

Leitfaden für die GIS-basierte Fließpfadberechnung

Erkenntnisse und Empfehlungen aus dem Projekt MaPro

Masterplan zur nachhaltigen und übertragbaren kommunalen
Sturzflutvorsorge als transdisziplinärer **Prozess**



TECHNISCHE HOCHSCHULE
OSTWESTFALEN-LIPPE
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES
AND ARTS



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Impressum

Verfasst von

Katharina Pilar von Pilchau, M. Sc.

Prof. Dr.-Ing. Klaus Maas

Herausgeber

Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe (TH OWL)

Fassung

1. Fassung vom Dezember 2025, Höxter

Bildnachweise

Das Copyright aller Abbildungen liegt bei der TH OWL. Grafiken mit abweichender Herkunft sind entsprechend gekennzeichnet.

Lizenz

Der Leitfaden für die GIS-basierte Fließpfadberechnung 2025 von Katharina Pilar von Pilchau und Klaus Maas stehen unter der Creative Commons BY-NC-SA 4.0 Lizenz.

Eine Kopie der Lizenz finden sie unter <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

DOI

<https://doi.org/10.25644/7cq5-s973>

ISBN

978-3-910240-04-9

Förderung

Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Projekttitel: "DAS: Masterplan zur nachhaltigen und übertragbaren kommunalen Sturzflutvorsorge als transdisziplinärer Prozess"; Förderkennzeichen: 67DAS256.



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



TECHNISCHE HOCHSCHULE
OSTWESTFALEN-LIPPE
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES
AND ARTS

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund und Ziel von MaPro	4
Ziele, Aufbau und Zielgruppe des Leitfadens	5
Theoretische Grundlagen	6
Fließpfadberechnung - Allgemeiner Ablauf	10
Anwendungsbeispiel mit QGIS und Saga GIS	11
Grenzen der Fließpfade	46
Ergänzende Geodaten	47
Interpretation der Fließpfade	50
Hinweis Maßnahmenhandbuch	52
Haftungsausschluss	53
Literatur	54

Hintergrund von MaPro

Hintergrund

Einhergehend mit dem Klimawandel und der dadurch bedingten Erderwärmung lässt sich eine Zunahme von Extremwetterereignissen feststellen. Eine Herausforderung stellen dabei Starkregenereignisse dar, die verbunden mit Erosion verheerenden Folgen für Infrastruktur, Bevölkerung und Natur bedeuten können.

Besonders in ländlichen Räumen und im Nicht-Siedlungsbereich stellen Land- und Forstwirt:innen wichtige Akteur:innen bei der Vorsorge dieser Ereignisse und deren Folgen dar, auf deren Mitwirken Kommunen angewiesen sind. Im Rahmen der Daseinsvorsorge gilt es somit für kommunal Handelnde wirkungsvolle Maßnahmen der Vorsorge sowie passende Standorte zu identifizieren und andere Akteur:innen für ein gemeinsames Handeln zu motivieren.

Das Forschungsprojekt MaPro (Masterplan zur nachhaltigen und übertragbaren kommunalen Sturzflutvorsorge als transdisziplinärer Prozess) zielt darauf ab, einen Masterplan zu entwickeln, der Kommunen zur Umsetzung einer standortgerechten sowie ökologisch nachhaltigen Sturzflutvorsorge befähigt und geeignete Settings für eine aktivierende und konfliktfreie Einbindung klimasensibler Akteur:innen aufzeigt. Das Projekt gliedert sich dabei in vier zentrale Bausteine: Berechnung von Fließpfaden, Maßnahmenentwicklung, Prozessevaluation und Netzwerkbildung. Die Synthese der vier Projektbausteine erfolgt mit dem Anspruch, Kreisverwaltungen in ganz Deutschland entsprechend ihrer spezifischen Anforderungen bei der kommunalen Sturzflutvorsorge zu unterstützen.

Berechnung
von Fließpfaden

Maßnahmen-
entwicklung

Prozess-
evaluation

Netzwerk-
bildung

Projektbausteine in MaPro

Ziele, Aufbau und Zielgruppe des Leitfadens

Ziel und Aufbau des Leitfadens

Der Fokus dieses Leitfadens liegt auf der Berechnung von Fließpfaden. Besonders in ländlichen und eher bergigen Regionen entstehen in Folge von Starkregenereignissen Hangwasserabflüsse, die das Potenzial haben, erhebliche Mengen organischen Materials mit sich zu tragen und so in den darunter liegenden Bereichen zu einem erheblichen Schlammeintrag und großen Wassermassen führen können. Dies führt nicht nur zu Bedrohungsszenarien für die Bevölkerung, sondern zieht auch ökonomische wie ökologische Schäden mit sich. Mit dem Wissen, wo diese Gerinnelinien verlaufen, ist man in der Lage, möglichst weit oben am Hang und konkret an der Stelle des Verlaufs kleinräumige Maßnahmen einzurichten, die eine Sturzflut noch vor dem Entstehen verhindern, oder zumindest abmildern können.

Folgende Ziele werden vornehmlich in diesem Handbuch adressiert:

- Befähigung zur selbstständigen Ermittlung von Fließpfaden auf Grundlage frei verfügbarer Geodaten
- Schaffung einer Grundlage, in Form von Informationen zu potenziellen Hangwasserabflüssen, die einen gemeinsamen Austausch möglich macht und Vertrauen schafft

Zielgruppe des Leitfadens

Dieser Leitfaden richtet sich insbesondere an kommunale Mitarbeiter:innen und Entscheidungsträger:innen, aber auch alle darüber hinaus, die im Prozess der Sturzflutvorsorge involviert sind und sich einen Überblick zu potenziellen Hangwasserabflüssen machen wollen. Es wurde darauf geachtet, den Leitfaden so aufzubauen, dass auch diejenigen die Berechnung durchführen können, die nicht alltäglich mit Geografischen Informationssystemen arbeiten.

Theoretische Grundlagen - Fließpfadberechnung

Mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) und einem Digitalen Geländemodell (DGM) ist eine vereinfachte Modellierung der potentiellen Fließwege möglich. In der Literatur wird dabei oft von GIS-basierter Fließpfad- bzw. Fließwegeanalyse oder auch topografischer Analyse gesprochen. Die Anfänge dieser Berechnung lassen sich auf O'Callaghan & Mark (1984) zurückführen und wurden seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Im Fokus stand dabei im Wesentlichen die Art der Aufteilung des Oberflächenabflusses von einer zentralen Zelle in ihre Nachbarzellen. Die entwickelten Algorithmen lassen sich folgendermaßen voneinander abgrenzen:

Eindirektionale Verfahren (Single-neighbour flow): Ausgehend von einer zentralen Zelle wird der Oberflächenabfluss entsprechend dem maximalen Gefälle nur in **eine benachbarte Zelle** weitergeleitet. Es entsteht dabei ein konvergentes Fließwegbild (Abbildung 1, links).

Multidirektionale Verfahren (Multiple-neighbour flow): Ausgehend von einer zentralen Zelle kann der Oberflächenabfluss entsprechend dem Gefälle in **mehrere benachbarte Zellen** weitergeleitet werden. Es entsteht dabei ein divergentes Fließwegbild (Abbildung 1, rechts).

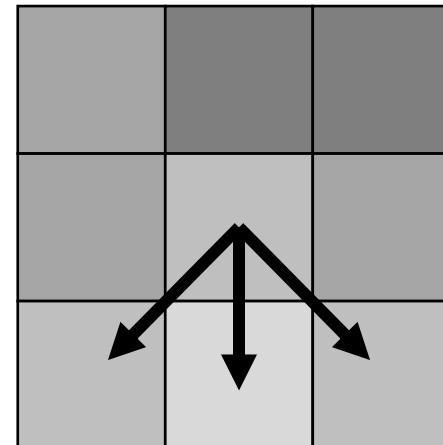
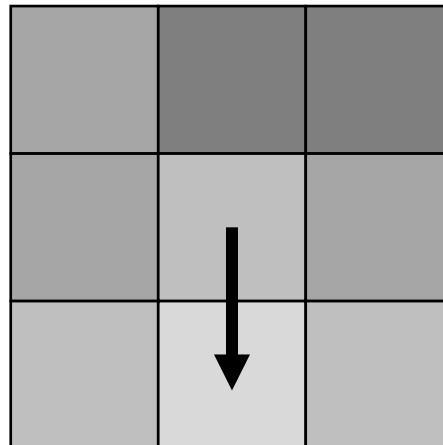


Abbildung 1: Pixel in einer 3×3 Nachbarschaft. Die Grauwerte stellen die mit der Dunkelheit der Zelle zunehmende Höhe dar. Links: Einzelne Fließrichtung, die dem zentralen Pixel zugeordnet ist. Rechts: Mehrere Strömungsrichtungen, die dem zentralen Pixel zugeordnet sind (eigene Darstellung nach Gruber & Peckham 2008).

Ein guter Überblick über die entwickelten Algorithmen wird durch Gruber & Peckham (2008) sowie Wilson et al. (2008) gegeben. Ein bekannter Vertreter für das Eindirektionale Verfahren ist beispielsweise der D8 Algorithmus. Dieser wurde von Mark (1984) bzw. O'Callaghan & Mark (1984) entwickelt und dabei wird von jeder Zelle der gesamte Abfluss in die Nachbarzelle mit dem **größten Höhenunterschied** geleitet. Es ergeben sich dadurch acht mögliche Abflussrichtungen, die dem Algorithmus auch ihren Namen gegeben haben: Deterministic 8. Liegen Zellwerte mit demselben Minimalwert nebeneinander vor, wird dies durch eine zufällige Zuordnung gelöst (Gruber & Peckham 2008).

Ein Vertreter der divergenten Fließwege ist beispielsweise die MFD-Anwendung (Multiple Flow Direction). Diese wurde von Quinn et al. (1991) beschrieben. Kernansatz dabei ist, dass eine **gefällegewichtete Aufteilung** des Abflusses stattfindet. Umso größer das Gefälle zur benachbarten Zelle ist, desto mehr Abfluss wird zugeordnet. Jede Zelle erhält durch dieses Vorgehen einen Teil des Abflusses aus jeder hangaufwärts gelegenen Zelle. Dadurch setzt sich die hangaufwärts gelegene Fläche der aufnehmenden Zelle aus Teilbeträgen vieler verschiedener Zellen zusammen (Quinn et al. 1991, Wilson et al. 2008).



Hinweis

Unter einem Fließpfad bzw. -weg wird ein Abschnitt eines Entwässerungsweges an der Oberfläche verstanden. Im Sinne der GIS-basierten Berechnung handelt es sich dabei um den Weg des Oberflächenabflusses, der sich allein durch die Topografie ergibt. Versickerung in den Untergrund oder andere Prozesse, wie beispielsweise die Verdunstung, spielen bei dieser Berechnung keine Rolle. Als Ergebnis resultiert ein synthetisches Gewässernetz, dessen Dichte über die Eingabeparameter festgelegt werden kann.

Theoretische Grundlagen - Senken in GIS

Im Kontext der GIS-basierten Fließpfadberechnung kann eine Senke das Ende eines Fließweges darstellen. Stark vereinfacht ist diese Situation in der Abbildung 2 dargestellt, die ein Höhenmodell mit einer Ausdehnung von 3x3 Zellen zeigt. Die innenliegende Zelle weist einen niedrigeren Wert auf, als die daran anschließenden Zellen. Daraus ergibt sich, dass für die innen liegende Zelle keine Fließrichtung berechnet werden kann und sie dadurch eine Senke bildet. Senken können nicht nur aus einzelnen Zellen bestehen, sondern sich auch durch einen Verbund von mehreren Zellen ergeben.

Bei der Berechnung eines synthetischen Gewässernetzes können Senken problematisch sein, da sie dafür sorgen, dass ein Fließpfad unterbrochen wird. Die Kantenlänge der Rasterzellen beträgt häufig nur einen Meter. Die sich dadurch ergebenden Senken sind also lediglich Artefakte, die bei der Fließwegeberechnung (bis zu einer gewissen Größe) irrelevant sind. Für die Fließpfadberechnung sollte ein DGM daher so gefüllt werden, dass Senken, in denen die Abflussrichtung nicht bestimmt werden kann, entfernt werden. Diese Vorglättung sollte jedoch nur bis zu einem gewissen Grad durchgeführt werden, um größere Senken zu erhalten.

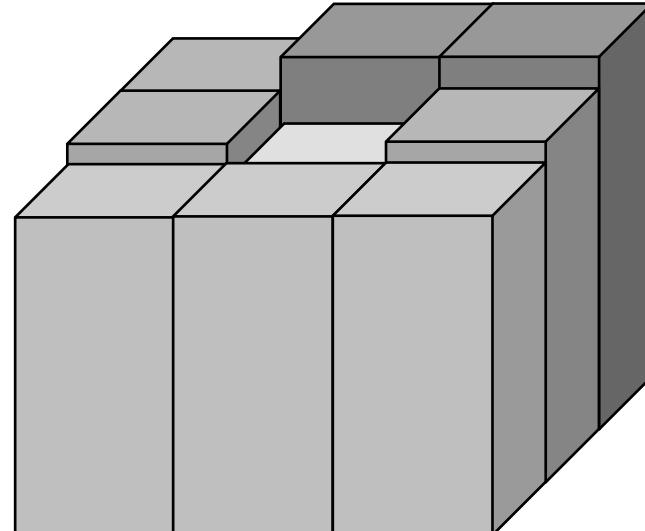
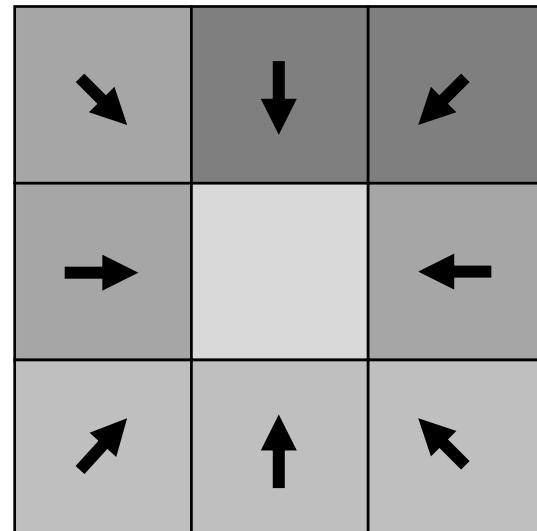


Abbildung 2: Pixel in einer 3×3 Nachbarschaft. Die Grauwerte stellen die mit der Dunkelheit der Zelle zunehmende Höhe dar, die Pfeile kennzeichnen die Richtung der steilsten Neigung.

Links: Draufsicht; Rechts: 3D-Visualisierung

Theoretische Grundlagen - Abflussakkumulation

Im Merkblatt 119 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA 2016) ist eine Klassifizierung der Überflutungsrelevanz von Fließwegen angegeben. Entsprechend dieser können vier Gefahrenklassen voneinander abgegrenzt werden (vgl. Tabelle).

Diese Kategorien werden bei der GIS-basierten Fließpfadberechnung als Schwellwerte verwendet, ab wann ein Fließpfad ausgewiesen wird. Die Basis dafür stellt die sogenannte Abflussakkumulation dar. Bei dieser Funktion wird für jede Zelle die Abflussakkumulation berechnet. Dadurch erhält jede Rasterzelle als Wert die Gesamtsumme an Zellen des DGM, aus denen Wasser in sie zufließt.

