

**Hydrotechnische Berechnungen mit dem
2-dimensionalen Strömungsmodell Hydro_AS-2D
am Feckinger Bach, Gew. III. Ordnung
von Fkm 0,000 bis Fkm 11,800**

25.11.2009

Auftraggeber: Freistaat Bayern
vertreten durch das
Wasserwirtschaftsamt Landshut
Seligenthaler Straße 12
84034 Landshut

Verfasser: Dr. Blasy - Dr. Øverland
Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG
Moosstraße 3 82279 Eching am Ammersee
☎ 08143 / 997 100 info@blasy-overland.de
📠 08143 / 997 150 www.blasy-overland.de

EA-WwaLa-001.01\LL

Erläuterungsbericht

1.	Veranlassung und Vorgehen.....	1
2.	Untersuchungsgebiet	2
3.	Beschreibung des Niederschlag-Abfluss-Modells.....	3
3.1	Modellüberblick	3
3.2	Berechungsverfahren	4
3.3	Berechnungszeitschritt	5
4.	Eingangsdaten für das Niederschlags-Abfluss-Modell	5
4.1	Daten der Teilgebiete	5
4.2	Daten der Gewässerstrecken	6
5.	Ermittlung von Bemessungsabflüssen	7
5.1	Festlegung der Modellparameter	7
5.2	Ermittlung von Bemessungsniederschlägen	9
5.3	Ermittlung der Bemessungsabflüsse	10
6.	Grundlagen der hydraulischen Wasserspiegellagenberechnung	12
6.1	Hydraulisches Berechnungsprogramm	12
6.2	Hydraulisches Berechnungsmodell	14
6.2.1	Vorgehen beim Aufbau des hydraulischen Berechnungsmodells	14
6.2.2	Geometrie des hydraulischen Berechnungsnetzes	14
6.2.3	Rauheiten im Gewässer und im Vorland	19
6.3	Abflüsse und Ausflussrandbedingungen	20
6.4	Modellierung von Durchlässen	20
6.5	Modellierung von Brückenbauwerken	23
6.6	Hydraulische Modellierung von Abstürzen und Wehren.....	24
6.7	Sonderbauwerke	25
6.8	Anpassung des hydraulischen Modells	26
6.9	Ermittlung der Wassertiefen und Überschwemmungsgebiete.....	26
7.	Berechnungsergebnisse	27
7.1	Fkm 11,8 bis 9,6 – Ortslage von Hausen	27
7.2	Fkm 9,6 bis 5,72 – Weinberg, Sippenau	27
7.3	Fkm 5,72 bis 3,42 – Mitterfecking, Peterfecking	27
7.4	Fkm 3,42 bis Mündung – Saal a.D.	28
8.	Zusammenfassung.....	30

1. Veranlassung und Vorgehen

Die überschwemmungsgefährdeten Gebiete am Feckinger Bach sollen mittels hydrotechnischer Wasserspiegellagenberechnungen ermittelt werden. Die Berechnungsergebnisse sollen als Grundlage für die amtliche Festsetzung des Überschwemmungsgebietes durch Verordnung verwendet werden. Das untersuchte Gebiet erstreckt sich von Fkm 0,000 bis Fkm 11,800 am Feckinger Bach (Gewässerkennzahl: 1391140000), Gewässer III. Ordnung, der im Landkreis Kelheim liegt und bei Donau FKm. 2408 in die Donau, Gewässer I. Ordnung, mündet. Das Einzugsgebiet des Feckinger Baches weist bis zur Einmündung in die Donau eine Einzugsgebietsfläche von ca. $AE = 66,35 \text{ km}^2$ auf.

Die hydraulischen Berechnungen werden mit einem 2-dimensionalen, hydraulischen Modell durchgeführt. Untersucht werden die Bemessungshochwasser mit einer Wiederkehrzeit von 5, 10 und 100 Jahren. Die Berechnungen mit dem hydraulischen Modell erfolgen instationär, d.h. die Abflussbelastung wird über die Eingabe von Zuflussganglinien definiert.

Da die Bemessungsabflüsse für das Einzugsgebiet des Feckinger Baches weitgehend unbekannt sind, sollen diese zunächst anhand hydrologischer Untersuchungen ermittelt werden. Die Ermittlung der Bemessungsabflüsse erfolgt auf Grundlage eines Niederschlag-Abfluss-Modells (kurz N-A-Modell). Zur Aufstellung des N-A-Modells wird zunächst das Einzugsgebiet entsprechend der morphologischen Gegebenheiten in Teilgebiete unterteilt. Für jedes Teilgebiet werden sowohl die Gebietsdaten wie Fläche, Schwerpunkt usw., als auch die Gewässerdaten wie Länge, Gefälle usw. ermittelt. Ebenfalls wichtige Eingangsdaten des N-A-Modells sind die Bemessungsniederschläge. Diese werden auf Grundlage der Starkregenauswertung des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA) ermittelt. Hierbei werden die dort angegebenen Punktniederschläge in Gebietsniederschläge umgewandelt. Bevor die Bemessungsabflüsse für den Istzustand ermittelt werden, werden die Modellparameter festgelegt.

Die hydraulischen Wasserspiegellagenberechnungen werden mit einem 2-dimensionalen hydraulischen Modell durchgeführt. Zum Einsatz kommt das Programmpaket HYDRO_AS-2D, das den Standard in der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung darstellt. Bei HYDRO_AS-2D handelt es sich um ein numerisches Berechnungsprogramm zur 2-dimensionalen, stationären und instationären, hydraulischen Berechnung von Wasserspiegellagen. Durch die 2-dimensionale Berechnung können die Strömungsverhältnisse und die Überflutungsvorgänge genauer ermittelt werden als bei einer 1-dimensionalen Berechnung. Eine getrennte Berechnung von Flussschlauch und Vorländern entfällt. Die komplexen Strömungsinteraktionen zwischen Flussschlauch und Vorland sowie mögliche Rückstau- oder andere (2-dimensionale) Fließeffekte werden implizit berücksichtigt (Nujic¹; 1998).

Die hydraulische Berechnung wird auf der Grundlage eines hydraulischen Berechnungsmodells durchgeführt, das zur Ermittlung der überschwemmungsgefährdeten Gebiete am Feckinger Bach (Fkm 0,000 bis 11,800) auf Basis von Laserscan-Daten im 1 m Raster für das Vorland und terrestrisch vermessenen Querprofilen für den Flussschlauch aufgebaut ist. Die Landnutzungen

¹ Nujic M. (1998) *Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen*, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 62.

sowie die Gebäude werden im Modell über die Vorlandrauheiten bzw. als nicht durchströmbare Elemente berücksichtigt. Zusätzlich wird das Modell entsprechend der Ortsbegehungen und durch Aufnahme mittels terrestrischer Vermessung von weiteren hydraulisch relevanten Strukturen, wo erforderlich, verbessert und angepasst. Damit werden die Wasserspiegellagen des Istzustandes für die Bemessungshochwasser mit einer Wiederkehrzeit von 5, 10 und 100 Jahren instationär berechnet.

In den folgenden Abschnitten wird zuerst das eingesetzte N-A-Modell, seine Aufstellung, sowie die mit dem hydrologischen Modell erzielten Ergebnisse beschrieben. Des Weiteren wird, nach einer kurzen Beschreibung der Grundlagen der hydraulischen Berechnungen, über den Aufbau des hydraulischen Modells und die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen berichtet.

2. Untersuchungsgebiet

Die hydraulischen Berechnungen umfassen eine ca. 11 km lange Strecke des Feckinger Bachs (von Fkm. 0,0 bis 11,8). Für die hydrologischen Untersuchungen ist es jedoch erforderlich, das gesamte Einzugsgebiet des Feckinger Bachs zu betrachten.

Der Feckinger Bach entspringt südlich des Paringer Holzes zwischen den Ortslagen von Unterleiten und Hellring etwa 12 km Luftlinie südöstlich von Ober- und Untersaal. Von den Quellen bis zur Ortschaft Hausen fließt der Feckinger Bach in Westrichtung. Am unterstromigen Rand von Hausen mündet der von Süden kommende Etzgraben in den Feckinger Bach ein. Im weiteren Verlauf und bis zur Ortslage von Untersaal, kurz vor der Einmündung des Feckinger Bachs in die Donau, nimmt die Nordkomponente in der Fließrichtung des Feckiger Bachs stetig zu. Innerorts von Untersaal fließt der Feckinger Bach um den Bockmüllerberg und ändert dabei seine Richtung gen Nordosten. Etwa 1 km unterstrom dieser Stelle mündet der Feckinger Bach in die Donau bei Donau Fkm. 2408. Auf Höhe der Ortslage von Mitterfecking, etwa 3 km oberstrom von Obersaal, wird der Feckinger Bach relevant mit den Abflüssen aus dem Einzugsgebiet des Esperbachs beaufschlagt. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über das Einzugsgebiet des Feckinger Bachs und seine Hauptseitenzuflüsse (s. Abbildung 2.1).

Aus morphologischer Sicht ist das Einzugsgebiet des Feckinger Bachs stark gegliedert mit teilweise großen Höhenunterschieden über kurze Strecken.

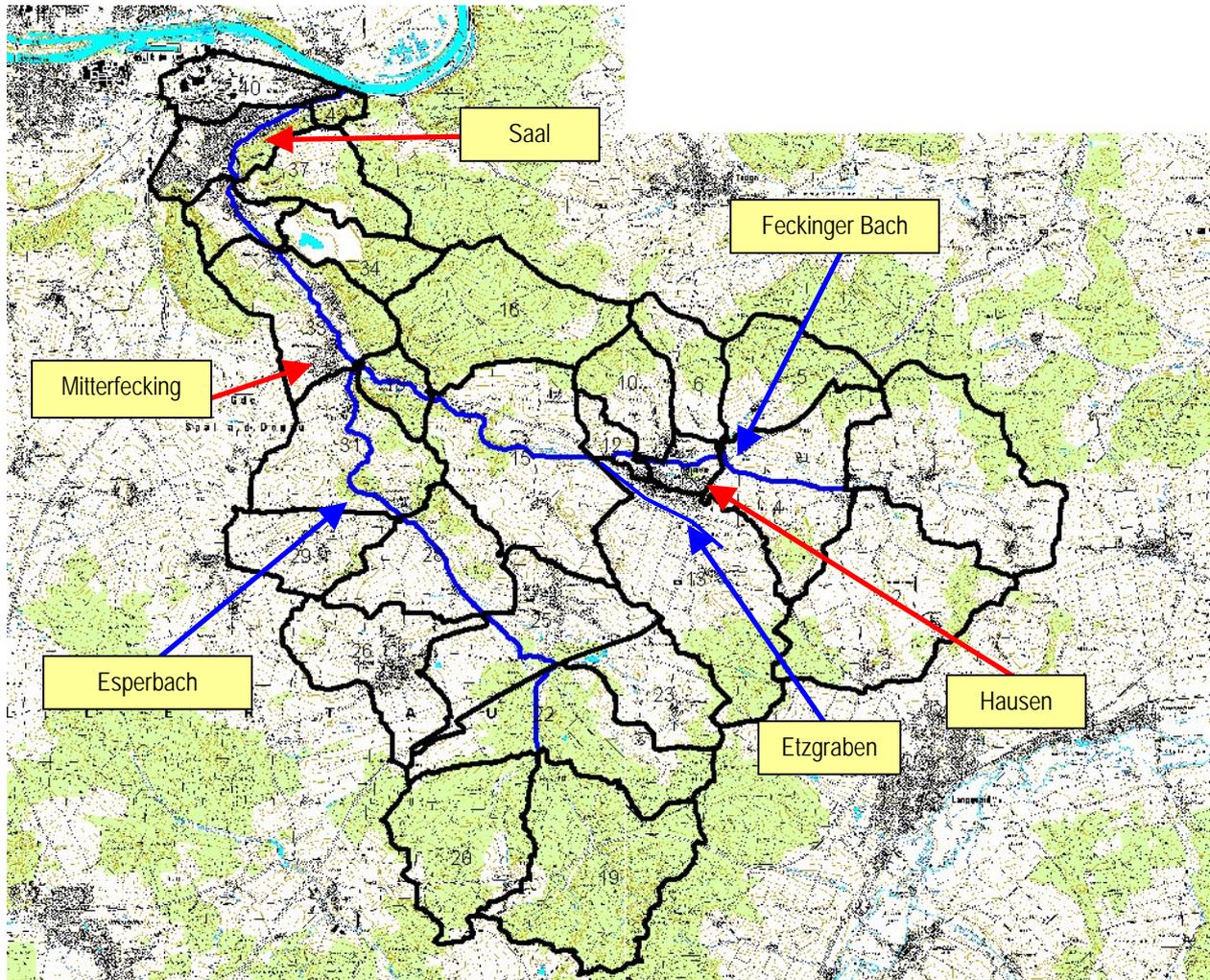


Abbildung 2.1 Untersuchungsgebiet

3. Beschreibung des Niederschlag-Abfluss-Modells

3.1 Modellüberblick

Zur Ermittlung der Bemessungsabflüsse wird ein detailliertes deterministisches N-A-Modell eingesetzt. Das zur Modellierung verwendete Programm LARSIM wird vom Bayerischen Landesamt für Umwelt eingesetzt und ist eine Weiterentwicklung des Programms FGMOD (Flussgebietsmodell).

