

# STURZFLUTENBERECHNUNGEN SONTHOFEN - FLIEßWEGANALYSE ALTSTÄDTEN UND HINANG

STADT SONTHOFEN  
LANDKREIS OBERALLGÄU

## UNTERSUCHUNGSBERICHT

### AUFTRAGGEBER:



### **Stadt Sonthofen**

Rathausplatz 1

87527 Sonthofen

E-Mail: [stadt@sonthofen.de](mailto:stadt@sonthofen.de)

Ansprechpartner: Herr Christoph Stöberl

Fachbereich Stadtplanung, Stadtentwicklung, Konversion

Tel.: 08321 615 261

### BEARBEITUNG:



### **Ingenieurbüro Kokai GmbH**

Holzhofring 14

82362 Weilheim i. OB

E-Mail: [info@ib-kokai.de](mailto:info@ib-kokai.de)

Ansprechpartner: Max Weiß

Tel.: 0881 600960-11

### DATUM:

07.06.2023

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bearbeitungsgebiet.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>5</b>
3.1	Hydraulisches Berechnungsmodell .....	5
3.2	Hydrologische Untersuchungen.....	8
3.3	Berechnungsmethode .....	11
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>14</b>
4.1	Altstädten .....	14
4.2	Hinang.....	15

## ANLAGENVERZEICHNIS

Nr.	Inhalt	Maßstab	Plan-Nr.
<b>1.</b>	<b>Übersichtslageplan</b>		
1.1	LP Fließtiefen und -geschwindigkeiten Altstädten	1 : 1.000	01-01_S_T100_Altstädten
1.2	LP Fließtiefen und -geschwindigkeiten Hinang	1 : 1.000	01-02_S_T100_Hinang
<b>2.</b>	<b>Animation</b>		

## 1 Einleitung

Die Stadt Sonthofen hat die Ingenieurbüro Kokai GmbH mit der Fließweganalyse und der Ermittlung des Gefahrenbereichs durch wild abfließendes Hangwasser im Bereich Altstädten und Hinang beauftragt.

Dabei wird lediglich das oberflächlich abfließende Hangwasser betrachtet. Die beiden Wildbäche Leybach und Hinanger Bach liegen in der Zuständigkeit des Wasserwirtschaftsamts Kempten und werden separat betrachtet.

Zur Durchführung der Fließweganalyse wird mit Hilfe der gängigen Softwareprodukte (Surface-water Modeling System und HydroAS) ein hydrodynamisches Modell erstellt und die Fließwege in Folge eines Starkregenereignisses berechnet.

## 2 Bearbeitungsgebiet

Die beiden Ortsteile Altstädten und Hinang liegt südlich von Sonthofen, im Landkreis Oberallgäu, am Fuße der beiden Berge „Sonthofner Hörnle“ und dem „Sonnenkopf“. Das Bearbeitungsgebiet umfasst das gesamte hydrologische Einzugsgebiet der beiden Wildbäche und ist in Abbildung 1 dargestellt. Für die Berechnungen wird für jeden Ort ein eigenständiges Modell erstellt.

Das Gesamtgebiet hat eine Größe von ca. 18 km<sup>2</sup> und umfasst den Bereich zwischen Iller und Berggipfel (Panoramaweg).