Gefahrenklasse	Überflutungsgefahr	Akkumulierte Einzugsgebietsfläche entlang eines Fließweges	Initialer Grenzwert für Saga GIS
1	Gering	Abseits eines Fließweges (< 10 000 m ²)	500
2	Mäßig	10 000 m ² bis 50 000 m ²	10 000
3	Hoch	50 000m ² bis 100 000 m ²	50 000
4	Sehr hoch	> 100 000 m ²	100 000

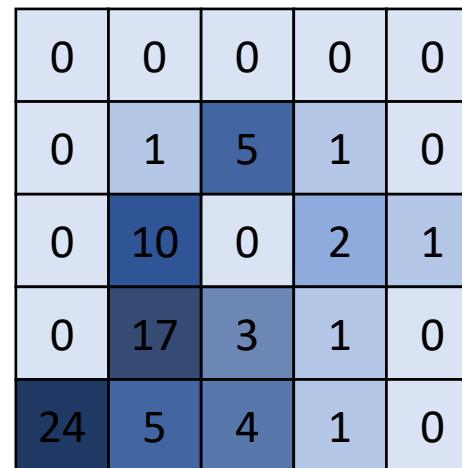
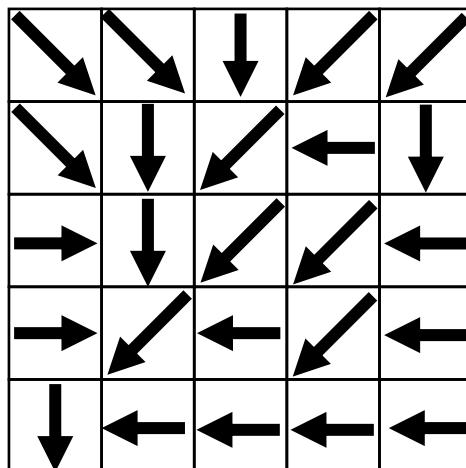


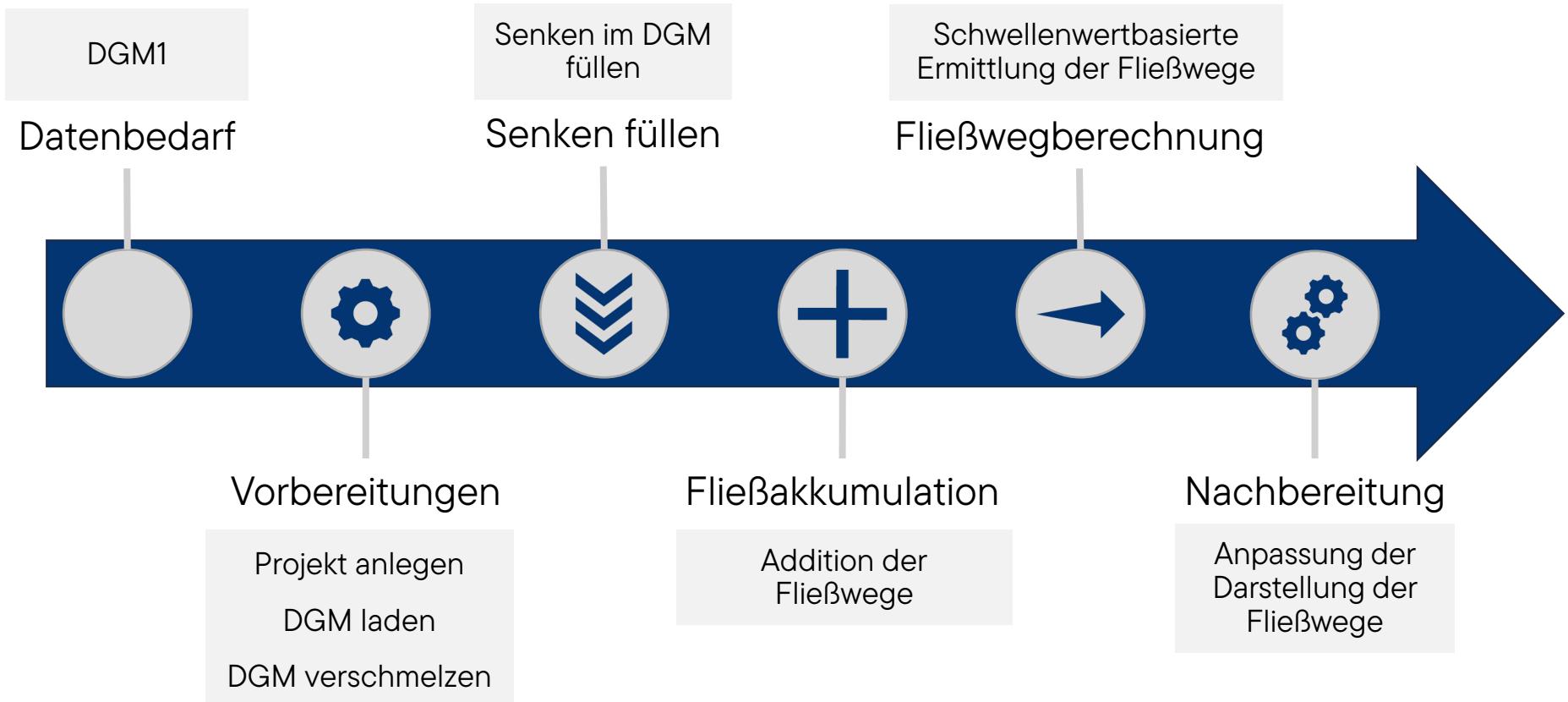
Abbildung 3: Pixel in einer 5×5 Nachbarschaft.

Links: Einzelne Fließrichtung, die dem zentralen Pixel zugeordnet ist;

Rechts: Gesamtsumme an Zellen, aus denen Wasser zufließt

Fließpfadberechnung - Allgemeiner Ablauf

Die Ermittlung der Fließwege erfolgt über mehrere Schritte. Ein vereinfachter Ablauf ist auf dieser Seite schematisch dargestellt. Der Prozess startet mit dem Datenbedarf (Digitales Geländemodell mit einer Auflösung von 1 m) und endet bei der optischen Aufbereitung der berechneten Fließwege.



Anwendungsbeispiel mit QGIS und Saga GIS

Für die Fließweganalyse existieren verschiedene Tools, die in den unterschiedlichen Softwarepaketen wie z.B. Esri Arc GIS, QGIS, Saga GIS, IDRIS integriert sind (Fárek & Unucka 2015). Im Rahmen dieses Leitfadens soll der Workflow exemplarisch anhand der Kombination von Saga GIS (Conrad et al. 2015) und QGIS (QGIS.org 2025) Schritt-für-Schritt aufgezeigt werden. Es handelt sich dabei um Open-Source-Produkte, die jeweils als Installation für verschiedenen Plattformen und mit verschiedenen Optionen zur Verfügung stehen. Für beide Produkte stehen online Dokumentationen bereit, die unter anderem bei der Installation unterstützen und einen umfangreichen Einstieg in die Anwendung bieten.

Produkt	Link	Dokumentation
QGIS	https://www.qgis.org	https://docs.qgis.org/3.40/de/docs/index.html
Saga GIS (System for Automated Geoscientific Analyses)	https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html	https://sourceforge.net/p/saga-gis/wiki/Documentation/



Hinweis

Für dieses Handbuch wurde mit der QGIS Version 3.34.3-Prizren und der Saga GIS Version 9.8.1 gearbeitet. Es ist möglich, Saga GIS in QGIS zu integrieren, sodass alle Saga GIS Funktionen über die Benutzeroberfläche von QGIS gesteuert werden. Für dieses Handbuch wurde sich jedoch dazu entschieden, die einzelnen Bearbeitungsschritte direkt mit der jeweiligen Software durchzuführen.

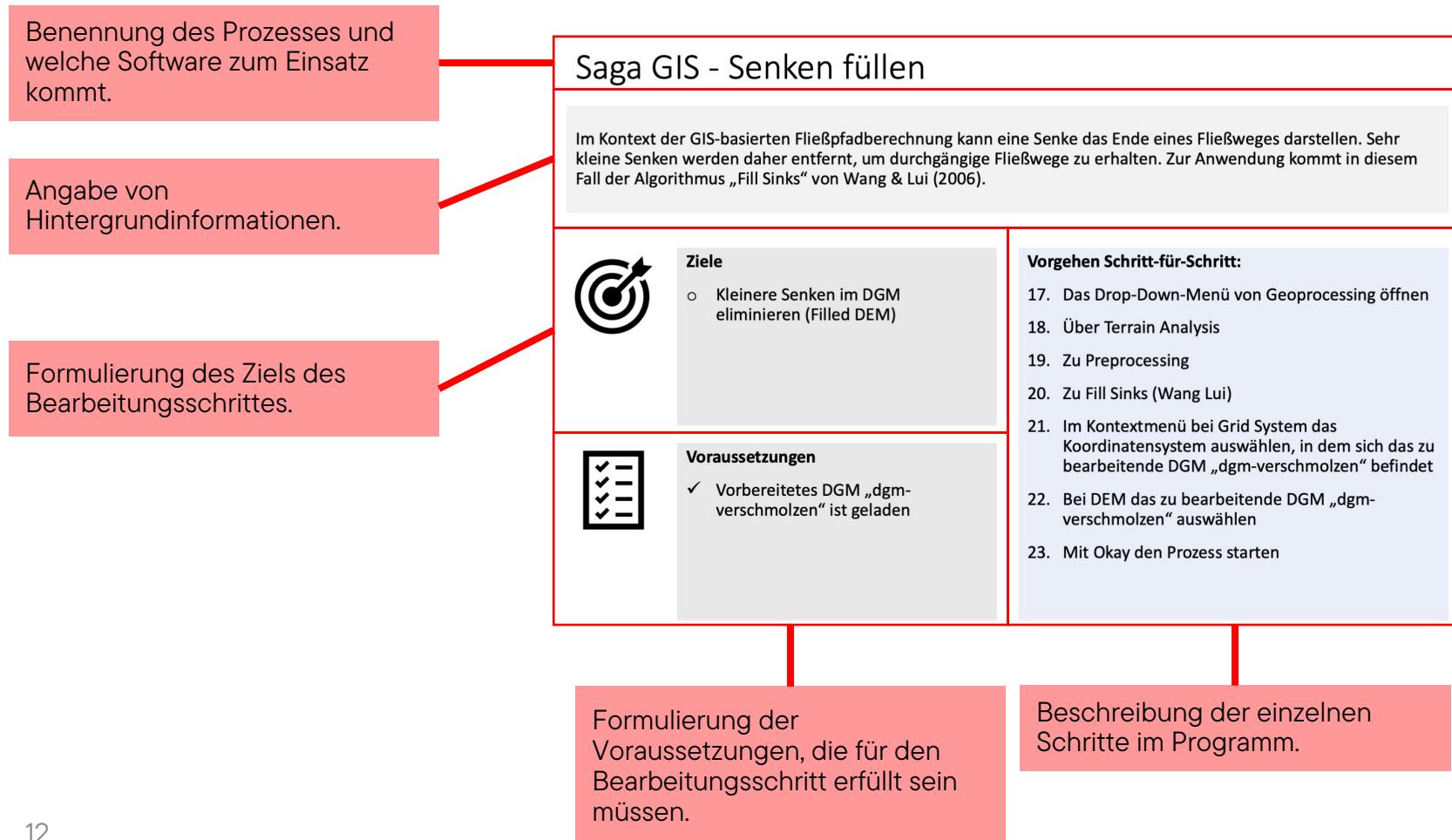


Hinweis

Für die Berechnung von Fließwegen stehen unterschiedliche Algorithmen zur Verfügung. Teilweise stehen diese auch kombiniert zur Verfügung. In diesem Handbuch wurde sich für einen Workflow entschieden, der mit so wenigen Berechnungsschritten wie möglich auskommt. Sind sinnvolle Alternativen vorhanden, wird ein entsprechender Hinweis gegeben.

Aufbau der Schritt-für-Schritt-Anleitung

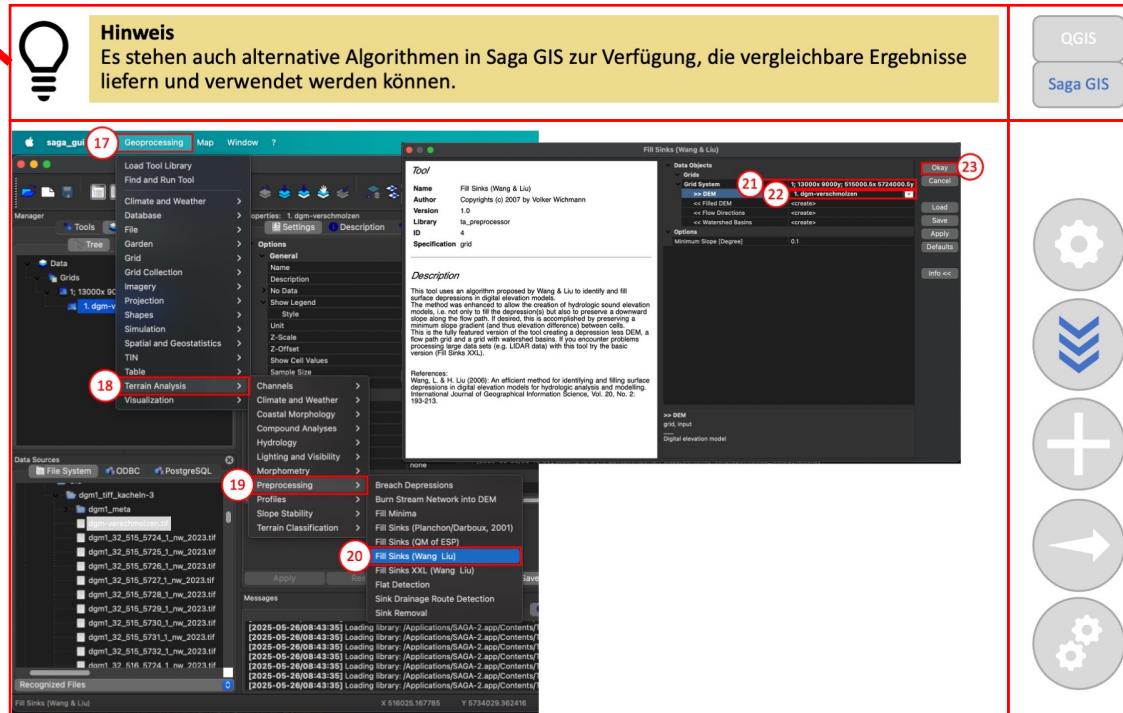
Die Schritt-für-Schritt Anleitung besteht aus zwei Teilen, die zusammen gehören und den Arbeitsschritt erläutern. Der Teil 1 ist folgendermaßen aufgebaut:



Der Teil 2 ist folgendermaßen aufgebaut:

Gegebenenfalls wird ein Hinweis gegeben.

In blau wird angezeigt, mit welcher Software gearbeitet wird.



Screenshot mit Markierung und Nummerierung der einzelnen Bearbeitungsschritte

Markierung des Bearbeitungsschrittes im Prozess.

Datenbedarf

Für die Berechnung der Fließwege wird ein Digitales Geländemodell (DGM) mit der Auflösung 1 m verwendet. Ein DGM beschreibt die Geländehöhen und -formen der Erdoberfläche ohne Vegetation und Bebauung anhand eines regelmäßigen Rasters. Diese werden in Deutschland als Open Data von den unterschiedlichen Bundesländern unter anderem als GeoTIFF in Form von Einzelkacheln über Geodatenportale bereitgestellt.



Ziele

- Download der Daten für das Untersuchungsgebiet



Voraussetzungen

- ✓ Zielgebiet wurde identifiziert und abgegrenzt
- ✓ Internetzugang ist vorhanden
- ✓ Daten stehen als Open Data zum Download zur Verfügung

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

- Internetbrowser öffnen
- Geoportal des Bundeslandes suchen, in dem sich das Untersuchungsgebiet befindet
- Gesuchter Geodatensatz: DGM1
- Den Anweisungen der jeweiligen Downloadhilfe folgen (falls vorhanden)
- Hinweis: werden mehrere Einzelkacheln heruntergeladen, darauf achten, dass der Bereich ausreichend groß gewählt wurde und rechteckig ist
- DGM als GeoTIFF herunterladen
- Einen neuen Projektordner für die Fließpfadmodellierung anlegen und die DGM-Daten dort abspeichern



Hinweis

Bezüglich der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes empfiehlt es sich, den Bereich **großzügig zu wählen**, für den die DGM-Daten heruntergeladen werden sollen. Falls vorhanden, können bei der Abgrenzung hydrologische Einzugsgebietsgrenzen hilfreich sein.

Werden mehrere Einzelkacheln heruntergeladen, sollte bei der Auswahl darauf geachtet werden, dass diese zusammen einen **rechteckigen Bereich** ergeben. Konkave oder konvexe Grenzen des Berechnungsbereichs können zu unerwünschten Artefakten im Ergebnis führen.



Hinweis

Das DGM kann um weitere Informationen ergänzt werden, um einen realitätsgetreueren Untergrund für die Fließpfadmodellierung zu erstellen. Um die Berechnungsschritte möglichst niedrigschwellig zu halten, wurde davon abgesehen, das Vorgehen in diesem Handbuchs zu beschreiben. Es werden an dieser Stelle lediglich Hinweise gegeben:

Es bietet sich beispielsweise an, den Gebäudebestand in das DGM zu implementieren. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Fließpfade nicht fälschlicherweise durch Bereiche verlaufen, die eigentlich mit Gebäuden bebaut sind. Geeignete Geodatensätze sind beispielsweise 3D-Gebäudemodelle wie LoD1 bzw. LoD2, oder auch die extrudierte Hausumringe der ALKIS-Daten.

Bei einer weiteren Optimierung handelt es sich um die Elimination von Bereichen innerhalb von Oberflächengewässern wie Seen oder Fließgewässern. Für diese Bereiche könnten basierend auf einem DGM ebenfalls Fließwege berechnet werden, die so in der Realität nicht vorkommen.

QGIS - Quickstart - Benutzeroberfläche

Für die Fließpfadmodellierung sind grundlegende Kenntnisse zum Programm QGIS notwendig. Im Folgenden wird zum Einstieg ein kurzer Überblick zur Benutzeroberfläche gegeben und in den Kontext der Fließpfadmodellierung gestellt.