Zur Modellierung wird das Einzugsgebiet in Teilgebiete und Gewässerteilstrecken aufgeteilt, in denen das Translations- und Retentionsverhalten unter Beachtung der Gewässerordnungen sequentiell berechnet wird. Begonnen wird mit dem obersten Teilgebiet im Hauptlauf des Gewässers. Wechselt die Gewässerordnung, werden entweder die berechneten Abflusswerte zwischengespeichert oder mit bereits zwischengespeicherten Werten addiert, je nachdem, ob bei der Einmündung eines Nebengewässers in ein übergeordnetes Gewässer die Abflüsse des Nebengewässers schon berechnet sind oder noch berechnet werden müssen. Die Abflüsse der Teilgebiete und Gewässerteilstrecken werden auf diese Art nacheinander berechnet, bis die

letzte Gewässerteilstrecke im Einzugsgebiet erreicht ist. In der folgenden Abbildung 3.1 wird beispielhaft der Ablauf der Niederschlag-Abfluss-Berechnungen dargestellt.

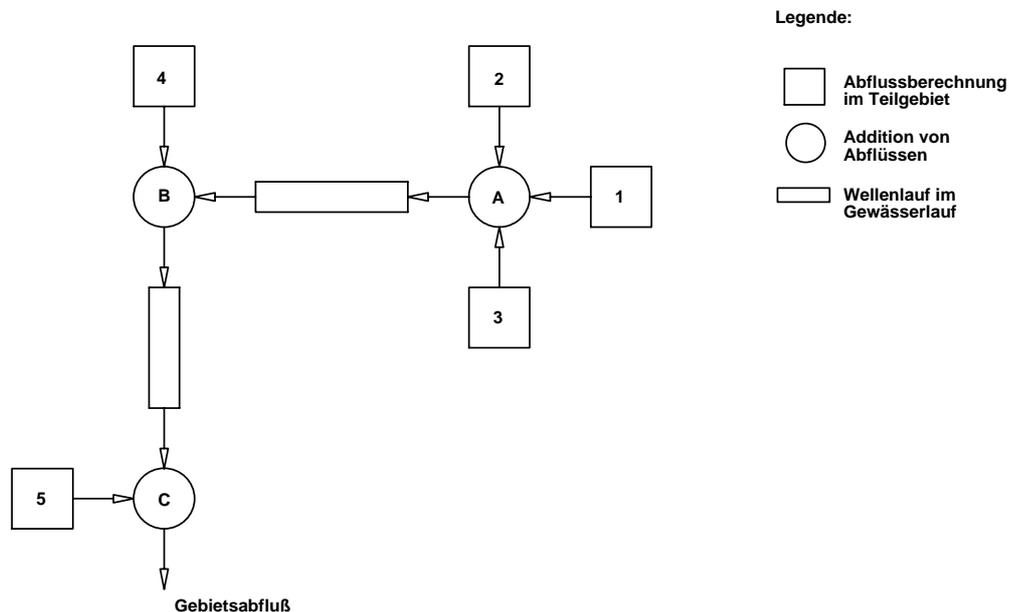


Abbildung 3.1 Beispiel für den Ablauf von Niederschlag-Abfluss-Berechnungen anhand der Systemskizze eines Einzugsgebietes

Die in jedem Teilgebiet ablaufenden Prozesse werden durch eine Reihe sogenannter hydrologischer Verfahren berechnet. Es wird unterschieden zwischen Teilgebieten und Gewässerteilstrecken. Für Teilgebiete werden berechnet:

- Belastungsbildung aus dem Niederschlag (zeitlich variabel)
- Abflusswirksame Belastung (zeitlich variabel)
- Translation und Retention im Teilgebiet

Für Gewässerteilstrecken werden folgende Berechnungsschritte durchgeführt:

- Addition eventueller Teilgebietsabflussganglinien zu der Abflussganglinie aus der oberhalb gelegenen Gewässerteilstrecke
- Abflussverformung im Gerinne der Gewässerteilstrecke bis zur flussabwärts gelegenen Gewässerteilstrecke

Innerhalb der einzelnen Teilgebiete wird das Translations- und Retentionsverhalten sowie die Niederschlagsverteilung als homogen betrachtet.

3.2 Berechnungsverfahren

N-A-Modelle setzen sich aus verschiedenen hydrologischen Verfahren zur Berechnung des Abflusses aus einer Niederschlagsbelastung zusammen. Die Verfahren unterscheiden sich je nach Gebietsgegebenheiten und Datenlage. In der vorliegenden Untersuchung wird für die N-A-Berechnungen ein Modell verwendet, in dem der abflusswirksame Niederschlag mit Hilfe des

Abflussbeiwertsverfahrens ermittelt wird. Für den Gerinneabfluss wird das Translations-Retentions-Verfahren gewählt.

Die Auswahl der weiteren Verfahren zur hydrologischen Modellierung entspricht der üblichen Vorgehensweise.

Das verwendete Niederschlag-Abfluss-Modell setzt sich aus folgenden hydrologischen Berechnungsverfahren zusammen:

- Teilgebietsniederschlag: Modifiziertes Rasterpunktverfahren
- Abflusswirksamer Niederschlag: Abflussbeiwert-Verfahren
- Basisabfluss Basisabflusssspende
- Abflussaufteilung Direktabfluss-Interflow Aufteilung nach Grenzwert
- Abflusskonzentration in Teilgebieten Zwei Einzellinearspeicher (Direktabfluss und Interflow)
- Gerinneabfluss Translations-Retentions-Verfahren

Im Anhang 1 werden die Algorithmen des Niederschlag-Abfluss-Modells ausführlich beschrieben.

3.3 Berechnungszeitschritt

Die Festlegung des Zeitschritts Δt für die Berechnung im Niederschlag-Abfluss-Modell erfolgt in Abhängigkeit von den zugrundeliegenden Teileinzugsgebietsgrößen (ca. 2,37 km² im Mittel) zu $\Delta t = 15$ Minuten. Durch diese Festlegung ist sichergestellt, dass die verwendeten Verfahren die hydrologischen Prozesse im vorliegenden Einzugsgebiet adäquat abbilden können.

4. Eingangsdaten für das Niederschlags-Abfluss-Modell

4.1 Daten der Teilgebiete

In einem ersten Schritt wird das Einzugsgebiet des Feckinger Bachs ermittelt und in Teileinzugsgebiete unterteilt.

Die Festlegung der Teileinzugsgebietsgrenzen erfolgt unter Berücksichtigung des Berechnungszeitschritts $\Delta t = 15$ Minuten. Die Teileinzugsgebiete müssen Flächen aufweisen, die für diesen Zeitschritt weder zu klein (der Abflusskonzentrationsprozess von den Teilflächen erfolgt dann in wesentlich weniger als 15 Minuten) noch zu groß sind (die Differenzierung des Abflussbildungs- und Konzentrationsprozesses im Gesamteinzugsgebiet wäre ungenügend). Ferner müssen bei der Festlegung der Teileinzugsgebietsflächen systemtechnische Randbedingungen beachtet werden. Teileinzugsgebietsgrenzen sollten sich beispielsweise bei Sonderbauwerken, bei Pegelmessstellen oder bei Abflussverzweigungen befinden.

Die Abgabe von Abflussganglinien ist nur an den Teileinzugsgebietsgrenzen möglich. Aus diesem Grund werden die Teileinzugsgebietsgrenzen unter Berücksichtigung der Ausdehnung des hydraulischen Modells definiert.

Das Gesamt- sowie die Teileinzugsgebiete werden auf Grundlage von digitalen Geländemodellen (DGM) abgeleitet. Für das Untersuchungsgebiet liegt ein DGM mit einer Rasterweite von 1 m vor. Um den Rechenaufwand zu minimieren, wurden die Höhendaten auf eine Rasterweite von 5 m ausgedünnt. Da es sich bei der hier vorliegenden hydrologischen Untersuchung um eine verhältnismäßig großräumige Untersuchung handelt, ist die Ausdünnung der Höhendaten im Hinblick auf die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse unbedenklich.

Bei der Ableitung der Teilgebiete wird zuerst die Richtung des Gefälles für jede Rasterzelle des digitalen Geländemodells berechnet. Ausgehend von der Nord-Süd-Richtung werden in 45 Grad-Schritten insgesamt acht Fließrichtungen unterschieden. Jeder Rasterzelle wird in einem weiteren Schritt die Anzahl von oberstromigen Rasterzellen zugeordnet, die diese Zelle speisen. Zellen, die einen durch den Anwender bestimmten Grenzwert dieser Größe überschreiten, werden dann als Teil einer Gewässerteilstrecke definiert. Die Gewässerteilstrecken werden in Segmente unterteilt. Diese Segmente verbinden zwei hintereinander liegende Abflussverzweigungen, eine Abflussverzweigung mit dem Ende des Einzugsgebietes oder eine Abflussverzweigung und eine Wasserscheide.

Sowohl das gesamte Einzugsgebiet als auch die abgeleiteten Teileinzugsgebiete sind im Lageplan NA 100 im Anhang 5 dargestellt. Das Einzugsgebiet wird modelltechnisch entsprechend dem Systemplan NA 90 im Anhang 5 abgebildet.

Aus modelltechnischen Gründen werden den Teilgebieten Nummern (die sog. Laufende Nummerierung) zugeordnet. Diese Nummerierung ist in dem oben erwähnten Lage- und Systemplan dargestellt und wird zur besseren Übersicht in den folgenden Erläuterungen verwendet.

Das Einzugsgebiet des Feckinger Baches weist bis zur Einmündung in die Donau eine Einzugsgebietsfläche von ca. $A_E = 66,35 \text{ km}^2$ auf.

Aus den abgeleiteten Teileinzugsgebieten werden letztendlich die für die N-A-Modellierung erforderlichen Gebietsdaten extrahiert. Diese sind tabellarisch im Anhang 2 dargestellt.

4.2 Daten der Gewässerstrecken

Neben der Abflusentstehung in den Teilgebieten üben die Translations- und Retentionswirkungen in den Gewässerteilstrecken Einfluss auf den Abfluss in einem Einzugsgebiet aus. Zur Berücksichtigung dieser Effekte wird im N-A-Modell eine Wellenablaufberechnung (Flood-Routing) in den Gewässerteilstrecken durchgeführt. Bei der Ermittlung der Translations- und Retentionsvorgänge in den Gewässerteilstrecken wird für jedes Teilgebiet das Vorliegen eines einheitlichen Doppel-Trapez-Profiles (sogenanntes repräsentatives Profil) vereinfacht angenommen.

Zur Ermittlung der Abmessungen des jeweiligen repräsentativen Profils werden verschiedene Datenquellen herangezogen. Für den hydraulisch untersuchten Abschnitt des Feckinger Baches liegen vermessene Querprofile des Gewässers vor. In den restlichen Bereichen werden die Querprofilaten bei einer Ortsbegehung ermittelt. Bei der Wahl des repräsentativen Querprofils

wird darauf geachtet, dass dieses die Fließeigenschaften des Gewässers in dem Teilgebiet wiedergibt.

Den beiden Vorlandbereichen sowie dem Hauptbett werden jeweils Rauheitsbeiwerte nach Manning-Strickler zugeordnet.

Die Gewässerdaten sind im Anhang 3 tabellarisch aufgelistet. Die im Anhang 3 genannten Rauheitsbeiwerte orientieren sich an den Angaben in DVWK² (1990).

5. Ermittlung von Bemessungsabflüssen

5.1 Festlegung der Modellparameter

Zur Aufstellung des N-A-Modells ist neben den Gebiets-, Gewässerdaten die Festlegung von Modellparametern notwendig.

Mit den Modellparametern wird das Verhalten des betrachteten Einzugsgebietes sowohl im Bezug auf die Abflusststehung, als auch auf den Abflusstransport abgebildet. Die im Modell festzulegenden Modellparameter werden in Abhängigkeit der eingesetzten Berechnungsverfahren definiert. Bei dem vorliegenden Modell wird bei der Berechnung des abflusswirksamen Niederschlages das Abflussbeiwertverfahren als Berechnungsverfahren angewendet. Der Gerinneabfluss wird durch das Translations-Retentions-Verfahren nachgebildet (vergleiche auch Kapitel 3.1).

