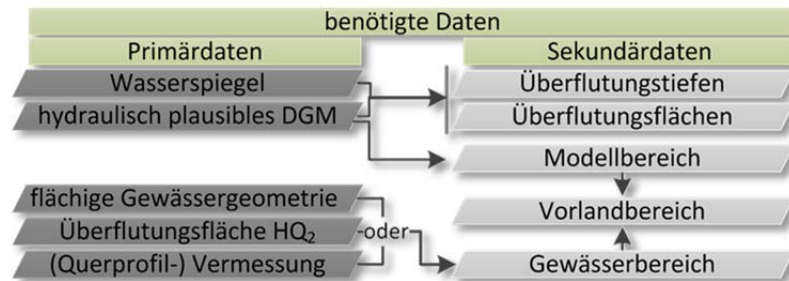


Abb. 80: (l.) Differenzierung benötigter Daten. Ableitung von Sekundär- aus Primärdaten

Tab. 16: (u.) Übersicht über die benötigten und optionalen Daten je Fehlerkategorie (FK)

benötigt	optional	FK-A	FK-B	FK-C	FK-E	FK-G	FK-H	FK-I
Wasserspiegel		X	X	X	X	X	X	X
hydraulisch plausibles DGM		X	X	X	X	X	X	X
Modell-DGM				X				
Gewässerbereich		X						
Deichgraph						X	X	
Gewässergraph			X			X		
Gebäudepolygone								X
Absturzbauwerk		X					X	
Siedlungsbereich		X						

Für die methodische Analyse der Fehlerkategorien wurden verschiedene Eingangsdaten benötigt. Bei den benötigten Daten wurden Primär- und Sekundärdaten unterschieden. Als Primärdaten werden solche verstanden, die direkt aus der HN-Modellierung oder einer anderen Quelle in die QS einfließen, dies sind beispielsweise der Wasserspiegel oder der Deichgraph. Sekundärdaten wurden aus Primärdaten abgeleitet. Ein Beispiel dafür sind die Überflutungstiefen, diese konnten innerhalb des QS Prozesses aus dem hydraulisch plausiblen DGM und dem Wasserspiegel berechnet werden (Abb. 80). Wurden in einer der prototypischen Realisierungen Sekundärdaten verwendet, sind in der Tab. 16 die zugrundeliegende Primärdaten festgehalten, um in dem hier präsentierten Ergebnis die Datensätze zu dokumentieren, die für die räumlich analytische Unterstützung der fachlichen QS notwendig waren und damit Voraussetzung für die Anwendung der entwickelten räumlichen Analysemethoden sind. Neben den benötigten Primärdaten werden in Tab. 16 zwei optionale Datensätze angeführt, die für die Fehlerkategorien A und H verwendet werden können. Nach den Erkenntnissen aus der prototypischen Realisierung konnten damit eine Spezifizierung bzw. eine höher differenzierte Ergebnisklassifizierung erreicht werden. Dadurch konnten die mit den räumlichen Analysemethoden erzeugten Ergebnisse besser auf die

Fehlerkategorien A und H eingegrenzt werden. Damit kann die angeschlossene Individualprüfung im QS-Prozess vereinfacht und dadurch beschleunigt werden.

Um die Übertragbarkeit der Methodik auf andere QS-Prozesse von HN-Modellierungen zu gewährleisten, wurde in dieser Master Thesis jeweils hinterfragt, welche Datensätze allgemein vorausgesetzt werden können und ob die notwendigen Eingangsdatensätze allgemein zur Verfügung stehen. Ausgangspunkt für dieses Vorgehen war die Zielsetzung, den QS-Prozess nicht durch zusätzliche, aufwändige Datenerhebungen oder -beschaffungen zu erschweren. Die Festlegung der Datensätze wurde durch die Experten in den durchgeführten Interviews bestätigt (MATTES 2014, SOMMER 2014 und ZEISLER 2014). Die Aussagen der befragten Experten waren besonders bei den Datensätzen wichtig, die nicht als Ergebnisdatensatz aus den HN-Modellierungen vorliegen. Dies sind der Gewässerbereich, die Gebäudepolygone sowie der Deich- und der Gewässergraph. Bei diesen Datensätzen konnte davon ausgegangen werden, dass sie für den Pre-Prozess zur HN-Modellierung benötigt werden und damit auch für die QS verfügbar sind. Besonders deutlich wurde die Bedeutung dieses Aspekts bei den Fehlerkategorien D und E. Es wurde deutlich, dass die Menge der benötigten zusätzlichen Datensätze zu umfangreich ist und der Aufwand für die Durchführung der unterstützenden räumlichen Analyse den Aufwand für eine QS ohne Unterstützung übertrifft. In dieser Arbeit wurde deshalb eine unterstützende räumliche Analysemethode im Lösungsansatz diskutiert, aber nicht umgesetzt.

Damit wird deutlich, welche Daten für eine QS von HN-Modellierungen allgemein vorausgesetzt werden können und herangezogen werden müssen. Darüber hinaus sind Daten beschrieben, die eine sinnvolle Ergänzung für eine erstellte räumliche Analysemethodik darstellen.

## 5.4 Einsetzbare räumliche Transformationen & Operationen

In diesem Abschnitt wird die Antwort auf die Forschungsfrage 3 dieser Master Thesis zusammengefasst (Abschn. 1.1 „Forschungsfragen“, S. 2), welche räumlichen Transformationen und Operationen sich unterstützend für die fachliche QS von Ergebnissen aus HN-Modellierungen eignen.

Die im Rahmen dieser Master Thesis angewendeten räumlichen Transformationen und Operationen werden in der Einleitung im Abschnitt 2.4.3 „Verwendete räumliche Methoden“ (S. 20) vorgestellt. Bei der Erarbeitung des Lösungsansatzes (Kap. 3, S. 21) und insbesondere der prototypischen Realisierung (Kap. 4, S. 66) wurde deutlich, dass überwiegend Rasterdatensätze, insbesondere in Form von Geländemodellen und Wasserspiegel, vorliegen (s. Abschn. 5.3 „Benötigte & optionale Daten“ u. Tab. 16, S. 97). Dies erklärt die häufige Anwendung der Map Algebra nach TOMLIN (2012) bei den erstellten räumlichen Analysemethoden. Die in den Methoden eingesetzten Vektordatensätze lieferten zwar notwendige Informationen, deren Bedeutung jedoch im Vergleich zu den Rasterdaten geringer ist.

Bei der verwendeten Map Algebra wurden besonders häufig lokale und fokale Operationen eingesetzt. Bei den lokalen Operationen wurden vor allem arithmetische Operationen und relationale Vergleichsoperationen vielfach genutzt. Bei den fokalen Operationen bzw. Nachbarschaftsanalysen stand die Ermittlung der minimalen bzw. maximalen Rasterwerte von Wasserspiegel oder Geländemodell in einem variablen Untersuchungsfenster im Vordergrund. Diese Analysemethode ermöglichte auch im Randbereichen bei unterschiedlicher Ausdehnung der Daten eine zuverlässige Berechnung von gesuchten Werten aufgrund der Gebietsabdeckung, die das Untersuchungsfenster bot.

Wurden bei den erstellten räumlichen Analysemethoden Vektordaten eingesetzt und war eine Konvertierung der Vektor- zu Rasterdaten nicht sinnvoll, standen auch hier Operationen mit nachbarschaftsbezogenen Fragestellungen im Vordergrund. Dabei wurde die Pufferung oder die Frage nach der minimalen Entfernung zum nächsten Objekt mehrfach angewandt. Aber auch attributive und topologische Selektionen nach CLEMENTINI et al. (1993) oder EGENHOFER und FRANZOSA (1991) wurden verwendet.

Im Abschnitt 5.3 „*Benötigte & optionale Daten*“ (S. 97) wurde erläutert, dass eine wichtige Voraussetzung für die Übertragbarkeit der Ergebnisse dieser Arbeit auf andere QS-Prozesse für HN-Modellierungen die Minimierung der Anzahl der eingesetzten Datensätze ist. Dabei sollten nur solche Datensätze eingesetzt werden, die mit großer Wahrscheinlichkeit für beliebige HN-Modellierungen zur Verfügung stehen. Die zweite wichtige Voraussetzung für eine Übertragbarkeit ist die in diesem Abschnitt beschriebene Vorgehensweise, allgemein verbreitete räumliche Transformationen und Operationen zu verwenden. Die allgemeinverständliche verbale Beschreibung der erstellten räumlichen Analysemethoden und deren Dokumentation als Map Algebra Gleichung oder als Flussdiagramm tragen zu diesem Ziel wesentlich bei. Sie erlauben eine einfache Übertragung auf eine Vielzahl unterschiedlicher Geoinformationssysteme.



## 6 Zusammenfassung & Ausblick

Diese Master Thesis untersucht die Möglichkeiten zur Unterstützung der Qualitätssicherung (QS) von hydrodynamisch-numerischen Fließgewässermodellierungen (HN-Modellierung) mittels räumlicher Analysemethoden. Die Untersuchung basiert auf neun Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011). Für diese wurden räumlichen Analysemethoden erstellt und überprüft, in welchem Umfang sich damit die fachliche QS unterstützen lässt. Für jede Fehlerkategorie wurde auch analysiert, welche Datensätze benötigt werden und mit welchen räumlichen Analysemethoden die QS unterstützt werden kann. Dabei wurde die Anzahl an notwendigen Datensätzen so gering wie möglich gehalten und die räumlichen Analysemethoden nach Möglichkeit einfach gestaltet und dokumentiert, um eine einfache Übertragbarkeit der Methodik auf die QS von beliebigen HN-Modellierungen zu erreichen.

Darüber hinaus konnten die Methoden so entwickelt werden, dass die Ergebnisse für fünf Fehlerkategorien in mehr als eine Ergebnisklasse differenziert werden. Dadurch werden nicht nur die Fehler der jeweiligen Fehlerkategorie detektiert, sondern zusätzlich hilfreiche Informationen für die weitergehende Individualprüfung der fachlichen QS erzielt. Durch die Untersuchungen in dieser Master Thesis wird deutlich, dass mit den erstellten räumlichen Analysemethoden die fachliche QS unterstützt, jedoch nicht ersetzt werden kann. Mit den erstellten räumlichen Analysemethoden können sowohl konkrete Fehler detektiert als auch ein visueller Eindruck über die Fehlersituation in einer HN-Modellierung erstellt werden. Dadurch wird die sich anschließende fachliche QS wesentlich vereinfacht. Darüber hinaus fördert das einheitliche Vorgehen die Vergleichbarkeit der Individualprüfung der QS und damit der Ergebnisse von HN-Modellierungen.

Für eine zukünftige Anwendung der erstellten räumlichen Analysemethoden sind weitere Testläufe mit Referenzfehlern – besonders für die Fehlerkategorien A, C und F – notwendig, um die bisherigen Ergebnisse mit diesen Methoden zu bestätigen.

Während der Erstellung der räumlichen Analysemethoden wurden Ähnlichkeiten in einzelnen Schritten der verschiedenen Methoden festgestellt, die aus zeitlichen Gründen nicht weiter vertieft werden konnten. Für eine zukünftige Anwendung sollte geprüft werden, in wieweit sich die erstellten methodischen Ansätze aggregieren lassen. Beispielsweise werden sowohl in Fehlerkategorie A als auch in Fehlerkategorie H kleinräumige Höhendifferenzen im Wasserspiegel gesucht, wenn auch im jeweiligen Methodenverlauf mit unterschiedlichen Zielen. Durch diese methodischen Synergien könnte die Methodik kompakter gestaltet und dadurch eine Beschleunigung der Rechenläufe erreicht werden. Damit würde die praktische Anwendbarkeit weiter verbessert.

Die Minimierung der benötigten Eingangsdatensätze für die automatisierte Fehlererkennung und die Verwendung allgemein bekannter räumlicher Analysemethoden ist die Voraussetzung für eine einfache Übertragbarkeit auf andere HN-Modellierungen. Neben der Anwendung der

Methodik bei unterschiedlichen HN-Modellierungen bilden die Ergebnisse dieser Master Thesis einen Ausgangspunkt, um zu untersuchen, inwieweit weitere Simulationsmodellierungen wie die Modellierung von Schall- oder Schadstoffausbreitungen mit einbezogen werden können. Beispielsweise basiert die Umgebungslärm-Kartierung Baden-Württemberg ebenfalls auf Ausbreitungssimulationen (s. Abb. 82 und zum Vergleich eine Hochwassergefahrenkarte in Abb. 81), deren Ergebnis die Schallemission in Dezibel wiedergibt. Dabei wird in Baden-Württemberg auch auf das 1m Geländemodell zurückgegriffen und analog zum hydraulisch plausiblen DGM ein rasterbasiertes Oberflächenmodell erstellt, um die Hindernisse zu modellieren, die relevant für die Schallausbreitung sind. Somit sind technische Parallelen gegeben und auch aus fachlicher Sicht ist zu erwarten, dass etliche Aspekte vergleichbar sind. So ist die Stetigkeit der Schallausbreitung mit der Stetigkeit des Wasserspiegels vergleichbar. Eine Detektion von Sprüngen in diesen Datensätzen entspricht aus dem Blickwinkel der räumlichen Analyse dem in dieser Master Thesis entwickelten methodischen Vorgehen.



Abb. 81: Beispiel für die Überflutungstiefen-Kartierung in Baden-Württemberg (Quelle: LUBW HWGK)

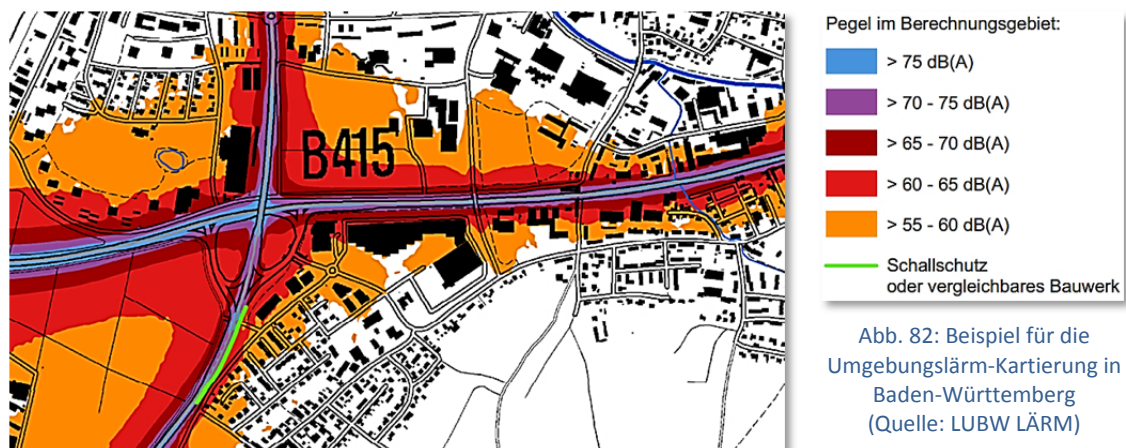


Abb. 82: Beispiel für die Umgebungslärm-Kartierung in Baden-Württemberg (Quelle: LUBW LÄRM)

Die in dieser Master Thesis zugrunde gelegten Fehlerkategorien nach ZEISLER (2011) wurden über den Zeitraum von 2011 bis 2014 entwickelt und durch eine geprüfte Gewässerstrecke von über 10.000 Flusskilometern und etwa 800 dokumentierten Fehlern gebildet. Bei zukünftigen Anwendungen insbesondere in anderen Anwendungsbereichen sollte gleichwohl immer auch überprüft werden, ob weitere verallgemeinerbare Fehler auftreten und damit der Katalog der Fehlerkategorien erweitert werden muss.