Hinweis

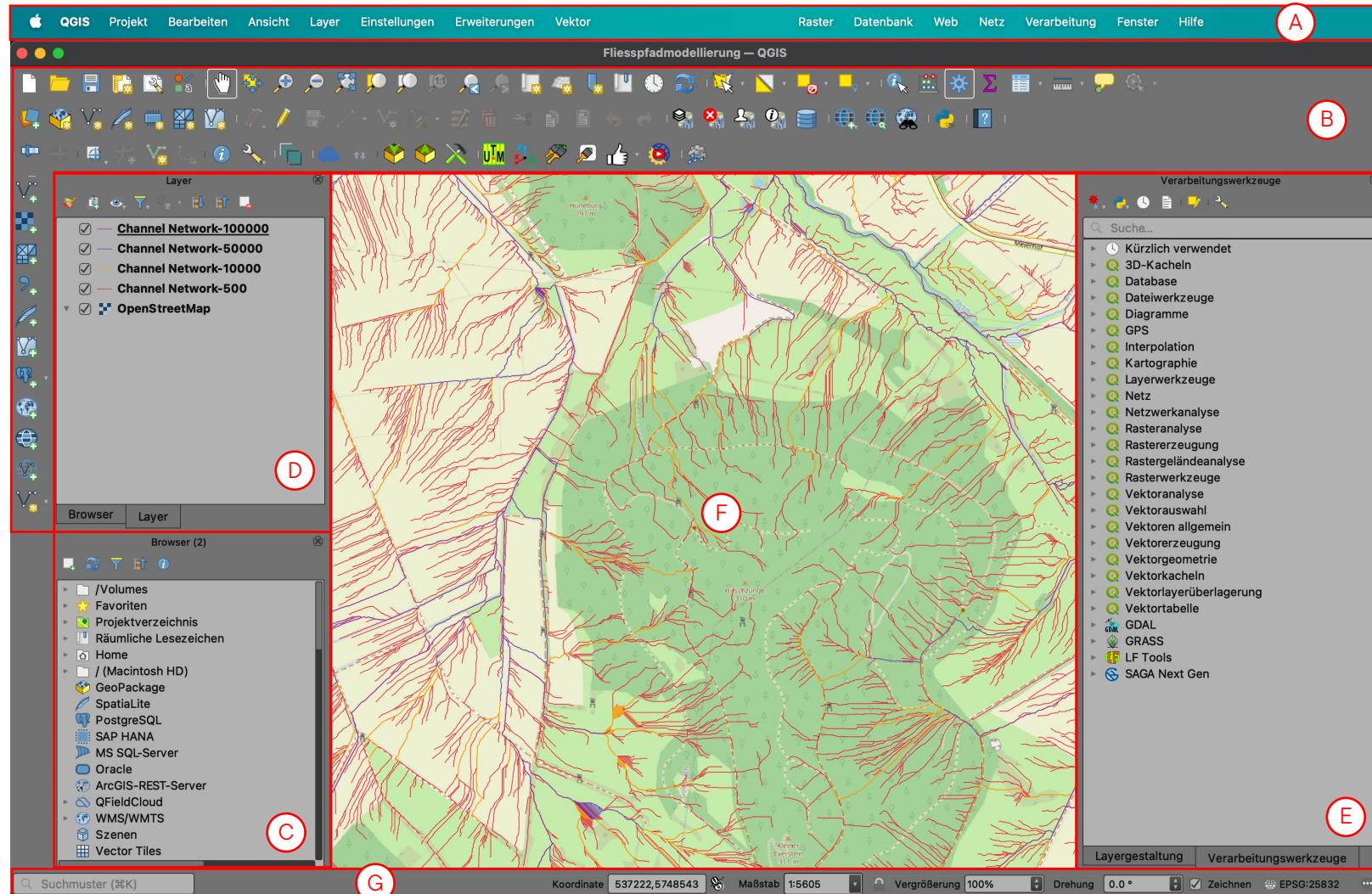
Das Aussehen einzelner Bereiche kann in Abhängigkeit vom Betriebssystem und den Darstellungseinstellungen abweichen.

Id	Bezeichnung	Was kann man da allgemein machen?	Nutzung im Leitfaden
(A)	Menüleiste	Zugriff auf Einstellungsmöglichkeiten, Funktionen und Werkzeuge über Drop-Down-Menüs.	Öffnen und Speichern des Projektes.
(B)	Werkzeugleisten	Direkter Zugriff auf ausgewählte Funktionen und Werkzeuge (individualisierbar).	
(C)	Bedienfeld „Browser“	Navigation im Dateisystem und Verwalten von Geodaten.	Geodaten in das Projekt laden.
(D)	Bedienfeld „Layer“	Auflistung aller Layer im Projekt.	Organisation der Layer
(E)	Bedienfeld „Verarbeitungswerkzeuge“	Liste aller verfügbaren Algorithmen, benutzerdefinierter Modelle und Skripte.	Suche und Aktivierung von Funktionen.
(F)	Kartenansicht	Anzeigefenster der Karten.	Anzeige der Fließwege.
(G)	Statusleiste	Allgemeine Informationen über die Kartenansicht, über den Verarbeitungsstatus und zu verfügbaren Aktionen.	

QGIS - Quickstart - Benutzeroberfläche

QGIS

Saga GIS



QGIS - Projekt anlegen

Für die Fließpfadmodellierung sind grundlegende Kenntnisse zum Programm QGIS notwendig. Im Folgenden wird ein kurzer Einstieg dazu gegeben, wie das Projekt angelegt wird, in dem die Berechnungen durchgeführt bzw. angezeigt werden.



Ziele

- Ein Projekt neu anlegen
- Ein Projekt abspeichern

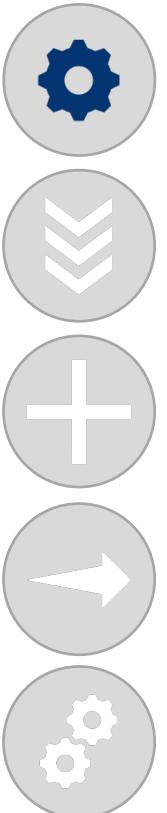
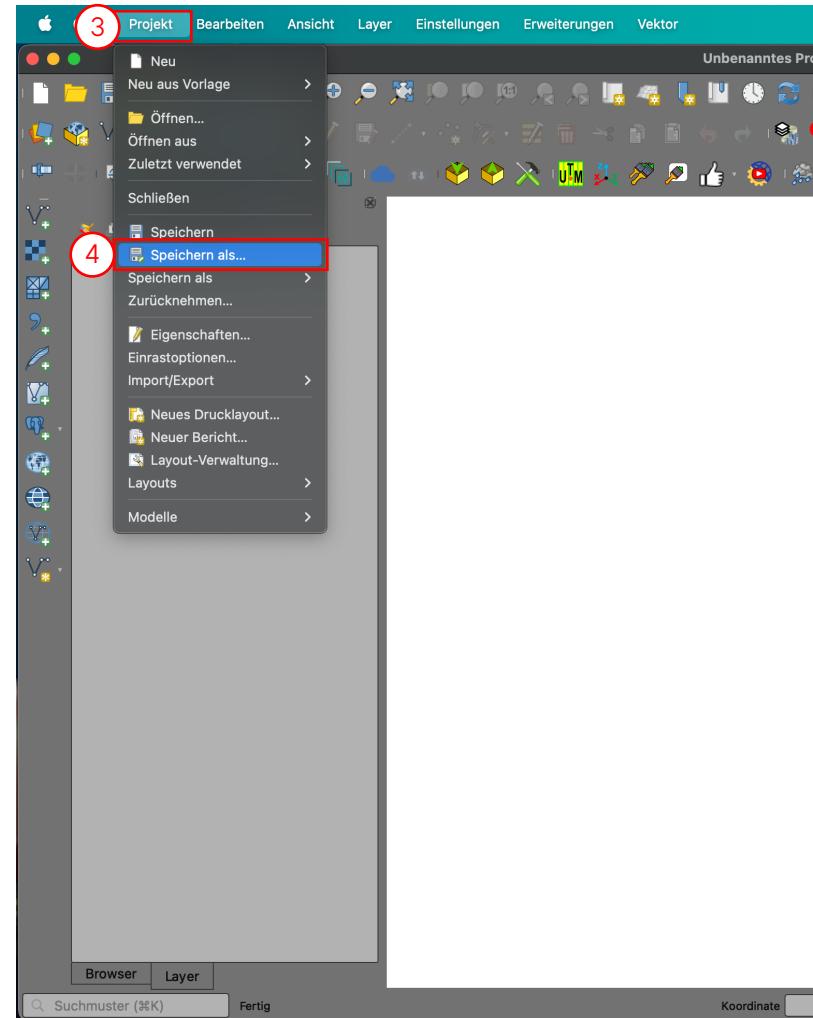
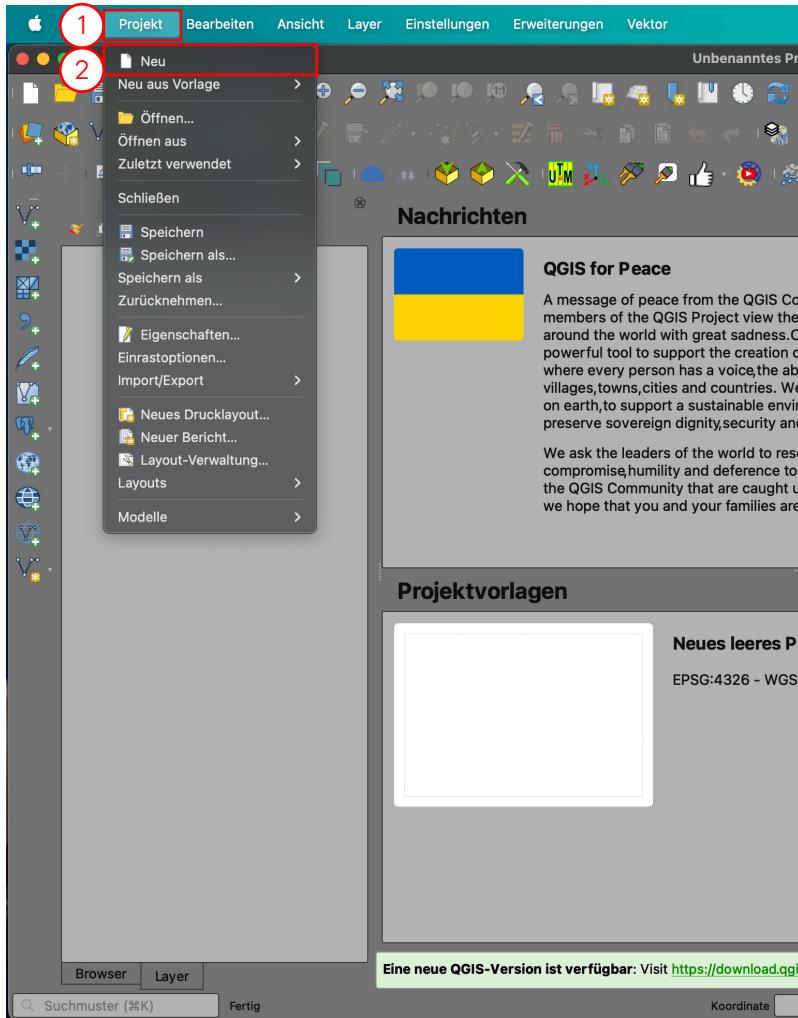


Voraussetzungen

- ✓ QGIS wurde heruntergeladen
- ✓ QGIS wurde installiert
- ✓ QGIS ist geöffnet

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

1. Menüleiste: „Projekt“
2. Drop-Down-Menü: „Neu“
3. Menüleiste: „Projekt“
4. Drop-Down-Menü: „speichern als“
 - Projekttitel vergeben (z.B. Fließpfadmodellierung)
 - Speicherpfad auswählen
 - Dateityp (voreingestellt): QGZ-Datei (*.qgz)



QGIS - DGM laden

Für die Fließpfadmodellierung müssen zunächst die DGM Einzelkacheln in das Projekt geladen werden. Folgende Schritte sind dafür in QGIS notwendig.



Ziele

- DGM Einzelkacheln in das Projekt laden



Voraussetzungen

- ✓ QGIS geöffnet
- ✓ Neues Projekt angelegt
- ✓ Projekt abgespeichert
- ✓ DGM-Kacheln für das Zielgebiet liegen vor

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

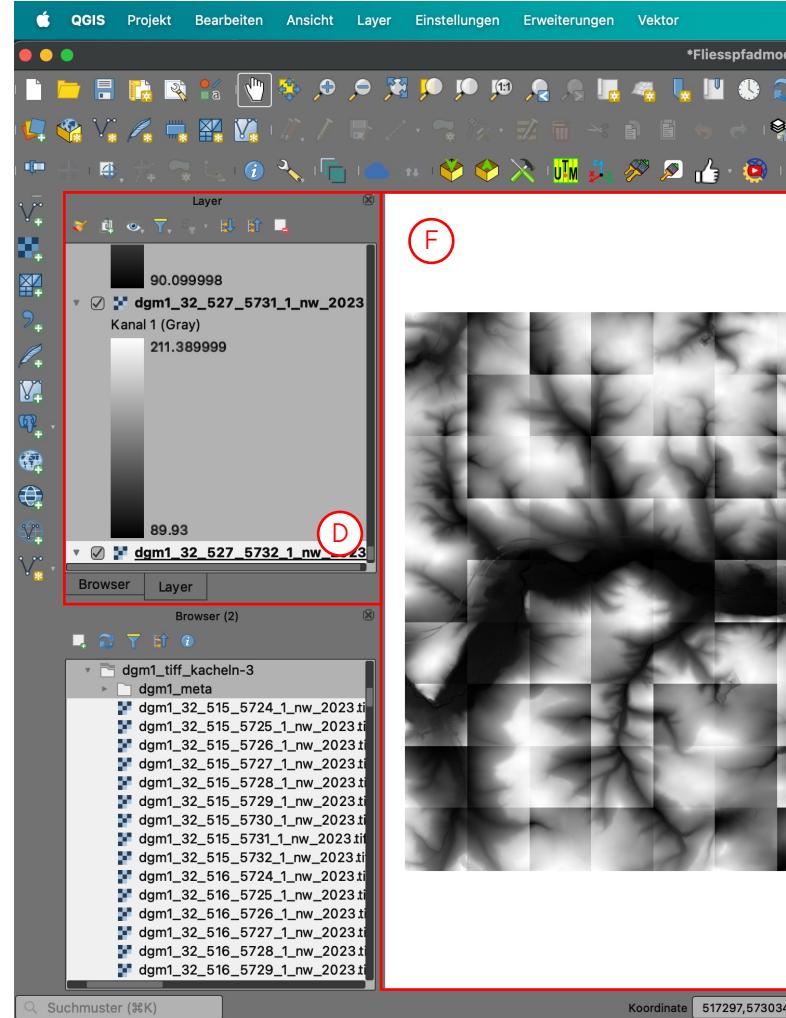
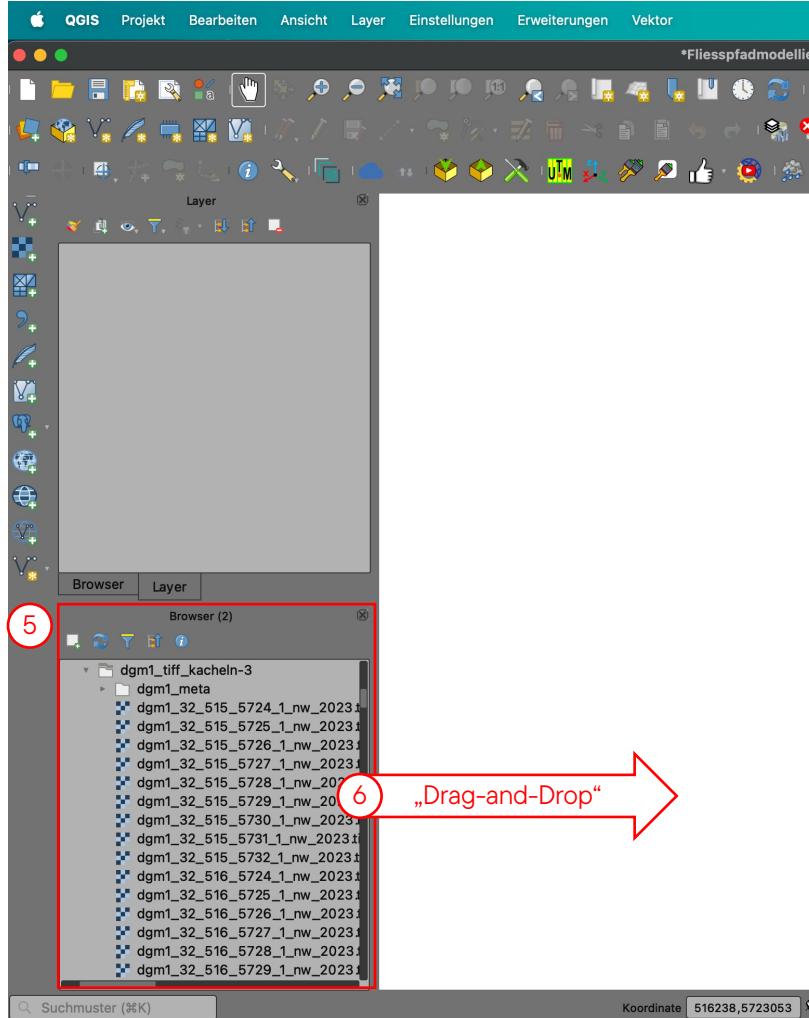
5. Im Bedienfeld „Browser“ zum Projektordner navigieren, in dem sich die heruntergeladenen DGM1 Dateien befinden.
6. Die Dateien markieren und bei gedrückter Maustaste in die Kartenansicht ziehen.



