

Leuchtturmprojekt EroL – Erosionsereignisse durch Starkregen im Markgräfler Land

Bericht zur Gefährdungsanalyse (Phase 1)



Foto: Schallbach, Patrick Blau

Projektbearbeiter	Kontaktdaten	Beteiligte
	geomer GmbH Im Breitspiel 11B, 69126 Heidelberg +49 6221 8945841; assmann@geomer.de	Jessica Kempf Dr. André Assmann
	terra fusca ingenieure Billen, Lange & Lehmann PartG für Bodenschutz und Umweltberatung c/o Riedgrasweg 26, 70599 Stuttgart 49 711-4560400, n.billen@terra-fusca.de	Dr. Norbert Billen
	BGU - Büro für Geoinformatik und Umwelttechnik GbR Riehenstraße 51, 79594 Inzlingen +49 7621 792708, patrick.blau@bgu-consult.de	Patrick Blau

Erstellt für

Landratsamt Lörrach

Palmstraße 3

79539 Lörrach

Stand: 19. Jul. 2021

INHALT

Abkürzungen	4
1 Einführung	5
1.1. Hintergrund.....	5
1.2. Aufgabenstellung und Ziel	6
2 Bearbeitungsgebiet	7
3 Datengrundlage	8
4 Eingesetzte Modellsoftware	9
4.1. Erosionsmodell OpenLISEM	9
4.2. Hydraulische Modellsoftware	11
4.2.1. Modellsoftware mit Version.....	11
4.2.2. Rauheitsansatz	11
5 Modellaufbau	13
5.1. Ortsbegehungen und Validierungsgespräche.....	13
5.2. Erosionsmodellierung	16
5.2.1. Aufbereitung des Geländemodells	19
5.2.2. Aufbereitung der Bodendaten	19
5.2.3. Aufbereitung der Landnutzungsdaten	20
5.2.4. Aufbereitung Niederschlagsdaten	23
5.3. Starkregenmodellierung	24
5.3.1. Aufbereitung Geländemodell	24
5.3.2. Verklausungsansätze an Brücken, Verrohrungen und Verdolungen.....	28
5.3.3. Erfassung Entwässerungsinfrastruktur.....	29
5.3.4. Erfassung relevanter Gewässerläufe	30
6 Rechenläufe	31
6.1. Erosion	31
6.2. Starkregen.....	31
7 Dokumentation und Ergebnisse der Gefährdungsanalyse	34
7.1. Erosionsgefahrenkarten.....	34
7.1.1. Erosions-/Sedimentationskarten.....	34
7.1.2. Mengenberechnungen	35
7.2. Starkregengefahrenkarten	36
7.2.1. Überflutungsausdehnungskarten	36
7.2.2. Überflutungstiefenkarten.....	37
7.2.3. Fließgeschwindigkeiten	39
7.2.4. Überflutungsausdehnungsanimationen	41
7.2.5. Ganglinien- und Volumenberechnungen	41
8 Quellenverzeichnis	43
9 Anhang	46

Abkürzungen

ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
ALKIS	Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem
AMEWAM	Agricultural measures for water management and their integration into spatial planning
AUS	Außergewöhnliches Abflussereignis
AWGN	Amtliches Digitales Wasserwirtschaftliches Gewässernetz
BBodSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz)
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BK	Bodenkarte
BodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DGM	Digitales Geländemodell
EroL	Erosionsereignisse durch Starkregen im Markgräfler Land
EXT	Extremes Abflussereignis
FG	Fließgeschwindigkeit
HWGK	Hochwassergefahrenkarten
IGHK	Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte
KE	Kartiereinheit
KLIMOPASS	Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg
KliStaR	Klimaanpassung durch Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Außenbereichen
KOSTRA	Koordinierte Starkregen-Regionalisierungs-Auswertungen
LISEM	Limburg Soil and Erosion Model
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau aus Freiburg
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
OAK	Oberflächenabflusskennwert
RETC	Retention-Curve program for unsaturated soils
SEL	Seltene Abflussereignis
SRGK	Starkregengefahrenkarte
StaLa BW	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
TK	Topographische Karte
TUK	Topographische Übersichtskarte
UA	Überflutungsausdehnung
UT	Überflutungstiefe
V	Verschlämmt

1 Einführung

1.1. Hintergrund

Die Vorbergzone des Schwarzwaldes östlich des Rheins im Norden von Basel ist aufgrund ihrer topografischen und geologischen Gegebenheiten in Verbindung mit der Landnutzung stark erosionsgefährdet. So fanden im Landkreis Lörrach in den vergangenen Jahren immer wieder große Erosionsereignisse bei Starkregen statt. Dadurch ergaben sich neben dem erheblichen Bodenverlust, auch akute Probleme durch Sediment- und Stoffeinträge in Oberflächengewässer sowie durch Gebäude- und Infrastrukturschäden. Gerade erst im Mai und Juli 2018 verursachten Starkregenereignisse im Landkreis Lörrach Erosionsschäden auf den Ackerflächen und Straßen (s. Abb. 1)



Abb. 1: Erosionsschäden auf Acker und abgelagertes Bodenmaterial auf Feldweg in Schallbach im Mai 2018 (Foto: Patrick Blau)

Unter Starkregenabfluss wird das insbesondere bei kurzen sommerlichen Starkregen abfließende Wasser verstanden, das wiederum große Bodenmengen mit sich führen kann. Aufgrund der hohen Niederschlagsintensitäten nutzt das Wasser dabei Wege, Straßen und Geländeeinschnitte als oberirdische Abflusswege und lässt sog. Sturzfluten entstehen. Die Gefährdung bzw. das Risiko ist vor allem durch Öffnungen in Gebäude eindringendes Wasser und dadurch verursachte direkte oder indirekte Beeinträchtigung der Bausubstanz und der Einrichtungsgegenstände gegeben. Die Sturzfluten transportieren außerdem Treibgut (z. B. Holz, Boden, Geröll), das sich u. a. an Verdolungseinläufen, Verrohrungen oder Brücken ansammelt und so einen Rückstau entstehen lässt. Dadurch verlieren die Böden zum einen wertvolles Wasserretentionspotenzial und zum anderen kommt es wiederum zu Überflutungen des umliegenden Geländes, die schwere Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursachen können.

Neben der durch Bodeneigenschaften, Relief und Nutzung beeinflussten Abflussmenge ist vor allem die natürliche oder durch Bauwerke (Verkehrswege, Mauern etc.) bewirkte Konzentration des Oberflächenabflusses sowie evtl. Rückstauphänomene mitsamt starker Bodensedimentation und Gerölltransport für die Schadenswirkung verantwortlich. Besonders kritisch ist der Übergangsbereich von den Außenbereichen zu den eigentlichen Ortslagen.

Im Rahmen des Klimawandels wird erwartet, dass die Extremsituationen und somit auch die Starkregen- und Erosionsereignisse zunehmen. Besonders auch die Kombination von Trockenphasen mit anschließenden konvektiven Niederschlägen erzeugen extreme Abflüsse mit hohen Bodenabträgen.

Aufgrund der geringen Vorwarnzeiten und Ausdehnung von Starkregen- und Erosionsereignissen sowie das geringe Risikobewusstsein der Kommunen und Bevölkerung ist

die Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen erschwert. Aber viele lokale Starkregenereignisse in den letzten Jahren (z. B. Killertal 2008, Glemsgebiet 2010, Bretten und Bonndorf 2015, Biberach oder Braunsbach 2016, Landkreis Lörrach 2016 und 2018) haben bewusst gemacht, dass es auch abseits von fließenden Gewässern zu Überflutungen und Erosionsprozessen mit enormen Schäden kommen kann. Daher wird in Baden-Württemberg die Erstellung von kommunalen Starkregengefahrenkarten inkl. Risikoanalyse und Handlungskonzept gefördert, sofern der „Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ berücksichtigt wird. Zudem sind die Verpflichtungen nach BBodSchG und BodSchV zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion mit geeigneten Maßnahmen einzuhalten, wozu es u. a. in Baden-Württemberg ein ergänzendes Merkblatt gibt (LUBW 2011).

1.2. Aufgabenstellung und Ziel

Als Leuchtturmprojekt soll EroL den Landkreis bei der Anpassung an den Klimawandel maßgeblich unterstützen. Ziel ist zum einen, dass die Synergien der häufig separierten Handlungsfelder "Gefahrenabwehr Bodenerosion" (LUBW 2011) und "Starkregenrisikomanagement" (LUBW 2016) optimal genutzt und integriert dargestellt werden sollen. Zum anderen sollen die 12 beteiligten Kommunen im Landkreis Lörrach bei der Anpassung an den Klimawandel mit Handlungsempfehlungen unterstützt werden.

Das Starkregenrisikomanagement im Leuchtturmprojekt EroL basiert dabei auf dem „Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“. Dieser gibt ein standardisiertes und landesweit einheitliches Vorgehen zur Durchführung von Gefährdungs- und Risikoanalysen bezüglich starkregenbedingter Überflutungen vor. Allerdings werden hier lediglich Schäden, die durch Klarwasser erzeugt werden und Maßnahmen im Siedlungsbereich betrachtet. Im Rahmen von EroL wird das Starkregenrisikomanagement um das Thema „Erosion“ sowie die Außenbereiche erweitert und steht hier im Fokus der Betrachtung.

Das Leuchtturmprojekt ist dabei in folgende Phasen eingeteilt:

- Gefährdungsanalyse (Phase 1)
- Risikoanalyse (Phase 2)
- Handlungskonzept (Phase 3)

Gemäß Beauftragung werden alle drei Phasen des Starkregenrisikomanagementprozesses durchgeführt (s. Abb. 2). In dem vorliegenden Bericht wird die Phase 1, d. h. die Überflutungs- und Erosionsgefährdungsanalyse dokumentiert.

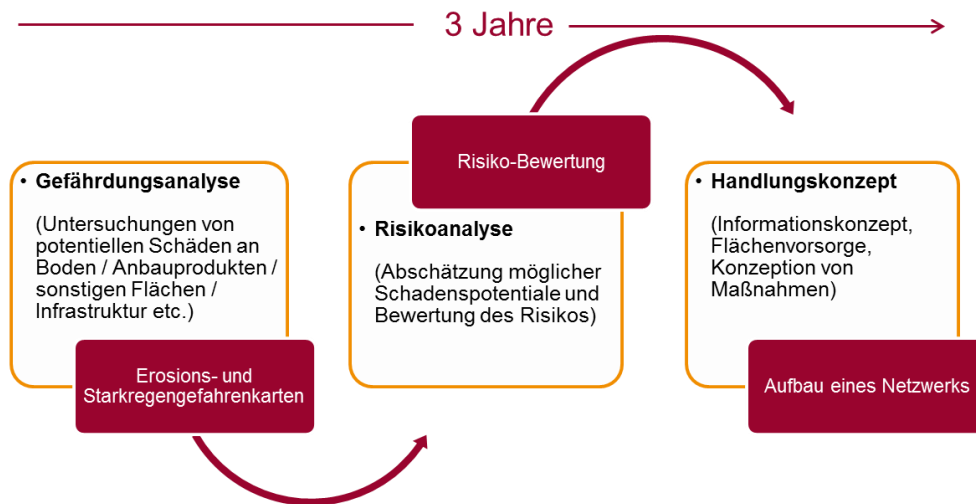


Abb. 2: Schematische Darstellung des Vorgehens bei EroL

2 Bearbeitungsgebiet

Bei der Erstellung der Erosions- und Starkregengefahrenkarten wird unterschieden in Projektgebiet (rote Linie in Abb. 3) und Simulationsgebiet (lila Linie in Abb. 3). Letzteres umfasst eine Größe von ca. 303 km². Da für die Modellierung zusammenhängende Teileinzugsgebiete vorliegen müssen, wurde das Simulationsgebiet teilweise um außerhalb der Kommunalfläche liegende Einzugsgebietsanteile erweitert. Basis waren hierfür die Einzugsgebiete des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL 2016). Das Simulationsgebiet beinhaltet außerdem eine ca. 2 km² Fläche in der Schweiz.

Das eigentliche Projektgebiet ist ca. 243 km² groß, auf das die Abgabedaten dann zugeschnitten werden. Im Landkreis Lörrach sind das die Gemeindegrenzen der an EroL beteiligten 12 Kommunen (s. Abb. 3):

- Bad Bellingen
- Binzen
- Efringen-Kirchen
- Eimeldingen
- Fischingen
- Kandern
- Lörrach
- Rümplingen
- Schallbach
- Schliengen
- Weil am Rhein
- Wittlingen

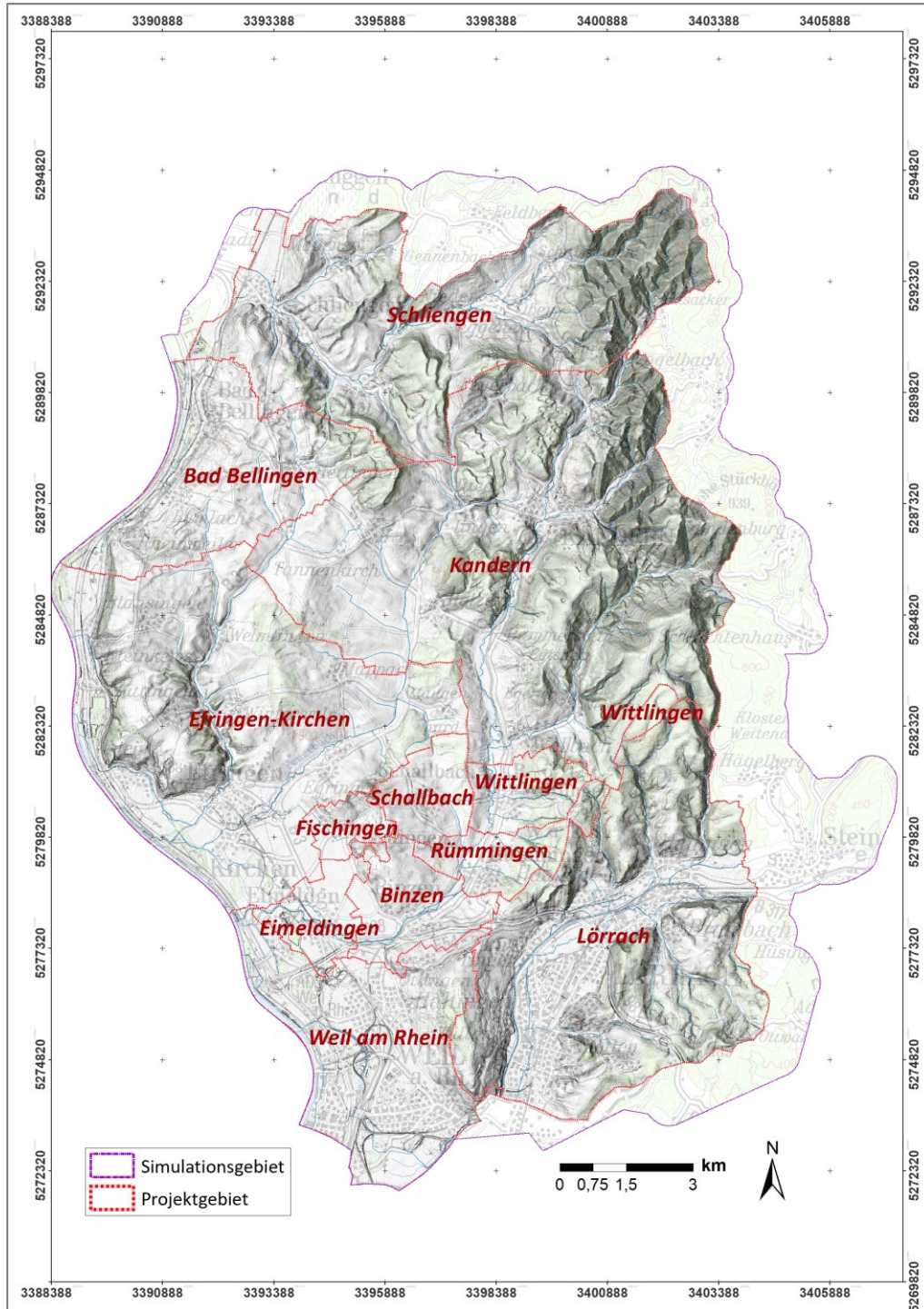


Abb. 3: Übersicht über das Simulations- und Projektgebiet

3 Datengrundlage

Nach dem Starkregen-Leitfaden wird eine projekteinheitliche Datenstruktur vorgeschrieben. Als Grundlage für die hydraulische Berechnung dienen

- die landesweite Laserscan-Daten des Geländemodells in 1-m-Auflösung (HydTERRAIN, Stand 2017),
- die Oberflächenabflusskennwerte (OAK) der LUBW (Auflösung 1 x 1 Meter),

- die Landnutzung und der Gebäudebestand aus dem Liegenschaftskataster (ALKIS) und Landnutzungsinformationen (Basis DLM).

Für die Erosionsmodellierung werden zu den oben genannten Daten (außer die OAK-Daten) folgende Daten benötigt:

- Bodenkarte 1:50.000 (BK50) (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Stand 2015)
- Anbauumfang der Feldfrüchte auf den Ackerflächen im Projektgebiet aus der Agrarstrukturerhebung (Agrarstatistik) mit der Landwirtschaftszählung des Jahres 2016 (<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>)
- Niederschläge aus den KOordinierte-STarkregen-Regionalisierungs-Auswertungen (KOSTRA) des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-DWD 2010R, Junghänel et al. 2017)

Als Hilfsdatensätze z. B. zu Präsentationszwecken und zur Vorbereitung von Ortsbegehungen dienen

- Orthofotos (Stand 2016),
- Amtliches Digitales Wasserwirtschaftliches Gewässernetz (AWGN) (Stand 2017),
- „Rutschungsgebiete“ aus der Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarte (IGHK50) vom LGRB (Stand 2017),
- Bodenerosion mit mittleren langjährigen Abtragsraten nach ABAG (LGRB, Stand 2018)
- Altlasten im Landkreis Lörrach (LGRB, Stand 2018)
- Topografische Karte 1:25.000 (TK25) (Stand 2006),
- Topografische Übersichtskarte 1:200.000 (TUK200) (Stand 2006)

Die OAK-Daten für das ca. 2 km² große Gebiet in der Schweiz wurden wie oben bereits erwähnt mit HydroRAS erzeugt. Die Gebäude und die Landnutzung wurden auf Grundlage von OpenStreetMap digitalisiert.