ROBNIK et al. (2011) beschreibt, dass mit dem „*automatisierten Management von Geodaten [...] durch Scripting und visuelle Programmierung*“, eine hochwertige und weitreichende Automatisierung bei komplexen räumlichen Fragestellungen erreicht werden kann. Dies konnte mit dieser Arbeit beispielhaft anhand der prototypischen Realisierung demonstriert werden. Auch ASSMANN und JÄGER (2003) bescheinigen dem Einsatz von GIS beim Umgang mit Hochwassergefahren einen Nutzen in fast allen Bereichen. Besonders hervorgehoben wird dabei die integrierte Bearbeitungsmöglichkeit bis hin zur 2D Simulation innerhalb von GIS. Auch diese Aussage kann mit dieser Arbeit bestätigt werden. Durch die Unterstützung des QS-Prozesses wird die hier erstellte, GIS-gestützte Methodik zwischen die Simulationsphase mit dem angeschlossenen Post-Prozess und der gutachterliche Individualprüfung durch die fachliche QS in den Erstellungsprozess der HN-Modellierung eingegliedert.

Bei einer zukünftigen spezifischen Implementierung und konsequenten Anwendung der erstellten räumlichen Analysemethoden in einem Erstellungsprozess von HN-Modellierungen kann auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit mit einem erheblichen Mehrwert für die Individualprüfung der fachlichen QS gerechnet werden. Dieser besteht aus einer höheren Transparenz der Prüfprozesse der QS, einer rationelleren Bearbeitung und einem besseren Verständnis für die Ergebnisse der QS bei allen Beteiligten. Damit kann die Qualität der Ergebnisse von HN-Modellierungen und weiterer Simulationsmodellierungen verbessert und damit die praktische Anwendbarkeit erweitert werden.

## Literaturverzeichnis

- ASSMANN, A. und JÄGER, S. (2003)** 'GIS-Einsatz im Hochwassermanagement', in STOBL, J., BLASCHKE, T. und GRIESEBNER, G., eds., *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV. Beiträge zum AGIT-Symposium*, Salzburg, 01.04.2003, Heidelberg: Wichmann, S. 7-14.
- ASSMANN, A., SCHROEDER, M. und HRISTOV, M. (2007)** 'High Performance Computing für die rasterbasierte Modellierung' in STOBL, J., BLASCHKE, T. und GRIESEBNER, G., eds., *Angewandte Geoinformatik 2007*, Heidelberg: Wichmann, S. 19-24.
- BARTELME, N. (2005)** 'Geoinformatik', Berlin Heidelberg: Springer.
- BIELITZ, E. (2008)** 'Deichzustandsanalysen im Freistaat Sachsen', in MINOR, H.-E., ed. *Internationales Symposium Neue Anforderungen an den Wasserbau*, Zürich, September 2008, ETH Zürich: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie S. 567-576.
- BRAUNER, C. (2013)** 'Hochwasserkrisenmanagement als Teil von Hochwasserschutzkonzepten – Praktische Erfahrungen aus Pilotprojekten', *Wasserwirtschaft*, 103(9), S. 36-39.
- BUCHHOLZ, O. und HATZFELD, F. (2012)** 'Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie, Managementunterstützung in NRW und Praxisbeispiele', in SCHÜTTRUMPF, H., ed. *Internationales Wasserbau-Symposium*, Aachen, Januar 2012, Aachen: Shaker, S. 37-42.
- CASEY, M. und WINTERGERSTE, T. (2000)** 'Quality and trust in industrial CFD - Best Practice Guidelines', ERCOFTAC Special Interest Group, London: ERCOFTAC.
- CLEMENTINI, E., DI FELICE, P. und VAN OOSTEROM, P. (1993)** 'A small set of formal topological relationships suitable for end-user interaction' in ABEL, D. und CHIN OOI, B., eds., *Advances in Spatial Databases*, Berlin Heidelberg: Springer, 277-295.
- DAUCHER, H. und KAROLUS, B. (2003)** 'Numerische Modelle zur Strömungssimulation', *Hydraulik naturnaher Fließgewässer Teil 4*, Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- DE SMITH, M. J., GOODCHILD, M. F. und LONGLEY, P. (2013)** 'Geospatial analysis - a comprehensive guide to principles, techniques and software tools', Troubador Publishing Ltd [online], verfügbar unter: <http://www.spatialanalysisonline.com/> [zugegriffen am 22.07.2014].
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1995)** 'DIN 8402:1995-08', Qualitätsmanagement - Begriffe, Berlin: Beuth.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1998)** 'DIN 19661-1:1998-07', Wasserbauwerke - Teil 1: Kreuzungsbauwerke; Durchleitungs- und Mündungsbauwerke, Berlin: Beuth.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2013)** 'DIN 19712:2013-01', Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Berlin: Beuth.
- DWA-MERKBLATT-507-1 (2011)** 'Deiche an Fließgewässern - Teil 1: Planung, Bau und Betrieb', Hennef: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- EGENHOFER, M. J. und FRANZOSA, R. D. (1991)** 'Point-set topological spatial relations', *International Journal of Geographical Information System*, 5(2), 161-174.
- EGENHOFER, M. J. und HERRING, J. (1990)** 'A mathematical framework for the definition of topological relationships', in BRASSEL, K. E. und KISHIMOTO, H., eds., *International symposium on spatial data handling*, Zurich, Juli 1990, International Geographical Union IGU, Commission on Geographic Information Systems, Department of Geography, The Ohio State University, S. 803-813.
- EUROPEAN COMMISSION (2007)** 'Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks', *Official Journal of the European Union*, 2007a, S. L 288/27.

- FABER, R., FUCHS, M. und PUCHNER, G. (2012)** *'Numerische Simulation von Hochwässern: Von 1D zu 3D aus Anwendersicht im Ingenieurbereich'*, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64(5-6), S. 307-313.
- FAIGLE, P., FLITTNER, M., JÖRGER, R., KAROLUS, B., KLUMPP, H., REICH, J., SCHOLZ, C. und WALTER, J.-C. (2007)** *'Flussdeiche, Aufbau und Inhalte eines Deichbuches und eines Statusberichtes'*, Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/FlussdeichEtc>, [zugegriffen am 26.07.2014].
- FRÜHAUF, K., LUDEWIG, J. und SANDMAYR, H. (2002)** *'Software-Projektmanagement und -Qualitätssicherung'*, Zürich: vdf Hochschulverlag.
- GABL, R., GEMS, B., DE CESARE, G. und AUFLEGER, M. (2014)** *'Anregungen zur Qualitätssicherung in der 3-D-numerischen Modellierung mit FLOW-3D'*, Wasserwirtschaft, 3(4), S. 15-20.
- GERKE, M., WILLRICH, F. und HEIPKE, C. (2004)** *'Automatisierte Qualitätskontrolle von Geobasisdaten auf der Grundlage digitaler Luftbilder'*, Mitteilungen des Bundesamtes für Geodäsie und Kartografie, 31, S. 55-58.
- GERLINGER, K. (2008)** *'Provision of design characteristics in consideration of flood control reservoirs as a basis for flood hazard maps'*, Wasserwirtschaft, 98(4), S. 22-25.
- HABERSACK, H., HENGL, M., KNOBLAUCH, H., REICHEL, G., RUTSCHMANN, P., SACKL, B., TRITTHART, M. und GAUL, A. (2007)** *'Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Hydrodynamik'*, 37, Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, verfügbar unter: [http://www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/publikationen/arbeitsbehelf/AB\\_-\\_Hydrodynamik\\_Fliessgewaessermmodellierung.pdf](http://www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/publikationen/arbeitsbehelf/AB_-_Hydrodynamik_Fliessgewaessermmodellierung.pdf), [zugegriffen am 2.8.2014].
- HABERSACK, H., TRITTHART, M., LAKL, P., SCHÖBERL, F., HENGL, M., HUBER, B., KNOBLAUF, H., RICKMANN, D., SCHOBER, B., KLÖSCH, M., GABRIEL, H., HAIMANN, M., MOSER, M., STEPHAN, U., BADURA, H., HAUER, C., KROUZECKY, N. und GAUL, A. (2011)** *'Arbeitsbehelf Fließgewässermodellierung–Feststofftransport und Gewässermorphologie'*, Wien: verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/bmlfuw-gv-at-dms-lmat-wasser-w>, [zugegriffen am 05.09.2014].
- HASCHER, M. (2013)** *'Management des Hochwasserrisikos von Kulturgütern in Baden-Württemberg'*, Wasserwirtschaft, 11(13), S. 50-53.
- JIRKA, G. H. und LANG, C. (2009)** *'Einführung in die Gerinnehydraulik'*, Universitäts-Verlag Karlsruhe [online], verfügbar unter: <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000011374> [zugegriffen am 05.03.2014].
- JOOS, G. (2000)** *'Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten'* in PRODEKAN DES STUDIENGANGS, ed. 66. *Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie und Geoinformation*, Neubiberg: Universität der Bundeswehr München.
- KOPMAN, R., HENTSCHEL, B. und KAMPKER, A. (2004)** *'Vorhersagefehler von hydraulisch-numerischer Modellierung vor dem Hintergrund unsicherer Naturdaten und deren Konsequenz'* in *Dresdner Wasserbauliche Mitteilung*, Dresden: Technische Universität Dresden, Inst. für Wasserbau und Technik, S. 259-270.
- KRÄMER, T. (2012)** *'Was tun, wenn's tropft. Archivische Behördenberatung bei Wasserschäden in Registraturen'*, Abschlußarbeit (Transferarbeit im Rahmen der Laufbahnprüfung für den höheren Archivdienst), Archivschule Marburg.
- LANG, S. und BLASCHKE, T. (2007)** *'Landschaftsanalyse mit GIS'*, Stuttgart: Ulmer.
- LIEBERT, J., PREUSS, P. und IHRINGER, J. (2007)** *'Informationssystem BW\_Abfluss (Abfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg)'*, in *GIS in der Wasserwirtschaft*, Kassel, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Tagungsband auf CD-Rom.
- LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. und RHIND, D. W. (2011)** *'Geographic information system and Science'*, Third Edition ed., Hoboken (USA NJ): John Wiley & Sons Ltd.



- MADDOCK, I., HARBY, A., KEMP, P. und WOOD, P. J. (2013)** *'Ecohydraulics: An Integrated Approach'*, Hoboken (USA NJ): John Wiley & Sons Ltd.
- MANDLBURGER, G. und BRIESE, C. (2007)** *'Using airborne laser scanning for improved hydraulic models'*, translated by Christchurch, New Zealand: Modelling & Simulation Society of Australia & New Zealand Inc. , 731-738.
- MATTES, E. (2008)** *'GIS-Bearbeitung und Datenmanagement'*, *Wasserwirtschaft*, 98(4), S. 34-36.
- MATTES, E. (2014)** *'Interview zu fachlichen und technischen Aspekten hydrodynamisch-numerischer Fließgewässermodellierungen am Beispiel der HWGK'*, geführt von GEÖRG, M., in Etappen von Jan.-Okt. 2014, Karlsruhe, Freiburg.
- MOSER, M. (2009)** *'Methodikbeschreibung der Hochwassergefahrenkarte Anl. 9: Leistungen des Auftragnehmers'*, Stuttgart: Regierungspräsidium Stuttgart, verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/HWGK-Methodik-Anl9>, [zugegriffen am 02.07.2014].
- MOSER, M. (2012a)** *'4.400 Termine, 130 Gebiete, keine Weisungsbefugnis – wie bringe ich die Mannschaft ins Ziel?'*, Nürnberg: GPM Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement e.V., , verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/MoserPmForum2012>, [zugegriffen am 05.07.2014].
- MOSER, M. (2012b)** *'Beschreibung der Vorgehensweise zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg'*, Stuttgart: Regierungspräsidium Stuttgart, verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/VorgehenHwgkBW>, [zugegriffen am 07.07.2014].
- MOSER, M., HEPPELER, J., ZEISLER, P. und MATTES, E. (2008a)** *'Hydraulische Berechnungen der Hochwassergefahrenkarten'*, *Wasserwirtschaft*, 98(4), S. 26-29.
- MOSER, M. und REICH, J. (2008b)** *'Das Projekt Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg'*, *Wasserwirtschaft*, 98(4), S. 15-17.
- PANCZAK-GEÖRG, M., SOMMER, C., HEPPELER, J., HINSENKAMP, G., FEHRER, L., STADELMANN, R. und KAHLES, G. (2013)** *'Lesehilfe für die Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg'*, Regierungspräsidium Stuttgart [online], verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/LesehilfeHwgkBW> [zugegriffen am 13.07.2014].
- PANCZAK, M. (2003)** *'Konzeption und prototypische Realisierung einer flexiblen, blattschnittfreien DGM Datenverwaltung sowie eines plattformunabhängigen Zugriffs auf Funktionen und abgeleitete Ergebnisse durch einen Web-Service'*, Abschlussarbeit (Diplomarbeit), Fachhochschule Karlsruhe Hochschule für Technik.
- PIMPLER, E. (2013)** *'Programming ArcGIS 10.1 with Python Cookbook'*, Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- RIMEK, M. (2011)** *'Hochwasserschutz: Flut-Informations- und -Warnsystem FLIWAS im Einsatz'*, *Die Gemeinde*, 11, S. 421-423.
- ROBNIK, M., DÖRFEL, G., PAULUS, G., GFRERER, W. und LEITNER, M. (2011)** *'Automatisiertes Management von Geodaten und Projekten durch Scripting und visuelle Programmierung'*, in STOBL, J., BLASCHKE, T. und GRIESEBNER, G., eds., *Angewandte Geoinformatik 2011: Beitrag zum 23. AGIT-Symposium*, Salzburg, Juni 2011, Heidelberg: Wichmann, S. 776-785.
- ROUSSELOT, P., VETSCH, D. und FÄH, R. (2012)** *'Numerische Fließgewässer-Modellierung'*, in GIULIO, M. D. und ANGELONE, S., eds., *Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie*, Bern: Bundesamt für Umwelt, S. 1-8.
- RPS (2011)** *'Protokoll Hydraulikertag 2011'*, Hochwassergefahrenkarte, Stuttgart: Regierungspräsidium Stuttgart, unveröffentlicht.
- SEITZ, T. (2008)** *'Erfassung und Bereitstellung der Vermessungsdaten für Hochwassergefahrenkarten'*, *Wasserwirtschaft*, 98(4), S. 18-21.
- SOHN, G. und DOWNMAN, I. (2007)** *'Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction'*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(1), S. 43-63.

