Ministerium für
Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und
Verbraucherschutz
des Landes
Nordrhein-Westfalen

„Modellgestützte Lokalisierung und Beseitigung von Fremdwasserquellen in Schmutzwasserkanälen am Beispiel Leichlingen“

Bericht Phase 1

„Modellgestützte Lokalisierung“

Abschlussbericht November 2007

Stadt Leichlingen
Städtischer Abwasserbetrieb

FRANZ FISCHER INGENIEURBÜRO GmbH

DHI WATER & ENVIRONMENT

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben:	Modellgestützte Lokalisierung und Beseitigung von Fremdwasserquellen in Schmutzwasserkanälen am Beispiel Leichlingen Phase 1 „Modellgestützte Lokalisierung“
Auftraggeber:	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) Schwannstraße 3 40476 Düsseldorf
Auftragnehmer:	Stadt Leichlingen Städtischer Abwasserbetrieb Am Schulbusch 16 42799 Leichlingen Telefon: 02175 / 8900-0 Telefax: 02175 / 8900- 19 E-mail: info@abwasserbetrieb-leichlingen.de
Projektleitung:	Dipl.-Ing. Helfferich Preuschen, Stadt Leichlingen Dipl.-Ing. Ralf Ostermann, Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH
Projektbearbeitung:	Dr. Wolfgang Kampfmann Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH Wilhelmstraße 26 42697 Solingen Telefon: 0212 / 222 00-5 Telefax: 0212 / 222 00-301 E-mail: solingen@fischer-teamplan.de
Wissenschaftl. Beratung:	Prof. Dr.-Ing. Rainer Feldhaus
Projektbegleitung:	Bezirksregierung Köln Rheinisch-Bergischer Kreis Wupperverband Stadt Bergisch Gladbach - Abwasserwerk Stadt Burscheid – Technische Werke Stadt Leverkusen – Technische Betriebe Stadt Wermelskirchen – Abwasserbetrieb

INHALTSVERZEICHNIS

1 Problembeschreibung 1
2 Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise 2
3 Gegebenheiten im Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers 4
4 Grundlagensammlung und –erhebung 7
4.1 Übersicht 7
4.2 Geografische Daten 9
4.2.1 Lagedaten 10
4.2.2 Höhendaten (DGM) 10
4.2.3 Nutzungsdaten 11
4.2.4 Liegenschaftsdaten 12
4.2.5 Geologische Daten 13
4.3 Klimadaten 14
4.3.1 Niederschlagsdaten 14
4.3.2 Temperatur- / Luftfeuchtigkeitsdaten 14
4.4 Daten des Entwässerungssystems 15
4.4.1 Städtisches Kanalnetz 15
4.4.2 Kanalnetze Dritter 15
4.4.3 Hausdränagen 15
4.4.4 Flächendränagen 15
4.5 Abflussdaten 15
4.5.1 Abflussdaten Gewässer 15
4.5.2 Abflussdaten Kanalisation 16
4.6 Hydrogeologische Daten 19
4.6.1 Bodenkennwerte 19
4.6.2 Geologische Daten 21
4.6.3 Messung des Grundwasserstandes 22
5 Analyse gemessener Ganglinien 25
5.1 Generierung einer gebietstypischen Schmutzwassertagesganglinie 25
5.1.1 Auswahlkriterien 25
5.2 Nachtminimum 25
5.3 Schmutzwasser 26
5.4 Fremdwasser 27
5.4.1 Fremdwasserbasisabfluss 27
5.4.2 Niederschlagsbedingter Fremdabfluss 28
5.4.3 Zusammenfassung 31

6 Aufbau und Anwendung des Modellsystems....32
6.1 Orientierung - Aufbau und Anwendung eines GIS....33
6.1.1 Aufbau des GIS....33
6.1.2 Identifizierung des oberirdischen Entwässerungssystems....33
6.1.3 Anbindungen des oberirdischen Entwässerungssystems an das unterirdische Entwässerungssystem....34
6.1.4 Abschätzung der Lage des potenziellen Dränsystems....35
6.2 Sondierung - Aufbau und Anwendung eines hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells....36
6.2.1 Aufbau des hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells....36
6.2.2 Modellberechnungen....39
6.2.2.1 Startbedingungen des Grundwassermodells....39
6.2.2.2 Plausibilitätsprüfung am Gebietsende....41
6.2.2.3 Plausibilitätsprüfung anhand der Kurzzeitmessungen....43
6.3 Lage potenzieller Fremdwasserquellen....45
7 Bewertung der Modellergebnisse....53
8 Sensitivitätsanalyse....54
8.1 Digitales Geländemodell:....54
8.2 Geologische Daten, Bodendaten:....54
8.3 Wichtige modellspezifische Parameter....55
9 Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens....56
9.1 Grundlagenerhebung....56
9.2 Räumliche Orientierung....56
9.3 Modelltechnik / Messtechnik (bei grundwasserbedingtem Fremdwasser)....56
9.4 Auswertung der Ergebnisse, Dokumentation....58
9.5 Ausblick Fremdwassersanierung....58
9.6 Kostengegenüberstellung....59
9.7 Zusammenfassung....60
10 Handlungsempfehlung zur modellgestützten Lokalisierung von Fremdwasserquellen in Schmutzwasserkanälen....61
11 Quellenverzeichnis....70

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 3.1: Modellgebiet Weltersbach mit Hintergrundkarte DGK 5 4
Abb. 3.2: Durchflussganglinien im Weltersbachsammler im Zeitraum 10/98 – 10/99 (links), sowie 09/02 – 01/03 (rechts), gemessen am Ende des Einzugsgebietes 5
Abb. 3.3: Mögliche Zutrittspfade des Fremdwassers 6
Abb. 4.1: Modellgebiet Weltersbach mit Auswertung DGM 10x10 m 10
Abb. 4.2: Modellgebiet Weltersbach mit Nutzungsdaten aus ATKIS 11
Abb. 4.3: Modellgebiet Weltersbach mit Liegenschaftsdaten / Geodaten 12
Abb. 4.4: Auszug aus geologischer Karte 1:100.000 13
Abb. 4.5: Niederschlagsstationen im Einzugsgebiet 14
Abb. 4.6: Abflussmessung mit mobilem Messgerät 16
Abb. 4.7: Aufbau der Messstelle (Abb. Axel Zangenberg GmbH & Co.KG) 17
Abb. 4.8: Lage der temp. MessstellenM1 – M6 im östlichen Einzugsgebiet 18
Abb. 4.9: Modellgebiet Weltersbach: Bodenarten 19
Abb. 4.10: Modellgebiet Weltersbach: Gesteinsarten des obersten GW-Leiters 20
Abb. 4.11: Modellgebiet Weltersbach: kf-Werte 20
Abb. 4.12: Modellgebiet Weltersbach: Geologische Karte 21
Abb. 4.13: Grundwassermessstellen P1, P3, P6b 22
Abb. 4.14: Grundwassergang an Messstellen Pegel 6b 23
Abb. 4.15: Grundwassergang an Messstellen Pegel 1 23
Abb. 4.16: Grundwassergang an Messstellen Pegel 3 24
Abb. 5.1: Generierter gebietstypischer Tagesgang 26
Abb. 5.2: Tagesgang mit Fremdwasserbasisabfluss 27
Abb. 5.3: Niederschlagsbedingter Fremdwasserabfluss ohne Nachlauf 28
Abb. 5.4: Auswertung Summenlinien 29
Abb. 5.5: Niederschlagsbedingter Fremdwasserabfluss mit Nachlauf 30
Abb. 5.6: Abflusskomponenten in der Messung 31
Abb. 6.1: Vorgehensweise bei Aufbau und Anwendung des Modellsystems 32
Abb. 6.2: Identifikation Fließwege, Senken / Mulden 33
Abb. 6.3: Verschneidung Kanalnetz mit Fließwegen / Senken 34
Abb. 6.4: Bebauung im Einzugsgebiet mit zugewiesener Höhenlage 35
Abb. 6.5: Schematische Darstellung der Modellabbildung 36
Abb. 6.6: Berücksichtigung der Geologie im Modell 37
Abb. 6.7: Abbildung der Kanäle im Modell 38
Abb. 6.8: Zuordnung der Dränagen zu Schmutzwasserschächten im Modell 39

Abb. 6.9: Startbedingungen des Grundwassermodells 40
Abb. 6.10: Niederschlag / Abfluss Mai 2004 41
Abb. 6.11: Messung (schwarz) und Berechnung (rot) zum Ereignis Mai 2004 42
Abb. 6.12: Abfluss in m³/s (bunt / schwarz) und Niederschlag (blau)Mai / Juni 2006.....43
Abb. 6.13: Ergebnisse ohne Modellanpassung - Messung (schwarz) und Berechnung (rot).....44
Abb. 6.14: Ergebnisse mit Modellanpassung - Messung (schwarz) und Berechnung (rot) 45
Abb. 6.15: Abflussanteile bezogen auf die Ortslagen.....46
Abb. 6.16: Abflussanteile am Fremdwasser bezogen auf die Quellen (in m3 und in % - Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage))* 47
Abb. 6.17: Abflussanteile bezogen auf die Ortslagen (ohne Dränage) 48
Abb. 6.18: Zutrittsschwerpunktgebiete (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage)) 49
Abb. 6.19: Zutrittsverteilung 50
Abb. 6.20: Oberflächenwasserzutritt (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage)) 51
Abb. 6.21: Oberflächenwasserzutritt – Ausschnittvergrößerung (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage)).....52
Abb. 9.1: Dokumentation der Zutrittsschwerpunkte 58
Abb. 9.2: Problembezogene Möglichkeiten zur Fremdwasserlokalisierung.....60

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1 Prozessmatrix Phase 1 „Modellgestützte Lokalisierung“ 3
Tabelle 4.1 Erforderliche Grundlagen..... 7
Tabelle 4.2 Kartengrundlagen 9
Tabelle 9.1 Entscheidungsmatrix Messen / GW-Modell 57
Tabelle 9.2 Kostengegenüberstellung 59
Tabelle 10.1 Möglichkeiten des Fremdwasserzutritts zu Schmutzwasserkanälen, Einschätzung ihrer jeweiligen mengenmäßigen Bedeutung und Möglichkeiten zur konventionellen Ortung der Fremdwasserquellen sowie Bedeutung der modelltechnischen Unterstützung (Abkürzungen: GW: Grundwasser, OW: Oberflächenwasser, SiW: Sickerwasser).....61
Tabelle 10.2 Abgeleitete Empfehlungen zum Einsatz von Modelltechnik: 63
Tabelle 10.3 Handlungsempfehlung zur modellgestützten Ortung von Fremdwasserzutritten in Schmutzwasserkanäle 64

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AFS	Abfiltrierbare Stoffe
ALB	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ALK	Automatisiertes Liegenschaftskataster
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BR	Bezirksregierung
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DGM	Digitales Geländemodell
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
DHI	Danish Hydraulic Institute
EZG	Einzugsgebiet
FW	Fremdwasser
GIS	Geografisches Informationssystem
GLA NRW	Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen
GWSp	Grundwasserspiegel
GW	Grundwasser
ha	Hektar
IBF	Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert
LF	Leitfähigkeit
LUA NRW	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
LvermA NRW	Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen
MUNLV	Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
OW	Oberflächenwasser
RW	Regenwasser
SiW	Sickerwasser
STAB	Städtischer Abwasserbetrieb Leichlingen
SW	Schmutzwasser

1 PROBLEMBESCHREIBUNG

In den vergangenen Jahren ist die Fremdwasser-Thematik zu einem der Schwerpunkte auf dem Gebiet der Abwasserbeseitigung geworden. Die technisch, ökologisch und ökonomisch negativen Folgen des Fremdwasserzutritts zur Kanalisation sind bekannt (u. a. DWA-DVWK, 2003). Die Fachdiskussion zeigt, dass Fremdwasser ein Problem ist, von dem nicht nur einzelne Kommunen betroffen sind, sondern das nahezu flächendeckend auftritt – und zwar nicht nur bundesweit sondern auch international.

Um das Fremdwasserproblem effizient bewältigen zu können, ist in jedem einzelnen Fall ein systematisches Vorgehen erforderlich. Hierzu hat die ABWASSERBERATUNG NRW E. V. eine Handlungsempfehlung erstellen lassen (IKT, 2001). Andere Bundesländer haben vergleichbare Handlungsempfehlungen herausgegeben (u. a. MLNU THÜRINGEN, 2002). Allen Empfehlungen gemein ist, zur Vorbereitung der eigentlichen Sanierung wie folgt vorzugehen:

- Ermittlung der Gesamt-Fremdwassermenge
- Lokalisierung der Haupt-Fremdwasserquellen
- Aufstellung einer Prioritätenliste der sanierungsbedürftigen Einzugsgebiete

Von diesen drei Schritten ist die *Lokalisierung der Haupt-Fremdwasserquellen* der aufwändigste und damit teuerste, da sich die Lokalisierung nach den o. g. Strategien im Wesentlichen auf Durchflussmessungen (ggf. in Kombination mit Konzentrationsmessungen) im Kanalnetz stützt. Je nach den Gegebenheiten des Einzelfalls kann die Installation und Betreuung einer Vielzahl von Messstellen für lange Zeiträume erforderlich sein. Hinzu kommt, dass aufgrund hydrometrischer Randbedingungen oder wegen Zugänglichkeitsproblemen an den gewünschten Stellen oft keine Messungen durchgeführt werden können.

Vorausgesetzt, die wesentlichen Fremdwasserquellen wurden aufgrund von Messungen identifiziert und hinsichtlich des Handlungsbedarfs nach Prioritäten geordnet, so muss eine Beseitigung der Fremdwasserquellen unter Berücksichtigung technisch-wirtschaftlich Rahmenbedingungen folgen. Dies kann jedoch andere Problemstellungen mit sich bringen, wenn

- mit der Abdichtung eines Kanalstrangs ein schadhafter Anstieg des Grundwassers verbunden sein kann,
- Gräben von der Kanalisation abgekoppelt und durch enge Ortslagen umgeleitet werden müssen,
- der Oberflächenabfluss, der ehemals seinen Weg über Schachtdeckel in die Schmutzwasserkanalisation fand, versickert oder über ein neues Entwässerungssystem verkehrssicher abgeführt werden muss, da ein Regenwasserkanal nicht vorhanden ist.

Deutlich wird, dass die Beseitigung des Fremdwasserproblems einer integrierten Grund- und Regenwasserbewirtschaftung bedarf.

2 ZIELSETZUNG, AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE

Aufgrund der bisher sehr aufwendigen Bearbeitung von Fremdwasserprojekten verfolgt das vorliegende Projekt zwei wesentliche Ziele:

1. Steigerung der Zeit- und Kosteneffizienz bei der Ortung von Fremdwasserquellen (möglichst wenig Messungen für möglichst kurze Zeiträume)
2. Gewährleistung einer schadfreien und technisch-wirtschaftlich günstigen planerischen Lösung bei der Beseitigung von Fremdwasserquellen

Dabei soll der häufig sehr hohe Messaufwand durch eine vorhergehende Eingrenzung auf ein erforderliches Minimum reduziert werden. Hierzu soll unter Verwendung von auf dem Markt befindlicher Software ein mathematisches Modellsystem aufgebaut werden, das die wesentlichen Prozesse im ober- und unterirdischen Einzugsgebiet (EZG) eines Kanalsystems nachbildet und daher als Entscheidungs- und Planungshilfsmittel nutzbar ist. Dieses Modellsystem wird aus folgenden, miteinander verknüpften Komponenten aufgebaut:

- *unterirdisches* Entwässerungssystem (Kanalisation und Dränage)
- *oberirdisches* Entwässerungssystem im EZG des unterirdischen Entwässerungssystems (Fließgewässer / temporär wasserführende Gräben / Seen / temporär benetzte Geländemulden)
- *Boden- und Grundwasserspeicher* im EZG des unterirdischen Entwässerungssystems

Beispielraum für den Aufbau und die Anwendung des Modellsystems ist das im Trennsystem entwässerte Einzugsgebiet des stark Fremdwasser führenden „Weltersbachsammlers“ in Leichlingen. Die Situation ist repräsentativ für hügelige Einzugsgebiete. Es wird ein Trennsystem als exemplarischer Fall betrachtet, da Niederschlagswasser in einem Schmutzwasserkanal als Fremdwasser gilt und eine Methodik aufgezeigt werden soll, auf welche Weise ggf. an die Kanalisation angeschlossene temporär wasserführende Gräben sowie ggf. über die Schächte eintretendes Oberflächenwasser detektiert werden können.

Mit den o. g. Zielen wird die zu bearbeitende Aufgabenstellung in drei Phasen gegliedert:

- *Phase 1:* *Modellgestützte Lokalisierung* von Fremdwasserquellen
- *Phase 2:* *Modellgestützte Planung* von Maßnahmen zur Beseitigung von Fremdwasserquellen und bauliche Umsetzung exemplarischer Maßnahmen
- *Phase 3:* *Monitoring* zur Überprüfung der Wirkungen der exemplarischen Maßnahmen

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten der Phase 1 und ihre Ergebnisse. In dieser Phase werden durch Anwendung eines mathematischen Modellsystems die Bereiche des Einzugsgebietes „Weltersbachsammler“ lokalisiert, in denen potenzieller Fremdwasserzutritt in das unterirdische Entwässerungssystem erfolgt. In einer Sensitivitätsanalyse wird die Auswirkung des Detaillierungsgrades des Modells auf Lage und Ausdehnung dieser Bereiche untersucht.

Nach Abschluss der modellgestützten Ortung von Fremdwasserquellen wird die Wirtschaftlichkeit der angewandten Methodik bewertet.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird schließlich eine allgemeine Handlungsempfehlung für die modellgestützte Lokalisierung von Fremdwasserquellen für Schmutzwasserkanäle formuliert.

Die zuvor dargestellte Vorgehensweise wird im vorliegenden Bericht wie folgt dokumentiert:

- Kapitel 3: Gegebenheiten im Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers
- Kapitel 4 Grundlagensammlung und –erhebung
- Kapitel 5 Analyse gemessener Ganglinien
- Kapitel 6 Aufbau und Anwendung des Modellsystems
- Kapitel 8 Sensitivitätsanalyse
- Kapitel 9 Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens
- Kapitel 10 Handlungsempfehlung zur modellgestützten Lokalisierung von Fremdwasserquellen in Schmutzwasserkanälen

Die nachfolgende Prozessmatrix zeigt die an der Projektphase 1 Beteiligten und deren Verantwortungsbereiche.

Tabelle 2.1 Prozessmatrix Phase 1 „Modellgestützte Lokalisierung“

Prozess Phase 1 „Lokalisierung“	***Prozessverantwortlicher***
Projektleitung und -koordination	STAB Leichlingen, IBF
Grundlagenerhebung / -analyse	IBF
Modellaufbau / -anwendungen	IBF / DHI
Sensitivitätsanalyse	IBF / DHI
Vorbereitung ergänzende Messungen	IBF
Ergänzende Messungen	IBF
Auswertung ergänzende Messungen	IBF
Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen	IBF
Handlungsempfehlung	STAB Leichlingen, IBF

3 GEGEBENHEITEN IM EINZUGSGEBIET DES WELTERSBACHSAMMLERS

Das Stadtgebiet von Leichlingen befindet zwischen Köln im Süden und Düsseldorf im Nordwesten. Der Stadtkern liegt zu beiden Seiten der Wupper, unmittelbar im Osten des Stadtkerns beginnt der Anstieg zum Bergischen Land.

Die Entwässerung des Stadtkerns erfolgt im Mischverfahren, die östlichen Außenortslagen werden vorwiegend im Trennsystem entwässert. Das Schmutzwasser wird dabei über Transportsammler in die Wupperebene geleitet. Die Behandlung des klärpflichtigen Abwassers erfolg im Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen, das vom Wupperverband betrieben wird.

Das Projektgebiet stellt das im Trennsystem entwässerte Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers dar. Der Schmutzwassersammler leitet einen Großteil des überwiegend häuslichen Abwassers zum Wuppersammler und damit zum Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen.

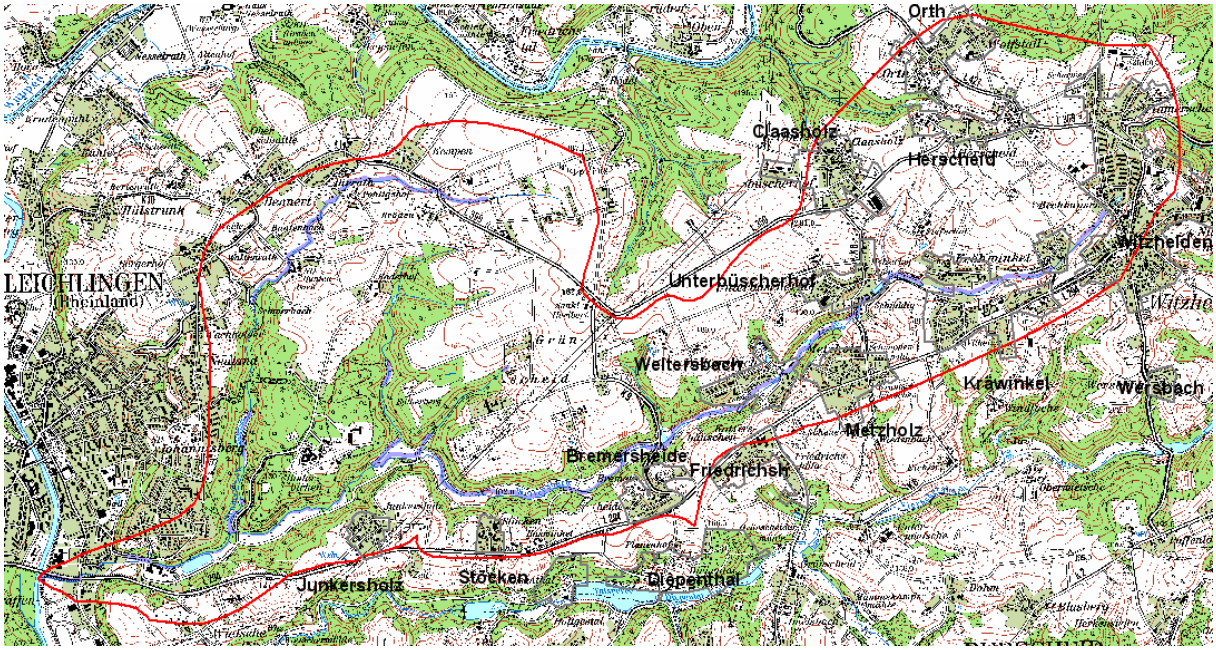


Abb. 3.1: Modellgebiet Weltersbach mit Hintergrundkarte DGK 5

Betrachtet wird das im Trennsystem entwässerte Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers, der das Schmutzwasser (SW) eines Großteils des östlichen Stadtgebietes von Leichlingen zum Wuppersammler und damit zum Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen ableitet (Abb. 3.1). Der Weltersbachsammler wird von der Stadt Leichlingen betrieben, der anschließende Wuppersammler sowie das Klärwerk Leverkusen vom Wupperverband.

Das insgesamt ca. 10 km² große Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers ist geprägt durch eine Vielzahl von Ortslagen und Streusiedlungen zwischen 4 und 400 Einwohnern. Insgesamt sind ca. 4.500 Einwohner an den Sammler angeschlossen.

Das Untersuchungsgebiet liegt am o. g. Übergang vom Rheinland mit Geländehöhen von 57 mNN und dem Bergischen Land mit Geländehöhen von 240 mNN. Das Gefälle verläuft von Osten (Witzhelden) nach Westen (Leichlingen). Die Talflanken liegen dabei bis zu 50 m höher als der Weltersbach im Taltiefen.

Seit 1998 wurden im Weltersbachsammler Durchflussmessungen durchgeführt, die darauf hinweisen, dass der Sammler erhebliche Fremdwassermengen ableitet (Durchflussganglinie einer exemplarischen Messstelle vgl. Abb. 4.2; entnommen aus PLANUNGSGEMEINSCHAFT FISCHER/PECHER, 2004). Der Sammler selbst wurde mit einer Kanalkamera untersucht und im Einzugsgebiet wurden Nebelungen durchgeführt.

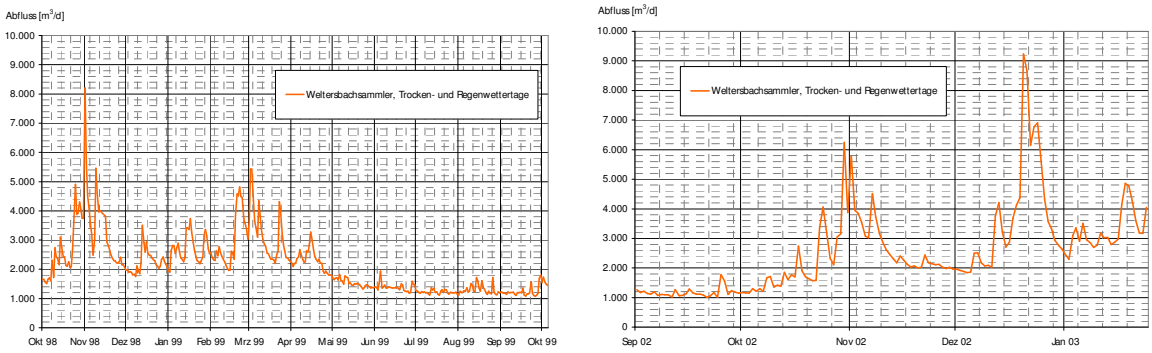


Abb. 3.2: Durchflussganglinien im Weltersbachsammler im Zeitraum 10/98 – 10/99 (links), sowie 09/02 – 01/03 (rechts), gemessen am Ende des Einzugsgebietes

Den in Abb. 3.2 dargestellten Trockenwetter-Abflussganglinien für zwei unterschiedliche Zeiträume ist insbesondere Folgendes zu entnehmen:

- Die Ganglinie weist einen ausgeprägten Jahresgang auf. Niedrige Trockenwetterabflüsse treten im Sommerhalbjahr auf – mit Minimum im September, hohe Trockenwetterabflüsse treten im Winterhalbjahr auf. Dies ist ein Indiz dafür, dass dem Schmutzwasserkanal über das Jahr hinweg grundwasserbürtiges Fremdwasser zutritt, dessen Menge vom Grundwasserstand abhängt.
- Deutlich erkennbar sind steile Abflussspitzen, die mit Niederschlägen korrelieren. Der Zutritt wird im Wesentlichen über die Schachtdeckel der SW-Kanalisation und Direktabfluss aus angeschlossenen Flächen und / oder Gewässern (u. a. Siefen) erfolgen.
- Aus dem flacheren Abfall der Abflussganglinien im Nachgang einzelner Niederschlagsereignisse ist zu vermuten, dass auch von verzögertem Zutritt von Dränagewasser auszugehen ist.

Die zuvor beschriebene Situation ist repräsentativ für eine Vielzahl von Einzugsgebieten im hügelig ländlichen Raum des Bergischen Landes, ist in vergleichbarer Form aber auch in flachen und urbaner geprägten Gebieten anzutreffen.

Die Zutrittspfade des Fremdwassers im Trennsystem sind vielschichtig. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft mögliche Zutrittspfade:

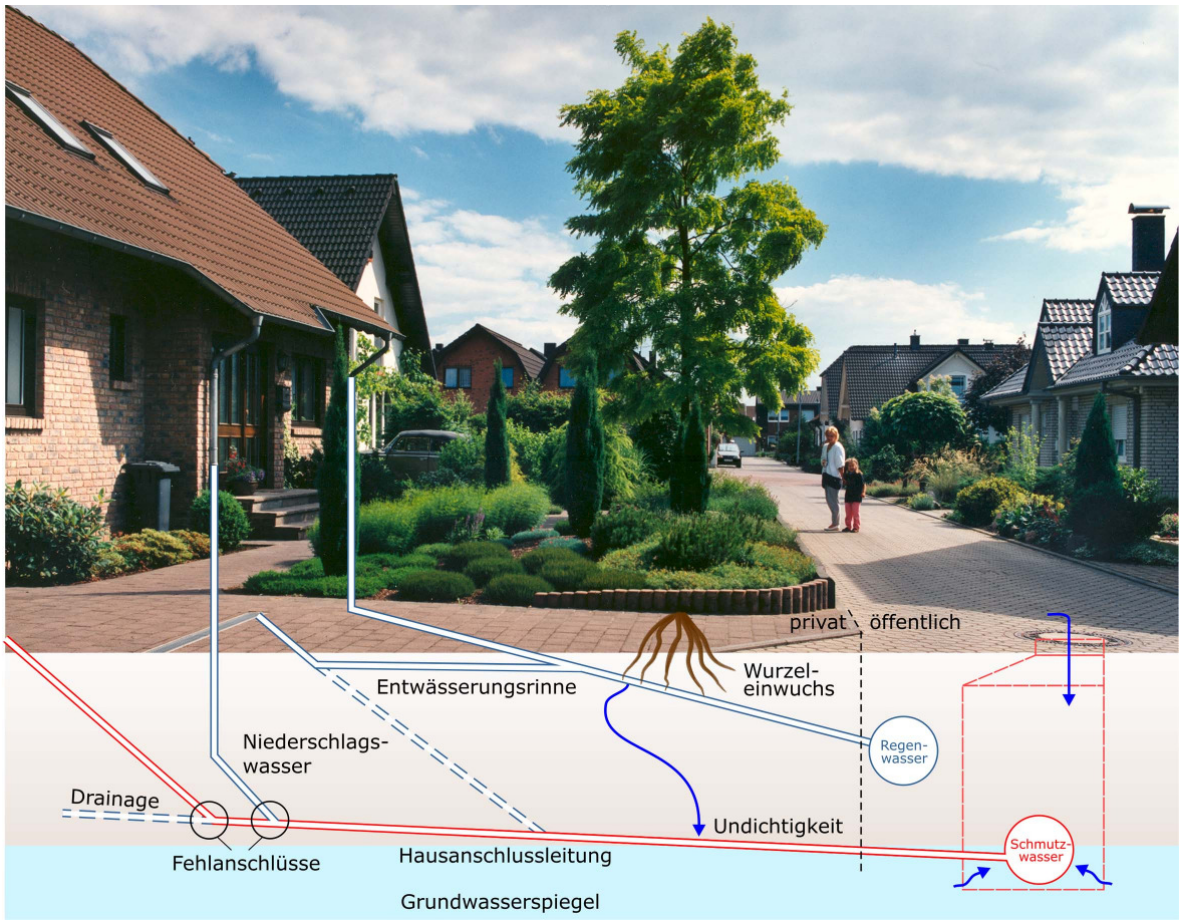


Abb. 3.3: Mögliche Zutrittspfade des Fremdwassers

4 GRUNDLAGENSAMMLUNG UND –ERHEBUNG

4.1 Übersicht

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Informationsgrundlagen zur Projektbearbeitung.