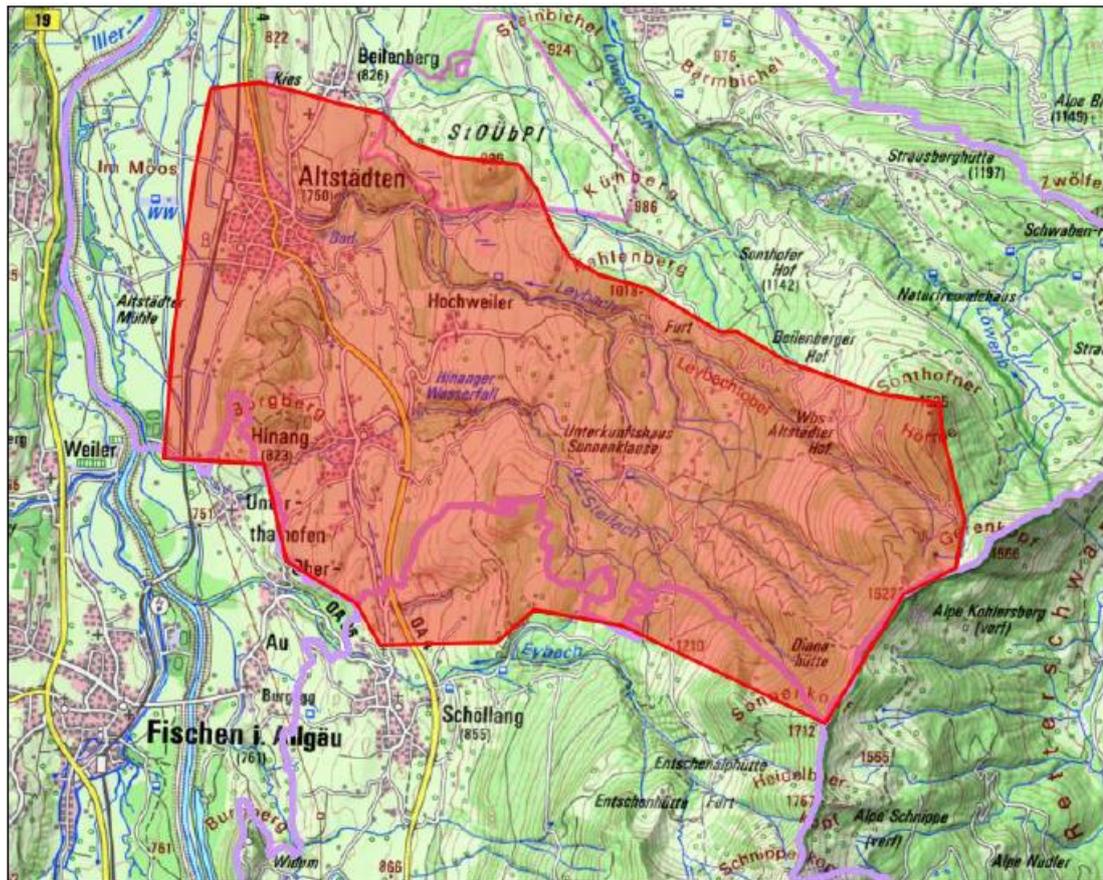


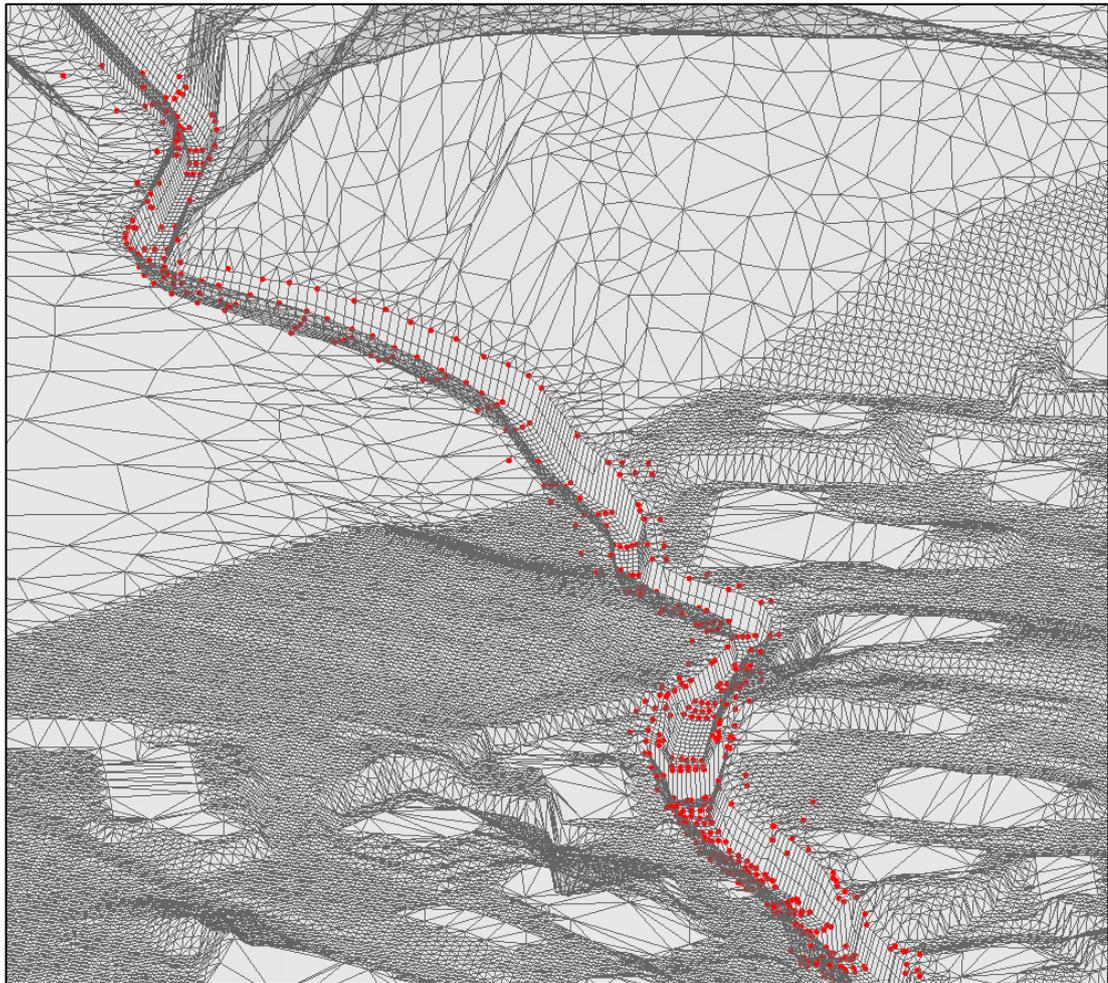
Abbildung 1: Bearbeitungsgebiet Sturzflutenberechnung

## 3 Grundlagen

Für die Ermittlung der Gefährdung durch Hangwasser, sowie die Betrachtung der Fließwege, wird das gesamte hydrologische Einzugsgebiet analysiert. Dazu wird ein hydraulisches Berechnungsmodell erstellt und mit einem flächigen Niederschlag „beregnet“.