Zur Ermittlung der Bemessungsabflüsse werden bei dem vorliegenden Modellierungsansatz die folgenden Parameter verwendet:

- PSI (-) Abflussbeiwert
- A (mm/h): Anteil des Effektivniederschlags, der dem Direktabfluss-Bereich zugeordnet wird
- EQB (-): Multiplikationsfaktor für die Rückhaltegröße für den Basisabflussbereich
- EQI (-): Multiplikationsfaktor für die Rückhaltegröße im Interflow-Bereich
- EQD (-): Multiplikationsfaktor für die Rückhaltegröße im Direktabfluss-Bereich
- EKM (-): Multiplikationsfaktor für die Fließgeschwindigkeit im Gewässer-Hauptbett
- EKL (-): Multiplikationsfaktor für die Fließzeit im linken Vorland in den Gewässerteilstrecken
- EKR (-): Multiplikationsfaktor für die Fließzeit im rechten Vorland in den Gewässerteilstrecken

Jedem Teilgebiet wird ein Abflussbeiwert zugewiesen. Bei der Festlegung des Abflussbeiwertes werden Teilgebietseigenschaften wie Landnutzung, Hangneigung, geologische Verhältnisse usw. berücksichtigt. So ist beispielsweise der effektive Niederschlag (Anteil des Gesamtniederschlags, der zum Abfluss beiträgt) in stark bewaldeten Gebieten geringer als derjenige in Teilgebieten mit einem kleinen bewaldeten Flächenanteil.

Im konkreten Fall ist das Einzugsgebiet des Feckinger Bachs morphologisch durch vergleichsweise eng eingeschnittene Täler mit stark ansteigenden Flanken gekennzeichnet. Bewaldete Flächen findet man vor allem in den oberen Einzugsgebieten des Esperbaches (Teilgebiete 19 bis 22) und teilweise in den nördlichen Seiteneinzugsgebieten des Feckinger Bachs (Teilgebiete

² DVWK (1990): „Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten“, DVWK-Schriften, Hft. 92, Paul Parey, Hamburg und Berlin 1990.

5, 6, 10 und 16). Aus geologischer Sicht sind die Böden überwiegend als wenig bis mittel wasserdurchlässig einzustufen (lehmige bis sandige Böden). Im unterstromigen Bereich des Feckinger Bachs, um die Ortslage von Mitterfecking, werden Mergel-, Kalk- und Dolomitstein vorgefunden. Diese Böden sind teilweise zerklüftet und weisen somit eine höhere Wasserdurchlässigkeit auf. Die geologische Zusammensetzung des Einzugsgebietes ist im Lageplan H 110 im Anhang 5 dargestellt.

Die unter Berücksichtigung der oben erläuterten Gebietseigenschaften bei der Berechnung der Bemessungsabflüsse eingesetzten Modellparameter sind in Tabelle 5.1 aufgelistet. Die für die verschiedenen Teilgebiete festgelegten Abflussbeiwerte können Tabelle 5.2 entnommen werden.

Tabelle 5.1: Modellparameter für das N-A-Modell

Eingesetzte Modellparameter	
PSI	variabel
A	0,20
EQB	1,00
EQI	25,00
EQD	5,00
EKM	1,0
EKL	1,0
EKR	1,0

Tabelle 5.2: Eingesetzte Abflussbeiwerte

TGB	Abflussbeiwert (-)	TGB	Abflussbeiwert (-)
1 – 4	0,60	31	0,55
5 – 6 und 10	0,57	32	0,60
7 – 9	0,60	33	0,45
11 – 17	0,60	35 – 35	0,60
18	0,30	36	0,40
19 – 22	0,55	37	0,45
23 – 30	0,60	38 – 42	0,60

Im Teilgebiet 34 befindet sich ein Kalkwerk. Das sonst über das Tal des Feckinger Bachs hochliegende Gelände wurde durch den Kalkabbau bis unterhalb der Talsohle des Feckinger Bachs abgetragen. Das Einzugsgebiet des Kalkwerks (ca. 1,28 km²) und das Tal des Feckinger Bachs sind durch ein Grat voneinander getrennt, so dass ein natürlicher Oberflächenabfluss

zum Feckinger Bach hin nicht möglich ist. Nach Auskunft des Auftraggebers erlaubt ein Wasserrechtsbescheid dem Betreiber des Kalkwerks maximal 0,55 m³/s in den Feckinger Bach abzuleiten. Der restliche im Teilgebiet entstandene Oberflächenabfluss verbleibt im Teilgebiet und versickert. Modelltechnisch wurde das Teilgebiet 34 deshalb über eine Zuleitung von 0,55 m³/s berücksichtigt.

5.2 Ermittlung von Bemessungsniederschlägen

Die Ermittlung des Bemessungsniederschlags erfolgt auf Basis der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) ermittelten Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA)³. Unter Eingabe der Schwerpunktkoordinaten des Einzugsgebietes gibt KOSTRA die Niederschlagshöhen für das Untersuchungsgebiet aus. Damit ergeben sich für das Untersuchungsgebiet am Feckinger Bach Punktniederschlagshöhen nach Tabelle 5.3. In Tabelle 5.3 ist der für die Ermittlung der Bemessungsniederschläge erforderliche Schwerpunkt des Einzugsgebietes des Feckinger Bachs mitaufgeführt.

Tabelle 5.3: Niederschlagshöhen (mm) als Funktion der Wiederkehrzeit und der Niederschlagsdauer für das Untersuchungsgebiet am Feckinger Bach

Niederschlagsdauer -	Niederschlagshöhen (mm) bei einer Wiederkehrzeit in Jahren von Schwerpunkt (RW / HW) = (4495,25 / 5414,61)		
	5	10	100
5 min.	10,6	12,3	18,2
10 min.	13,7	16,0	23,7
15 min.	16,0	18,7	27,8
20 min.	17,7	20,8	31,0
30 min.	20,6	24,2	36,2
45 min.	24,0	28,2	42,4
1 Std.	26,7	31,5	47,3
1,5 Std.	28,7	33,5	49,7
2 Std.	30,1	35,0	51,4
3 Std.	32,4	37,4	54,0
4 Std.	34,2	39,3	56,1
6 Std.	36,9	42,1	59,1
9 Std.	39,9	45,1	62,5
12 Std.	42,3	47,5	65,1
18 Std.	50,0	57,0	80,2
24 Std.	55,5	63,7	91,0
48 Std.	68,8	79,9	117,0
72 Std.	76,6	89,4	132,0

Nach DVWK (1984)⁴ weisen Starkniederschläge häufig eine zeitliche Verteilung auf, wie sie durch Abbildung 5.1 beschrieben wird. Für die Berechnung mit dem Niederschlag-Abfluss-

³ KOSTRA (1997): DWD „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“, Offenbach am Main 1997

⁴ DVWK (1984): DVWK-Regel 113- Arbeitsmaterialien zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1984.

Modell werden die in Tabelle 5.3 aufgeführten Niederschlagshöhen entsprechend Abbildung 5.1 zeitlich verteilt.

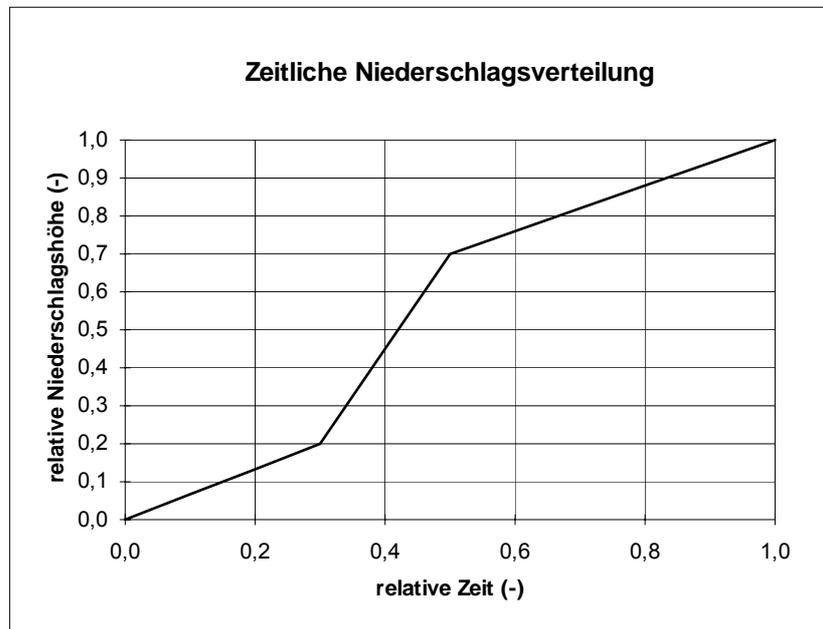


Abbildung 5.1: Zeitliche Verteilung von Starkniederschlägen nach DVWK (1984)

5.3 Ermittlung der Bemessungsabflüsse

Mit den Niederschlagshöhen aus Tabelle 5.3 und den oben dargestellten Parametern werden nun Abflussberechnungen mit verschiedenen Niederschlagsdauern sowie der zeitlichen Verteilungsfunktion aus Abbildung 5.1 durchgeführt. Mit dem Vergleich der jeweils berechneten Scheitelabflüsse wird für jedes für die Untersuchung relevante Teilgebiet die ungünstigste Niederschlagsdauer festgelegt. Bei der vorliegenden Untersuchung werden die Hochwasserereignisse der Wiederkehrzeit 5, 10 und 100 berechnet. Die Bemessungsabflüsse werden unter der Annahme ermittelt, dass ein Niederschlagsereignis der Wiederkehrzeit T_n eine Abflussganglinie der gleichen Wiederkehrzeit hervorruft.

Eine tabellarische Auflistung der Bemessungsabflüsse und der dazugehörigen maßgebenden Niederschlagsdauern aller Teilgebiete befindet sich im Anhang 4.

Wie aus den Tabellen im Anhang 4 hervorgeht, werden folgende maximale Abflussscheitel am Gebietsausgang erreicht:

Tabelle 5.4: Bemessungsabflüsse am Gebietsausgang (Teilgebiet 42)

Wiederkehrzeit (a)	Scheitelabfluss (m³/s)	Scheitelabflussspende (l/s km²)	Maßgebende Niederschlagsdauer (h)
5	25,40	383	24
10	28,87	435	24
100	40,58	612	24

Um das Abflussverhalten des untersuchten Gewässers mit dem hydraulischen Modell fachgerecht zu ermitteln, werden die in Tabelle 5.4 aufgeführten Abflussangaben entlang des jeweiligen Gewässerlaufs in Abhängigkeit der Größe der seitlichen Teileinzugsgebiete verteilt. Die letztendlich bei der Berechnung der Wasserspiegellagen definierten Zuflüsse und die dabei verwendeten Angaben der seitlichen Teileinzugsgebiete und der Zwischeneinzugsgebiete sind in der Tabelle 5.5 zusammengestellt.

Tabelle 5.5: Für die hydraulische Wasserspiegellagenberechnung relevante Scheitelabflüsse der Wiederkehrzeiten 5, 10 und 100

Zufluss Nr.	Zugabestelle Fkm/TG	Ezg	Ezg-Fläche (km²)	Wiederkehrzeit (a)					
				5		10		100	
				Q(m³/s)	Σ (m³/s)	Q(m³/s)	Σ (m³/s)	Q(m³/s)	Σ (m³/s)
1	11+800 / 9	9 - 1	14,62	9,23		10,56		15,07	
Feckinger Bach Höhe Hausen					9,23		10,53		15,07
2	10+455 / 12	12 - 10	1,815	0,48		0,53		0,71	
3	9+620 / 15	15 - 13	9,307	2,45		2,74		3,64	
4	7+000 / 18	16 - 18	4,313	1,14		1,27		1,69	
Feckinger Bach Oberstrom Esperbach					13,30		15,07		21,11
5	5+600 / 33	19 - 31	25,654	9,42		10,86		15,76	
Feckinger Bach Unterstrom Esperbach					22,72		25,93		36,87
6	5+710 / 33	33	2,621	0,69		0,77		1,026	
	3+422 / 36	34 ¹⁾	-	0,55		0,55		0,55	
7	3+422 / 36	36	0,855	0,23		0,26		0,33	
8	2+212 / 39	37 – 39	3,070	0,81		0,91		1,20	
9	0+520 / 42	40 – 42	1,525	0,40		0,45		0,60	
Feckinger Bach am Gebietsausgang					25,40		28,87		40,58

¹⁾ Die Abgabe aus dem Teilgebiet 34 ergibt sich aus den Wasserhaltungsmaßnahmen des Kalkwerks (vgl. Abschnitt 5.1).