4 Eingesetzte Modellsoftware

4.1. Erosionsmodell OpenLISEM

Für die Erosionsmodellierung wird das physikalisch-rasterbasierte LISEM (Limburg Soil and Erosion Model), Version OpenLISEM Version 5.0 verwendet (University of Twente 2018). Physikalisch-prozessorientierte Modelle können durch ihre hohe räumliche und zeitliche Auflösung die Prozesse einzelner Starkregenereignisse wiedergeben sowie Erosions-, Transport- und Depositionsflächen in Einzugsgebieten identifizieren. Die zeitliche Auflösung im Erosionsmodell ist frei wählbar, der minimale Zeitschritt liegt bei 1 Sekunde und die maximale Zeitschrittzahl ist unbegrenzt. Dabei kann LISEM folgende hydrologische Prozesse simulieren: korrigierter Niederschlag, Interzeption, Muldenspeicherung, Infiltration (mit unterschiedlichen Ansätzen) und Wasserleitfähigkeit des Bodenprofils, Oberflächen- und Gerinneabfluss. Die Erosionsprozesse gliedern sich in

- Bodenerosion durch Niederschlag (Splash Detachment),
- Bodenerosion durch Oberflächenabfluss (Flow Detachment),
- Transportkapazität und Deposition

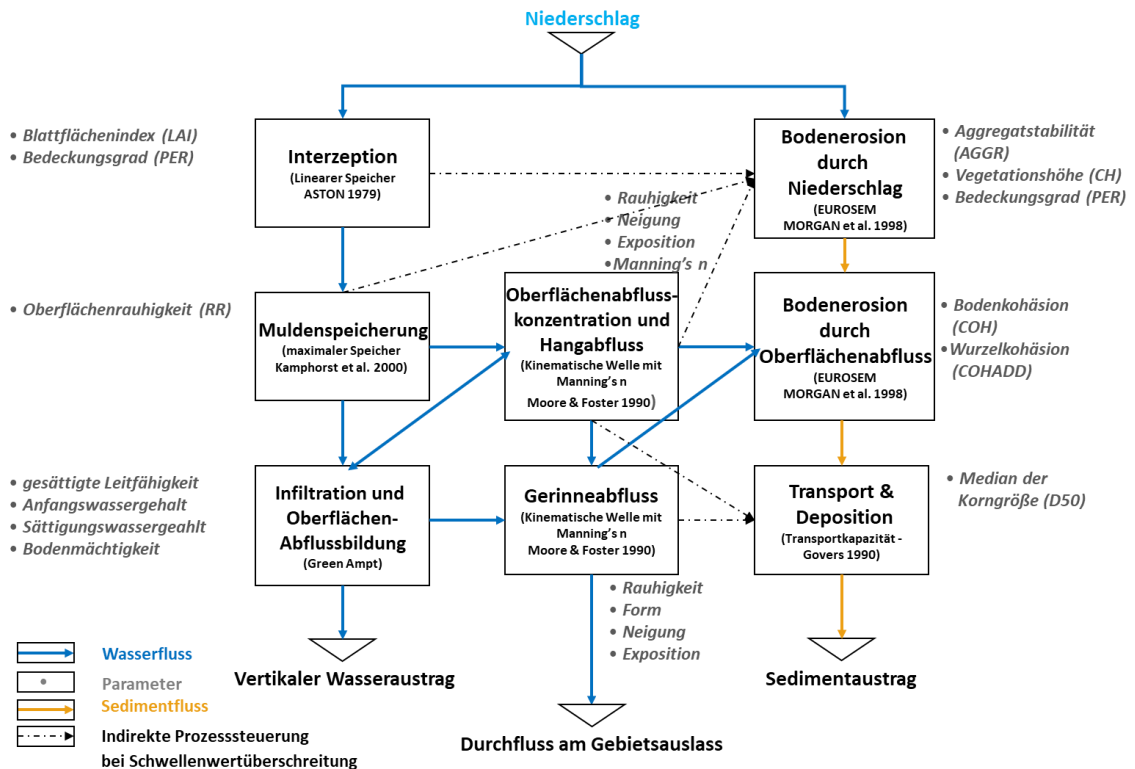


Abb. 4: Prozessablauf und benötigte Parameter in LISEM (nach Jetten 2002, veränd. HÖLZEL 2009)

LISEM, das ursprünglich für die lössgeprägte Provinz Limburg in den Niederlanden entwickelt wurde, ist bereits in zahlreichen, weltweiten Ländern angewendet und validiert worden und frei verfügbar.

Eine Validierung der Sedimentfrachten ist aufgrund fehlender Messdaten nicht realisierbar und selbst bei Aufzeichnungen sehr problematisch. Auch Abflussmengen liegen für die kleinen Einzugsgebiete meist nicht vor. Eine Möglichkeit zur Validierung der Ergebnisse ist ein Modellvergleich.

LISEM wurde bereits in einem Modellvergleich im Rahmen des KLIWA-Kooperationsvorhabens von den Projektbearbeitern als am besten geeignetes Erosionsmodell ermittelt (vgl. Assmann et al. 2009). Im Folgeprojekt „Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen“ kam es dann zum Einsatz, um das gegenwärtige und zukünftige Erosionsrisiko an sensiblen Modellstandorten in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz abzuschätzen (Schipper et al. 2014). Im Teilprojekt „Klimaanpassung durch Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Außenbereichen (KliStaR)“ des Forschungsprogramms „Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg“ (KLIMOPASS) wurde LISEM ebenfalls eingesetzt. Hierbei wurden von geomer in Kooperation mit terra fusca ingenieure (ehemals: bodengut) und der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt in Freiburg Umsetzungsdefizite bei der Klimaanpassung in kommunalen Außenbereichen erfasst und ein Maßnahmenkatalog für eine angepasste Bodenbewirtschaftung und Erhöhung der Infiltration bereitgestellt (Billen et al. 2017). Außerdem wurde das Erosionsmodell von den Projektbearbeitern in weiteren Projekten bereits angewendet und plausibilisiert (Interreg III AMEWAM-Projekt (Agricultural measures for water management and their integration into spatial planning): Assmann et al. 2006, Sedimentangebot des Lippe-Einzugsgebiets – Pilotstudie Seseke: Assmann et al. 2016). Dadurch liegen Erfahrungen und Parameter-Datensätze für Baden-Württemberg vor. Dies sichert eine effektive Anwendbarkeit und zudem verfügbare Vergleichsergebnisse. Aus verschiedenen gemeinsamen Projekten besteht eine enge Verbindung zur Universität Twente, so kann bei Problemen direkt der Entwickler

kontaktiert werden.

4.2. Hydraulische Modellsoftware

4.2.1. Modellsoftware mit Version

Für die hydraulische Berechnung zwecks Abbildung des Starkniederschlagabflusses kommt das Modell FloodArea^{HPC} (Version 10.3), das seit 1999 durch geomer entwickelt und vertrieben wird, zum Einsatz (Modellhandbuch unter www.floodarea.de). Neben verschiedenen Hochwassergefahrenkartenprojekten, großen Atlasprojekten (z. B. Rheinatlas, Oderatlas, Elbeatlas) und operationeller Deichbruchmodellierung wird das Modell seit 15 Jahren im Bereich Starkregen und Dezentraler Hochwasserschutz eingesetzt. Das in Baden-Württemberg als Pilot geltende Projekt an der Glems wurde ebenfalls mit FloodArea gerechnet (Assmann et al. 2012, www.starkregengefahr.de/glems). Auch verschiedene Kunden setzen FloodAreaHPC (High Performance Computing) für die Modellierung von Starkregen-Gefahrenkarten ein (z. B. geo7 für die gesamte Schweiz, www.geo.lu.ch/map/oberflaechenabfluss) oder die China Meteorological Association für operative Starkregen-Modellierung.

Durch die Verwendung der für Parallelprozessierung ausgelegten Version FloodArea^{HPC} (High Performance Computing) ist es möglich, sehr hohe Datenmengen in einem Hydraulik-Modell zu verarbeiten. Zur Berechnung wird das Gesamtgebiet automatisch gekachelt, der Fließübergang zwischen den einzelnen Kacheln erfolgt vollautomatisch. Die Besonderheit ist, dass hier die komplexe Hydrodynamik des Oberflächenabflusses abgebildet wird, also flächiger Abfluss sowie Rückstaueffekte etc. miterfasst werden. Dies erhöht zwar den Rechenaufwand, ermöglicht aber erst eine Ausweisung der gefährdeten Bereiche.

Die Gebietsgröße und die Auflösung sind von der Modellseite nicht limitiert. Mit den aktuell bei geomer verfügbaren Rechnern sind Gebietsgrößen mit bis zu 2 Mrd. Rasterzellen in einer Simulation bearbeitbar.

FloodArea basiert auf einem modifizierten Manning-Strickler-Verfahren in einer virtuellen 16-Nachbar-Umgebung. Trägheits- bzw. Beschleunigungseffekte werden durch eine Mitführung der Geschwindigkeitsvektoren über die Iterationsschritte abgebildet. Die Vereinfachung basiert auf einer Gleichsetzung von Energiespiegellinie mit der Wasserspiegellinie, die Kompressibilität und Temperatureinflüsse werden folglich nicht abgebildet.

Das Pre- und Postprocessing wird unter Verwendung von ArcGIS durchgeführt. Viele dieser Arbeitsschritte liegen bereits automatisiert und erprobt vor, dies gilt insbesondere auch für die eigentliche Steuerung des Modellierungsprozesses mit den Spezifika der durch die LUBW bereitgestellten Abflussmengen (gemäß Anhang 3 des Leitfadens). Diese Automatisierung reduziert deutlich den Arbeitsaufwand und minimiert insbesondere Fehler bei der Abarbeitung. Alle Eingangs- und Ausgangsdaten werden im ESRI-GeoTiff Format erzeugt.

Da FloodAreaHPC eine Eigenentwicklung der geomer GmbH ist, steht das Modell immer in der aktuellsten Version und einer unbegrenzten Anzahl von Lizenzen in der höchsten Leistungsfähigkeit zur Verfügung, d. h. alle verfügbaren Rechenkerne können voll genutzt werden.

4.2.2. Rauheitsansatz

Die Rauheitswerte als ein linear in die Modellberechnung einwirkender Parameter können bei FloodArea^{HPC} entsprechend den für das HEC-RAS Modell verfügbaren Tabellenwerken angesetzt werden. Die verwendeten Rauheiten in ihrer flächigen Anwendung sind in den Modell-Abgabedaten (Modell-Eingangsdaten) enthalten. In folgender Tabelle sind die

zusammengefassten Rauheiten (k_{st} -Werte) auf Basis der übergebenen Landnutzungsdaten zusammengestellt (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell

Nutzung	Rauheit k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Gehölz	3
Wald	4
Landwirtschaft	5
Wohnbaufläche, Grünland, Streuobstwiesen, Sumpf, Friedhof	20
Industrie- und Gewerbefläche	25
Fläche gemischter Nutzung, Tagebau/ Grube/ Steinbruch, Halde, Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	30
Fläche besonderer funktionaler Prägung	35
Unland/Vegetationslose Fläche	40
Fließgewässer und stehende Gewässer	50
Platz	60
Straßenverkehr und Wege	80

Abb. 5 zeigt einen Kartenausschnitt zur verwendeten Rauheit. Versiegelte Flächen (Straßen, Häuser und Plätze) haben entsprechend ihrer glatten Oberfläche die geringste Rauheit und somit den höchsten k_{st} Wert nach Gauckler-Manning-Strickler.



Abb. 5: Kartenausschnitt zur verwendeten Rauheit im Landkreis Lörrach

Die Rauheit ist zudem in DIN A1 Karten dargestellt. Die Karten liegen als PDF im Verzeichnis ...Ergebnisse/Karten/Rauheit als PDF 8336050_Uebersicht_Rauheit_EroL.pdf vor.

Eine tiefenabhängige Rauheit wurde bei der Simulation noch nicht verwendet, da die Simulationen bereits Ende 2018 abgeschlossen waren und diese Änderung des Vorgehens erst ab Juli 2019 verbindlich wurde.

5 Modellaufbau

5.1. Ortsbegehungen und Validierungsgespräche

Die Begehung und Aufnahme der wichtigsten Strukturen im gesamten Bearbeitungsgebiet ist ein, für die Qualität der Ergebnisse bedeutender Punkt. Ebenso muss ein allgemeiner Überblick über die Teileinzugsgebiete erlangt werden, um einen besseren Eindruck über dominierende Prozesse zu erhalten.

Um ein Optimum zwischen Aufwand und Qualität zu erreichen, wird mehrstufig vorgegangen. Für die Darstellung potenzieller Fließwege und möglicher Eintrittswege in Gebäude sind detaillierte Eingangsdaten nötig. Soweit möglich wird dabei auf amtlich verfügbare Daten zugegriffen. Nachdem die digital vorliegenden Informationen (Brücken, Unterführungen etc.) in das Geländemodell integriert wurden, wird eine erste Modellrechnung durchgeführt. Es müssen jedoch einige durch Vor-Ort-Erhebungen ergänzt werden. Neben den Basisdaten sind daher besondere Leitstrukturen zu erfassen, die als Fließweg-Leitbahnen bzw. als Fließhindernisse wirken können. Entlang der sich ausprägenden Fließwege werden die relevanten Strukturen kartiert oder aus den Luftbildern entnommen (z. B. Verlauf von Mauern, Durchlässe). Dies sind z. B.:

- Höhe und Beschaffenheit von Mauern (Durchlässigkeit)
- Verlauf und Durchmesser von bedeutenden Rohrdurchlässen
- Einläufe in das Kanalnetz
- Sprunghöhe von relevanten Bordsteinen

Einfache Messungen von Mauer- oder Bordsteinhöhen können dabei direkt durchgeführt werden. Besonders werden dabei bereits Bereiche betrachtet, in denen Risikoelemente oder Muldensituationen bekannt sind. Durch georeferenzierte Fotodokumentation lassen sich diese Informationen auch in den weiteren Bearbeitungsphasen gut nutzen.

Für den Landkreis Lörrach fanden im April 2018 an fünf Tagen Begehungen im Rahmen der Starkregenmodellierung statt. Nach der Integration der Strukturen wurde ein weiterer Rechenlauf für die Starkregensimulation durchgeführt (s. Abb. 6).

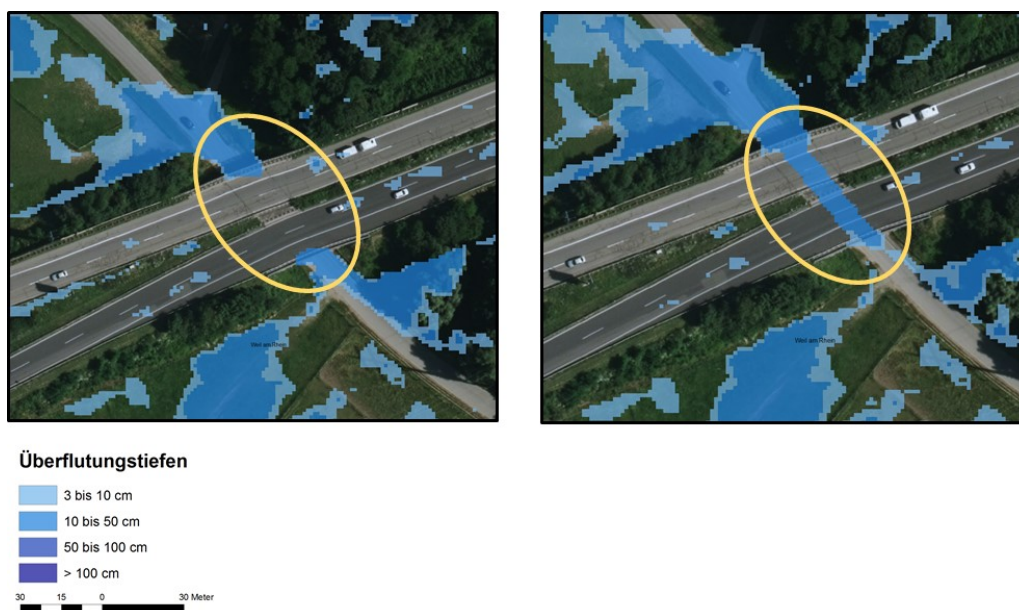


Abb. 6: Links: Vorsimulation ohne Einbau der Unterführung in die Eingangsdaten führt zu unrealistischen Aufstauen des Abflusses. Rechts: Unterführung ist eingebaut, so dass der Abfluss weiterfließen kann

Zusätzlich zu den Begehungen für die Erstellung der Erosions- und Starkregengefahrenkarten wurden an drei Tagen Starkregenereignisse dokumentiert, die im Mai, Juni und Juli 2018 im Projektgebiet stattfanden und u. a. erhebliche Bodenerosion verursachten, u. a. in Schallbach, Efringen-Kirchen, Kandern, Binzen und Bad Bellingen (s. Abb. 7).

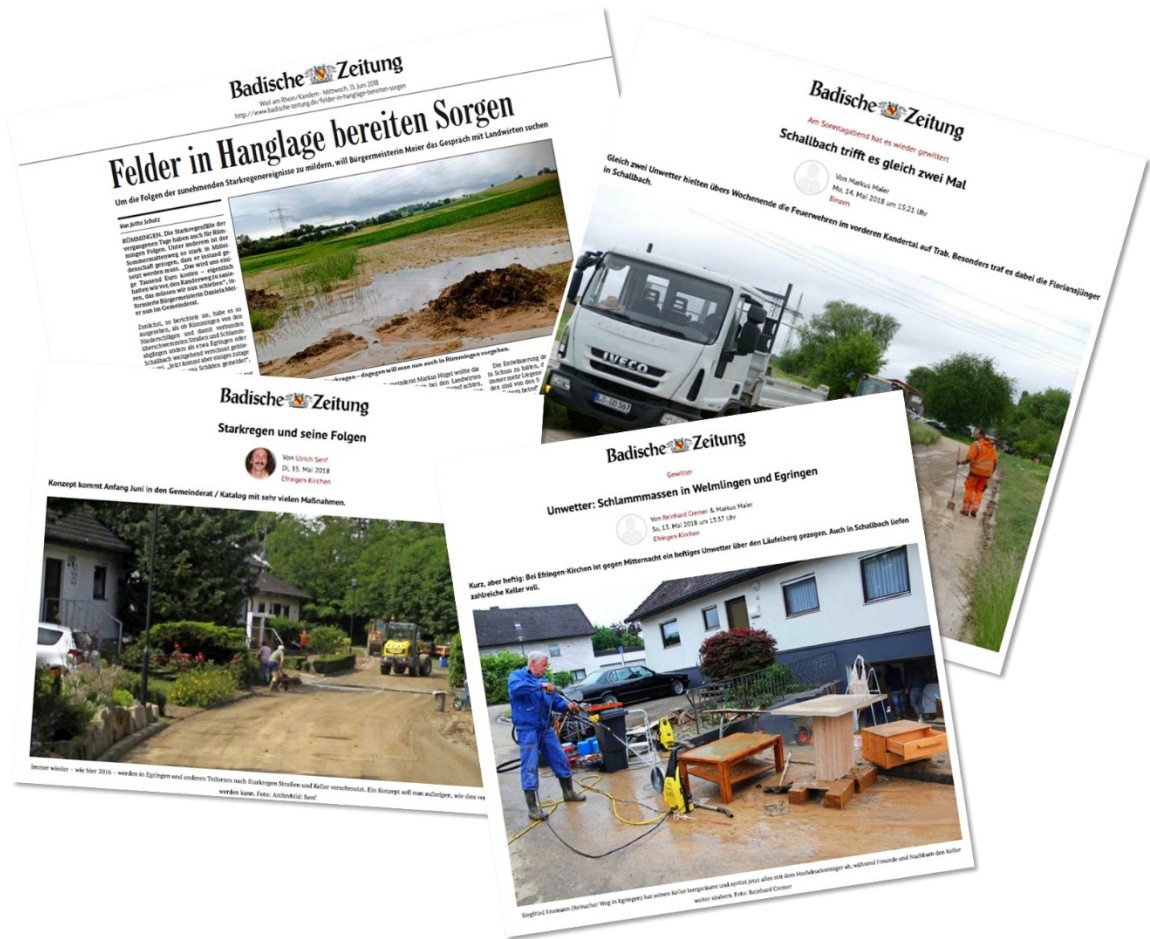


Abb. 7: Zeitungsartikel zu den Starkregenereignissen im Mai, Juni und Juli 2018 im Projektgebiet

Hier konnten durch die Begehung bereits Problembereiche mit den erzeugten Erosions- und Starkregengefahrenkarten zu Validierungszwecken abgeglichen und für die spätere Risikoanalyse identifiziert werden (z. B. Egringen und Schallbach, s. Abb. 8 und Abb. 9).