Als Ergebnis sollten die Einzelkacheln im Bedienfeld „Layer“ (D) aufgelistet sowie in der Kartenansicht (F) eine grafische Visualisierung vorhanden sein.

QGIS

Saga GIS



QGIS - DGM verschmelzen

Es empfiehlt sich zunächst die einzelnen Kacheln für das Zielgebiet zusammen zu führen. In QGIS steht dafür das Werkzeug „Verschmelzen“ zur Verfügung. Folgende Schritte sind dafür in QGIS notwendig.



Ziele

- Einzelne DGM-Kacheln verschmelzen
- Ergebnis: Eine Rasterdatei, mit der weitergearbeitet werden kann

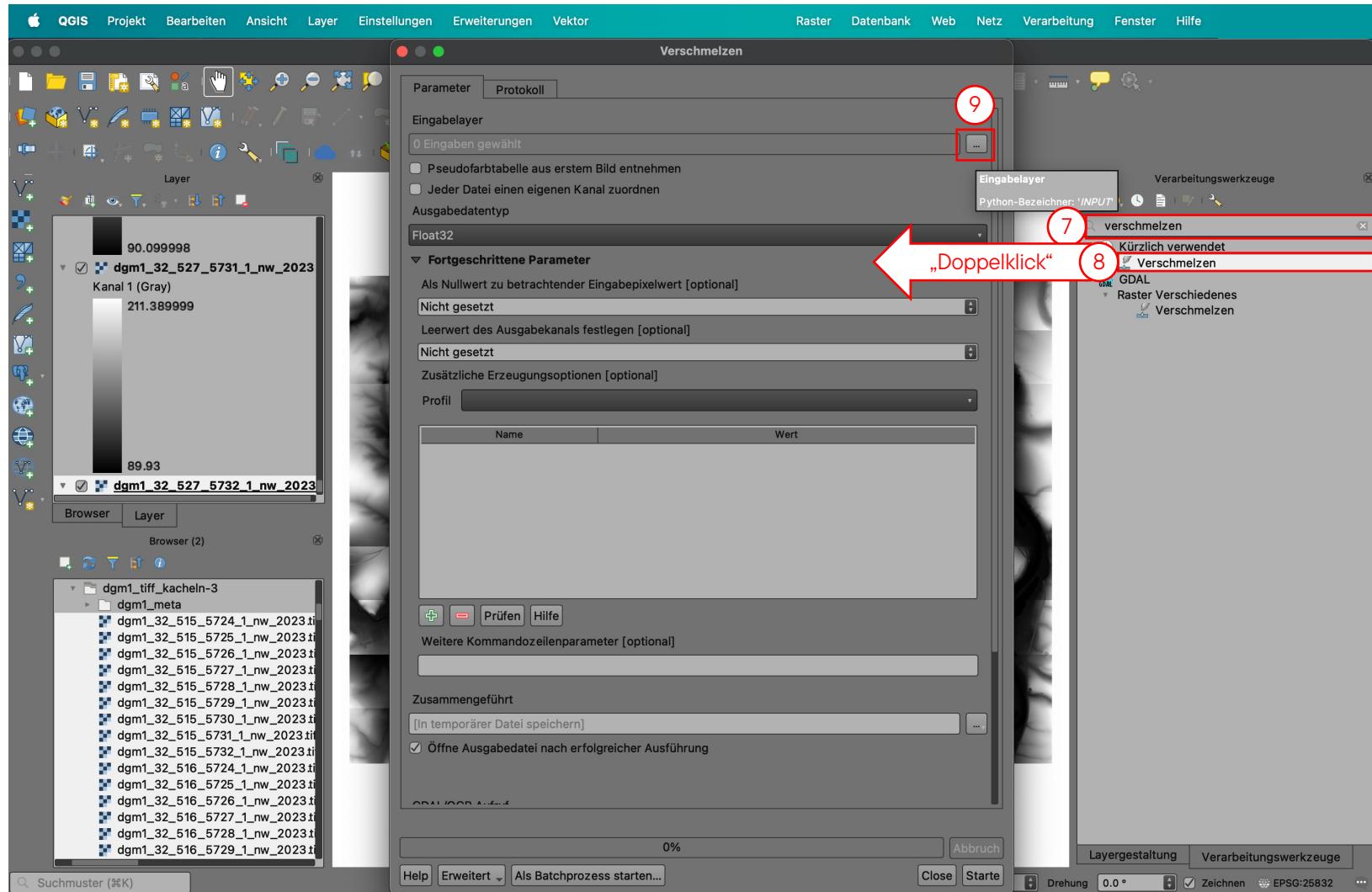


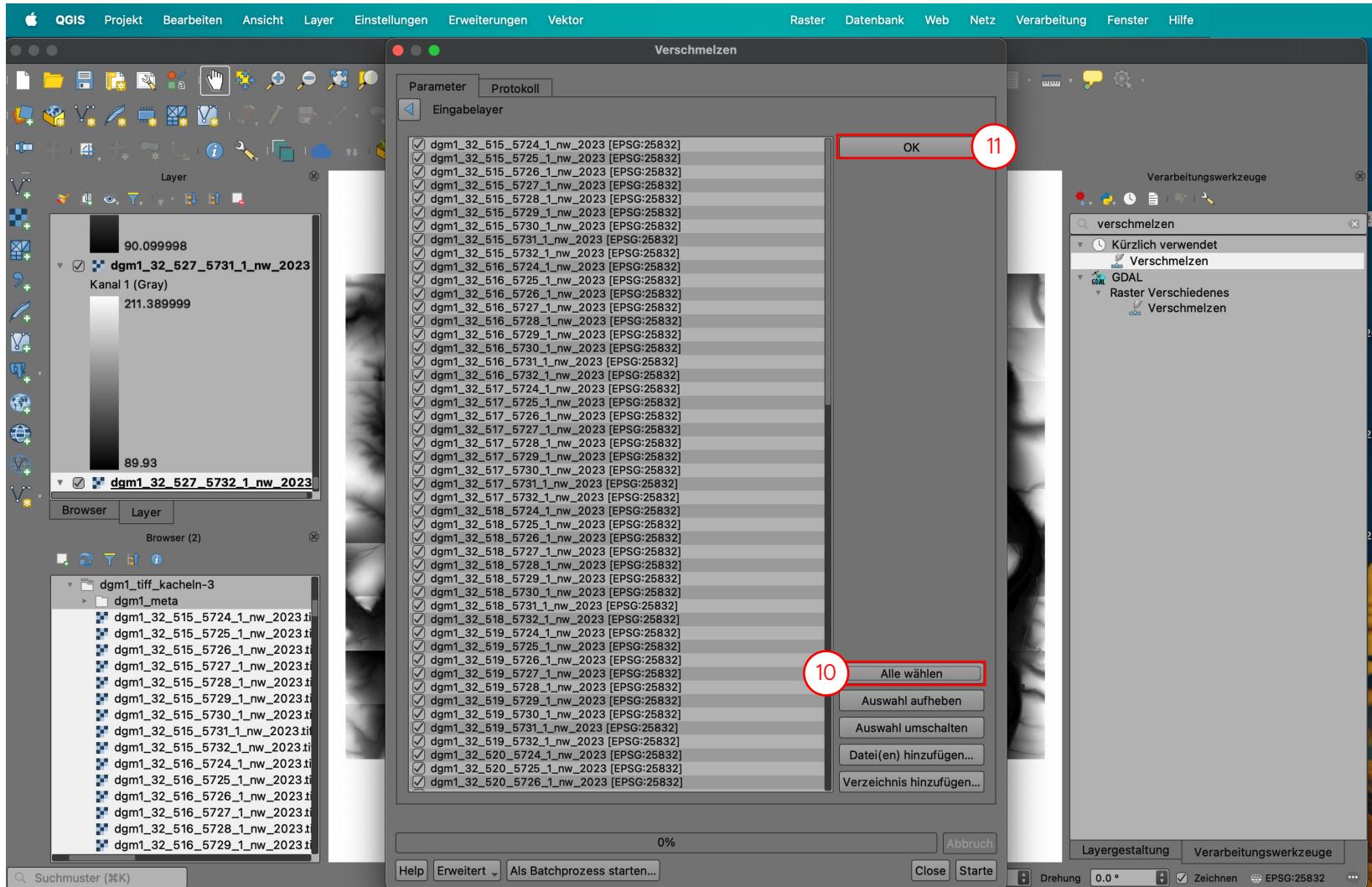
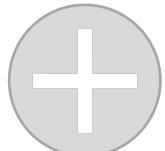
Voraussetzungen

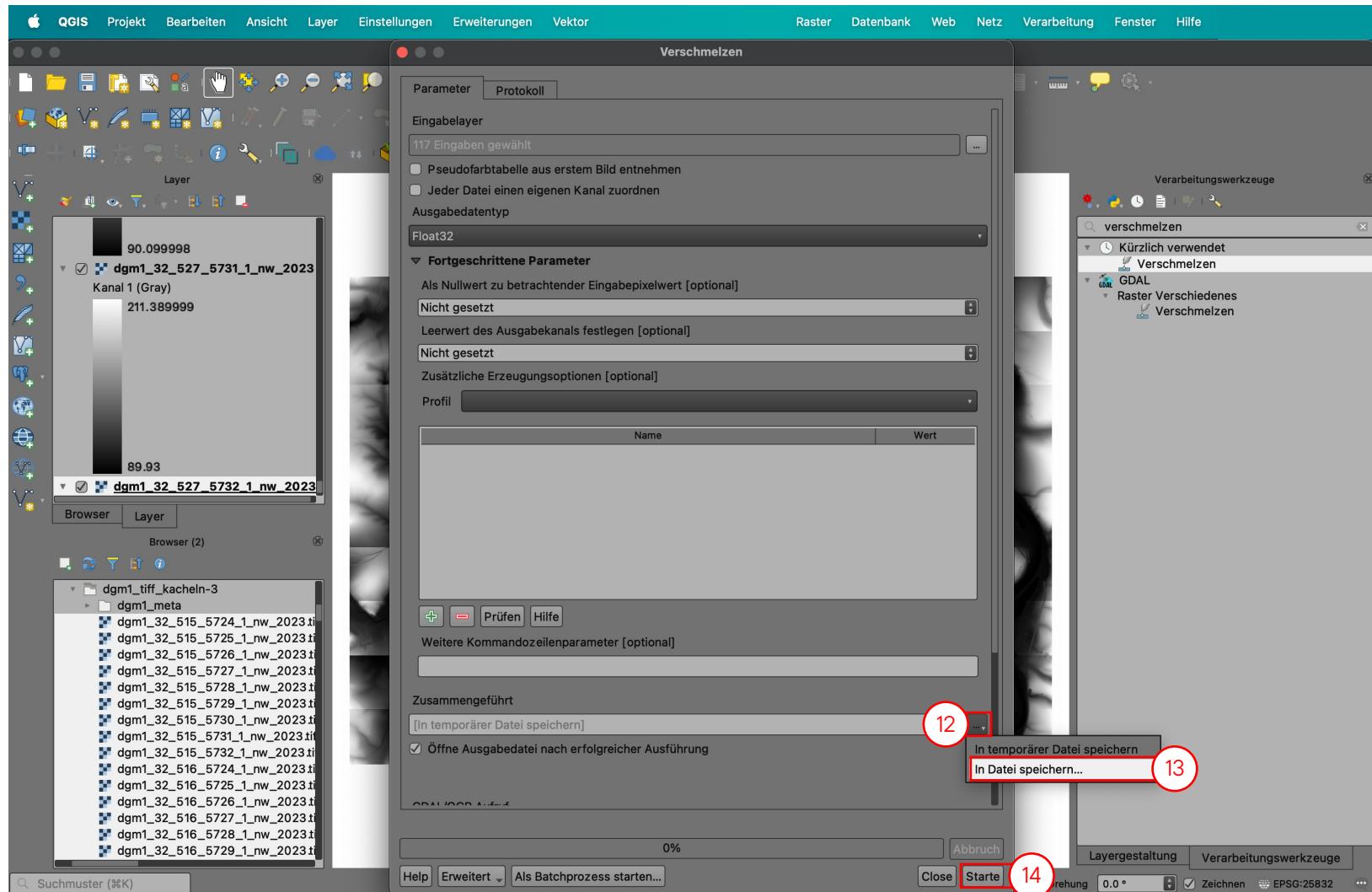
- ✓ DGM Einzelkacheln wurden in das Projekt geladen

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

7. Im Bedienfeld „Verarbeitungswerzeuge“ in der Suchleiste den Begriff „Verschmelzen“ eingeben
8. Das Werkzeug „Verschmelzen“ mit einem Doppelklick anwählen
9. Auf den Button klicken, um die Eingabelayer auszuwählen
10. Auf „Alle wählen“ klicken
11. Mit „Ok“ bestätigen
12. Auf den Button „...“ klicken,
13. Das Ergebnis als Datei abspeichern:
 - Dateinamen vergeben (z.B. „dgm-verschmolzen“)
Achtung: keine Leer-/Sonderzeichen/Umlatue vergeben
 - Speicherpfad auswählen
 - Dateityp: TIF-Datei (*.tif)
14. Prozess „starten“

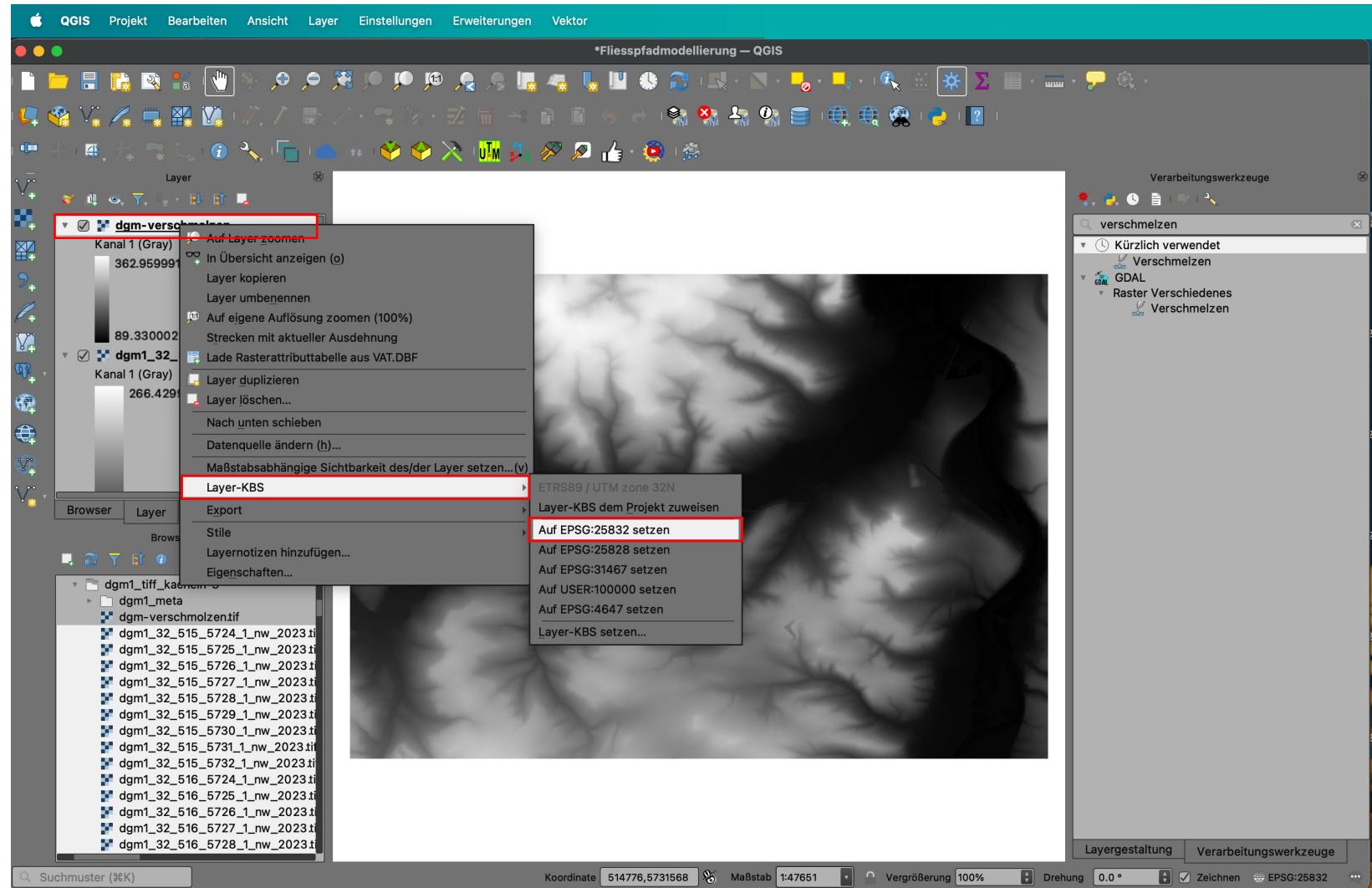
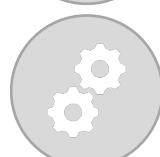






QGIS

Saga GIS

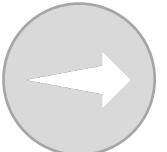
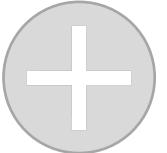


**Hinweis**

Koordinatensystemen werden in der Welt der geographischen Informationssysteme (GIS) auch als KBS (Koordinatenbezugssystem) bezeichnet. Es gibt weltweit eine große Zahl von KBS, mit denen Positionen beschrieben werden. Um Verwechslungen zu vermeiden, werden die KBS mit einem Zahlencode (EPSG, Spatial Reference) bezeichnet.