In der folgenden Abbildung sind beispielhaft am Gebietsausgang für die untersuchten Bemessungsereignisse die im Hinblick auf den erreichten Scheitelabfluss maßgebenden Abflussganglinien dargestellt:

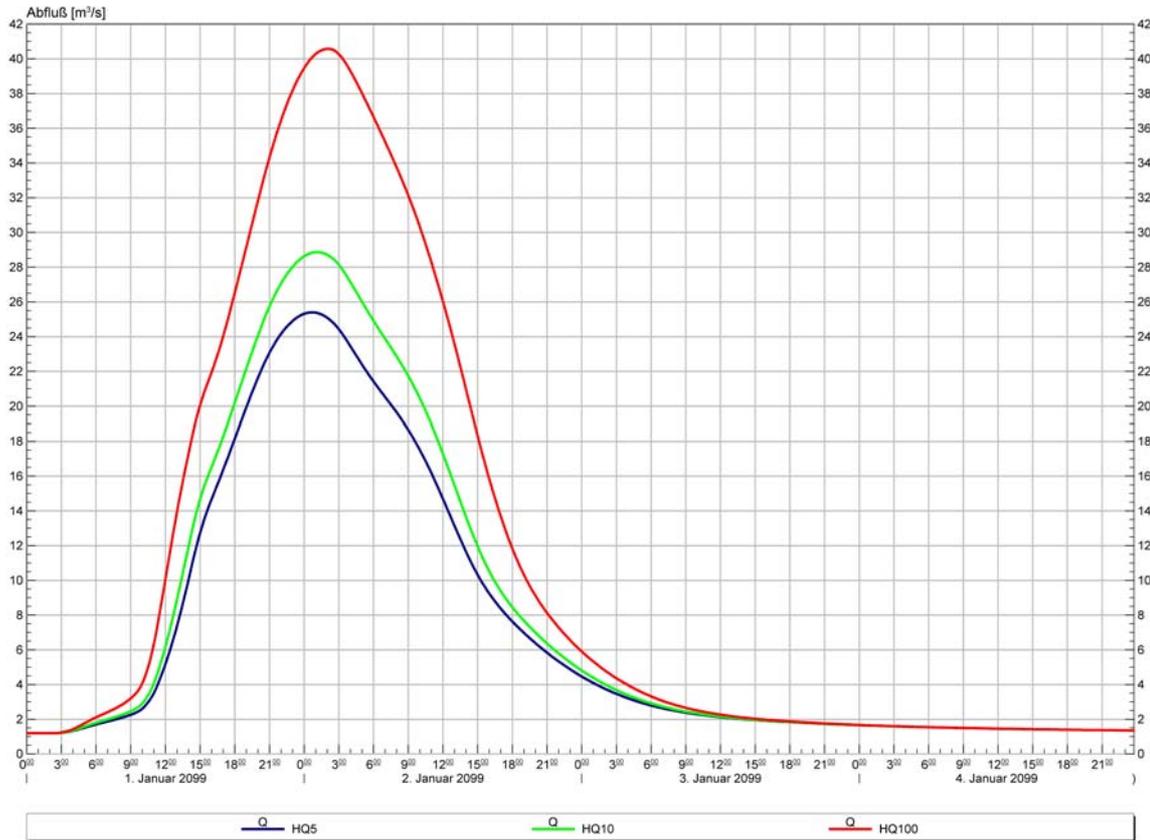


Abbildung 5.2: Ganglinien am Gebietsausgang (Teilgebiet 42) für die Wiederkehrzeiten 5, 10 und 100 Jahren und eine Niederschlagsdauer von $n = 24$ Stunden.

6. Grundlagen der hydraulischen Wasserspiegellagenberechnung

6.1 Hydraulisches Berechnungsprogramm

Die hydrotechnischen Berechnungen werden zweidimensional, stationär-ungleichförmig mit dem Programm HYDRO_AS-2D durchgeführt. Ausgangspunkt für die zweidimensionale mathematische Modellierung sowohl von Strömungsvorgängen in natürlichen Fließgewässern als auch für die Wasserspiegellagenberechnung und Flutwellenausbreitung sind die 2d-tiefengemittelten Strömungsgleichungen⁵, die auch als Flachwassergleichungen bekannt sind.

In kompakter Vektorform lauten die 2d- Strömungsgleichungen⁶:

⁵ Abbott, M.B., *Computational Hydraulics, Elements of the Theory of Free-Surface Flows*, Pitman Publ., London, (1979)

⁶ Nujić M., *Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen*, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 64 / (1999).

$$\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial y} + \mathbf{s} = \mathbf{0}$$

wobei

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - v h \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - v h \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - v h \frac{\partial u}{\partial y} \\ v^2h + 0.5gh^2 - v h \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{bmatrix}$$

Hierbei bezeichnet $H = h + z$ den Wasserspiegel über einem Bezugsniveau, u und v sind die Geschwindigkeitskomponenten in x - und y -Richtung.

Der Quellterm \mathbf{s} beinhaltet Ausdrücke für das Reibungsgefälle \mathbf{I}_R (mit den Komponenten I_{Rx} und I_{Ry}) und für die Sohlneigung (I_{Sx} , I_{Sy}).

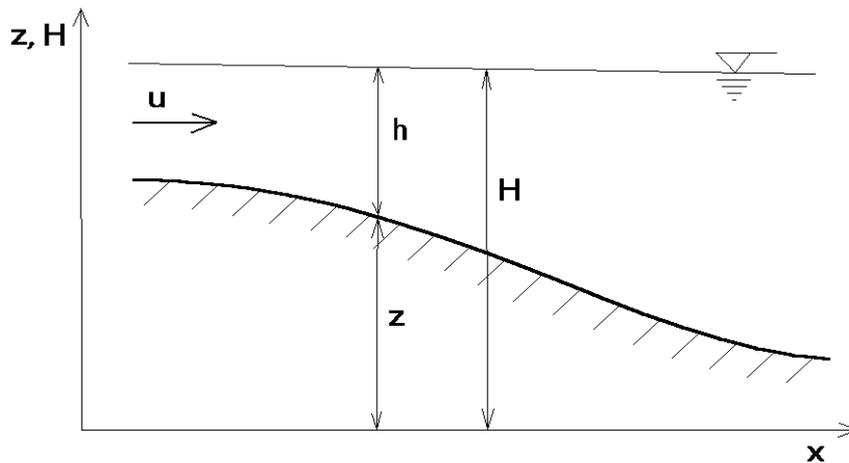


Abbildung 6.1: Systematik

Die Sohlneigung in x - und y -Richtung ist durch den jeweiligen Gradienten des Sohlneiveaus z definiert:

$$I_{Sx} = -\frac{\partial z}{\partial x}, \quad I_{Sy} = -\frac{\partial z}{\partial y}$$

Die Berechnung des Reibungsgefälles erfolgt nach der Darcy-Weisbach-Formel:

$$I_R = \frac{\lambda \mathbf{v} |\mathbf{v}|}{2 g h}$$

Der Widerstandsbeiwert λ wird dabei über die Manning-Strickler-Formel bestimmt:

$$\lambda = 6.34 \frac{2 g n^2}{h^{1/3}}$$

Hierbei stellt n den Reibungskoeffizienten nach Manning als Kehrwert des Strickler-Beiwertes dar.

Um die numerische Simulation durchzuführen, wird das Gesamtgebiet in eine bestimmte Anzahl diskreter Elemente aufgeteilt. Die gewählte Aufteilung kann, abhängig davon, welches Rechen-schemata verwendet wird, entweder aus drei- oder viereckigen Elementen bzw. einer Kombination aus beiden bestehen. Das hier verwendete Berechnungsverfahren arbeitet mit einem aus Dreiecks- und Viereckselementen bestehenden Berechnungsnetz. Die Verwendung eines kombinierten Netzes ermöglicht u.a. eine leichtere Anpassung an die topographischen und die hydrodynamischen Gegebenheiten der jeweiligen Aufgabenstellung. Damit können die Fließ-, Deich- und Wegeverläufe relativ einfach und vor allem genau erfasst werden, was für den zu modellierenden Strömungsprozess eine entscheidende Rolle spielen kann.

Das im Modell integrierte numerische Verfahren basiert auf der Lösung der oben beschriebenen 2d-tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Methode.

6.2 Hydraulisches Berechnungsmodell

6.2.1 Vorgehen beim Aufbau des hydraulischen Berechnungsmodells

Das hydraulische Berechnungsmodell wird aufbauend auf digitalen Geländedaten mit einer Rasterweite von 1 m erstellt. Das Untersuchungsgebiet wird dabei detailliert mit einem aus Dreiecks- und Viereckselementen bestehenden Berechnungsnetz aufgebaut. Die Verwendung eines solchen Berechnungsnetzes ermöglicht eine gute Anpassung an die jeweiligen topographischen und hydrodynamischen Gegebenheiten des jeweiligen Untersuchungsgebietes.

Diesem Berechnungsnetz werden hydraulische Rauheiten anhand einer Nutzungskartierung auf Basis der gelieferten ATKIS-Daten⁷ zugewiesen. Anschließend werden die Bauwerke und die Gräben in das Modell integriert.

6.2.2 Geometrie des hydraulischen Berechnungsnetzes

Vorlandgeometrie

Für das Vorland liegen Laserscan-Daten im 1 m-Raster vor.

⁷ Daten des Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystems (ATKIS) der Landesvermessung

Gerinnegeometrie

Die Vermessung von insgesamt 82 Gewässerquerprofilen einschließlich 21 Brückenbauwerken und eines Absturzes erfolgte durch den Auftraggeber (s. Abbildung 6.3). Eine fiktive Kilometrierung des Feckinger Bachs wurde anhand der vermessenen Profile vorgenommen. Die Elemente des Flussschlauches werden zwischen den Querprofilen entlang der Uferlinien interpoliert. Die Uferlinie wird anhand der vermessenen Querprofile (jeweils oberer Böschungspunkt) sowie auf Basis der DGM-Daten, Orthofotos und der digitalen Flurkarte festgelegt. Zusätzlich zu den übergebenen Vermessungsprofilen wurden nach Rückfrage des Auftragnehmers für hydraulisch relevante Bereiche weitere Vermessungspunkte in einer gemeinsamen Ortsbegehung vom Auftraggeber aufgenommen. Mit den ergänzten Aufmaßdaten werden die hydraulisch relevanten Bauwerke wie vorhandene Brücken, Durchlässe, Abstürze und Wehranlagen ins Modell übernommen. Zudem werden Abschnitte überprüft und ergänzt, in welchen die Modellierung aufgrund der ursprünglichen Vermessungsdaten unplausible Ergebnisse zeigte. Abbildung 6.2 zeigt einen Ausschnitt des Berechnungsmodells mit den vermessenen Querprofilen.