Überflutungstiefen

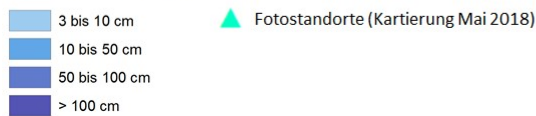
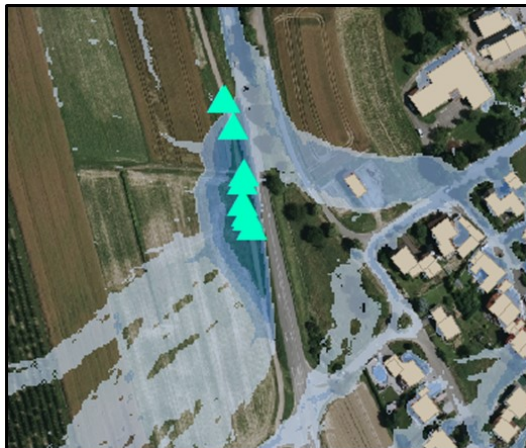


Abb. 8: Ereignisdokumentation Mai 2018 in Egringen, links: Überflutungstiefen mit Luftbildhintergrund, rechts: deutliche Erosionsspuren im Acker (Foto: Patrick Blau)



Überflutungstiefen

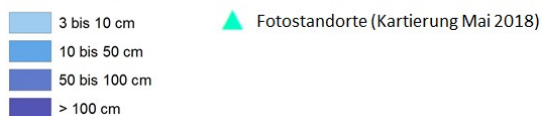


Abb. 9: Ereignisdokumentation Mai 2018 in Schallbach, links: Überflutungstiefen mit Luftbildhintergrund, rechts: Akkumulationsspuren auf dem Feldweg (Foto: Patrick Blau)

Für die Datenerfassung werden die Ergebnisse der ersten Vorsimulation und Ortsbegehungen ausgewertet, um sicherzustellen, dass in den besonders relevanten Bereichen alle wesentlichen Strukturen erfasst wurden. Problematische Stellen und weitere Rückmeldungen z. B. zu geplanten Neubaugebieten, fehlenden Gebäuden, geänderten Verkehrswegen oder Nutzungsänderungen wurden bei jeweils drei gemeinsamen Workshops zur Validierung der Starkregengefahrenkarte am 10./11.09.2018 sowie der Erosionsgefahrenkarten am 13./14.03.2019 mitgeteilt (s. Abb. 10).



Abb. 10: Validierungsgespräche. Links: Starkregengefahrenkarte in Efringen-Kirchen am 11.09.2018. Rechts: Erosionsgefahrenkarte in Binzen am 14.03.2019

Die Rückmeldungen wurden entsprechend bearbeitet und in die Simulationsdaten (DGM, Landnutzung, Gebäude) integriert.

5.2. Erosionsmodellierung

Das Pre- und Postprocessing bei der Erosionsmodellierung wird unter der Verwendung von ArcGIS durchgeführt. Die Daten werden dabei in ein Raster mit einer Auflösung von 5 x 5 m umgewandelt, da die Erosionsmodellierung im Gegensatz zum 1-Meter-Raster bei der Starkregenmodellierung im 5-Meter-Raster erfolgt. LISEM benötigt die ESRI-GeoTiffs schließlich im sog. PCRaster-Format (*.map). Bei PCRaster handelt es sich um ein kostenfreies Geographisches Informationssystem, das sich auf die Verarbeitung von Rasterdaten konzentriert (Van Deursen und Wesseling 1992). Für die Konvertierung wird ein von geomer entwickelter Konverter („Grid2Raster“-Werkzeug) verwendet, in dem der Datenaustausch automatisiert erfolgt. Dies geschieht über den Aufruf einer Programmbibliothek (Geospatial Data Abstraction Library – GDAL), die verschiedene geographische Rasterformate umwandeln kann (<http://www.gdal.org/>).

Als Basiskarten für die Erosionsmodellierung dienen das Digitale Geländemodell, die Nutzungs- und die Bodenkarte. Alle weiteren Eingabekarten für LISEM werden aus den Basiskarten und aus Parametertabellen (*.tf) in PCRaster erstellt. LISEM benötigt Karten zu den Themen Einzugsgebiet, Vegetation und Landnutzung, Bodenoberfläche, Erosion und Infiltration. Des Weiteren werden für die Erzeugung der Landnutzungs-, Vegetations-, Bodenoberflächen- und Erosionskarten verschiedene Parameter benötigt. Diese sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Die Parameterwerte sind teilweise monatsabhängig (z. B. Vegetationshöhe, Blattflächenindex). Sie basieren überwiegend auf Literaturwerten und beziehen sich auf den Ist-Zustand, d. h., es erfolgt keine Anpassung für die Zukunft (s.

Tab. 2).

Tab. 2: LISEM-Eingabekarten und deren Quellen (verändert nach University of Twente 2018, s. 96 ff.):

Kartenname	Beschreibung	Einheit	Wertebereich	erstellt aus	(Literatur)quellen
Einzugsgebietskarten (General catchment maps)					
DGM	Digitales Geländemodell	m	$x \in \mathbb{R}$	DGM geoTIFF	-
GRADIENT	Sinus der Hangneigung in Fließrichtung	m/m	$x \in \mathbb{R}, x > 0$	dgm.map	-
LDD	Fließrichtung	-	$x \in \mathbb{N}; 0 < x < 10$	dgm.map	-
OUTPOINT	Ausgabe von Abflussganglinien an beliebig vielen Zellen	-	$x \in \mathbb{N}$	Eintrittspunkte	-
OUTLET	Hauptgebietsauslass	-	$x \in \{0, 1\}$	ldd.map	-
ID	Fläche der virtuellen Niederschlagsstationen	-	$x \in \mathbb{N}$	Einzugsgebietsmaske	-
Landnutzungs- und Vegetationskarten (land use and vegetation maps)					
USE	Klassifikation der Landnutzung mit Feldfruchtverteilung auf den Ackerflächen	-	$x \in \mathbb{N}$	BasisDLM + Agrarstatistik	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2017)
LAI	Blattflächenindex	m ² /m ²	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + lai.tf	Bronstert et al. (2000), Hough (1990), Schrödter (1985), Menzel (1997), Oehmichen (1986)
PER	Vegetationsbedeckungsgrad	m ² /m ²	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x \leq 1$	use.map + per.tf	Bronstert et al. (2000), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (1996)
CH	Vegetationshöhe	m	$x \in \mathbb{R}, 0 < x$	use.map + ch.tf	Bronstert et al. (2000)
ROADWIDTH	Straßenbreite	m	$x \in \mathbb{R}, 0 < x < Cxy$	use.map + roadwidth.tf	-
Karten zur Bodenoberfläche (soil surface maps)					
N	Rauigkeitsbeiwert nach Manning	Kehrwert von m ^{1/3} /s	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + n.tf	Stolte (2003), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (1996), De Roo (1994), Gerlinger 1997, University of Twente (2018)
RR	Oberflächenrauigkeit	cm	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + rr.tf	Stolte (2003), University of Twente (2018)
STONEFRC	Zellen, die mit Steinen bedeckt sind	-	$x \in \mathbb{R}, 0 < x < 1$	id.map - 1	-
Erosions-/Depositionskarten (erosion maps)					
AGGRSTAB	Aggregatstabilität	-	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + aggr.tf	Stolte (2003), De Roo (1994), University of Twente (2018)
COH	Bodenkohäsion	kPa	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + coh.tf	Stolte (2003), De Roo (1994), University of Twente (2018)
COHADD	Wurzelkohäsion	kPa	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	use.map + cohadd.tf	Stolte (2003), De Roo (1994), University of Twente (2018)
D50	Mittlerer Korndurchmesser	µm	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	profile.map + d50.tf	Bodenkarten, -profile, BGR (2005)
D90	90 % Korndurchmesser	µm	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	profile.map + d90.tf	Bodenkarten, -profile, BGR (2005)

Green&Ampt Infiltrationskarten und –eingabe für 2 Bodenschichten (infiltration maps)					
PROFILE	Klassifikation der Bodeneinheiten	-	$x \in \mathbb{N}$	BK 50	-
KSAT	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit	mm/h	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	profile.map + ksats.tf	Renger et al. (2008), Van Genuchten et al. (1991), Bodenkarte, BGR (2005)
PSI	Matrixpotential an der Feuchtefront	cm	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	profile.map * 200	
Theta s	Sättigungswassergehalt	-	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x \leq 1$	profile.map + thetas.tf	Renger et al. (2008), Van Genuchten et al. (1991), Bodenkarte, BGR (2005)
Theta i	Anfangswassergehalt	-	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x \leq 1$	profile.map * 0,4	Renger et al. (2008), Van Genuchten et al. (1991), Bodenkarte, BGR (2005)
DEPTH	Bodenmächtigkeit	mm	$x \in \mathbb{R}, 0 \leq x$	profile.map + depth.tf	Bodenkarte

5.2.1. Aufbereitung des Geländemodells

Während die Starkregen-Simulation mit dem 1 m Raster durchgeführt wurde, wurde für die Erosionsmodellierung das DGM in ein 5 m Raster konvertiert. Für ein Resampling in eine gröbere Auflösung (vom 1 m in 5m Rasterweite) wurden folgende Anforderungen definiert:

1. Allgemeiner Erhalt von Verkehrs- und Gewässerstrukturen, wobei Verkehrswege als Fließhindernisse vor Gewässerstrukturen priorisiert werden. Dies ist dann relevant, wenn die Entfernung zwischen zwei linearen Elementen kleiner ist als die Rasterweite.
2. Die Durchgängigkeit von Fließhindernissen und Gewässerachsen ist bei der Rasterisierung von linienhaften Elementen zu gewährleisten.
3. An Schnittpunkten zwischen Verkehrs- und Gewässerachsen (Brücken, Verdolungen) sind die Verkehrswege zu durchbrechen und die niedrigen Geländehöhen des Gewässers für den Durchbruchbereich zu übernehmen.
4. Unterführungen an Straßenkreuzungen sind zu identifizieren, um ebenfalls niedrigere Geländehöhen übernehmen zu können.

Für die Übernahme von relevanten Geländestrukturen in eine gröbere Rasterauflösung wurden die oben genannten Anforderungen, nach den in Abb. 11 dargestellten Prioritäten, übereinander gelagert und mit dem originalen Geländemodell zusammengeführt. Schließlich wurde das GeoTIFF in das für LISEM notwendige PCRaster-Format konvertiert (dgm.map).

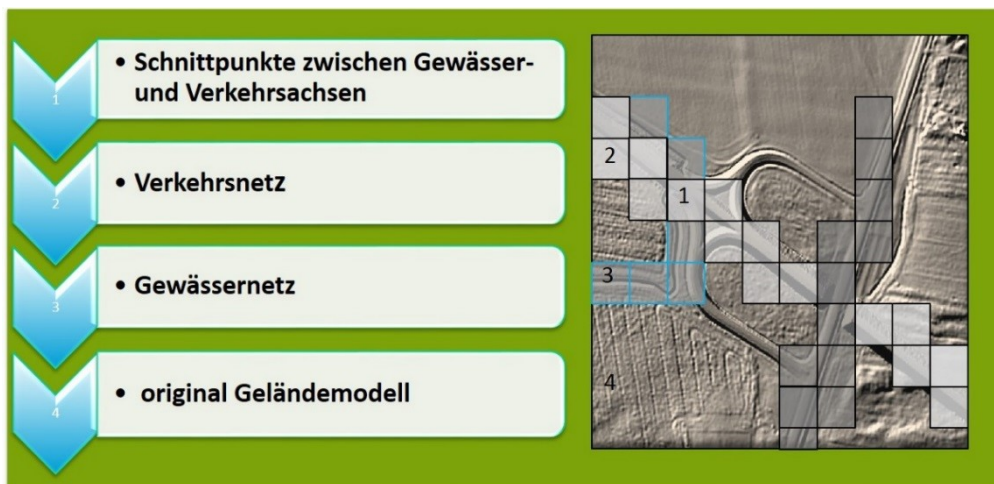


Abb. 11: Prioritäten bei der Übernahme von relevanten Geländestrukturen in Raster mit geringer Rasterweite

5.2.2. Aufbereitung der Bodendaten

Die Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BK 50) für das Arbeitsgebiet wird vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau aus Freiburg zur Verfügung gestellt (LGRB). Für die Erosionsmodellierung wurde der sog. Green-Ampt-Infiltrationsansatz (Green und Ampt 1911) für zwei Bodenschichten angewandt. Hierfür sind neben der Bodenart, Bodenmächtigkeit, der Median, d. h. das 50. Perzentil (Median) und das 90. Perzentil des Korngrößendurchmessers (D50- und D90-Wert) verschiedene boden-physikalische Kennwerte (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, Matrixpotential an der Feuchtefront, Anfangswassergehalt, Sättigungswassergehalt) als Eingabedaten notwendig (vgl. auch

Tab. 2).

Aus der Bodenkarte und der zugehörigen Attributtabelle lassen sich die Bodenparameter für die einzelnen Horizonte der generalisierten Bodenbeschreibungen von den Kartiereinheiten (KE) ableiten (s. Tab. 3).

Für den Anfangswassergehalt (Theta i) wurde für alle Bodeneinheiten ein Wert von 0,4 angenommen, was im Mittel schluffig-lehmiger Bodenarten etwa 90 % der Feldkapazität entspricht und umgerechnet als Matrixpotential (PSI) mit einem Wert von 50 cm als weiterer Anfangswert in das LISEM-Modell eingeht. Dadurch wird bei den Modellierungen mit einer Anfangsbodenfeuchte gestartet, die in einem durchschnittlichen Frühjahr häufig angetroffen wird. Der Sättigungswassergehalt (Theta s) sowie die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (Ksat) wurden mittels Bodenparameterprogramm RETC (REtention-Curve program for unsaturated soils) (Van Genuchten et al. 1991) berechnet.

Den Kartiereinheiten (KE) wurden schließlich willkürlich verschiedene IDs zugeordnet und anschließend in ein Raster mit 5 x 5 m konvertiert (profile.map). Alle weiteren Eingabekarten werden automatisiert in PCRaster erzeugt.

Tab. 3: Inhalte der Bodenprofil-Attributdatei zur BK50

Kennwert	Boden- beschreibung (BK50)	Zielgröße	Zielgrößenermittlung
Schichttiefen	Ja (cm)	Untergrenze in cm	-
Feinboden/Textur	Ja (Kürzel)	Standard n. BGR 2005	-
Korngrößenklassen	Nein	S-, U-, T-Gehalte	Jeweils die Mittel aus den drei Korngrößenspannen
TRD	Nein	TRD in kg/dm ³	Trockenrohddichte → Pauschale Schätzwerte 1,3 kg/dm ³ f. Oberboden, 1,5 kg/dm ³ f. Unterboden
Kf-Wert	Nein	Kf-Wert in mm/h	Gesättigte Leitfähigkeit → Ausgabewert von RETC n. Mualem-Modell, basierend auf Anteile der S-, U-, T-Fraktionen u. TRD
D50- und D90-Wert	Nein	D50- und D90-Wert	Körnungsdurchmesser (interpolierter) auf der Sieblinie bei 50%- bzw. 90%- Feinboden
Grobboden	Klassen	(ohne Bedeutung)	für Unterbodenhorizonte mit 100% Stein wird der Feinboden des darüberliegenden Horizontes übernommen
Theta r und Theta s	Nein	Theta r und Theta s	Ungesättigter und gesättigter Wassergehalt → Ausgabewert von RETC n. van Genuchten-Modell, basierend auf Anteile der S-, U-, T-Fraktionen u. TRD

5.2.3. Aufbereitung der Landnutzungsdaten

Die Landnutzungsinformationen (Wald, Grünland, Siedlung, Straße, Ackerfläche usw.) werden aus BasisDLM entnommen. Zuvor wurde das DLM mit dem Wegenetz aus dem ALKIS verschnitten, da ansonsten die unbefestigten Feldwege, die das Erosionsgeschehen beeinflussen können, unberücksichtigt bleiben. Somit entsprechen die simulierten Feldgrößen besser den realen Bewirtschaftungseinheiten als die kleinparzelligen Flurstücken nach dem

ALKIS. Eine unverändert nutzbare Kartenbasis mit den tatsächlichen Feldgrößen stand nicht zur Verfügung. Schließlich wurden den Nutzungsarten unterschiedliche LISEM-IDs zugeordnet (s. Tab. 4).