- SOMMER, C. (2013)** *'Hochwassergefahrenkarten - Der zentrale Baustein des Hochwasserrisikomanagements: Projektstand und Qualitätssicherung'*, *Die Gemeinde*, 11, S. 439ff.
- SOMMER, C. (2014)** *'Interview zu fachlichen Aspekten hydrodynamisch-numerischer Fließgewässermodellierungen am Beispiel der HWGK'*, geführt von GEÖRG, M., in Etappen von Jan.-Okt. 2014, Karlsruhe, Stuttgart.
- TOMLIN, C. D. (2012)** *'GIS and Cartographic Modeling'*, Redlands: ESRI Press.
- UMWELT BW (2014)** *'Hochwassergefahrenkarte - Informationsgrundlage schaffen'*, Stuttgart: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, verfügbar unter: <http://preview.tinyurl.com/InfoHwgkBW>, [zugegriffen am 22.06.2014].
- UMWELT NRW (2003)** *'Leitfaden Hochwasser-Gefahrenkarten NRW'*, Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, verfügbar unter: [http://www.lanuv.nrw.de/wasser/pdf/leitfaden\\_Gefahrenkarte.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/wasser/pdf/leitfaden_Gefahrenkarte.pdf), [zugegriffen am 20.06.2014].
- VETTER, M., HÖFLE, B., MANDLBURGER, G. und RUTZINGER, M. (2011)** *'Estimating changes of riverine landscapes and riverbeds by using airborne LiDAR data and river cross-sections'*, *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 55(2), S. 51-65.
- WALLISCH, S. (2013)** *'Hochwassergefahrenkarten – Was bleibt zu tun?'*, *Wasserwirtschaft*, 103(11), S. 42-45.
- WILL, J. (2014)** *'Development of an automated matching algorithm to assess the quality of the OpenStreetMap road network'*, Abschlussarbeit (Master), Lund University.
- WILTSCHKO, T. und KAUFMANN, T. (2005)** *'Modellierung und Bewertung der Qualität in Prozessen der Geodatenverarbeitung am Beispiel von Straßendaten'*, in STROBL, J., BLASCHKE, T. und GRIESEBNER, G., eds., *Angewandte Geoinformatik 2005*, Salzburg, Heidelberg: Wichmann, S. 790-799.
- YÖRÜK, A. und BUCHHOLZ, O. (2014)** *'Einsatz eines 2D-hydrodynamischen Modells zur Berechnung von Überflutungsflächen'*, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 11(5), S. 634-635.
- ZEISLER, P. (2008)** *'Qualität trotz Quantität Qualitätssicherung bei Hochwassergefahrenkarten'*, *Wasserwirtschaft*, 98(4), S. 30-33.
- ZEISLER, P. (2011)** *'Erstellung von Hochwassergefahrenkarten (HWGK) in Baden-Württemberg, Qualitätssicherung Hydraulik (QS2), Systematische Fehler in den Hydraulischen Berechnungen'*, HWGK Hydrauliker Tag 2011, Stuttgart: RUIZ RODRIGUEZ - ZEISLER - BLANK, GbR, unveröffentlicht.
- ZEISLER, P. (2014)** *'Interview zu fachlichen und organisatorischen Aspekten hydraulisch numerischer Fließgewässermodellierungen am Beispiel der HWGK'*, geführt von GEÖRG, M., im Sep. 2014, Darmstadt, Stutensee.

# Anhänge

<b>Anhang I – Quantitative Betrachtung der systematischen Fehler der Qualitätssicherung .....</b>	<b>108</b>
<b>Anhang II – Quellcode zur prototypischen Realisierung .....</b>	<b>110</b>
Gemeinsame Komponenten – Gewässerbereich .....	110
Gemeinsame Komponenten – Vorlandbereich .....	112
Gemeinsame Komponenten - Überflutungstiefen und –flächen.....	113
Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierungen.....	114
Wasserspiegel in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen .....	117
Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen .....	120
Zu kleiner Modellbereich .....	121
Freibord an Deichen .....	122
Unstetiger Wasserspiegel an Deichen .....	127
Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 1 und 3) .....	128
Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 2) .....	129
Demonstration einer technischen Qualitätsprüfung einer fiktiven Geodatenschnittstelle .....	130
Demonstration einer automatisierten Visualisierung einer fiktiven Geodatenschnittstelle.....	134

# Anhang I – Quantitative Betrachtung der systematischen Fehler der Qualitätssicherung

Diese Tabelle stellt einen Auszug aus der Statistik der HWGK dar, in der die gefundenen Fehler aus der Qualitätssicherung quantitativ dokumentiert werden.

Untersuchungsgebiet (Projektbezeichnung HWGK)	Gew.- länge [km]	Fehleranzahl nach Fehlerkategorien								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Argen	150	-	15	3	2	1	2	7	2	32
Argen	150	1	-	-	1	-	2	3	-	1
Argen	150	1	-	-	-	-	-	2	-	-
Schussen Oberlauf	111	1	-	-	-	-	1	-	-	1
Schussen Oberlauf	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schussen Unterlauf	110	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Schussen Unterlauf	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mündung Wolfegger Aach in Schussen	26	1	1	1	-	-	-	-	1	-
Mündung Wolfegger Aach in Schussen	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stockacher Aach / Radolfzeller Aach und Nebengewässer	136	-	12	-	1	4	-	-	2	-
Stockacher Aach / Radolfzeller Aach und Nebengewässer	136	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotach, Seefelder Aach	172	-	-	-	-	0	-	-	-	-
Wutach und Steina („Hochrhein“)	321	2	5	-	4	-	-	6	-	-
Wutach und Steina („Hochrhein“)	211	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wehra, Murg und Seitengewässer des Hochrheins	101	3	4	1	-	3	1	-	-	-
Wiese	137	-	9	5	2	-	1	1	-	2
EZG Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Leopoldskanal (ohne Rhein)	302	1	5	2	1	1	2	2	-	-
EZG Rhein unterhalb Wiese bis oberhalb Leopoldskanal (ohne Rhein)	302	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Elz	182	1	6	11	2	-	-	4	-	-
Elz	182	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dreisam	195	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kinzig - ohne Flutungsmodell	360	4	-	3	-	-	-	1	-	-
Flutungsmodell Kinzig	179	-	-	2	-	-	-	2	-	-
Schutter (ohne Schutterentlastungskanal)	97	-	4	-	1	1	2	-	-	-
Oos	19	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Pfinzkorrektur	41	-	5	2	-	-	-	-	-	-
Hardtgraben	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pfinz, Kraichbach, Katzbach, Kleiner Bach, Leimbach	182	3	10	1	-	2	2	-	1	-
Saalbach Oberlauf im TBG 352	51	4	3	-	-	-	-	-	-	-
Weschnitz Landgraben	65	-	1	1	-	-	-	1	2	-
Eyach	129	-	2	-	-	-	-	-	-	-
Eyach	129	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oberer Neckar und Glatt	282	15	14	1	6	15	4	-	1	-
Oberer Neckar und Glatt	282	2	-	1	-	-	-	3	-	-
Ammer Steinlach	124	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rems & Josephsbach	84	-	-	1	-	-	-	3	-	-
Neckar Seitengewässer	109	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enz	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EZG Enz - Strudelbach	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Böllinger Bach	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kocher Mittellauf - ohne Kocher	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Untersuchungsgebiet (Projektbezeichnung HWGK)	Gew.- länge [km]	Fehleranzahl nach Fehlerkategorien								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Kocher Oberlauf – ohne Kocher	205	5	12	1	-	1	-	1	4	7
Kocher Oberlauf – ohne Kocher	205	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Jagst Unterlauf (ohne Jagst und Schefflenz/Seckach/Kirnau/Erlenbach)	69	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Schefflenz / Seckach	120	15	13	8	3	9	1	-	8	-
Schefflenz / Seckach	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erlenbach, Hasselbach und Stöckiggraben	33	-	2	-	-	-	-	2	-	-
Jagst Mittellauf - ohne Jagst	108	-	2	3	-	-	1	1	-	-
Neckar Oberlauf von Eyach bis Fils	21	1	-	-	-	2	-	-	1	-
Neckar Oberlauf von Eyach bis Fils	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
nur Tauber + Überlagerungsbereich Seitengewässer	33	-	-	-	-	1	-	-	3	-
Nebengewässer Tauber	122	-	1	1	1	-	2	-	-	3
nur Tauber + Überlagerungsbereich Seitengewässer	54	-	-	-	-	2	-	-	2	-
Nebengewässer der Tauber	96	-	3	1	-	2	2	-	-	3
Main und Nebengewässer	87	-	17	1	-	-	8	3	-	4
Morre	18	-	2	1	-	-	-	-	-	-
Morre	18	-	1	1	-	-	-	-	-	-
EZG Donau ohne Donau	226	-	14	18	-	3	1	4	2	-
TBG 610 Nebengewässer	130	1	2	-	-	-	-	-	-	-
Ablach - ohne Donau	125	2	2	-	-	-	-	-	-	-
Ostrach Kanzach	158	1	1	1	-	-	1	-	-	-
TBG 631 # Hy09 - L4	66	-	-	8	-	-	-	-	-	-
TBG 631 # Hy09 - L4	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Donau	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Donau	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schmiech	40	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Donau	32	5	10	1	-	-	3	-	2	-
Donau	32	-	1	-	-	-	-	2	-	-
Donau	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Untere Iller	111	-	1	4	1	-	1	8	2	-
Untere Iller	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Riß/Rot	307	-	112	12	5	3	2	4	7	-
Riß/Rot	307	-	-	-	3	-	2	-	1	-
Aitrach	76	1	3	0	0	4	1	4	1	0
Aitrach	76	-	-	-	-	1	-	3	-	-
EZG Blau Lone Nau	120	-	1	3	-	-	1	-	-	-
Brenz Egau Eger Rotach	186	-	-	6	-	1	1	2	1	-
Donau	37	-	-	-	-	-	-	4	1	-
Donau	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Untere Iller Mündung in die Donau	20	-	-	2	-	-	-	3	-	-



# Anhang II – Quellcode zur prototypischen Realisierung

## Gemeinsame Komponenten – Gewässerbereich

```
# #####
# Name:      HN-MOD_QS__00__CREATE_GewaesserBereich
# Purpose:   Erstellen des Gewaesserbereichs aus Vermessungspunkten
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created:   Juli-November 2014
# #####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
arcpy.env.overwriteOutput = True

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if arcpy.env.workspace == '#' or not arcpy.env.workspace:# Standardwert/Testlauf
    arcpy.env.workspace = r'C:\MGeoerg__00__GewBereich\WKS.gdb'

PktTyp = arcpy.GetParameterAsText(1) # Attributanme des Punkttyps
if PktTyp == '#' or not PktTyp: # Standardwert/Testlauf
    PktTyp = "PKT_TYP"

ProfilNr = arcpy.GetParameterAsText(2) # Attributanme der Profilabfolge
if ProfilNr == '#' or not ProfilNr: # Standardwert/Testlauf
    ProfilNr = "PROFILNR"

PktTypLiBoOk = arcpy.GetParameterAsText(3) # Code Boeschungsoberkante links
if PktTypLiBoOk == '#' or not PktTypLiBoOk: # Standardwert/Testlauf
    PktTypLiBoOk = 2

PktTypReBoOk = arcpy.GetParameterAsText(4) # Code Boeschungsoberkante recht
if PktTypReBoOk == '#' or not PktTypReBoOk: # Standardwert/Testlauf
    PktTypReBoOk = 6

VermPkt = arcpy.GetParameterAsText(5) # Vermessungspunkte
if VermPkt == '#' or not VermPkt: # Standardwert/Testlauf
    VermPkt = "inVermPkt"

PktTypLi = "in_memory" + "\\" + "PktTypLi" # temp FC Sort li Boeschung
PktTypRe = "in_memory" + "\\" + "PktTypRe" # temp FC Sort li Boeschung
PktSort = "in_memory" + "\\" + "PktSort" # temp FC li re Zusammen
GewPoly = "GewPoly" # Output Gewaesserbereich
if arcpy.Exists(GewPoly): arcpy.DeleteFeatures_management(GewPoly)
if arcpy.Exists(GewPoly): print "Existiert immer noch"

# ## Vermessungspunkte einlesen und sortieren #####
# Punkte sortieren um am einem Ufer alle Punkte in der Reihenfolge der Profile zu
# verbinden und auf der anderen Uferseite die Punkte in umgekehrter Reihenfolge
# hinzuzufuegen.

# Auswahl und sortieren PKT-Typ Links
arcpy.MakeFeatureLayer_management(workspace + "\\" + VermPkt, "lyrVermPktLi")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrVermPktLi", \
    "NEW_SELECTION", "\"PKT_TYP\" = " + str(PktTypLiBoOk))
arcpy.Sort_management("lyrVermPktLi", PktTypLi, \
    [{"PKT_TYP", "ASCENDING"}, {"PROFILNR", "ASCENDING"}])

# Auswahl PKT-Typ Rechts
arcpy.MakeFeatureLayer_management(VermPkt, "lyrVermPktRe")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrVermPktRe", \
    "NEW_SELECTION", "\"PKT_TYP\" = " + str(PktTypReBoOk))
arcpy.Sort_management("lyrVermPktRe", PktTypRe, \
    [{"PKT_TYP", "ASCENDING"}, {"PROFILNR", "DESCENDING"}])

# Zusammenfuehren der sortierten Punkte
arcpy.Merge_management([PktTypLi, PktTypRe], PktSort)

# ## Vermessungspunkte zu Polygon #####
arcpy.CreateFeatureclass_management(arcpy.env.workspace, \
    GewPoly, "POLYGON", "", "DISABLED", "DISABLED", VermPkt)# leere Polygon FC erstellen
```

```

inPkts = arcpy.SearchCursor(PktSort)
outPolys = arcpy.InsertCursor(GewPoly)
pktObj = arcpy.Point()
arrObj = arcpy.Array()

for inPkt in inPkts:
    inPktGeom = inPkt.shape
    pkt = inPktGeom.getPart()
    pktObj.X = pkt.X
    pktObj.Y = pkt.Y
    arrObj.add(pktObj)

arrObj.add(arrObj.getObject(0))
polFeat = outPolys.newRow()
polFeat.shape = arrObj
outPolys.insertRow(polFeat)