Tabelle 4.1 Erforderliche Grundlagen

Nr.	Art der Informationsgrundlage	Quelle	Bemerkung
1	Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes im Raster 2 m x 2 m	LVermA NRW	Liegt nur unbereinigt vor. Vgl. Kap. 4.2.2
2	Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes im Raster 10 m x 10 m	LVermA NRW	Vgl. Kap. 4.2.2
3	Digitale Schachtdeckelhöhen der Kanalisation	Stadt Leichlingen – Städtischer Abwasserbetrieb	Vgl. Kap. 4.4.1
4	DGK 5 mit Höhenschichtlinien (digital)	LVermA NRW	
5	Luftbilder auf Grundlage der DGK 5 (digital)	LVermA NRW	
6	TK 25 (digital)	LVermA NRW	
7	Digitale Nutzungsinformationen für das Untersuchungsgebiet aus ALK- und ALB-Daten (bzw. aus ALKIS bzw. ATKIS) inkl. Informationen zur Lage oberirdischer Gewässer	LVermA NRW / Stadt Leichlingen	Vgl. Kap. 4.2.3 / 4.2.4
8	Digitale Daten des Kanalnetzes (SW, RW) für das Untersuchungsgebiet	Stadt Leichlingen – Städtischer Abwasserbetrieb	Vgl. Kap. 4.4.1 / 4.4.2
9	Digitale Anschlussdaten des Kanalnetzes (EW, Betriebe, Flächen) für das Untersuchungsgebiet	Stadt Leichlingen – Städtischer Abwasserbetrieb	Aus Netzanzeige / GEP Weltersbach
10	Lage von Flächendränagen	ALK/ALB; ALKIS Verkehrsbaulastträger, Landwirtschaftskammer, Ortsbauern	Vgl. Kap. 4.4.3 / 4.4.4
11	Digitale Bodenkarte des Untersuchungsgebiets	GLA NRW	
12	Historische Karten zur Flächennutzung und Gewässersituation	Archive	Recherche
13	Geologische Karte 1:25.000 (Blatt 4808 vergriffen, Reproduktion lieferbar)	GLA NRW / StUA Köln	
14	Digitales Informationssystem Geologische Karte NRW 1:100.000 Basismodul+ Ergänzungsmod.	GLA NRW	
15	Digitales Informationssystem Hydrogeologische Karte NRW 1:50.000 Basismodul + Ergänzungsmodule	GLA NRW	Vgl. Kap. 4.6.2

Nr.	Art der Informationsgrundlage	Quelle	Bemerkung
16	Bauanträge und Beobachtungen bei Baumaß-nahmen der Vergangenheit	Stadt Leichlingen	
17	Grundwasserdaten (GW-Flurabstände; GW-Ganglinien)	LUA NRW, StUA Bonn; Wupperverband, Was-ser-versorger GLA NRW	GW-Pegel werden z.Zt. nur qualitativ beobachtet.
18	Herstellung von vereinfachten GW-Pegeln und Messung der GW-Oberfläche		Vgl. Kap. 4.6.3
19	Durchführung von Wasserstandsmessungen in Gewässern		Vgl. Kap. 4.5.1
20	Niederschlagsganglinie des gebietsnahen Re-genschreibers (Lindscheid)	LUA NRW, DWD	Vgl. Kap. 4.3.1
21	Ganglinien der gebietsnahen Klimastation (Flughafen Köln)	DWD	Vgl. Kap. 4.3.2
22	Abflussganglinien im SW-Kanal „Weltersbach-sammler“ am Ausgang des Untersuchungsge-bietes	Wupperverband	

4.2 Geografische Daten

In NRW liegen zahlreiche Daten bereits in digitaler Form vor. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der sondierten Kartendaten sowie deren Verfügbarkeit im Allgemeinen bzw. im Projektgebiet. Eine detaillierte Beschreibung der wesentlichen Grundlagen erfolgt daran anschließend.

Tabelle 4.2 Kartengrundlagen

Karte	***Quelle***	***Verfügbarkeit***	
		NRW-weit	***Projektgeb.***
Bodenkarten aus Forst- / Landwirtschaft	GLA-NRW	✗	✓ ✗
Digitale Bodenkarte 1:50.000	GLA-NRW	✓	✓
Digitales Informationssystem Geologische Karte NRW 1:100.000 Basismodul + Ergänzungsmodul 1	GLA-NRW	✓	✓
Digitales Informationssystem Hydrogeologische Karte NRW 1:50.000 Basismodul + Ergänzungs-module	GLA-NRW	✗	✗
Digitales Informationssystem Hydrogeologische Karte NRW 1:100.000	GLA-NRW	✓	✓
Geologische Karte 1:25.000 (Blatt 4808 und 4908 vergriffen, evtl. Reproduktion lieferbar)	GLA-NRW / StUA Köln	✓	✓
Grundwassergleichenplan (möglichst digital) 1:50.000 (mittlerer Grundwasserstand)	LUA-NRW	✗	✗
Grundwassergleichenplan (möglichst digital) 1:50.000 (hoher Grundwasserstand	LUA-NRW	✗	✗
Grundwassergleichenplan (möglichst digital) 1:50.000 (tiefer Grundwasserstand)	LUA-NRW	✗	✗
ALK - Daten (Digitales Liegenschaftskataster)	Rheinisch-Bergischer Kreis	✗	✓ ✗
ATKIS – Daten (Informationen zur Lage oberirdischer Gewässer) Basis DLM	LVA-NRW	✓	✓
Color - Luftbilder auf Grundlage der DGK 5 für das Stadtgebiet von Leichlingen (digital)	LVA-NRW	✓	✓
DGK 5 mit Höhenschichtlinien für das Stadtgebiet von Leichlingen (digital)	LVA-NRW	✓	✓
Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet (10 m x 10 m Rasterweite)	LVA-NRW	✓	✓
Digitales Geländemodell für das Untersuchungsgebiet (2 m x 2 m Rasterweite)	LVA-NRW	✗	✓
Historische Karten für das Untersuchungsgebiet	LVA-NRW	✓	✓
TK 25 (digital)	LVA-NRW	✓	✓

Karte	*Quelle*	*Verfügbarkeit*	
Digitale Daten zur Lage der Bebauung	Geo-Daten	✓	✓

✓ Daten verfügbar, ✘ Daten nicht verfügbar

4.2.1 Lagedaten

Als Grundlage zur Lagedarstellung wurden die für ganz NRW digital vorliegenden Daten des Landesvermessungsamtes i.M. 1:25000 (TK25) und i.M. 1:5000 (DGK5) genutzt. Ergänzt wurden diese durch die ebenfalls für ganz NRW vorliegenden digitalen Luftbilder sowie um historische Karten. Diese geben zusätzlich einen guten Überblick über historische Bachläufe, die ggf. in die Kanalisation aufgenommen wurden.

4.2.2 Höhendaten (DGM)

Die Ermittlung der topografischen Verhältnisse erfolgt über die Auswertung der digitalen Geländehöhen (DGM). Diese liegen für das Land NRW flächendeckend im Raster von 10 x 10 m vor. Ergänzend gibt es diese Daten landesweit auch in einem Rastermaß von 2 x 2 m. Diese Daten liegen jedoch nicht in bereinigter Form vor, so dass in Teilbereichen (z.B. Gewässersohlen an Brücken / Durchlässen) die Daten auf Plausibilität geprüft werden müssen.

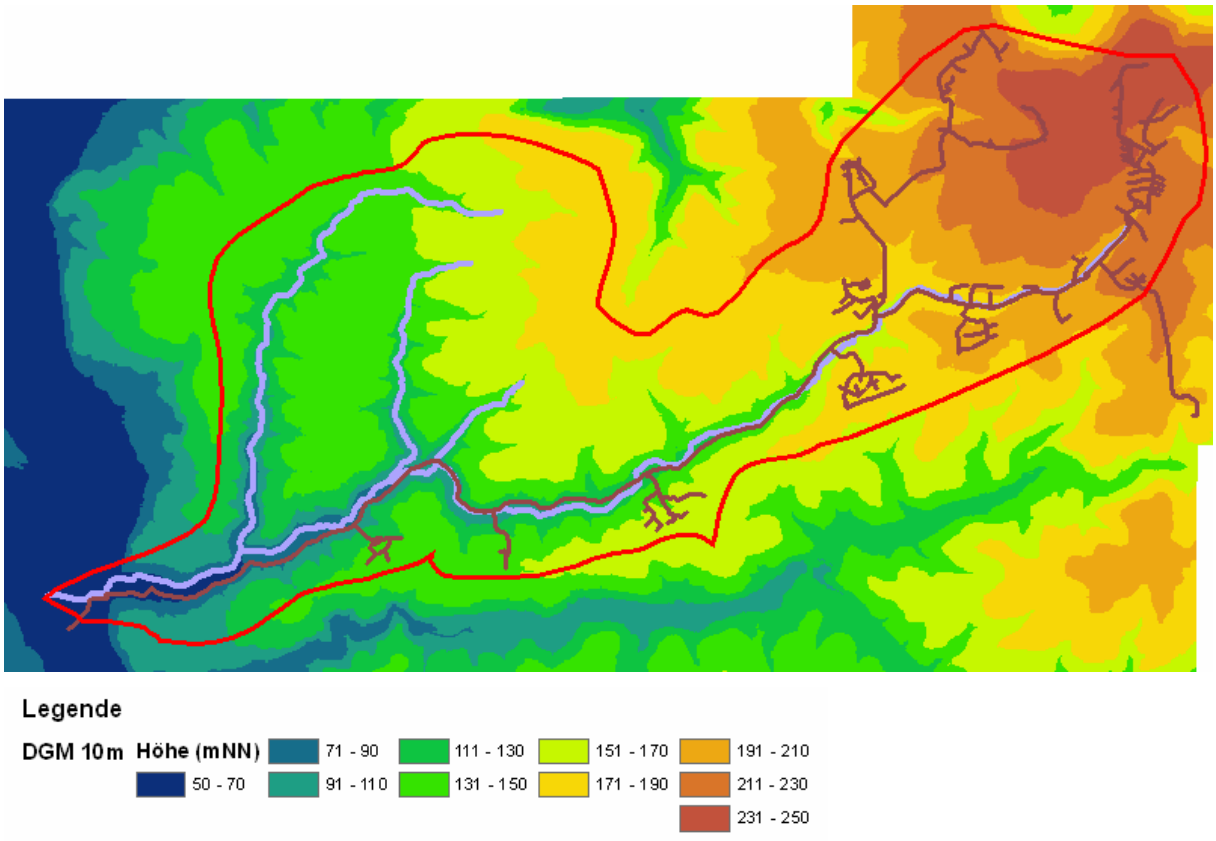


Abb. 4.1: Modellgebiet Weltersbach mit Auswertung DGM 10x10 m

4.2.3 Nutzungsdaten

Die Flächennutzung im Gebiet wird durch Auswertung des Amtlichen Topografischen-Kartografischen Informationssystem (ATKIS) abgeleitet. Das ATKIS enthält Daten zur Oberflächennutzung und liegt ebenfalls für NRW flächendeckend vor.

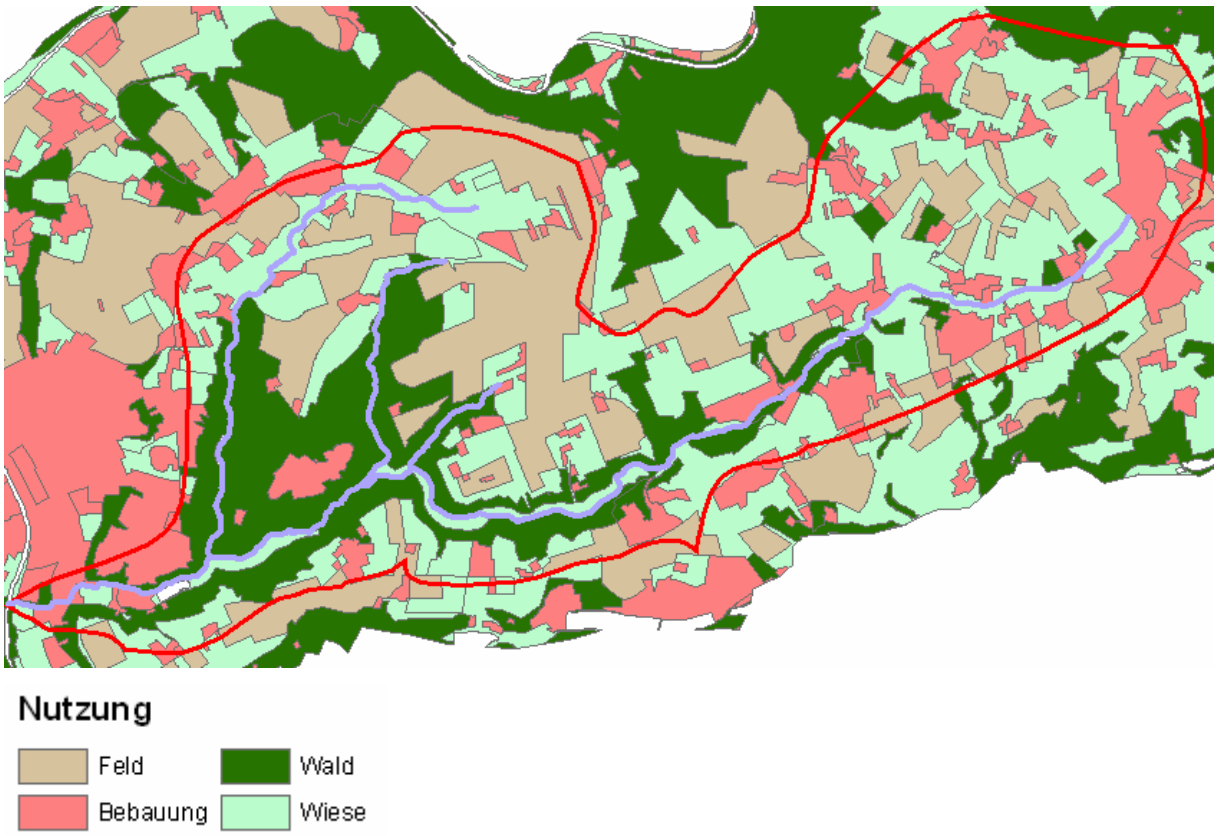


Abb. 4.2: Modellgebiet Weltersbach mit Nutzungsdaten aus ATKIS

4.2.4 Liegenschaftsdaten

In NRW werden zunehmend die Liegenschaftsdaten (Kataster und Gebäude) in digitale Form überführt. Für das Untersuchungsgebiet liegen diese Daten noch nicht flächendeckend vor. So gibt es im Osten des Einzugsgebietes Bereiche ohne digitale Liegenschaftsdaten.
Für das Projekt werden die Liegenschaftsdaten für die geografische Bestimmung potentieller Hausdränagen genutzt. Im Bereich fehlender Liegenschaftsdaten werden diese durch auf dem Markt frei zu erwerbende digitale Geodaten ergänzt.

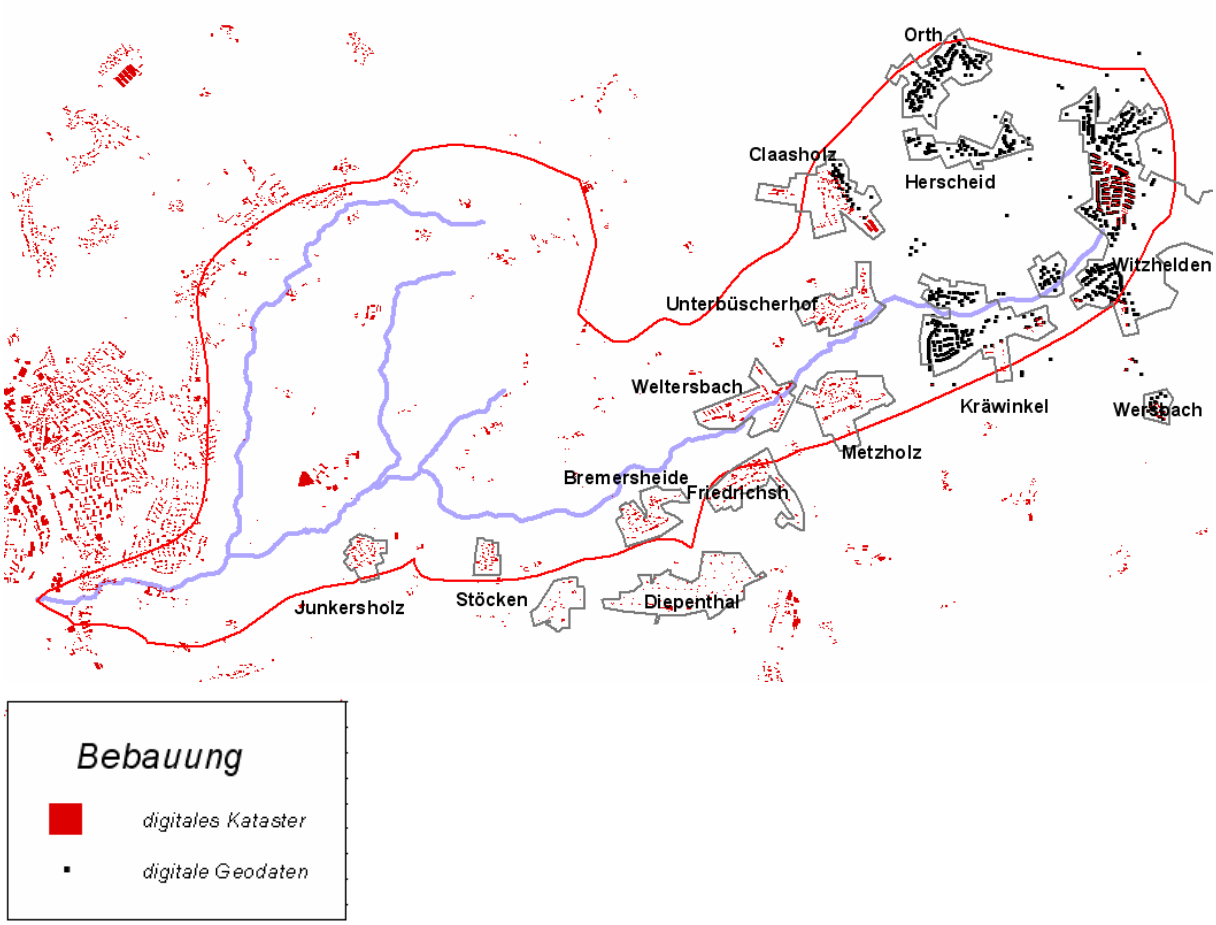


Abb. 4.3: Modellgebiet Weltersbach mit Liegenschaftsdaten / Geodaten

4.2.5 Geologische Daten

Das Geologische Landesamt NRW stellt für das ganze Land digitale Bodenkarten i.M. 1:100.000 zur Verfügung. Entsprechend dem Maßstab 1:100.000 ist die Auflösung und ist damit für geologisch gleichförmige Gebiete und für grob aufgelöste Untersuchungen ausreichend.

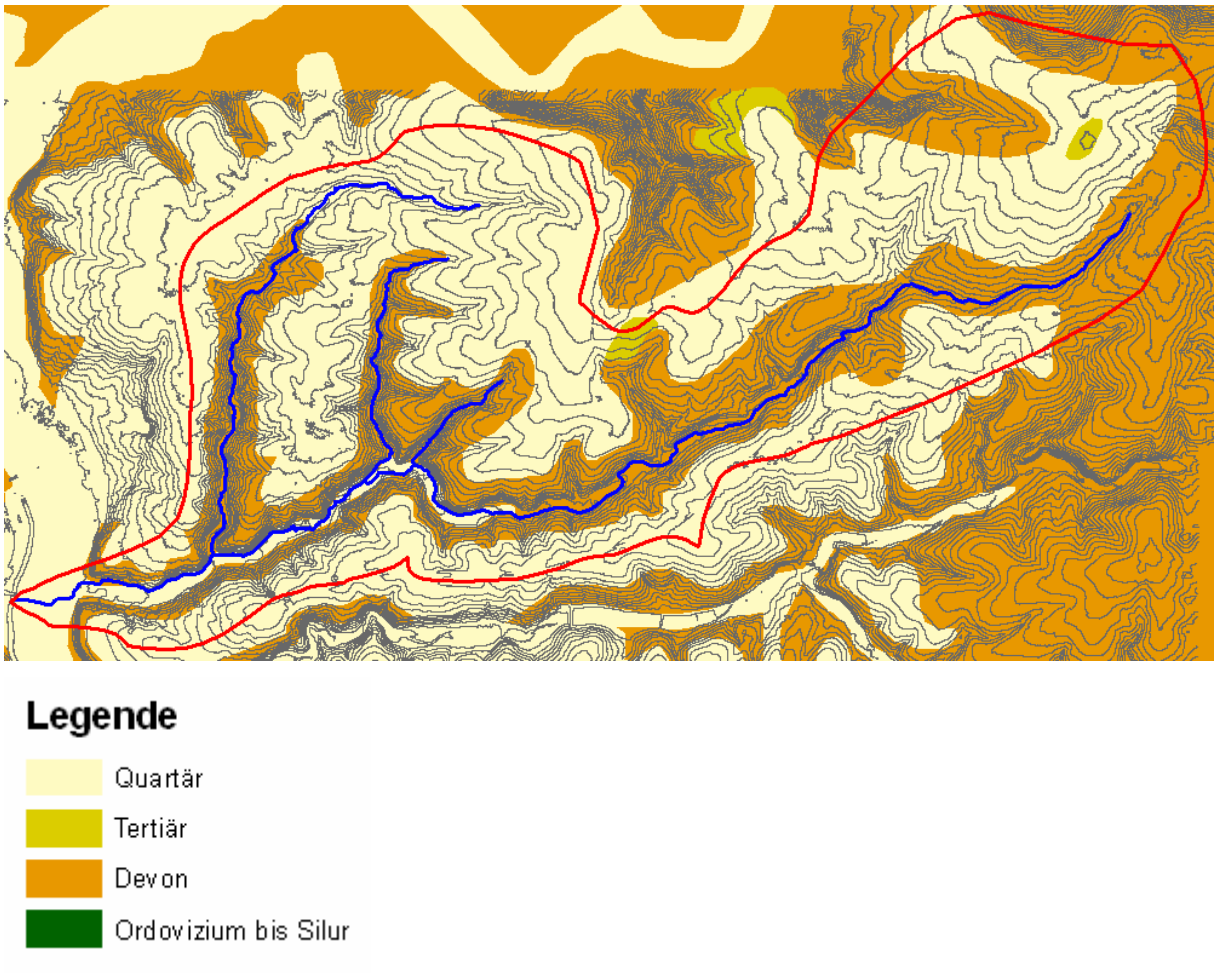


Abb. 4.4: Auszug aus geologischer Karte 1:100.000

4.3 Klimadaten

4.3.1 Niederschlagsdaten

Im direkten Untersuchungsgebiet befindet sich keine Niederschlagsaufzeichnung. Aufgrund des Überganges von der Rheinebene in Leichlingen (55 mNN) in das Bergische Land in Witzhelden (245 mNN) ist eine ungleichmäßige Überregnung zu erwarten. Aus diesem Grund werden die Daten verschiedener langjähriger Niederschlagaufzeichnungen ausgewertet. Dies sind:

- Niederschlagsstation Gruppenklärwerk Leverkusen (Wupperverband)
- Niederschlagsstation Lindscheid – Dhünn Talsperre (Wupperverband)
- Niederschlagsstation Langenfeld (Bergisch-Rheinischer Wasserverband)
- Niederschlagsstation Monheim (Bergisch-Rheinischer Wasserverband)

Die nachfolgende Karte zeigt die Lage der Niederschlagsstationen in Relation zum Untersuchungsgebiet.

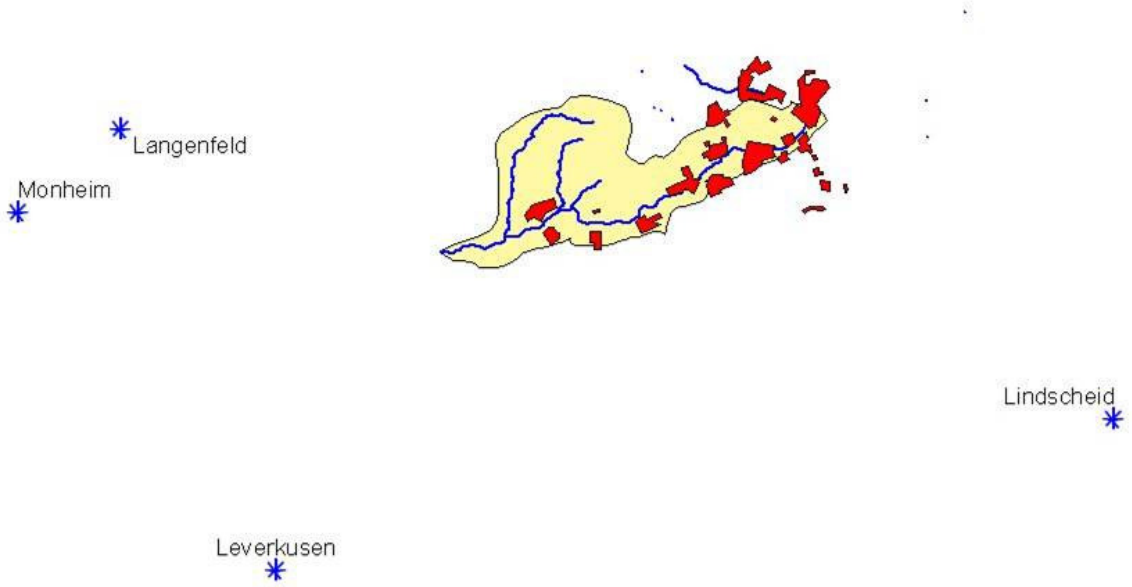


Abb. 4.5: Niederschlagsstationen im Einzugsgebiet

4.3.2 Temperatur- / Luftfeuchtigkeitsdaten

Temperatur- / Luftfeuchtigkeitsdaten liegen ebenfalls von der Station Lindscheid (Wupperverband) vor. Da nicht zu erwarten ist, dass sich zwischen den o.g. Stationen bzw. dem Untersuchungsgebiet für die Berechnungen maßgebliche Unterschiede ergeben, können die Daten auf das Untersuchungsgebiet übertragen werden.

4.4 Daten des Entwässerungssystems

4.4.1 Städtisches Kanalnetz

Die Kanalnetzdaten des städtischen Kanalnetzes liegen in digitaler Form vor.

4.4.2 Kanalnetze Dritter

Zusätzlich zum städtischen Kanalnetz befinden sich im Untersuchungsgebiet Regenwasserkanäle in übergeordneten Straßen (Landstraßen). Die Netzdaten werden in der Kanaldatenbank der Stadt Leichlingen als Fremdkanäle mit geführt und werden entsprechend berücksichtigt.

4.4.3 Hausdränagen

Angaben über das Vorhandensein bzw. über die Tiefe von Hausdränagen liegen i.d.R. nicht vor, sind jedoch für den Fremdwasserabfluss von großer Bedeutung. In einem ersten Ansatz werden die Dränagen von Wohn- oder Gewerbeflächen über vereinfachende Annahmen berücksichtigt, die im Laufe der Projektbearbeitung ggf. modifiziert werden müssen. So wird angenommen, dass jedes Gebäude über eine Hausdränage verfügt, die ca. 2 m unter Geländeoberkante liegt (vgl. der Vorgehensweise im von MUNLV geförderten Projekt „Strategisches Handlungskonzept Hüller Bach“; Abschlussbericht, Lösungskonzepte und Maßnahmen, Fazit des Projektes).

4.4.4 Flächendränagen

Über Flächendränagen im Bereich von landwirtschaftlichen Flächen liegen ebenfalls oft nur unzureichende Informationen vor. Nach derzeitigem Kenntnisstand liegen im Unersuchungsgebiet keine Flächendränagen vor.

4.5 Abflussdaten

4.5.1 Abflussdaten Gewässer

Für den Weltersbach liegen keine Abflussmessungen vor. Zur Abschätzung des Abflussverhaltens wurden an drei Stellen im Gewässer Stichtagsmessungen vorgenommen

4.5.2 Abflussdaten Kanalisation

Der Wupperverband betreibt im Weltersbachsammler (kurz vor der Mündung in den Wuppersammler) seit geraumer Zeit eine Abflussmessung. Diese Messdaten konnten auch für die Projektbearbeitung genutzt werden. Die Messungen wurden für den Zeitraum von 1999 – 2006 (teilweise mit Lücken) zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich wurde vom Wupperverband im der Zeit von Juli 1999 bis September 1999 am Beginn des Weltersbachsammlers eine Messung vorgenommen. Auch diese Daten konnten genutzt werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden an 6 weiteren Stellen im Kanalnetz Messungen vorgenommen. Davon waren 5 Messungen in Zuleitungskanälen unterhalb von Ortslagen. Diese Messungen wurden mit einem mobilen Messgerät über einen Zeitraum von jeweils 5 Tagen vorgenommen. Die Auswahl der Messstellen erfolgt auf Grundlage erster Berechnungsergebnisse im Projekt.

Abb. 4.6: Abflussmessung mit mobilem Messgerät

Zur Messung wurde ein mobiles Messgerät (MID DN 150) der Fa. Zangenberg eingesetzt. Es besteht aus einem flexiblen Zulauf, der mit einer Kanalblase versehen ist. Dieser wird in die zulaufende Haltung eingeschoben und mit der Blase so verschlossen, dass die gesamten Wassermengen durch das MID geführt werden. Hinter dem MID befindet sich ein Rohrbogen, der eine Vollfüllung der Messstrecke erzwingt. Mit diesem Messsystem kann ein Messbereich von 0,4 l/s bis 42 l/s erfasst werden. Der Fehlerbereich liegt bei +/- 1 %.

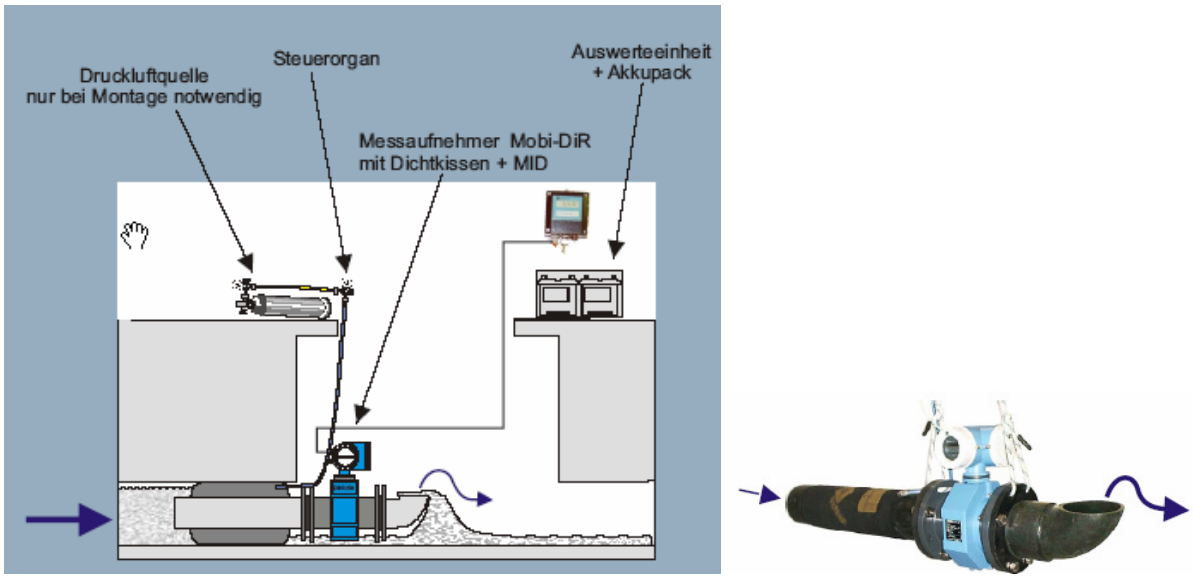


Abb. 4.7: Aufbau der Messstelle (Abb. Axel Zangenberg GmbH & Co.KG)

Das Gerät eignet sich grundsätzlich für die Messung kleiner Wassermengen. Der Einbau ist aufgrund der Längenabwicklung in Normalschächten unter stark beengten Verhältnissen nur mit einem hohen Kraftaufwand möglich. Der hohe Energieverbrauch durch die Dauermessung mit einem MID erfordert ein tägliches austauschen der Batterie. Beim Betrieb haben sich keine Schwierigkeiten mit Verlegungen o.ä. gezeigt.