Tab. 4: Zuordnung der Nutzungsart aus BasisDLM zu den Landnutzungsgruppen für die LISEM-Modellierung

OBJEKT_NR	Obj_Name	LISEM	LISEM_Nutz
0	Fußweg	304	Weg (unbefestigt)
0	Wirtschaftsweg	304	Weg (unbefestigt)
4100101000	Wohnbaufläche - Offen	302	Siedlung
4100200000	Industrie- und Gewerbefläche	302	Siedlung
4100201490	Gärtnerei	106	Obst
4100202530	Kraftwerk	302	Siedlung
4100202540	Umspannstation	302	Siedlung
4100202610	Kläranlage, Klärwerk	302	Siedlung
4100202620	Abfallbehandlungsanlage	302	Siedlung
4100202630	Deponie (oberirdisch)	302	Siedlung
4100601000	Wohnbaufläche - Offen	302	Siedlung
4100701000	Wohnbaufläche - Offen	302	Siedlung
4100804100	Gebäude- und Freifläche Erholung	302	Siedlung
4100804200	Freizeitanlage	102	Grünland
4100804290	Modellflugplatz	302	Siedlung
4100804320	Schwimmbad, Freibad	302	Siedlung
4100804400	Grünanlage	105	Obst
4100900000	Friedhof	105	Obst
4200102312	Verkehrsbegleitfläche Straße	102	Grünland
4200300000	Strassenachse	305	Weg (befestigt)
4200805211	Hauptwirtschaftsweg	305	Weg (befestigt)
4200805212	Wirtschaftsweg	305	Weg (befestigt)
4200900000	Platz	302	Siedlung
4200905310	Parkplatz	302	Siedlung
4200905320	Rastplatz	302	Siedlung
4201000000	Bahnverkehr	302	Siedlung
4201002322	Verkehrsbegleitfläche Bahnverkehr	102	Grünland
4300101010	Ackerland	99	Belegung zuordnen
4300101020	Grünland	102	Grünland
4300101021	Streuobstwiese	105	Obst
4300101030	Gartenland	105	Obst
4300101031	Baumschule	105	Obst
4300101040	Weingarten	106	Wein
4300101050	Obstplantage	105	Obst
4300201100	Laubholz	104	Laubwald
4300201200	Nadelholz	103	Nadelwald

OBJEKT_NR	Obj_Name	LISEM	LISEM_Nutz
4300201300	Laub- und Nadelholz	107	Mischwald
4300300000	Gehölz	109	Gehölz
4300600000	Sumpf	201	Wasser
4300701100	Öffentliche Zwecke	102	Grünland
4400600000	stehendes Gewaesser	201	Wasser
5300300000	Weg, Pfad, Steig	305	Weg (befestigt)

Die Informationen zum Anbauumfang der Feldfrüchte auf den Ackerflächen im Projektgebiet wurden aus der Agrarstrukturerhebung (Agrarstatistik) mit der Landwirtschaftszählung des Jahres 2016 übernommen (<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>). Dabei wurden die Feldfrüchte vier vereinfachenden Feldfruchtgruppen zugewiesen, die das unterschiedliche Erosions- und Abflussrisiko repräsentieren (s. Tab. 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Anschließend fand für die Kommunen eine anteilsgemäße Zufallsverteilung der vier Feldfruchtgruppen auf die Ackerflächen statt. Die detaillierte Differenzierung nach Kommunen befindet sich in Tab. 8 im Anhang. Für die LISEM-Modellierungen wurde abschließend die gleichmäßigste Verteilung im Projektgebiet ausgewählt.

Tab. 5: Gruppierung von Feldfrüchten aus der Agrarstatistik von 2016 mit vergleichbarer Wirkung auf das Erosions- und Abflussgeschehen zu vereinfachenden Feldfruchtgruppen

Vereinfachende Feldfruchtgruppe	Feldfrüchte aus der Agrarstatistik
Mais	Silomais Körnermais CornCopMix Kartoffel Gartenbauerzeugnisse
Zuckerrübe	Zuckerrübe Handelsgewächse außer Winterraps
Sommergetreide	Sommerweizen Sommergerste Hafer
Wintergetreide	Winterweizen Wintergerste Roggen Triticale Winterraps Pflanzen zur Grünernte Brache

Die agrarstatistischen Anbauanteile der Feldfruchtgruppen im Untersuchungsgebiet sind in Abb. 12 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

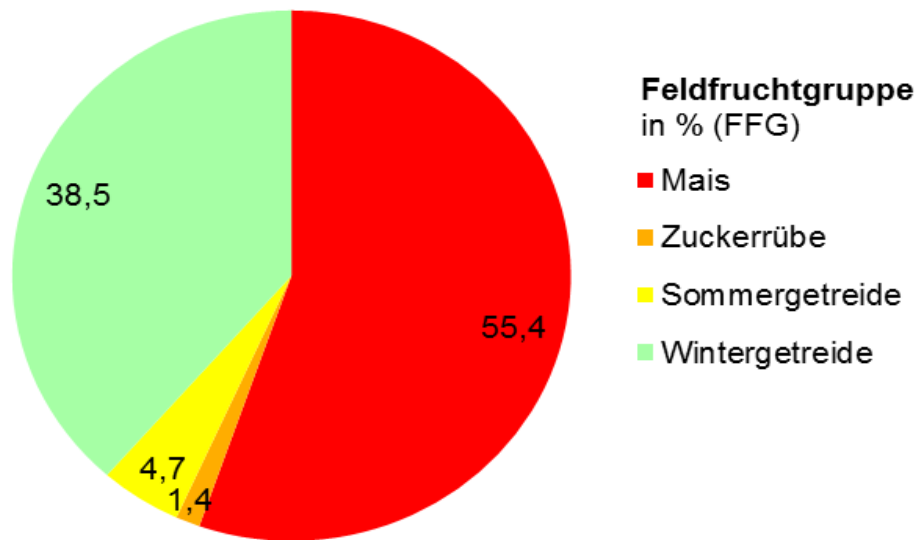


Abb. 12: Anteil der Feldfruchtgruppen am Anbauumfang aller ackerbaulichen Kulturpflanzen im Erol Projektgebiet 2016

5.2.4. Aufbereitung Niederschlagsdaten

LISEM benötigt eine Niederschlagsgangliniendatei im Textformat sowie eine Raster-Karte mit räumlichem Bezug zu den Niederschlagswerten. Für die Erosionsmodellierung wurden die sog. KOSTRA-Daten verwendet. Diese enthalten punktuell ermittelte Starkniederschlagshöhen in Abhängigkeit von verschiedenen Dauerstufen (D) und Wiederkehrzeiten (T) (Jährlichkeiten) in mm. Für den Landkreis Lörrach wird das Raster für Baden-Württemberg mit Niederschlagshöhen für die Dauerstufe (D) von 60 Minuten bei einer 30-jährlichen Wiederkehrzeit (T) jeweils im sechs Minuten Intervall verwendet. Das Simulationsgebiet wird von sieben KOSTRA-Stationen abgedeckt. Die zeitliche Verteilung der verwendeten Niederschlagssummen wird schließlich über den Verlauf eines mittelbetonten Niederschlages durch die Niederschlagsintensität (mm/h) dargestellt (s. Abb. 13). Die Niederschlagsverteilung wird auf eine Niederschlagsganglinie mit einer Niederschlagsmenge von 100 mm pro Stunde normiert. Die Verteilung der Niederschlagsmengen für den mittelbetonten Verlauf stammt aus dem Anwenderhandbuch eines Softwarepaketes zur Hochwasseranalyse des Institutes für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe (IHW) zur Ermittlung von zeitlichen Verteilungen für Bemessungsniederschläge (Ihringer und Kron 1993).

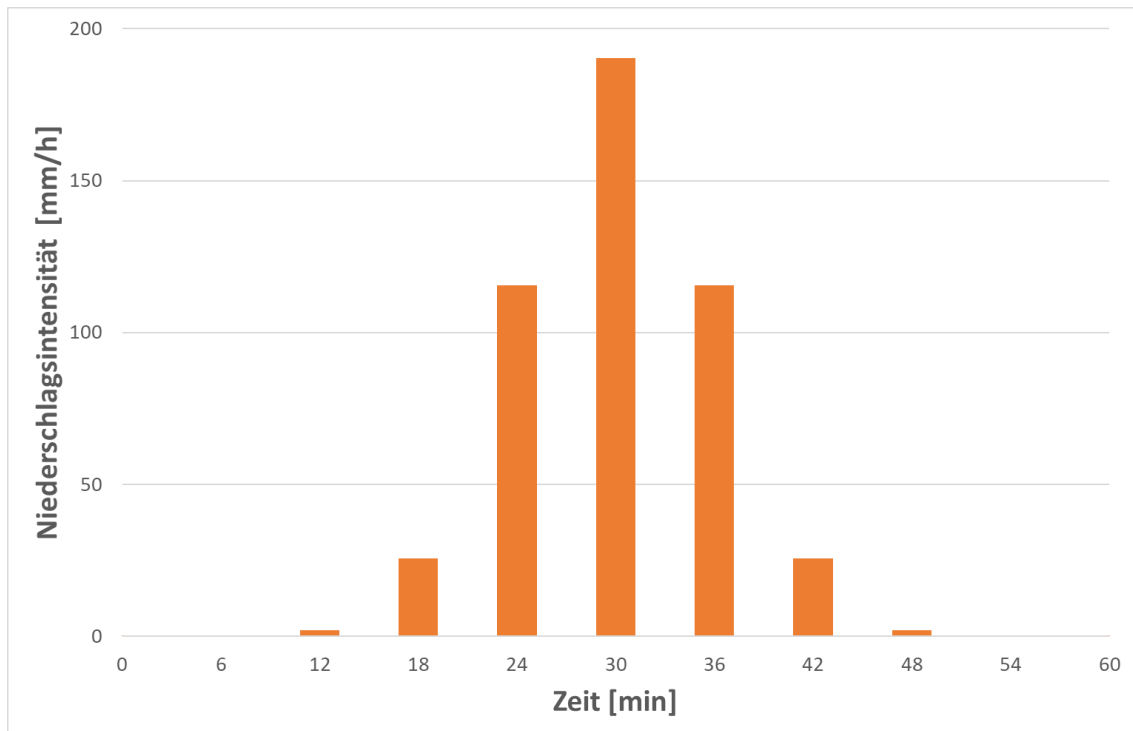


Abb. 13: Zeitlicher Verlauf der mittelbetonten mittleren KOSTRA-Niederschlagsganglinien im 6-Minuten-Intervall im EroL-Einzugsgebiet (30-jährliche Wiederkehrzeit (D60T30))

Das Arbeitsgebiet wird flächig mit der mittleren Niederschlagsintensität von 47,7 mm beregnet. Die Simulationsdauer wird wie bei der Starkregensimulation auf 180 Minuten eingestellt, das heißt, eine Stunde Beregnung mit zwei Stunden Nachlaufzeit.

5.3. Starkregenmodellierung

5.3.1. Aufbereitung Geländemodell

Das HydTERRAIN wurde von landesweiten Laserscan-Daten entwickelt, die 2016 mit einer Punktdichte von > 8 Punkte/m² aufgenommen wurden. Somit sind eine hohe Aktualität und Genauigkeit der Daten gewährleistet. Aus dem HydTERRAIN wurde ein DGM mit 1-m-Auflösung für die Starkregensimulation aggregiert. Für die Erosionsmodellierung wurde aus dem 1-m-Raster ein 5-m-Raster generiert, in dem die Durchlässe automatisiert eingearbeitet wurden.

Vor dem Einsatz des HydTERRAIN zur Starkregensimulation bedarf es noch einer Validierung des Geländemodells. Dabei werden außerdem den Oberflächenabfluss beeinflussende Bauwerke und Strukturen in das Geländemodell eingearbeitet. Dazu zählen:

- Durchlässe
- Verdolungen
- Unterführungen
- Mauern
- hohe, abflussrelevante Bordsteine
- Dämme und Wälle
- Gräben

Das modifizierte Geländemodell wird als GeoTIFF zusammen mit den anderen Eingangsdaten übergeben und befindet sich unter *.../Ergebnisse/Modelldaten/input*.

Einen ersten Überblick über das Projektgebiet kann man sich anhand einfacher GIS-Analysen verschaffen. Beispielsweise kann das Geländemodell auf Mulden hin analysiert werden und diese Mulden können anhand ihrer Größe und Tiefe klassifiziert werden. Kleinere Mulden basieren meist auf „Daten-Rauschen“, sind also in der Mehrheit nicht weiter zu betrachten und in den Daten zu korrigieren, größere sind entweder reale Mulden oder entstehen im Geländemodell dadurch, dass z. B. eine Brücke oder Verdolung nicht in den Daten enthalten ist.

Es muss beachtet werden, dass im Landkreis Lörrach derzeit in mehreren Gebieten Umbauarbeiten stattfinden und Flächen neu bebaut werden (u. a. Einkaufszentrum Dreiländergalerie und Umgestaltung „Rheinpark“ in Weil am Rhein, geplantes Zentralklinikum in Lörrach, geplantes Baugebiet "Hintern Hof 2" in Bad Bellingen). Das DGM zeigt den Zustand vom Moment der Aufnahme (im Jahr 2016), zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführte Tiefbauarbeiten werden nicht dargestellt. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Bahntrasse mit Tunnelportal sowie die Nord-West-Umfahrung in Weil am Rhein noch nicht im HydTerrain enthalten waren. Auch in den Digitalen Topographischen Karten (TK25 und TÜK200), die als Hintergrund in den Starkregenkarten verwendet werden, sind diese Elemente noch nicht dargestellt. Die Bahntrasse und die Nord-West-Umfahrung wurden in das Digitale Geländemodell aufgenommen. Die Linien der Bahntrasse ohne Höhenangabe sind in den ALKIS-Daten vorhanden. Für die Einarbeitung in das DGM wurden Höhen aus Unterlagen zur Planfeststellung im PDF-Format übernommen und über die verfügbaren ALKIS-Daten interpoliert (s. Abb. 14). Es wird darauf hingewiesen, dass die hier verwendeten Höhen somit nicht den realen Verhältnissen entsprechen und nur eine Annäherung darstellen können.

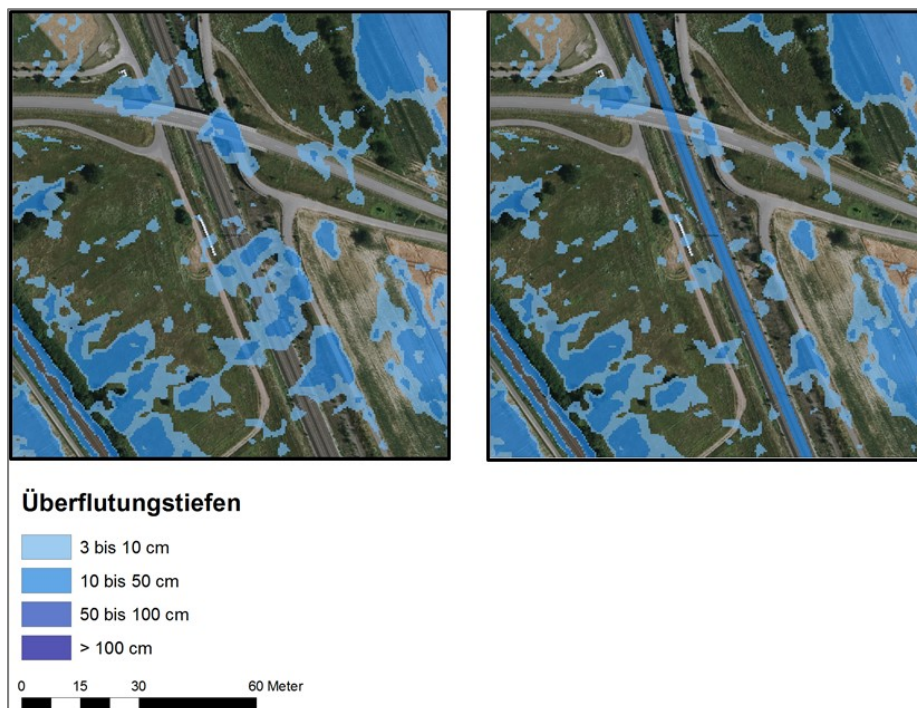


Abb. 14: Integration der Bahntrasse in das DGM nach Validierung. Links: Überflutungstiefen der Vorsimulation ohne Bahntrasse. Rechts: Überflutungstiefen der Hauptsimulation mit Bahntrasse

Die Nord-West-Umfahrung bei Weil am Rhein Haltingen war ebenfalls noch nicht im Original DGM enthalten. Mit Hilfe von Vermessungsdaten mit Höhenangaben konnte diese in das DGM eingearbeitet werden (s. Abb. 15).

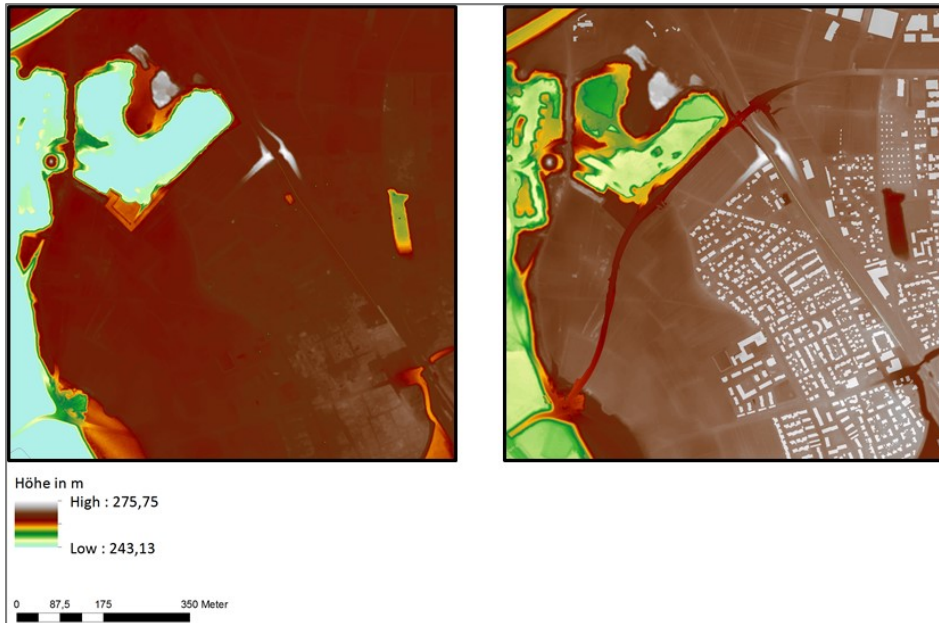


Abb. 15: Links: Original DGM ohne Nord-West-Umfahrung. Rechts: DGM der Hauptsimulation mit Nord-West-Umfahrung und inklusive eingestanzter Gebäude

Der Gebäudebestand der ALKIS-Daten wurde mittels der Orthofotos und im Rahmen der Validierungstermine aktualisiert. Die Gebäude werden als 3-dimensionale Hindernisse mit 5 m Höhe ins Gelände eingebaut, um auch Umströmung der Gebäude möglichst korrekt zu erfassen (s. Abb. 16). Durch diese Methode wird der Dachabfluss im Abflussprozess abgebildet.

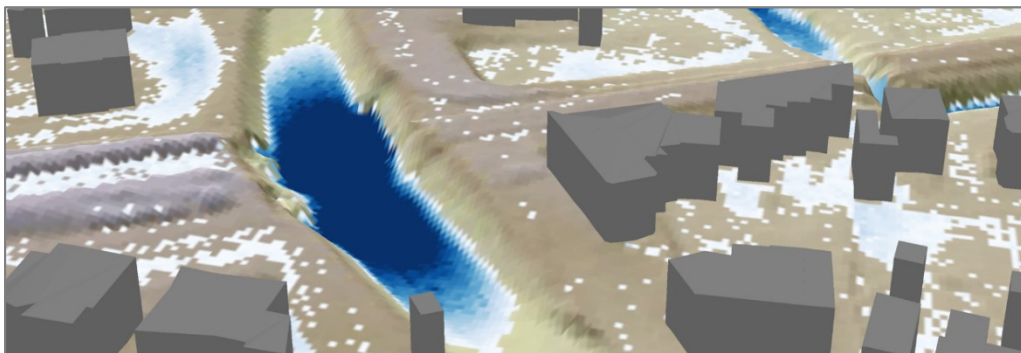


Abb. 16: Integration der Gebäude als 3D-Strukturen

Insgesamt wurden im EroL-Projektgebiet an drei Stellen für den Fließweg relevante Mauern aufgenommen und in das DGM eingebaut. Ein Beispiel ist die Lärmschutzwand entlang der Kandertalbahn in Weil am Rhein Haltingen (s. Abb. 17).