```

```

# Searchcursor erstellen
# Insertcursor erstellen
# PunktObjekt erstellen
# Array-Objekt erstellen

# fuer jeden Punkt in PktSort
# referenziere Geometrie/"shape"

# weise Vertex PktObj x-Koord zu
# weise Vertex PktObj y-Koord zu
# PktObj zu Array hinzufuegen

# Erster Punkt = letzter Punkt
# leeres PolygonObj erstellen
# PktArray PolygonObj zuweisen
# Polygon anlegen

```

## Gemeinsame Komponenten – Vorlandbereich

```
# #####
# Name:      HN-MOD_QS__00__CREATE_GewVorlandBereich
# Purpose:   Erstellen des Gewaesser- und Vorlandbereichs
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created:   Juli-November 2014
# #####

import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
arcpy.CheckOutExtension("Spatial") # Spatial Analyst lizenzieren
arcpy.env.workspace = r'C:\MGeoerg__00__GewVorBereich' # Workspace
arcpy.env.overwriteOutput = True # Ergebnisse ueberschreibbar

# ## Skript-Parameter #####
DGM = arcpy.GetParameterAsText(0) # DGM
if DGM == '#' or not DGM: # Standardwert/Testlauf
    DGM = r"C:\MGeoerg__00__GewVorBereich\dgm"
GewBereich = arcpy.GetParameterAsText(1) # Gewaesserbereich
if GewBereich == '#' or not GewBereich: # Standardwert/Testlauf
    GewBereich = r"C:\MGeoerg__00__GewVorBereich\GewBereich.shp"
rcDGM = "rcDGM" # Reklass. DGM
ModelArea = "ModelArea.shp" # Modellbereich = DGM <> NoData
VorBereich = "VorlandBereich.shp" # Vorlandbereich

# ## Vorlandbereich berechnen #####
rcDGM = Reclassify(DGM, "Value", \
RemapRange([[0,10000,1]])) # Neuklassifizierung

arcpy.RasterToPolygon_conversion(rcDGM, ModelArea, \
"SIMPLIFY", "VALUE") # Transform. Raster zu Polygon

arcpy.Erase_analysis(ModelArea, GewBereich, \
VorBereich, "") # VorlandBereich erstellen
```

## Gemeinsame Komponenten - Überflutungstiefen und -flächen

```
#####
# Name:      HN-MOD_QS_00_CREATE_UF_UT
# Purpose:   Erstellen von Ueberflutungstiefen und -flaechen aus
#           Wasserspiegel und DGM
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created:   Juli-November 2014
# #####

import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc
arcpy.env.workspace = r'C:\temp\MGeoerg_00_UT_UF'
WSP = "wsp_hq100"
DGM = "dgm"
UT = "UT"
tmpUF1 = "in_memory" + "\\\" + "tmpUF1"
tmpUF2 = "in_memory" + "\\\" + "tmpUF2"
UF = "UF.shp"
arcpy.env.overwriteOutput = True

# ## Optionen
CLEAR_NEG_UT = 1
CLEAR_UF_UT = 1
CLEAR_AREA = 100

# ### Ueberflutungstiefen berechnen (UT) HQx
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
tmpUT = Minus(WSP, DGM)
if CLEAR_NEG_UT == 1:
    tmpUT = SetNull(tmpUT, tmpUT, "VALUE < 0")
tmpUT.save(UT)
print "UT done"

# ### Ueberflutungsflaechen berechnen (UF) HQx
tmpUT = Int(SetNull(tmpUT, tmpUT, "VALUE < 0"))
arcpy.RasterToPolygon_conversion(tmpUT, tmpUF1, \
    "NO_SIMPLIFY", "Value")
arcpy.Dissolve_management(tmpUF1, tmpUF2, "", "", \
    "SINGLE_PART", "DISSOLVE_LINES")
arcpy.AddField_management(tmpUF2, "m2", "DOUBLE")
arcpy.CalculateField_management(tmpUF2, "m2", \
    "!SHAPE.area!", "PYTHON_9.3")
arcpy.CopyFeatures_management(tmpUF2, UF)

# ### opt. Ueberflutungsflaechen bereinigen
if CLEAR_UF_UT == 1:
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(tmpUF2, "lyrUF")
    arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrUF", \
        "NEW_SELECTION", "" "m2" > "" + str(CLEAR_AREA))
    arcpy.EliminatePolygonPart_management("lyrUF", "UF", \
        "AREA", "100 SquareMeters", "0", "CONTAINED_ONLY")
    # arcpy.CopyFeatures_management("lyrUF", UF)

# ### aufräumen
arcpy.Delete_management(tmpUT, "raster")
arcpy.Delete_management("in_memory")

#####
# Workspace
# Wasserspiegel
# hydraulisch plausibles DGM
# output Ueberflutungstiefen
# temp. Ueberflutungsflaechen 1
# temp. Ueberflutungsflaechen 2
# output Ueberflutungsflaechen
# Ergebnisse ueberschreibbar

#####
# Negat. UT loeschen bzw. NoData
# Ergebnisse Bereinigen
# Bereinigungsgrenze (Flaechen)

#####
# ArcGIS SA Lizenz
# UT = WSP - DGM
# opt. negative UT = NoData

# UT speichern

#####
# nur pos. int. UT werden zu UF

# UF aus positiven UT Werten

# Flaechen aufloesen
# Feld hinzufuegen

# Flaechen berechnen

#####
# opt. loeschen AREA<CLEAR_AREA
# Layer erstellen

# anhand Flaechen selektieren

# mit ArcInfo Lizenz
# ohne ArcInfo Lizenz

#####
```

## Sprünge im Wasserspiegel bei 1D HN-Modellierungen

```
# #####
# Name:      HN-MOD_QS_FKA_WSP_Abstuerze
# Purpose:   Potenzielle Spruenge im Wasserspiegel bei Ergebnissen aus 1D-Modellierungen
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created:   Juli-November 2014
# #####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy #####
arcpy.CheckOutExtension("spatial") # Spatial Analyst Lizenz
arcpy.env.overwriteOutput = True

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf
    Workspace = r"C:\MGeoerg_FKA_WSP_Absturz\WKS.gdb"
arcpy.env.workspace = Workspace

WSP = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name des Wasserspiegel
if WSP == '#' or not WSP: # Standardwert/Testlauf
    WSP = r"wsp_hq100"

GewBereich = arcpy.GetParameterAsText(2) # Name des Gewaesserbereich
if GewBereich == '#' or not GewBereich: # Standardwert/Testlauf
    GewBereich = r"\GewBereich"

VorBereich = arcpy.GetParameterAsText(3) # Name des Vorlandbereich
if VorBereich == '#' or not VorBereich: # Standardwert/Testlauf
    VorBereich = r"\Vorland"

Neigungsgrenzwert = arcpy.GetParameterAsText(4) # Neigungsgrenzwert
if Neigungsgrenzwert == '#' or not Neigungsgrenzwert: # Standardwert/Testlauf
    Neigungsgrenzwert = "5"

Siedlungsbereich = arcpy.GetParameterAsText(5) # Siedlungsbereich
if Siedlungsbereich == '#' or not Siedlungsbereich: # Standardwert/Testlauf
    Siedlungsbereich = "C:\\MGeoerg__00_MISC\\MISC.gdb\\OrtslageBW_DLM25"

AbstBau = arcpy.GetParameterAsText(6) # Absturzbauwerk
if AbstBau == '#' or not AbstBau: # Standardwert/Testlauf
    AbstBau = "C:\\MGeoerg__00_MISC\\MISC.gdb\\AbstBau"

OUTPUT_FKA = arcpy.GetParameterAsText(7) # Ergebnispolygone
if OUTPUT_FKA == '#' or not OUTPUT_FKA: # Standardwert/Testlauf
    OUTPUT_FKA = "FehlerKategorie_A"

# ## Skript-lokale Variablen und- Parameter #####
Reclassification = str(Neigungsgrenzwert) + " 90 1" # Neigungsgrenzwert ab und mehr
# Grad wird detektiert
fcPolyNeig = "in_memory" + "\\\" + "fcPolyNeig" # FC fur Polygone mit Flaechen
# groesser x Grad

# temporaere FeatureLayer je Klasse fuer Selektion
potAbst_A_1a = "in_memory" + "\\\" + "potAbst_A_1a"
potAbst_A_1b = "in_memory" + "\\\" + "potAbst_A_1b"
potAbst_A_2 = "in_memory" + "\\\" + "potAbst_A_2"
potAbst_A_3 = "in_memory" + "\\\" + "potAbst_A_3"
potAbst_A_4 = "in_memory" + "\\\" + "potAbst_A_4"
# temporaere FCs je Fehlerkategorie-Klasse
fc_potAbst_A_1a = arcpy.CreateFeatureclass_management("in_memory", \
"fc_potAbst_A_1a", "POLYGON")
fc_potAbst_A_1b = arcpy.CreateFeatureclass_management("in_memory", \
"fc_potAbst_A_1b", "POLYGON")
fc_potAbst_A_2 = arcpy.CreateFeatureclass_management("in_memory", \
"fc_potAbst_A_2", "POLYGON")
fc_potAbst_A_3 = arcpy.CreateFeatureclass_management("in_memory", \
"fc_potAbst_A_3", "POLYGON")
fc_potAbst_A_4 = arcpy.CreateFeatureclass_management("in_memory", \
"fc_potAbst_A_4", "POLYGON")

# ## Neigungsraster/-FC erstellen #####
WSP_Slope = arcpy.sa.Slope(WSP, "DEGREE", 1)

# Neigungsraster neuklassifizieren fuer intrRaster mit relevantem Neigungsbereich
```



```

WSP_Rclass = arcpy.sa.Reclassify(WSP_Slope, "Value", Reclassification, "NODATA")

# Neuklassifizierter Neigungsbereich in Polygone umwandeln
arcpy.RasterToPolygon_conversion(WSP_Rclass, fcPolyNeig, "NO_SIMPLIFY", "VALUE")

# ## Klassen potenzieller Abstuerze erzeugen #####
# FeatureLayer erstellen (technisch notwendig)
# Selektion entsprechend der Klasse
# Layer mit Selektion in FC kopieren
# Feld fuer Klasseninformation hinzufuegen
# Klasseninformation in Feld einfuegen

# Klasse 1a pot Abstuerze im Gew.-/Vorland-/Siedlungsber.
arcpy.MakeFeatureLayer_management(fcPolyNeig, potAbst_A_1a, "", "", "")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_1a, "INTERSECT", Siedlungsbereich, "", \
"SUBSET_SELECTION")
arcpy.CopyFeatures_management(potAbst_A_1a, fc_potAbst_A_1a, "", "0", "0", "0")
arcpy.AddField_management(fc_potAbst_A_1a, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(fc_potAbst_A_1a, "FEHLERKLASSE", "1", "VB", "")

# Klasse 1b pot Abstuerze im Gewaesser-/Vorlandbereich und mit Absturzbauwerk
arcpy.MakeFeatureLayer_management(fcPolyNeig, potAbst_A_1b, "", "", "")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_1b, "INTERSECT", AbstBau, "", \
"SUBSET_SELECTION")
arcpy.CopyFeatures_management(potAbst_A_1b, fc_potAbst_A_1b, "", "0", "0", "0")
arcpy.AddField_management(fc_potAbst_A_1b, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(fc_potAbst_A_1b, "FEHLERKLASSE", "1", "VB", "")

# Klasse 2 pot Abstuerze im Gewaesser- u. Vorlandbereich
arcpy.MakeFeatureLayer_management(fcPolyNeig, potAbst_A_2, "", "", "")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_2, "INTERSECT", GewBereich, "", \
"NEW_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_2, "INTERSECT", VorBereich, "", \
"SUBSET_SELECTION")
arcpy.CopyFeatures_management(potAbst_A_2, fc_potAbst_A_2, "", "0", "0", "0")
arcpy.AddField_management(fc_potAbst_A_2, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(fc_potAbst_A_2, "FEHLERKLASSE", "2", "VB", "")

# Klasse 3 pot Abstuerze nur im Gewaesserbereich
arcpy.MakeFeatureLayer_management(fcPolyNeig, potAbst_A_3, "", "", "")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_3, "INTERSECT", GewBereich, "", \
"NEW_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_3, "INTERSECT", VorBereich, "", \
"REMOVE_FROM_SELECTION")
arcpy.CopyFeatures_management(potAbst_A_3, fc_potAbst_A_3, "", "0", "0", "0")
arcpy.AddField_management(fc_potAbst_A_3, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(fc_potAbst_A_3, "FEHLERKLASSE", "3", "VB", "")

# Klasse 4 pot Abstuerze nur im Vorlandbereich
arcpy.MakeFeatureLayer_management(fcPolyNeig, potAbst_A_4, "", "", "")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_4, "INTERSECT", VorBereich, "", \
"NEW_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByLocation_management(potAbst_A_4, "INTERSECT", GewBereich, "", \
"REMOVE_FROM_SELECTION")
arcpy.CopyFeatures_management(potAbst_A_4, fc_potAbst_A_4, "", "0", "0", "0")
arcpy.AddField_management(fc_potAbst_A_4, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(fc_potAbst_A_4, "FEHLERKLASSE", "4", "VB", "")

# ## Zusammenfuehren in eine FC / Output erzeugen #####
# einzelne FK-Klassen mergen
arcpy.Merge_management([fc_potAbst_A_1a, fc_potAbst_A_1b, fc_potAbst_A_2, fc_potAbst_A_3, \
fc_potAbst_A_4], OUTPUT_FKA, "")

# Feld fuer die Fehlerkategorie hinzufuegen
arcpy.AddField_management(OUTPUT_FKA, "FEHLERKAT", \
"TEXT", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")

# Fehlerkategorie A in Feld eintragen
arcpy.CalculateField_management(OUTPUT_FKA, "FEHLERKAT", "\"A\"", "VB", "")

# FC reparieren (technisch optional)