### 3.1 Hydraulisches Berechnungsmodell

Für das beschriebene Untersuchungsgebiet wurden zwei separate 2d-hydraulische Modelle aufgestellt. Dazu wurde jeweils das gesamte hydrologische Einzugsgebiet des jeweiligen Wildbachs gewählt und ein Modellnetz auf Basis des Digitalen Geländemodell im 1-Meter Raster (DGM1) erstellt. Um eine möglichst hohe und flächendeckende Qualität, bei möglichst kleiner Datenmenge (Dateigröße), des Modells zu erhalten, sind einige Anpassungen an das DGM1 vorzunehmen. Diese Anpassungen erfolgen in Abhängigkeit an die Genauigkeitsanforderungen an die Geometrie innerhalb des Modells (vgl. Abbildung 2):



**Abbildung 2: Qualitätsstufen der Netzgeometrie**

*1) Höchste Genauigkeit (punktgenau)– Gewässer/Gräben – Vermessung*

Die höchste Genauigkeitsanforderung an die Geometrie liegt bei den Gewässern und Gräben, da an den Stellen sich der Abfluss konzentriert und das DGM insbesondere kleinere Strukturen nur unzureichend abbildet. Hier ist in der Regel eine terrestrische Vermessung und das Modellieren der Bruchkanten notwendig. Dies gilt auch für abflussrelevante Objekte (Borde, Mauern, Durchlässe, etc.) und kritische Stellen im Siedlungsbereich.

*2) Mittlere Genauigkeit (1m Raster) – Siedlungsbereiche - DGM*

Die Siedlungsbereiche werden über das unausgedünnte DGM1 abgebildet, da dieses die topographischen Eigenschaften ausreichend gut widerspiegelt. So werden beispielsweise Geländeerhöhungen, -vertiefungen aber auch das Straßengefälle sowie die -neigung berücksichtigt. Die Häuser werden in Form von Gebäudeumrissen aus der Digitalen Flurkarte (DFK) als undurchströmbare Flächen („Disable“) in das Modell integriert.

### 3) Geringste Genauigkeit – Vorlandbereiche – LASER-AS

Die geringste Genauigkeitsanforderung gibt es an die Vorlandbereiche, da diese meist aus großflächigen Wald-, Wiesen- oder Hangbereichen bestehen. Diese Bereiche liegen meistens ober- oder unterstrom des relevanten Betrachtungsgebiets. Hier wird das DGM mit Hilfe von LASER-AS (Standardsoftware) ausgedünnt und ein grobmaschigeres Netz generiert. Dennoch wird die Topographie, sowie wichtige Fließwege, korrekt dargestellt.

Zusätzlich wurden die Modelle mit Materialklassen belegt um die Oberflächenstruktur des Geländes abzubilden. Diese haben Einfluss auf das Fließverhalten des Oberflächenwassers. Die Rauheiten sind auf Basis von ATKIS-Daten vergeben. Die Wahl der Grenzwerte und der Rauheitsbeiwerte für die Sturzflutenmodellierung ist aktuell noch Gegenstand der Forschung. Analog zu ähnlichen Studien werden tiefenabhängige Rauheitsbeiwerte verwendet. Ab einer Fließtiefe von 35 cm wird der vom LfU empfohlene Rauheitsbeiwert erreicht. Exemplarisch wird der tiefenabhängige Verlauf des  $K_{St}$ -Werts der Materialklasse „Wald“ (Wert 10) in Abbildung 3 abgebildet.