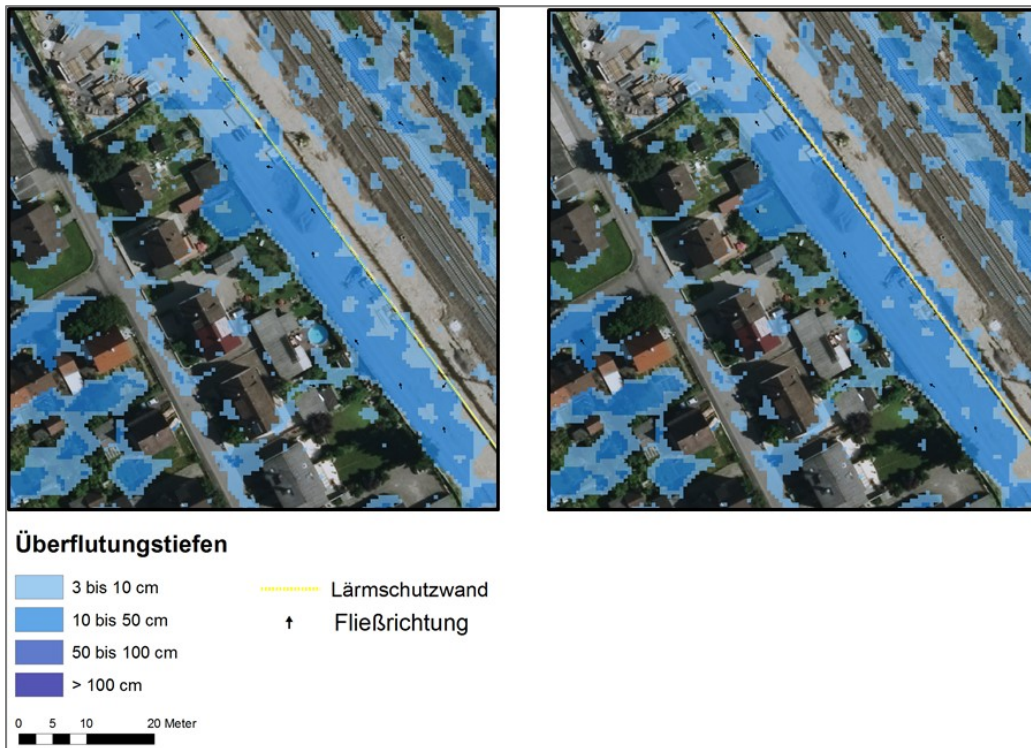


Abb. 17: Im Feld aufgenommene Mauern wurden in das DGM integriert, da sie die Fließwege stark beeinflussen können. Links: Fließtiefen und –richtungen der Vorsimulation ohne Lärmschutzwand, rechts: Fließtiefen und –richtungen der Simulation mit Lärmschutzwand (gelb gestrichelt)

Außerdem wurden aufgrund der Rückmeldungen aus dem Validierungsgespräch Wege, bei denen in der Vorsimulation kein oder kaum Abfluss stattfand, in das DGM eingetieft.

Höhergelegene Straßen, Brücken und Schienen wurden an einigen Stellen durchbrochen, damit das simulierte Wasser hindurchfließen kann (s. Abb. 18). An anderen Stellen wurden Brücken, die bereits aus dem HydTERRAIN entfernt worden waren, wieder eingefügt. Dazu wurden die originalen Laserscan-Daten (LAS-Dateien) verwendet, die 2016 aufgenommen wurden, und zur Ergänzung der Brücken von der LUBW bereitgestellt wurden.

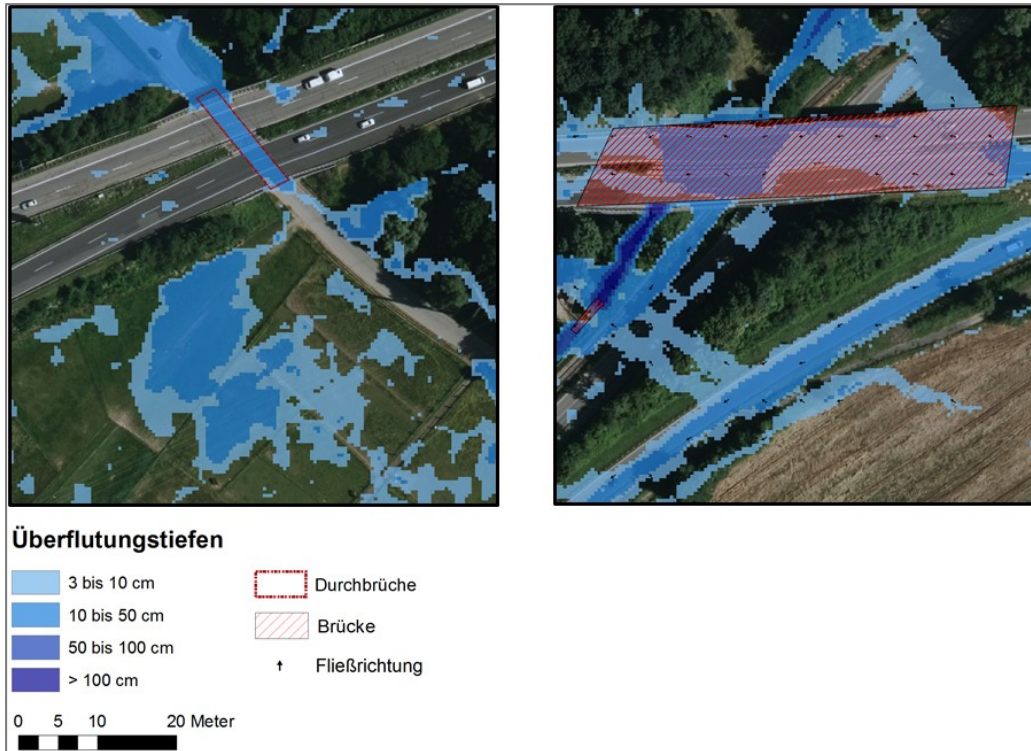


Abb. 18: Ein Beispiel für eine Modifikation des Geländemodells, bei der eine Brücke durchbrochen und eine andere wieder eingefügt wurde, da sie einen wichtigen Fließweg darstellt. Links: Die Straße über der Unterführung wurde durchbrochen. Rechts: Diese Brücke wurde eingefügt (schraffiert)

Das modifizierte Geländemodell wird als GeoTIFF zusammen mit den anderen Eingangsdaten übergeben und befinden sich unter `.../Ergebnisse/Modelldaten/input`. Die Strukturen und Durchbrüche liegen als Feature-Class in der File-Geodatabase unter `.../Ergebnisse/ModHydTERRAIN.gbd` vor.

5.3.2. Verklauungsansätze an Brücken, Verrohrungen und Verdolungen

Für die Durchflusskapazität der Verdolungen für die Starkregensimulation wurde ein Gefälle von 3% angenommen. Außerdem wird ab einer Fließgeschwindigkeit von 3 m/s ein Einlaufverlust von 25% abgezogen, um einer Überschätzung der Kapazität vorzubeugen. Wichtige Überleitungen und bzgl. des Starkregenabflusses relevante Kanalbauwerke werden separat erfasst und ins Modell integriert. Bezüglich der Gewässerinfrastruktur ist zu beachten, dass auch in den Außenbereichen die Durchlässe unter Wegen erfasst und ins Modell integriert werden. Teilweise gibt es hier hinter Straßen deutliche Rückhalteeffekte, andererseits sorgen zu klein dimensionierte Durchlässe auch häufig für eine Verlagerung des Fließweges. Daher ist auch in den Außenbereichen die gleiche große Auflösung der Geländedaten von großer Bedeutung.

Bei den außergewöhnlichen und extremen Ereignissen werden die aufgenommenen Verdolungen innerhalb der Ortschaften als verklaut angenommen. Um ein worst-case Szenario für die Ortschaft abzubilden und nicht Pseudo-Rückhalteeffekte hinter den Verdolungen im Simulationslauf zu erzeugen, bleiben die Verdolungen in der Umgebung, d. h. außerhalb der Ortschaften, bei allen Szenarien durchgängig.

Kartenblätter mit allen Verdolungen werden als pdf abgegeben und befinden sich unter `.../Ergebnisse/Karten/8336050_Uebersicht_Durchbruch_Verdolungen_EroL.pdf`.

Die Verdolungen werden als ESRI© Polyline-Feature-Class übergeben. Die entsprechenden Flächen der Durchbrüche und Brücken werden als ESRI© Polygon-Feature-Class übergeben. Beide befinden sich in der ESRI© File Geodatabase *.../Ergebnisse/ModHydTERRAIN.gdb*.

Die Verdolungen werden zudem als Text-Datei mit den jeweiligen Koordinaten und Kapazitäten übergeben und befinden sich unter *.../Ergebnisse/Modelldaten/input*.

5.3.3. Erfassung Entwässerungsinfrastruktur

Die Abbildung des Kanalnetzes ist ein sehr kontrovers diskutierter Punkt bei der Bearbeitung von Starkregengefahrenkarten. Hier gehen die Meinungen von einer vollständigen Vernachlässigung des Kanalnetzes (da z. B. bei Hagel die Leistungsfähigkeit gegen Null geht, s. Abb. 19) bis zu einer gekoppelten Berechnung von Oberflächenabfluss und Kanalnetz. Je größer die Ereignisse werden, desto geringer wird der Einfluss des Kanalnetzes. Mögliche Überstauprobleme können miterfasst werden, indem beim seltenen Starkregenereignis die Kanalisation berücksichtigt wird. Beim außergewöhnlichen und extremen Ereignis hat die Kanalisation aufgrund der hohen Abflussmengen keinen Einfluss mehr.

Für die Erstellung der Starkregengefahrenkarten im Rahmen von EroL wurde das Kanalnetz nicht in den hydraulischen Berechnungen berücksichtigt.



Abb. 19: Kanalüberstaupunkte werden als Punkteinspeisung direkt ins Modell integriert

Bei den außergewöhnlichen und extremen Ereignissen werden die aufgenommenen Verdolungen innerhalb der Ortschaften als verklaust angenommen. Um ein worst-case Szenario für die Ortschaft abzubilden und nicht Pseudo-Rückhalteeffekte hinter den Verdolungen im Simulationslauf zu erzeugen, bleiben die Verdolungen in der Umgebung, d. h. außerhalb der Ortschaften, bei allen Szenarien durchgängig. Für die Durchflusskapazität der Verdolungen wurde ein Gefälle von 3% angenommen. Außerdem wird ab einer Fließgeschwindigkeit von 3 m/s ein Einlaufverlust von 25% abgezogen, um einer Überschätzung der Kapazität vorzubeugen. Wichtige Überleitungen und bzgl. des Starkregenabflusses relevante Kanalbauwerke werden separat erfasst und ins Modell integriert.

Bezüglich der Gewässerinfrastruktur ist zu beachten, dass auch in den Außenbereichen die Durchlässe unter Wegen erfasst und ins Modell integriert werden. Teilweise gibt es hier hinter Straßen deutliche Rückhalteeffekte, andererseits sorgen zu klein dimensionierte Durchlässe auch häufig für eine Verlagerung des Fließweges. Daher ist auch in den Außenbereichen die gleiche große Auflösung der Geländedaten von großer Bedeutung.

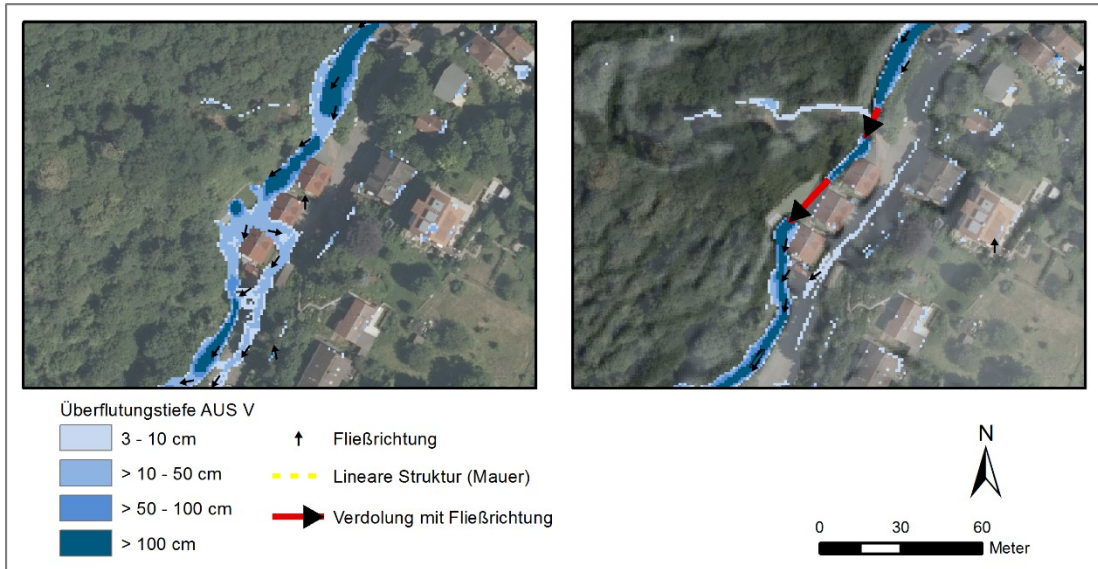


Abb. 20: Integration von Verdolungsstrecken als lineare Verbindungen unter Berücksichtigung der effektiven Durchflusskapazität. Links: Überflutungstiefen der Vorsimulation ohne lineare Verbindung. Rechts: Überflutungstiefen der Hauptsimulation mit linearer Verbindung

5.3.4. Erfassung relevanter Gewässerläufe

Kleine Gewässer und Gräben sind üblicherweise nicht vollständig im Geländemodell abgebildet. Selbst bei hoch auflösenden Laserscandaten ist der Gewässerlauf mehrfach durch Brücken etc. in seiner Gefällelinie unterbrochen (s. Abb. 21). Hier ist eine Nachbearbeitung auf jeden Fall notwendig, um die Gewässer realitätsnah in das Modell zu integrieren. Die Gewässer müssen dabei auf ihre Lage überprüft werden (evtl. über Luftbilder oder Laserscandaten), um dann ein stetig fallendes Gewässernetz generieren zu können.

Das leichte Rauschen der Laserscan-Geländemodelldaten sorgt ohne eine Nachbearbeitung für einen nicht realistischen Rückhalt in den Tiefenlinien, die in der Summe zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen würden. Mit den nachdigitalisierten Tiefenlinien lassen sich die Gewässerläufe korrigieren.

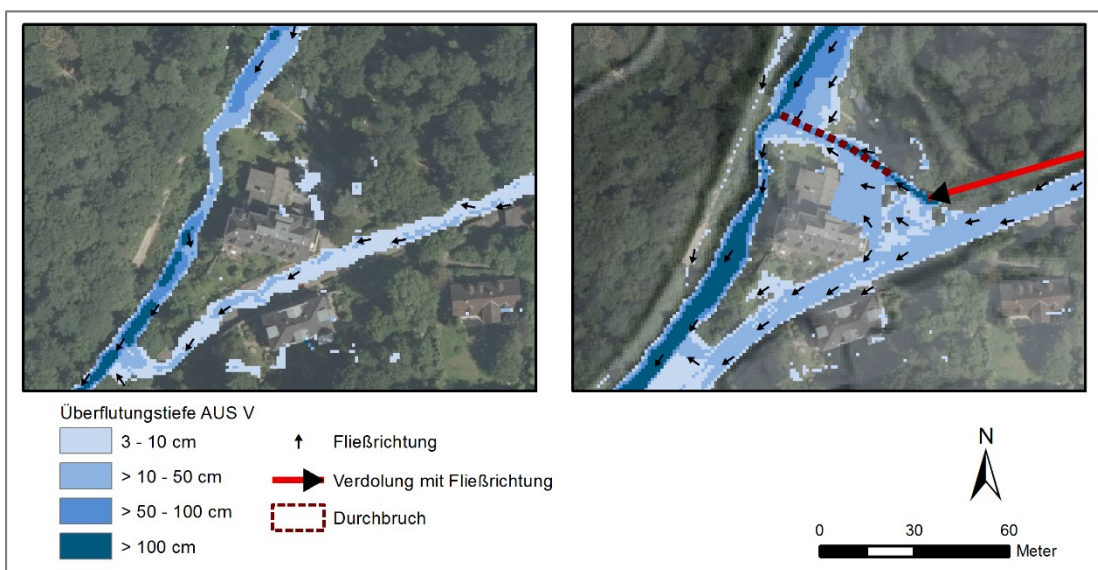


Abb. 21: Kleine Bäche mussten im Geländemodell nachgearbeitet werden, damit sie als Fließweg erfasst werden (dunkelrot gestrichelt)

Eine Bearbeitung von Gewässern, die bereits bei den Hochwassergefahrenkarten erfasst wurden, ist nicht vorgesehen, an diesen Gewässern (bzw. deren Mittellinie) wird die Berechnung nicht weitergeführt bzw. das Wasser modelltechnisch aus dem System entnommen.

6 Rechenläufe

In der Gefährdungsanalyse werden Erosions- und Starkregengefahrenkarten erstellt, um darauf aufbauend für die spätere Risikoanalyse (Phase 2) Risikobereiche und -objekte zu identifizieren und schließlich Maßnahmen im Handlungskonzept (Phase 3) zu entwickeln.

6.1. Erosion

Bevor mit der Modellierung begonnen wurde, wurden zunächst Szenarien bezüglich des Niederschlags, der Nutzung sowie der Zeitpunkt im Jahresverlauf festgelegt. Der Szenariovergleich zwischen unterschiedlich verteilten Belegungen der Ackerflächen mit Feldkulturen dient der Abschätzung von Reduktionseffekten bei Umstellung auf andere Bodenbewirtschaftungsformen oder Feldkulturen. Alle Ereignisse wurden mit einem einstündigen 30-jährlichen Niederschlag simuliert (s. Kap. 5.2.4). Als Monat wurde der April gewählt, da hier die Vegetationsentwicklung und mithin die Bodenbedeckung durch Pflanzen noch recht niedrig ist und die Ackerflächen deshalb erosionsanfälliger sind. Für die Feldfruchtverteilung (s. Kap. 5.2.3) wurden für die Erstellung der Erosionsgefahrenkarten drei Szenarien simuliert:

- real case 1: Gängige Fruchtfolge, d. h. zufällig verteilte Feldfrüchte entsprechend dem agrarstatistischen Umfang des Jahres 2016
- real case 2: Tausch der Mais- mit den Wintergetreideflächen
- good case: Günstige Fruchtfolge, d. h. nur Winterungen

Aus den Szenarien real case 1 und 2 wurde dann schließlich die maximale Abtragung bzw. Akkumulation zum sog. „bad case“ abgeleitet. Das Vorgehen bei der Erosionsmodellierung wird in der folgenden Abbildung schematisch wiedergegeben.