Im Hauptsammler wurde auf halben Fließweg zusätzlich eine Messung über einen Zeitraum von 3 Monaten installiert. Über diese wurde Wasserstand und Fließgeschwindigkeit erfasst.

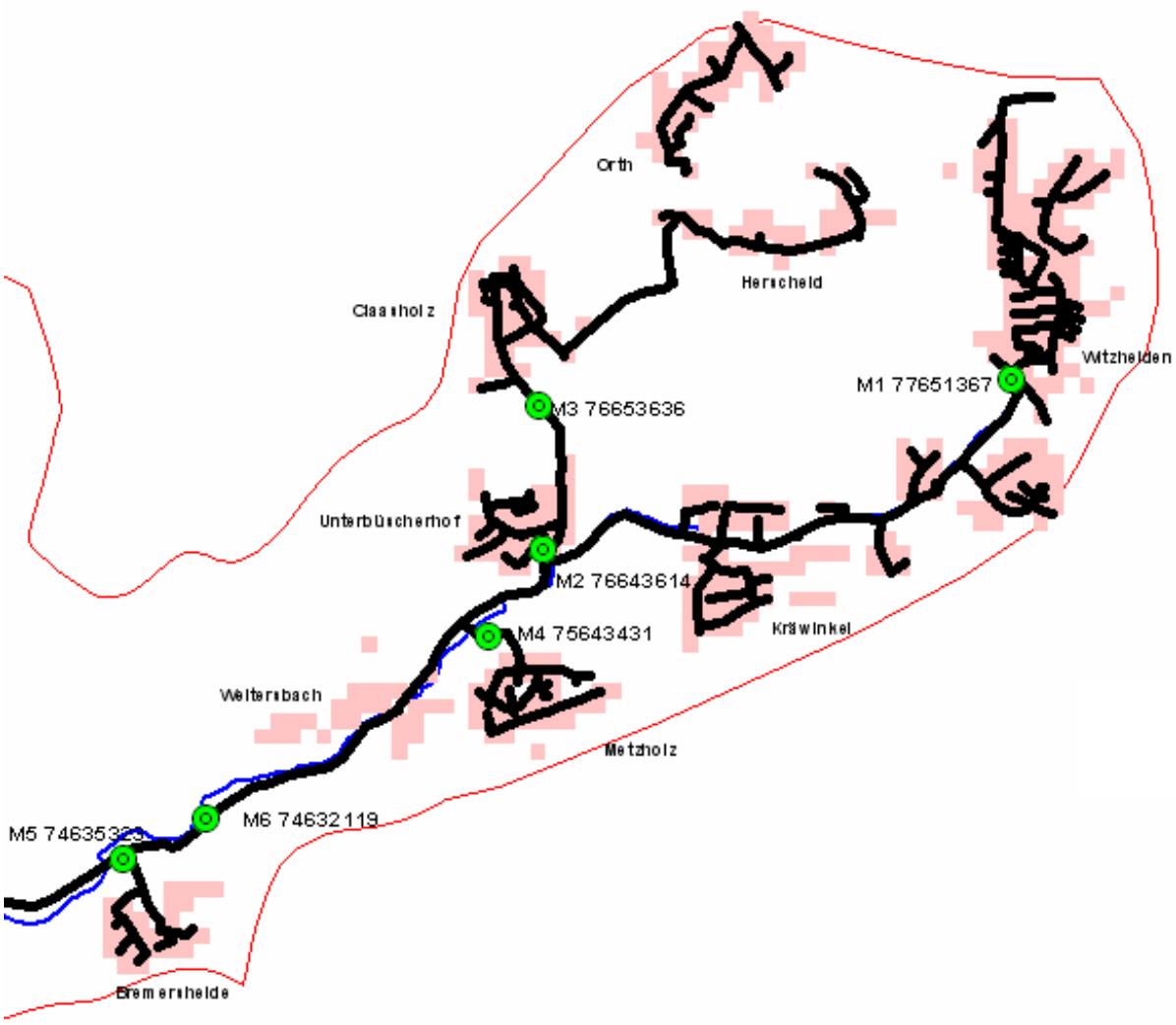


Abb. 4.8: Lage der temp. MessstellenM1 – M6 im östlichen Einzugsgebiet

4.6 Hydrogeologische Daten

Aus Sicht der Datenverfügbarkeit sind die Informationen zur hydrogeologischen Situation am kritischsten. Wie weite Teile des Bergischen Landes liegt auch das Untersuchungsgebiet erwartungsgemäß weiträumig auf einem Kluftgrundwasserleiter, was die Grundwassermodellierung erschwert. Bislang werden verschiedene Grundwassermessstellen privater Wasserversorger nur qualitativ beprobt. Grundwassergleichenpläne liegen für das Gebiet nicht vor.

4.6.1 Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte wurden aus der digitalen Bodenkarte 1:50000 übernommen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Untersuchungsgebiet mit der Klassifizierung der Bodenarten, der Gesteinsarten des oberen GW-Leiters sowie den k_f-Werten.

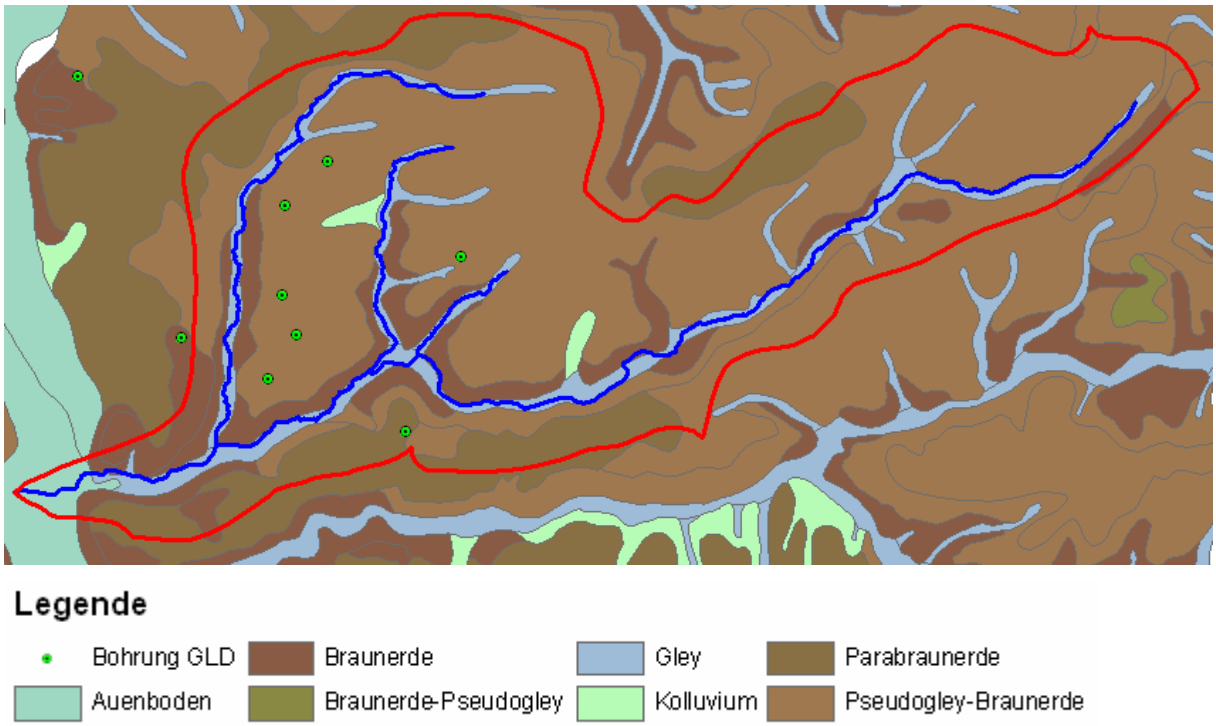


Abb. 4.9: Modellgebiet Weltersbach: Bodenarten

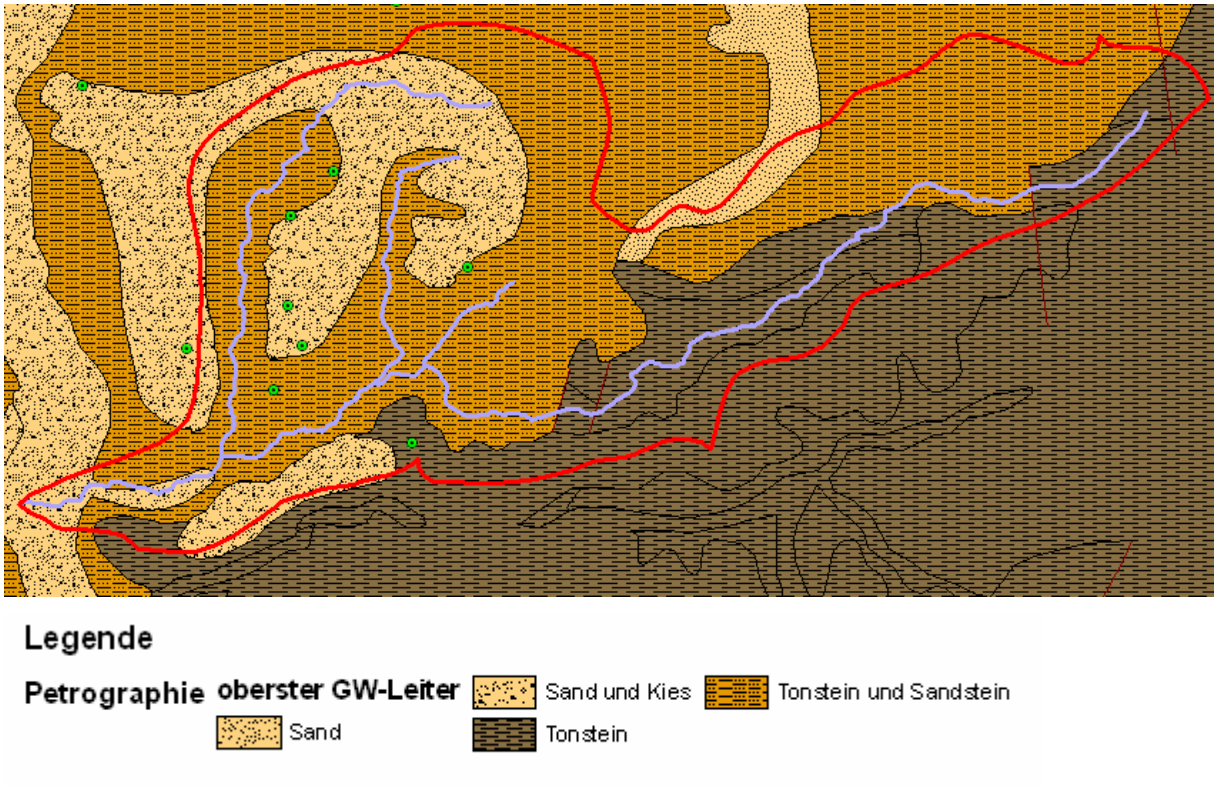


Abb. 4.10: Modellgebiet Weltersbach: Gesteinsarten des obersten GW-Leiters

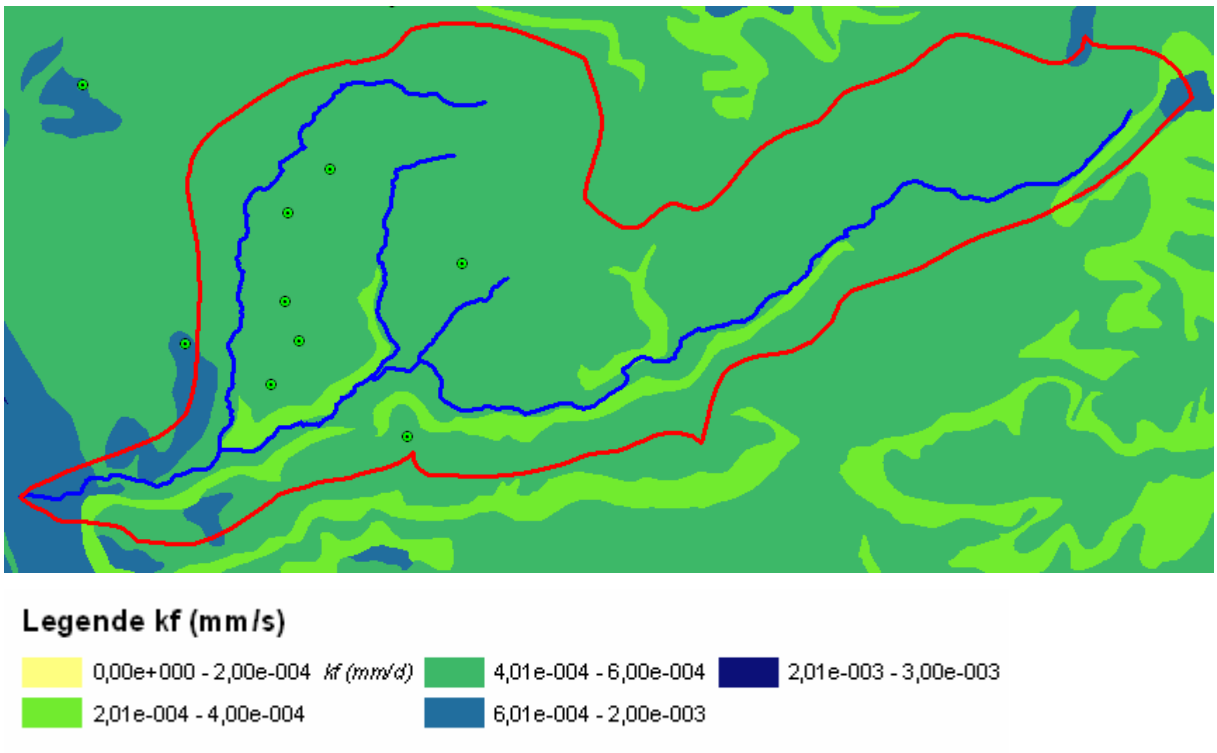


Abb. 4.11: Modellgebiet Weltersbach: k_f-Werte

4.6.2 Geologische Daten

Die geologischen Daten wurden aus der digitalen geologischen Karte i.M. 1:100.000 übernommen. Die vorgefundenen Verhältnisse sind in der nachfolgenden Karte dargestellt.

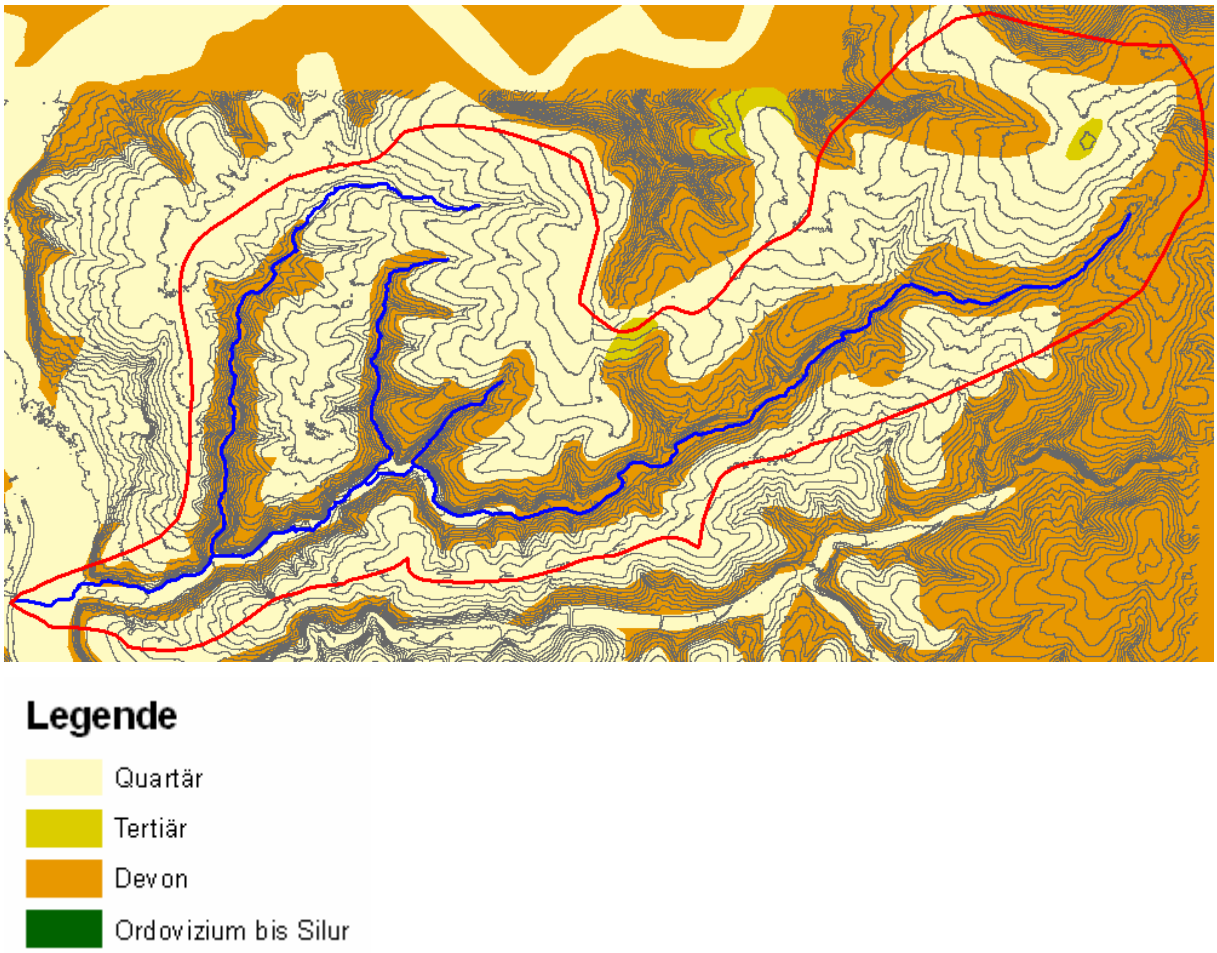


Abb. 4.12: Modellgebiet Weltersbach: Geologische Karte

4.6.3 Messung des Grundwasserstandes

Aufgrund von fehlenden detaillierten Bodenaufschlüssen im östlichen Untersuchungsgebiet wurden hier ergänzende Bohrungen vorgenommen. Sofern bei den Aufschlüssen ein freier Grundwasserspiegel angetroffen wurde sind die Bohrungen zu vereinfachten GW-Pegel ausgebaut worden. Die Beobachtung der Messstellen erfolgte während hoher GW-Stände über einen Zeitraum von über 3 Monaten.

Die nachfolgende Karte zeigt die Lage der Bodenaufschlüsse und der Grundwasser-messstellenP1, P3 und P6b:

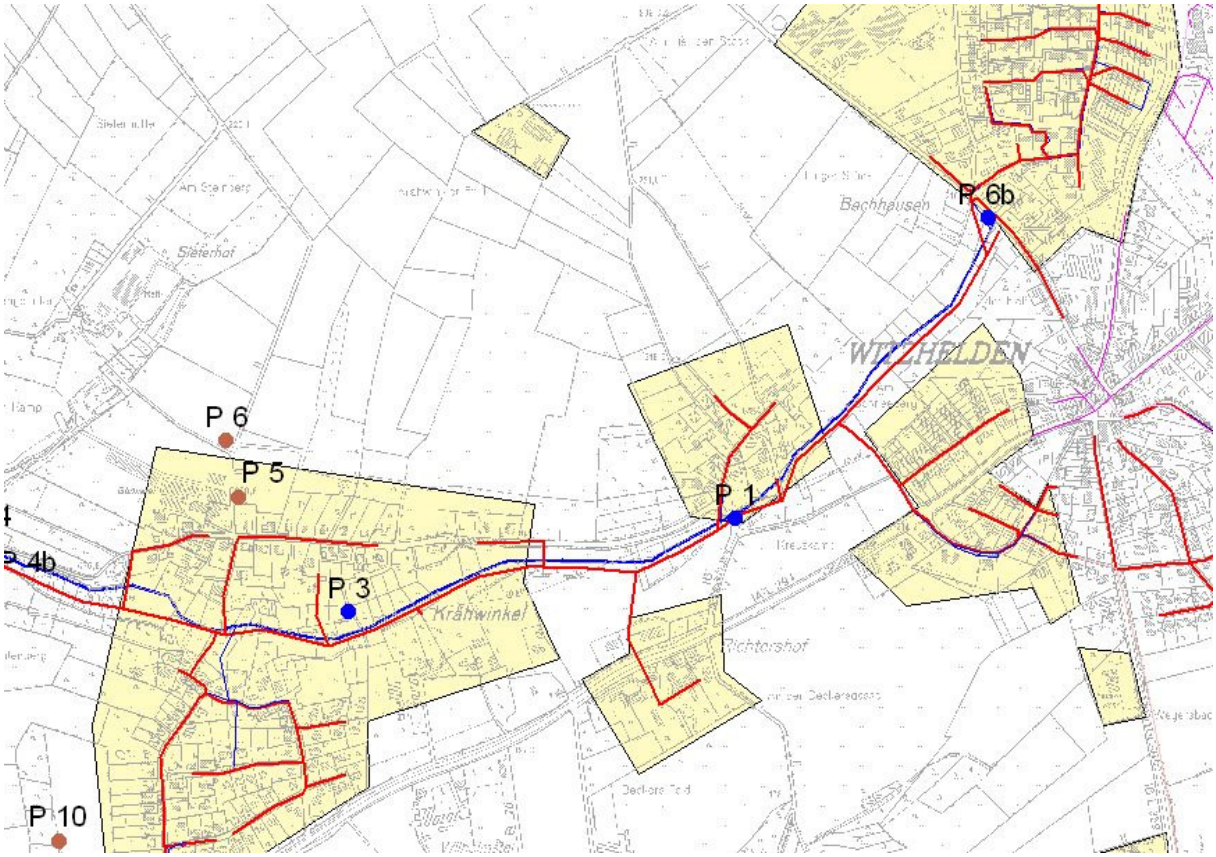


Abb. 4.13: Grundwassermessstellen P1, P3, P6b

Der Lage der Grundwassermessstellen ist zu entnehmen, dass nur parallel zum Gewässer ein freier Grundwasserspiegel vorliegt.

Die nachfolgenden Grafiken zeigen den Grundwasserstand im Beobachtungszeitraum. In Rot dargestellt ist die Lage des gewässerparallelen Weltersbachsammlers (Sohle und Scheitel). In Blau dargestellt ist der gemessene Grundwassergang.

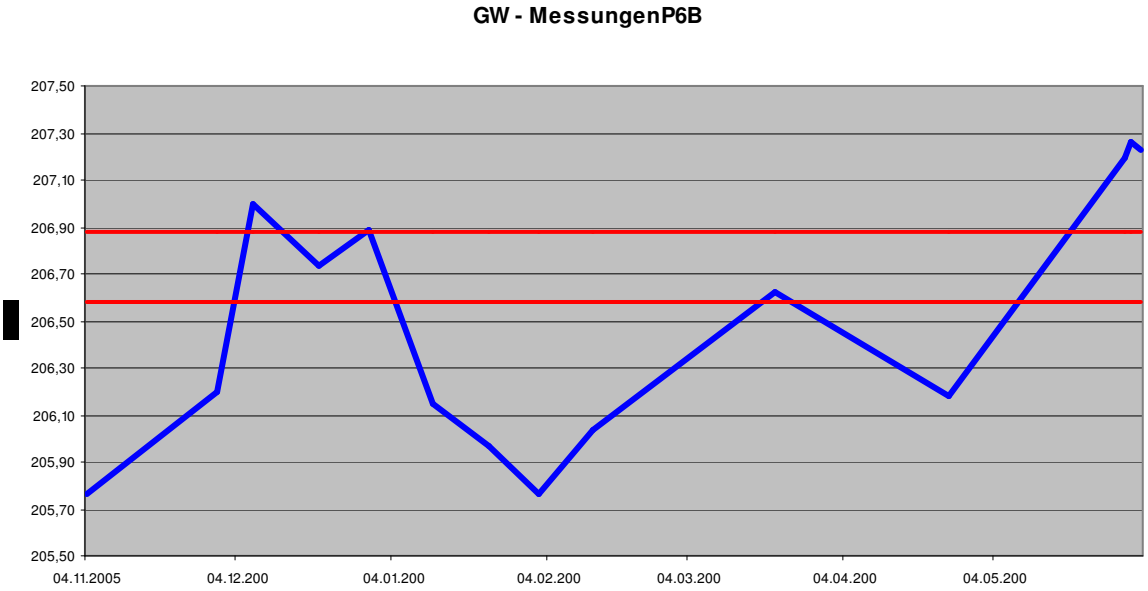


Abb. 4.14: Grundwassergang an Messstellen Pegel 6b

Am Pegel 6B ist zu erkennen, dass der Sammler in diesem Bereich nur teilweise überstaut ist.

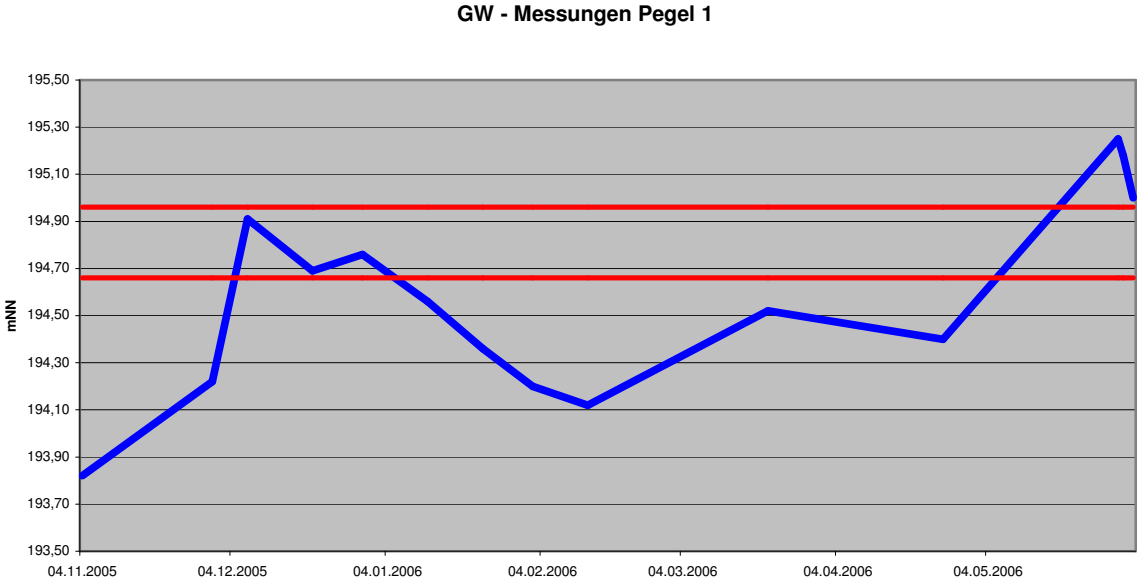


Abb. 4.15: Grundwassergang an Messstellen Pegel 1

Am Pegel 1 ist zu erkennen, dass der Sammler in diesem Bereich ebenfalls teilweise überstaut ist.

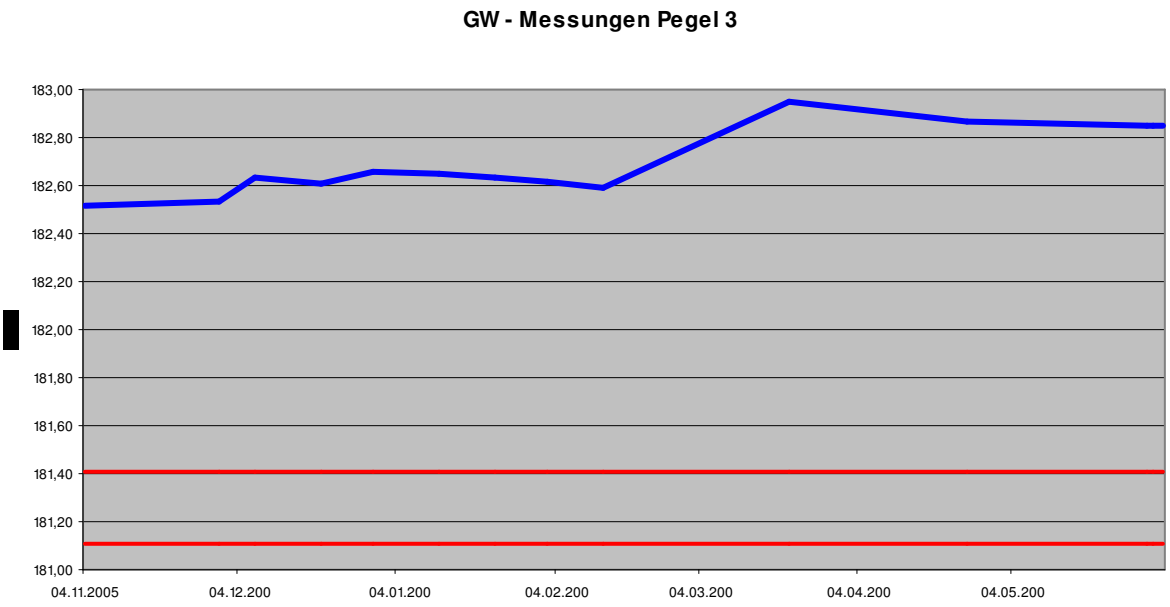


Abb. 4.16: Grundwassergang an Messstellen Pegel 3

Am Pegel 3 ist zu erkennen, dass der Sammler in diesem Bereich durchgehend überstaut ist.

Die Gesamtbetrachtung der Grundwasserbeobachtungen zeigt, dass der Sammler mit zunehmendem Fließweg durchgängig im Grundwasser liegt.

5 ANALYSE GEMESSENER GANGLINIEN

Zur Ersteinschätzung der Fremdwasserbelastung und der Fremdwasserquellen in einem Einzugsgebiet erfolgt die Analyse von gemessenen Abflussganglinien.

Ziel der Analyse ist eine Quantifizierung der Gesamtfremdwassermenge sowie eine Zuordnung dieser Menge zu den verschiedenen Herkunftsarten des Fremdwassers:

- Zufluss von Oberflächenwasser über Gewässer/Gräben /Schachtdeckel/Fehlanschlüsse (= schneller Zufluss unmittelbar nach Eintritt eines Niederschlagsereignisses mit ausgeprägter Spitze)
- Zufluss von Sickerwasser über an die Kanalisation angeschlossene Dränleitungen (= gegenüber Niederschlagsbeginn mäßig verzögerter Zufluss)
- Zufluss von Grundwasser über Infiltration/Quellen/Basisabfluss Gewässer (= gegenüber Niederschlagsbeginn stark verzögerter, kontinuierlicher Zufluss mit jahreszeitlicher Veränderung)
- Zufluss von sonstigem Fremdwasser (Kühlwasser, Wasserhaltung Baugruben) (= außergewöhnliche Abflussspitzen an Trockenwettertagen)

Die Ergebnisse dieser Analyse dienen als Orientierung bei der Anwendung des Modellsystems. So lässt sich z. B. aus dem Zufluss an Oberflächenwasser und der Kenntnis des zugehörigen Niederschlagsereignisses das angeschlossene oberirdische Fremdwassereinzugsgebiet abschätzen.