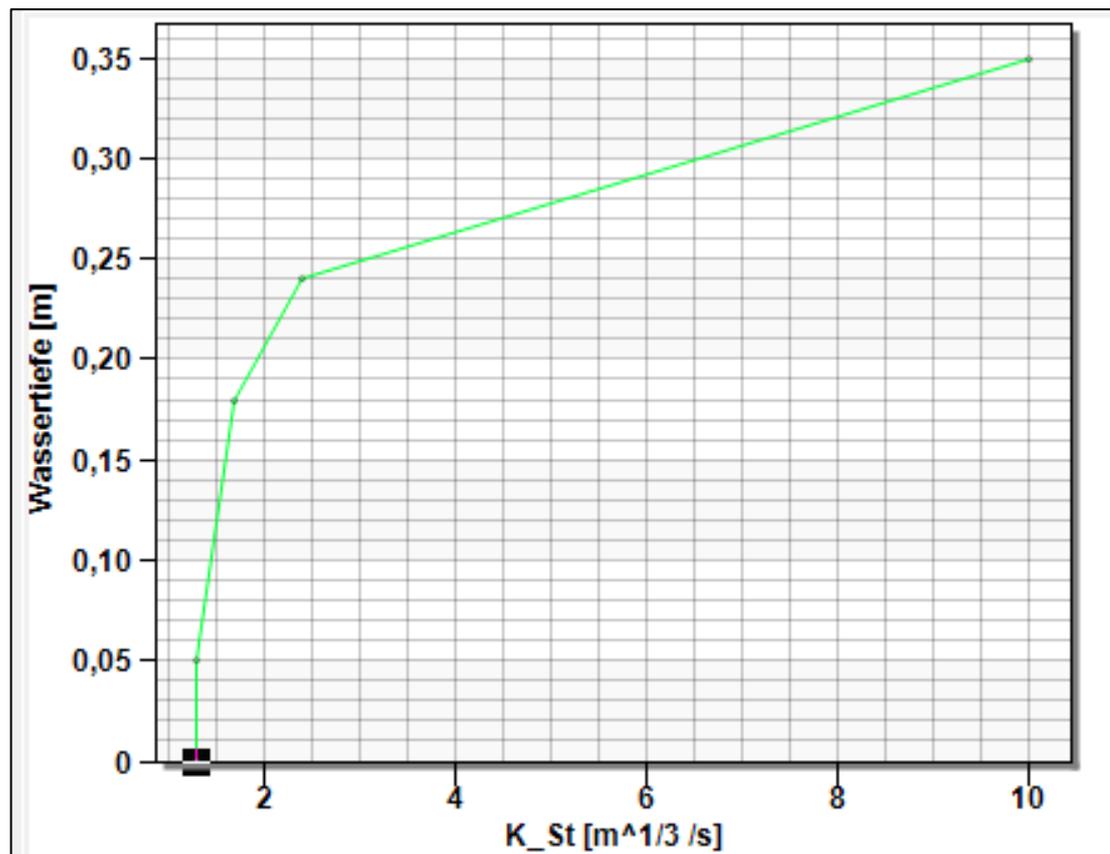


Abbildung 3: Verlauf tiefenabhängiger  $K_{St}$ -Wert am Beispiel "Wald"

Im verwendeten hydraulischen Modell kommt es bei Neigungen der durchströmten Elemente von mehr als 10 % zu Näherungsfehlern. Diese sind im Vergleich anderer Unsicherheiten (beispielsweise hydrologische Eingangsdaten, Wahl der Rauheitswerte, Wahl der Tiefengrenzen bei Rauheitswerten) sehr gering und sind im Rahmen der Modellierungsunsicherheit vernachlässigbar.

Das Modell wird bei allen Rechenläufen mit einem Anfangswasserspiegel von 1 mm belegt (Wtiefe\_0), da ansonsten je nach Abflussbeiwert und Jährlichkeit alleine 10 % des Effektivniederschlags zum Erreichen der Mindestwassertiefe benötigt wird. Des Weiteren ist der Anfangsverlust bereits im Effektivniederschlag berücksichtigt ist.

Das Kanal- und Entwässerungssystem wird im Modell nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass bei einem hundertjährlichen Niederschlagsereignis die Einläufe/Schächte sich entweder verlegen oder der Kanal überlastet ist. Der gesamte Abfluss findet oberflächlich statt.

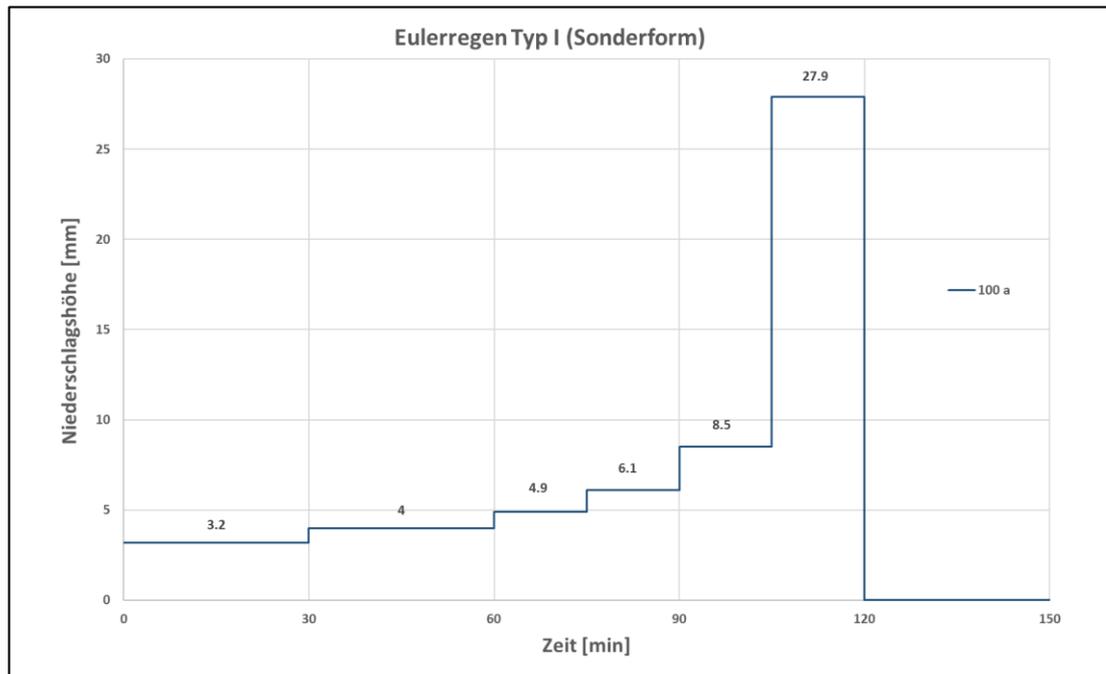
### **3.2 Hydrologische Untersuchungen**