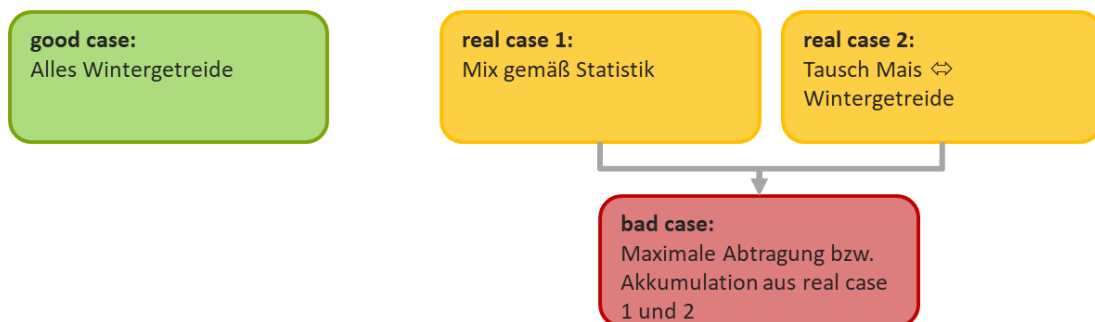


Abb. 22: Ablaufschema zur Erstellung der Erosionsgefahrenkarten

Beim Validierungsgespräch wurden die Karten des „real case 1“ präsentiert. Nach den Rückmeldungen wurden schließlich die Hauptsimulationen für alle drei Szenarien durchgeführt.

6.2. Starkregen

Nach dem Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ wird das Verfahren der zweidimensionalen, instationären, hydraulischen Berechnung mit definiertem Oberflächenabflusswerten für die Gefährdungsanalyse der Starkregengefahrenkarten vorgegeben. Die Modelle (2D-HN-Modelle) können ein

Gerinnesysteme und abflussrelevante Strukturen erfassen und darstellen. Die zeitliche Entwicklung von Fließgeschwindigkeit und Überflutungstiefe sowie die Wirkung baulicher Vorsorgemaßnahmen können mit den 2D-NH-Modellen simuliert werden. Der Vorteil dieses Vorgehens ist eine detaillierte Darstellung der Strömungsverhältnisse, der Geschwindigkeiten, der Wasserspiegellagen und der Überflutungstiefe.

Die Oberflächenabflusswerte (OAK) werden über die LUBW bereitgestellt (s. Kapitel 4.2.1 und Anhang 3 des Leitfadens, LUBW 2016). Für das 2 km² große Gebiet in der Schweiz wurden die OAK Daten mit dem von geomer GmbH entwickelten Programm HydroRAS gengeneriert. Für die hydraulische Berechnung kommt das Modell FloodArea^{HPC} (Version 10.3), das seit 1999 durch geomer entwickelt und vertrieben wird, zum Einsatz. Die Modellierungen werden in einer für eine Niederschlagsdauer von einer Stunde und zwei Stunden Nachlauf durchgeführt. Die hydrologischen Eingangsdaten haben dabei eine Auflösung von 5 Minuten, Zwischenergebnisse der FloodArea^{HPC}-Modellierung werden alle Minute abgespeichert. Die Anforderungen des Leitfadens mit einer Auflösung von 5 Minuten und einer Stunde Nachlauf werden damit deutlich übertroffen. Hiermit werden Starkregengefahrenkarten für die Abflussereignisse „selten“, „außergewöhnlich“ und „extrem“ erzeugt.

Folgende Abbildung stellt die Vorgehensweise der Arbeitsschritte schematisch dar. Die Vorgehensweise erfolgt somit entsprechend den Anforderungen des Leitfadens. Es werden die drei vorgegebenen Szenarien 2-dimensional modelliert. Die bereitgestellten Daten haben ein vergleichbares Ausgabeformat und können direkt verwendet werden.

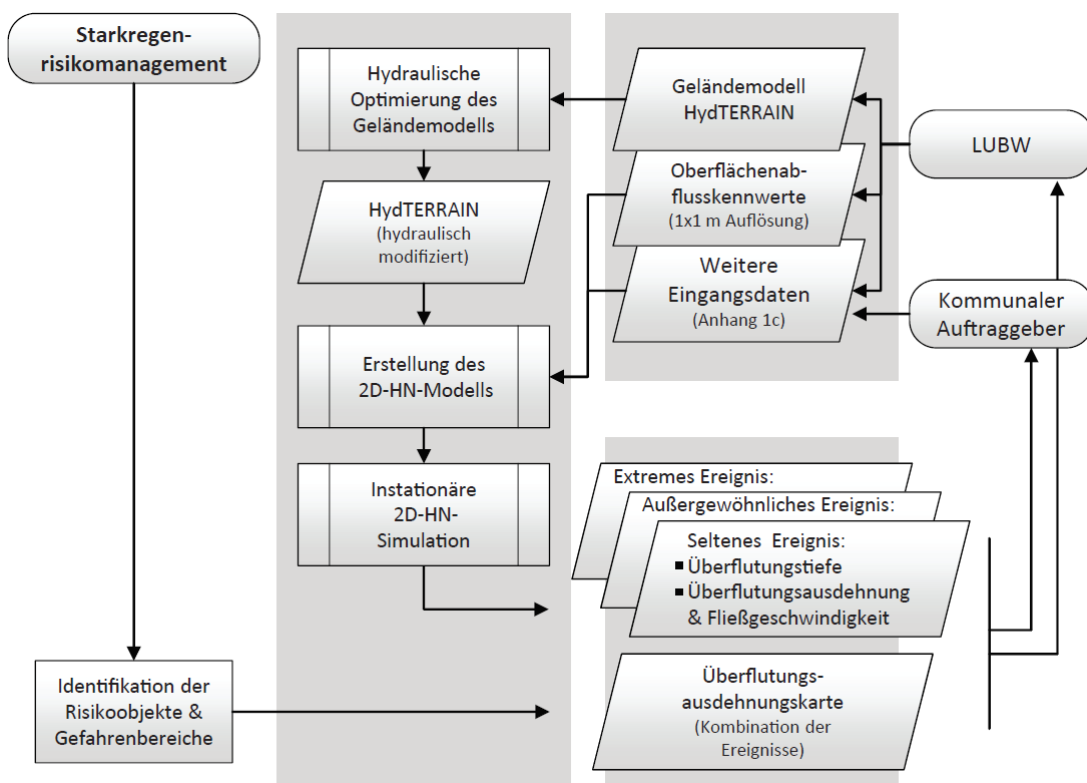


Abb. 23: Ablaufschema zur Erstellung der Starkregengefahrenkarten (LUBW 2016, S.26)

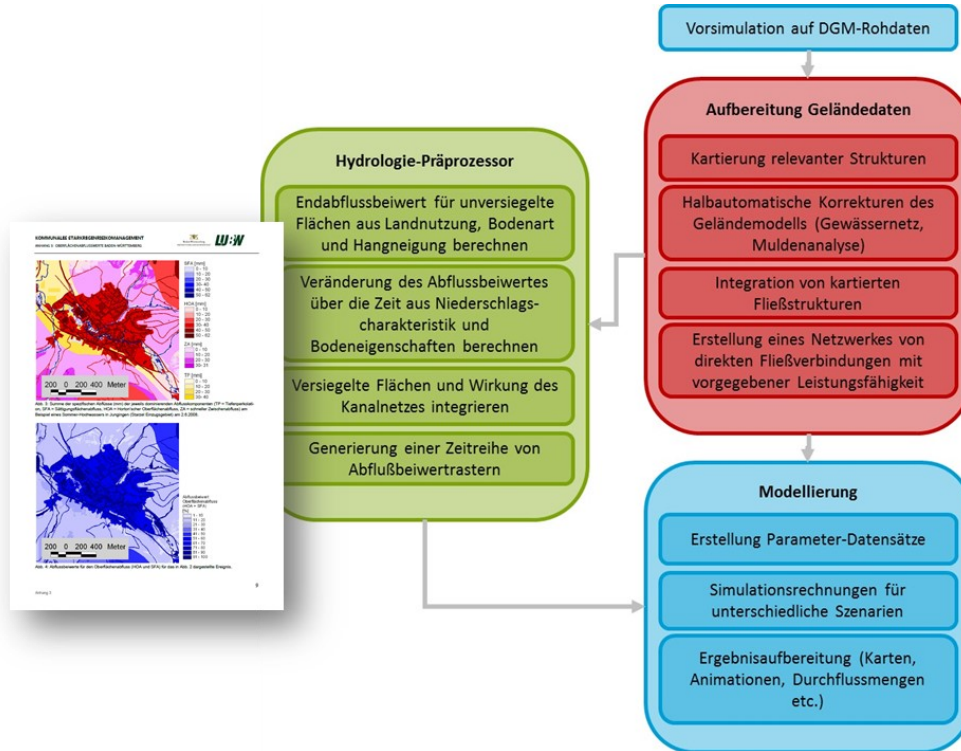


Abb. 24: Arbeitsablauf für die Erstellung von Starkregengefahrenkarten

Im Gesamtgebiet wird mit einem flächig gleichmäßigen Niederschlag simuliert. Das Wasser wird bei Erreichen der Hochwassergefahrenkarten(HW GK)-Gewässer aus dem Modell „entnommen“. Im Arbeitsprozess wird überprüft, dass die Teileinzugsgebiete, bevor das Wasser im Simulationslauf an den HW GK-Gewässern „entnommen“ wird, nicht den vorgegebenen Schwellenwert von 5 km² überschreiten. Bei größeren Teileinzugsgebieten erfolgt eine Prüfung, ob sich in solchen Teileinzugsgebieten eine Wellenüberlagerung ergibt. Wenn hier mehrere sich auch nur gering überlagernde Teilwellen erkennbar sind, zeigt dies eine weitgehende modelltechnische Entkopplung der Sub-Teileinzugsgebiete an und eine weitere Unterteilung würde keine Veränderung der Überflutungsflächen ergeben. Bei einer deutlichen Überlagerung würde eine Unterteilung in getrennte Rechenläufe erfolgen.

Durch die Methodik an den HW GK-Gewässern vermeidet man zusätzlich, dass sich HW GK und Starkregenkarten inhaltlich überlagern. Das heißt, bei den Starkregenkarten gibt es für die HW GK-Gewässer keine, **vom Gewässer ausgehende**, Überflutung.

Die kombinierte Berechnung von Hydrologie und Hydraulik kann bezüglich Starkregenprozess sinnvollerweise nur durch eine flächendetaillierte Abbildung erfolgen, da gerade Kleinstrukturen wie Wege und besonders abflussfördernde Teilflächen und ihre Lagezuordnung zueinander das Abflussgeschehen dominieren. So sind die Größe landwirtschaftlicher Schläge und die Wegführung entscheidend für die Konzentrationsprozesse. Zudem wird in auf Teilflächen basierenden hydrologischen Modellen nicht zwischen flächigem und linearem Abfluss unterschieden. Dieser ist aber für die Starkregengefährdung von besonderer Bedeutung.

Die größten Vorteile der gewählten Methodik sind, dass der Abfluss flächendeckend in identischer Auflösung nachverfolgt werden kann (bei Bedarf auch in zeitlich aufgelöster Abfolge) und die sich daraus ergebenden Wechselwirkungen verschiedener Landnutzungen entlang des Fließweges berücksichtigt werden.

7 Dokumentation und Ergebnisse der Gefährdungsanalyse

Zentrales Ergebnis der Gefährdungsanalyse sind wie oben bereits erwähnt die Erosions- und Starkregengefahrenkarten (SRGK). Sie sind zugleich ein wichtiges Arbeitsinstrument für den anschließenden Risikomanagementprozess und zur Erstellung der Alarm- und Einsatzpläne. Im Gegensatz zu den rechtswirksamen Hochwassergefahrenkarten (HWGK) haben die Starkregen- und Erosionsgefahrenkarten keine unmittelbaren rechtlichen Konsequenzen.

Das Layout der Starkregenkarten hält sich an die Vorgaben des Starkregen-Leitfadens, die auch für die Erosionsgefahrenkarten übernommen wurden, da hierfür keine gleichwertigen Vorgaben bestehen. Die Ergebnisse werden zum einen als digitale Daten im PDF-Format erzeugt. Im Rahmen von Besprechungen wurden einzelne Karten auch analog, d. h. in Papierform bereitgestellt. Außerdem werden die Daten gemäß dem Leitfaden Anhang 1c dem Auftraggeber und der LUBW übergeben. Die Karten liegen als Übersichts- und Detailkarten vor und dienen als Grundlage für den weiteren Verlauf des EroL-Projekts.

Im Folgenden werden die Karten, Animationen und Abflussberechnungen näher beschrieben.

7.1. Erosionsgefahrenkarten

7.1.1. Erosions-/Sedimentationskarten

In der Erosionsgefahrenkarte wird das hochgerechnete Abschwemmen (= Erosion) und Anlanden (= Sedimentation) von Erdreich dargestellt, so wie es bei einem Starkregen von ca. 48 mm in einer Stunde statistisch alle 30 Jahre erwartet wird. Die Erosion, also der Verlust von fruchtbarem und wasserrückhaltendem Boden aus der Feldflur wird in den Karten mit zunehmendem Ausmaß in Grün- über Gelb bis zu Rottönen dargestellt. Die Klassifikation orientiert sich dabei an die DIN19708 und wurde unter Berücksichtigung des modellierten Erosions- und Sedimentationsspektrum ergänzt. So entspricht der obere Klassenwert von 12 t/ha Bodenerosion einer LKW-Ladung von etwas mehr als einem Fußballfeld. Die Stärke der Sedimentation ist in zunehmend kräftigeren Blautönen dargestellt. Dadurch ergeben sich Hinweise auf die Risiken von Verschmutzungen und Schäden auf Straßen, auf Wegen, in Gewässern und an Gebäuden. Da das Risiko von Bodenerosion neben der Stärke des Regens und den unterschiedlichen Boden- und Standorteigenschaften auch von den dort wachsenden Feldfrüchten auf den Ackerflächen abhängt, wird deren Verteilung in der Landschaft bei der Erosionsberechnung ebenfalls berücksichtigt. Unterschieden wird dabei zwischen Feldfrüchten, die vom Landwirt jährlich im Frühjahr ausgesät werden und ein höheres Erosionsrisiko aufweisen wie z.B. Sommergerste oder Mais sowie solchen, die im Herbst ausgesät werden und weniger kritisch sind wie z.B. Winterweizen oder Raps bis hin zu dauerhaften Wiesen und Wäldern (siehe Kap. 5.2.3).

Erosionsgefahrenkarten stehen für die folgenden Szenarien zur Verfügung (s Kap. 6.1):

- real case 1: Gängige Fruchtfolge, d. h. zufällige statistische Feldfruchtverteilung gemäß Agrarstatistik von 2016
- real case 2: Tausch der Mais- mit den Wintergetreideflächen
- bad case: Maximale Abtragung bzw. Sedimentation aus real case 1 und real case 2
- good case: Günstige Fruchtfolge, d. h. nur Winterungen

Die Erosionsgefahrenkarten werden im gleichen Blattschnitt wie die Starkregengefahrenkarten für die Szenarien real case 1, real case 2, bad case und good case in DIN A1 Karten dargestellt.

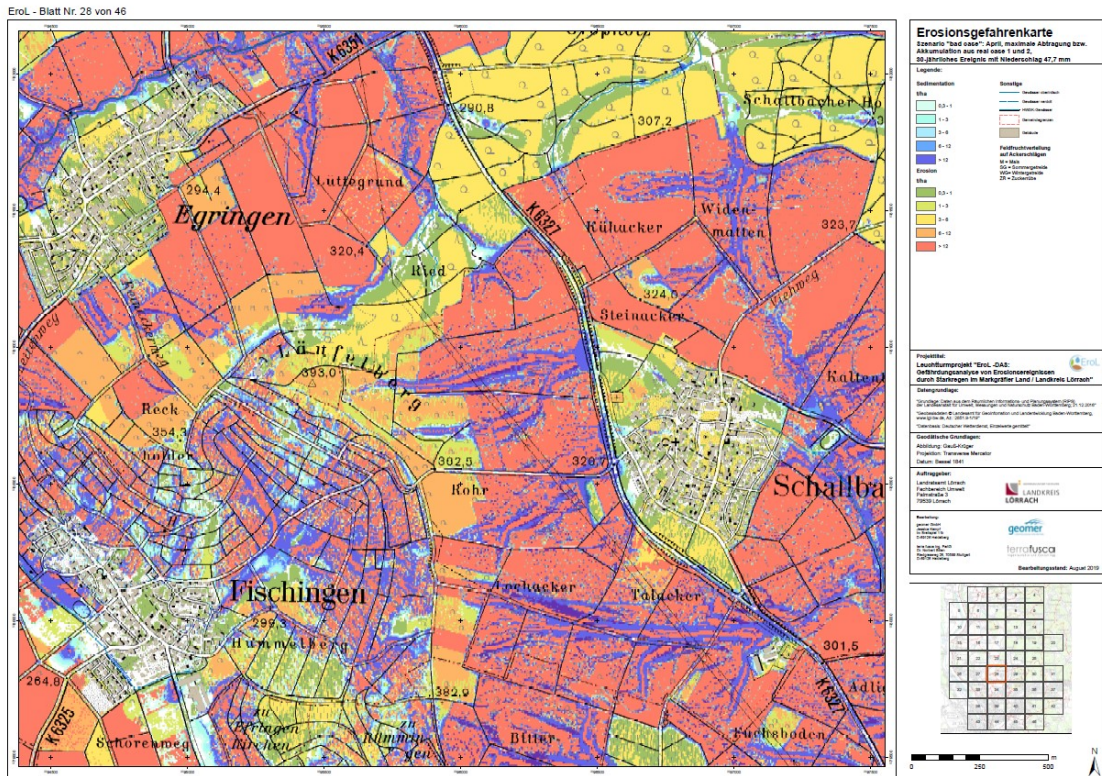


Abb. 25: Erosionsgefahrenkarte des „bad case“ Szenario im Erol Projektgebiet

7.1.2. Mengenberechnungen

Beim Vergleich der mittleren Bodenabträge auf den Ackerflächen der unterschiedlichen Szenarien durch einen Starkregen mit ca. 48 mm/h verzeichnet das „good case“ mit durchschnittlich 29 t/ha pro Ereignis bei der günstigen Fruchtfolge ca. 70 % weniger Erosion als das „bad case“ mit quasi nur Maisanbau sowie durchschnittlich 55 % weniger Erosion gegenüber beiden „real case“ Szenarien mit dem gängigen Feldfruchtmix aus etwa gleichanteiligen Sommer- und Winterkulturen (s. Abb. 26). Die Schwankungsbreite beträgt umgerechnet 0 bis 270 t/ha, wobei sich insbesondere die Maximalwerte auf kleinere Bereiche mit wenigen Quadratmetern beschränken. Bei dem simulierten Starkregen und den Bodenverhältnissen im Projektgebiet errechnet sich daraus ein Verlust von durchschnittlich 20 m³/ha Wasserspeicherkapazität und 100 kg Boden-N/ha.