Zur Ganglinienanalyse wurden auf Grundlage der langjährigen Messung am Gebietsende die folgenden Arbeitsschritte vorgenommen:

5.1 Generierung einer gebietstypischen Schmutzwassertagesganglinie

5.1.1 Auswahlkriterien

Als Auswahlkriterium wurden Zeiträume ausgesucht, bei denen ein Trockenwettervorlauf (Niederschlag < 0,5 mm) von mindestens 3 Tagen besteht. Bei diesen Ereignissen wurden die Abflüsse in der Uhrzeit zwischen 02:00 und 04:00 Uhr als Nachtminimum ausgewertet.

5.2 Nachtminimum

Durch Auswertung der minimalen Abflüsse bei Trockenwetter zu Nachtstunden wird der Fremdwasserbasisabfluss ermittelt. Dabei wird von den gemessenen Minimalwerten der aus Literaturwerten übernommene minimale Schmutzwasserabfluss abgezogen. Es verbleibt der Fremdwasserbasisabfluss. Dieser nimmt für das Sommer- und Winterhalbjahr verschiedene Größenordnungen an.

5.3 Schmutzwasser

Durch Auswertung der gemessenen Tagesganglinien für verschiedene Zeitperioden wird für das Entwässerungsgebiet ein typischer Schmutzwassertagesgang generiert und auf Plausibilität geprüft. Das unter Kap. 5.2 ermittelte Nachtminimum wird davon abgezogen.

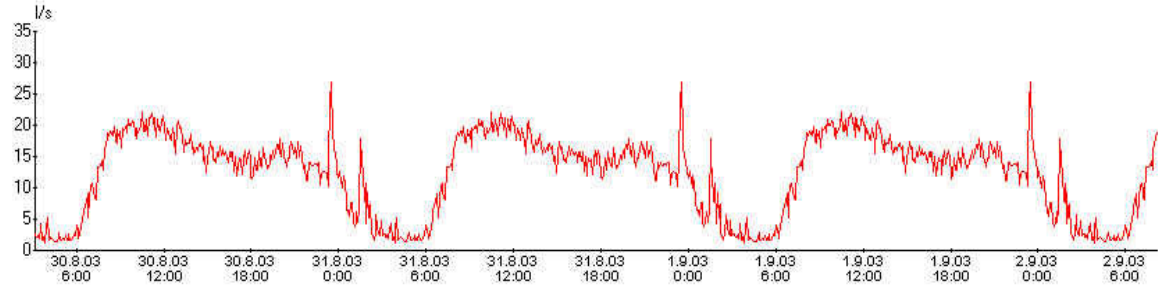


Abb. 5.1: Generierter gebietstypischer Tagesgang

5.4 Fremdwasser

5.4.1 Fremdwasserbasisabfluss

Der Fremdwasserbasisabfluss ist eine Abflusskomponente, die nicht unmittelbar vom Niederschlagsverhalten abhängig ist. Zur Ermittlung dieser Abflusskomponente wurden über den Messzeitraum alle Abflussmessungen ausgewertet, bei denen kein Niederschlag gemessen wurde (mind. 3 Tage Vorlaufzeit Trockenwetter). Die beiden nachfolgenden Messungen zeigen in ROT den Schmutzwassertagesgang und in BLAU die Abflussmessungen.

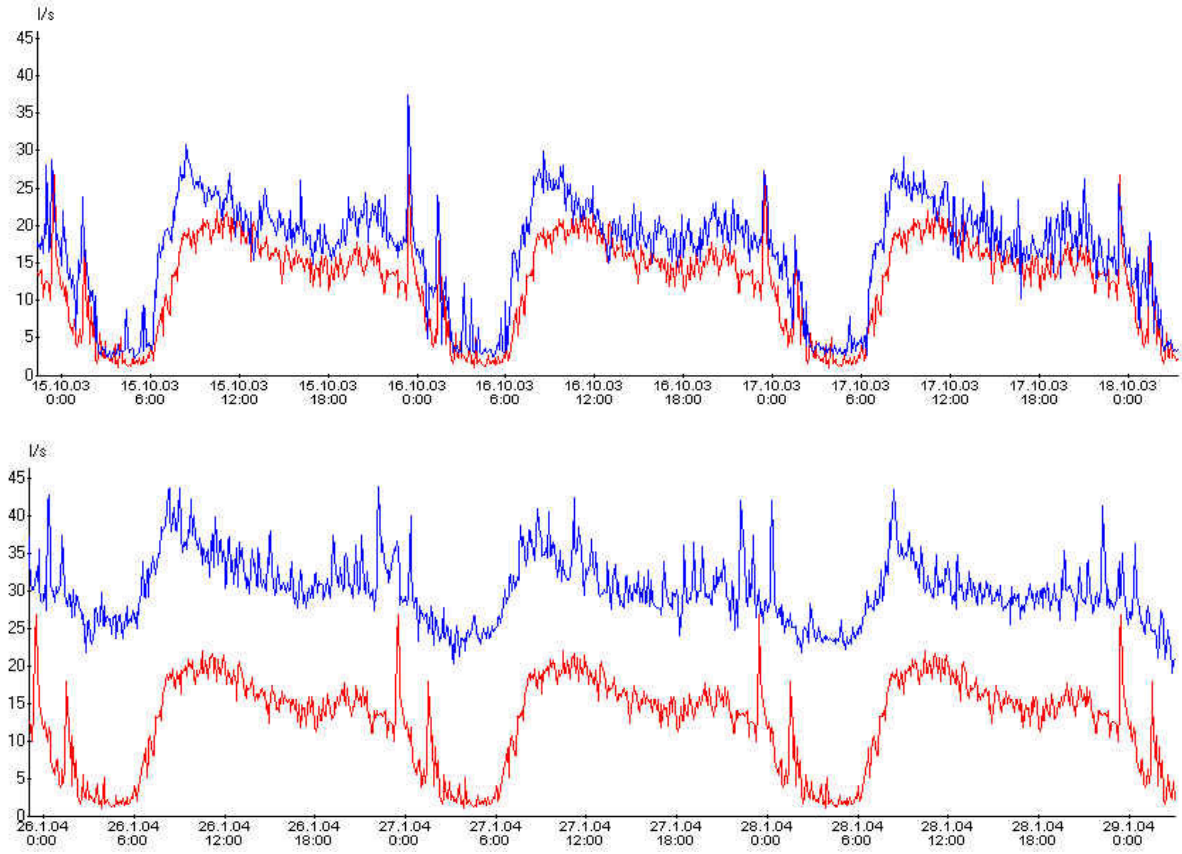


Abb. 5.2: Tagesgang mit Fremdwasserbasisabfluss

Es ist zu erkennen, dass der Fremdwasserbasisabfluss (Differenz zwischen ROTER und BLAUER Kurve) zwischen ca. 3 l/s im Sommerhalbjahr und ca. 23 l/s im Winterhalbjahr variiert.

Daraus ist zu abzuleiten, dass durch den Grundwasserjahresgang (der nur parallel zum Weltersbach als freier Grundwasserspiegel auftritt) bei hohem Grundwasserspiegel der Fremdwasserbasisabfluss stark zunimmt. Als Grund ist der Grundwassereintritt in den Weltersbachsammler über Undichtigkeiten (Schächte oder Haltungen) zu erwarten.

5.4.2 Niederschlagsbedingter Fremdabfluss

Nach Ermittlung des Schmutzwasserabflusses und des Fremdwasserbasisabflusses ist der verbleibende Abflussanteil der niederschlagsbedingte Fremdwasserabfluss. Die Auswertung der Abflussmessungen zeigt deutliche Abflussspitzen, die schon augenscheinlich auf diesen Hinweisen. Die nachfolgende Abbildung zeigt oben ein Niederschlagsereignis (GRÜN) sowie einen niederschlagsbedingte Abfluss im Weltersbachsammler (BLAU), der mit Regenende unmittelbar wieder in den Trockenwetterabfluss (ROT) übergeht.

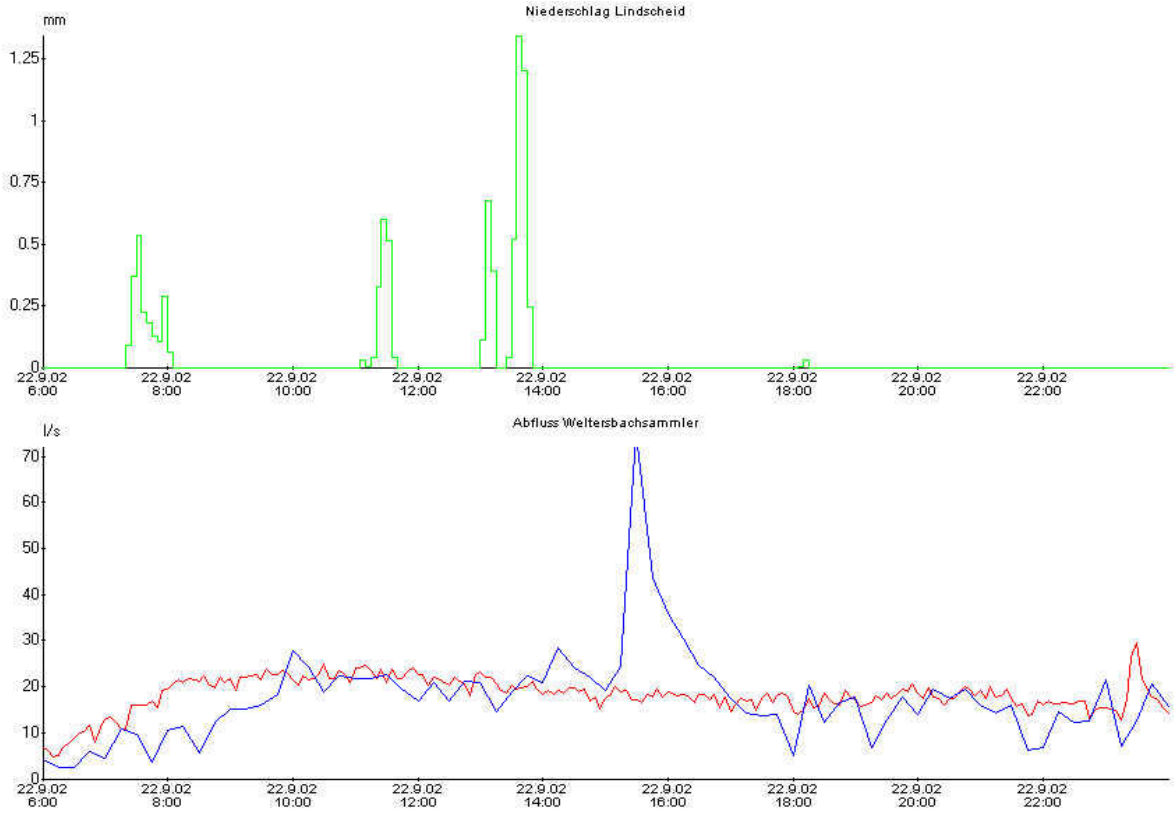


Abb. 5.3: Niederschlagsbedingter Fremdwasserabfluss ohne Nachlauf

Eine Auswertung der Niederschlags- und Abflusssumme dieses und anderer vergleichbarer Ereignisse führt zu einer angeschlossenen befestigten Fläche von ca. 2 ha. Dabei wurde das Abflussvolumen im Weltersbachsammler um das Volumen des Schmutzwasserabflusses und des Fremdwasserbasisabflusses reduziert.

Das verbleibende niederschlagsbedingte Abflussvolumen wird durch das Niederschlagsvolumen geteilt, um damit die angeschlossene Fläche zu erhalten.

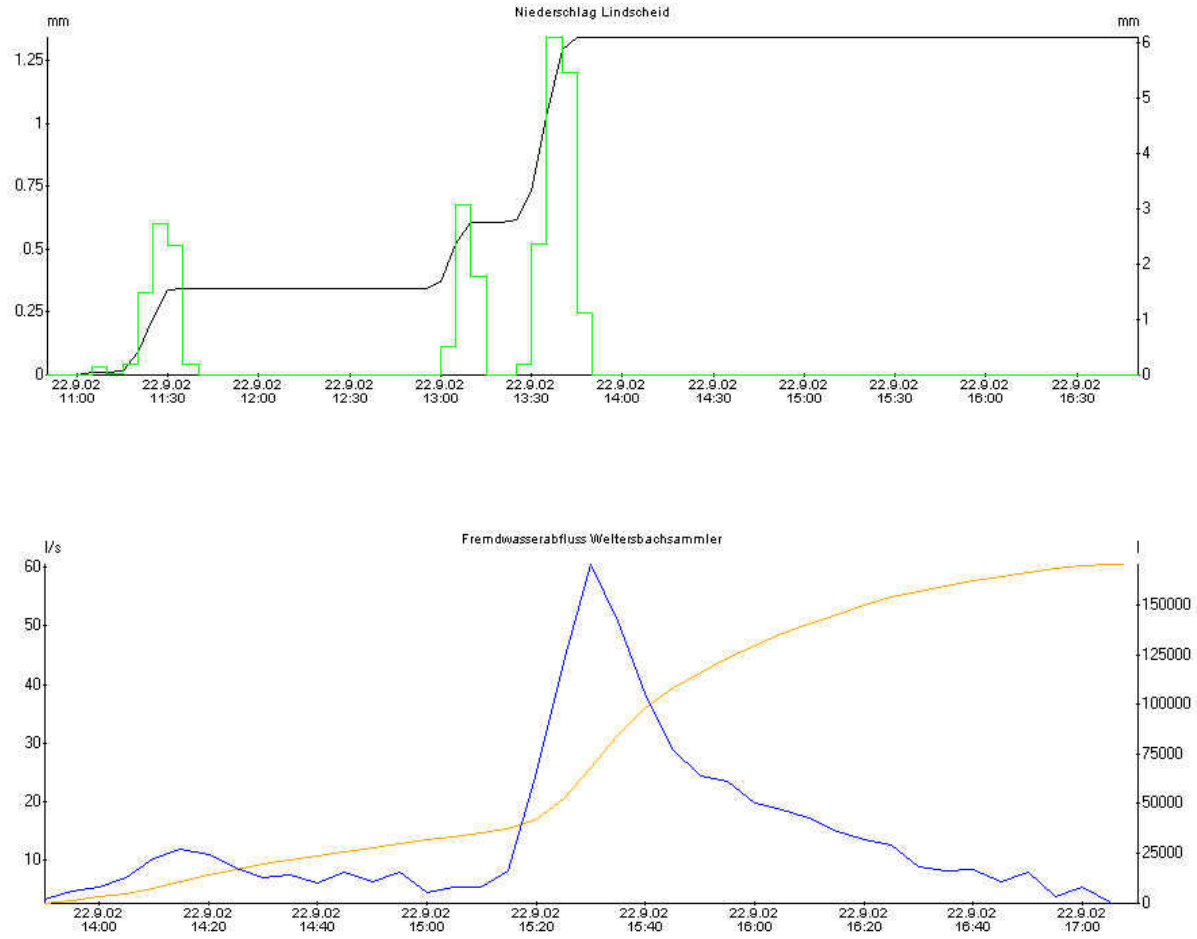


Abb. 5.4: Auswertung Summenlinien

Entgegen dem in

Abb. *5.3* dargestellten Niederschlags- und Abflussereignis ohne Nachlauf wurden auch Ereignisse ausgewertet, die ein deutliches Nachlaufverhalten zeigten. Dieser Nachlauf läßt auf verzögerten Abfluss schließen, der jedoch auch indirekt niederschlagsbedingt ist.

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein solches Ereignis mit Nachlauf. Dabei ist oben wiederum das Niederschlagsereignis (GRÜN) dargestellt. Der untere Kurvenverlauf zeigt den niederschlagsbedingten Abfluss im Weltersbachsammler (BLAU), der erst fünf Tage nach Regenende wieder in den Trockenwetterabfluss (ROT) übergeht.

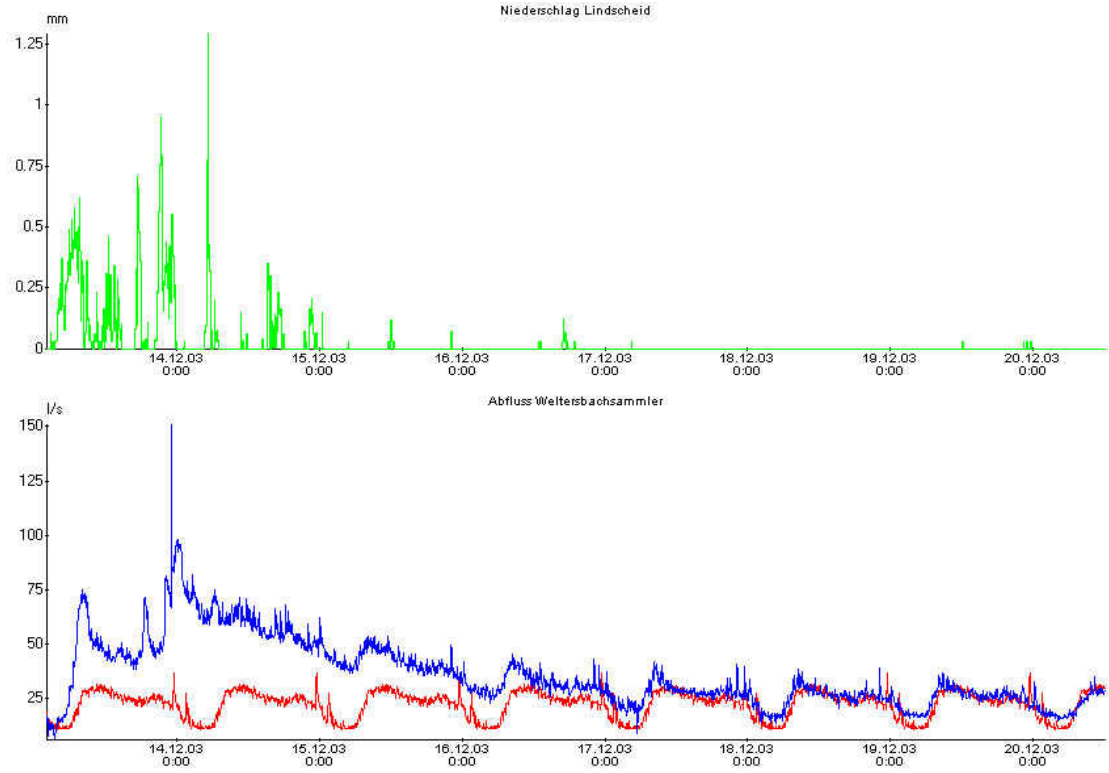


Abb. 5.5: Niederschlagsbedingter Fremdwasserabfluss mit Nachlauf

Eine wie bereits in

Abb. 5.4 dargestellten Summenauswertung dieses Ereignisses würde zu einer angeschlossenen versiegelten Fläche von ca. 5 - 15 ha führen. Dabei wurden die theoretischen 5 ha bei langen Niederschlagsereignissen nach langer vorheriger Trockenzeit ermittelt, die theoretischen 15 ha bei langen Niederschlagsereignissen nach bereits vorheriger feuchter Witterung.

In Kenntnis der Auswertungen von Niederschlagsereignissen ohne Nachlauf kann daraus geschlossen werden, dass

- ca. 2 ha versiegelter Fläche an das Schmutzwassernetz angeschlossen sind

- bei Niederschlag nach langer Trockenzeit neben dem Direktabfluss leicht verzögerter Abfluss stattfindet (Dränagen, ...)
- bei Niederschlag nach feuchter Witterung neben dem Direktabfluss und dem leicht verzögerten Abfluss (Dränagen, ...) auch stark verzögerter Abfluss (Grundwasser, selten schüttende Dränagen, Mulden, …) stattfindet.

5.4.3 Zusammenfassung

Durch die Auswertung von Abflussganglinien in Verbindung mit Niederschlagsmessungen können die Abflussparameter

- Schmutzwasserabfluss
- Fremdwasserbasisabfluss
- Niederschlagsabfluss

gut separiert werden. Aus einer Differenzbildung konnte auch das Abflussvolumen des bei Niederschlag stark verzögerten Zwischenabflusses ermittelt und grob kategorisiert werden (Grundwasser, Dränagen, …).

Die nachfolgende Grafik zeigt eine solche Aufteilung der Abflusskomponenten:

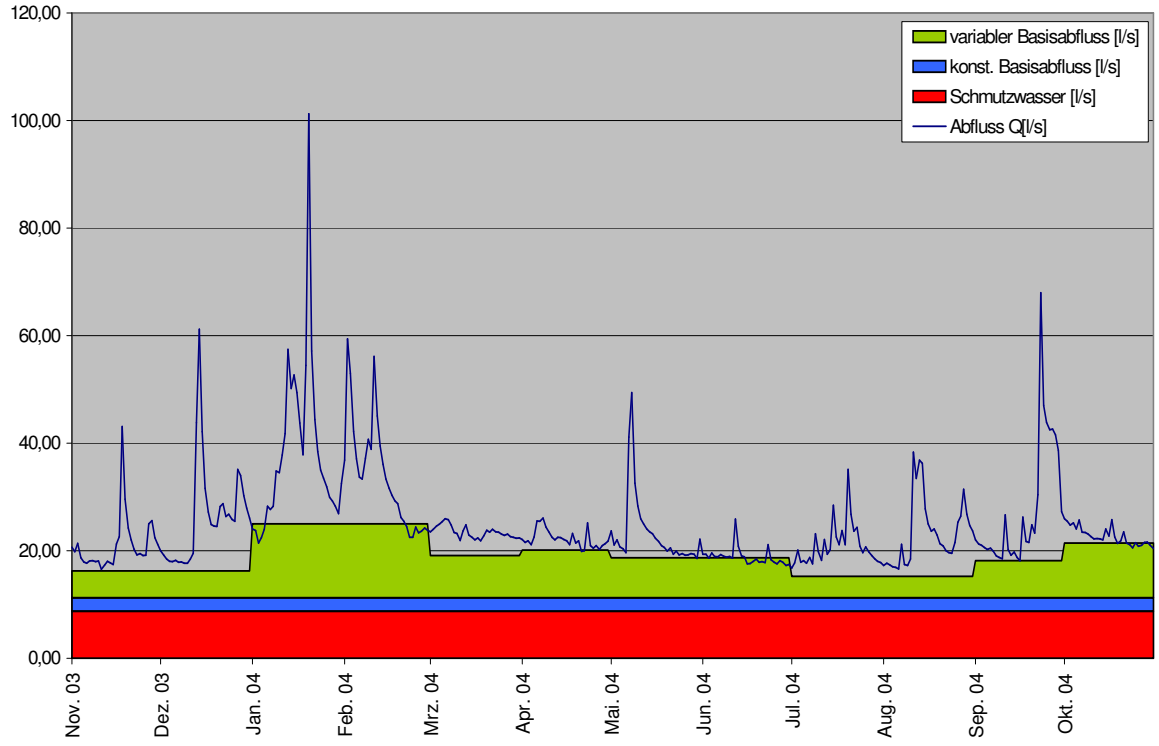


Abb. 5.6: Abflusskomponenten in der Messung

Aus der Messung kann jedoch nicht auf die lokale Herkunft des Abflusses geschlossen werden.

6 AUFBAU UND ANWENDUNG DES MODELLSYSTEMS

Für das Einzugsgebiet des Weltersbachsammlers wurde ein Modell mit den Komponenten „unterirdisches Entwässerungssystem“, „oberirdisches Entwässerungssystem“ sowie „Boden- und Grundwasserspeicher“ aufgebaut. Verwendet wurde hierzu folgende Software:

- ARCGIS (Fa. ESRI): zum Aufbau eines Geographischen Informationssystems.
- MIKE SHE (Fa. DHI): zur integrierten hydrologischen und hydraulischen Modellierung eines unterirdischen und oberirdischen Einzugsgebietes
- MOUSE (Fa. DHI): zum Aufbau eines instationären Kanalnetzmodells, mit dem der Abflusstransport im Kanalnetz nachgebildet wird.

Die Vorgehensweise gliedert sich in die Blöcke *„Aufbau und Anwendung eines GIS“* und *„Aufbau und Anwendung eines hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells“*. Dabei stellt der Block *„Aufbau und Anwendung eines GIS“* neben der räumlichen Orientierung (Eingrenzung potentieller FW-Zutrittsbereiche) auch die Grundlage für den *„Aufbau und Anwendung eines hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells“* dar.

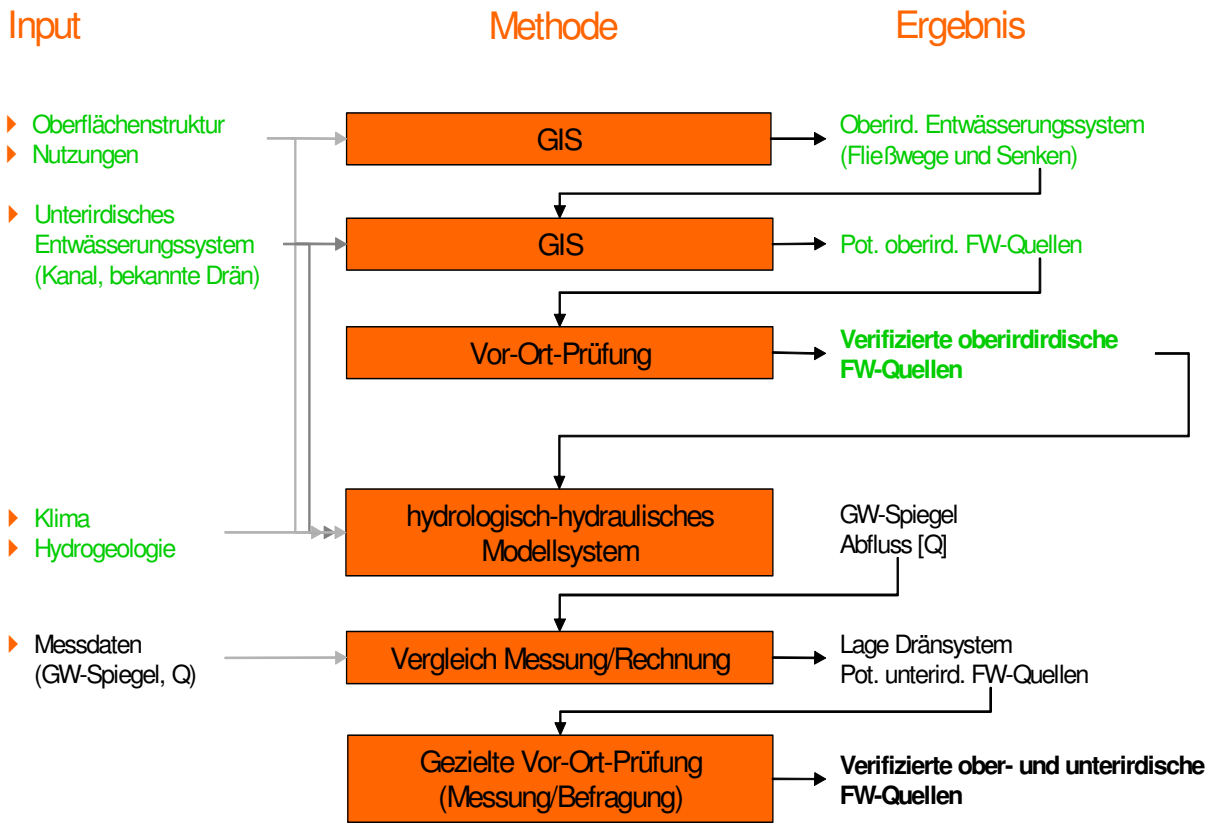


Abb. 6.1: Vorgehensweise bei Aufbau und Anwendung des Modellsystems

6.1 Orientierung - Aufbau und Anwendung eines GIS

6.1.1 Aufbau des GIS

Der Aufbau des GIS erfolgt auf Grundlage der unter Punkt 4 aufgeführten Grundlagedaten. Dabei wurden möglichst nur landesweit verfügbare Daten zusammengestellt.

6.1.2 Identifizierung des oberirdischen Entwässerungssystems

Zur Identifizierung des oberirdischen Entwässerungssystems (= oberirdisches Transportsystem und oberirdisches Speichersystem) wurde die Oberflächenstruktur im Einzugsgebiet mit Hilfe von ArcGis ausgewertet. Hierzu wurden aus dem vorliegenden digitalen Geländemodell Fließwege und abflusslose Senken / Mulden generiert. Diese müssen nicht immer Wasserführen - es ist jedoch zu erwarten, dass bei stärkeren oder lang anhaltenden Niederschlagsereignissen in diesen Bereichen Wasser abfließen oder sich sammeln wird.

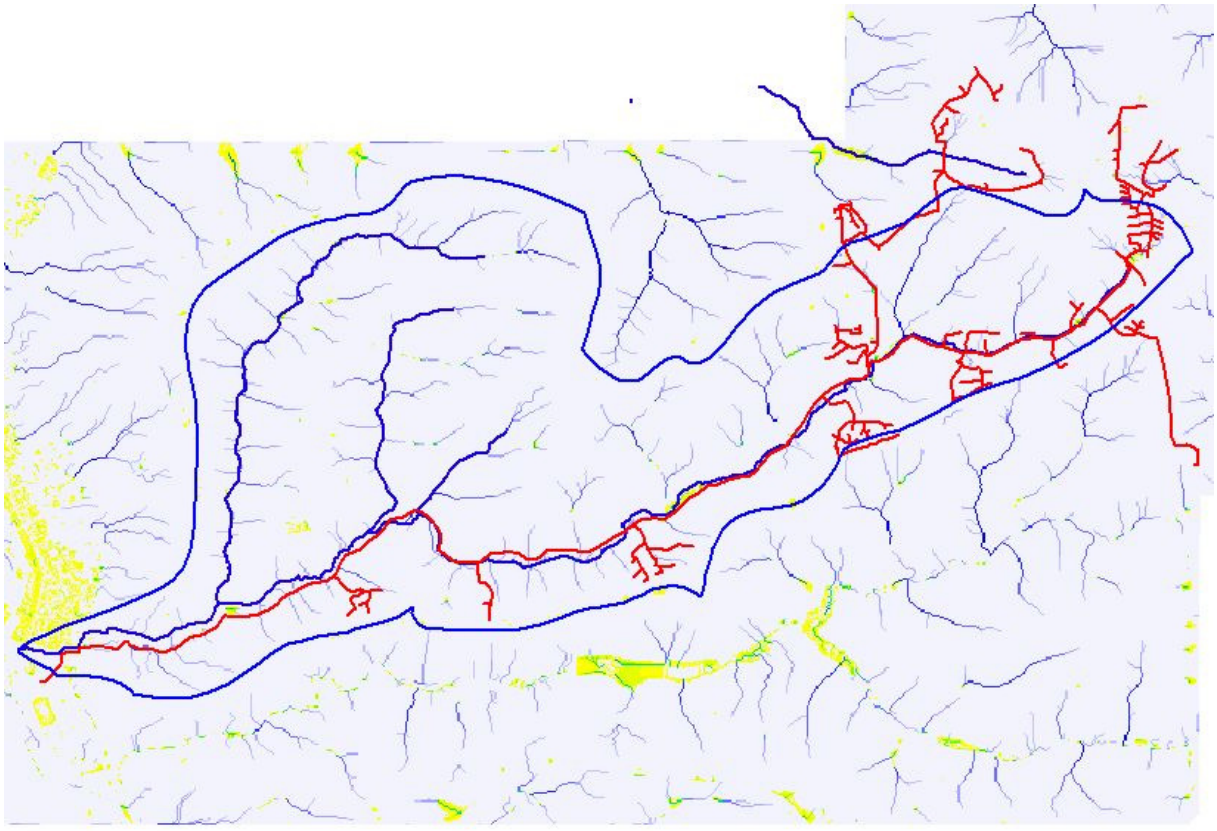


Abb. 6.2: Identifikation Fließwege, Senken / Mulden

Ergebnis:

- Generierung natürlicher Fließgewässersysteme
- Generierung von abflusslosen Bereichen (Senken / Mulden)

6.1.3 Anbindungen des oberirdischen Entwässerungssystems an das unterirdische Entwässerungssystem

Durch eine Verschneidung des *unterirdischen Entwässerungssystems* (Kanalnetz + bekannte Dränageleitungen) und des *oberirdischen Entwässerungssystems* gem. Punkt 6.1.2 mit Hilfe von ARCGIS erfolgt eine Überprüfung des unterirdischen Entwässerungssystems auf potenzielle Zuflüsse aus dem oberirdischen Entwässerungssystem. Die potenziellen Fremdwasserquellen wurden vor Ort überprüft.