Die Hydrologie für die Einzugsgebiet wurde mittels der EGAR-Daten und dem SCS-Verfahren ermittelt.

Basis der Hydrologie ist die Niederschlagshöhe des hundertjährlichen Niederschlags nach der Starkniederschlagshöhenauswertung KOSTRA-DWD-2020 mit einem 2-stündigem Eulerregen (Sonderform - endbetont). Bei einem Wiederkehrintervall von 100 [a] Jahren liegt die Niederschlagshöhe bei 61,8 mm.

Die zeitliche Niederschlagsverteilung wurden mit einer Dauerstufe von 2 h ermittelt. Diese Dauerstufe ist für ein Sturzflutenmodell im Hangbereich relativ lang gewählt, deckt dabei aber auch gleichzeitig die Fließgewässer mit ab. Bei der zeitlichen Verteilung wurde hier der Fokus auf die kürzeren Dauerstufen, welche für die Abflüsse im Siedlungsgebiet oft maßgebend sind, analog zu einem umgekehrten EULER-Regen TYP I zu, jedoch mit 15-Minuten Intervallen, zugegeben. Die letzten 15 Minuten des Niederschlages entsprechen damit der Niederschlagshöhe für einen 15 Minuten Niederschlag. Die letzten 60 Minuten entsprechen der Niederschlagshöhe eines 60-Minütigen Niederschlages usw. Damit werden verschiedene maßgebende Dauerstufen innerhalb eines Untersuchungsgebiets abgedeckt.

In Abbildung 4 ist die Niederschlagsverteilung beispielhaft für ein hundertjährliches Ereignis dargestellt. Die zeitliche Verteilung ist stark endbetont und stellt damit ein Worst-Case-Szenario dar. Durch die Wahl dieser Niederschlagsverteilung wird sichergestellt, dass sowohl Flächen mit kleinen Einzugsgebieten und kurzen maßgebenden Anlaufzeiten, als auch Prozesse wie überlaufende Senken mit der jeweils maßgeblichen Niederschlagsdauer belastet werden.



**Abbildung 4: zeitliche Verteilung eines hundertjährlichen Niederschlagsereignisses mit einer Dauer von 2h**

Die Zugabe der Abflüsse in das 2d-hydraulische Sturzflutenmodell erfolgt durch Zugabe des Effektivniederschlags an allen Knotenpunkten des Modells. Um die Niederschlagsdaten in Effektivniederschläge (= Anteil des Niederschlages, der oberflächlich zum Abfluss kommt) umzurechnen, müssen Abflussbeiwerte ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Abflussbeiwerte wird der CN-Wert (Curve-Number) aus dem EGAR-SCS Shape herangezogen. Für die einzelnen Niederschlagsereignisse werden die Abflussbeiwerte  $\Psi$  nach folgender Formel in Abhängigkeit des CN-Wertes, der Niederschlagshöhe N in Millimeter und des Anfangsverlustes als Anteilsfaktor (Standardwert für Südbayern 0,05 bzw. 5 %) ermittelt:

$$\Psi = \frac{\left(\frac{N}{25,4} - \frac{1000 \times I_a}{CN} + 10 \times I_a\right)^2}{\frac{N}{25,4} + \frac{1000 \times (1 - I_a)}{CN} - 10 \times (1 - I_a)} \times \frac{25,4}{N}$$

Die CN-Werte wurden für die mittlere CN-Klasse (CN<sub>II</sub>) bestimmt, da diese eine mittlere Vorfeuchte widerspiegeln und diese mittlere Bedingungen für ein Hochwasserereignis erwartet werden.