```

```
arcpy.RepairGeometry_management(OUTPUT_FKA, "DELETE_NULL")

# ### aufräumen #####
arcpy.Delete_management("in_memory")
```

## Wasserspiegel in Rückström-, Hinterström- & Druckbereichen

```

#####
# Name:      HN-MOD_QS_FK-B_RsHsDwBereiche
# Purpose:   Rueckstroemungs-, Hinterstroemungs-, oder Druckwasserbereiche
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created:   Juli-November 2014
#####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("spatial")

# Load required toolboxes
#arcpy.ImportToolbox("Model Functions")

arcpy.env.overwriteOutput = True
arcpy.Delete_management("in_memory")

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf
    Workspace = r"C:\MGeoerg_FK-B-C_RueckHinterStroemung\Argen.gdb"
arcpy.env.workspace = Workspace

WSP = arcpy.GetParameterAsText(2) # Name WSP
if WSP == '#' or not WSP: # Standardwert/Testlauf
    WSP = "WSP"

UF = arcpy.GetParameterAsText(4) # FC Ueberflutungsflaeche
if UF == '#' or not UF: # Standardwert/Testlauf
    UF = "uf"

GewLin = arcpy.GetParameterAsText(5) # FC Ueberflutungsflaeche
if GewLin == '#' or not GewLin: # Standardwert/Testlauf
    GewLin = "centerline"

DIST = arcpy.GetParameterAsText(7) # Abstand zwischen Detektions-
# graphen
if DIST == '#' or not DIST: # Standardwert/Testlauf
    DIST = "1"
DIST = int(DIST)

PUFF = arcpy.GetParameterAsText(7) # pos./neg. Puffer Std 2.5*DIST
if PUFF == '#' or not PUFF: # Standardwert/Testlauf
    PUFF = "1" # nicht umgesetzt

centerline = "centerline"
wsp100 = "wsp100"

tmp01pktAequidistXY = "tmp01pktAequidistXY" # fuer Entwicklung Zwischen-
tmp02pktAequiWspZ = "tmp02pktAequiWspZ" # ergebnisse als physische
tmp02pktAequiWspZ_Layer = "tmp02pktAequiWspZ_Layer" # FeatureClass
tmp02pktAequiWspZ__2_ = "tmp02pktAequiWspZ" # in Produktion als in_memory
tmp03linContWsp = "tmp03linContWsp" # realisieren
tmp02lyrAequiWspZ__3_ = "tmp02pktAequiWspZ_Layer"
tmp04linContNoGewGrX = "tmp04linContNoGewGrX"
tmp05polContBuffX = "tmp05polContBuffX"
tmp06polContBuffY = "tmp06polContBuffY"

# ## jeden Geaesserabschnitt = Feature in Geaesserlinie #####
# Prototyp berechnet nur fuer ein Feature in Gewaessergraph (GewLin)

length = 0
i=0
shapeName = arcpy.Describe(centerline).shapeFieldName
rows = arcpy.SearchCursor(centerline)
for row in rows:
    feat = row.getValue(shapeName)
    # -----
    print "\t\t Punkte auf Geaessergraphen erstellen"
    arcpy.CreateRandomPoints_management(Workspace, "tmp01pktAequidistXY", centerline, \
    "0 0 250 250", (((feat.length) / DIST) + 2), str(DIST), "POINT", "0")

```

```

# -----
print "\t\t Wasserspiegelwerte in den erstellten Punkten ermitteln"
arcpy.sa.ExtractValuesToPoints(tmp01pktAequidistXY, wsp100, tmp02pktAequiWspZ, \
"INTERPOLATE", "VALUE_ONLY")
arcpy.AddField_management(tmp02pktAequiWspZ, "Z_WSP", "DOUBLE", "10", "4", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(tmp02pktAequiWspZ, tmp02pktAequiWspZ_Layer, \
"\RASTERVALU" <> -9999, "", "")
arcpy.CopyFeatures_management(tmp02pktAequiWspZ_Layer, "tmp02pktAequiWspZ_LayerTest")
# im Standarddatentypen werden zuviele Nachkommastellen geschrieben, damit das an-
# schliessende Contour Erstellung stabil funktioniert werden die Werte auf drei Nach-
# kommastellen gerundet
arcpy.CalculateField_management(tmp02pktAequiWspZ_Layer, "Z_WSP", \
"round(!RASTERVALU!, 3)", "PYTHON_9.3", "") # mit Rundung auf X Nachkommastellen
# -----
print "\t\t Erstellen der Detektionsgraphen anhand der ermittelten WSP Werte"
myCntLst=[]
myTmpNameLst=[]
# je Detektionsgraph soll nur einmal erstellt werden, redundante Eingangswerte elem.
arcpy.Dissolve_management(tmp02pktAequiWspZ_Layer, "tmp02pktAequiWspZ_LayerDiss", \
"Z_WSP", "#", "MULTI_PART", "DISSOLVE_LINES")
rows2 = arcpy.SearchCursor("tmp02pktAequiWspZ_LayerDiss")
# Liste als Eingangsparameter fuer das eigentlichen Contour erstellen
for row2 in rows2:
    myCntLst=[]
    myCntLst.append(row2.getValue("Z_WSP"))
    tmpName = "in_memory\\" + tmp03linContWsp + str(int(1000000000*myCntLst[0]))
    myTmpNameLst.append(tmpName) # namen merken fuer anschliessendes MERGE
    arcpy.sa.ContourList(wsp100, tmpName, myCntLst) # Detektionsgraphen erstellen
    # print "\t\t\t\t CnStr " + str(row2.getValue("Z_WSP")) # Entwicklung
arcpy.Merge_management(myTmpNameLst, tmp03linContWsp) # einzelne graphen zusammenf.
# -----
# Seletieren der Detektionsgleichen die nicht den Gewaessergraphen beruehren
print "\t\t Selektion von Konturlinien die noch die Gewaesserlinie beruehren"
arcpy.MakeFeatureLayer_management(tmp03linContWsp, "tmp03lyrContWsp")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("tmp03lyrContWsp", "intersect", centerline, \
0, "NEW_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("tmp03lyrContWsp", "", "", 0, \
"SWITCH_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("tmp03lyrContWsp", "REMOVE_FROM_SELECTION", \
"\Shape_Length" < 5 ")
arcpy.CopyFeatures_management("tmp03lyrContWsp", tmp04linContNoGewGrX)
# -----
# Flaechen aus Detektionsgraphen erstellen
print "\t\t Konturlinien puffern und verschmelzen"
arcpy.Buffer_analysis(tmp04linContNoGewGrX, tmp05polContBuffX, str(2.5*DIST), \
"FULL", "ROUND", "ALL", "")
arcpy.Buffer_analysis(tmp05polContBuffX, tmp06polContBuffY, str(-2.5*DIST), "FULL", \
"ROUND", "ALL", "")
# -----
print "\t\t Fehlerkategorie erstellen/eintagen"
arcpy.AddField_management(pktFKG, "FEHLERKAT", "TEXT", \
"", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "") # Feld und Wert fuer Fehler-
arcpy.CalculateField_management(pktFKG, \
"FEHLERKAT", "\B\\"", "VB", "") # kategorie hinzufuegen
# -----
print "\t\t Fehlerklasse erstellen/eintagen"
arcpy.AddField_management(pktFKG, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktFKG, "FEHLERKLASSE", "1", "PYTHON_9.3", "")
# -----
# Selektion von Druckbereichen
#
# Nicht implementiert im prototypen:
# Selektion der des Ueberflutungsbereichs der den Gewaessergraphen beruehrt
# Auswahl negieren = Druckwasserbereiche (DWB1)
#
# Selektion der Ueberflutungsflaechen unter den errechneten potenziellen
# Ausstroemungen = DWB2
#
# Druckwasserbereiche die in beiden Selektionen enthalten sind werden als
# DWB detektiert
#
# -----
# Ermittlung von WSP Min, Max und Diff:Max-Min

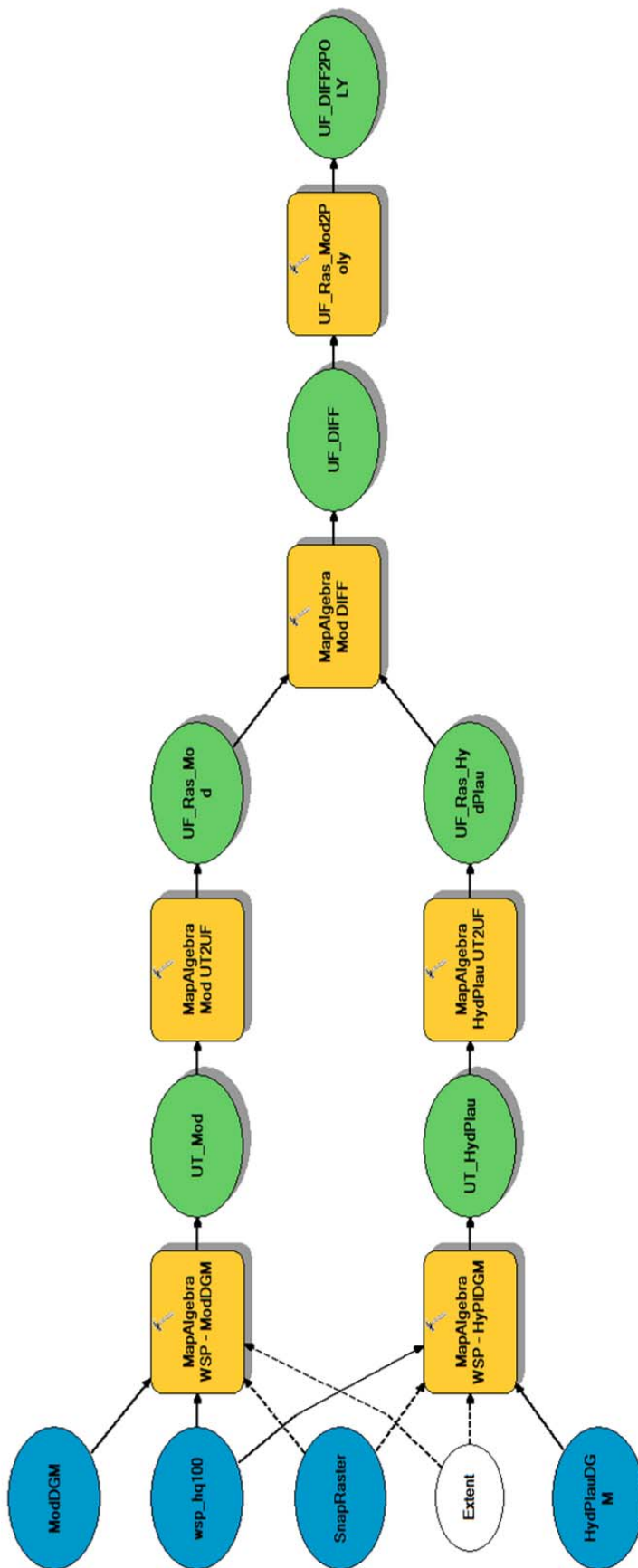
```

```
#
# Nicht implementiert im prototypen:
#   Werte per Extract by Mask je Bereich ermitteln und mittels Rasterstatistics
#   Werte Berechnen

i+=1

del rows, row, rows2, row2
arcpy.Delete_management("in_memory")
print "\t\tdone"
```

# Fehlende Überflutungsflächen bei 2D HN-Modellierungen





## Zu kleiner Modellbereich

```
#####  
# Name:      HN-MOD_QS_FK-F_Modellrand  
# Purpose:   Potenzielle zu kleiner Modellbereich  
# Author and  
# Copyright: (c) Marc Geoerg  
# Created:   Juli-November 2014  
#####  
  
# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####  
import arcpy #####  
arcpy.CheckOutExtension("spatial") # Spatial Analyst Lizenz  
arcpy.env.overwriteOutput = True  
  
# ## Skript-Variablen und- Parameter #####  
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace  
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf  
    Workspace = r"C:\WKS.gdb"  
arcpy.env.workspace = Workspace  
  
DGM = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name des DGM  
if DGM == '#' or not DGM: # Standardwert/Testlauf  
    DGM = r"DGM"  
  
UT = arcpy.GetParameterAsText(2) # Name des Wasserspiegel  
if UT == '#' or not UT: # Standardwert/Testlauf  
    UT = r"UT"  
  
focalMin = arcpy.GetParameterAsText(3) # Groesse des Untersuchungsraum  
if focalMin == '#' or not focalMin: # Focal Minimum in X Richtung  
    focalMin = "3" # Standardwert/Testlauf  
  
polFKF = arcpy.GetParameterAsText(6) # Ergebnispolygone  
if polFKF == '#' or not polFKF: # Standardwert/Testlauf  
    polFKF = "FehlerKategorie_F"  
  
# ## Fehlstellen am Modellrand ermitteln #####  
UF = arcpy.sa.GreaterThanEqual(UT, 0) # UF Binaerraster aus UT  
  
# NoData mit -9999 ersetzen da man mit dem Wert besser logisch operieren kann  
DGM1 = arcpy.sa.Con(arcpy.sa.IsNull(DGM), -9999, DGM, "#")  
  
# FocalMinimum: NoData bzw -9999 Werte an der Innenseite der UF uebernehmen  
FocMin = arcpy.sa.FocalStatistics(DGM1, "Rectangle " + focalMin + " " + focalMin\  
+ " CELL", "MINIMUM", "DATA")  
  
# Im gemeinsamen Wertebereich von UF und DGM werden nur die -9999 Werte uebernommen  
BordLn = arcpy.sa.CellStatistics([UF,FocMin], "MINIMUM", "NODATA")  
  
# Neuklassifizierung: nur die -9999 Werte interessieren  
BordLnRc = arcpy.sa.Reclassify(BordLn, "Value", "-9999 1", "NODATA")  
  
# BorderLine Pixel puffern um 1 Zelle, um beim Vektorisieren Fragmentierung zu vermeiden  
BordLnRcEx = arcpy.sa.Expand(BordLnRc, 1, "-9999")  
print "7"  
  
# ## Output erzeugen #####  
arcpy.RasterToPolygon_conversion(BordLnRcEx, polFKF,\  
"SIMPLIFY", "VALUE") # Polygone aus Raster erzeugen  
arcpy.AddField_management(polFKF, "FEHLERKAT", "TEXT",\  
"", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "") # Feld und Wert fuer Fehler-  
arcpy.CalculateField_management(polFKF,\  
"FEHLERKAT", "\"F\"", "VB", "") # kategorie hinzufuegen  
arcpy.AddField_management(polFKF, "FEHLERKLASSE",\  
"SHORT", "", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "") # Feld und Wert fuer Fehler  
arcpy.CalculateField_management(polFKF, "FEHLERKLASSE",\  
"1", "VB", "") # klasse hinzufuegen  
print "8"  
  
arcpy.RepairGeometry_management(polFKF,\  
"DELETE_NULL") # FC reparieren (tech. optional)
```