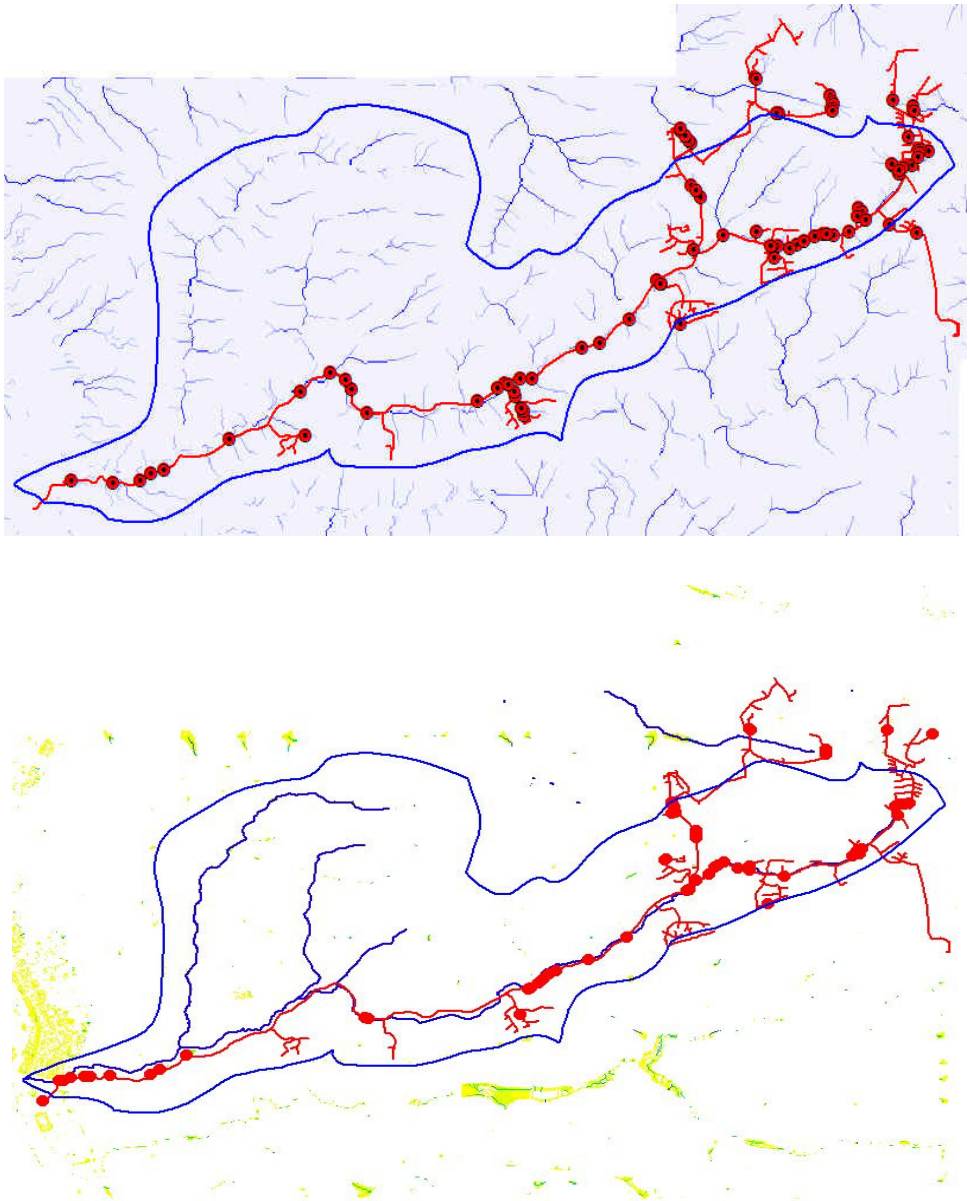


Abb. 6.3: Verschneidung Kanalnetz mit Fließwegen / Senken

Ergebnis:

- Anbindungspunkte des oberirdischen Entwässerungssystems an das unterirdische Entwässerungssystem.

6.1.4 Abschätzung der Lage des potenziellen Dränsystems

Zur Ermittlung potenzieller Dränsysteme wurden den digital vorliegenden Bebauungen durch Verschneidung mit dem digitalen Geländemodell Bebauungshöhen zugewiesen. Potenzielle Hausdränagen liegen ca. 2 m unter Geländeoberkante - somit wird von der o.g. Bebauungshöhe 2 m abgezogen.

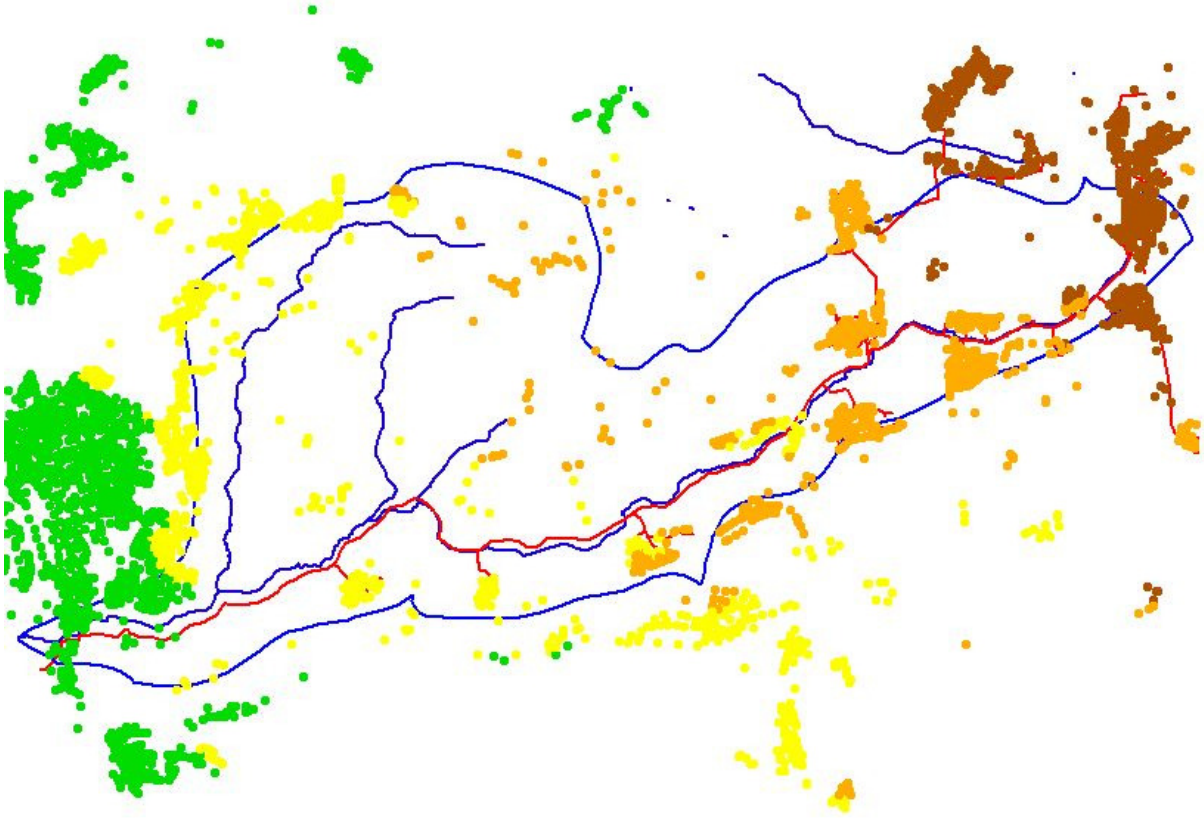


Abb. 6.4: Bebauung im Einzugsgebiet mit zugewiesener Höhenlage

Ergebnis:

- Abgeschätzte Lage des potenziellen, schüttenden Dränsystems
  (Höherwertige Nutzungen, die durch GW beeinträchtigt werden können, werden als „dräniert“ angesetzt, wobei die Tiefenlage der Dränage innerhalb jeder Nutzungsart als einheitlich angenommen wurde)

6.2 Sondierung - Aufbau und Anwendung eines hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells

6.2.1 Aufbau des hydrologisch-hydraulischen Gebietsmodells

In einem gekoppelten Gebietsmodell werden alle Niederschlag- und Abflusskomponenten abgebildet. Neben den hier untersuchten Abflussvorgängen im Kanalnetz und im Grundwasser sind dies auch die Abflüsse im Gewässer (Weltersbach). Da das Gewässer hier nur als Bilanzierungsmodul mit abgebildet werden muss, erfolgt diese vereinfacht.

Bei der Berechnung der Wasserbilanz wird der Niederschlag, eine Temperatur- und Bewuchs-abhängige Verdunstung sowie eine bodenartabhängige Infiltration berücksichtigt. Anschließend werden die Abflußkomponenten bestimmt. Beim oberirdischen Entwässerungssystem wird der Abfluss von versiegelten und unversiegelten Oberflächen berücksichtigt. Ein Austausch mit dem Gewässer kann in beide Richtungen sowohl an der Oberfläche als auch im Grundwasserbereich erfolgen.

Beim unterirdischen Entwässerungssystem werden die Dränagen und Undichtigkeiten im Kanalnetz sowie der Zufluss aus dem oberirdischen Entwässerungssystem an Schächten berücksichtigt. Die Infiltration/Exfiltration zwischen dem Kanalnetz und dem Grundwasser wird durch die Wasserspiegeldifferenz zwischen Kanal und GW-Spiegel sowie durch einen kf-Wert der Kanals bestimmt. Die charakteristischen Größen des Dränage-Moduls sind die Dränagetiefe der dränierten Zelle, eine Zeitkonstante und der Zielschacht der dränierten Zelle.

Der Modellaufbau erfolgt unter Verwendung von Mouse und Mike SHE.

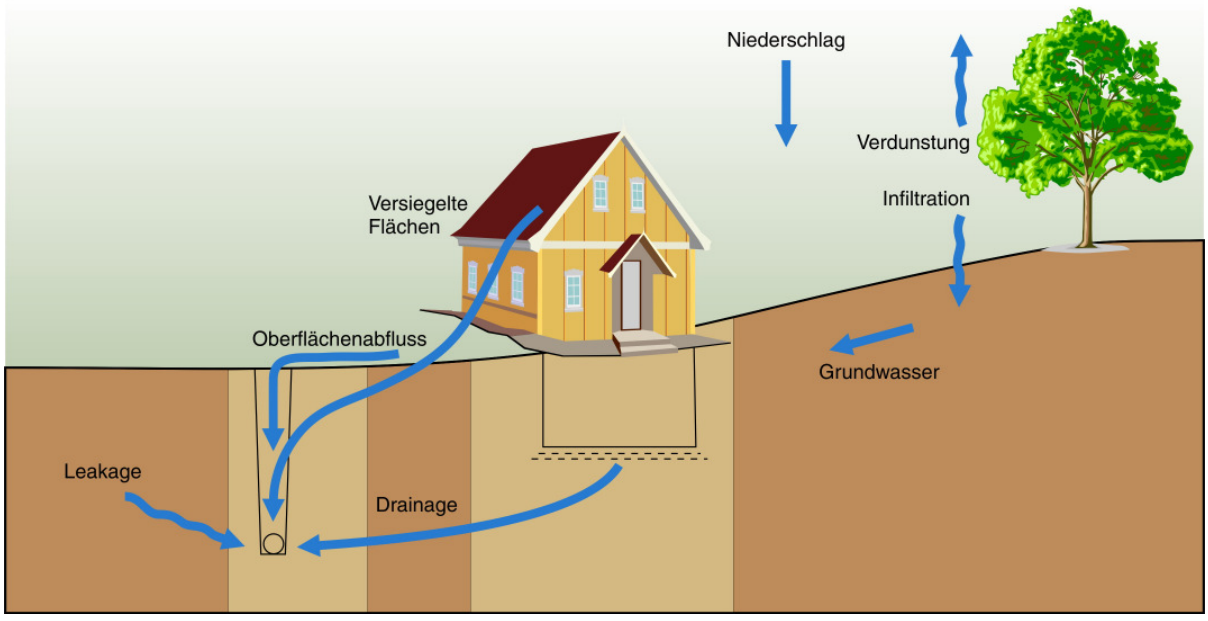
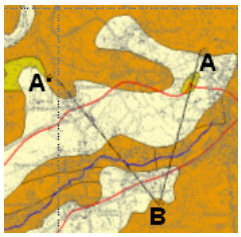


Abb. 6.5: Schematische Darstellung der Modellabbildung

Das unterirdische Entwässerungssystem (Kanalnetz) wird neben dem Oberflächenabfluss maßgeblich durch den Zufluß von Grundwasser beaufschlagt. Hierzu wird im Modell die Geologie entsprechend der Grundlagensammlung (sh. Abschnitt 4.2.5) sowie den ergänzenden Bodenaufschlüssen (sh. Abschnitt 4.6.1) wie folgt abgebildet.

- UK Löß aus geologischer Karte (im Talbereich: GOK - 3 m)
- UK Verwitterung: UK Löß – 1 m (im Talbereich: UK Löß – 2 m)



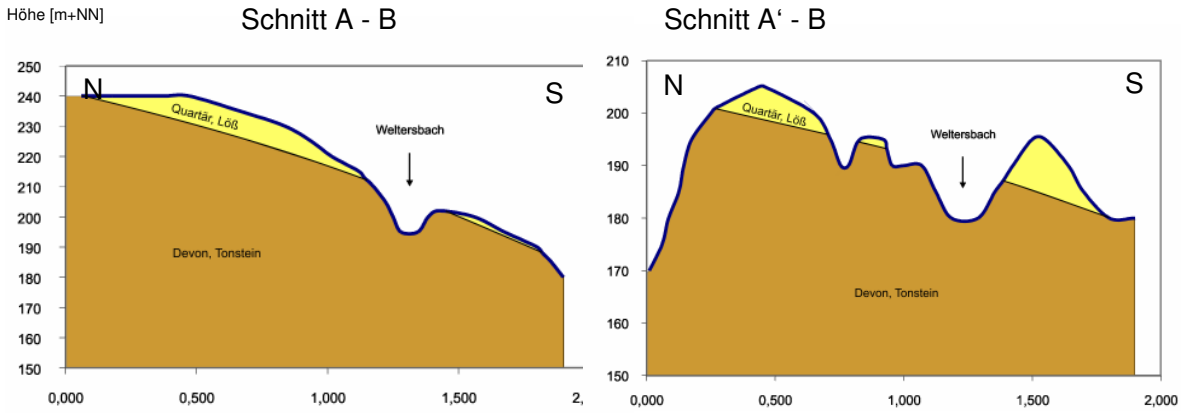


Abb. 6.6: Berücksichtigung der Geologie im Modell

In die Beschreibung der ungesättigten Zone gehen die Informationen der Bodenkarte (s. Kap. 4.6.1) ein.

Die gesättigte Zone wird mit Hilfe der Daten aus der geologischen Karte (s. Kap. 4.2.5) modelliert. Signifikant ist hier die nach Süden einfallende Grenze zwischen dem quartären Löß und dem devonischen Tonstein. Der Weltersbach selbst und seine seitlichen Zuflüsse haben sich durch den Löß in den Tonstein eingeschnitten.

Das öffentliche Kanalnetz wurde aus den Kanalstammdaten (sh. Abschnitt 4.4.1) übernommen und im Modell abgebildet. Zur Berücksichtigung von Leckagen wurden den Kanälen „Undichtigkeitsfaktoren“ in Abhängigkeit des Alters und des zum Teil bekannten Bauzustandes zugewiesen. Je nach Grundwasserstand und der Wasserspiegellage im Kanal ergibt sich dann eine Exfiltration ins Grundwasser oder eine Infiltration in das Kanalnetz.

- Ältere Kanäle (undichter …)
- Transportkanal, Kanalneubau

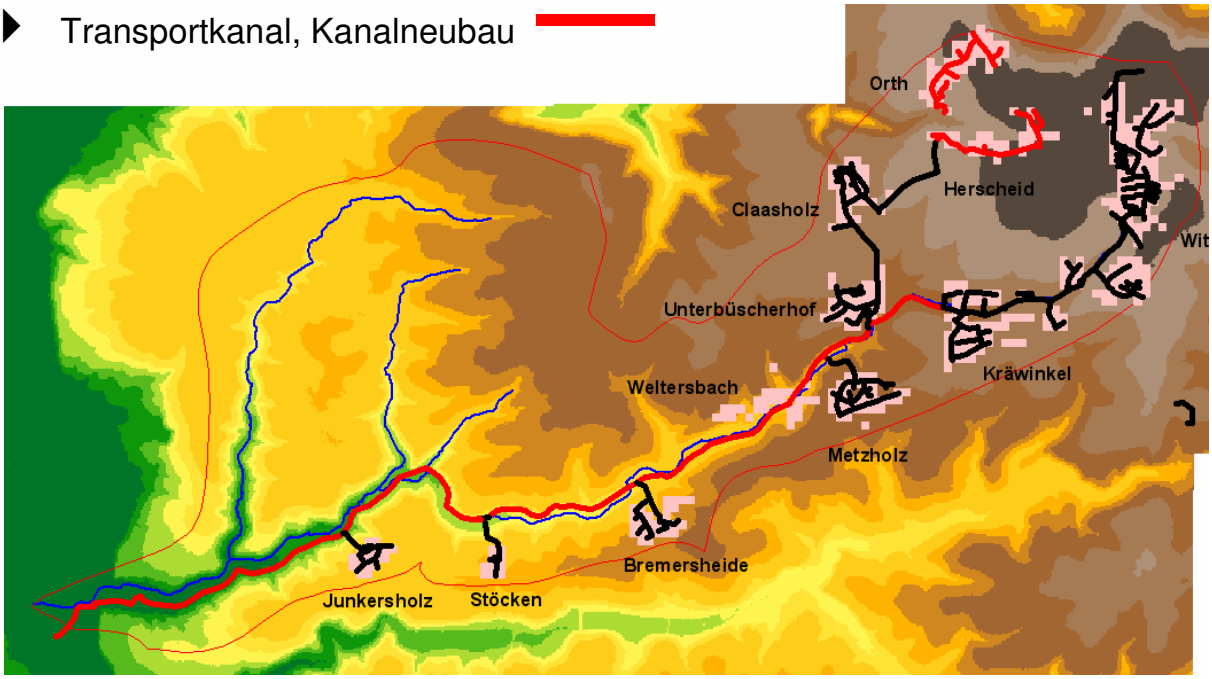


Abb. 6.7: Abbildung der Kanäle im Modell

Die vorerst bei jedem Haus angenommene Hausdränage (sh. Abschnitt 4.4.3) wird im GIS dem jeweils nächstliegenden Schacht der Schmutzwasserkanalisation zugewiesen. In der nachfolgenden Abbildung werden die Schmutzwasserschächte mit zugeordnetem pot. Dränageabfluss dargestellt.

Die Dränagen werden im Modell durch eine Dränagetiefe und eine Zeitkonstante modelliert: Überschreitet der ggf. jahreszeitlich schwankende Grundwasserspiegel in einer Berechnungszelle die vorgegebene Dränagetiefe, so wird dieser Anteil des Grundwassers mit der entsprechenden Zeitkonstante zum angebundenen Schacht weitergeleitet.

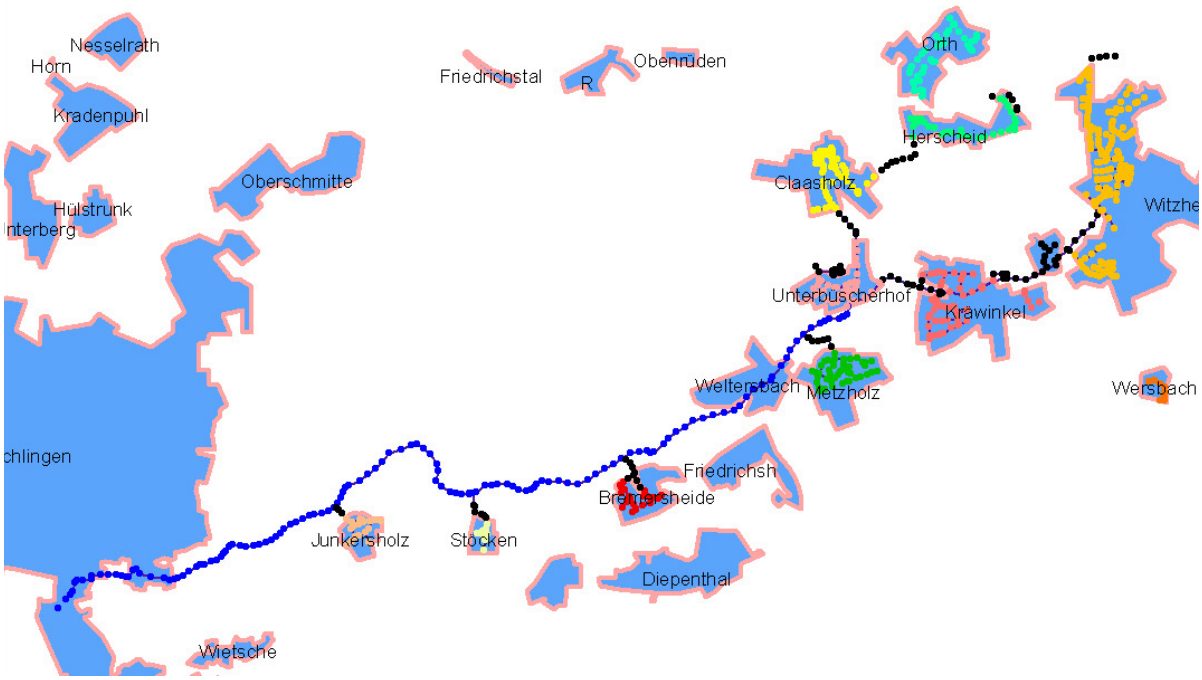


Abb. 6.8: Zuordnung der Dränagen zu Schmutzwasserschächten im Modell

Ergebnis:

- Aufgebautes Modellsystem

6.2.2 Modellberechnungen

Die Modellberechnungen werden in mehreren Schritten durchgeführt. Zur Nachbildung des Grundwasserganges bedarf es einer vorlaufenden Berechnung, bei der die Startbedingungen des Grundwasserstandes ermittelt werden („Einschwingen des Modells“).
Nachdem die Randbedingungen des Grundwassermodells ermittelt wurden, erfolgt in einem weiteren Schritt die Plausibilitätsprüfung anhand der langjährigen Messung am Sammlerende. Im Weiteren wird dann überprüft, ob diese Berechnungen für das Gesamtgebiet auch das Abflussverhalten an den vorgenommenen Kurzzeitmessungen widerspiegeln.

6.2.2.1 Startbedingungen des Grundwassermodells

Die Berechnung zu den Startbedingungen des „trägen“ Grundwassermodells wird ohne die Anbindung des Kanalsystems über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten vor dem Ereignis vorgenommen das berechnet werden soll. Die Berechnung ohne Kopplung mit dem Kanalnetz erlaubt eine kürze Rechenzeit.

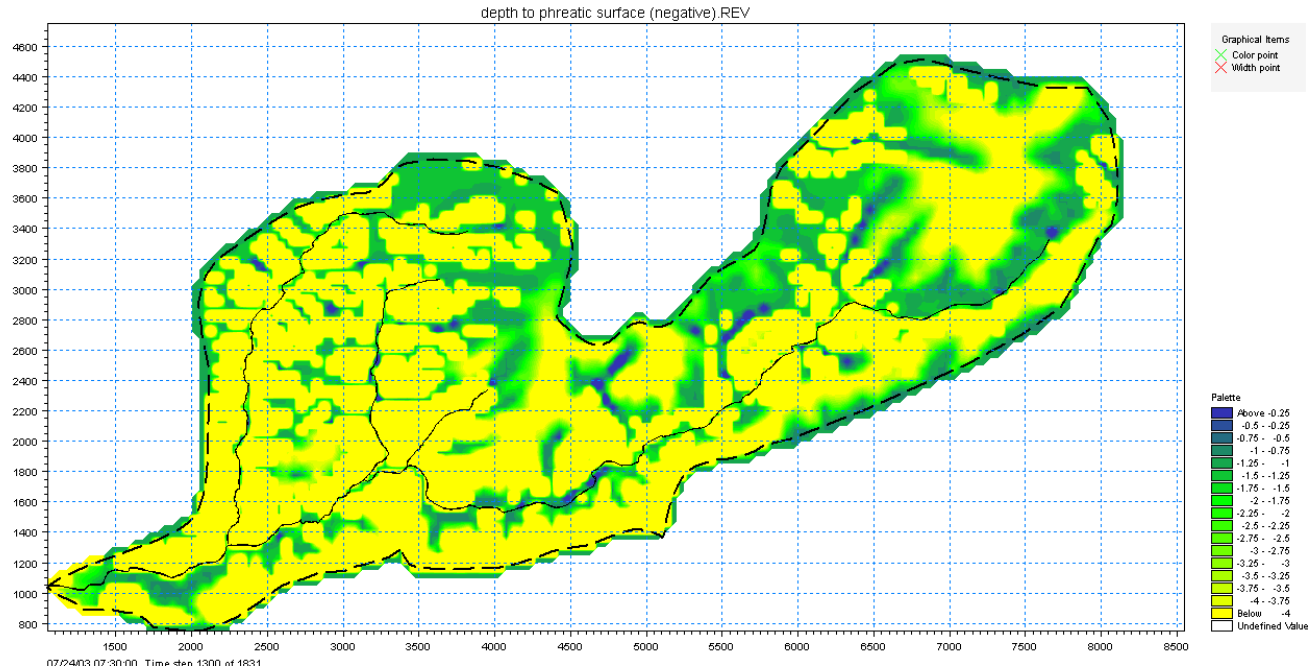


Abb. 6.9: Startbedingungen des Grundwassermodells

Ergebnis:

- Jahreszeitlicher Gang des Grundwasserspiegels im Modell.

Dieser Stand wird zum Datum des Starts der Kurzzeitsimulation als Startbedingung wieder eingelesen. Erfahrungsgemäß benötigt die Langzeitsimulation mindestens 1 Jahr bis zum Einschwingen auf einen stabilen Wert. Bei den Kurzzeitsimulationen wurde mit einem Vorlauf von 2-3 Wochen vor dem interessierenden Zeitraum gerechnet.

6.2.2.2 Plausibilitätsprüfung am Gebietsende

Am Gebietsende liegt eine langjährige Messung des Wupperverbandes vor. In Verbindung mit vier Niederschlagsstationen im Umfeld erfolgt die Plausibilitätsprüfung der Berechnungen.

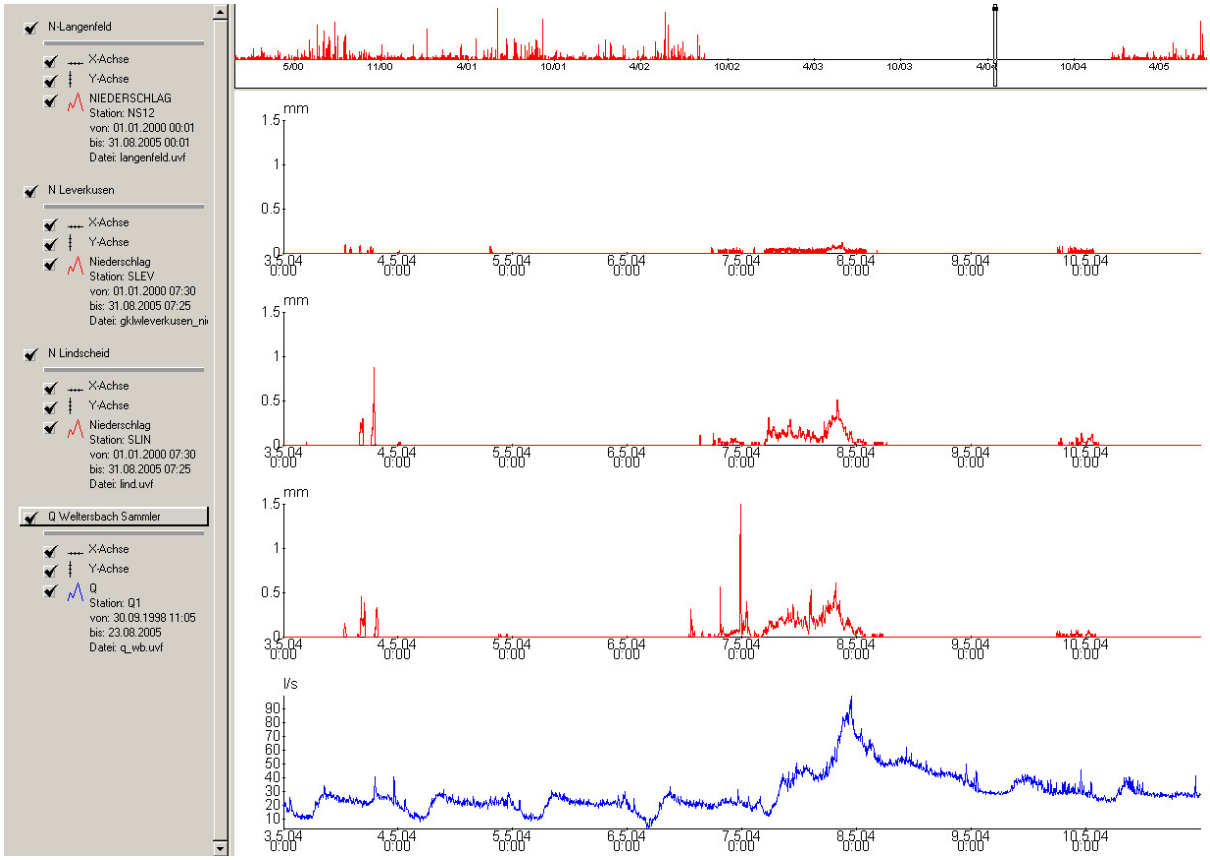


Abb. 6.10: Niederschlag / Abfluss Mai 2004

Nach den ersten Simulationsberechnungen mussten zur Verifizierung der tatsächlichen Abflüsse am Gebietsende die folgenden Modellparameter angepasst werden:

- Leckage (geringer Einfluss): Der leakage Koeffizient, der den Austausch zwischen Kanalsystem und Grundwasser bestimmt, lag nach der Anpassung zwischen 5.0e-08 /s (neue Kanäle) und 1.0e-07 /s (ältere Kanäle)

- Dränagetiefe (maßgeblicher Einfluss): Die Dränagetiefe wurde von 2,5 m auf 2m unter GOK eingestellt. Dieser Wert bestimmt maßgeblich das Dränage-Volumen.