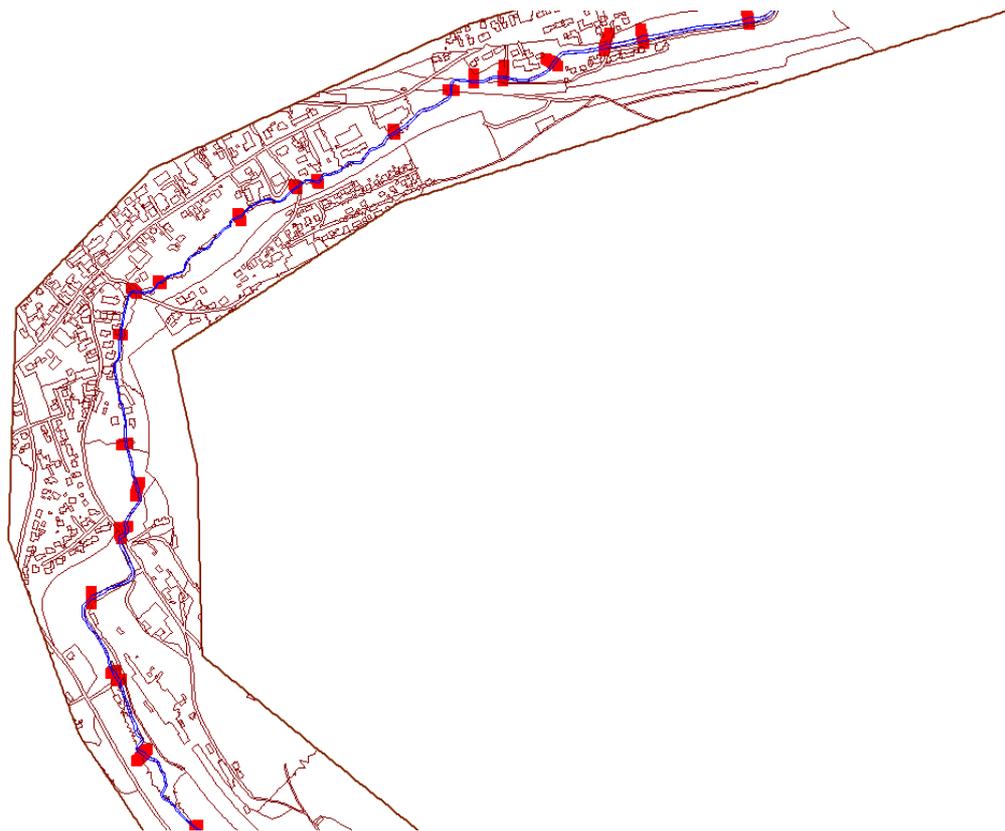


Abbildung 6.2: Vermessungsprofile in einem Abschnitt des Modells

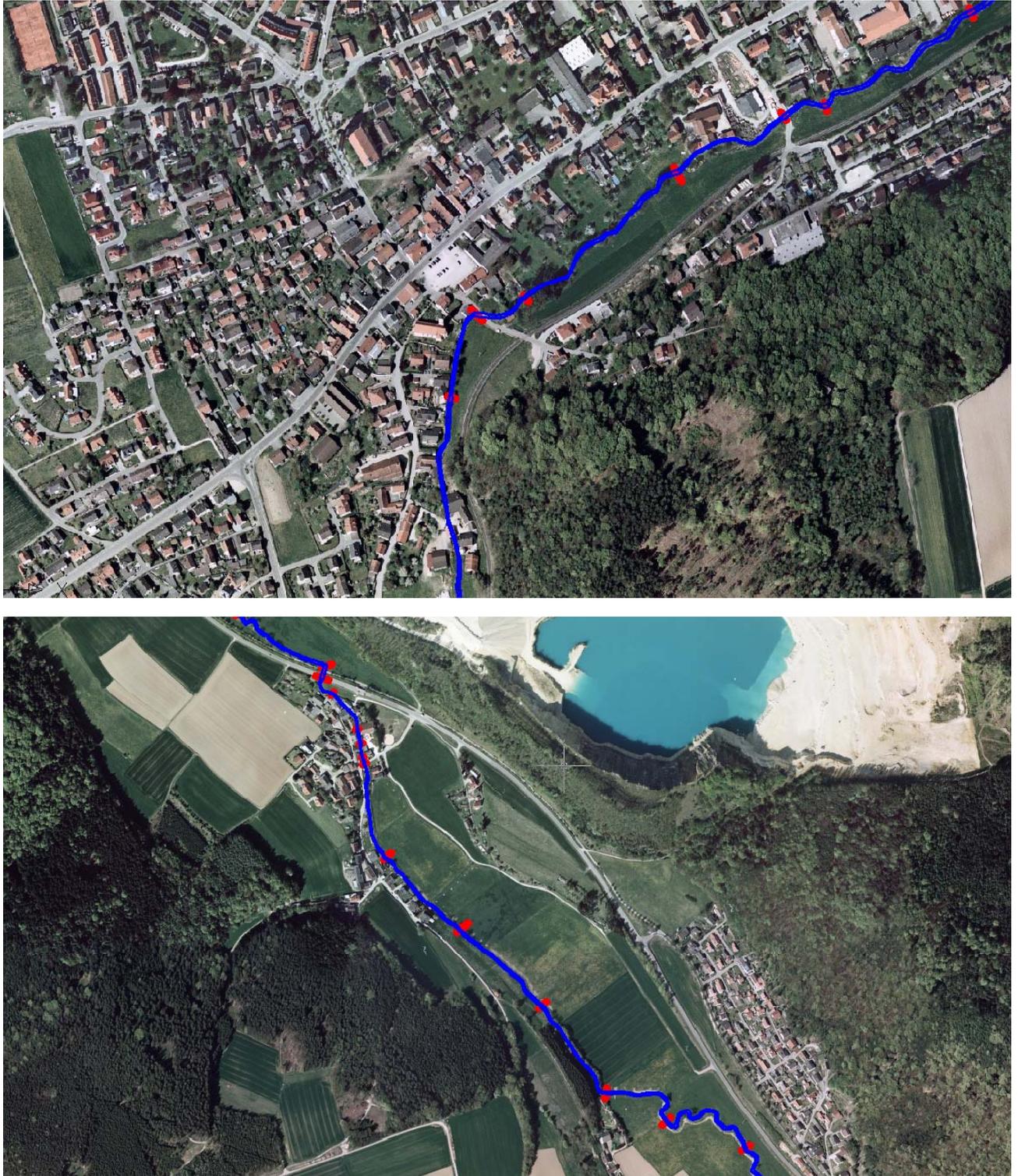


Abbildung 6.3 Abschnitt des Lageplans der Vermessungsprofile am Feckinger Bach

Aufbau des Berechnungsnetzes

Für die zweidimensionale hydraulische Berechnung wird ein Berechnungsnetz des Untersuchungsgebiets aus 296.000 Elementen und 154.000 Knotenpunkten aufgebaut. Dabei wird ein Berechnungsnetz angestrebt, dessen Form sich sowohl dem Strömungsverlauf als auch dem Geländeverlauf weitgehend anpasst.

Um die Gewässerstruktur am Feckinger Bach möglichst gut abbilden zu können, wird eine relativ feine Elementauflösung von 0,7 x 4,5 m gewählt. Hierdurch wird den hydraulisch anspruchsvollen Abflussbedingungen – hohe Fließgeschwindigkeiten, kleinräumige Krümmungen sowie größere Gefällewechsel – Rechnung getragen. Grundsätzlich können Krümmungssituationen in einem zweidimensionalen hydraulischen Modell nur angenähert wiedergegeben werden. Bei der Abbildung der physikalischen Prozesse im 2d-Modell ist die Wirkung der Fliehkräfte enthalten, die zu einer Wasserspiegelverkipfung führen. Aufgrund dieser Wasserspiegelverkipfung ergibt sich an der Kurveninnenseite am Kurveneingang ein erhöhtes Längsgefälle und am Kurvenausgang ein reduziertes Längsgefälle. Auch dieser Effekt wird vom 2d-Modell noch abgebildet. In der Realität tritt jedoch im Querschnitt aufgrund des Wasserspiegelquergefälles eine ausgleichende Sekundärströmung auf. Diese dreidimensionale Strömung kann vom eingesetzten 2d-Modell nicht mehr nachvollzogen werden. Das 2d-Modell überschätzt somit tendenziell die Wasserspiegelverkipfung.

Die bei der Ortsbegehung festgestellten Gräben sowie die Bauwerke auf dem Vorland werden ins Modell übernommen. Aufgrund der relativ feinen Verteilung der Höhenpunkte der Laser-scan-Daten, sind die Gräben zwar anhand der generierten Bruchkanten im Modell berücksichtigt. Im Rahmen einer Nachbearbeitung muss die Durchgängigkeit der Gräben aufgrund der Beobachtungen vor Ort eingearbeitet bzw. der Anschluss an den Feckinger Bach hergestellt werden. Durch diese Vorgehensweise wird die neben dem Hauptgewässer vorhandene Vorflutsituation der vorhandenen Grabenstrukturen im Modell angenähert. Im Hochwasserfall dominiert jedoch eine flächige Überströmung der Vorländer.

Nach den ersten hydraulischen Berechnungen zeigte sich, dass der Umgriff für das HQ₁₀₀ nicht ausreichend groß bemessen war. So wurde die linksseitige Modellumgrenzung am Feckinger Bach zwischen Fkm 9+630 und Fkm 10+600 erweitert. Das Vorlandnetz wurde dementsprechend ergänzt und in das Berechnungsnetz übernommen.

Die Elemente werden so gebildet, dass alle wichtigen Bruchkanten (Ufer, Dämme, Straßen etc.) durch das Netz eingehalten sind. Ein Ausschnitt aus dem hydraulischen Berechnungsnetz ist in Abbildung 6.4 dargestellt. Die Höhenlinien des Berechnungsnetzes sind für diesen Ausschnitt in Abbildung 6.5 dargestellt.

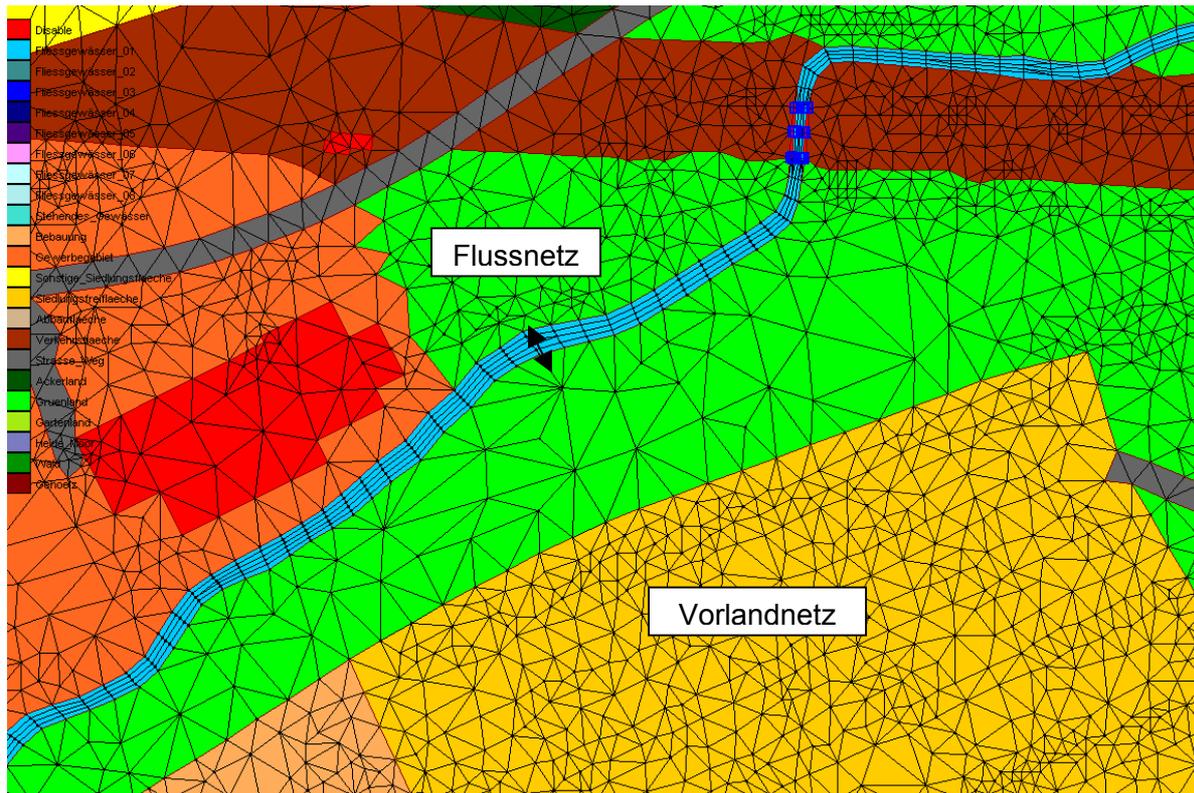


Abbildung 6.4: Ausschnitt aus dem hydraulischen Berechnungsnetz

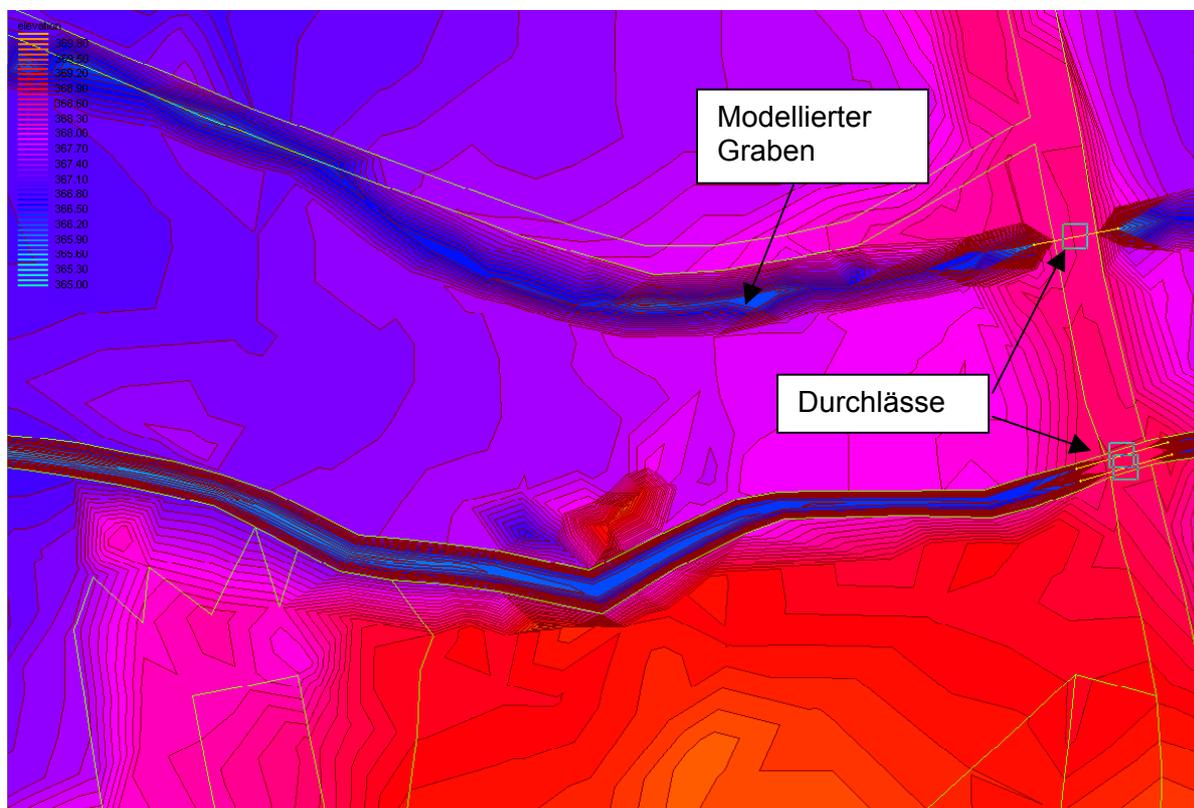


Abbildung 6.5: Ausschnitt aus dem hydraulischen Berechnungsmodell mit Höhenschichten und Höhenlinien