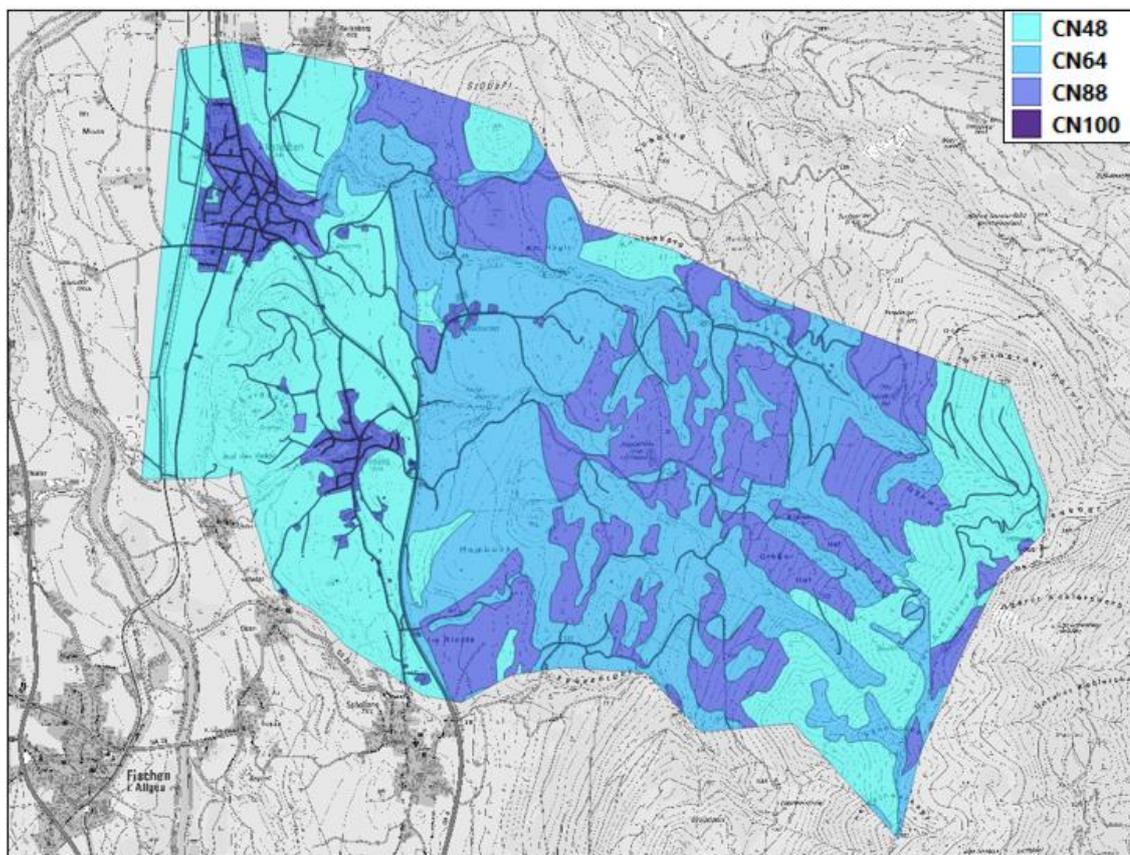
Durch diese Methode können für die unterschiedlichen Niederschlagsereignisse realistische Abflussbeiwerte gewählt werden.

Der ermittelte Effektivniederschlag wurde in Niederschlagsklassen eingeteilt. Dabei wurden die Klassen so gewählt, dass immer ähnliche CN-Werte zu einer Klasse zusammengefasst wurden, wobei der flächenmäßig größte Anteil den CN-Wert der Klasse definiert. Die Einteilung ist in Tabelle 1 abgebildet.

**Tabelle 1: ermittelter Effektivniederschlag**

Niederschlagsklassen	CN-Wert	N <sub>eff</sub> [mm]
0 $\triangleq$ Mähwiesen frisch bis mässig feucht	48	7,1
1 $\triangleq$ Bergmischwald feucht	64	15,1
2 $\triangleq$ Siedlungsflächen/Alm feucht, oft verdichtet	88	38,1
3 $\triangleq$ versiegelte Flächen	100	61,8

Die räumliche Verteilung des Effektivniederschlags innerhalb des Untersuchungsgebiets ist in Abbildung 5 dargestellt.

**Abbildung 5: Verteilung des Effektivniederschlags**

### 3.3 Berechnungsmethode

Die hydraulischen Berechnungen werden in dieser Untersuchung mit dem zweidimensionalen, numerischen Strömungsmodell Hydro\_As-2d, Version 5.5.4, durchgeführt.

Das Programm basiert auf der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung, welche in Kombination mit der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichung über die Wassertiefe integriert wird (2d-tiefengemittelte Strömungsgleichung oder Flachwassergleichung)<sup>1</sup>.

In kompakter Vektorform lauten die 2d- Strömungsgleichungen<sup>2</sup>:

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

wobei

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

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

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

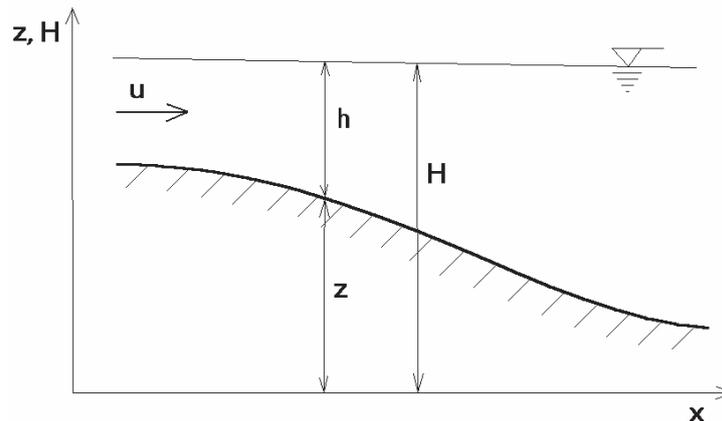
$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - v h \frac{\partial u}{\partial y} \\ v^2h + 0.5gh^2 - v h \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Hierbei bezeichnet  $H = h + z$  den Wasserspiegel über einem Bezugsniveau,  $u$  und  $v$  sind die Geschwindigkeitskomponenten in  $x$ - und  $y$ - Richtung (s. Abbildung 6).