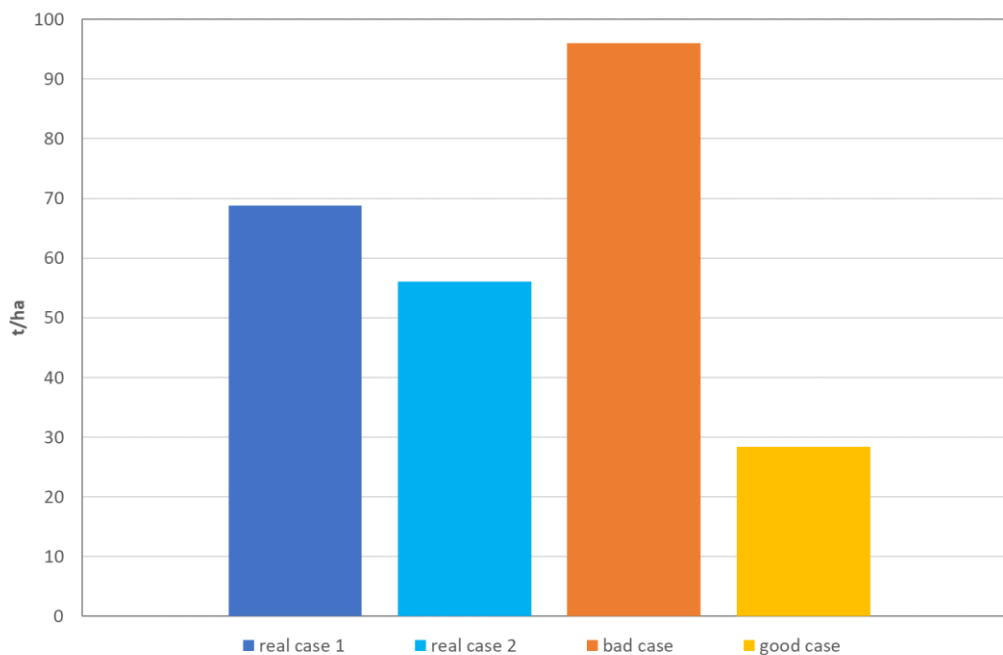


Abb. 26: Mittlere Bodenerosion von den Ackerflächen, die mit LIESM berechnet wurde für unterschiedliche Szenarien bei einem Starkregenereignis mit ca. 48 mm/h

7.2. Starkregengefahrenkarten

7.2.1. Überflutungsausdehnungskarten

Mit Hilfe der Ausdehnungskarten lassen sich betroffene Bereiche und Objekte im Ereignisfall identifizieren. Für die an EroL beteiligten Kommunen wurden folgende Simulationen durchgeführt:

- seltenes Abflussereignis, verschlämmt (UA_SEL_V)
- außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (UA_AUS_V)
- extremes Abflussereignis, verschlämmt (UA_EXT_V)

Die entsprechenden Flächen werden als ESRI© Polygon-Feature-Class übergeben und befinden sich in der ESRI© File Geodatabase *.../Ergebnisse/Ergebnis.gbd*.

Die Ausdehnung der Szenarien selten, außergewöhnlich und extrem ist in einer DIN A1 Karte dargestellt. Die Karten liegen als PDF im Verzeichnis *...Ergebnisse/Karten/UA_verschlaemmt* vor.

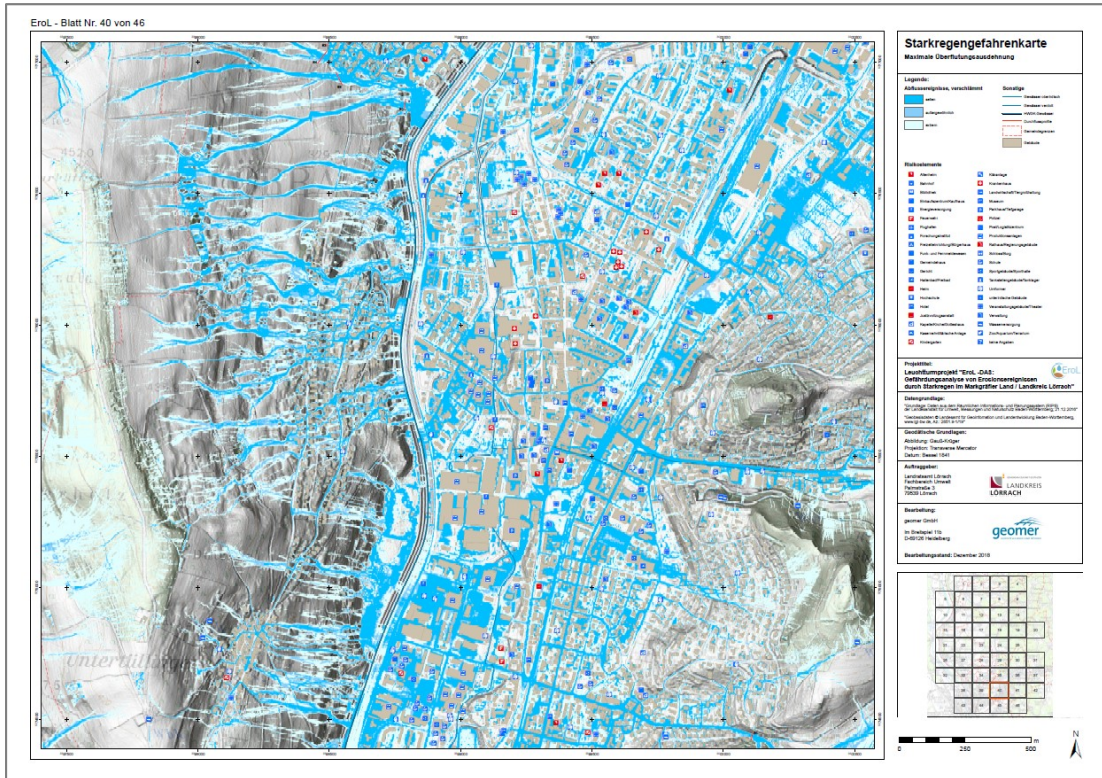


Abb. 27: Maximale Überflutungsausdehnung der Abflussereignisse selten, außergewöhnlich und extrem im EroL Projektgebiet

Bei der Überflutungsausdehnung wird die Ausdehnung der drei Szenarien nebeneinander dargestellt (unterschiedliche Blautöne). Außerdem werden in dieser Karte die Risikoelemente und die Lage und Nummer der Durchflussprofile (s. Kapitel 7.2.5) dargestellt. Daher eignet sich diese Karte besonders für die Planung von Maßnahmen sowie für die Diskussionen im Rahmen des Risikomanagementprozesses.

7.2.2. Überflutungstiefenkarten

Die Überflutungstiefen zeigen die möglichen Eintrittswege des Wassers in die Gebäude an. Bereiche, in denen die Überflutungstiefe geringer als 3 cm ist, werden nicht dargestellt, um Irritationen bei der Interpretation zu vermeiden. Bei Überflutungstiefen bis 10 cm besteht für nicht ebenerdige Kellerfenster oder Lichtschächte keine Gefahr. Es kann jedoch auch hier situationsbedingt zu Gefährdungssituationen kommen, beispielsweise durch eine angeschwemmte Plane oder ein Baumstamm. Zwischen 10 und 50 cm kann hingegen Wasser in Gebäude eindringen (s. Tab. 6). Höhere Überflutungstiefen können bei Unterführungen, Treppenabgängen und Tiefgaragen vorkommen.

Tab. 6: Potenzielle Gefahren für Leib und Leben sowie Infrastruktur und Objekte bei unterschiedlichen Überflutungstiefen (nach LUBW 2016, S. 28)

Überflutungstiefe	Potenzielle Gefahren für Leib und Leben	Potenzielle Gefahren für Infrastruktur und Objekte
3-10 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Volllaufende Keller können das Öffnen von Kellertüren gegen den Wasserdruck verhindern. - Eingeschlossenen Personen droht das Ertrinken. 	<ul style="list-style-type: none"> - Überflutungen und Wassereintritt durch ebenerdige Kellerfenster oder Lichtschächte - Wassereintritt in tieferliegende Gebäudeteile - Wassereintritt durch ebenerdige Türen mit möglicher Schädigung von Inventar
10-50 cm	<ul style="list-style-type: none"> - für Kinder besteht die Gefahr des Ertrinkens bereits bei niedrigen Überflutungstiefen - Befahrbarkeit von Straßen und somit Rettungswege werden stark eingeschränkt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wassereintritt auch durch höher gelegene Kellerfenster möglich
50-100 cm	<ul style="list-style-type: none"> - s.o. - Erhöhte Gefahr durch die eingeschränkte Sichtbarkeit im Wasser (z.B. durch Treibgut) 	<ul style="list-style-type: none"> - Wassereintritt auch bei erhöhten Eingängen möglich
> 100 cm	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr für Leib und Leben bei statischem Versagen und Bruch von Wänden - Gefahr des Ertrinkens für Kinder und Erwachsene 	<ul style="list-style-type: none"> - Mögliches Versagen von Bauwerksteilen

Für die an EroL beteiligten Kommunen wurden folgende Simulationen durchgeführt:

- seltenes Abflussereignis, verschlämmt (UT_SEL_V)
- außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (UT_AUS_V)
- extremes Abflussereignis, verschlämmt (UT_EXT_V)

Die entsprechenden Überflutungstiefen werden als GeoTIFF übergeben und befinden sich in dem Verzeichnis *.../Ergebnisse/UT/*.

Die Überflutungstiefenkarten mit der maximalen Ausdehnung der Überflutung der Szenarien selten, außergewöhnlich und extrem sind in DIN A1 Karten dargestellt. Diese liegen als PDF im Verzeichnis *...Ergebnisse/Karten/UT* vor.

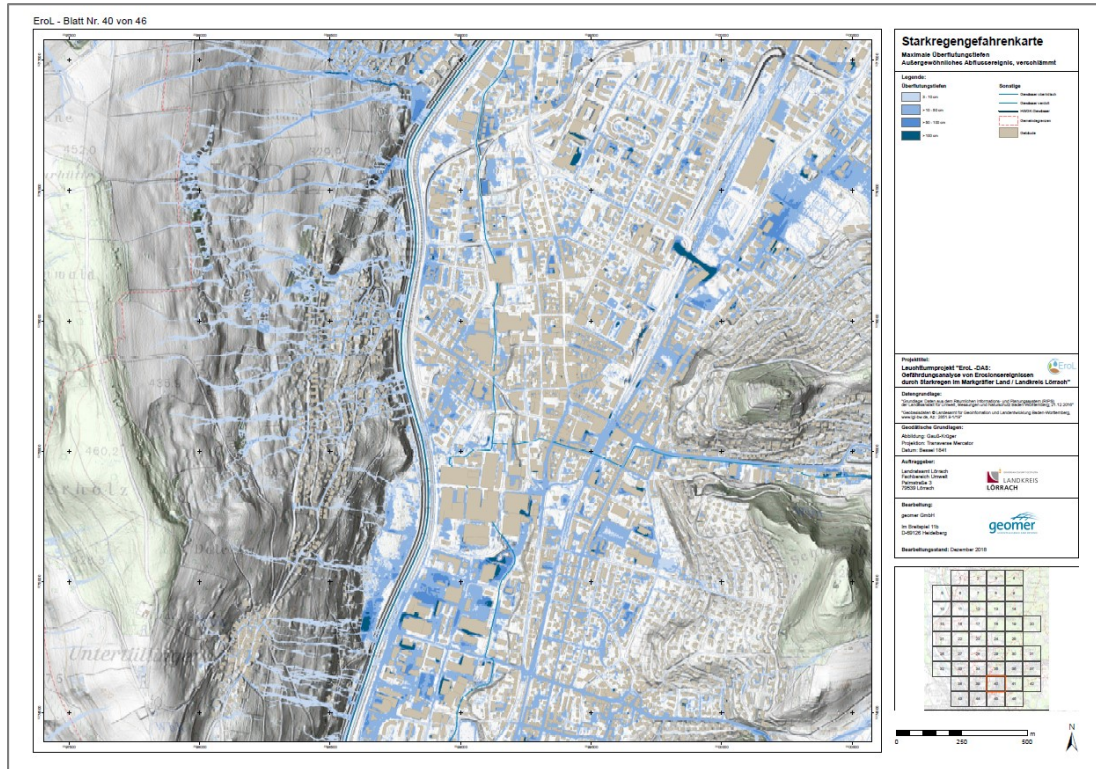


Abb. 28: Maximale Überflutungstiefenkarte mit maximaler Ausdehnung der Überflutung des außergewöhnlichen Abflussereignisses im EroL Projektgebiet

Die Wassertiefen werden ab 3 cm dargestellt. Hierdurch entstehen möglichst geringe Unterbrechungen in den Fließwegen. Zudem wird eine möglichst hohe Übereinstimmung mit den Fließgeschwindigkeitsbereichen (Klasse > 0,2 m/s) erreicht.

7.2.3. Fließgeschwindigkeiten

Je höher die Fließgeschwindigkeit, umso größer wirken sich dynamische Strömungskräfte auf Gebäude und Menschen aus. Schon bei Geschwindigkeiten von 0,5 bis 2 m/s besteht große Gefahr für Leib und Leben (s. Tab. 7).

Tab. 7: Potenzielle Gefahren für Leib und Leben sowie Infrastruktur und Objekte bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten (nach LUBW 2016, S. 28)

Fließgeschwindigkeit	Potenzielle Gefahren für Leib und Leben	Potenzielle Gefahren für Infrastruktur und Objekte
> 0,2 – 0,5 m/s	- Gefahr für ältere, bewegungseingeschränkte Bürger oder Kinder beim Queren des Abflusses	- Versagen von Türdichtungen durch erhöhten Druck
> 0,5 – 2 m/s	- Gefahr für Leib und Leben beim Versuch, sich durch den Abflussstrom zu bewegen	- Möglicher Bruch von Wänden durch Kombination von hohen statischen und dynamischen Druckkräften
> 2 m/s	- Gefahr für Leib und Leben bei Versagen von Bauwerksteilen - Gefahr durch mitgeführte, größere Feststoffe (z.B. Container, Auto, Baumstamm etc.) - Versagen von Bauelementen in Folge von Unterspülungen	- Mögliches Versagen von Bauwerksteilen durch hohe dynamische Druckkräfte oder mitgeführte Feststoffe - Beschädigung der Bausubstanz durch Unterspülung

Für die an EroL beteiligten Kommunen wurden folgende Simulationen durchgeführt:

- seltenes Abflussereignis, verschlämmt (FG_SEL_V)

- außergewöhnliches Abflussereignis, verschlämmt (FG_AUS_V)
- extremes Abflussereignis, verschlämmt (FG_EXT_V)

Die Fließgeschwindigkeit und -richtung werden zum einen als ESRI© Punkte-Feature-Class zur Verfügung gestellt und befinden sich in der ESRI© File Geodatabase .../Ergebnisse/Ergebnis.gbd. Zum anderen liegen die Daten als GeoTIFF unter .../Ergebnisse/FG (Fließgeschwindigkeit) und .../Ergebnisse/FR (Fließrichtung) vor.

Die maximale Fließgeschwindigkeit wird in Kombination mit der zugehörigen Überflutungsausdehnung in den Karten für die Szenarien selten, außergewöhnlich und extrem im DIN A1 Format dargestellt. Diese liegen als PDF im Verzeichnis .../Ergebnisse/Karten/FG.

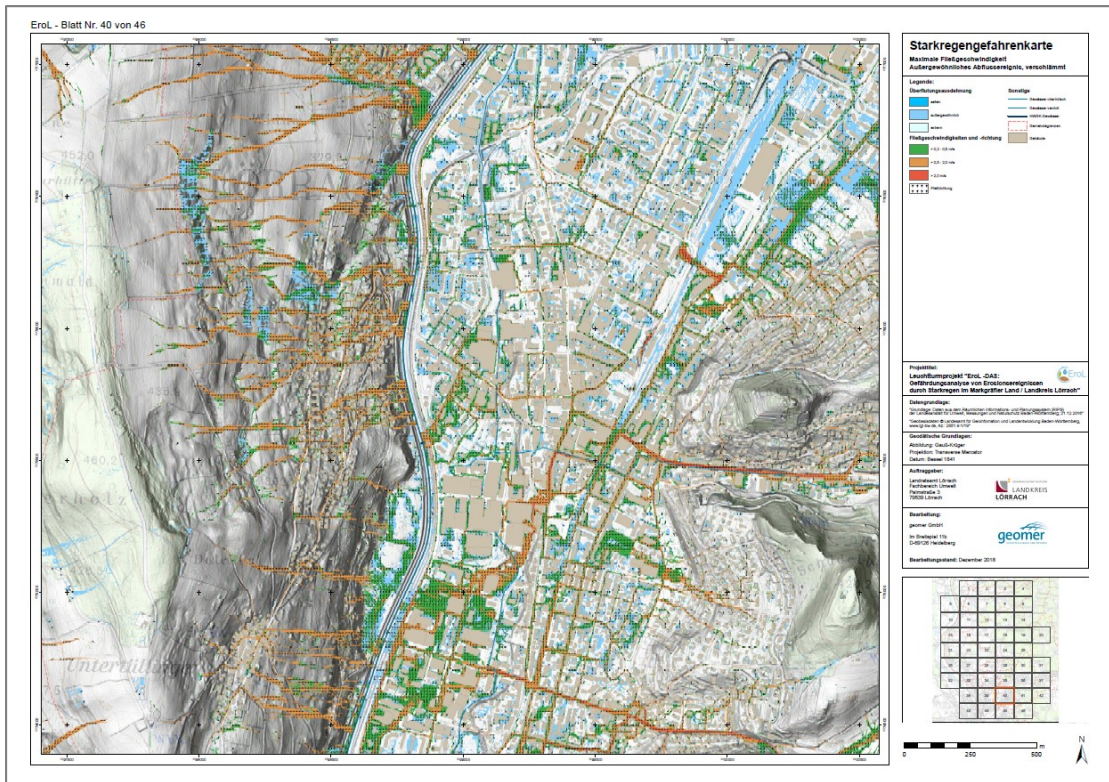


Abb. 29: Maximale Fließgeschwindigkeitskarte mit maximaler Ausdehnung der Überflutung des außergewöhnlichen Abflussereignisses im EroL Projektgebiet

Abweichend von der Musterlegende werden der besseren Lesbarkeit wegen die Fließgeschwindigkeiten flächig in den vorgeschlagenen Farben dargestellt und die Richtung schwarz drüber gedruckt (s. Abb. 30). Überflutungsflächen mit Fließgeschwindigkeiten geringer als 0,2 m/s werden im jeweiligen blau der Überflutungsausdehnung dargestellt. Bereiche, in denen die Überflutungstiefe geringer als 3 cm ist, werden nicht dargestellt, um Irritationen bei der Interpretation zu vermeiden.