- Dränagezeit (maßgeblicher Einfluss): Sie ergab sich nach den Anpassungsrechnungen zu 5.0e-7 /s. Die gewählte Zeitkonstante bestimmt maßgeblich den exponentiellen Abfall der Abflußkurve nach dem Ende eines Ereignisses.

- Makroporen (maßgeblicher Einfluß): Der Einfluß der Makroporen bewirkt, dass ab einer vorgegebenen Bodenfeuchte in der ungesättigten Zone ein gewisser Anteil des infiltrierten Niederschlags unter Umgehung der Bodenparameter (k_f-Wert) direkt zur

Grundwasserneubildung beiträgt. Dieser Prozess erwies sich angesichts der geringen Durchlässigkeit des Lößlehms als entscheidend für die Grundwasserneubildung im Modell und damit für die Volumenbilanz.
Die Größen wurden so gewählt, daß der Einfluß der Makroporen ab einer Sättigung von 20% einsetzte und ab 30% seinen Maximalwert erreichte. Hierbei wurde angenommen, dass maximal 25% des Niederschlagswassers durch Makroporen zum Grundwasser geleitet wird. In bebauten Gebieten wurde der Wert wegen der stärker gestörten Lagerung auf 30% erhöht.

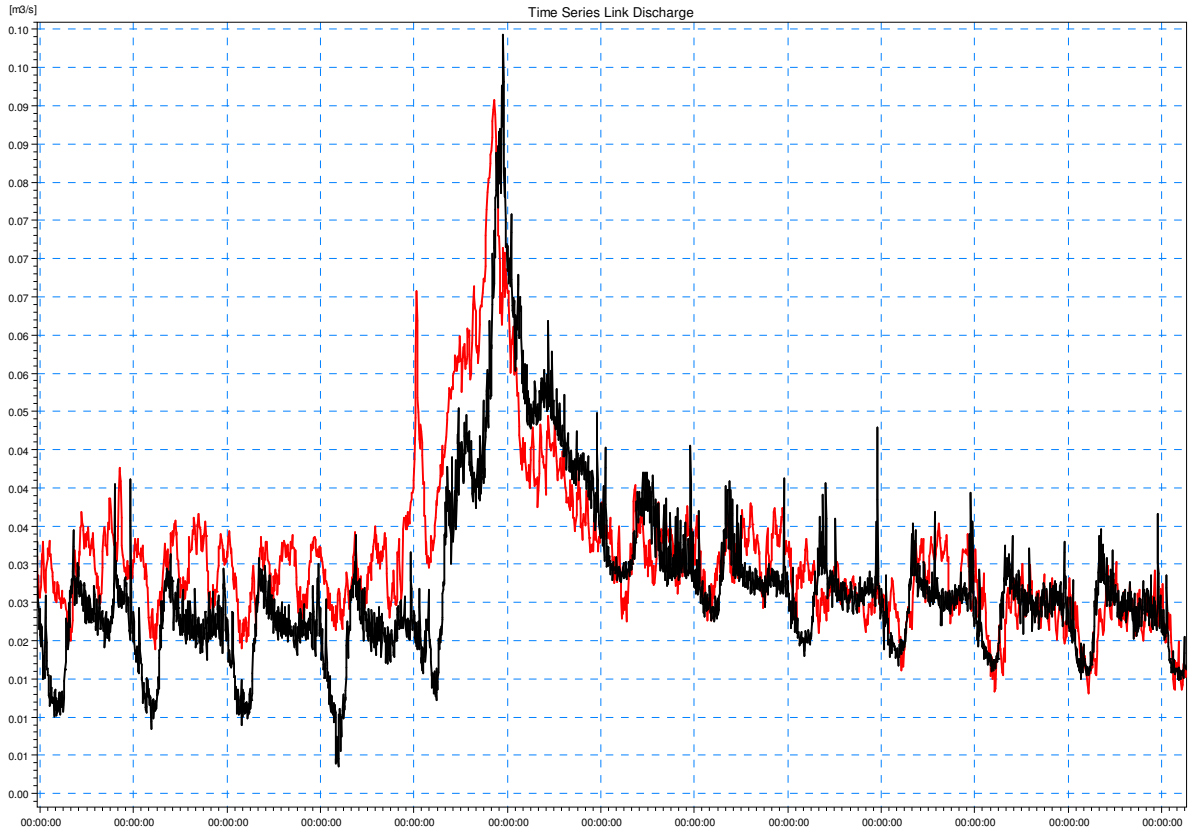


Abb. 6.11: Messung (schwarz) und Berechnung (rot) zum Ereignis Mai 2004

Nach Anpassung der o.g. Modellparameter konnten mit den Berechnungen die gemessenen Abflussvorgänge am Gebietsende gut getroffen werden. Die Abb. 6.11 zeigt exemplarisch den Verlauf von Messung und Berechnung an einem Ereignis im Mai 2004.

Ergebnis:

- Plausible Modellparameter zur Kalibrierung am Gebietsende

6.2.2.3 Plausibilitätsprüfung anhand der Kurzzeitmessungen

Zur Verifizierung der Berechnungen erfolgt eine weitere Plausibilitätsprüfung anhand der dezentralen Kurzzeitmessungen (sh. Kap. 4.5.2).

In der folgenden Abbildung sind im unteren Bereich die Kurzzeitmessungen (jeweils ca. 5 Tage) in den Sammlern aus den Teileinzugsgebieten sowie in schwarz die 3-Monatsmessung in Sammler auf ca. ½ Fließweg bis zur Einmündung in den Wuppersammler dargestellt. Die blaue Kurve zeigt die Niederschlagsaufzeichnung Lindscheid.

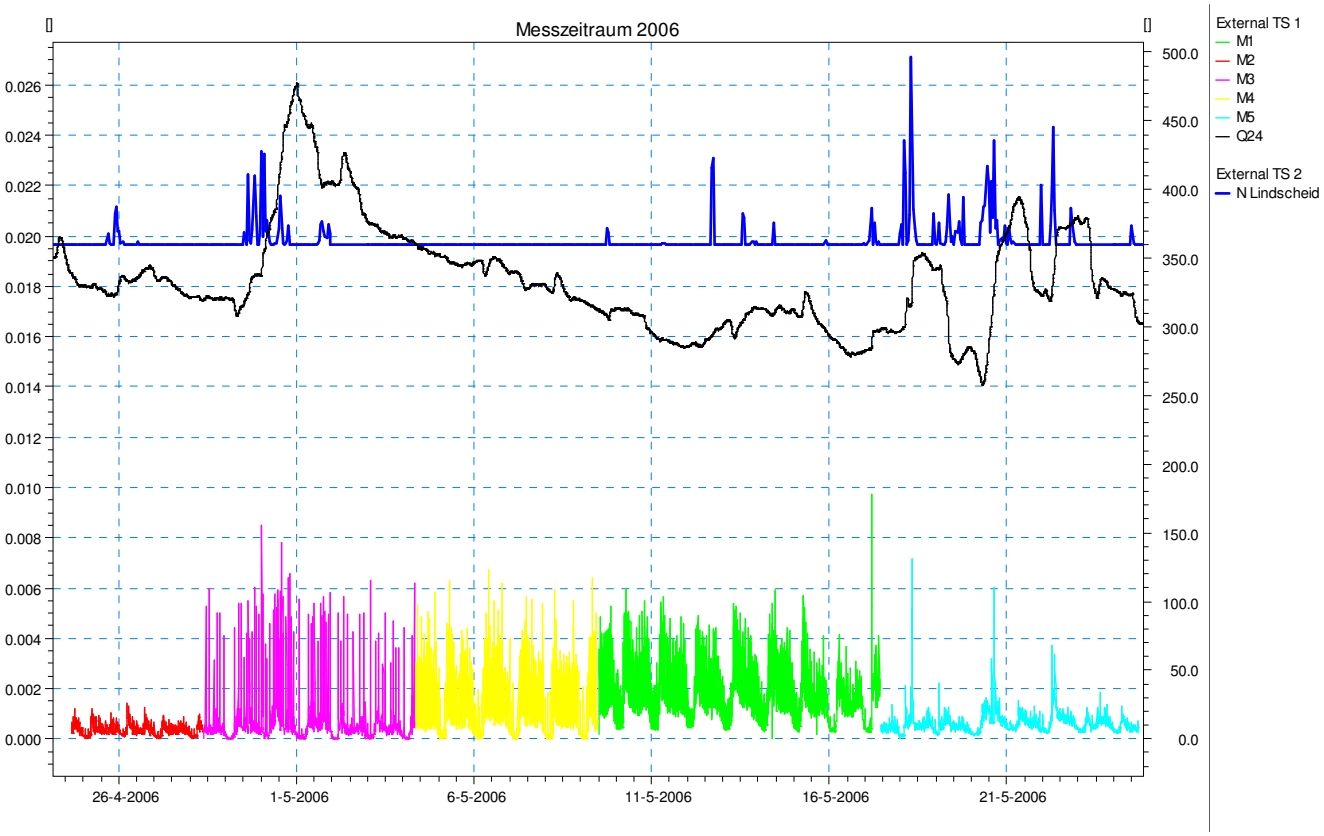


Abb. 6.12: Abfluss in m³/s (bunt / schwarz) und Niederschlag (blau)Mai / Juni 2006

Als erstes Ergebnis konnte aus den Messungen abgelesen werden, dass sich das Niederschlagsverhalten (blaue Kurve) in der Messung im Hauptsammler (schwarze Kurve) widerspiegelt, jedoch nicht in dieser Deutlichkeit in den Kurzzeitmessungen in den Nebensammlern (bunte Kurven).

Im Vergleich zu den Messungen zeigen sich die folgenden berechneten Abflüsse an den maßgeblichen Messstellen:

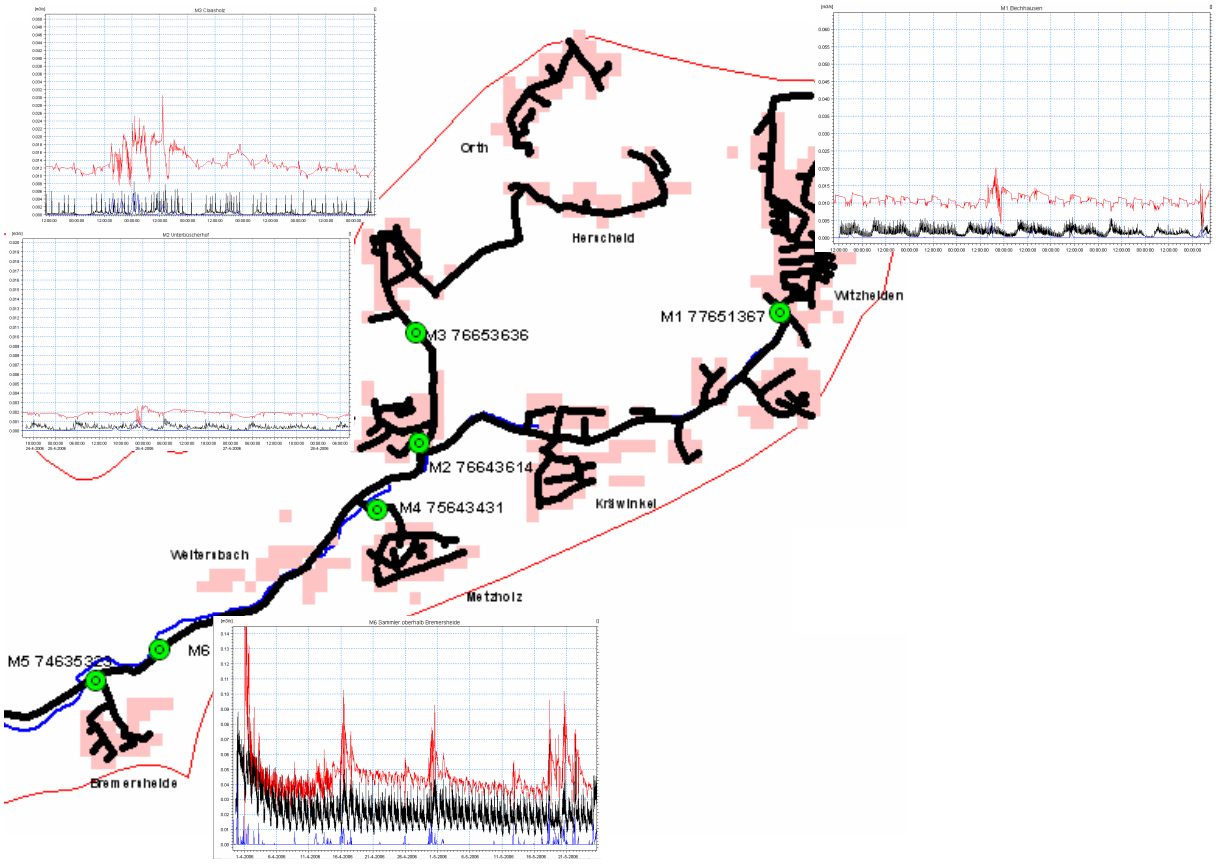


Abb. 6.13: Ergebnisse ohne Modellanpassung - Messung (schwarz) und Berechnung (rot)

Es ist zu erkennen, dass bei unveränderten Modellparametern die Abflüsse an den einzelnen Messstellen mit dem Modell überschätzt werden.

Auf Grundlage der o.g. Berechnungsergebnisse erfolgte eine weitere Anpassung der Modellparameter. Bei den Rechenläufen ohne Kenntnis der Messung waren die dränierten Zellen gleichmäßig in allen Ortslagen definiert. Auf Grundlage der Meßergebnisse mußten die Dränagezellen in den Ortslagen direkt am Bachlauf (Witzhelden-Süd, Krähwinkel und Weltersbach) konzentriert werden. Bestätigt wurde durch die Messungen, dass in den Ortslagen südlich des Sammlers (Metzholz, Bremersheide) der Grundwasserspiegel durch die geologischen Gegebenheiten so tief liegt, dass von dort in keinem Fall ein Beitrag zum Fremdwasser erfolgt.

Nach Anpassung der Modellparameter zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung.

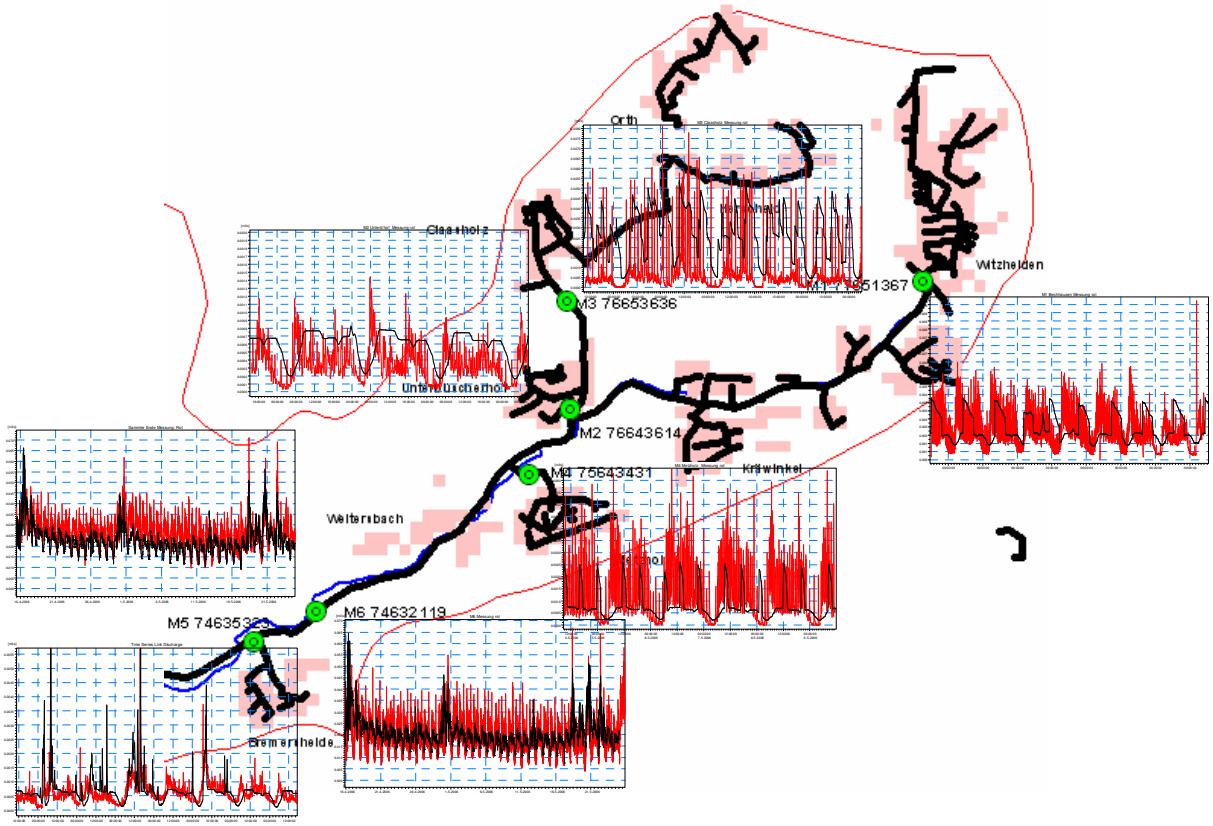


Abb. 6.14: Ergebnisse mit Modellanpassung - Messung (schwarz) und Berechnung (rot)

Ergebnis:

- Modellergebnisse nach Anpassung der Modellparameter

6.3 Lage potenzieller Fremdwasserquellen

Im Rahmen der Ortsbegehungen wurde in feuchter Jahreszeit grundsätzlich ein stark erhöhter Fremdwasserabfluss im Hauptsammler festgestellt. Eine Rückverfolgung in die Nebensammler war bei den Ortsbegehungen nicht möglich. Aussagen von Anliegern konnte entnommen werden, dass nach starken Niederschlagsereignissen Staunässe auftritt. Bei einem Anlieger konnte eine kurzzeitige „Grundwasserhaltung“ im Keller sondiert werden.

Die vorgenommenen Bodenaufschlüsse zeigen an den Hangflanken durchgehend keinen freien Grundwasserstand. Aus den Aufschlüssen in Verbindung mit den Anliegeraussagen kann geschlossen werden, dass es in den Hangbereichen nur zeitweise zu grundwasserbedingtem Fremdwasser kommen kann.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Grundlagenerhebungen und der Modellberechnungen ergibt sich als Hauptschwerpunkt der Fremdwasserquellen die Lage des Sammlers

sowie der Ortslagen im Taltiefen. Des Weiteren weisen die Ortslagen nördlich des Sammlers aufgrund der Geologie ein erhöhtes Fremdwasserrisiko auf. Hier ist mit erhöhtem, kurzfristigen Schichtenwasserandrang zu rechnen. Diese führt bei entsprechend langen Ereignissen zu einem Zwischenabfluss, der auch über Dränagen zum Kanal gelangen wird.
Die Berechnungsergebnisse unterscheiden zwischen Oberflächenabfluss, Dränageabfluss und Infiltration. Der Oberflächenabfluss wird im Modell über eine gleichmäßige Verteilung der ermittelten angeschlossenen Fläche und über die Topografie ermittelt. Der Modellschwerpunkt liegt auf der Ermittlung der unterirdischen Fremdwasserquellen, der Oberflächenabfluss wird zur Bilanzbildung mit abgebildet – kann jedoch örtlich nicht zugeordnet werden. Der Unterschied zwischen Dränage und Infiltration zum Kanalbestand liegt in dem entsprechenden Zeitverhalten und der absoluten Größe der Komponente. Die Dränagekomponente reagiert schneller als die Infiltration zu den Kanälen und klingt auch schneller ab. Die gemessenen Ganglinien konnten im Weltersbachgebiet nur mit einem Übergewicht der Dränagen zu den Leckagen nachgebildet werden.

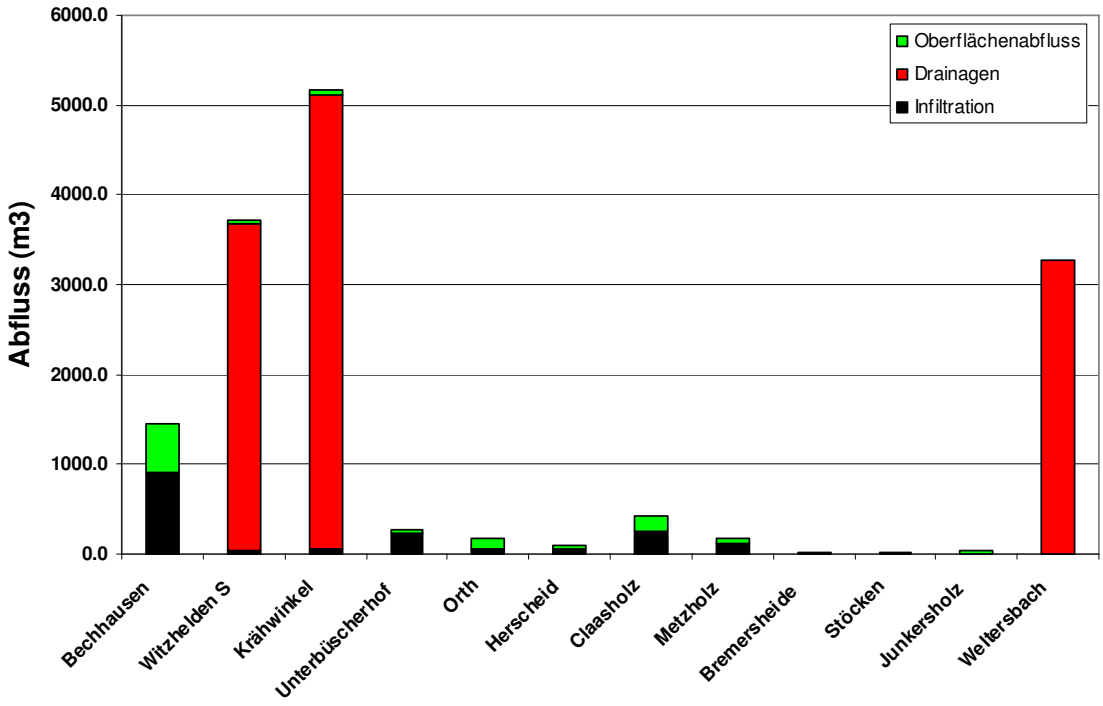


Abb. 6.15: Abflussanteile bezogen auf die Ortslagen

Die oben stehende Abbildung zeigt die Aufteilung auf die Ortslagen im Einzugsgebiet. Deutlich zu erkennen ist der rechnerisch ermittelte hohe Dränageabfluss in den Ortslagen Witzhelden-Süd, Krähwinkel und Weltersbach. In den weiteren Ortslagen ist der Dränageabfluss nicht von Bedeutung.

In der nachfolgenden Grafik wurden die Anteile aus den einzelnen Ortslagen zu den verschiedenen Abflusskomponenten jeweils aufsummiert. Es ist zu erkennen, dass im Gesamteinzugsgebiet der Dränageabfluss mit 53 % und die Infiltration mit 11 % den maßgeblichen Anteil am Fremdwasser stellen. Der Zufluss von versiegelten Flächen macht zwar lediglich einen Abflussanteil von 3 % aus, kann jedoch bei Starkniederschlägen z. B. kurzzeitig zu einer starken Überlastung der Kläranlage führen. Damit ist auch der Abfluss von versiegelten Flächen von großer Bedeutung. Der Abfluss von unversiegelten Flächen liegt bei 7 %, wird jedoch gegenüber dem von versiegelten Flächen verzögerter auftreten.

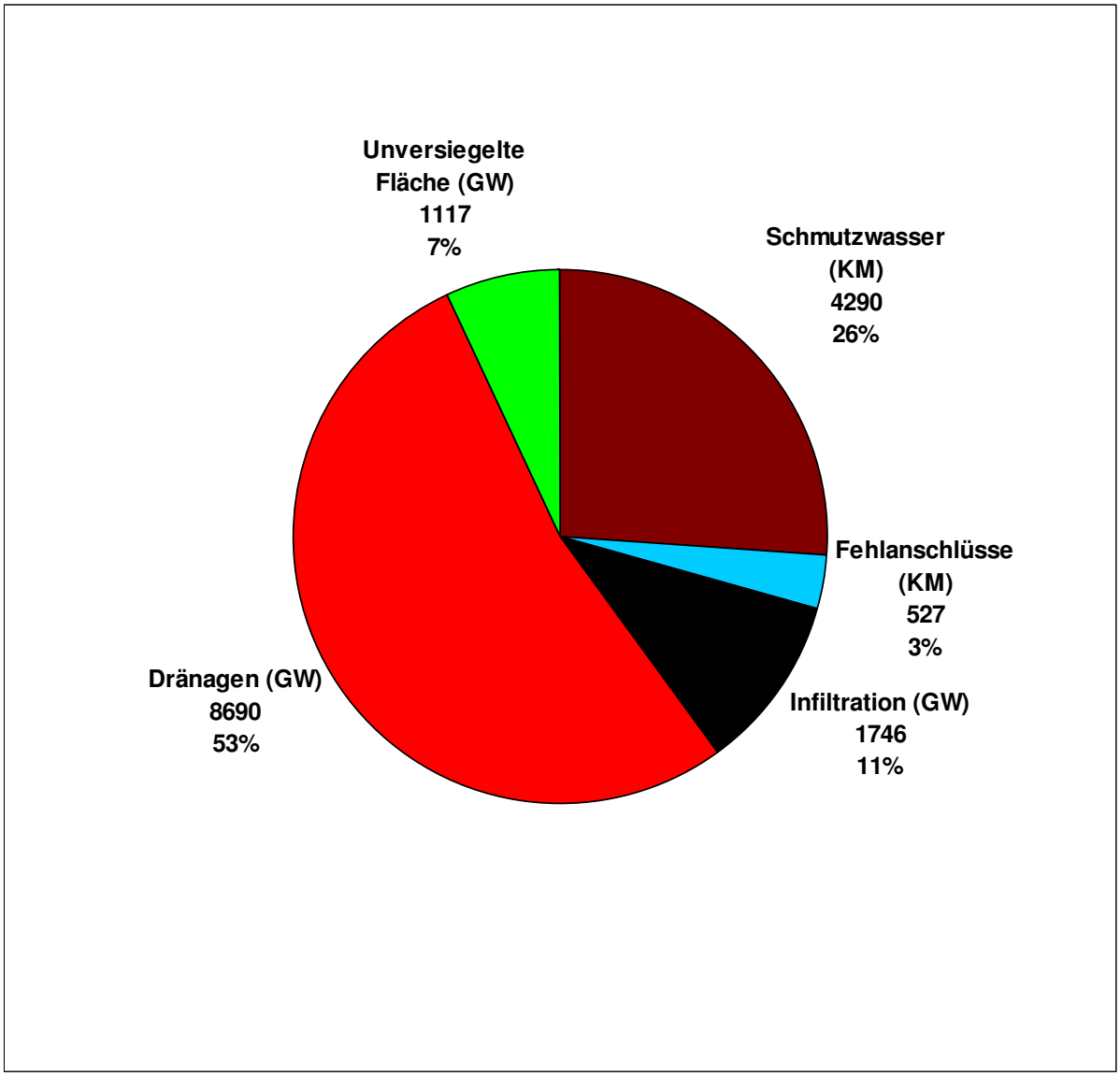


*Abb. 6.16: Abflussanteile am Fremdwasser bezogen auf die Quellen (in m^3 und in % - Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage))**

* GW: Berechnungsergebnisse aus dem Grundwassermodell; KM: Berechnungsergebnisse aus dem Kanalnetzmodell

Um auch die geringeren Abflussanteile am Fremdwasser verdeutlichen zu können, werden in der nachfolgenden Grafik die Abflussanteile in den Ortslagen ohne Dränageabfluss dargestellt.

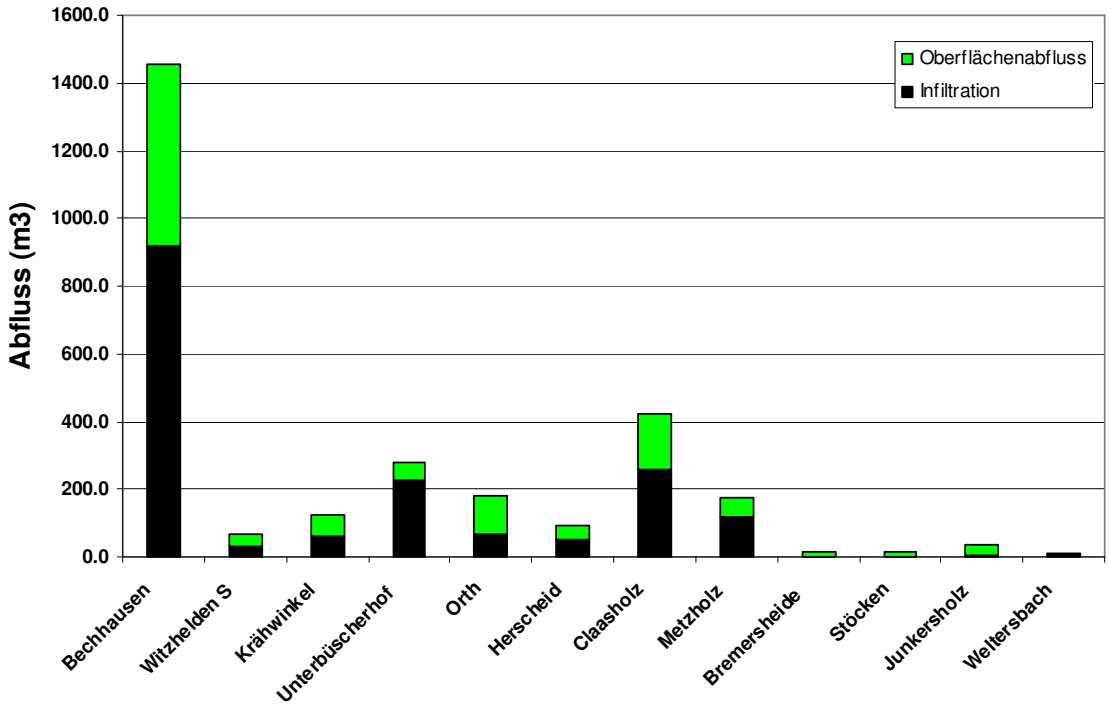


Abb. 6.17: Abflussanteile bezogen auf die Ortslagen (ohne Dränage)

Es ist zu erkennen, dass aus der Ortslage Bechhausen ein relativ hoher Abflussanteil zufließt. Dieser ist für die Abflusskomponente „Infiltration“ durch die Lage im ehemaligen Quellbereich und durch die Größe des Gebietes zu begründen. Der Anteil des Oberflächenabflusses korrespondiert jeweils mit der Größe der jeweiligen Ortslagen und der Topographie (s. GIS-Analyse des Geländemodells).