6.2.3 Rauheiten im Gewässer und im Vorland

Die Vorlandrauheiten wurden aus den ATKIS-Daten übernommen. Im Flussschlauch werden die Rauheitswerte auf Grundlage der Geländebegehung und allgemeiner Erfahrungswerte zugewiesen. Abbildung 6.6 zeigt einen Ausschnitt aus dem hydraulischen Berechnungsnetz mit zugeordneten Nutzungen. Die Rauheitsbeiwerte, die für die jeweilige Nutzung gewählt werden, sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

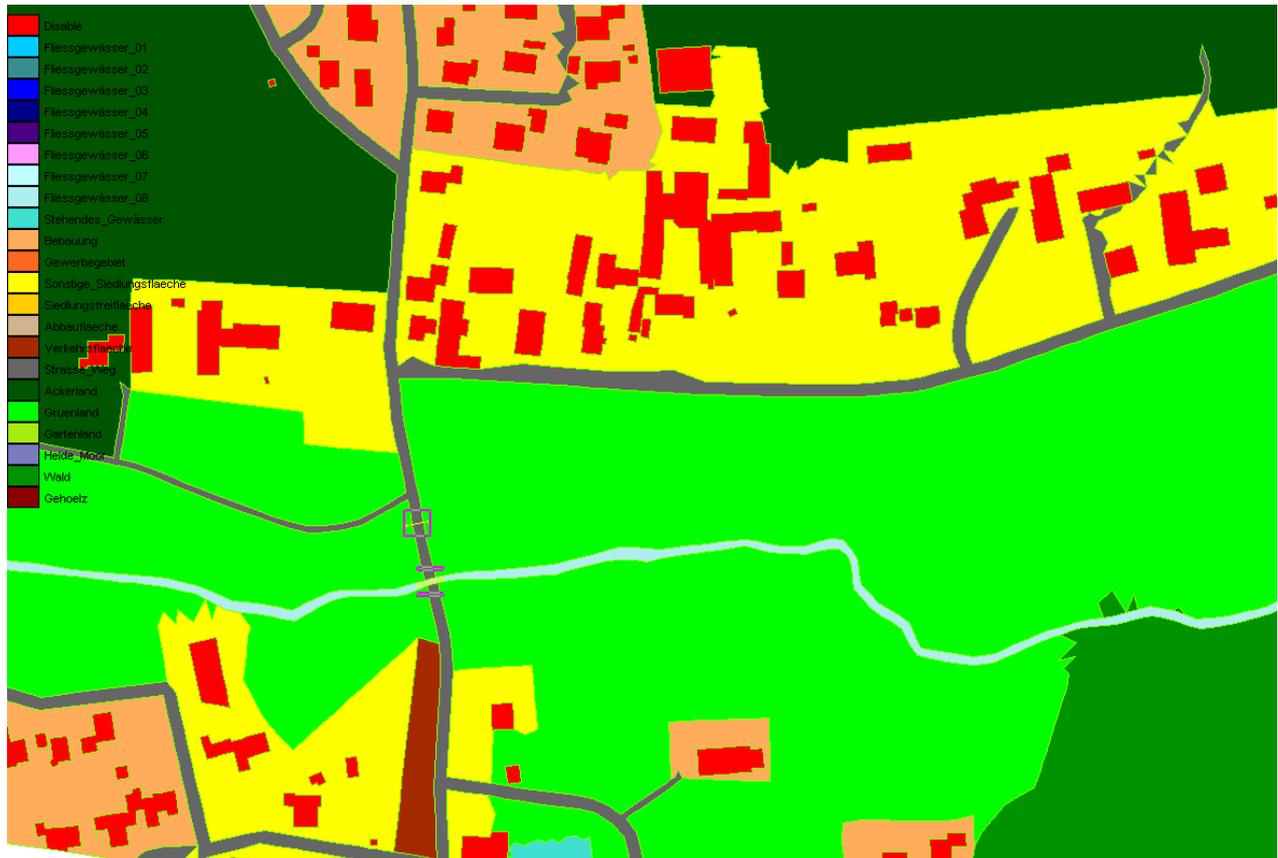


Abbildung 6.6: Hydraulisches Berechnungsnetz mit zugewiesenen Nutzungen

Tabelle 6.1: Zuordnung von Rauheitsbeiwerten zu den Flächennutzungen

Nutzung	Material-ID	k_{st} [m ^{1/3} /s]
Fließgewässer	10	25
Stehendes Gewässer	20	30
Bebauung	30	10
Gewerbegebiet	31	12
Sonstige Siedlungsfläche	32	12
Siedlungsfreifläche	33	16
Abbaufläche	34	30
Verkehrsfläche	40	40
Straße_Weg	41	40
Ackerland	50	15
Gruenland	51	20
Sonderkultur	56	15
Wald	54	10
Gehölz	55	10
Heide_Moor	53	18
Sumpf_Ried	58	11
Vegetationslose Fläche	57	20

6.3 Abflüsse und Ausflussrandbedingungen

Die zu untersuchenden Scheitelabflüsse wurden anhand des bereits beschriebenen Vorgehens mit dem N-A-Modell ermittelt und sind mit dem Auftraggeber abgestimmt. Um sicherzustellen, dass der Auslauf die auftretende Abflussmenge bei der Mündung des Feckinger Bachs in die Donau abführen kann, wurde die unterstromige Randbedingung am unteren Modellende des Feckinger Bachs mit Hilfe eines Energieliniengefälles von 1% definiert. Aufgrund des hohen Sohlgefälles im Untersuchungsgebietes spielt die unterstromige Randbedingung nur eine untergeordnete Rolle. Während die Hauptzuflüsse in den Feckinger Bach bei FKm 11+800 oberhalb von Hausen und bei der Mündung des Esper Bachs in den Feckinger Bach am FKm 5+600 instationär definiert werden, sind alle anderen Zuläufe in den Feckinger Bach stationär modelliert. In Tabelle 5.5 sind die für die hydraulischen Berechnungen verwendeten Scheitelabflüsse bei verschiedenen Jährlichkeiten angegeben.

6.4 Modellierung von Durchlässen

Bei Durchlässen handelt es sich um Bauwerke, die mit Hilfe empirischer Formeln erfasst werden, da in ihrem Bereich zum einen die Voraussetzungen der Flachwassergleichungen teilweise verletzt werden, und zum anderen das Berechnungsnetz im Bereich der Durchlässe sehr stark verfeinert werden müsste.

Der Durchfluss durch eine Öffnung wird in Hydro_AS-2D mit folgender Formel berechnet⁸:

⁸ Hydro_AS-2D, Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Benutzerhandbuch

$$Q = c \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

mit:

A = durchströmte Fläche [m^2],

g = Erdbeschleunigung ($g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$)

ΔH = Höhenunterschied zwischen Wasserstand im Oberwasser und im für die Abflussermittlung maßgebenden Querschnitt [m];

c = Abflussfaktor (Standardwert $c = 0,9$).

Hinsichtlich des Abflussverhaltens werden dabei vier Fälle unterschieden:

- (i) Der Abflussquerschnitt ist nicht gefüllt, und es tritt ein Fließwechsel auf. Der Abfluss erfolgt als Freispiegelabfluss, und der Unterwasserstand beeinflusst das Oberwasser nicht. Maßgebend ist der Querschnitt, in dem die Grenzwassertiefe erreicht wird, und somit der Fließwechsel stattfindet. Die Berechnungsparameter ergeben sich demzufolge zu:

$A = A_{\text{gr}} = \text{Abflussquerschnitt für die Grenzwassertiefe und}$

$\Delta H = 1/2 h_{\text{gr}}$; $h_{\text{gr}} = \text{Grenzwassertiefe.}$

- (ii) Der Abflussquerschnitt ist nicht gefüllt, wobei kein Fließwechsel auftritt und der Abfluss strömend erfolgt. In diesem Fall kann es zu einem Rückstau im Oberwasser kommen, und der Unterwasserstand h_{uw} beeinflusst den Abfluss ebenso wie der Oberwasserstand h_{ow} . Der für den Fall (i) ermittelte Abfluss wird dementsprechend mit folgendem Abminderungsfaktor multipliziert:

$$c_s = \sqrt{1 - \left(\frac{h_{\text{uw}}}{h_{\text{ow}}} \right)^{16}}.$$

- (iii) Der Abflussquerschnitt ist vollständig gefüllt, so dass der Durchlass als Druckrohrströmung gerechnet wird. Am Auslauf kommt es zudem zu einem Fließwechsel, so dass der Unterwasserstand keinen Einfluss auf das Oberwasser hat. Die Berechnungsparameter folgen zu:

$A = A_d = \text{abflusswirksamer Bauwerksquerschnitt und}$

$\Delta H = h_{\text{ow}} - z_{\text{kuk}}$ mit $z_{\text{kuk}} = \text{Höhe der abflusswirksamen Bauwerksunterkante.}$

- (iv) Der Abflussquerschnitt ist vollständig gefüllt, und es tritt kein Fließwechsel am Ausfluss auf, so dass es zu einem Aufstau im Oberwasser kommt. Die Berechnungsparameter folgen zu:

$A = A_d$ und

$\Delta H = h_{\text{ow}} - h_{\text{uw}}$.

Im Programm tritt der Fall (iv) auf, sobald der Unterwasserstand größer wird als die abflusswirksame Bauwerksunterkante. Der Übergang vom Fall (iii) zum Fall (iv) geschieht jedoch in der Praxis nicht schlagartig, sondern erfolgt, abhängig vom Bauwerkstyp, in einem gewissen Übergangsbereich. Infolgedessen kann es in diesem Abflussbereich zu einer geringfügigen Abweichung im ermittelten Durchfluss kommen.

Im Untersuchungsgebiet wurden 9 Durchlässe definiert. Zusätzlich wurden die Grabenstrukturen in den Vorländern, soweit keine Vermessungsdaten vorlagen, mit Durchlässen DN 600 verbunden. Die kreisförmigen Durchlässe mit Durchmessern größer als DN 600 sowie die größeren der rechteckigen Durchlässe (z.B. Vorlandbrücken) wurden dabei auf zwei No-strings verteilt (Aufteilung des Abflussfaktors), um keine unrealistische Wasserspiegelabsenkung am Einlaufknoten zu erhalten. Die explizit im Untersuchungsgebiet erfassten Durchlässe sind in Tabelle 6.2 zusammengefasst.