**Hinweis**

Ggf. muss bei der neu entstandenen Datei noch die richtige Georeferenzierung hinterlegt werden. Dazu einen Rechtsklick auf den neuen Layer, im Drop-Down-Menü zu „Layer-KBS“ navigieren und die entsprechende Einstellung vornehmen. In welchem Bezugssystem sich die Daten befinden, ist in der Regel auf der Downloadseite mit angegeben. In diesem Fallbeispiel handelt es sich um die Lageangabe: ETRS89/UTM32 (EPSG 25832).



Saga GIS - Quickstart - Benutzeroberfläche

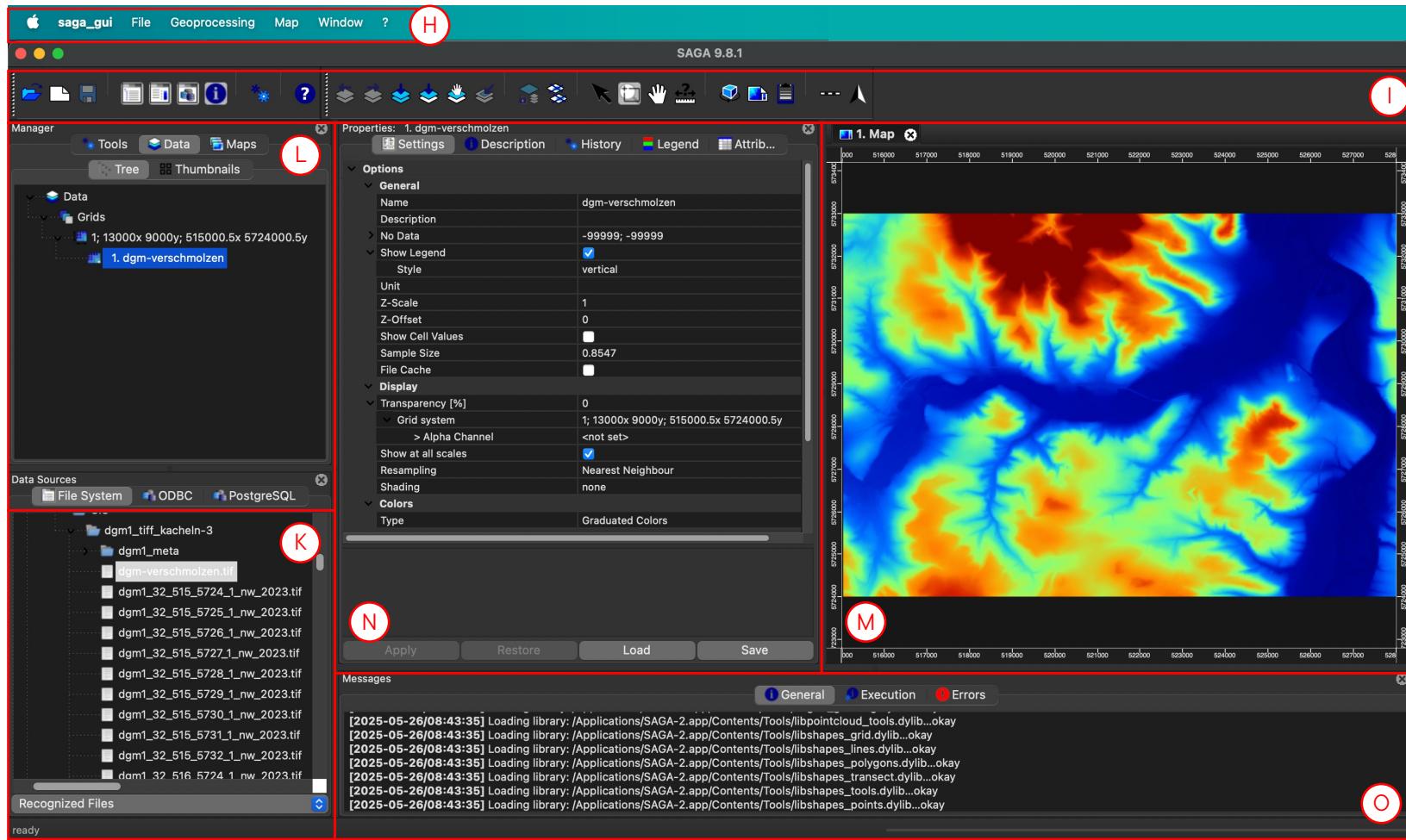
Für die Fließpfadmodellierung sind grundlegende Kenntnisse zum Programm Saga GIS notwendig. Im Folgenden wird zum Einstieg ein kurzer Überblick zur Benutzeroberfläche gegeben und in den Kontext der Fließpfadmodellierung gestellt.



Hinweis

Das Aussehen einzelner Bereiche kann in Abhängigkeit vom Betriebssystem und den Darstellungseinstellungen abweichen.

Id	Bezeichnung	Was kann man da allgemein machen?	Nutzung im Leitfaden
(H)	Menüleiste	Zugriff auf Einstellungsmöglichkeiten, Funktionen und Werkzeuge über Drop-Down-Menüs.	Auswahl der Berechnungsmodule.
(I)	Werkzeugleiste	Navigationsmöglichkeiten und direkter Zugriff auf ausgewählte Funktionen und Werkzeuge.	
(K)	Bedienfeld „Datenquellen“	Navigation in Dateisystem und Verwalten von Geodaten.	Geodaten in das Projekt laden.
(L)	Bedienfeld „Datenverwaltung“	Auflistung aller importierten Daten im Projekt	
(M)	Kartenansicht	Visualisierung von Geodaten.	Visuelle Überprüfung der Ergebnisse.
(N)	Eigenschaften	Parameter der aktiven / geöffneten Geodaten.	
(O)	Benachrichtigungen	Statusmeldungen, Fehlermeldungen und Hinweise zu Prozessen und Analysen.	



Saga GIS - DGM laden

Für die Fließpfadmodellierung muss zunächst das mit QGIS vorbereitete DGM geladen werden. Folgende Schritte sind dafür in Saga GIS notwendig.



Ziele

- Vorbereitetes DGM laden

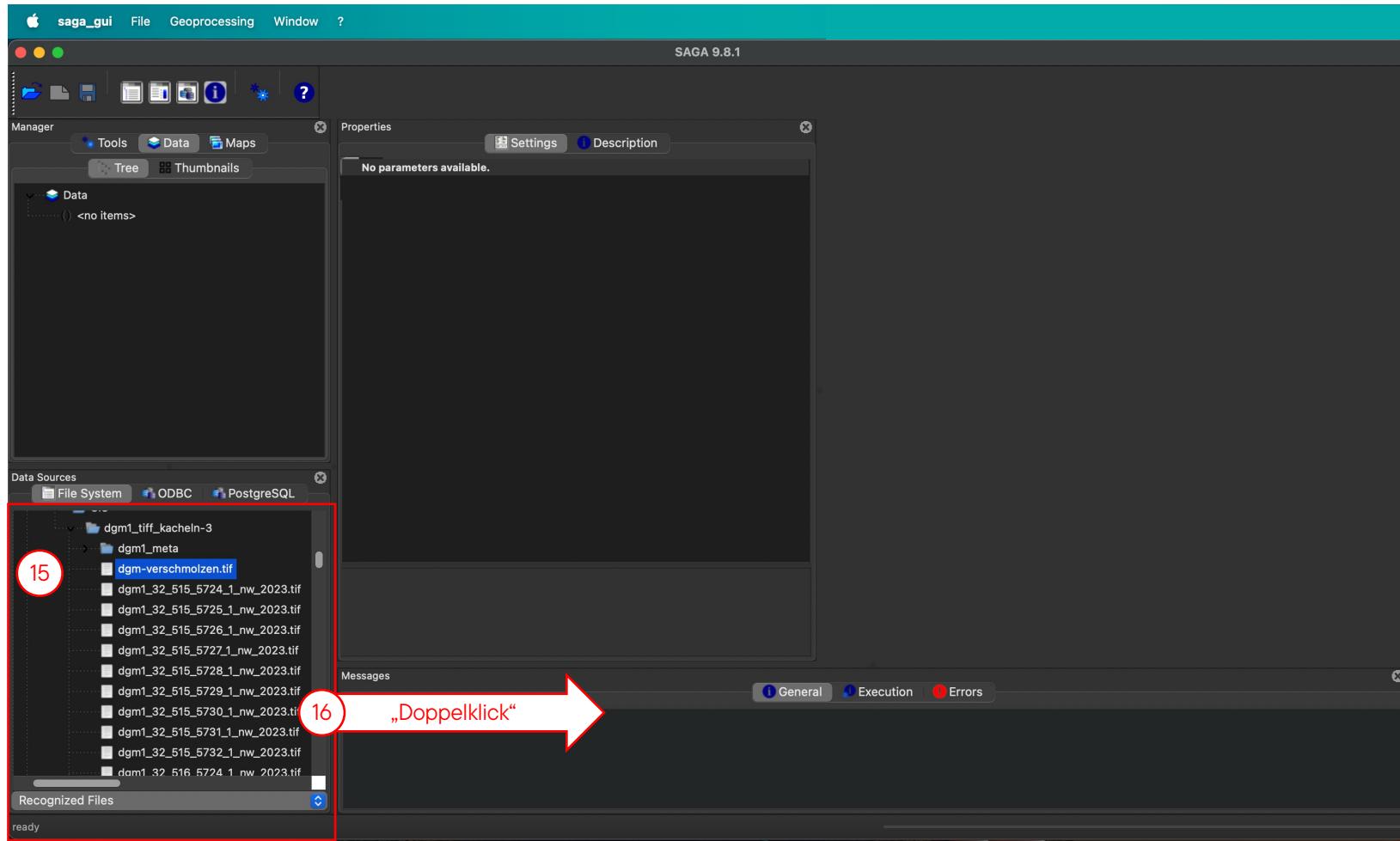


Voraussetzungen

- ✓ Saga GIS geöffnet
- ✓ DGM wurde in QGIS vorbereitet

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

15. Im Bedienfeld „Datenquellen“ zum Projektordner navigieren, in dem sich das vorbereitete DGM „dgm-verschmolzen“ befindet
16. Die Datei mit einem Doppelklick laden



Saga GIS - Senken füllen

Im Kontext der GIS-basierten Fließpfadberechnung kann eine Senke das Ende eines Fließweges darstellen. Sehr kleine Senken werden daher entfernt, um durchgängige Fließwege zu erhalten. Zur Anwendung kommt in diesem Fall der Algorithmus „Fill Sinks“ von Wang & Lui (2006).



Ziele

- Kleinere Senken im DGM eliminieren (Filled DEM)



Voraussetzungen

- ✓ Vorbereitetes DGM „dgm-verschmolzen“ ist geladen

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

17. Das Drop-Down-Menü von Geoprocessing öffnen
18. Über “Terrain Analysis”
19. Zu “Preprocessing”
20. Zu „Fill Sinks (Wang Lui)“
21. Im Kontextmenü bei Grid System das **Koordinatensystem** auswählen, in dem sich das zu bearbeitende DGM „dgm-verschmolzen“ befindet
22. Bei DEM das zu bearbeitende DGM „**dgm-verschmolzen**“ auswählen
23. Mit „Okay“ den Prozess starten

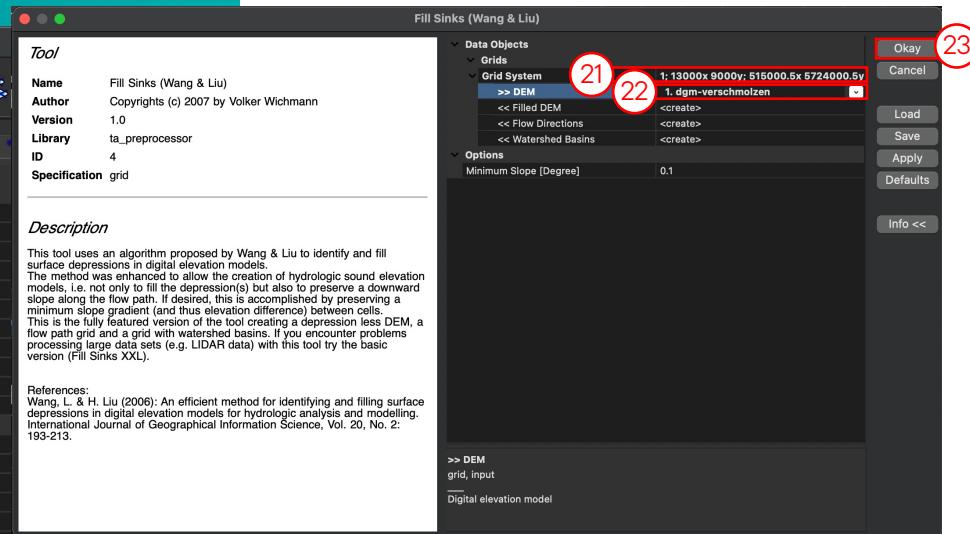
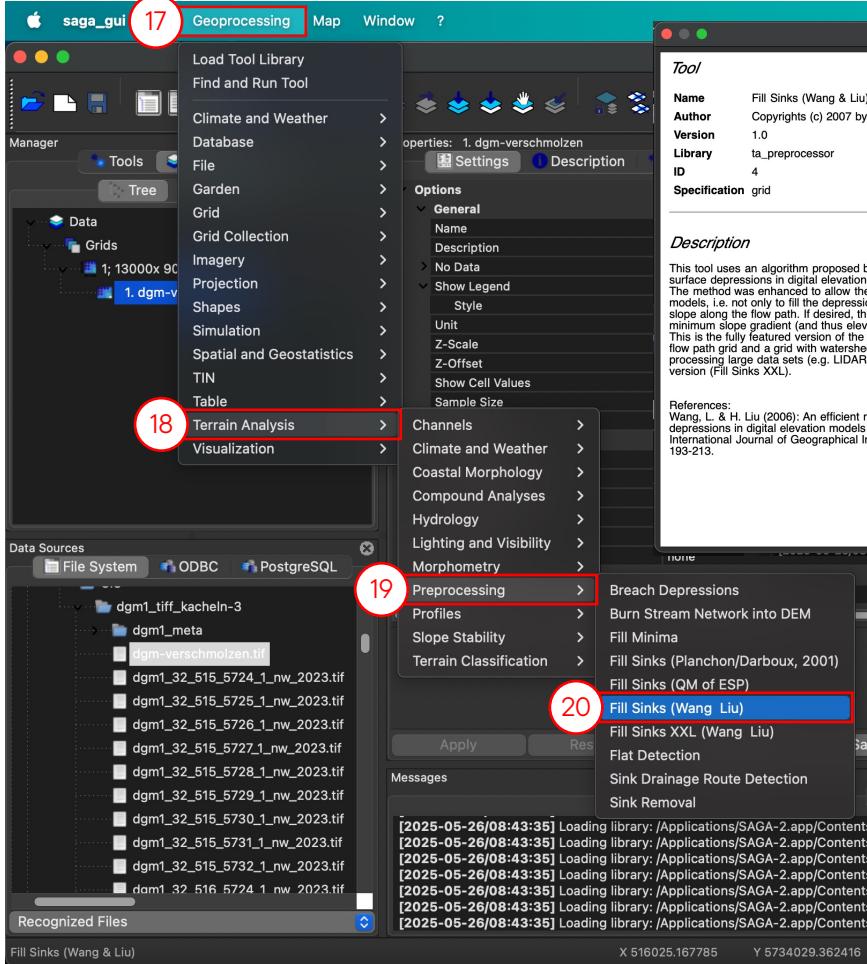


Hinweis

Es stehen auch alternative Algorithmen in Saga GIS zur Verfügung, die vergleichbare Ergebnisse liefern und verwendet werden können.