## Freibord an Deichen

```
# #####
# Name:      HN-MOD_QS_FK-G_Freibord
# Purpose:   Freibordbetrachtung
# Author and
# Copyright: (c) Marc Georg
# Created:   Juli-November 2014
# #####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy
import time

arcpy.CheckOutExtension("spatial") # Spatial Analyst Lizenz pruefen
arcpy.env.overwriteOutput = True  # Vorhandenes ueberschreiben
arcpy.Delete_management("in_memory") # in Mem FCs loeschen optional

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf
    Workspace = r"C:\MGeorg_FK-G_Freibord\TestRems.gdb"
arcpy.env.workspace = Workspace # WKS setzen

DGM = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name DGM
if DGM == '#' or not DGM: # Standardwert/Testlauf
    DGM = "DGM"

WSP = arcpy.GetParameterAsText(2) # Name WSP
if WSP == '#' or not WSP: # Standardwert/Testlauf
    WSP = "WSP"

HWS = arcpy.GetParameterAsText(3) # FC Hochwasserschutzanlage
if HWS == '#' or not HWS: # Standardwert/Testlauf
    HWS = "deiche"

UF = arcpy.GetParameterAsText(4) # FC Ueberflutungsflaeche
if UF == '#' or not UF: # Standardwert/Testlauf
    UF = "uf"

GewLin = arcpy.GetParameterAsText(5) # FC Gewasserlinie
if GewLin == '#' or not GewLin: # Standardwert/Testlauf
    GewLin = "centerline"

FB_Soll= arcpy.GetParameterAsText(6) # vorgegebenes Freibord
if FB_Soll == '#' or not FB_Soll: # Standardwert/Testlauf
    FB_Soll = "0.5"
FB_Soll = float(FB_Soll)

DIST = arcpy.GetParameterAsText(7) # Abstand zwischen Dammkronenpkt
if DIST == '#' or not DIST: # Standardwert/Testlauf
    DIST = "5"
DIST = int(DIST)

pktFKGin = arcpy.GetParameterAsText(8) # Ergebnispolygone
if pktFKGin == '#' or not pktFKGin: # Standardwert/Testlauf
    pktFKGin = "_00_FehlerKategorie_G"

# je Deichobjekt... #####
rows = arcpy.SearchCursor(HWS)
length = 0 # DLaenge wg Intervallbwrechnung
cnt=0 # einfacher Zaehler fuer Status
shapeName = arcpy.Describe(HWS).shapeFieldName # Name der Geometriespalte
myOIDFieldName = arcpy.Describe(HWS).OIDFieldName # Name der Objekt-ID Spalte
for row in rows: # aktuelles Deichobjekt (D)
    # Zwischenergebnisse Datensaeetze, im Test als pyhsische FC in FGDB
    # fuer den operativen Beteibe als "in_memory" anlegen
    length = 0
    tStmp = "tmp" + str(time.strftime("%y%m%d%H%M%S")) # Zeitstempel fuer Output FCs
    HWSonlyOne = tStmp + "_00_HWSonlyOne" # temp Container akteullen D
    pktDK = tStmp + "_01_pktDK" # Pkte im Intervall ABSTAND auf
    # Deichkrone (DK)
    pktDkDgmZ = tStmp + "_02a_pktDkDgmZ" # DKPkt mit Z-DGM
    pktDkWspZ = tStmp + "_02b_pktDkWspZ" # DKPkt mit direktem Z-WSP
    pktDkWspZo = tStmp + "_02c_pktDkWspZo" # DKPkt ohne direktem Z-WSP
```

```

linDkPkt_TMPLT = "emptyTpl" # Template
linDkPkt = tStmp + "_03_linDkPkt" # DKPkts NearPkt auf GewLinie
linDkGew = tStmp + "_04_linDkGew" # Lin zw DKPkt u NearPkt auf Gew
linUF = tStmp + "_05_linUF" # Kante der Ueberflutungsflaeche
pktSpUF = tStmp + "_06_pktSpUF" # Schnittpkt UF-Kante mit
# DK-Gew-Lin
# Z-Wsp -Schnittpkt DK-Gew-Lin
pktSpUfWsp = tStmp + "_07_pktSpUfWsp"
pktSpUfWspSglprt = "in_memory" + "\\aa" + tStmp + \
"pktSpUfWspSglprt" # Singlepart
pktDkWspZredu = "in_memory" + "\\aa" + tStmp + \
"pktDkWspZredu" # nur DKPkt Fall1=02b_pktDkWspZ
# mit WSP <> -9999
pktFKG = tStmp + pktFKGin # Ergebnis als DkPkt
pktFKG_Karto = pktFKG + "_Karto" # Ergebnis als Polygon
cnt+=1 # Zaehler erhoehen

print "Deich " + str(cnt) # etwas Statusinformation
print "\t Deichlaenge: " + str(feats.length) # da etwa 15s+ pro Deich
# Laufzeit

# #####
# -----
print "\t Punkte in Intervall ABSTAND entlang der Deichkrone"
feat = row.getValue(shapeName) # Geometrie des aktuellen D
featOID = row.getValue(myOIDFieldName) # OID des aktuellen D
# CreateRandomPoints_management nimmt nur ganze FCs statt einzelnen Objekten um Pkt
# entlang Deich anzulegen muss aktueller Deich in tmp FC kopiert werden
arcpy.MakeFeatureLayer_management(HWS, "lyrHWS")
print "\t\t\t\t\t SelectString: " + ' "{-0-}" = {-1-} '.format(myOIDFieldName, featOID)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrHWS", "NEW_SELECTION", \
' "{-0-}" = {-1-} '.format(myOIDFieldName, featOID))
arcpy.CopyFeatures_management("lyrHWS", HWSonlyOne)
arcpy.CreateRandomPoints_management(Workspace, pktDK, HWSonlyOne, "0 0 250 250", \
(((feat.length) / DIST) + 2), str(DIST), "POINT", "0")
# -----
print "\t\t\t\t\t XY-Startpunktauf der Deichkrone ermitteln"
# XYKoord. des Punktes als Startpunkt der Verbindungslinie zw Deichkrone und
# Centerline ergaenzen
arcpy.AddXY_management(pktDK)
# Feld fuer eindeutige Punkt-ID an fuegen. Feld wird speater an Verbindungslinien
# gejoint damit nachvollzogen werden kann welcher Pkt auf der DK der Startpkt war
arcpy.AddField_management(pktDK, "POINT_ID", "SHORT", "", "", "", "", "NULLABLE", \
"NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktDK, "POINT_ID", "!OID!", "PYTHON_9.3", "")
# -----
print "\t\t\t\t\t Z-(DGM)-Wert in XY-Start ermitteln"
print "\t\t\t\t\t DGM-Wert in XY ermitteln"
arcpy.sa.ExtractValuesToPoints(pktDK, DGM, pktDkDgmZ, "INTERPOLATE", "VALUE_ONLY")
# -----
# Neues Feld und dort DGM-Wert eintragen. Zur besseren Differenzierung der
# wachsenden Zahl der "RASTERVALU!" Attribute
arcpy.AddField_management(pktDkDgmZ, "Z_DGM", "DOUBLE", "", "", "", "", "NULLABLE", \
"NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktDkDgmZ, "Z_DGM", "!RASTERVALU!", "PYTHON_9.3", "")

# #####
print "\t\t\t\t\t FALL 1 Z-WSP ermitteln"
# -----
print "\t\t\t\t\t Z-(WSP)-Wert in DK-XY ermitteln fuer die DK-Pkt die ueberflutet sind"
arcpy.sa.ExtractValuesToPoints(pktDkDgmZ, WSP, pktDkWspZ, "INTERPOLATE", "VALUE_ONLY")
# -----
# Neues Feld und dort DGM-Wert eintragen. Zur besseren Differenzierung der
# wachsenden Zahl der "RASTERVALU!" Attribute
arcpy.AddField_management(pktDkWspZ, "Z_WSP_F1", "DOUBLE", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktDkWspZ, "Z_WSP_F1", "!RASTERVALU!", "PYTHON_9.3", "")

# #####
print "\t\t\t\t\t Fall 2 WSP-Wert in Deichkronen-XY haben keinen direkten WSP-Wert"
# Ermittlung des naechsten wasserseitigen WSP
# -----
print "\t\t\t\t\t nur DKPkt uebernehmen die FALL1-WSP = -9999 dh. ausserhalb WSP liegen"
arcpy.MakeFeatureLayer_management(pktDkWspZ, "lyrDkWspZ")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrDkWspZ", "NEW_SELECTION", \
' "Z_WSP_F1" = -9999 ')
arcpy.CopyFeatures_management("lyrDkWspZ", pktDkWspZo)
# -----

```

```

print "\t\t Naechster Punkt auf Gewaesserlinie ermitteln"
arcpy.Near_analysis(pktDkWspZo,GewLin,"1000 Meters","LOCATION","NO_ANGLE")
# -----
# Leeres Linien-Shape basierend auf Template fuer Verbindungslinie erstellen
print "\t\t Leeres Lin-Shp basierend auf Template fuer Verbindungslinie erstellen"
spatial_reference = arcpy.Describe(linDkPkt_TMPLT).spatialReference
arcpy.CreateFeatureclass_management(Workspace, linDkPkt, "POLYLINE",\
linDkPkt_TMPLT, "DISABLED", "DISABLED", spatial_reference)
# -----
print "\t\t Verbindungslinien zwischen DKPkt und naechstem GewLinienPkt erstellen"
in_rows = arcpy.SearchCursor(pktDkWspZo)
point = arcpy.Point()
array = arcpy.Array()
i = 0
featureList = []
cursor = arcpy.InsertCursor(linDkPkt)
feat = cursor.newRow()

for in_row in in_rows:
    point.X = in_row.POINT_X
    point.Y = in_row.POINT_Y
    array.add(point)

    point.X = in_row.NEAR_X
    point.Y = in_row.NEAR_Y
    array.add(point)

    polyline = arcpy.Polyline(array)
    array.removeAll()

    featureList.append(polyline)

    feat.shape = polyline
    cursor.insertRow(feat)

del feat
del cursor
# -----
print "\t\t Spatial Join Attribs von DKPkt an Verbindungslinien joinen: ID usw"
arcpy.SpatialJoin_analysis(linDkPkt, pktDkWspZo, linDkGew)
# -----
print "\t\t Ueberflutungsflaeche in Linie umwandeln"
arcpy.FeatureToLine_management(UF,linUF,"","NO_ATTRIBUTES")
# -----
print "\t\t Schnittpunkt Linie-UF und Verbindungslinie ermitteln"
arcpy.Intersect_analysis([linUF,linDkGew],pktSpUF,"ALL","","POINT")
# -----
print "\t\t WSP-Werte an Schnittpunkten abfragen"
arcpy.sa.ExtractValuesToPoints(pktSpUF,WSP,pktSpUfWsp,"INTERPOLATE","VALUE_ONLY")
# -----
# Neues Feld und dort WSP-Hoehen eintragen. . Zur besseren Differenzierung der
# wachsenden Zahl der "RASTERVALU!" Attribute"
arcpy.AddField_management(pktSpUfWsp, "Z_WSP", "DOUBLE", "", "", "", "", "\
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktSpUfWsp, "Z_WSP", "!RASTERVALU!",\
"PYTHON_9.3", "")
# -----
# WSP Werte von UF-Kanten-Schnittpkt an DK ohne WSP-Wert joinen"
# Z-Schnittpunkte auf UF-Kante sind Multiprt durch Intersect > SnglPrt"
arcpy.MakeFeatureLayer_management(pktSpUfWsp, "lyrSpUfWsp")
arcpy.MultipartToSinglepart_management("lyrSpUfWsp", pktSpUfWspSglprt)
arcpy.JoinField_management(pktDkWspZo,"POINT_ID",pktSpUfWspSglprt,"POINT_ID",\
"Z_WSP")

# #####
print "\t Fall 1 und 2 zusammenfuehren"
# -----
print "\t\t Fall 1: nur die Pkt von Fall 1 die WSP Wert haben d.h. nicht -9999 sind"
arcpy.MakeFeatureLayer_management(pktDkWspZ, "lyrDkWspZ")
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("lyrDkWspZ", "NEW_SELECTION",\
' "Z_WSP_F1" <> -9999 ')
arcpy.CopyFeatures_management("lyrDkWspZ", pktDkWspZredu)
# -----
print "\t\t Fall 1: WSP Werte in gleiches Attrib vor dem zusammenfuehren " +\
"schreiben wie Fall 2"
arcpy.AddField_management(pktDkWspZredu, "Z_WSP", "DOUBLE", "", "", "", "", "\