Die Ergebnisse stellen sich mit der örtlichen Verknüpfung wie folgt dar:

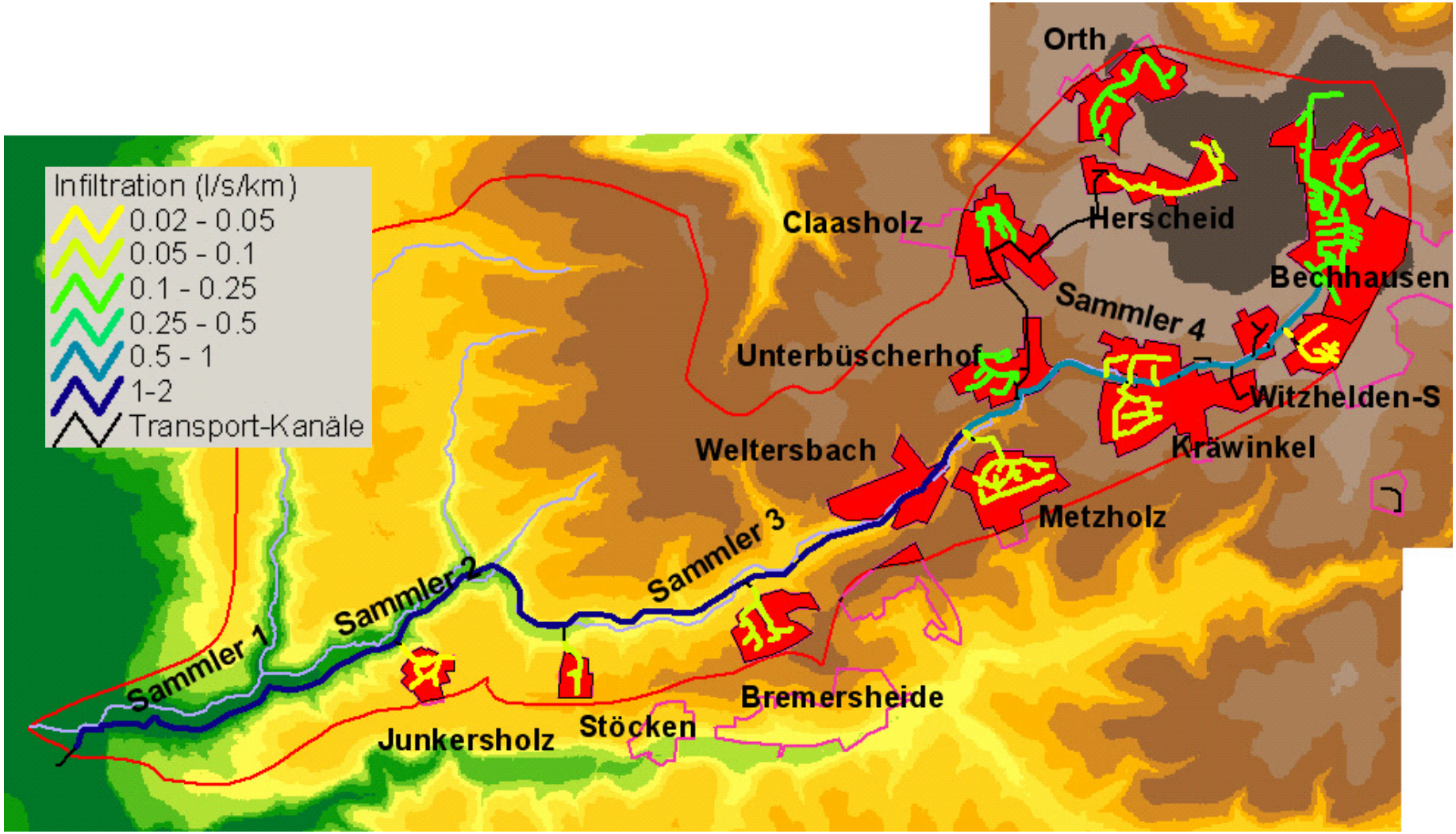


Abb. 6.18: Zutrittsschwerpunktgebiete (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage))

.

Nach Auswertung und Interpretation aller Einflüsse und Gegebenheiten liegt der Fremdwasserschwerpunktbereich in der Trasse des Weltersbachsammlers. Zur weiteren Differenzierung wurde dieser in 4 Teilabschnitte aufgeteilt (Sammler 1 – 4). In den Teilstrecken 1 – 3 liegt der Sammler in weiten Bereichen dauerhaft im Grundwasser. Daher sind diese Bereiche stark fremdwassergefährdet.

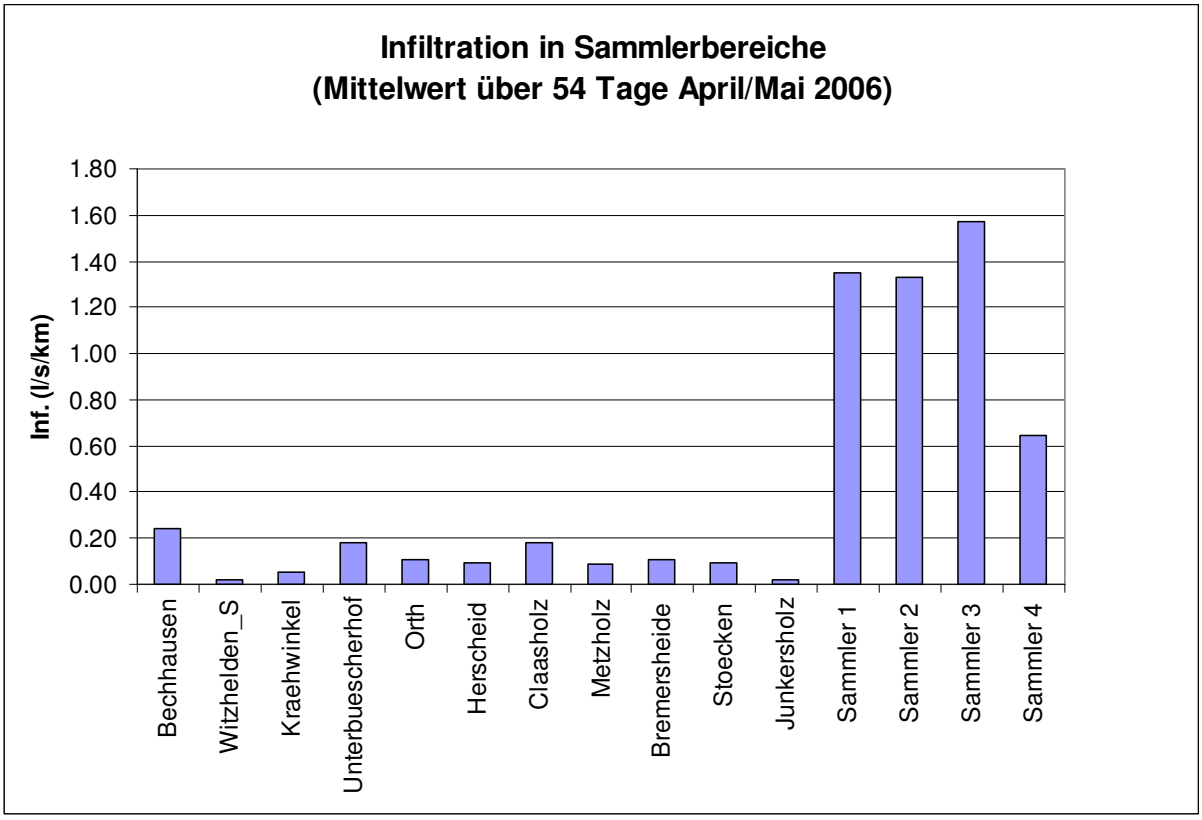


Abb. 6.19: Zutrittsverteilung

Die Abb. 6.19 zeigt die berechnete, abschnittsweise Infiltration in den Weltersbachsammler. Deutlich zu erkennen ist die hohe Belastung der Sammlerabschnitte 1 – 3.

Der Fremdwasserzutritt aus Oberflächenabfluss wird im Modell auf Grundlage des DGM ermittelt. Aus der Abbildung der Topografie werden im Modell Fließwege und Bereiche der Abflußkonzentration errechnet. Sofern diese im Bereich von Schachtbauwerken liegen wird hier ein Oberflächenwasserzutritt berücksichtigt.

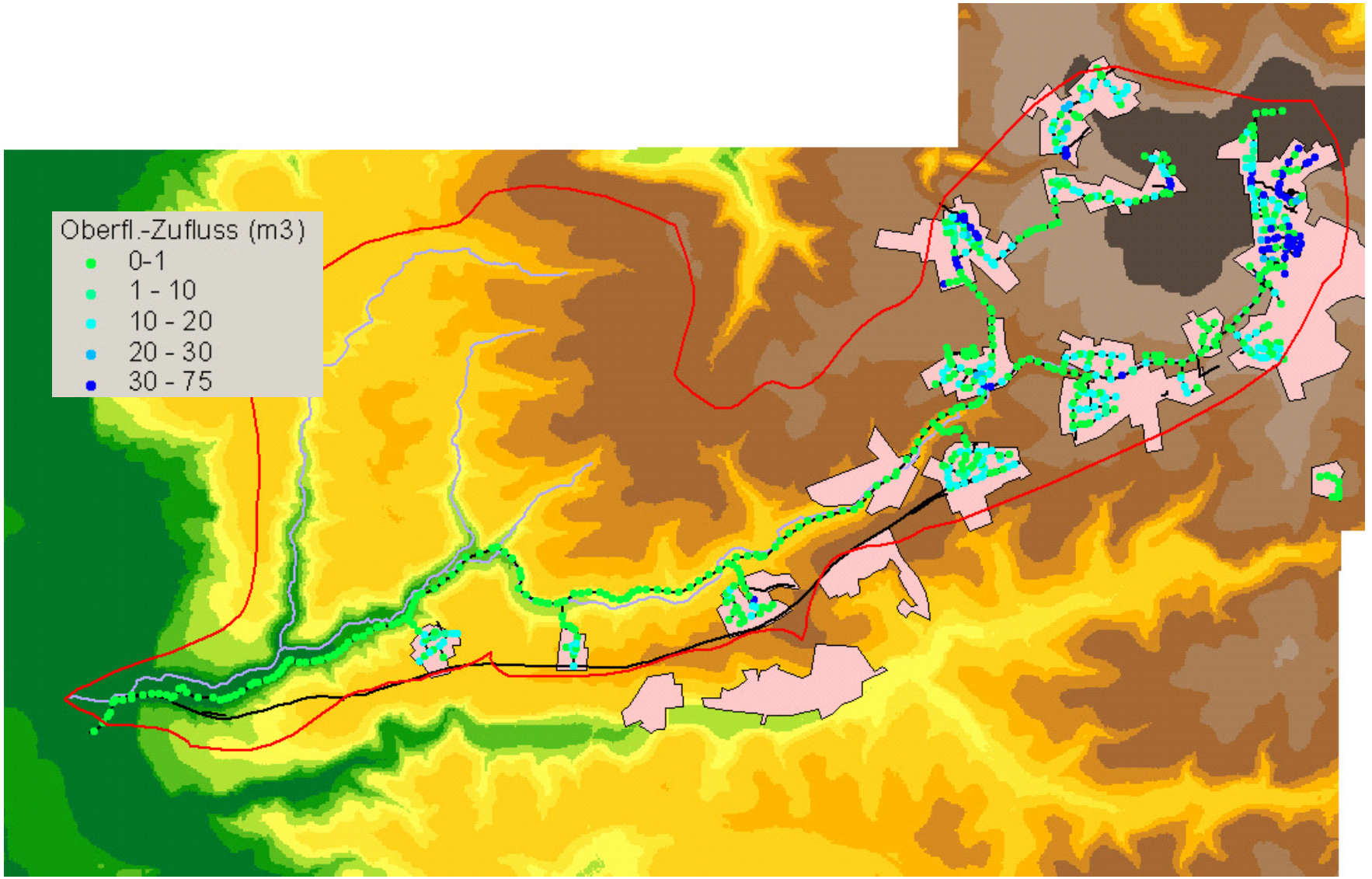


Abb. 6.20: Oberflächenwasserzutritt (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage))

Die Hauptzutrittsgebiete ergeben sich aus der Topografie in den östlichen Einzugsgebieten. Zur Verdeutlichung wird dieses Teilgebiet in der nachfolgenden Darstellung vergrößert abgebildet:

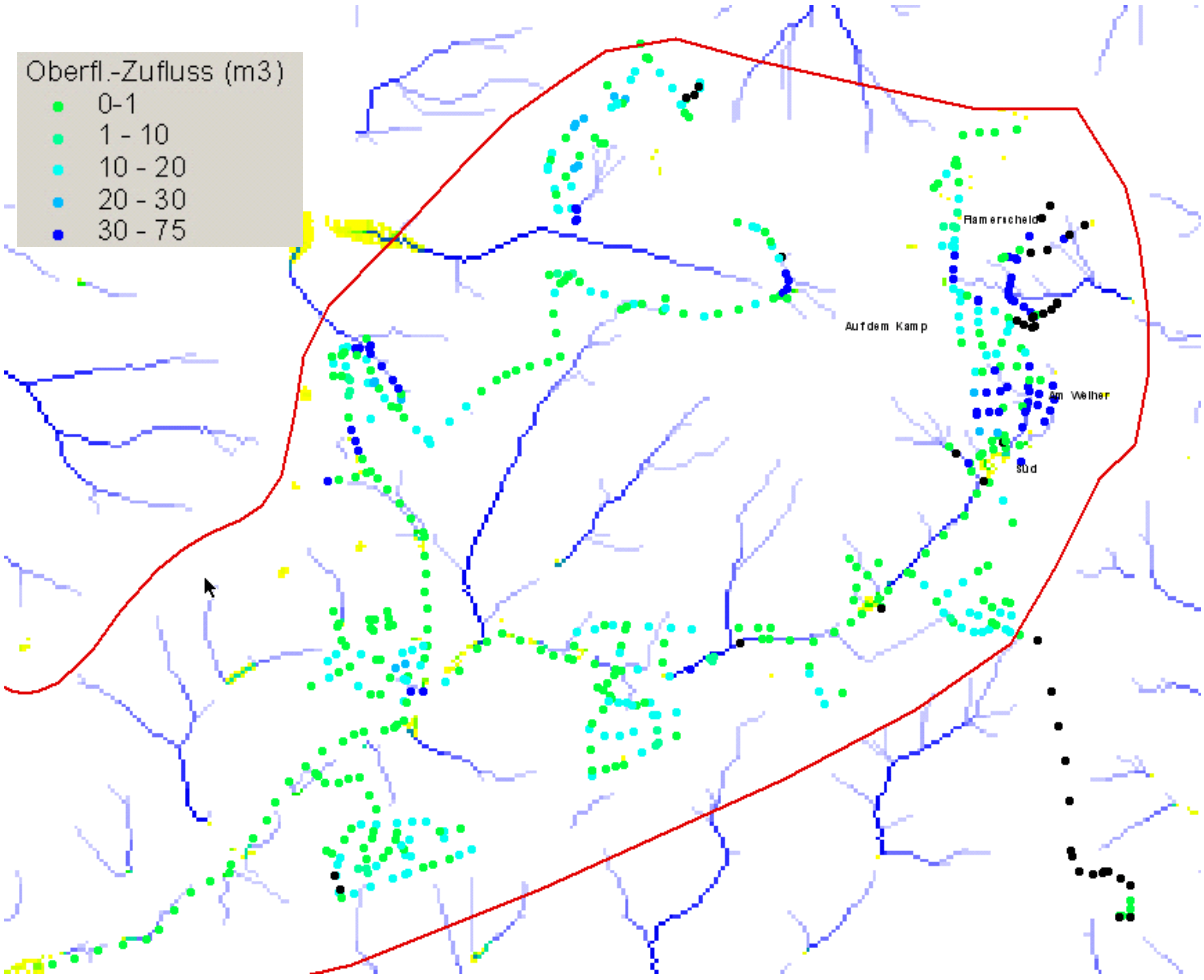


Abb. 6.21: Oberflächenwasserzutritt – Ausschnittvergrößerung (Berechnungszeitraum: 1.4.-25.5.2006 (54 Tage))

Als Hauptzutrittsgebiet stellt sich demnach der Beginn des Weltersbaches dar. Die Topografie in diesem Bereich bündelt den Oberflächenabfluss im Talkopf, in dem die heutige Bebauung Bechhausen entstanden ist. Die Ergebnisse decken sich dabei mit den Verschneidungen im GIS zu Fließwegen und Senken (sh. Abschnitt 6.1.2).

7 BEWERTUNG DER MODELLERGEBNISSE

Mit den vorgenommenen Berechnungen in einem gekoppelten Berechnungsmodell können in einem großräumigen Einzugsgebiet die Abflußverhältnisse gut abgebildet sowie die Fremdwasserschwerpunktgebiete gut lokalisiert werden. Mit den Ergebnissen liegt zugleich eine Entscheidungshilfe vor, in welchen Gebieten ergänzende Messungen sinnvoll sind. Diese sind – auch bei nur kurzen erforderlichen Messzeiträumen – zur weiteren Verifizierung der Berechnungen erforderlich. Auf Grundlage dieser Kurzzeitmessungen konnte die Verteilung des Fremdwasserabflusses im Einzugsgebiet erheblich besser abgebildet werden.

Mit dem Projektansatz, das Modell im Wesentlichen auf vorliegenden Datengrundlagen aufzubauen (DGM, Geologische Karte, …), ist eine weitere z.B. flurstücksscharfe Abgrenzung von Fremdwasserquellen innerhalb von Ortschaften nicht möglich. Hierzu ist die Abbildung im Modell zu grob aufgelöst. Zudem ist zu erwarten, dass auch bei einer kleinräumigeren Datengrundlage (z.B. verdichtete Bodenaufschlüsse) im vorliegenden Einzugsgebiet keine weiteren, tragfähigen Ergebnisse zu erzielen sind.

8 SENSITIVITÄTSANALYSE

Mit der Projektbearbeitung wurden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht, welchen Einfluss der Detaillierungsgrad der Eingangsdaten sowie die Raum-Zeit-Auflösung des Modellsystems auf die Modellergebnisse haben. Beide hängen unmittelbar mit der Rechenzeit des Modells zusammen. Als Ergebnis werden zu den folgenden Punkten Hinweise gegeben, welche Modellauflösungen bei der Bearbeitung von zukünftigen vergleichbaren Anwendungen sinnvoll sind:

8.1 Digitales Geländemodell:

- Bei der GIS-Analyse zeigt die Verwendung des 2*2m Rasters eine bessere Auflösung und daher auch eine bessere Eingrenzung der möglichen Problemstellen als das 10*10m Raster.
- In der GW-Modellierung wird das DGM auf die Auflösung des Rechenmodells aggregiert. Aus den unten angegebenen Gründen betrug das Rechenraster 50*50m. Hier wurde das 10*10m DGM verwendet.
- Da die Genauigkeit der DGM25 und DGM50 für die Aufgabenstellung nicht ausreichend ist, können diese Modelle nicht empfohlen werden.

8.2 Geologische Daten, Bodendaten:

Im Untersuchungsgebiet lagen die Bodenkarte 1:50.000 und die geologische Karte 1:100.000 vor. Detailliertere Informationen waren nicht flächendeckend vorhanden. Von daher erschien eine Auflösung des Rechenmodells von 50*50 m sinnvoll und ausreichend. Eine höhere Auflösung hätte keine zusätzliche Genauigkeit bei der Lokalisierung von Fremdwasserquellen ergeben. Dazu wäre ein im speziellen Fall zudem ein erheblicher Aufwand bei der Ermittlung höher aufgelöster Eingangsdaten erforderlich. Ziel des Projektes war es jedoch, die Eignung des Modells unter Verwendung der vorliegenden Daten zu prüfen.

Bei einer besseren Datengrundlage (z.B. flächendeckendes Vorliegen der landwirtschaftlichen und forstlichen Kartierung 1:5000) ist eine Verfeinerung der Rechennetzes auf bis zu 10*10m möglich.

8.3 Wichtige modellspezifische Parameter

Die Daten der Bodenkarte beschreiben im Allgemeinen die obersten 2m der Erdkruste. Für relativ ebene Untersuchungsgebiete ist diese Information ausreichend. Im vorliegenden Fall war es jedoch notwendig, auch die Informationen der geologischen Karte über das geologische Relief im tieferen Untergrund mit im Modell zu berücksichtigen. Erst mit dieser Information konnten die Beobachtungen durch Probebohrungen (hoher GW-Stand im Taltiefsten und großer Abstand zum Grundwasser in den Hanglagen) modelliert werden.

Einen großen Einfluss auf die Schlüssigkeit der Ergebnisse hatte der Anteil der Makroporen. Durch diese Makroporen wird ab einer gewissen Bodensättigung ein Anteil des Effektivniederschlags unter Umgehung des Bodenspeichers direkt in die gesättigte Zone geleitet. Er beschreibt Wasserwegsamkeiten durch Durchwurzelung, Wurmgänge und ähnliches. Ohne Verwendung dieses Modellbausteins wäre bei den vorliegenden geringen k_f-Werten des Bodens eine sinnvolle Grundwasserneubildung nicht erreicht worden.

9 BEWERTUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT DES VERFAHRENS

Diese Bewertung erfolgt anhand einer vergleichenden Gegenüberstellung des finanziellen Aufwandes zwischen einer rein messtechnischen Ortung von Fremdwasserquellen und einer modellgestützten Ortung.

Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass viele der erforderlichen Daten ohnehin im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie erforderlich werden. Auch die Anwendung eines Modellsystems ist für die Maßnahmenplanung zur Umsetzung der vorgenannten Richtlinie nahezu unumgänglich. Die Kosten für die Daten und den Aufbau des Modellsystems werden daher nicht allein der modellgestützten Lokalisierung von Fremdwasser zugewiesen werden müssen.

9.1 Grundlagenerhebung

Eine Grundlagenerhebung zum Kanalnetz sowie eine Messung am Gebietsende und deren Auswertung sind für eine Problemanalyse in jedem Fall vorzunehmen.

- Die Kosten in beiden Verfahren sind identisch.

9.2 Räumliche Orientierung

Bei der modelltechnischen Lokalisierung erfolgt im Weiteren eine räumliche Orientierung zur Eingrenzung der Oberflächenzuflüsse durch Senken und Mulden. Der anschließende Aufwand für Begehungen kann dadurch stark eingegrenzt werden. Ohne eine räumliche Orientierung im GIS ist der Aufwand für die Begehungen ungleich höher.

- Es kann empfohlen werden eine räumliche Orientierung mit Hilfe von GIS-Daten in jedem Fall vorzunehmen. Die Kosten in beiden Verfahren sind daher identisch.

9.3 Modelltechnik / Messtechnik (bei grundwasserbedingtem Fremdwasser)

Bei einer modelltechnischen Fremdwasserermittlung liegt ein höherer Aufwand im Bereich Modellaufbau und –plausibilisierung vor. Eine messtechnische Unterstützung ist dann nur noch in geringem Umfang erforderlich. Bei guter Datengrundlage und einheitlichen örtlichen Verhältnisse (Grundwassergleichenpläne, homogener Untergrund, nicht stark wechselnde topografische Gegebenheiten) können die Fremdwasserschwerkpunktgebiete bereits durch GIS-Verschneidungen sehr stark eingegrenzt werden. Bei stark heterogenen Verhältnissen ist eine weitere Plausibilisierung über Kurzzeitmessungen in den Teileinzugsgebieten sinnvoll.

Bei der messtechnischen Fremdwasserermittlung müssen ausgehend vom Hauptkanal Messungen bis in die Teileinzugsgebiete vorgenommen werden. Erst durch Messungen in den Verästelungen können Fremdwasserschwerkpunktgebiete eingegrenzt werden.

Zusammengefasst kann empfohlen werden, die Modelltechnik bei folgenden Rahmenbedingungen einzusetzen:

- Die Anteile am FW-Aufkommen aus GW sind bedeutsam (nach Voruntersuchung)
- Der GW-Stand schwankt / weist ein starkes Gefälle auf
- Über die Höhenlage des max. GW-Spiegels liegen nur unzureichende Informationen vor
- Das Kanalnetz ist stark strukturiert (verästelt)
- Es müssen Aussagen über Maßnahmen / Konsequenzen getroffen werden.

Die Lokalisierung über die Auswertung von Messungen im Kanalnetz sollte zum Einsatz kommen bei:

- Fremdwasser aus Oberflächenabflüssen (ergänzend sollten Nebelungen eingesetzt werden).
- Der GW-Stand weist ein flaches Gefälle auf.
- Das Kanalnetz ist einfach strukturiert.

Tabelle 9.1 Entscheidungsmatrix Messen / GW-Modell

Kriterien	**Messen**	**GW-Modell**
Fremdwasser aus GW oder Drainage	+	++
Fremdwasser aus Oberflächenabfluss	+	-
Geringes GW-Gefälle	++	-
Großes GW-Gefälle	o	++
Geringe GW-Schwankungen im Jahr	++	-
Große GW-Schwankungen im Jahr	o	++
Stark strukturiertes Kanalnetz	o	++
Einfach strukturiertes Kanalnetz	++	o

Empfehlung	++
möglich	+
i.d.R. unwirtschaftlich	o
i.d.R. nicht möglich	-

9.4 Auswertung der Ergebnisse, Dokumentation

Bei der modelltechnischen Lokalisierung ist aus dem Berechnungsprogramm heraus eine einfache Auswertung und Dokumentation möglich. Mit dem durchgängigen Lagebezug können die Ergebnisse einfach visualisiert werden. Dies ist bei der Beteiligung von Bürgern und politischen Gremien von wesentlicher Bedeutung.

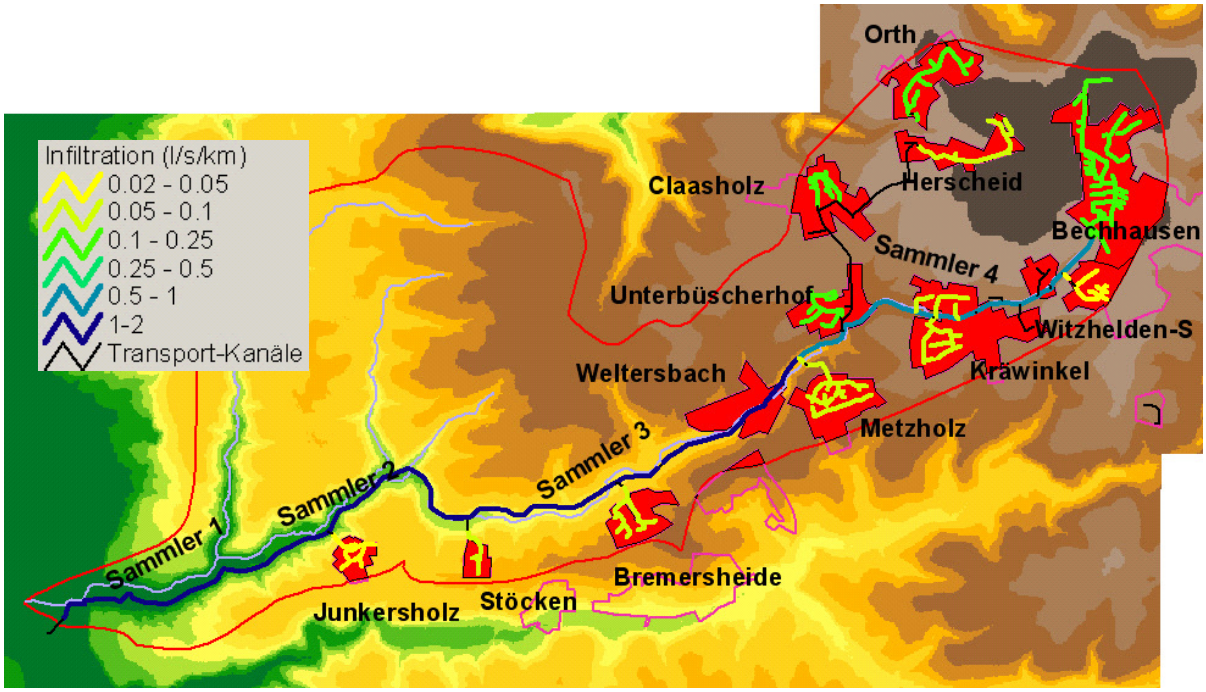


Abb. 9.1: Dokumentation der Zutrittsschwerpunkte

Bei der messtechnischen Lokalisierung ist eine ortsbezogene Visualisierung nicht ohne weitere möglich.

9.5 Ausblick Fremdwassersanierung

Nach der Lokalisierung der Fremdwasserquellen wird eine Sanierung erforderlich. Ziel ist dabei u.a. eine Unterbindung der Dränage- und Leckagezuflüsse in der Kanalisation. Diese ist i.d.R. mit einer Anhebung des Grundwasserstandes verbunden und kann zu Vernässungen in den Kellerbereichen führen. Eine Gefährdungsabschätzung und eine evtl. Bemessung von Ersatzsystemen kann ohne Modelltechnik nicht vorgenommen werden. Somit ist spätestens mit der Erstellung von Sanierungskonzepten in vielen Fällen eine modelltechnische Abbildung erforderlich.