QGIS

Saga GIS



Hinweis

Das Füllen der Senken kann zu einem Informationsverlust führen und damit auch die Qualität der Fließpfadberechnung beeinflussen. Dieser Schritt sollte daher immer mit Vorsicht durchgeführt werden und der Grenzwert nicht zu hoch gewählt werden.

Saga GIS - Fließakkumulation

Bei der Abflussakkumulation wird für jede Zelle ermittelt, wie viele Zellen oberhalb in diese entwässern. Die Berechnung basiert auf der Fließrichtung, die ebenfalls für jede Zelle ermittelt wird. In Saga GIS steht dafür der Algorithmus Flow Accumulation (Top Down) zur Verfügung.



Ziele

- Für jede Zelle die Abflussakkumulation berechnen



Voraussetzungen

- ✓ Ein DGM ohne Senken wurde erstellt „dgm-verschmolzen [no sinks]“

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

24. Das Drop-Down-Menü von Geoprocessing öffnen
25. Über “Terrain Analysis”
26. Zu “Hydrology”
27. Zu „Flow Accumulation“
28. Zu “Flow Accumulation (Top Down)”
29. Im Kontextmenü bei Grid System das **Koordinatensystem** auswählen, in dem sich das zu DGM „dgm-verschmolzen [no sinks]“ befindet
30. Bei Elevation das zu bearbeitende DGM „**dgm-verschmolzen [no sinks]**“ auswählen
31. Bei Method „**Deterministic 8**“ auswählen
32. Mit „Okay“ den Prozess starten

24 Geoprocessing

25 Terrain Analysis

26 Hydrology

27 Flow Accumulation

28 Flow Accumulation (Top-Down)

29 Grid System > Elevation
1: 13000x 9000y; 515000.5x 5724000.5y

30 Grid System > Sink Routes
<> Flow Accumulation

31 Method choice
Available Choices:
[0] Deterministic 8
[1] Rho 8

32 Okay

The screenshot displays the SAGA GIS software interface. At the top, the menu bar includes 'saga_gui', 'Geoprocessing', 'Map', 'Window', and '?'. The left sidebar shows a tree view of data sources under 'Data' and 'Grids', with several DEM files listed. The main workspace shows a map titled '1. Map' with a color-coded DEM visualization. A context menu is open over a grid layer, with items like 'Properties', 'Settings', 'Description', 'History', 'Legend', and 'Attrib...' visible. The 'Terrain Analysis' menu item is circled with a red number 25. Below it, the 'Hydrology' submenu is expanded, showing 'Flow Accumulation' as the selected item, circled with a red number 27. Under 'Flow Accumulation', 'Flow Accumulation (Top-Down)' is highlighted with a blue rectangle and circled with a red number 28. The 'Flow Accumulation (Top-Down)' dialog box is open at the bottom, showing the 'Data Objects' and 'Options' sections. The 'Data Objects' section lists 'Grids' and 'Grid System' with specific elevation and sink route values. The 'Options' section includes settings for 'Step', 'Flow Accumulation Unit' (set to 'cell area'), and 'Method' (set to 'Deterministic 8'). A red circle highlights the 'Method' dropdown menu in the options section.

Saga GIS - Fließwegeberechnung

Bei der Fließwegeberechnung wird über einen Algorithmus ein synthetisches Gewässernetz ermittelt, dessen Dichte über die Eingabeparameter festgelegt werden kann. In Saga GIS steht dafür der Channel Network zur Verfügung.



Ziele

- Berechnung von Fließpfaden ab einer Abflussakkumulation von 500 Zellen
- Berechnung von Fließpfaden ab einer Abflussakkumulation von 10 000 Zellen
- Berechnung von Fließpfaden ab einer Abflussakkumulation von 50 000 Zellen
- Berechnung von Fließpfaden ab einer Abflussakkumulation von 100 000 Zellen

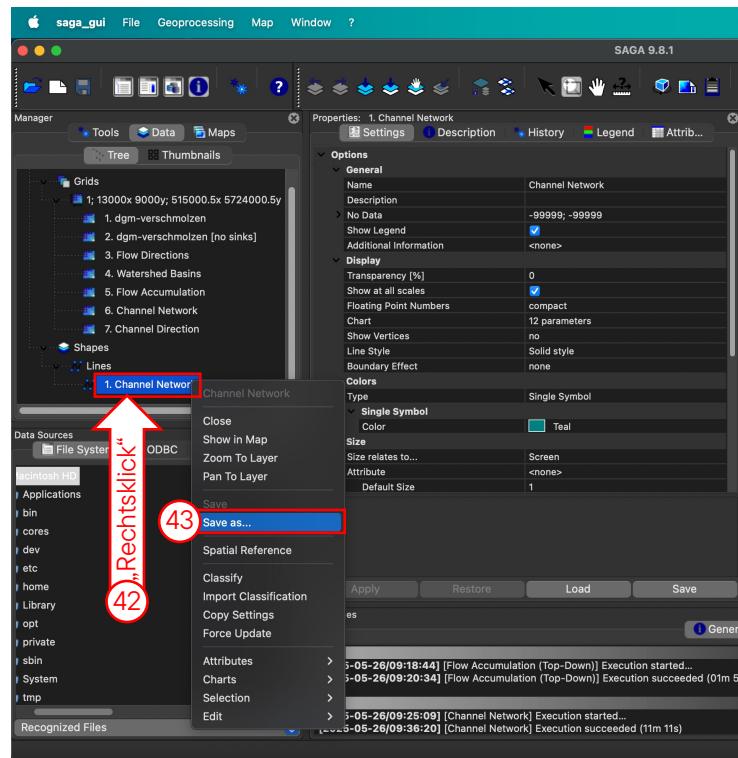
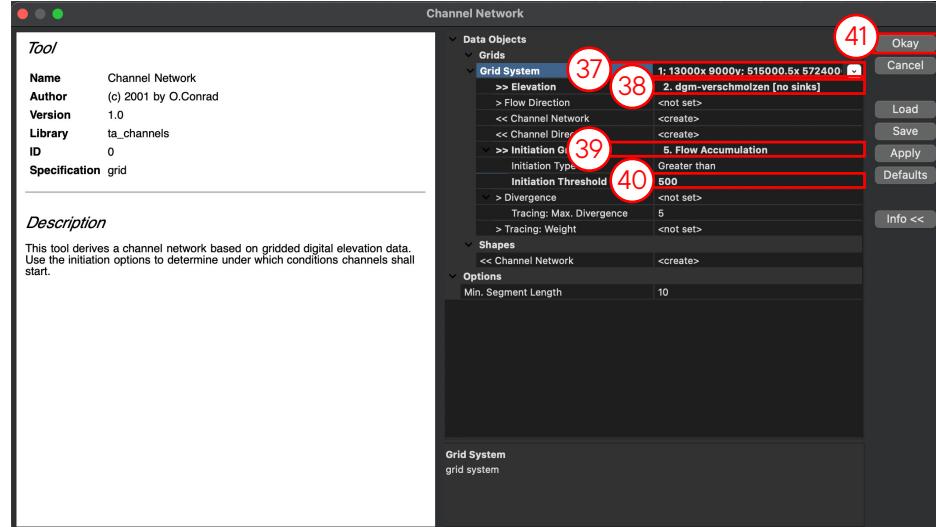
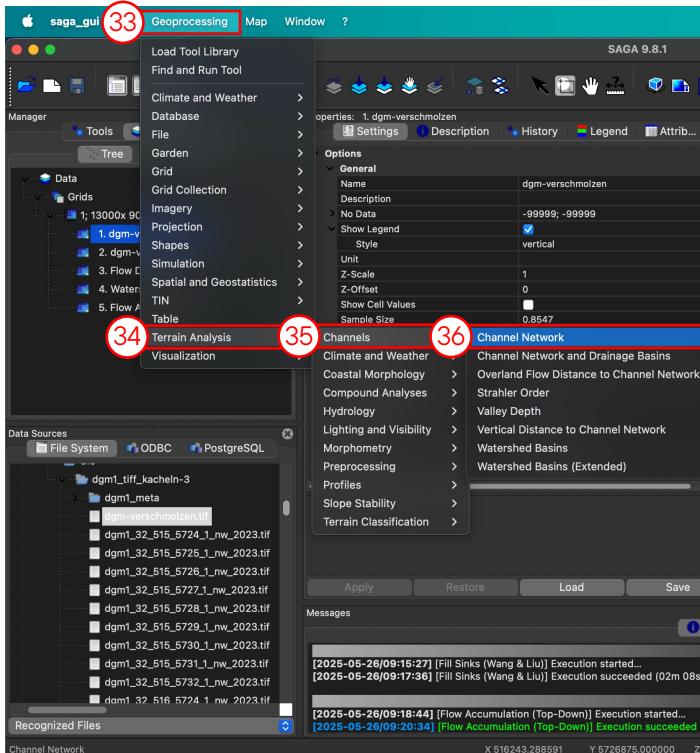


Voraussetzungen

- ✓ Flow Accumulation liegt vor

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

33. Das Drop-Down-Menü von Geoprocessing öffnen
34. Über “Terrain Analysis”
35. Zu “Channels”
36. Zu „Channel Network“
37. Im Kontextmenü bei Grid System das **Koordinatensystem** auswählen, in dem sich die Datei „dgm-verschmolzen [no sinks]“ befindet
38. Bei DEM das zu bearbeitende DGM „**dgm-verschmolzen [no sinks]**“ auswählen
39. Bei Initial Grid die „**Flow Accumulation**“ auswählen
40. Bei Initiation Threshold „**500**“ auswählen
41. Mit „**Okay**“ den Prozess starten



Vorgehen Schritt-für-Schritt:

42. Rechtsklick auf neu erzeugte Shape-Datei Channel Network (**Achtung: Shape-Datei auswählen, nicht zu verwechseln mit der gleichnamigen Rasterdatei oberhalb**)
43. Das Ergebnis als Datei abspeichern
 - Dateinamen vergeben (z.B. „ChannelNetwork500“)
 - Speicherpfad auswählen
 - Dateityp: ESRI Shape Datei (*.shp)



Die Berechnung der Fließwege wird für jeden Schwellwert nacheinander ermittelt. In der Eingabemaske muss jeweils das neu zu erstellende Channel Network (create) sowie der zugehörige Schwellwert:

- 500
- 10 000
- 50 000
- 100 000

angepasst bzw. eingegeben werden.



Nach der jeweiligen Berechnung die entstandene Datei abspeichern!



Tool

Name Channel Network
Author (c) 2001 by O.Conrad
Version 1.0
Library ta_channels
ID 0
Specification grid

Description

This tool derives a channel network based on gridded digital elevation data. Use the initiation options to determine under which conditions channels shall start.

Channel Network

Data Objects

- Grids
- Grid System
 - >> Elevation 1: 13000x 9000y; 515000.5x 5724000.5y
 - > Flow Direction <not set>
 - << Channel Network <<create>>
 - << Channel Direction 7. Channel Direction
 - >> Initiation Grid 5. Flow Accumulation
 - Initiation Type Greater than
 - Initiation Threshold 45 10000
 - > Divergence <not set>
 - Tracing: Max. Divergence 5
 - > Tracing: Weight <not set>
- Shapes
 - << Channel Network 46 <<create>>
- Options
 - Min. Segment Length 10

Initiation Threshold floating point number
Dependent on the chosen 'Initiation Grid' and 'Initiation Type' this value controls under which condition a channel is initiated.

Channel Network

Data Objects

- Grids
- Grid System
 - >> Elevation
 - > Flow Direction <not set>
 - << Channel Network 48 <<create>>
 - << Channel Direction
 - >> Initiation Grid
 - Initiation Type Greater than
 - Initiation Threshold 49 50000
 - > Divergence <not set>
 - Tracing: Max. Divergence 5
 - > Tracing: Weight <not set>
- Shapes
 - << Channel Network 50 <<create>>
- Options
 - Min. Segment Length 10

This tool derives a channel network based on gridded digital elevation data. Use the initiation options to determine under which conditions channels shall start.

Tool

Name Channel Network
Author (c) 2001 by O.Conrad
Version 1.0
Library ta_channels
ID 0
Specification grid

Description

This tool derives a channel network based on gridded digital elevation data. Use the initiation options to determine under which conditions channels shall start.

Channel Network

Data Objects

- Grids
- Grid System
 - >> Elevation 1: 13000x 9000y; 515000.5x 5724000.5y
 - > Flow Direction <not set>
 - << Channel Network 52 <<create>>
 - << Channel Direction 7. Channel Direction
 - >> Initiation Grid 5. Flow Accumulation
 - Initiation Type Greater than
 - Initiation Threshold 53 100000
 - > Divergence <not set>
 - Tracing: Max. Divergence 5
 - > Tracing: Weight <not set>
- Shapes
 - << Channel Network 54 <<create>>
- Options
 - Min. Segment Length 10

<< Channel Network shapes, output
This shapes layer will contain the resulting channel network in vector format (lines).

Channel Network

Data Objects

- Grids
- Grid System
 - >> Elevation
 - > Flow Direction <not set>
 - << Channel Network 48 <<create>>
 - << Channel Direction
 - >> Initiation Grid
 - Initiation Type Greater than
 - Initiation Threshold 49 50000
 - > Divergence <not set>
 - Tracing: Max. Divergence 5
 - > Tracing: Weight <not set>
- Shapes
 - << Channel Network 50 <<create>>
- Options
 - Min. Segment Length 10

This shapes layer will contain the resulting channel network in vector format (lines).

QGIS GIS - Import der Fließwege

Die weitere Bearbeitung erfolgt wieder mit der Software QGIS. Dazu müssen die neu erstellen Layer zunächst in das Projekt geladen werden. Folgende Schritte sind dafür notwendig:



Ziele

- Fließpfade in QGIS laden



Voraussetzungen

- ✓ Berechnete Fließpfade liegen vor
- ✓ QGIS-Projekt ist geöffnet

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

56. Im Bedienfeld „Browser“ zum Projektordner navigieren, in dem sich die berechneten Fließpfaddateien befinden.
57. Die Dateien markieren und bei gedrückter Maustaste in die Kartenansicht ziehen.