```

```

"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktDkWspZredu, "Z_WSP", "!Z_WSP_F1!", \
"PYTHON_9.3", "")
# -----
print"\t\t Zusammenfuehren von Fall 1 und 2"
arcpy.Merge_management([pktDkWspZredu, pktDkWspZo], pktFKG, "#")

# #####
print"\t Freibord IST ermitteln"
# -----
print"\t\t Verbleibendes Freibord FB_REST errechnen"
# -----
arcpy.AddField_management(pktFKG, "FB_REST", "DOUBLE", "", "", "", "", "NULLABLE", \
"NON_REQUIRED", "")
# wenn Z_WSP = -9999 dann keine Berechnung
rows = arcpy.UpdateCursor(pktFKG, "", "", "", "")
for row in rows:
    if row.Z_WSP == -9999:
        row.FB_REST = -9999
    else:
        row.FB_REST = row.Z_DGM - row.Z_WSP
    rows.updateRow(row)
del row

# -----
print"\t\t Freibord FEHLERKLASSE errechnen"
# Kl 1: Ergebnis > FB          Freibord ist potenziell nicht in Anspruch genommen.
# Kl 2: 0 <= Ergebnis <= FB    Freibord ist potenziell in Anspruch genommen
# Kl 3: Ergebnis < 0           Deich gilt potenziell als ueberflutet

arcpy.AddField_management(pktFKG, "FEHLERKLASSE", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktFKG, "FEHLERKLASSE", "0", "PYTHON_9.3", "")
rows = arcpy.UpdateCursor(pktFKG, "", "", "", "")
for row in rows:
    if row.FB_REST == -9999:
        row.FEHLERKLASSE = -9999
    elif row.FB_REST > FB_Soll:
        row.FEHLERKLASSE = 1
    elif 0 < row.FB_REST and row.FB_REST < FB_Soll:
        row.FEHLERKLASSE = 2
    elif row.FB_REST < 0:
        row.FEHLERKLASSE = 3
    else:
        row.FEHLERKLASSE = -1
    rows.updateRow(row)
del row

# -----
print"\t\t Freibord Status nach HWGK Sicherheitsbetrachtung von Deichen"
# Kl 1: > 0.50 m (verbleibender Freibord bei HQ100)
# Kl 2: 0.26 - 0.50 m verbleibender Freibord bei HQ100
# Kl 3: 0.00 - 0.25 m verbleibender Freibord bei HQ100
# Kl 4: < 0 m Ueberstroemen bei HQ100
arcpy.AddField_management(pktFKG, "STATUS_HWGK", "SHORT", "", "", "", "", \
"NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(pktFKG, "STATUS_HWGK", "0", "PYTHON_9.3", "")
rows = arcpy.UpdateCursor(pktFKG, "", "", "", "")
for row in rows:
    if row.FB_REST == -9999:
        row.STATUS_HWGK = -9999
    elif row.FB_REST > 0.5:
        row.STATUS_HWGK = 1
    elif 0.25 < row.FB_REST and row.FB_REST <= 0.5:
        row.STATUS_HWGK = 2
    elif 0 < row.FB_REST and row.FB_REST <= 0.25:
        row.STATUS_HWGK = 3
    elif row.FB_REST <= 0 :
        row.STATUS_HWGK = 4
    else:
        row.STATUS_HWGK = -1
    rows.updateRow(row)
del row

# -----
print"\t\t Fehlerkategorie erstellen/eintagen"
arcpy.AddField_management(pktFKG, "FEHLERKAT", "TEXT", \
"", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "") # Feld und Wert fuer Fehler-

```

```

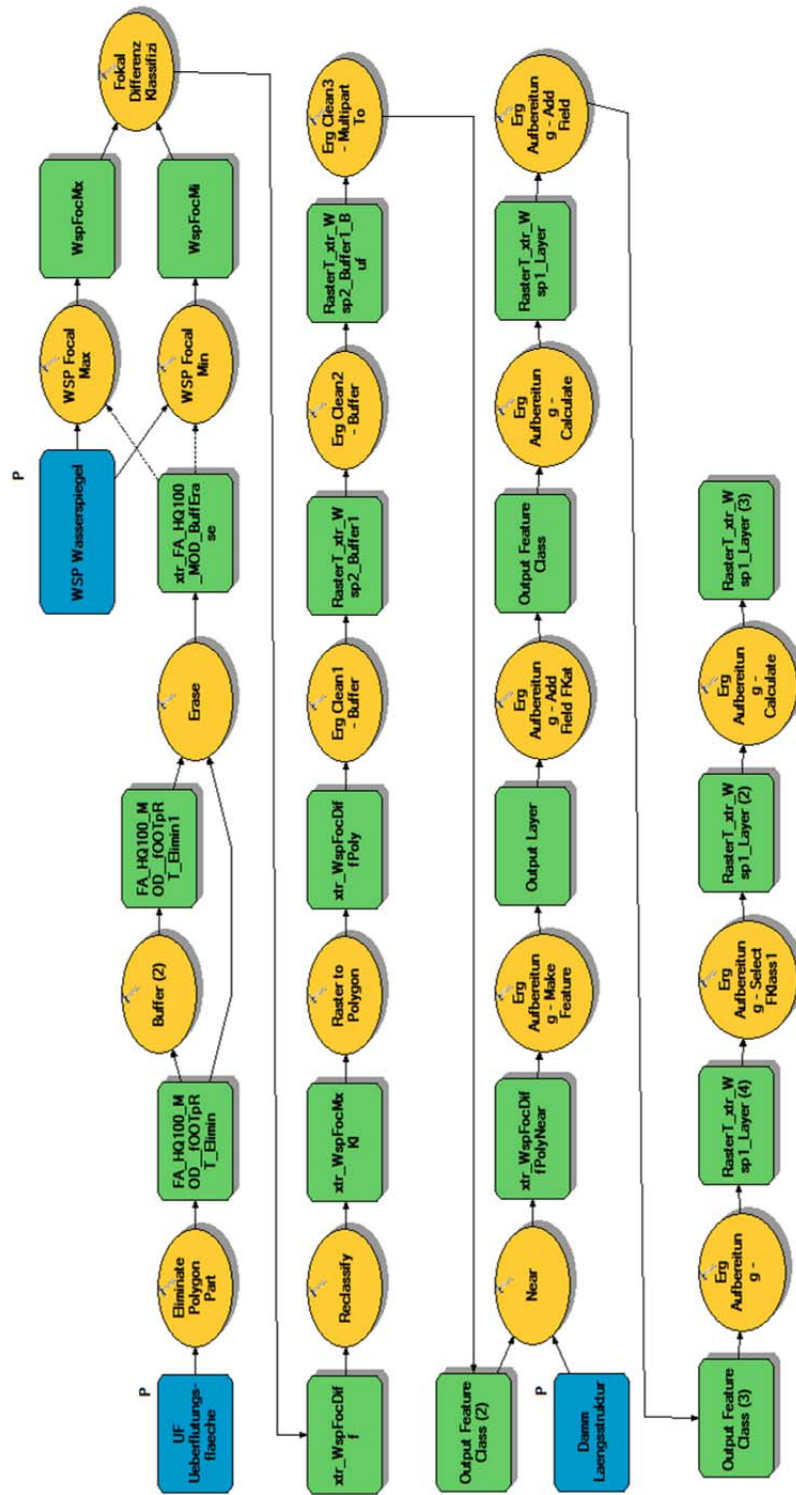
arcpy.CalculateField_management(pktFKG,\
"FEHLERKAT", "\G\","VB", "") # kategorie hinzufuegen

# #####
print"\t Aufraeumen"
# -----
arcpy.Delete_management("in_memory")
fieldObjLst = arcpy.ListFields(pktFKG)
delFieldsLst = []
for field in fieldObjLst:
    if not (field.required \
or field.name == "Z_DGM" \
or field.name == "Z_WSP" \
or field.name == "FB_REST" \
or field.name == "POINT_X" \
or field.name == "POINT_Y" \
or field.name == "FEHLERKLASSE" \
or field.name == "FEHLERKAT" \
or field.name == "STATUS_HWGK"):
        delFieldsLst.append(field.name)
arcpy.DeleteField_management(pktFKG, delFieldsLst)
arcpy.Buffer_analysis(pktFKG,pktFKG_Karto,str(DIST)+" Meters","FULL","ROUND",\
"LIST","FEHLERKLASSE;FEHLERKAT")
arcpy.Delete_management("in_memory")

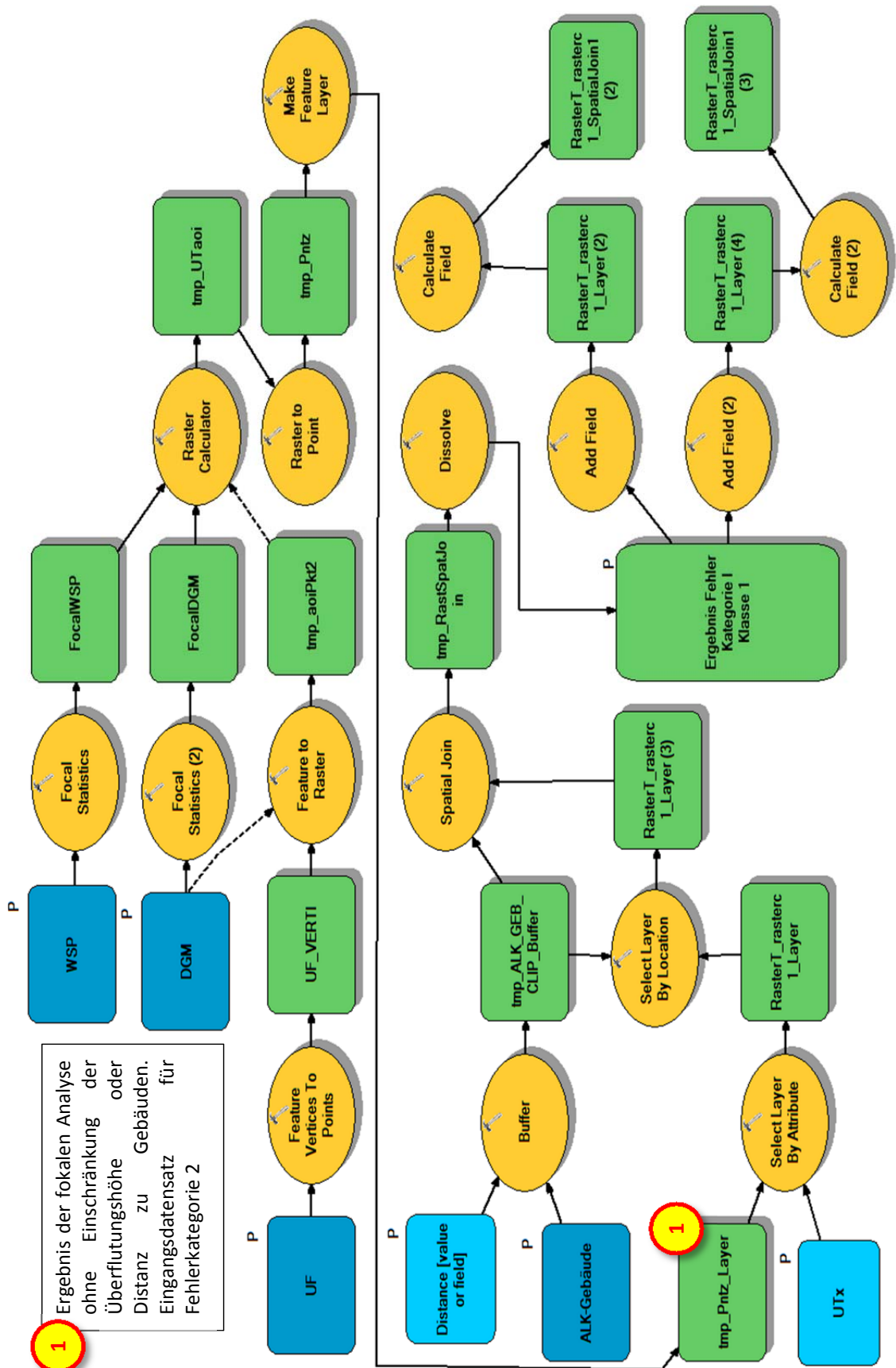
```



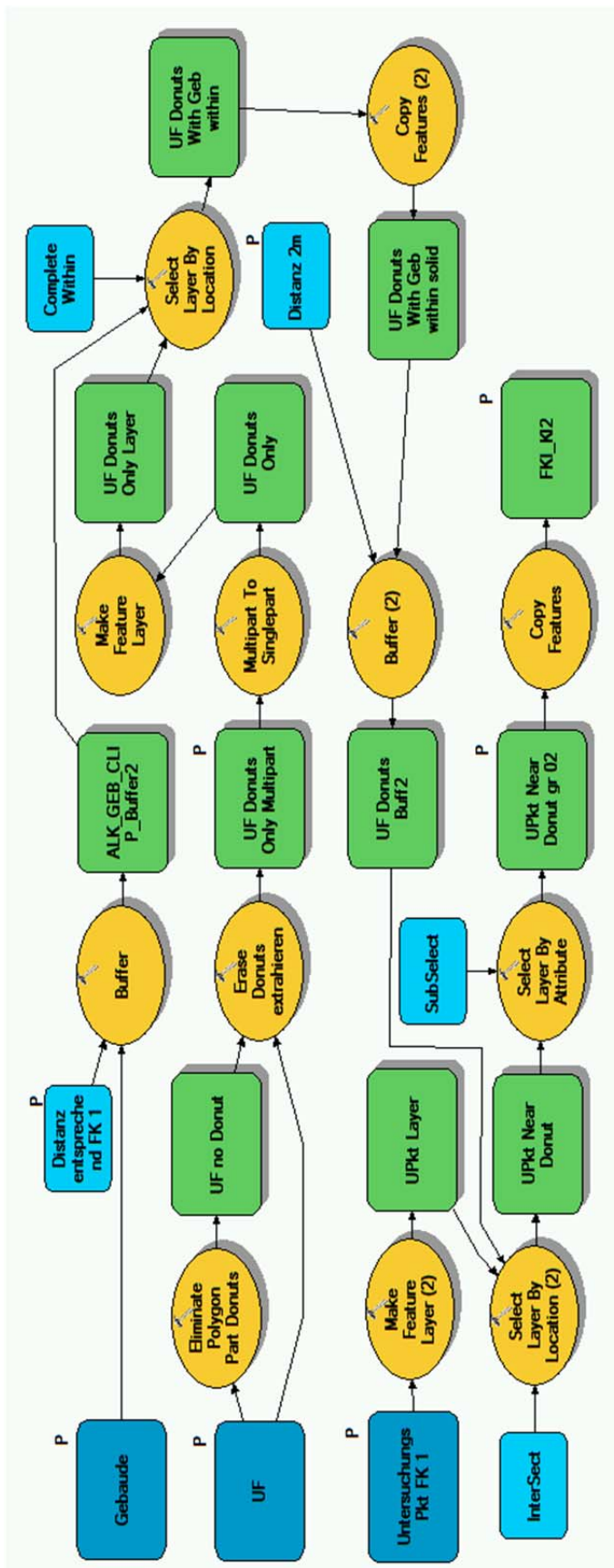
# Unstetiger Wasserspiegel an Deichen



# Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 1 und 3)