Abb. 30: links: Musterlegende aus dem Leitfaden, rechts: Umsetzung in den Karten

7.2.4. Überflutungsausdehnungsanimationen

Für jede Kommune im EroL-Projektgebiet liegt jeweils eine Überflutungsausdehnungsanimationen für das seltene, außergewöhnliche und extreme Szenario vor. Die Animationen sind aus 180 1-Minuten-Ergebnissen (eine Stunde Niederschlag und zwei Stunden Nachlauf) aufbereitet.

Die gegenüber der Forderung des Leitfadens höhere Auflösung ermöglicht eine flüssigere Animation. Die Animationen sind im Rahmen von Präsentationen und Besprechungen gut geeignete Medien, um die Dynamik des Prozesses zu verdeutlichen.

Die Daten liegen im MP4-Format vor und befinden sich in den Verzeichnissen ...Ergebnisse/Karten/ANI_UA_SEL_V, ...Ergebnisse/Karten/ANI_UA_AUS_V und ...Ergebnisse/Karten/ANI_UA_EXT_V.

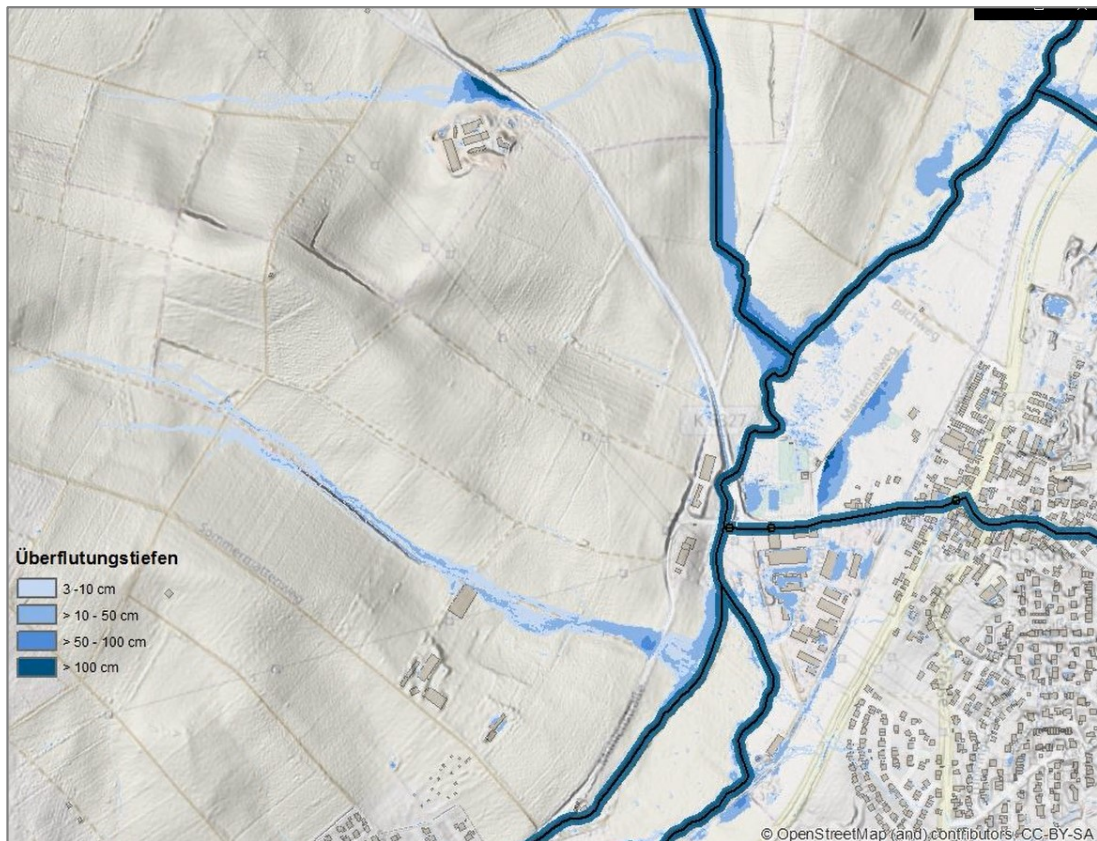


Abb. 31: Ausschnitt aus der Überflutungsausdehnungsanimation mit Überflutungstiefen des außergewöhnlichen Abflussereignisses in Rümplingen

7.2.5. Ganglinien- und Volumenberechnungen

Für das EroL-Gebiet wurde eine Gesamtgebietsbilanzierung durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob die Menge an Abfluss aus dem Untersuchungsgebiet zusammen mit der Menge an Wasser, das bei Simulationende im Untersuchungsgebiet verbleibt, der Menge entspricht, die anhand der Oberflächenabflusswerte in das Modell eingespeist werden:

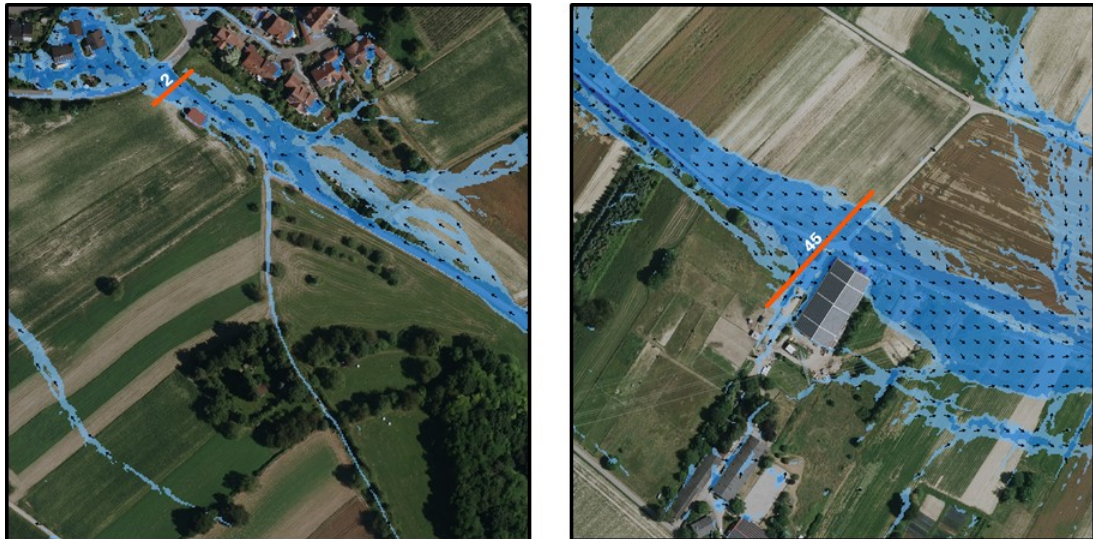
$$\text{Abfluss am Modellrand} + \text{Restwasservolumen} = \text{Input durch OAK}$$

Die Gesamtgebietsbilanzierung zeigt, dass der Modellabfluss und das Restwasservolumen zu 99,2 bis 99,9 % dem OAK-input innerhalb der Berechnungsdauer entsprechen.

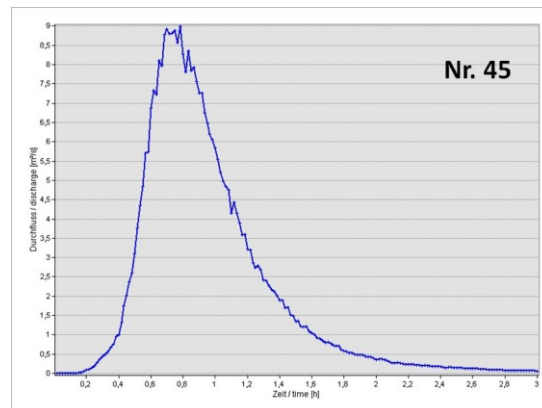
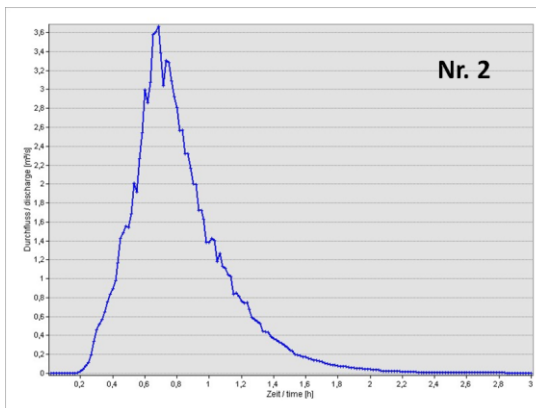
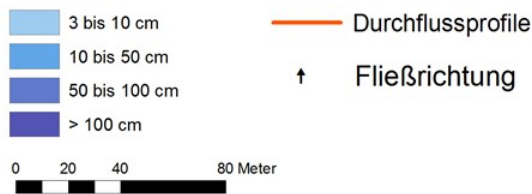
Für ausgewählte, besonders kritische Bereiche mit hoher Gefahr wurden Ganglinien für das seltene, außergewöhnliche und extreme Abflusszenario berechnet. Diese werden benötigt,

um z.B. den Rückhaltebedarf (Volumen, Maximalabflussmenge) zu ermitteln. Insgesamt wurden für jedes Szenario 94 Ganglinien generiert.

Die entsprechenden Linien werden als ESRI® Linien-Feature-Class übergeben und befinden sich in der ESRI® File Geodatabase *.../Ergebnisse/Ergebnis.gbd*. In den jeweiligen Attributtabelle steht die Durchflussmenge für jede einzelne Minute der Simulation. Die Durchflussprofil-Graphen zu den jeweiligen Linien befinden sich unter *.../Ergebnisse/Karten/Durchflussprofile*. Dort liegt zudem eine Excel-Tabelle mit dem maximalen und aufsummierten Durchfluss von jeder Ganglinie für alle drei Szenarien.



Überflutungstiefen



Nr.	Kommune	Einzugsgebiet	AUS V	
			Maximum [m ³ /s]	Summe [m ³]
2	Schliengen	Mauchenbächle	3,7	6.867
45	Rümmingen	Kander uh. Wollbach	9,0	21.592

Abb. 32: Beispiel von zwei Durchflussprofilen (Profil 2 und 45, oben) und den zugehörigen Graphen mit dem zeitlichen Verlauf des Durchflusses in m³/s (Mitte) im EroL Projektgebiet. Mittels der Durchflussprofile kann die Summe an Durchfluss für jedes der drei Szenarien innerhalb der 3 Stunden Simulationszeit berechnet werden (Tabelle unten).

8 Quellenverzeichnis

- Assmann, A., Kempf, J. und Henrichs, T. (2006): Agricultural measures for water management and their integration into spatial planning – AMEWAM. Final Report. Heidelberg. (unveröffentlicht)
- Assmann, A., Kempf, J., Billen, N., Schipper, H., und Engelhardt, M. (2009): Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen – Konzeptstudie. – Im Auftrag des Kooperationsvorhabens Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA) [Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz], 100 S. Hoffmann, V., Thomas, A., Gerber, A. [Hrsg.] (2009): Transdisziplinäre Umweltforschung - Methodenhandbuch. – Oekom Verlag München
- Assmann, A., Kempf, J., Billen, N., Fritsch, K. (2016): Sedimentdargebot des Lippe-Einzugsgebiets – Pilotstudie Seseke. Heidelberg. (unveröffentlicht)
- Assmann, A., Jäger, S., Fritsch, K. & Brauner, C. (2012): Starkregengefahrenkarten und Risikomanagement im Glems-Einzugsgebiet. In: Weiler, M. (Hrsg.) (2012) Wasser ohne Grenzen, Beiträge zum Tag der Hydrologie am 22./23. März 2012, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 31.12: 195-200.
- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.] (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 438 S. (5. Aufl.). Stuttgart.
- Billen, N., Kempf, J., Assmann, A., Puhmann, H., von Wilpert, K. (2017): Klimaanpassung durch Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Außenbereichen (KliStaR). Reihe KLIMOPASS-Berichte Projektnr.: 4500352507/23. Karlsruhe
- Bronstert, A., Fritsch, U., Katzemaier, D. (2000): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluß in Flußgebieten. Potsdam.
- De Roo, A. P. J. et. al (1994): Erosionormeringsonderzoek Zuid-Limburg. Utrecht, Amsterdam, Wageningen.
- DIN 19708 (2017): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. – Beuth Verlag. Berlin.
- Gerlinger, K. (1997): Erosionsprozesse auf Lößböden: Experimente und Modellierung. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. Karlsruhe.
- Green, W. H. and Ampt, G. A. (1911). Studies on soil physics I. - The flow of air and water through soils. J. Ag. Sci. 4, 1-24
- Hölzel, H. (2009): Analyse und Parametrisierung von Landnutzungseigenschaften zur Modellierung von Abfluss, Bodenerosion und Sedimentation im Einzugsgebiet des Wahnbachs (Bergisches Land). Dissertation Bonn
- Hough, M.N. (1990): Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland. Bracknell, UK.
- Ihringer, J. und Kron, W. (1993): Softwarepaket für Hydrologie und Wasserwirtschaft Anwenderhandbuch Band 1: Hochwasseranalyse Version 4. - Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe
- Jetten, V. (2002): LISEM – Limburg Soil Erosion Model. Windows Version 2.x. User manual. Utrecht.

Junghänel, T., Ertel, H. und Deutschländer, T (2017): KOSTRA – DWD – 2010R. Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Offenbach

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) (2016): Grundlage: Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; 21.12.2016

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2011): Merkblatt Gefahrenabwehr bei Bodenerosion. Karlsruhe. Download unter : https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/212002/merkblatt_gefahrenabwehr_bei_bodenerosion.pdf/38062e82-7fce-4f73-87ab-08b7b3d1c4a9

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe. Download unter: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/starkregen>, Stand 16.11.2018.

Menzel, L. (1997): Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. (Zürcher Geographische Schriften, Heft 67). Zürich.

Oehmichen, J. (1986): Pflanzenproduktion. Band 2. Berlin, Hamburg. S. 65
Plate, E.J., Zehe, E. (2008): Hydrologie und Stoffdynamik kleiner Einzugsgebiete - Prozesse und Modelle. - Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 366 S.
Plate, E.J. [Hrsg.] (1992): Weiherbach-Projekt - Prognosemodelle für die Gewässerbelastung durch Stofftransport aus einem kleinen ländlichen Einzugsgebiet, Schlußbericht zur 1. Phase des BMFT-Verbundprojektes. - Mitt. Inst. f. Hydrologie u. Wasserwirtschaft Univ. Karlsruhe, Heft 41, 548 S.
Prein, A. F, Gobiet, A., Suklitsch, M., Truhetz, H., Awan, N. K., Keuler, K. und Georgievski, G. (2013) Added value of convection permitting seasonal simulations. Climate Dynamics.

Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) (2015): Geofachdaten BW – Bodenkunde. Freiburg

Renger, M., Bohne, K., Facklam, M., Harrach, T., Riek, W., Schäfer, W., Wessolek, G. und Zacharias, S. (2008): Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe "Kennwerte des Bodengefüges" zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. Berlin.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (HRSG.) (1996): Parameterkatalog Sachsen. In: Erosion 2D/3D - Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Dresden.

Schipper, H., Kempf, J., Billen, N., Fosser, G., Schädler, G., Assmann, A. (2014): Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen - Phase II: Klima- und Erosionsmodellierung (Endbericht). – Hrsg. KLIWA-Kooperationsvorhaben, Karlsruhe/Hof/Mainz/Offenbach

Schrödter, H. (1985): Verdunstung. Berlin.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2019): Agrarstrukturerhebung, Landwirtschaftszählung, Bodennutzungshaupterhebung. Anbau ausgewählter Feldfrüchte auf dem Ackerland 1999 – 2016. Stadt Kraichtal. Stuttgart.

Stolte, J. (2003): Effects of land use and infiltration behaviour on soil conservation strategies. Wageningen.

University of Twente (2018): OpenLISEM. Multi-Hazard Land Surface Process Model – Documentation & User Manual. Twente.

Van Deursen, W. P. A. und Wesseling, C. (1992): The PCRaster package, Department of Physical Geographie, Utrecht, <http://pcraster.geo.uu.nl/>



Erosionsereignisse durch Starkregen im Markgräfler Land

Van Genuchten, M. Th., Leij, F. J. und Yates, S. R. (1991): The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, Version 1.0. EPA Report 600/2-91/065, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California.

9 Anhang

Tab. 8: Verteilung der vereinfachenden Feldfruchtgruppen auf die modellierten Kommunen und Teileinzugsgebiete (Mais = Silomais, Körnermais, CornCopMix, Kartoffel, Gartenbauerzeugnisse; Zuckerrübe = Zuckerrübe, Handelsgewächse außer Winterraps; Sommergetreide = Sommerweizen, Sommergerste, Hafer; Wintergetreide = Winterweizen, Wintergerste, Roggen, Triticale, Winterraps, Pflanzen zur Grünernte, Brache)

Kommune	Feldfruchtgruppe	Anbauumfang in Kommune (n. StaLa-BW 2016)	
		% n.StaLa	ha im DLM
Lörrach m. Wittlingen	Mais	33,1	130,5
	Zuckerrübe	0,0	0,0
	Sommergetreide	15,1	59,5
	Wintergetreide	51,7	203,8
Steinen	Mais	40,3	60,9
	Zuckerrübe	0,0	0,0
	Sommergetreide	3,0	4,5
	Wintergetreide	56,5	85,3
Binzen m. Fischingen m. Rümmingen	Mais	63,4	249,1
	Zuckerrübe	1,1	4,2
	Sommergetreide	2,5	9,8
	Wintergetreide	33,1	130,0
Eimeldingen m. Schallbach	Mais	51,9	222,8
	Zuckerrübe	2,1	8,9
	Sommergetreide	1,8	7,7
	Wintergetreide	44,3	189,9
Weil am Rhein	Mais	61,7	131,5
	Zuckerrübe	2,4	5,1
	Sommergetreide	5,3	11,2
	Wintergetreide	30,5	65,1
Efringen-Kirchen	Mais	60,2	991,4
	Zuckerrübe	1,3	22,2
	Sommergetreide	2,0	32,3
	Wintergetreide	36,5	601,0
Bad Bellingen	Mais	62,7	347,3
	Zuckerrübe	0,8	4,5
	Sommergetreide	0,3	1,4
	Wintergetreide	36,3	201,1
Kandern	Mais	55,7	619,0
	Zuckerrübe	2,0	22,7
	Sommergetreide	8,5	94,9
	Wintergetreide	33,8	375,5
Schliengen	Mais	44,4	388,8
	Zuckerrübe	1,2	10,8
	Sommergetreide	3,9	34,2
	Wintergetreide	50,5	442,2
Alle	Mais	55,4	3141,4
Alle	Zuckerrübe	1,4	78,4
Alle	Sommergetreide	4,7	255,5
Alle	Wintergetreide	38,5	2293,8