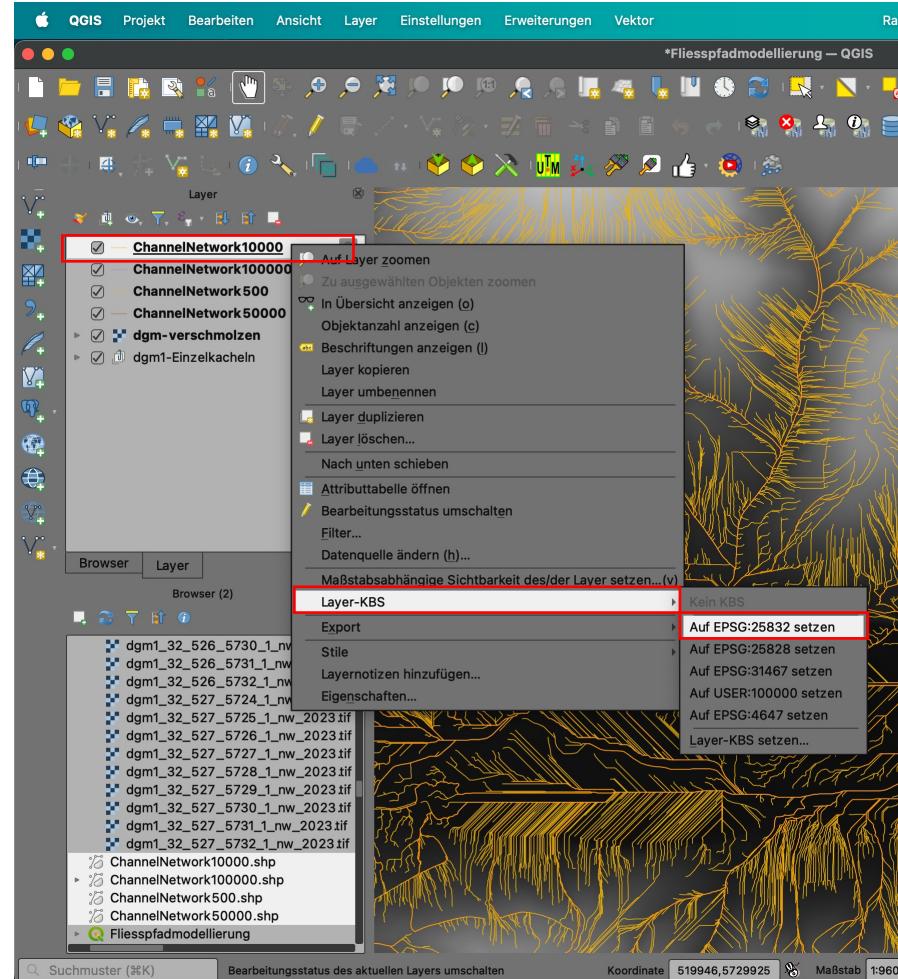
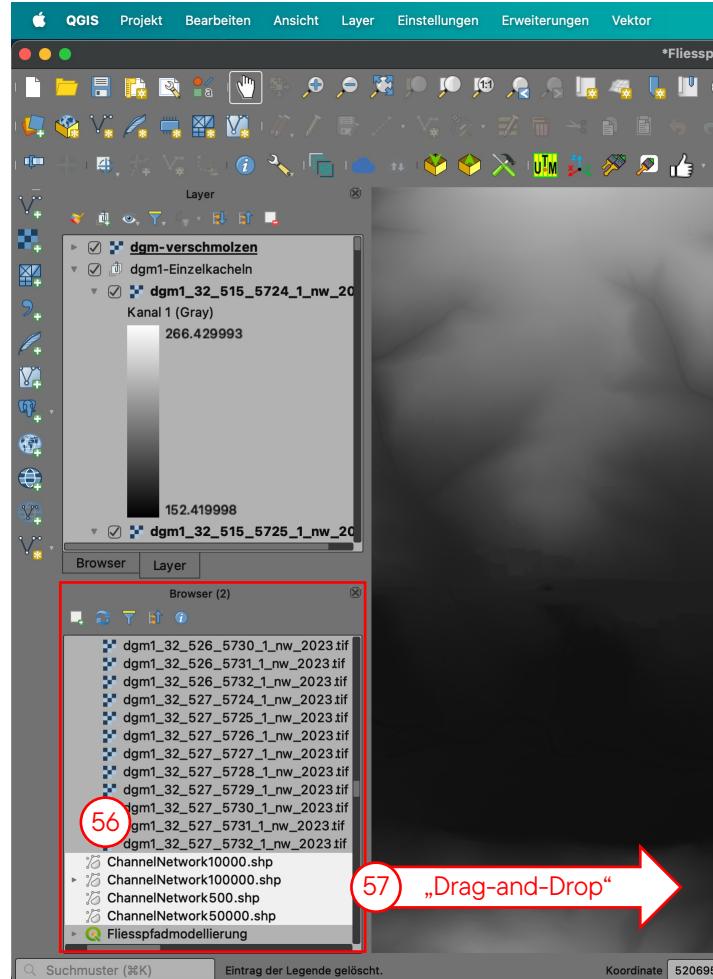


Hinweis

Ggf. muss bei der Datei noch die richtige Georeferenzierung hinterlegt werden. Dazu einen Rechtsklick auf den neuen Layer, im Drop-Down-Menü zu „Layer-KBS“ navigieren und die entsprechende Einstellung vornehmen. In diesem Fallbeispiel handelt es sich um die Lageangabe: ETRS89/UTM32 (EPSG 25832).

QGIS

Saga GIS



QGIS GIS - Import einer Hintergrundkarte

Es empfiehlt sich eine geeignete Hintergrundkarte in das Projekt zu laden. Diese hilft nicht nur bei der Orientierung sondern kann auch bei der Interpretation nützlich sein. Folgende Schritte sind dafür notwendig:



Ziele

- Hintergrundkarte in QGIS laden

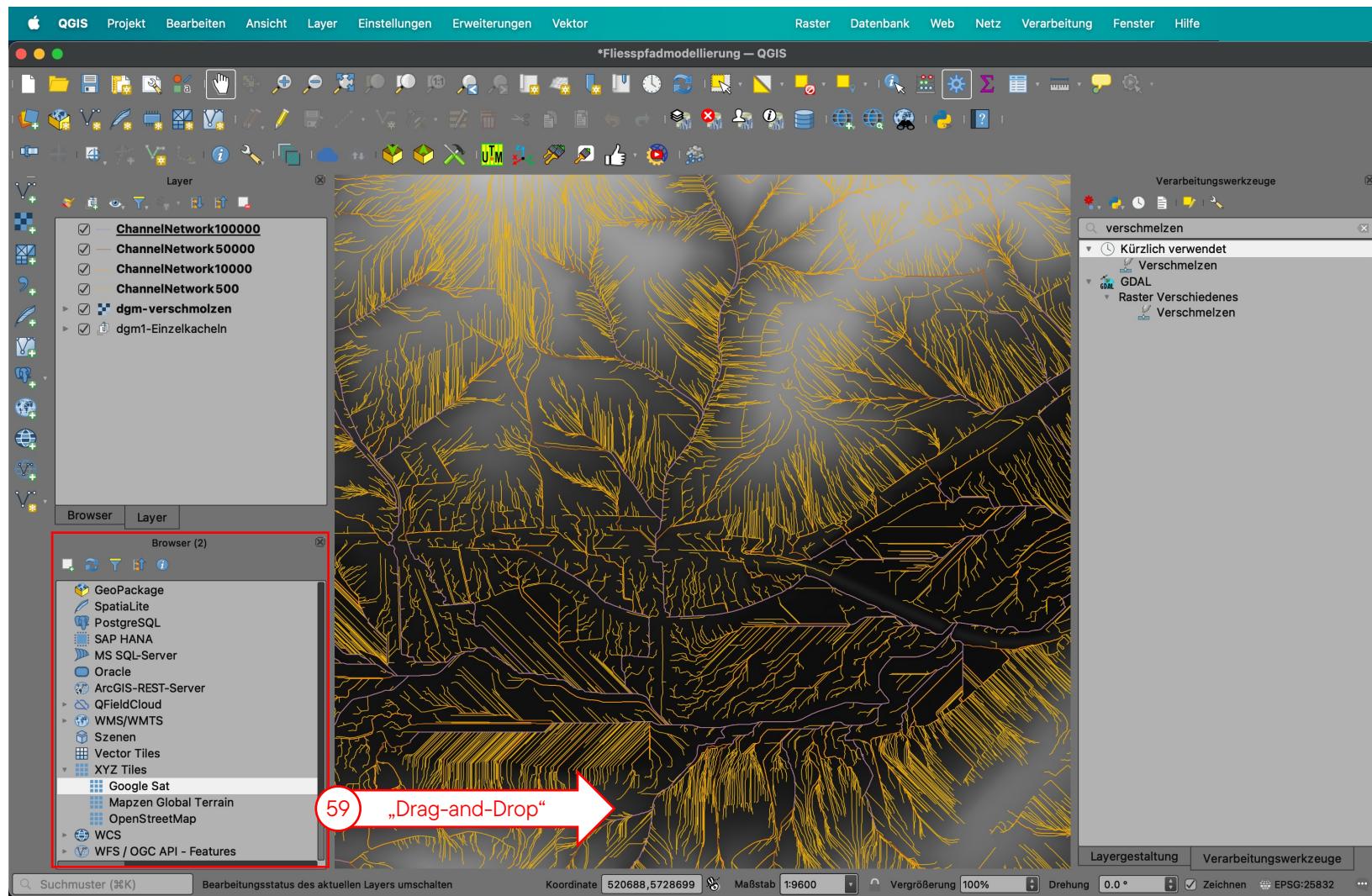


Voraussetzungen

- ✓ Verknüpfte Hintergrundkarte vorhanden

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

58. Im Bedienfeld „Browser“ zu *XYZ-Tiles* navigieren und das Drop-Down-Menü öffnen.
59. Eine Karte per Drag-And-Drop in die Kartenansicht ziehen (z.B. Google Sat).



QGIS GIS - Fließpfaddarstellung anpassen

Die Fließpfade wurden basierend auf unterschiedlichen Schwellwerten erzeugt. Damit diese voneinander abgegrenzt werden können, ist eine Sortierung der Reihenfolge sowie eine Anpassung der Darstellung notwendig.



Ziele

- Den unterschiedlichen Fließpfadkarten Farben und Zeichenstärke zuweisen

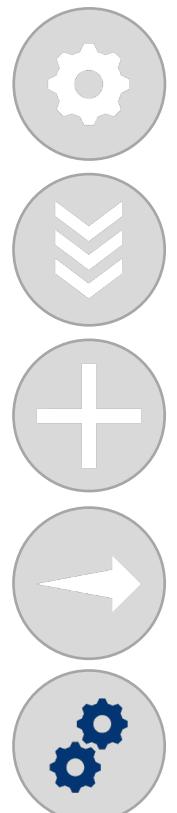
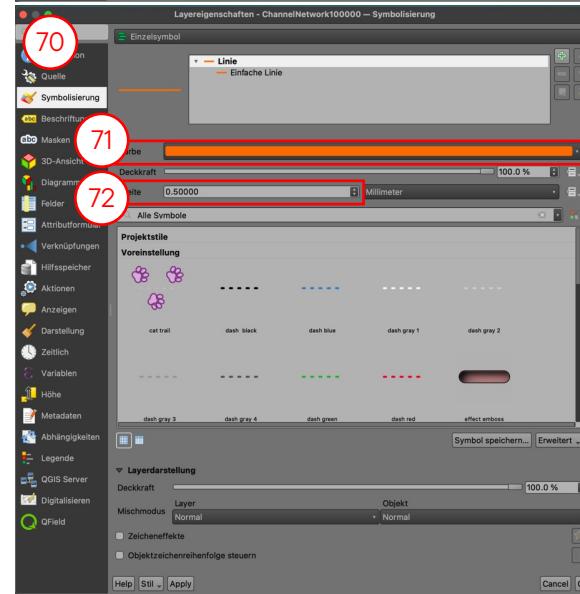
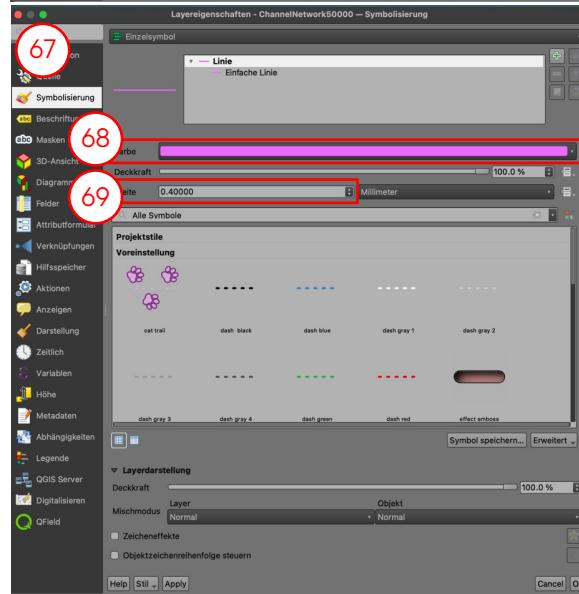
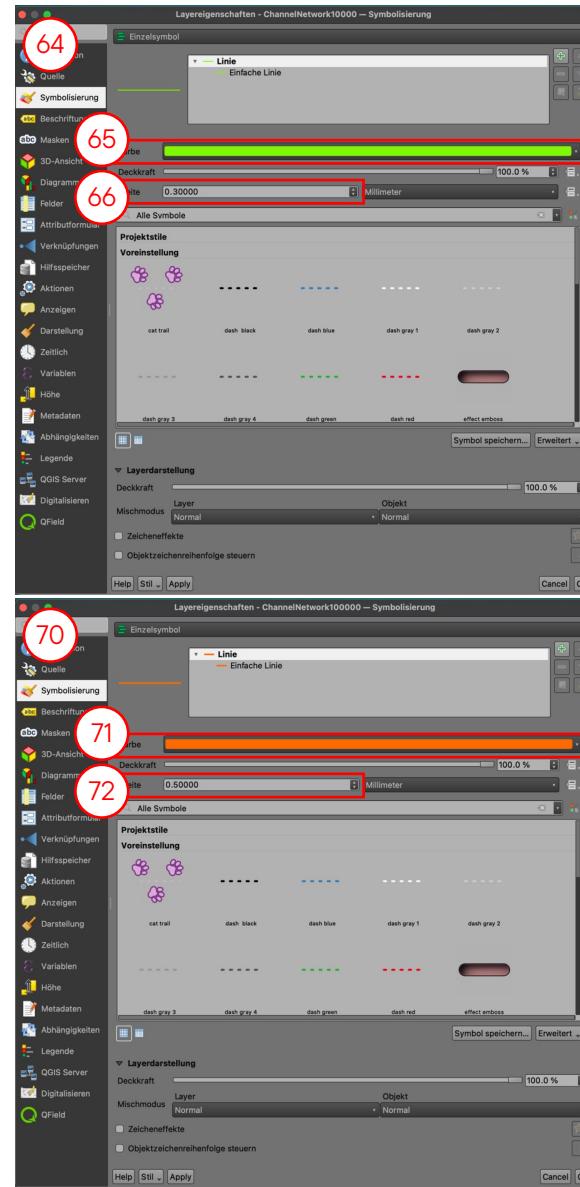
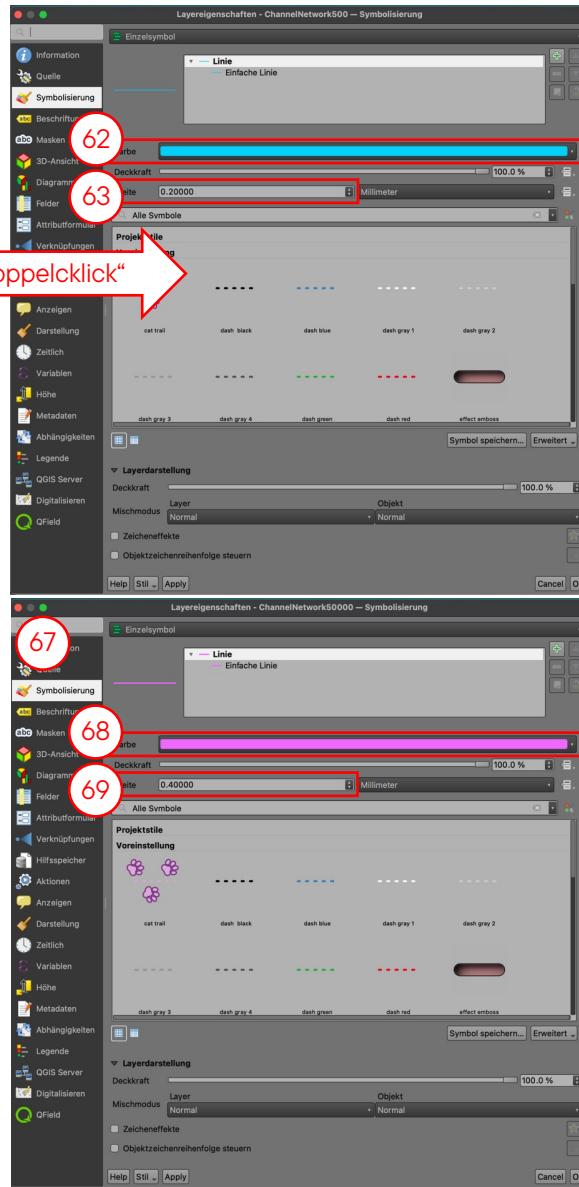
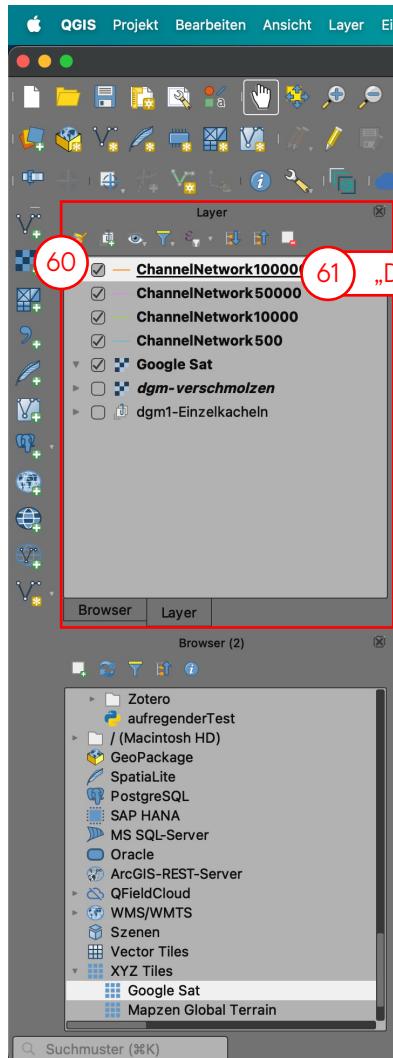
Voraussetzungen

- ✓ Farbauswahl getroffen

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

60. Im Bedienfeld „Layer“ per Drag-And-Drop die einzelnen Layer in folgende Reihenfolge sortieren:
61. Mit einem Doppelklick das Kontextmenü Eigenschaften öffnen
62. Eine geeignete Farbe wählen
63. Eine geeignete Dicke wählen
64. - 72. Anpassungen bei den anderen Layern ebenfalls vornehmen





Grenzen der Fließpfade

Validierung

Führen Sie eine Validierung der GIS-basierten Fließpfadberechnungen durch. Hilfreich kann der Abgleich mit vergangenen Ereignissen sein. Idealerweise findet die Überprüfung vor Ort statt. Überprüfen Sie insbesondere, ob Kleinstrukturen (z.B. Gehsteigkanten) oder auch größere Bauwerke (z.B. Brücken, Durchlässe, Kanäle, etc.) in Ihrem Untersuchungsgebiet vorliegen, die nicht im DGM berücksichtigt sind und ob diese abflussrelevant sind.