## Ausgesparte Gebäude und Gebäudeinseln (Fehlerklasse 2)



## Demonstration einer technischen Qualitätsprüfung einer fiktiven Geodatenchnittstelle

```

#####
# Name: -
# Purpose: technische Dateneingangspruefung
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created: Juli-November 2014
#####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy, sys
from arcpy.sa import *

arcpy.CheckOutExtension("spatial") # Spatial Analyst Lizenz
arcpy.env.overwriteOutput = True

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf
    Workspace = r"C:\PFAD\ALL_AND_NOTHING.gdb"
arcpy.env.workspace = Workspace

iRASTER = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iRASTER
if iRASTER == '#' or not iRASTER: # Standardwert/Testlauf
    iRASTER = "iRASTER"

iRASTER_tmp = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iRASTER_tmp
if iRASTER_tmp == '#' or not iRASTER_tmp: # Standardwert/Testlauf
    iRASTER_tmp = "iRASTER_tmp"

iTBALE = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iTBALE
if iTBALE == '#' or not iTBALE: # Standardwert/Testlauf
    iTBALE = "iTBALE"

iPOLYGON = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iPOLYGON
if iPOLYGON == '#' or not iPOLYGON: # Standardwert/Testlauf
    iPOLYGON = "iPOLYGON"

MODELLBEREICH = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name MODELLBEREICH
if MODELLBEREICH == '#' or not MODELLBEREICH: # Standardwert/Testlauf
    MODELLBEREICH = "MODELLBEREICH"

WSLHQ = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name WSLHQ
if WSLHQ == '#' or not WSLHQ: # Standardwert/Testlauf
    WSLHQ = "wslhq"

#####

try:

# Datensaeetze auf Existenz pruefen
# Raster
    if arcpy.Exists(iRASTER):
        print "Raster vorhanden"
    else:
        print "Raster nicht vorhanden"
# Feature
    if arcpy.Exists(iPOLYGON):
        print "Feature vorhanden"
    else:
        print "Feature nicht vorhanden"
# Table
    if arcpy.Exists(iTBALE):
        print "Tabelle vorhanden"
    else:
        print "Tabelle nicht vorhanden"

#####

# Koordinatensystem pruefen
# Test fuer Feature --> fuer alle anderen Datentypen gleiches Vorgehen

```

```

coordinateSystem =
"PROJCS['DHDN_3_Degree_Gauss_Zone_3',GEOGCS['GCS_Deutsches_Hauptdreiecksnetz',DATUM['D_D
eutsches_Hauptdreiecksnetz',SPHEROID['Bessel_1841',6377397.155,299.1528128]],PRIMEM['Gre
enwich',0.0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]],PROJECTION['Gauss_Kruger'],PARAMETER['Fa
lse_Easting',3500000.0],PARAMETER['False_Northing',0.0],PARAMETER['Central_Meridian',9.0
],PARAMETER['Scale_Factor',1.0],PARAMETER['Latitude_Of_Origin',0.0],UNIT['Meter',1.0]]"

dsc = arcpy.Describe(ipolygon) # Beschreibung der FC aufrufen
spatialReference = dsc.spatialReference

# Wenn kein Koordinatensystem vorhanden ist wird DHDN3 festgelegt
if dsc.spatialReference.Name == "Unknown":
    print "Keine Koordinatensystem definiert! Lege DHDN3 fest..."
    arcpy.DefineProjection_management(ipolygon, coordinateSystem)
elif dsc.spatialReference.Name == "DHDN_3_Degree_Gauss_Zone_3":
    print "DHDN_3_Degree_Gauss_Zone_3 als Koordinatensystem definiert"
else:
    print "Definiertes Koordinatensystem: " + dsc.spatialReference.Name

#####

# Raster Auflöesung

# Zellgroesse zugreifen
CELLSIZE_X = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "CELLSIZEX")
CELLSIZE_Y = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "CELLSIZEY")
print "Cellsize: " + str(CELLSIZE_X) + " x " + str(CELLSIZE_Y)

# Valuetype: DatenFormat abfragen bspw. float oder int
VALUETYPE = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "VALUETYPE")
print "Valuetype: " + str(VALUETYPE)

# Bandcount: Anz der Baender. bei Werteraster idR ein Band
BANDCOUNT = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "BANDCOUNT")
print "Number of Bands: " + str(BANDCOUNT)

# Raster: Versatz/Ausrichtung pruefen mit Vergleichs-/Template-Raster

# Abgleich oben und cellsize y
# Wert Template Oben
TOP_TEMP = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER_tmp, "TOP")
# Umwandeln Result in Float
NR_TOP_TEMP = float((str(TOP_TEMP.getOutput(0))).replace(',','.'))

# Wert Oben
TOP = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "TOP")
# Umwandeln Result in Float
NR_TOP = float((str(TOP.getOutput(0))).replace(',','.'))

# Cellsize
CELLSIZE_Y_TEMP = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER_tmp, "CELLSIZEY")
# Umwandeln Result in Float
NR_CELLSIZE_Y_TEMP = float((str(CELLSIZE_Y_TEMP.getOutput(0))).replace(',','.'))

x = NR_TOP_TEMP - NR_TOP
y = NR_CELLSIZE_Y_TEMP

z = x / y

if (z).is_integer() == True:
    print "Ausrichtung korrekt"
    a = 0
else:
    print "Ausrichtung ungleich"
    a = 1

# Abgleich links und cellsize x
# Wert Template Oben
LEFT_TEMP = arcpy.GetRasterProperties_management(iRaster_tmp, "LEFT")
# Umwandeln Result in Float
NR_LEFT_TEMP = float((str(LEFT_TEMP.getOutput(0))).replace(',','.'))

# Wert Oben
LEFT = arcpy.GetRasterProperties_management(iRaster, "LEFT")
# Umwandeln Result in Float
NR_LEFT = float((str(LEFT.getOutput(0))).replace(',','.'))

```

```

# Cellsize
CELLSIZE_X_TEMP = arcpy.GetRasterProperties_management(iRaster_tmp, "CELLSIZEX")
# Umwandeln Result in Float
NR_CELLSIZE_X_TEMP = float((str(CELLSIZE_X_TEMP.getOutput(0))).replace(',','.'))

x = NR_TOP_TEMP - NR_TOP
y = NR_CELLSIZE_X_TEMP

z = x / y

if (z).is_integer() == True:
    print "Ausrichtung korrekt"
    a = a + 0
else:
    print "Ausrichtung ungleich"
    a = a + 1

if a <> 0:
    print "Ausrichtung ungleich"
else:
    print "Ausrichtung korrekt"

#####

# topologische Pruefung
# Features einer FeatClass liegen in einem Modellbereich (Polygon)
# Anzahl der Features ermitteln
count = arcpy.GetCount_management(iPOLYGON)

# Erstelle Layer aus Feature
arcpy.MakeFeatureLayer_management(iPOLYGON, "LAYER")

# Testen ob Layer Objekte innerhalb von Modellbereich (Polygon)
arcpy.SelectLayerByLocation_management ("LAYER", "WITHIN", MODELLBEREICH)

# Anzahl der markierten Features ermitteln
count_in = arcpy.GetCount_management("LAYER")

if str(count_in) == str(count):
    print "Alle Features liegen im Modellbereich"
else:
    print "Nicht alle Features liegen im Modellbereich"

# Rasterwerte <> NoData liegen in einem Modellbereich (binaerraster = Polygon2Raster)
# Testen ob Raster Integer ist
VALUETYPE = arcpy.GetRasterProperties_management(iRaster, "VALUETYPE")
print "Valuetype: " + str(VALUETYPE)

if VALUETYPE == 3 or VALUETYPE == 4 or VALUETYPE == 5 or VALUETYPE == 6 or \
VALUETYPE == 7 or VALUETYPE == 8:
    INT_RASTER = iRaster
else:
    # Falls kein Integer dann umwandeln in Integer
    outInt = Int(iRaster)
    outInt.save("iRASTER_INT")

# Umwandeln Raster in Polygon
INT_RASTER_FC = "INT_RASTER_FC"
arcpy.RasterToPolygon_conversion("iRASTER_INT", INT_RASTER_FC, "NO_SIMPLIFY", "Value")

# Testen ob Feature alle im Modellbereich liegen
# Anzahl der Features ermitteln
count = arcpy.GetCount_management(INT_RASTER_FC)

# Erstelle Layer aus Feature
arcpy.MakeFeatureLayer_management(INT_RASTER_FC, "LAYER")

# Testen ob Layer Objekte innerhalb von Modellbereich (Polygon)
arcpy.SelectLayerByLocation_management ("LAYER", "WITHIN", MODELLBEREICH)

# Anzahl der markierten Features ermitteln
count_in = arcpy.GetCount_management("LAYER")

if str(count_in) == str(count):

```



```

        print "Alle Features liegen im Modellbereich"
    else:
        print "Nicht alle Features liegen im Modellbereich"

#####

# inhaltliche Pruefung
# FC (WSLHP) haben genuegend Attribute zum zeigen/testen
# Attributwerte liegen in Wertebereich

    # Ermitteln der Max-/Min-Werte in einer Spalte
    fieldName = "QUERS"
    theItems = []
    rows = arcpy.SearchCursor(WSLHQ)
    for row in rows:
        theItems.append(row.getValue(fieldName))
    del rows

    theItems.sort()
    min = theItems[0]
    max = theItems[-1]

    print "Min-Wert: " + str(min) + ", Max-Wert: " + str(max)

    # Anzahl an Objekten in FC
    count = arcpy.GetCount_management(WSLHQ)

    print str(count) + " Objekte in Feature Class"

# Werte entsprechen einer Schluesselliste

    # Schluesselliste mit Werten
    List = [0.41,0.36,0.52,1.1]
    # Pruefen ob Werte in Spalte QUERS in Feature enthalten sind
    arcpy.MakeFeatureLayer_management(WSLHQ, "LAYER")
    for values in List:
        query = "\"QUERS\"=" + str(values)

        arcpy.management.SelectLayerByAttribute("LAYER","NEW_SELECTION",query)
        count = arcpy.GetCount_management("LAYER")
        print "Wert " + str(values) + " gibt es " + str(count) + " mal in FC"

        arcpy.SelectLayerByAttribute_management("LAYER", "CLEAR_SELECTION", "")

# GRID (WSP)
# Werte liegen in Werte bereich
    # Max-/Min-Werte im Raster finden
    MAXIMUM_RESULT = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "MAXIMUM")
    MINIMUM_RESULT = arcpy.GetRasterProperties_management(iRASTER, "MINIMUM")

    MAXIMUM = MAXIMUM_RESULT.getOutput(0)
    MINIMUM = MINIMUM_RESULT.getOutput(0)

    print "Max-Wert: " + str(MAXIMUM) + ", Min-Wert: " + str(MINIMUM)

#####

except Exception:
    print "FAILED"

```

## Demonstration einer automatisierten Visualisierung einer fiktiven Geodatenchnittstelle

```
# #####
# Name: -
# Purpose: standardisierte Darstellung
# Author and
# Copyright: (c) Marc Geoerg
# Created: Juli-November 2014
# #####

# ## Deklaration, Initialisierung, Misc #####
import arcpy, sys
from arcpy.sa import *

arcpy.CheckOutExtension("spatial") # Spatial Analyst Lizenz
arcpy.env.overwriteOutput = True

# ## Skript-Variablen und- Parameter #####
Workspace = arcpy.GetParameterAsText(0) # Workspace
if Workspace == '#' or not Workspace: # Standardwert/Testlauf
    Workspace = r"C:\PFAD\ALL_AND_NOTHING.gdb"
arcpy.env.workspace = Workspace

iRASTER = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iRASTER
if iRASTER == '#' or not iRASTER: # Standardwert/Testlauf
    iRASTER = "iRASTER"

iRASTER_tmp = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iRASTER_tmp
if iRASTER_tmp == '#' or not iRASTER_tmp: # Standardwert/Testlauf
    iRASTER_tmp = "iRASTER_tmp"

iTBALE = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iTBALE
if iTBALE == '#' or not iTBALE: # Standardwert/Testlauf
    iTBALE = "iTBALE"

iPOLYGON = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name iPOLYGON
if iPOLYGON == '#' or not iPOLYGON: # Standardwert/Testlauf
    iPOLYGON = "iPOLYGON"

MODELLBEREICH = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name MODELLBEREICH
if MODELLBEREICH == '#' or not MODELLBEREICH: # Standardwert/Testlauf
    MODELLBEREICH = "MODELLBEREICH"

WSLHQ = arcpy.GetParameterAsText(1) # Name WSLHQ
if WSLHQ == '#' or not WSLHQ: # Standardwert/Testlauf
    WSLHQ = "wslhq"

#####

try:

# Teil 2 - Visualisierung

# MXD Anlegen
# FC Laden und lyr zuweisen (exemplarisch fuer eine FC)
# Layerdateien wurden einmalig manuell definiert und gespeichert
# GRID Laden und lyr zuweisen (exemplarisch fuer ein GRIND)
# Kontrastreiche Darstellen durch "Current View" (<- im Layer enthalten?)
# Raster Layer File: Stretch Type wird dort nicht mit gespeichert
# TIPP: TMP-MXD erstellen, dass bereits ein Raster enthaelt dessen Symbology
# genauso eingestellt ist wie man es haben maechte (+ korrekter Stretch Type)

# Temp-Vorlage eines leeren MXDs
map_file = arcpy.mapping.MapDocument(r"C:\PFAD\TEMPLATE.mxd")
# Eigene Kopie erstellen
MyMXD = r"C:\PFAD\MyMXD.mxd"
map_file.saveACopy(MyMXD)

mxd = arcpy.mapping.MapDocument(MyMXD)
df = arcpy.mapping.ListDataFrames(mxd, "Layers")[0]

# Neue Layer hinzufuegen
```

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management("iPOINT", "POINT")
iPOINT_lyr = arcpy.mapping.Layer("POINT")
arcpy.mapping.AddLayer(df, iPOINT_lyr, "TOP")

arcpy.MakeRasterLayer_management("iRASTER", "RASTER")
iRASTER_lyr = arcpy.mapping.Layer("RASTER")
arcpy.mapping.AddLayer(df, iRASTER_lyr, "BOTTOM")

# Layer anpassen
Layer_FILE_POINT = r'C:\PFAD\iPOINT.lyr'
Layer_Point = arcpy.mapping.Layer(Layer_FILE_POINT)
arcpy.mapping.UpdateLayer(df, iPOINT_lyr, Layer_Point, True)

Layer_FILE_RASTER = r'C:\PFAND\iRASTER.lyr'
Layer_RASTER = arcpy.mapping.Layer(Layer_FILE_RASTER)
arcpy.mapping.UpdateLayer(df, iRASTER_lyr, Layer_RASTER, True)

# Zoom to Layer
lyr = arcpy.mapping.ListLayers(mxd, "POINT", df)[0]
ext = lyr.getExtent()
df.extent = ext

arcpy.RefreshActiveView()
arcpy.RefreshTOC()

mxd.save()

del mxd

#####

except Exception:
    print "FAILED"

```