9.6 Kostengegenüberstellung

In der nachfolgenden Tabelle wird der Aufwand für die verschiedenen Möglichkeiten der Fremdwasserortung gegenübergestellt. Folgende Einheitspreise liegen dem zugrunde:

- 500 €/Arbeitstag
- 1.500 €/Langzeitmessstelle u. Monat (bei 3 Monaten Messzeitraum)
- 1.250 €/Langzeitmessstelle u. Monat (bei 12 Monaten Messzeitraum)
- 1.250 €/Kurzzeitmessstelle u. Woche

Tabelle 9.2 Kostengegenüberstellung

	Nr.	Arbeitsschritt	Messtechnische Lokalisierung	Modelltechnische Lokalisierung
Erhebungen	1	Grundlagenerhebung / -aufbereitung Kanalnetz	1.000 €	1.000 €
	2	1. Jahr zentrale Messung am Gebietsausgang	15.000 €	15.000 €
	3	Analyse gemessener Ganglinien	2.500 €	2.500 €
	4	Grundlagenerhebung / -aufbereitung (digitale Daten)	1.000 €	1.000 €
	5	Räumliche Orientierung im GIS (Oberflächenabfluss)	500 €	500 €
	6	Räumliche Orientierung Begehung (Oberflächenabfluss)	1.000 €	1.000 €
		Zwischensumme ohne GW-Modell	**21.000 €**	**21.000 €**
Messung / Modellierung	7	Modellaufbau		5.000 €
	8	Ergänzende Bodenaufschlüsse		6.000 €
	9	Modellberechnungen		5.000 €
	10	Ergänzende zentrale Messung (1 Stck. / 3 Monate)		4.500 €
	11	Ergänzende zentrale Messung (10 Stck. / 3 Monate)	45.000 €	
	12	Ergänzende dezentrale Kurzzeitmessungen	6.500 €	6.500 €
	13	Plausibilisierung des Modells		2.500 €
	14	Auswertung der Ergebnisse	10.000 €	2.500 €
		Zwischensumme Messung / Modellierung	**61.500 €**	**32.000 €**
		Gesamtsumme	**82.500 €**	**53.000 €**

	Kanalnetzlänge: 15000 m		
	Gesamtsumme bezogen auf die Netzlänge [€/m]	**5,5 €**	**3,5 €**

9.7 Zusammenfassung

Bezogen auf die verschiedenen Fremdwasserarten lassen sich die Methoden zur Lokalisierung entsprechend der nachfolgenden Grafik zusammenfassen:

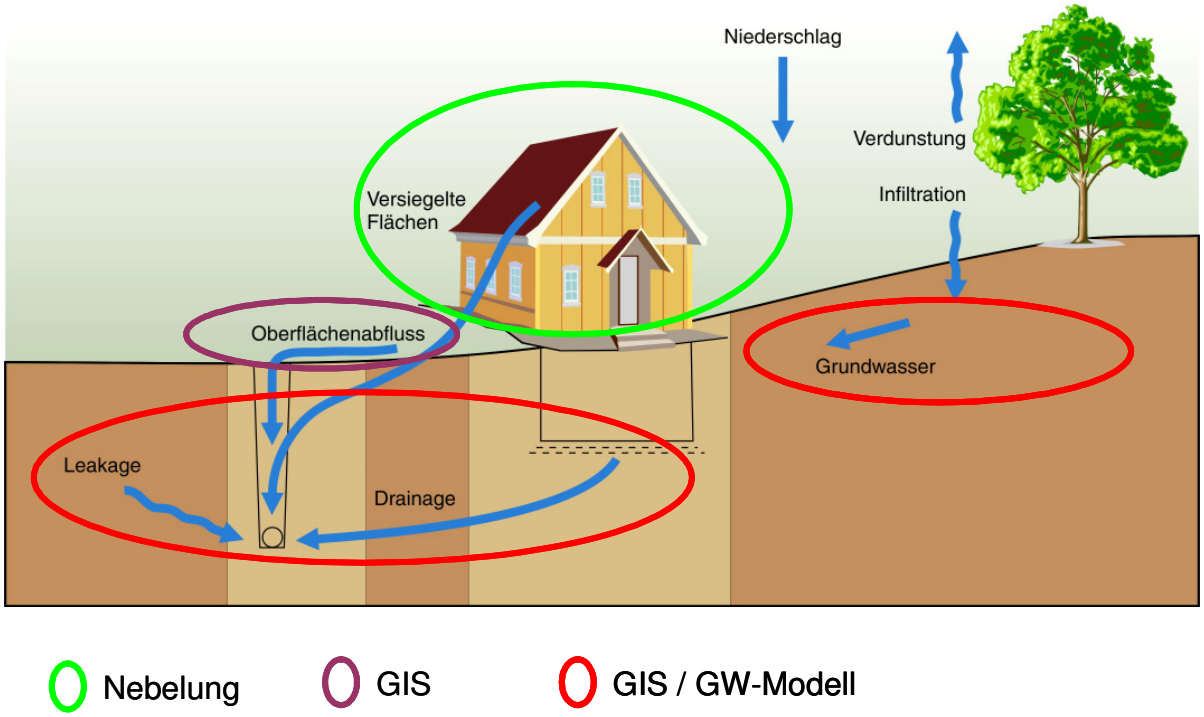


Abb. 9.2: Problembezogene Möglichkeiten zur Fremdwasserlokalisierung

Demnach sind i.d.R.

- Fremdwasserquellen von versiegelten Flächen mit Nebelungen effizient zu lokalisieren.
- Fremdwasserquellen von unbefestigten Oberflächen mit Hilfe von GIS-Auswertungen stark einzugrenzen.
- grundwasserbürtige Fremdwasserquellen durch den Einsatz von Modelltechnik zu lokalisieren (sh. Abschnitt 9.3).

10 HANDLUNGSEMPFEHLUNG ZUR MODELLGESTÜTZTEN LOKALISIERUNG VON FREMDWASSERQUELLEN IN SCHMUTZWASSERKANÄLEN

Die Handlungsempfehlung zur Phase 1 beinhaltet eine für eine allgemein formulierte Problemstellung dargestellte Vorgehensweise zur modellgestützten Lokalisierung von Fremdwasserquellen in Schmutzwasserkanälen. Sie soll auch Auskunft geben über mögliche Anwendungsgrenzen und Problempunkte des Verfahrens.

Tabelle 10.1 Möglichkeiten des Fremdwasserzutritts zu Schmutzwasserkanälen, Einschätzung ihrer jeweiligen mengenmäßigen Bedeutung und Möglichkeiten zur konventionellen Ortung der Fremdwasserquellen sowie Bedeutung der modelltechnischen Unterstützung (Abkürzungen: GW: Grundwasser, OW: Oberflächenwasser, SiW: Sickerwasser)

Möglichkeit des Fremdwasserzutritts		***Bezeichnung***	***Mengenmäßige Bedeutung***	***Konventionelle Ortung***	***modelltechn. Unterstützung***	***Bemerkung***
Zutritt während Trockenwetterphase	**GW-Zutritt** über undichte, in das GW eintauchende Abschnitte des SW-Kanals	$Q_{f,GW,1}$	+	- TV-Befahrung bei max GWSp; in öff. Sammlern möglichst bei min Q_t (Nachtabfluss), im priv. Bereich auch tagsüber - Schachtinspektion bei max GWSp - ergänzend: stichprobenhafte chem.-phys. Analyse des Abwasserstroms bei min Q_t (Temp., LF, Trübung, AFS, BSB_5, CSB, NO_3-N) und Vergleich mit den für Schmutzwasser typischen Werten - Hinweise für längerfristigen Zutritt von GW (bzw. Von SiW): Inkrustration im Zutrittsbereich	GIS / GW-Modell	- hoher zeitlicher Aufwand; Befahrung bzw. Inspektion sollte bei max. GWSp erfolgen, um sämtliche betroffenen Bereiche orten zu können - Aufwand kann auf Bereiche mit GW-Kontakt begrenzt werden → Kenntnis max GWSp erforderlich - GWSp bekannt und im wesentlichen konstant → GIS - GWSp unbekannt bzw. zeitlich variabel→ GW-Modell
	GW-Zutritt über fälschlicherweise an den SW-Kanal angeschlossene, in das GW eintauchende Dränagen von z. B. Bauwerken, Verkehrsanlagen	$Q_{f,GW,2}$	+	wie vor	GIS / GW-Modell	wie vor
	GW-Zutritt über fälschlicherweise an den SW-Kanal angeschlossene GW-Fassungen mit temporärer Schüttung (z. B. Wasserhaltungen)	$Q_{f,GW,3}$	-	- kontinuierliche Messung von $Q_t(t)$ für verschiedene Netzteile der SW-Kanalisation - Generierung einer Schmutzwasserabflussganglinie $Q_s(t)$; Berechnung der Fremdwasserabflussganglinie $Q_f(t)=Q_t(t)-Q_s(t)$ Untersuchung von $Q_f(t)$ auf temp. Abflussspitzen; i. a.. wiederholte Messungen an verschiedenen Netzpunkten erforderlich, um Zuflussort zu lokalisieren	keine	hoher zeitlicher Aufwand, da i. a. mehrere $Q_t(t)$-Messungen für eine Ortung erforderlich sind (Ortung durch sukzessive Eingrenzung der an die Messstelle angeschlossenen Einzugsgebietsfläche) → Kosten-Nutzen Analyse angebracht

Möglichkeit des Fremdwasserzutritts		*Bezeichnung*	*Mengenmäßige Bedeutung*	*Konventionelle Ortung*	*modelltechn. Unterstützung*	*Bemerkung*
Zutritt während bzw. nach Niederschlagsphase	**OW-Zutritt** über Schachtdeckel in den SW-Kanal (i. a. bei/nach Starkregen im Bereich der Hauptfließwege des OW bzw. im Bereich von Mulden)	$Q_{f,OW,1}$	+	Ortsbegehung der Schächte bei Starkregen; ggf. Befragung der Anwohner	GIS	- Ortsbegehung bei Starkregen nur bedingt planbar; Alternative: Befragung Anwohner - Im nicht befestigten Gelände ist eine Eingrenzung relevanter Schächte zur Aufwandsreduzierung möglich → GIS
	OW-Zutritt über fälschlicherweise an den SW-Kanal angeschlossene Flächen (Dächer, Verkehrs- und Hofflächen etc.)	$Q_{f,OW,2}$	+	- Nebelung des SW-Kanals (wirkungslos, wenn die Anschlussleitung auf einer Teilstrecke wassergefüllt ist) - Tracereinleitung in Anschlussleitungen	keine	
	OW-Zutritt über Schächte des SW-Kanals die in Gewässerauen angeordnet sind bei Hochwasserabfluss im Gewässer	$Q_{f,OW,3}$	+	Ortsbegehung in Bereichen mit räumlicher Nähe von SW-Kanal und Fließgewässer	GIS / NAM + Fließgewässermodell, ggf. Kopplung zu Kanalnetzmodell	Aufwand kann auf Bereiche im Überschwemmungsgebiet begrenzt werden → Kenntnis Überschwemmungsfläche erforderlich - bekannt → GIS - unbekannt → NA-Modell + Fließgewässermodell
	OW-Zutritt über fälschlicherweise an den SW-Kanal angeschlossene, dauerhaft oder temporär wasserführende Gerinne	$Q_{f,OW,4}$	o	Ortsbegehung in Bereichen mit räumlicher Nähe von SW-Kanal und Fließgewässer (Vergleich Gewässerkarte/Kanallageplan) bei bzw. nach Niederschlägen (dauerhaft wasserführende Gerinne werden mit erfasst)	GIS	- Ortsbegehung bei Starkregen nur bedingt planbar - zu begehende Bereiche sind häufig aus Unkenntnis der Wasserführung im Gerinnesystem und der Anbindung von Gerinnen an die Kanalisation unklar - Eingrenzung relevanter Bereiche zur Aufwandsreduzierung möglich → GIS
	SiW-Zutritt aus Zwischenabfluss (lateraler Abfluss in oberer Bodenschicht) über undichte Schächte oder undichte Haltungen des SW-Kanals	$Q_{f,SiW,1}$	+	Schachtinspektion nach Regen großer h_N Kanalinspektion vgl. $Q_{f,GW,1}$	z.Zt. modelltechnisch nicht erfassbar	- hoher zeitlicher Aufwand (Inspektion müsste je nach Abflussverzögerung in Bodenpassage ggf. mehrfach erfolgen)
	SiW-Zutritt über fälschlicherweise an den SW-Kanal angeschlossene Dränagen von z. B. Bauwerken, Verkehrsanlagen	$Q_{f,SiW,2}$	-	- TV-Befahrung des SW-Kanals nach Regen großer h_N bei min GWSp und min Qt (Nachtabfluss) - Untersuchung der TV-Daten auf „klarwasserführende“ Einleitungen	z.Zt. Keine modellt. Abbildung möglich	- sehr hoher zeitlicher Aufwand (je nach Abflussverzögerung in Bodenpassage müsste Mehrfachbefahrung erfolgen) - aufgrund der mengenmäßig als gering eingeschätzten Bedeutung von $Q_{f,SiW,2}$ ist o. g. Aufwand i. a. nicht gerechtfertigt

Tabelle 10.2 Abgeleitete Empfehlungen zum Einsatz von Modelltechnik:

- **Modellunterstützung durch GIS** angebracht bei der Ortung von Stellen mit OW-Zutritt (außer $Q_{f,OW,2}$) und für den Fall, dass die Verteilung des max. GWSp im kanalisierten Einzugsgebiet aufgrund von Messungen bzw. Modellrechnungen bekannt ist auch für $Q_{f,GW,1}$ und $Q_{f,GW,2}$
- **Erweiterte Modellunterstützung zur Ortung von überschwemmungsbedingtem Fremdwasser ($Q_{f,OW,3}$) durch gekoppeltes Modell Gewässer (2D) und Kanalnetz)**
- **Erweiterte Modellunterstützung zur Ortung von grundwasserbedingtem Fremdwasser** ($Q_{f,GW,1}$, $Q_{f,GW,2}$) **durch gekoppeltes Modell Grundwasser / Gewässer / Kanalnetz)** für folgende Fälle:
  - Die Anteile von $Q_{f,GW,1}$ bzw. $Q_{f,GW,2}$ am FW-Aufkommen werden nach Voruntersuchungen (z. B. Ganglinienanalyse; s. u.) als bedeutsam eingestuft
  - Der Grundwasserstand schwankt über das Jahr bzw. weist ein starkes Gefälle innerhalb des Untersuchungsbereiches auf
  - Über die Höhenlage des max. GW-Spiegels im kanalisierten Einzugsgebiet liegen nur unzureichende Informationen vor
  - Die topographischen und hydrogeologischen Verhältnisse sind so heterogen, dass aus einigen wenigen, im kanalisierten Einzugsgebiet verteilt eingerichteten GW-Messstellen keine ausreichend genaue Abschätzung der Höhenlage des max. GW-Spiegels getroffen werden kann
  - Das Kanalnetz ist stark strukturiert (verästelt)

- **keine** Modellunterstützung bei der Ortung von $Q_{f,GW,3}$, $Q_{f,OW,2}$ und SiW-Zutritt

Tabelle 10.3 Handlungsempfehlung zur modellgestützten Ortung von Fremdwasserzutritten in Schmutzwasserkanäle

Nr.	Ziel	Methode	erforderliche Informationen	Ergebnis
1.	**GANGLINIENANALYSE zur Abschätzung des Gesamt-FW-Anfalls und zur abschätzenden Zuordnung zu den Zutritts-Pfaden**			
1.1	Generierung einer charakteristischen **Tages-Schmutzwasserganglinie Qs(t)** für den Abfluss im SW-Kanal auf Grundlage selektierter Trockenwetterphasen im Sommerhalbjahr (d. h.: kein Niederschlag, minimale Grundwasseranbindung)	Separation von Trockenwetterphasen (Kriterien: h_N<0,5 mm; Trockenwettervorlauf > 3 Tage); Berücksichtigung von Temp(t) zur Information über Niederschlagsart (Regen, Schnee)	Gemessene Ganglinien in einer zeitlichen Auflösung von wenigen Minuten für folgende Größen: - Niederschlag N(t) (ggf. mehrere Stationen) - Temperatur T(t) (wg. Regen/Schnee) - Abfluss Q(t) im SW-Kanal am Gebietsausgang Empfohlener, den Ganglinien gemeinsamer Betrachtungszeitraum: ≥ 1 Jahr (mindestens: 4 Wochen Kanalabfluss bei Trockenwetter im Sommerhalbjahr, 4 Wochen Kanalabfluss bei Trockenwetter im Winterhalbjahr; Kanalabfluss im Verlauf mehrerer Regenereignisse unterschiedlicher Intensität und Dauer	Separierte Trockenwetterphasen im Betrachtungszeitraum
		Für separierte Trockenwetterphasen: Selektion der minimalen Nachtabflüsse (täglich: 2:00 – 4:00 h)		Separierte Nachtminima des Abflusses im SW-Kanal
		Für separierte Nachtminima des Abflusses im SW-Kanal: - Bestimmung des Minimalwertes des Trockenwetterabflusses; Reduzierung dieses Minimalwertes um „verbleibenden minimalen nächtlichen SW-Abfluss“ gem. Literaturangaben → min Qf(l/s) - Untersuchung von Trends		- min Qf (l/s) - Aussagen über einen jahreszeitlichen Trend in den Nachtminima = Trend im Fremdwasseranfall infolge GW-Zutritt
		Für die separierten Trockenwetterphasen im Sommerhalbjahr (niedriger GW-Stand): Generierung einer für das Sommerhalbjahr charakteristischen tägliche Trockenwetterabflussganglinie Qt(t) durch Mittelung		Für das Sommerhalbjahr (niedriger Grundwasserstand) charakteristische tägliche Trockenwetterabflussganglinie Qt(t) im SW-Kanal
		Reduzierung der für das Sommerhalbjahr charakteristischen täglichen Trockenwetterabflussganglinie Qt(t) um min Qf		Charakteristische tägliche Schmutzwasserabflussganglinie Qs(t) im SW-Kanal
1.2	Ermittlung der **Fremdwasserabflussganglinie Qf(t)** für den Abfluss im SW-Kanal über den gesamten Betrachtungszeitraum	Für den gesamten Betrachtungszeitraum: Qf(t) = Q(t) (gemessen) – Qs(t) (generiert)	- gemessene Abflussganglinie Q(t) - generierte Schmutzwasserabflussganglinie Qs(t) (vgl. 1.1)	Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) über den Betrachtungszeitraum
1.3	Ermittlung/Abschätzung der **Jahresfremdwassermenge** im SW-Kanal für die betrachtete Messstelle	Summation des Fremdwasserabflusses über 1 Jahr bzw. Summation des Fremdwasserabflusses über den Betrachtungszeitraum und Extrapolation auf die Jahresfremdwassermenge	Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) über den Betrachtungszeitraum (vgl. 1.2)	Jahresfremdwassermenge im SW-Kanal für die betrachtete Messstelle

Nr.	*Ziel*	*Methode*	*erforderliche Informationen*	*Ergebnis*
1.4	Abschätzung des Anteils von **GW** am Fremdwasserstrom (vgl. Tab. 1.1)	Analyse der zeitlichen Entwicklung der separierten Nachtminima des Abflusses im SW-Kanal (in Trockenwetterphasen); Annahme: Anstieg in den Wintermonaten erfolgt durch Anstieg des GWSp.	separierte Nachtminima des Abflusses im SW-Kanal (vgl. 1.1)	Aussage über die jahreszeitliche Entwicklung des GW-Zuflusses in die SW-Kanalisation
1.5	Überprüfung auf das Vorhandensein größerer, temporärer **GW**-Einleitungen ($Q_{f,GW,4}$; vgl. Tab. 1.1)	Untersuchung der Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) in Zeiträumen mit Trockenwetterabfluss auf außergewöhnliche, kurzzeitige Abflussspitzen	- Trockenwetterphasen (vgl. 1.1) - Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) (vgl. 1.2)	Aussage über die Einwirkung temporärer GW-Einleitungen
1.6	Abschätzung des Anteils von **OW** am Fremdwasserstrom (vgl. Tab. 1.1)	Untersuchung der Fremdwasserabflussganglinie $Q_f(t)$ in und nach Regenwetterphasen; relevant: Zufluss kurz nach Beginn eines abflusswirksamen N-Ereignisses mit ausgeprägter Spitze (Temperatur beachten: Schnee/Regen)	- Regenwetterphasen (komplementär zu Trockenwetterphasen gem. 1.1) - Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) (vgl. 1.2)	Für betrachtete Niederschlagsphasen: Aussage über den Anteil an OW im Fremdwasserstrom
1.7	Abschätzung des Anteils von **SiW** am Fremdwasserstrom (vgl. Tab. 1.1)	Untersuchung der Fremdwasserabflussganglinie $Q_f(t)$ in und nach Regenwetterphasen; relevant: gegenüber Beginn eines abflusswirksamen N-Ereignisses mäßig verzögerter Zufluss	- Regenwetterphasen (komplementär zu Trockenwetterphasen gem. 1.1) - Fremdwasserabflussganglinie Qf(t) (vgl. 1.2)	Für betrachtete Niederschlagsphasen: Aussage über den Anteil an SiW im Fremdwasserstrom

Nr.	*Ziel*	*Methode*	*erforderliche Informationen*	*Ergebnis*
2.	**GIS-ANWENDUNG zur Eingrenzung potenzieller FW-Zutrittsbereiche**			
2.1	Bereiche mit potenziellem **OW-Zutritt** ($Q_{f,OW,1}$; $Q_{f,OW,3}$; $Q_{f,OW,4}$; vgl. Tab. 1.1)			
2.1.1	Potenzielle Anschlussbereiche von Gerinnen an den SW-Kanal	Verwendung GIS: - Ermittlung oberirdischer Fließwege auf Grundlage des Geländehöhen-Modells (DGM) - Verschneidung der gefundenen Fließwege mit der Lage des SW-Kanalnetzes, ggf. unter Einbeziehung möglicher Überflutungsgebiete bei Hochwasserabfluss im Gewässer	Für das an den SW-Kanal angeschlossene Einzugsgebiet: - DGM (ausreichend: 10m x 10 m) - dig. Lageplan „Stehende Gewässer“ - ggf.: festgesetztes Überschwemmungsgebiet oder Ergebnisse von Wasserspiegellagenberechnungen für Fließgewässer - Lagedaten des SW-Kanalnetzes (Rechts- und Hochwerte, Höhenlage Kanalsohle, Kanaldurchmesser)	- oberirdisches Gerinnesystem (→ Karte mit Fließgewässern ist entbehrlich!) - potenzielle Anschlussbereiche von oberirdischen Fließwegen an das SW-Kanalnetz
2.1.2	Potenzielle Anschlussbereiche von stehenden Gewässern oder wassergefüllten Geländemulden an den SW-Kanal	Verwendung GIS: - Ermittlung von Geländemulden auf Grundlage des Geländehöhen-Modells (DGM) - Verschneidung der Geländemulden mit der Lage des SW-Kanalnetzes - Verschneidung von stehenden Gewässern mit der Lage des SW-Kan.		potenzielle Anschlussbereiche von stehenden Gewässern oder temporär wassergefüllten Geländemulden an das SW-Kanalnetz
2.2	Bereiche mit potenziellem **GW-Zutritt** ($Q_{f,GW,1}$, $Q_{f,GW,2}$)	Verwendung GIS: Verschneidung des max. GWSp. mit: - Höhenlage der SW-Kanalsohle (m+NN) - Höhenlage von Gründungssohlen (m+NN) (Bebauung, Verkehrswege etc.)	Für das an den SW-Kanal angeschlossene Einzugsgebiet: - Verteilung des max. GWSp. (hydrogeologische Karten bzw. Daten) - Flächennutzung (ALK, ATKIS) - Annahmen zur Tiefenlage der Gründungsohlen von Bauwerken, Verkehrswegen etc. unter GOK (Hinweis: Dränpläne i. a. nicht verfügbar → hilfsweise Annahme: in der Gründungssohle von Bauwerken, Verkehrsanlagen etc. ist grundsätzlich eine Dränage vorhanden)	- SW-Kanalstrecken mit Grundwasserkontakt - Potenzielles Dränsystem zur Entwässerung von Gebäuden, Verkehrswegen etc.

Nr.	*Ziel*	*Methode*	*erforderliche Informationen*	*Ergebnis*
3.	**KONVENTIONELLE ORTUNG der FW-Zutritte gem. Tab. 1.1 innerhalb der eingegrenzten FW-Zutrittsbereiche**			
3.1	Orte mit **GW-Zutritt** in den SW-Kanal	Überprüfung anhand der o. g. Kriterien, ob zur Bestimmung des GWSp die Anwendung von MikeSHE sinnvoll ist; Falls „**nein**“: Anwendung konventioneller Ortungsmethoden (Tab. 1.1) in den durch GIS-Anwendung eingegrenzten Bereichen Falls „**ja**“: Anwendung konventioneller Ortungsmethoden (Tab. 1.1) in den durch Einsatz von MikeSHE eingegrenzten Bereichen	Ergebnisse aus 2.2 bzw. Ergebnisse aus 4.4.3	Orte mit GW-Zutritt in den SW-Kanal
3.2	Orte mit **OW-Zutritt** in den SW-Kanal	Anwendung konventioneller Ortungsmethoden (Tab. 1.1) in den durch GIS-Anwendung eingegrenzten Bereichen	Ergebnisse aus 2.1	Orte mit OW-Zutritt in den SW-Kanal
3.3	Orte mit **SiW-Zutritt** in den SW-Kanal	Anwendung konventioneller Ortungsmethoden (Tab. 1.1)		Orte mit SiW-Zutritt in den SW-Kanal

Nr.	*Ziel*	*Methode*	*erforderliche Informationen*	*Ergebnis*
4.	**MODELLGESTÜTZTE ORTUNG**			
4.1	Zusammenstellung gemessener Zeitreihen		Ganglinien gem. 1.1	
4.2	Modellaufbau			
4.2.1	Abgrenzung des ober- und unterirdischen Einzugsgebietes; Randbedingungen	- Abgrenzung des oberirdischen Einzugsgebietes auf Grundlage des DGM - Abgrenzung es unterirdischen Einzugsgebietes auf Grundlage der geologischen Karten und der Lagedaten des Kanalnetzes	- Geländehöhen: DGM (Raster: 10m x 10 m i. a. ausreichend) - Lagedaten SW-Kanal und RW-Kanal - geologische Karten	
4.2.2	"Oberflächenabfluss" (NA-Modell, Fließgewässermodell)	- Nachbildung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses (hydrologisches Modell) - Nachbildung des Abflusstransportes in Gerinnen alternativ durch hydrologisches Modell (vereinfacht) oder Fließgewässermodell (falls Überschwemmungsgebiet ermittelt werden muss; vgl. $Q_{f,OW3}$)	- Geländehöhen: DGM (Raster: 10m x 10 m i. a. ausreichend) - Rauheiten aus Flächennutzungen (ATKIS) - Fließgewässer: Sohlhöhen aus DGM; Querschnitte (ggf.) mit vereinfachter Profilgeometrie	
4.2.3	"unterirdischer Abfluss" (Grundwasser-Modell)	- Wasserbilanz: Niederschlag, Verdunstung - Ungesättigte Zone - GW-Fluss in der gesättigten Zone	- dig. Bodenkarte 1:50.000 - dig. geologische Karte 1:50.000 - Flächennutzung / Vegetation - Randbedingungen	GW-Neubildung Wassergehalt der ungesättigten Zone Dynamische Lage des GW-Spiegels
4.2.4	„Kanalabfluss" (Kanalnetzmodelle für SW- und RW-Kanal)	- hydrodynamische Nachbildung des Abflussprozesses im RW-Kanal (→ zeitlich veränderliche Wassertiefe und Abflüsse) - Hydrodynamische Nachbildung des Abflussprozesses im SW-Kanal (→ zeitlich veränderliche Wassertiefen und Abflüsse	- Lagedaten SW-Kanal und RW-Kanal - Schmutzwasserbelastung aus Belastungsdaten und Ganglinienanalyse	

Nr.	*Ziel*	*Methode*	*erforderliche Informationen*	*Ergebnis*
4.3	Modellkopplung (Oberflächenabfluss, unterirdischer Abfluss, Kanalabfluss)	- Anbindung OW an GW: NA-Modell mit Topografie und Bodenkarte (Aufteilung Oberflächenabfluss / Versickerung) - Anbindung GW an SW- bzw. RW-Kanal über Leakage-Faktor (erste Abschätzung: Baujahr, Bauzustand) - Anbindung GW aus Dränagen an SW-Kanal - Anbindung GW an Fliessgewässer über Leakage-Faktor (erste Abschätzung: 1.0e-6 s^{-1}) - Verschneiden Überschwemmungsgebiet (aus Fließgewässermodell) mit Kanalnetz	- Kanalzustandsinformationen (SW-Kanal, RW-Kanal) - Falls verfügbar: Lageinformationen von Dränagen (ansonsten Annahme: in der Gründungssohle von Bauwerken, Verkehrsanlagen etc. ist grundsätzlich eine Dränage vorhanden)	Zutrittsbereiche von Hochwasser (Fließgewässer) zum SW-Kanal Wasserwirtschaftliches Gesamtmodell für das Einzugsgebiet
4.4	Modellanwendung			
4.4.1	Plausibilisierung des Gesamtmodells; Bestimmung von Startwerten für Kurzzeitsimulationen	- Durchführung von Langzeitsimulationen (Simulationszeitraum: mind. 2 Jahre; Berechnung ohne Kopplung zum Kanalnetz → Reduzierung der Rechenzeit) → Wassermengenbilanz zur Plausibilisierung → Ermittlung von Startwerten für Kurzzeitsimulationen	gemessene GW-Ganglinien	Wasserwirtschaftliches Gesamtmodell mit Startwerten für Kurzzeitsimulationen
4.4.2	Kalibriertes Gesamtmodell	Kurzzeitsimulationen mit Kopplung Kanalnetz zur Anpassung der Modellparameter gem. 4.3 (Vergleich mit gemessenen Abflussganglinien; ggf. Parameteranpassung)	Messungen an ausgewählten Messstellen im SW-Kanalnetz (ggf. auch Kurzzeitmessungen)	kalibriertes wasserwirtschaftliches Gesamtmodell
4.4.3	Differenzierung der Fremdwasserquellen nach Lage und Herkunftswegen	Analyse der Wasserbilanz des Modells nach Komponenten und räumlicher Verteilung		Fremdwasserquellen nach Lage und Herkunftswegen - Mögliche Quellen: - Oberflächenzufluss zu Schächten - Dränage-Zufluss (gesättigte Zone) Infiltration / Exfiltration zu Haltungen (gesättigte Zone) Eine mögliche Kopplung zwischen dem Kanalnetz und der ungesättigten Zone (Zwischenabfluss, Sickerwässer) kann z.Zt. modelltechnisch nicht abgebildet werden

11 QUELLENVERZEICHNIS

DWA-DVWK (2003): „*Fremdwassersituation in Deutschland*“, 1. Arbeitsbericht der DWA-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA – Abwasser, Abfall 2003 (50), Nr. 1.

DWA-DVWK (2004): „*Auswirkung von Fremdwasser und Hinweise zum Erkennen kritischer Fremdwasserverhältnisse*“, 2. Arbeitsbericht der DWA-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA – Abwasser, Abfall 2004 (51), Nr. 6.

DWA-DVWK (2005): „*Konzepte und Maßnahmen zur Lösung von Fremdwasserproblemen*“, 3. Arbeitsbericht der DWA-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA – Abwasser, Abfall 2005 (52), Nr. 5.

DWA-DVWK (2007): „*Rechtliche Aspekte der Fremdwasserthematik*“, 4. Arbeitsbericht der DWA-DVWK-Arbeitsgruppe ES-1.3 „Fremdwasser“, KA – Abwasser, Abfall 2007 (54), Nr. 5.

IKT – Institut für unterirdische Infrastruktur (2001): „*Ermittlung und Eliminierung von Fremdwasserquellen aus Kanalisationsnetzen*“, im Auftrag der Abwasserberatung NRW e. V. Abschlussbericht Juni 2001.

KAISER-HILL COMPANY, L.L.C. (2001): *“Model Code and Scenario Selection Report Site-Wide Water Balance Rocky Flats Environmental Technology Site”,* February 19, 2001.

KRAPF, FRANZ, KREBS (2007): *“Modelltechnische Ansätze zur Ermittlung von grundwasserinduzierten Fremdwasserabflüssen”*, Vortrag Essener Tagung März 2007

MLNU Thüringen – Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Thüringen (2002): „*Strategie zur effizienten Fremdwassererkennung und Schadensbehebung in Abwasserkanälen – Handlungsanleitung für eine effektive Eigenkontrolle*“, Eigenverlag 2002.

PLANUNGSGEMEINSCHAFT FISCHER / PECHER (2004): „*Netzanzeige nach § 58.1 LWG für das Einzugsgebiet Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen*“, im Auftrag des Wupperverbandes, Erläuterungsbericht Mai 2004.