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

<sup>1</sup> Nujić, M. (1999): Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen, Mitteilung des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 64

<sup>2</sup> Nujić, M. (2006): Hydro\_As-2d, ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Benutzerhandbuch.

**Abbildung 6: Systemskizze hydraulische Parameter**

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

$$I_{sx} = -\frac{\partial z}{\partial x}, \quad I_{sy} = -\frac{\partial z}{\partial y}$$

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

$$I_R = \frac{\lambda v |v|}{2gD}$$

Die Bestimmung des Widerstandsbeiwertes  $\lambda$  erfolgt über die Manning-Strickler-Formel:

$$\lambda = 6.34 \frac{2gn^2}{D^{1/3}}$$

Hierbei bedeutet n den Manning-Reibungskoeffizienten als Kehrwert des Strickler-Beiwertes, g ist die Erdbeschleunigung und  $D = 4r$ , ist der hydraulische Durchmesser. Bei den 2d- Flachwassergleichungen wird der hydraulische Radius r gleich der Wassertiefe h gesetzt.

Die Lösung des nichtlinearen Gleichungssystems erfolgt numerisch über eine räumliche Diskretisierung durch das Finite-Volumen-Verfahren mit expliziten Zeitschritten (explizites Runge-Kutta-Verfahren zweiter Ordnung). Dieses Verfahren zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Stabilität und die Berücksichtigung der Massen- und Impulserhaltungseigenschaften aus. Das Programm kann unterschiedliche, auch häufig wechselnde und hoch instationäre Fließzustände berechnen. Komplexe

Strömungsverhältnisse mit Quer- und Rückströmungen und Wasserspiegelquerneigungen werden zuverlässig und realitätsnah abgebildet. Die Interaktion zwischen Flussschlauch und Vorland wird bei Ausuferung automatisch erfasst. Über- und durchströmte Bauwerke, wie Wehre, Brücken und Durchlässe, werden in allen Zuständen berücksichtigt und teils numerisch, teils über empirische Formeln berechnet.

Das dreidimensionale Berechnungsnetz in Hydro\_As-2d besteht aus Dreiecks- und Viereckselementen. Die Vermaschung orientiert sich an der Form der Geländeoberfläche und den verwendeten Daten (Bruchkanten, Raster-Daten aus Photogrammetrie oder Laserscan-Befliegung, terrestrische Aufnahmen, etc.). Es können mehrere hunderttausend Berechnungselemente verarbeitet werden. Bei hoch aufgelösten Laserscan-Daten als Grundlagendaten für das Vorlandnetz mit Punktdichten bis 1 Mio./km<sup>2</sup> (Rasterweite von 1 m) kann eine automatische Ausdünnung mit dem Programm Laser\_As-2d durchgeführt werden.