Grenzen

- Es handelt sich um eine belastungsunabhängige Methode, das bedeutet, dass keine Niederschlagsdaten berücksichtigt werden.
- Es findet keine Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Abflusses statt.
- Die Methode ist nicht geeignet für die Ermittlung von Fließgeschwindigkeiten und Einstauvolumina.
- Die Oberfläche wird als undurchlässig angesehen; es handelt sich daher lediglich um eine Potenzialbetrachtung bzw. um ein synthetisches Gewässernetz (Der Schwellwert bestimmt, ab wann ein Fließpfad sichtbar wird).



- Bei der Fließpfadberechnung handelt es sich um ein niedrigschwelliges Tool, mit dem wertvolle Hinweise auf mögliche Hangwasserabflüsse gegeben werden können (vorzugsweise im Außenbereich).
- Die Berechnungsergebnisse können dabei unterstützen, ein gemeinsames Verständnis und Vertrauen zwischen unterschiedlichen Akteuren aufzubauen, mit dem Ziel gemeinsam Maßnahmen zum Wasserrückhalt umzusetzen.
- Werden genauere Aussagen benötigt, oder soll die Wirksamkeit von Maßnahmen abgeschätzt werden, sind hydraulische Modellierungen notwendig.

Ergänzende Geodaten

Kombination mit anderen Geodaten

Bei der Interpretation von Fließpfadkarten kann eine Kombination mit anderen Geodaten und Informationen nützlich sein. Folgende Auflistung stellt eine Empfehlung dar (nicht vollständig):

- Topografische Karte (zur Orientierung)
- Informationen zur Landbedeckung (zur Orientierung)
- Informationen zum Relief (zur Orientierung)
- Informationen zur Bodenart und Geologie (Hinweise auf Durchlässigkeiten)
- Geländeschummerung (zur Validierung und besseren Visualisierung)
- Digitale Orthophotos (zur Validierung, besseren Validierung und Identifikation möglicher Maßnahmen)
- Oberirdische hydrologische Einzugsgebiete (zur Abgrenzung von Untersuchungsgebieten)
- Starkregenengefahrenhinweiskarten (als Hilfsmittel zur Einschätzung der Gefahr)
- Informationen zur potenziellen Erosionsgefährdung (als Hilfsmittel zur Einschätzung der Gefahr)

Senkenanalyse

Es empfiehlt sich zusätzlich zur Fließwegberechnung auch eine Senkenanalyse durchzuführen. Im Falle eines Starkregenereignisses können sich Senken im Gelände schnell füllen und stellen dadurch eine potentielle Überflutungsfläche dar. In der Theorie werden dabei die Senken eines DGM zunächst gefüllt und das ursprüngliche DGM (ohne Senken) dann von diesem abgezogen. Es resultieren die Senken im DGM, die anschließend entsprechend ihrer Gefahrenklasse kategorisiert und ausgewiesen werden können.

QGIS - Hintergrundkarten als WMS-Verbindung laden

Viele Geodatensätze stehen als sogenannte Web Map Services zur Verfügung. Dabei handelt es sich um einen Webservice, der den Austausch von Geodaten über eine Internetadresse (URL) ermöglicht. Geodaten lassen sich dadurch schnell und unkompliziert abrufen und in QGIS einbinden.



Ziele

- Hintergrundkarte als WMS-Verbindung laden

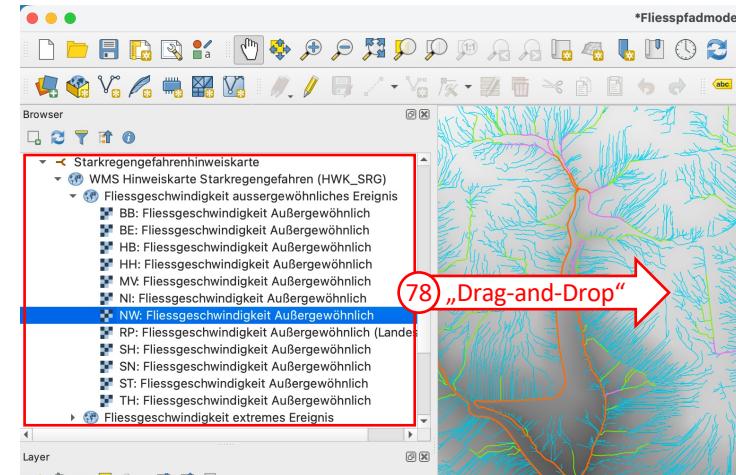
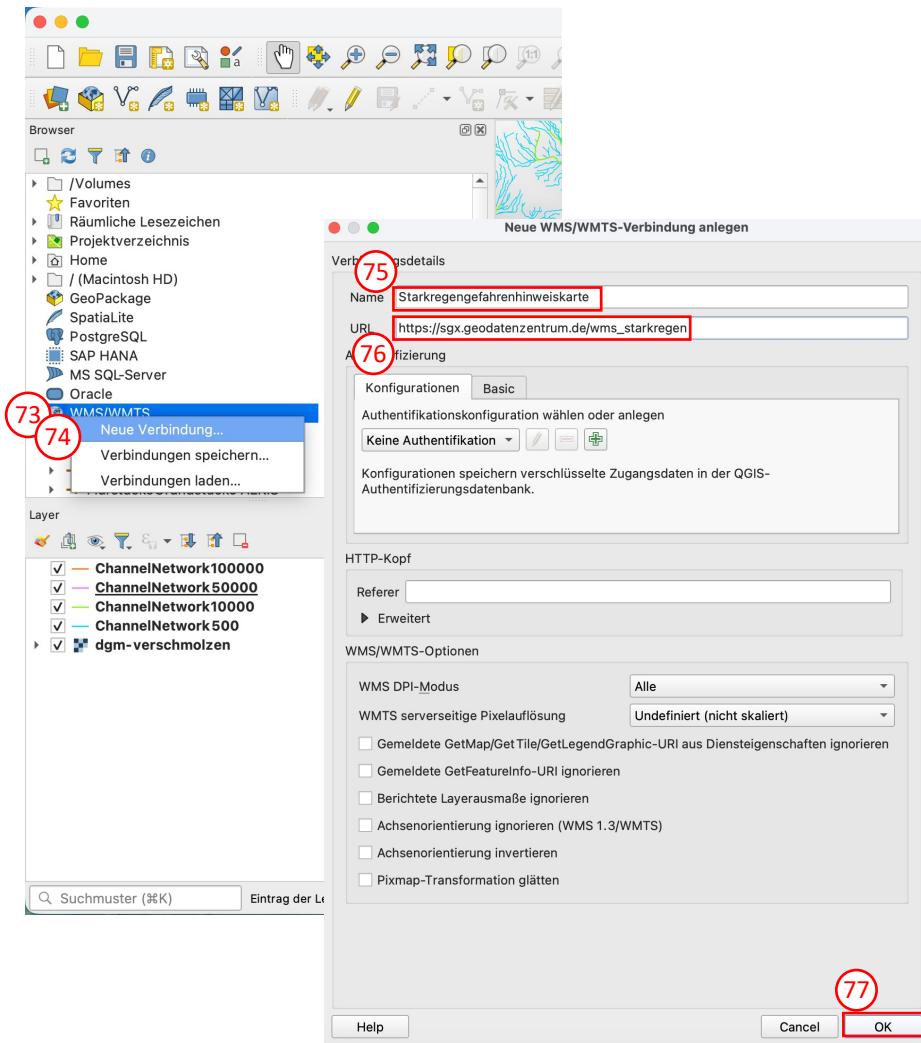


Voraussetzungen

- ✓ WMS-Link vorhanden
(in diesem Beispiel wird exemplarisch der WMS-Link der Starkregengefahrenkarte verwendet)

Vorgehen Schritt-für-Schritt:

73. Im Bedienfeld „Browser“ zu „WMS/WMTS“ navigieren
74. Mit einem Rechtsklick das Kontextmenü öffnen und „**Neue Verbindung...**“ auswählen
75. Bei *Name* einen aussagekräftigen Namen vergeben
76. Bei *URL* den WMS-Link einfügen
77. Mit „OK“ bestätigen
78. Im Bedienfeld „Browser“ zu „WMS/WMTS“ navigieren
 - Die zuvor geladene Verbindung suchen und den gewünschten Geodatensatz per Drag-And-Drop in die Kartenansicht ziehen



Interpretation der Fließpfade

Die Berechnungen unterstützen dabei:

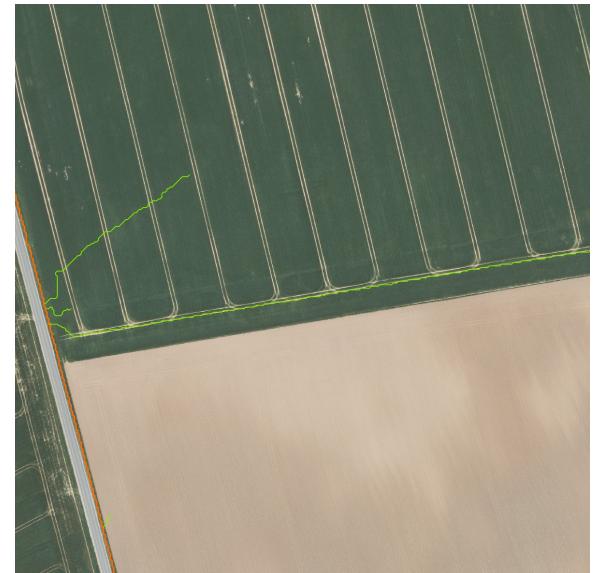
- sich mit dem Einzugsgebiet vertraut zu machen
- Bereiche sinnvoll voneinander abzugrenzen
- Prozesse nachzuvollziehen
- erste Ideen zu entwickeln
- Ortsbegehungen zu initiieren



Woher kommen die Fließpfade und
wie groß sind die
Teileinzugsgebiete?

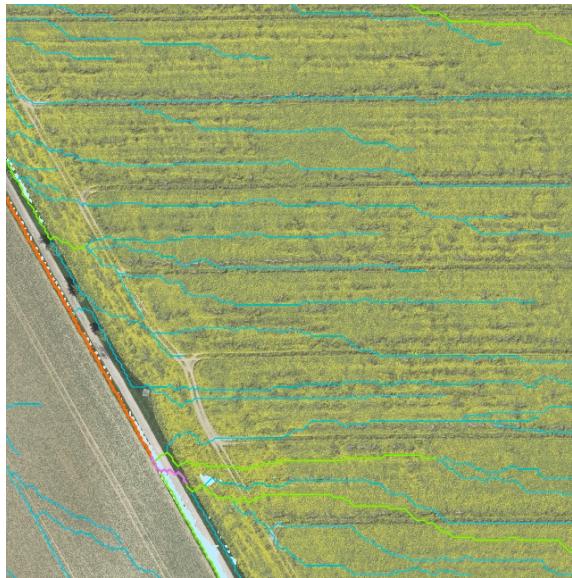


Können Prozessspuren (z.B. durch
Erosion) identifiziert werden?



Überlagern sich Fließpfade mit
Strukturen aus unserer
Kulturlandschaft?

Interpretation der Fließpfade



In diesem Beispiel ist eine begrünte Abflussmulde zu sehen, die sich ggf. als Retentionsraum eignet oder mit weiteren Landschaftselementen bepflanzt werden kann.

In diesem Beispiel folgen die Fließpfade der Bewirtschaftungsrichtung. Ein möglicher Ansatz könnte die Bewirtschaftung quer zum Hang sein (dies kann auch zum Gegenteiligen Effekt führen, daher immer individuelle Einzelfallklärung).

In diesem Beispiel folgen die Fließpfade dem Wegenetz bzw. Rückgassen. Retentionselemente wie Wegeseitentümpel könnten den Wasserrückhalt in diesem Bereich möglicherweise positiv beeinflussen.



Hinweis

Die **Expertise von Land- und Forstwirtschaft** sollte bei der Entwicklung von ersten Ideen zu Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche immer mit einbezogen werden!

Hinweis Maßnahmenhandbuch



Flächenmanagement und angepasste Anbauverfahren



Forstwirtschaftliche Maßnahmen



Gewässerausbau



Wegebau



Schaffung von Lebensräumen und Retentionsflächen



Technische Strukturen

Im Rahmen vom Projekt MaPro wurde von der Landschaftsstation im Kreis Höxter e. V. eine Arbeitshilfe für Schutzmaßnahmen zur Sturzflutvorsorge erarbeitet. Diese ermöglicht einen Überblick zu verschiedenen Fachgebieten und dient als Orientierung.

Neben land- und forstwirtschaftlichen Maßnahmen, werden verschiedene Möglichkeiten der Gewässer- und Weggestaltung, technische Strukturen sowie die Schaffung von Lebensräumen als Retentionsflächen zur Sturzflutprävention mit Hinweisen zu ihrer Durchführung erläutert.

Das Handbuch steht nach Veröffentlichung über die Projekthomepage von MaPro zur Verfügung:

<https://www.th-owl.de/umwelt/forschung/projekte/mapro/>

Haftungsausschluss

Die Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe (TH OWL) und die Landschaftsstation im Kreis Höxter e.V. (Landschaftsstation) übernehmen keine Haftung für Schäden jeglicher Art, die aus der Verwendung des bereitgestellten Masterplans zur kommunalen Sturzflutvorsorge (im Folgenden "Masterplan") resultieren. Die Verwendung des Masterplans erfolgt eigenverantwortlich und ohne Mitwirkung der TH OWL oder der Landschaftsstation.

Die TH OWL und die Landschaftsstation haften nicht für direkte oder indirekte Folgeschäden, einschließlich entgangenem Gewinn, Systemausfällen oder Produktionsunterbrechungen, die im Zusammenhang mit der Nutzung des Masterplans entstehen können.

Die TH OWL und die Landschaftsstation übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte im Masterplan. Alle bereitgestellten Informationen, Erklärungen und Angaben im Masterplan sind unverbindlich.

Es werden keine Garantien, Zusicherungen bestimmter Eigenschaften oder sonstige Rechtsansprüche durch die TH OWL und die Landschaftsstation begründet. Die TH OWL und die Landschaftsstation übernehmen keine Haftung für die Richtigkeit oder Vollständigkeit der veröffentlichten Informationen im Masterplan.

Die Verwendung des Masterplans erfolgt auf eigenes Risiko und in eigener Verantwortung des Nutzers. Der Nutzer wird dazu ermutigt, weitere unabhängige Fachleute zu konsultieren und eigene Risikoanalysen durchzuführen, bevor er Entscheidungen auf der Grundlage des Masterplans trifft.

Durch die Nutzung des Masterplans erklärt der Nutzer sein Einverständnis mit diesem Haftungsausschluss.

Literatur

- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J.: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991–2007, <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>, 2015.
- Fairfield, J., & Leymarie, P. (1991). Drainage networks from grid digital elevation models. Water resources research, 27(5), 709-717.
- Fárek, V., Unucka, J. (2015). Results Comparison of the Flow Direction and Accumulation Algorithms Together with Distributed Rainfall-Runoff Models in Czech Switzerland National Park. In Růžičková, K., Inspektor, T. (Hrsg.) Surface Models for Geosciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18407-4_8
- Gruber, S., & Peckham, S. (2009). Land-surface parameters and objects in hydrology. Developments in soil science, 33, 171-194.
- Mark, D.M. (1984) Automatic Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models. *Cartographica*, 21, 168-178.
<http://dx.doi.org/10.3138/10LM-4435-6310-251R>
- O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer vision, graphics, and image processing, 28(3), 323-344.
- QGIS.org, 2025. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Quinn, P. F. B. J., Beven, K., Chevallier, P., & Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological processes*, 5(1), 59-79.
- Wang, L. & H. Liu (2006): An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: 193-213.
- Wilson, J. P., AGGETT, G., Yongxin, D. E. N. G., & LAM, C. S. (2008). Water in the landscape: a review of contemporary flow routing algorithms. Advances in digital terrain analysis, 213-236.