Tabelle 6.2: Explizit modellierte Durchlässe im Untersuchungsgebiet

Beschreibung	FKM	DN [mm]	B [m]	H [m]	z1 [müNN]	z2 [müNN]	z_ow [müNN]	z_uw [müNN]	C [Abflussfaktor]	Länge [m]	Anzahl NS.
1 Vorlandbrücke auf der rechten Seite des Feckinger Bachs Durchfahrt Bachgasse DB	0+720	-	3,50	3,80	341,23	341,15	340,93	340,85	0,6	28,00	1
2 Vorlandbrücke auf der rechten Seite des Feckinger Bachs Saal, Kirchplatz	1+670	-	7,50	0,87 / 1,27	345,08 / 345,08	345,07 / 345,07	344,78 / 344,78	344,77 / 344,77	0,6	10,24 / 10,87	2
3 Brücke über den Feckinger Bach bei der Mühle, Werkstr.	1+930	-	2,50	1,00	344,95	344,95	344,65	344,65	0,6	21,60	1
4 Brücke mit einem Pfeiler auf dem rechten Vorland bei KEH 10	3+420	-	5,00 / 5,00	1,80 / 1,80	348,76 / 348,79	348,68 / 348,73	348,46 / 348,49	348,38 / 348,43	0,6	9,80 / 10,38	2
5 Vorlandbrücke über den Graben auf dem rechten Vorland bei Peterfecking, Schlossstr.	3+620	-	2,35	1,00	348,82	348,79	348,52	348,49	0,6	11,20	1
6 Brücke auf dem rechten Vorland bei Mitterfecking, Dorfstr.	5+180	-	4,00	0,75	352,38	352,38	352,08	352,08	0,6	13,16	1

Beschreibung	FKM	DN [mm]	B [m]	H [m]	z1 [müNN]	z2 [müNN]	z_ow [müNN]	z_uw [müNN]	C [Abflussfaktor]	Länge [m]	Anzahl NS.
7 Bögenförmige Brücke mit einem Pfeiler als kreisförmige Durchlässe bei Sipenau	7+530	1000	-	-	362,28 / 362,35	359,95 / 360,24	361,98 / 362,05	359,35 / 359,94	0,6	5,30 / 5,30	2
8 Hausen, Saladorferstr.	10+720	-	2,04	1,35	366,74	366,50	366,44	366,20	0,6	11,00	1
9 Brücke auf dem rechten Vorland bei Hausen, Saladorferstr.	10+720	-	1,35	1,60	366,10	366,08	365,80	365,78	0,6	9,92	1

6.5 Modellierung von Brückenbauwerken

Der Abfluss durch die in Tabelle 6.3 zusammengestellten Brückenbauwerke wird zweidimensional berechnet. Für die Knoten des hydraulischen Berechnungsnetzes, die sich unter Brücken befinden, wird eine wirksame Brückenunterkante definiert, die an diesen Stellen den potenziellen Abflussquerschnitt nach oben begrenzt. Das hydraulische Berechnungsnetz wird weiterhin so angepasst, dass die Widerlager der Brücke annähernd senkrecht abgebildet werden. Die konstruktiven Unterkanten werden mindestens fünf Zentimeter über der im hydraulischen Modell vorhandenen Geländehöhe festgelegt. Dadurch kann es vor allem entlang nicht ausgebauter Gewässerabschnitte zu Höhenunterschieden der konstruktiven Unterkanten im Dezimeterbereich kommen.

Tabelle 6.3: Brückenbauwerke im Untersuchungsgebiet

Beschreibung	FKM	Konstruktive Unterkante [müNN] (links / mitte / rechts)	Bauwerksoberkante (links / rechts)	Lichte Weite [m]	Bemerkung
Feckinger Bach					
Saal, Bachgasse östl.	0+480	340,84 / 340,20	342,09 / 341,15	8,1	Rechteckige Brücke
Saal, Bachgasse westl.	0+720	342,69 / 342,09	343,56 / 342,31	5,1	Rechteckige Brücke
Durchlass DB	0+840	343,45 / 343,60 / 344,25 / 344,50 / 344,29 / 343,41	345,61 / 345,64	2,4	Bogenförmige Brücke
Saal, Ringweg	1+230	342,97 / 342,94	343,76 / 343,74	3,34	Rechteckige Brücke
Saal, Kirchplatz	1+670	345,55 / 345,72	346,20 / 346,34	7	Rechteckige Brücke
Saal, Industriegleis	2+130	349,44 / 349,53	350,45 / 350,68	10,5	Rechteckige Brücke
Saal, Industriegleis	2+130	348,98 / 348,98	350,13 / 350,34	8	Vorlandsbrücke (links)
Saal, Werkstr.	2+210	349,47 / 349,40	349,98 / 350,03	8,14	Rechteckige Brücke
Saal, Industriegleis	2+400	349,33 / 349,44	350,50 / 350,73	9,4	Rechteckige Brücke
Saal, Weg unter Industriegleis	2+400	350,28 / 350,28	349,03 / 349,04	3,5	Vorlandsbrücke (links)
Saal, Zufahrt Hainersdorfer Str.	2+610	349,27 / 349,26	349,79 / 349,78	6,03	Rechteckige Brücke
KEH 10	3+420	350,69 / 350,71	351,45 / 351,45	6,04	Rechteckige Brücke
Peterfecking, Schloßstr.	3+620	351,95 / 351,97	352,19 / 352,19	2,98	Rechteckige Brücke

Beschreibung	FKM	Konstruktive Unterkante [müNN] (links / mitte / rechts)	Bauwerksoberkante (links / rechts)	Lichte Weite [m]	Bemerkung
Mitterfecking, Dorfstr.	5+180	353,51 / 353,52	354,11 / 354,11	2,77	Rechteckige Brücke
Mitterfecking, Bachstr.	5+720	354,52 / 354,48	355,35 / 355,36	3,00	Rechteckige Brücke
Mitterfecking, Bachstr.	5+720	354,77 / 354,74	355,57 / 355,70	8,2	Vorlandsbrücke (rechts)
Pollingholz	6+800	356,39 / 356,96 / 357,00 / 356,54	357,41 / 357,54	0,72	Bogenförmige Brücke
Weinberg	8+800	362,22 / 363,27 / 363,88 / 364,01 / 363,84 / 362,81/ 362,12	364,36 / 364,25	3,00	Bogenförmige Brücke
KEH 10	9+630	365,73 / 365,70	366,56 / 366,53	6,26	Rechteckige Brücke
Hausen, Saaler Str.	9+990	366,18 / 366,18	366,56 / 366,62	1,82	Rechteckige Brücke

6.6 Hydraulische Modellierung von Abstürzen und Wehren

Wenn auf einer kurzen Strecke eine zu große Höhendifferenz in der Sohlgeometrie vorhanden ist, wie dies z.B. bei Wehren und Abstürzen der Fall ist, kann dieser Höhensprung nicht mehr zweidimensional modelliert werden. Das Verhältnis der Absturz- bzw. Überfallhöhe zur Wassertiefe über der Überfallschwelle verletzt dabei die Voraussetzungen der Flachwassergleichungen. Der Abfluss Q über den Absturz wird in den vorliegenden Untersuchungen eindimensional mit der Überfallformel nach Du Buat berechnet, die der allgemeinen Wehrformel nach Poleni vergleichbar ist:

$$Q = c_u \cdot \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_E^{3/2} \quad [m^3 / s]$$

Der Überfallbeiwert μ wird entsprechend der Wehrform angepasst. Weiterhin gehen die Breite der Krone b und die Energiehöhe h_E im Oberwasser in Bezug auf die Kronenhöhe ein. Die Verwendung der Energiehöhe h_E im Ansatz nach Du Buat hat gegenüber der Verwendung der Einstauhöhe h im Ansatz nach Poleni den Vorteil, dass die Anströmungsrichtung z.B. bei Streichwehren in die Berechnung mit eingeht.

Der Abminderungsfaktor c_u berücksichtigt die Auswirkung eines Einstaus des Wehres vom Unterwasser her (unvollständiger Überfall) und wird über die Formel:

$$c_u = \sqrt{1 - \left(\frac{h_{uw}}{h_{ow}} \right)^n}$$

mit einem Exponent n von 16 für breitkronige Wehrkörper bestimmt. Dabei stehen h_{uw} und h_{ow} für die Wassertiefe des Ober- bzw. Unterwassers bezogen auf die Kronenhöhe des Wehrüberfalls⁹.

⁹ Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern, Merkblatt 1, 1997

Die modellierten Abstürze und Wehranlagen im Untersuchungsgebiet sind in der Tabelle 6.4 zusammengefasst.

Tabelle 6.4: Angaben zu den modellierten Abstürzen und Wehranlagen im Untersuchungsgebiet

Gewässer Feckinger Bach	Fkm	Absturzoberkante (links / rechts) [m ü. NN]	Absturzbreite (links / rechts) [m]	Überfallbeiwert μ [-]
Absturz	0,740	341,76	2,50	0,6
Wehranlage, Werkstr.	1,940	348,09 / 347,95	1,4 / 1,0	0,6
Umgehungsgerinne, Werkstr.	1,960	347,98	0,7	0,6
Ausleitungswehr, Werkstr.	1,980	347,67	1,5	0,6
Rote Mühle bei Peterfecking, Schloßstr.	3,500	351,115	1,40	0,6
Privatwehr	3,700	350,83 / 351,84	0,95 / 2,0	0,6
Wehr / Absturz bei Breitwiesen	5,32	353,37	1,6	0,6

Erschwert wurde die Modellierung zum Teil erheblich dadurch dass die übergebenen, vermessenen Querprofile nicht an den Querbauwerken ausgerichtet waren. Wünschenswert wäre jeweils ein Profil oberstrom und ein Profil unterstrom des Bauwerks. Im Modell wurde jeweils vom letzten vermessenen Querprofil nach oberstrom bzw. unterstrom bis zum Querbauwerk extrapoliert. Teilweise konnte die Extrapolation durch nachvermessene Punkte abgesichert werden. Grundsätzlich wäre auch eine terrestrische Aufnahme der seitlichen Wehrbauwerke, welche zur Entlastung bei Hochwasser herangezogen werden, sowie der sich anschließenden Umlaufgewässer angeraten.

6.7 Sonderbauwerke

Über die Informationen aus der Ortsbegehung, den Befliegungsdaten und der zusätzlichen Vermessung hinaus konnten teilweise Planunterlagen der Sonderbauwerke dem Ingenieurbüro vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden. Neben den Entlastungswehren an den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Mühlen und Triebwerken stellen die Wehranlage an der Werkstraße (FKm 1,940) sowie die Mühle bei Peterfecking (Schlossstraße, FKm 3,5) die markantesten Sonderbauwerke dar. Die Mühle bei Peterfecking konnte entsprechend der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planunterlagen durch die oben genannten Wehrelemen-

te modelliert werden. Zudem konnte auf Basis der Planunterlagen eine Anpassung der Einlaufgeometrie sowie der Sohlhöhen im Bauwerksbereich vorgenommen werden.

Vorhandene Bauwerke über die oben genannten hinaus wurden im Rahmen einer Ortsbegehung mit dem Auftraggeber als hydraulisch nicht relevant eingestuft und nicht im Modell erfasst.

6.8 Anpassung des hydraulischen Modells

Vor der Ermittlung der Überschwemmungsflächen für die einzelnen Abflüsse sollte eine Kalibrierung und Verifizierung des Modells anhand abgelaufener Hochwasserereignisse erfolgen, um zu überprüfen, ob das Modell die Realität mit hinreichender Genauigkeit abbildet. Da im aktuellen Fall keine Hochwasserspiegelfixierungen vorliegen, werden für die Rauheitsbeiwerte Erfahrungswerte verwendet, die auf der Grundlage einer Vielzahl von Projekten zusammengestellt wurden und auch beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft gesammelt werden. Zudem erfolgte eine eingehende Plausibilitätsüberprüfung der Berechnungsergebnisse, wobei auch auf die umfangreiche Gebietskenntnis am zuständigen Wasserwirtschaftsamt Landshut zurückgegriffen werden konnte. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurde zudem eine Sensitivitätsanalyse für die Rauheitsbeiwerte durchgeführt. Letztendlich wurden die in Tabelle 6.1 zusammengestellten Rauheiten verwendet, da sich die entsprechenden Berechnungsergebnisse am besten mit den Erfahrungen vor Ort deckten.

Da es bei den ersten hydraulischen Berechnungen für das HQ_{100} zur flächigen Überschwemmung bis zum linksseitigen Modellrand im Bereich zwischen Fkm 9+630 und Fkm 10+600 gekommen ist, wurde das Berechnungsmodell entsprechend erweitert, um so eine eventuelle Betroffenheit in diesem Bereich berechnen und darstellen zu können.

6.9 Ermittlung der Wassertiefen und Überschwemmungsgebiete

Die durch die hydraulische Berechnung ermittelten Wasserspiegellagen werden nach der Berechnung mit der Geländeoberfläche verschnitten, die dem hydraulischen Modell zugrunde liegt.

Nach der Überprüfung der dargestellten Überschwemmungsgebiete anhand einer Ortsbegehung und in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber werden die Überschwemmungsgebiete als plausibel eingestuft. Eine weitergehende manuelle Anpassung der Überschwemmungsgebiete war nicht notwendig. Die Übersichtspläne H101 bis H103 zeigen auf Grundlage der topographischen Karte im Maßstab 1:25.000 über die gesamte Länge des Untersuchungsgebietes die Überschwemmungsgrenzen jeweils der Abflussereignisse HQ_5 , HQ_{10} und HQ_{100} .

Die maximalen Wassertiefen der instationären Berechnung sind in den Lageplänen im Maßstab 1:2.500 im Anhang 5 in farblicher Abstufung dargestellt. Dabei zeigen die Pläne H201 bis H204 das HQ_{100} , die Pläne H211 bis H214 das HQ_{10} und die Pläne H221 bis 214 das HQ_5 . Zusätzlich sind die Wasserspiegellagen an den Flusskilometern und an markanten Punkten (Brücken, Wehre, etc.) in Gewässermitteln angegeben. Sie sind zudem im Gewässerlängsschnitt H301 im Maßstab 1:5.000 für die jeweiligen Hochwasserereignisse dargestellt.

7. Berechnungsergebnisse

Mit dem beschriebenen Berechnungsmodell werden die hochwassergefährdeten Gebiete am Feckinger Bach für ein 5-, 10- und 100-jährliches Hochwasserereignis ermittelt. Im Folgenden werden die Berechnungsergebnisse von Fkm 11,800 beginnend bis zur Einmündung in die Donau kurz erläutert. Da die Charakteristik bei allen Ereignissen sehr ähnlich ist, wird im Folgenden nur auf die Ergebnisse für das HQ₁₀₀ detailliert eingegangen. Für das HQ₅ ergeben sich aus den kleineren Bemessungsabflüssen niedrigere Wassertiefen mit geringeren Ausuferungen. Sämtliche Ergebnisse sind in den Plänen im Anhang 5 grafisch dargestellt und können in der Folge zur Risikoabschätzung und Bewertung herangezogen werden (s. Abbildung 7.1).

7.1 Fkm 11,8 bis 9,6 – Ortslage von Hausen

Vom Beginn des Untersuchungsgebietes am Feckinger Bach westlich der A93 an tritt ein breitflächiger Hochwasserabfluss auf. Die Ausuferungen im östlichen Ortsbereich von Hausen erfolgen hauptsächlich rechtsseitig des Feckinger Baches, wo durch eine Tieflage des Geländes ein Überströmen in den nördlich, parallel zum Feckinger Bach verlaufenden Graben ermöglicht wird. Die Saladorfer Straße quert den Hochwasserabfluss und stellt eine Einengung des Abflussquerschnittes dar. Die vorhandenen Brücken bieten keinen ausreichenden Querschnitt, so dass ein Aufstau bis zum flächigen Überströmen des Straßendamms erfolgt. Die Wasserspiegellagen zeigen Betroffenheiten in der nördlich an das Überschwemmungsgebiet angrenzenden Bebauung.

Westlich der Saladorfer Straße erfolgt der Abfluss im Feckinger Bach, dem nördlichen Graben und den begleitenden Vorländern. Bis zur Brücke bei Fkm 9+990 ergeben sich keine Betroffenheiten. Das Brückenbauwerk selbst führt wiederum zu einem deutlichen Rückstau und zur Überströmung der Saaler Straße, wodurch in der Folge auch die Bebauung auf Flur-Nr. 822 betroffen ist. Ähnlich verhält sich auch das Brückenbauwerk der Kreisstraße KEH 10. Bebauungen sind hier nicht betroffen.

7.2 Fkm 9,6 bis 5,72 – Weinberg, Sippenau

Westlich der KEH 10 verläuft der Feckinger Bach in seinem weitestgehend natürlichen Talbett und kann dort den notwendigen Raum beanspruchen. Lediglich im Bereich Sippenau sind die südlich des Durchlasses gelegenen Nebengebäude betroffen.

7.3 Fkm 5,72 bis 3,42 – Mitterfecking, Peterfecking

Der Hochwasserabfluss südlich von Mitterfecking ist gekennzeichnet einerseits durch die Abflussaufteilung zwischen Feckinger Bach und dem Altbach. Der Altbach wird beaufschlagt durch ein etwas abgesenktes Ufer im Bereich der Teichanlage als auch durch die Brücke im rechten Vorlandbereich der Verbindungsstraße nach Oberfecking. Andererseits mündet unterstrom der Teichanlage der Esperbach, einer der wesentlichen Zubringer im Einzugsgebiet

des Feckinger Bachs. In der Folge ergeben sich drei Hauptabflusswege, welche die tiefergelegenen Siedlungsgebiete Mitterfeckings von Süd nach Nord durchziehen. Die Dorfstraße (KEH 23) wird über eine Länge von ca. 200 m überströmt.

Ähnlich stellt sich die Situation in Peterfecking dar, wobei sich der Hochwasserabfluss rechtsseitig konzentriert. Erst unterhalb der Mühle ist auch linksseitig die Bebauung betroffen.

7.4 Fkm 3,42 bis Mündung – Saal a.D.

Bei Fkm 3+420 quert der Feckinger Bach wiederum die KEH 10. Der Hochwasserabfluss beansprucht den Talraum, wobei bei Fkm 2+220 die topographische Engstelle im Talraum in Verbindung mit den sich dort kreuzenden infrastrukturellen Anlagen (Werkszufahrt, Industriegleisanschluss) zu einem deutlichen Aufstau nach oberstrom führt. Die Betroffenen reichen bis zu den westlichen Gebäuden des Kalkwerkes. Ab Fkm 3+130 erfolgt der Hauptabfluss aufgrund der Hanglage des Feckinger Bachs oberstrom der Mühle im linksseitigen Vorland. Da aufgrund der beengten Situation im Bereich der Mühle (Flur-Nr. 54) nur ein Teil des Vorlandabflusses wieder zurück in den Feckinger Bach findet und von dort zum rechtsseitigen Vorland wechseln kann, fließt ein Teilstrom entlang der Werkstraße und überflutet den Ortskern von Saal a.d.D. Die Betroffenen zeigen sich beidseitig der Werkstraße und über den Kirchplatz hinaus. Ab Fkm 1+400 zeigen sich linksseitig größere Betroffenenheiten, welche mit durch einen Rückstau bedingt durch die Querung der Bahnlinie verursacht werden. Dabei erfolgt bereits ein Teilabfluss durch die Bahnunterführung in der Bachgasse. Rechtsseitig sind bis auf die Gebäude direkt bei der Mühle (Fkm 1+900) keine Betroffenenheiten festzustellen. Nach der Bahnquerung ab Fkm 0+720 schützt linksseitig der Rücklaufdamm des Donaupolders. Rechtsseitig reicht das Überschwemmungsgebiet gerade bis an die Bebauung heran.

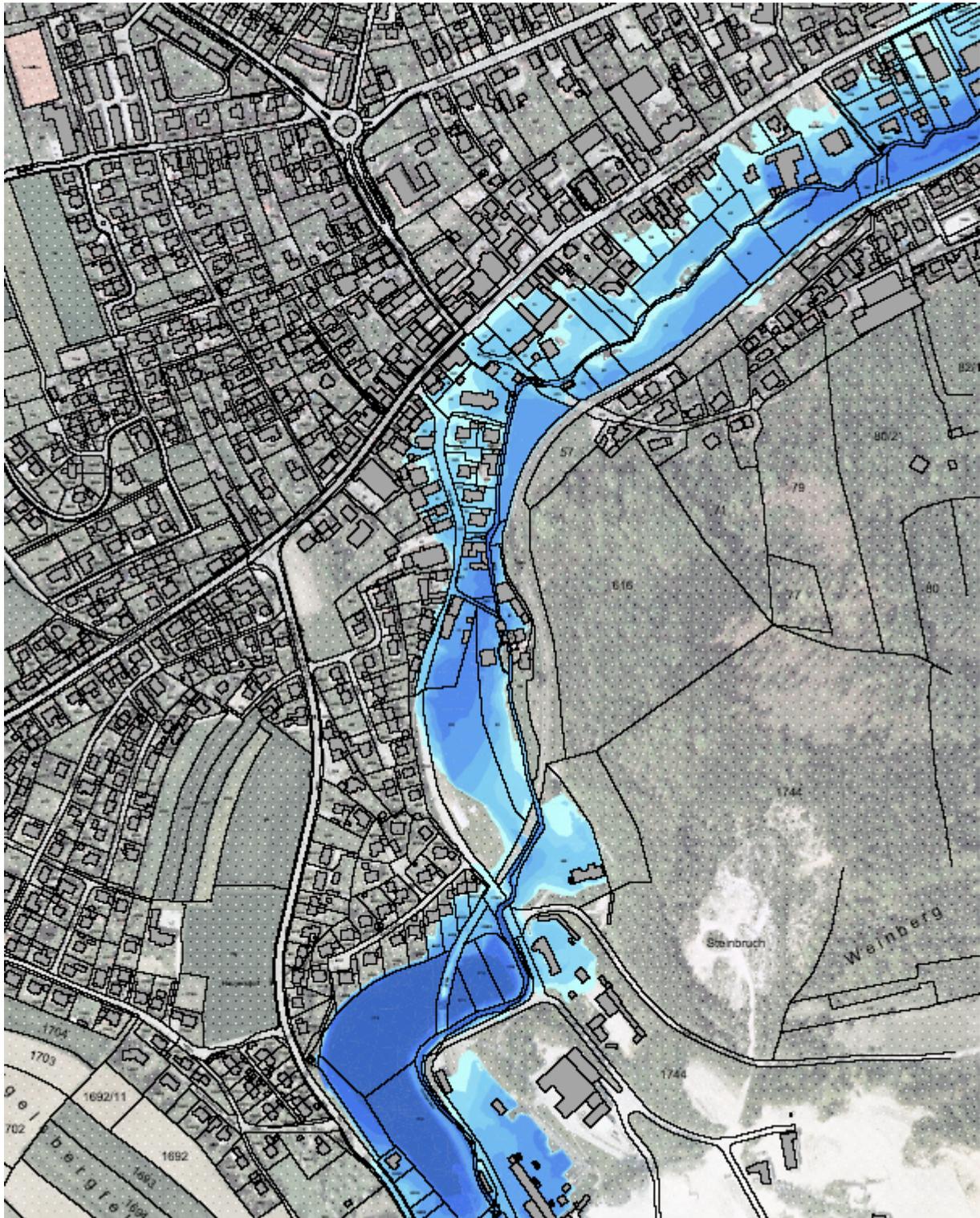


Abbildung 7.1: Überschwemmungsgefährdete Gebiete – maximale Wassertiefen beim HQ₁₀₀

8. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zur Ermittlung der überschwemmungsgefährdeten Bereiche am Feckinger Bach im Landkreis Kelheim wurde zunächst aus den vorliegenden Geländedaten ein hydraulisches Berechnungsnetz erstellt, in das Informationen über hydraulische Besonderheiten (Brücken, Durchlässe, Abstürze, Wehranlagen, etc.) eingearbeitet wurden.

Die hydraulischen Berechnungen erfolgten mit dem in der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung standardmäßig eingesetzten Programmpaket HYDRO_AS-2D. Die Berechnungen wurden instationär für ein 5-, ein 10- und ein 100-jährliches Hochwasserereignis durchgeführt. Die anzusetzenden Abflüsse ergaben sich aus einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung und wurden in Rücksprache mit dem Wasserwirtschaftsamt Landshut festgelegt.

Die Rauheitsbeiwerte wurden in der Berechnung aufgrund der umfangreichen Erfahrungen bei hydraulischen Berechnungen in Bayern angesetzt. Die Berechnungsergebnisse wurden deswegen umfassend auf Plausibilität überprüft, wodurch die Vertrauenswürdigkeit der Berechnungsergebnisse gegeben ist.

Hinsichtlich der Abflusscharakteristik des Feckinger Bachs ist festzuhalten, dass das Bachbett des Feckinger Bachs nicht leistungsfähig genug ist, um die untersuchten Hochwasserabflüsse abzuführen. Es kommt frühzeitig zu Ausuferungen, von denen hauptsächlich land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen betroffen sind. Während zumeist nur vereinzelte Gebäude in unmittelbarer Flussnähe vom Wasser erreicht werden, kommt es in den Ortschaften Mitterfecking, Peterfecking und Saal a.d.D. zu großräumigeren Betroffenheiten. Meist sind sowohl das Bachbett als auch die Brücken und Wehranlagen nicht ausreichend dimensioniert. Zudem sollten alternative Abflusswege, welche beim Hochwasser in den Vorländern beansprucht werden, gezielt freigehalten bzw. ertüchtigt werden.

Eching am Ammersee, den 25.11.2009

Dr. Blasy – Dr. Øverland
Beratende Ingenieure

i. V. Dr.-Ing. Manfred Schindler