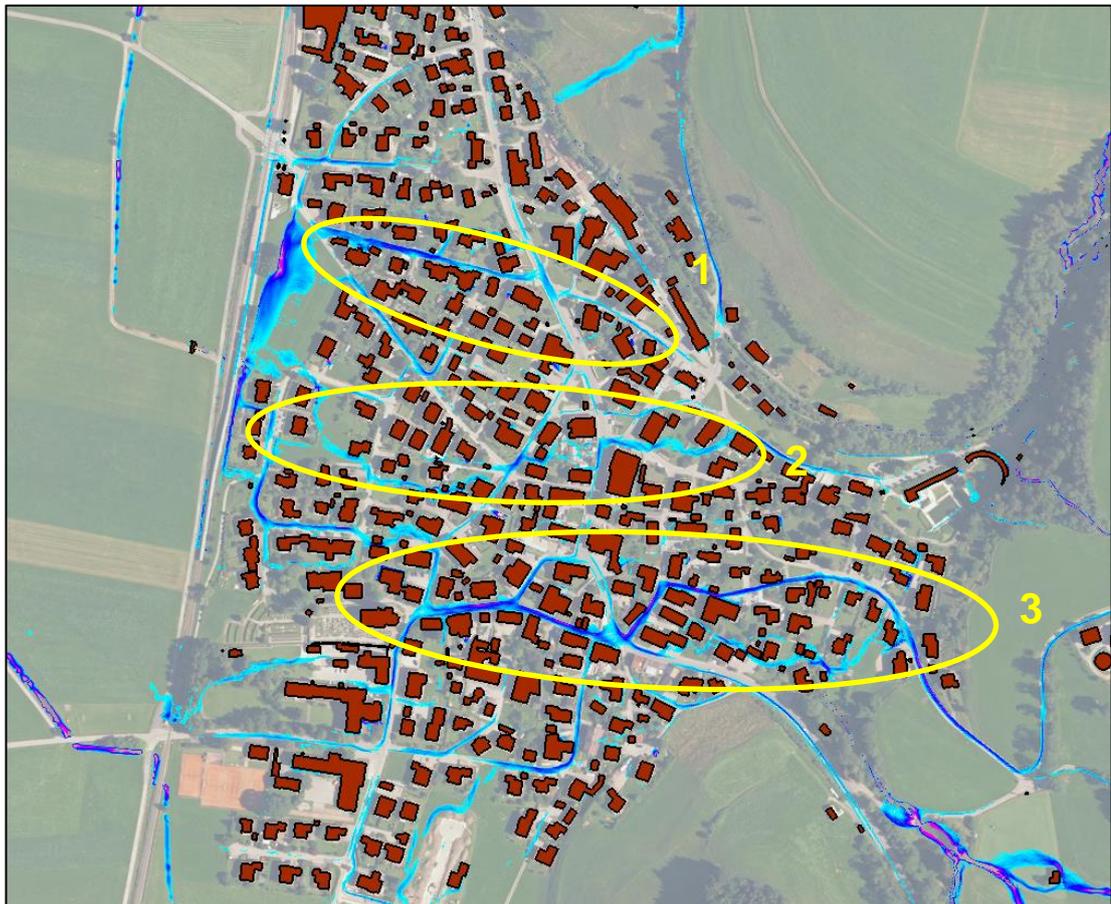
Die Netzgenerierung und –bearbeitung erfolgt mit dem Programm SMS (Surface-water Modeling System, Version 13.1 von der Firma Aquaveo, Utah, USA). Die mittels SMS erzeugten Ausgabedateien dienen Hydro\_As-2d als Eingangsdaten. Die Berechnungsergebnisse werden wiederum in SMS eingelesen und zur Auswertung und Visualisierung dort weiterbearbeitet. Die Berechnungsergebnisse beinhalten u. a. Wasserspiegellagen, Fließtiefen, Fließgeschwindigkeiten (2D-tiefengemittelt) und Schubspannungen. Weitere hydraulische Werte können durch Berechnungsfunktionen in SMS ermittelt werden, beispielsweise Froudezahlen oder Wasserspiegeldifferenzen aus unterschiedlichen Lastfällen. Alle Werte werden flächenhaft und punktgenau abgebildet und können tabellarisch und grafisch ausgewertet werden. Die Darstellung der Überschwemmungsflächen erfolgt durch Verschneidung der berechneten Wasserspiegellagen mit dem Gelände.

## 4 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse wurden für die Ortsbereiche Altstädten und Hinang ermittelt und graphisch aufbereitet. Diese werden in Form von Animationen (Map View) und in zwei Lageplänen im Maßstab 1 : 1.000 als Fließtiefen- und Fließgeschwindigkeitskarte in Anlage 1 dargestellt.

### 4.1 Altstädten

Die Hauptfließwege ergeben sich aus der Topographie sowie der Infrastruktur (Straßen, Bahn). Um relevante Fließwege graphisch besser darstellen zu können, bietet sich an, das Produkt aus der Fließtiefe x Fließgeschwindigkeit zu bilden ( $\hat{=}$  Intensität). Das Ergebnis ist in Abbildung 7 dargestellt.



**Abbildung 7: Hauptfließwege Altstädten**

Der Verlauf der drei Hauptfließwege lässt sich wie folgt beschreiben:

- 1) *Beilenberger Straße* → *Freibadweg* → *Stuibenberg* → *Flurstück Nr. 10*
- 2) *Freibadweg* → *freier Abfluss durch das Siedlungsgebiet* → *Flurstück Nr. 10*
- 3) *Sonnenkopfweg* → *Weingartenweg* → *Pfarrstr.* → *Am Naglerweg* → *Hörnerblick*  
→ *Flurstück Nr. 10*

Bei der zusätzlichen Betrachtung der Fließtiefen und -geschwindigkeiten (Anlage 1) ist festzustellen, dass:

- der Abfluss sich entlang der Straßen konzentriert
- insbesondere auf den größeren Straßen die Fließgeschwindigkeiten relativ hoch ist
- der Abfluss über das Gelände/ durch die Gärten breitflächig erfolgt
- sich ein Großteil der Oberflächenentwässerung auf Flurstück Nr. 10 sammelt
- die Feuerwehr im Ereignisfall betroffen ist

### 4.2 Hinang

Ähnlich wie in Altstädten gibt es in Hinang zwei Hauptfließwege die sich entlang der Straßen konzentrieren. Der Fließweg ist, dem Gelände folgend, von Osten nach Westen (s. Abbildung 8). Die gesamte Oberflächenentwässerung fließt dem Hinanger Bach zu.

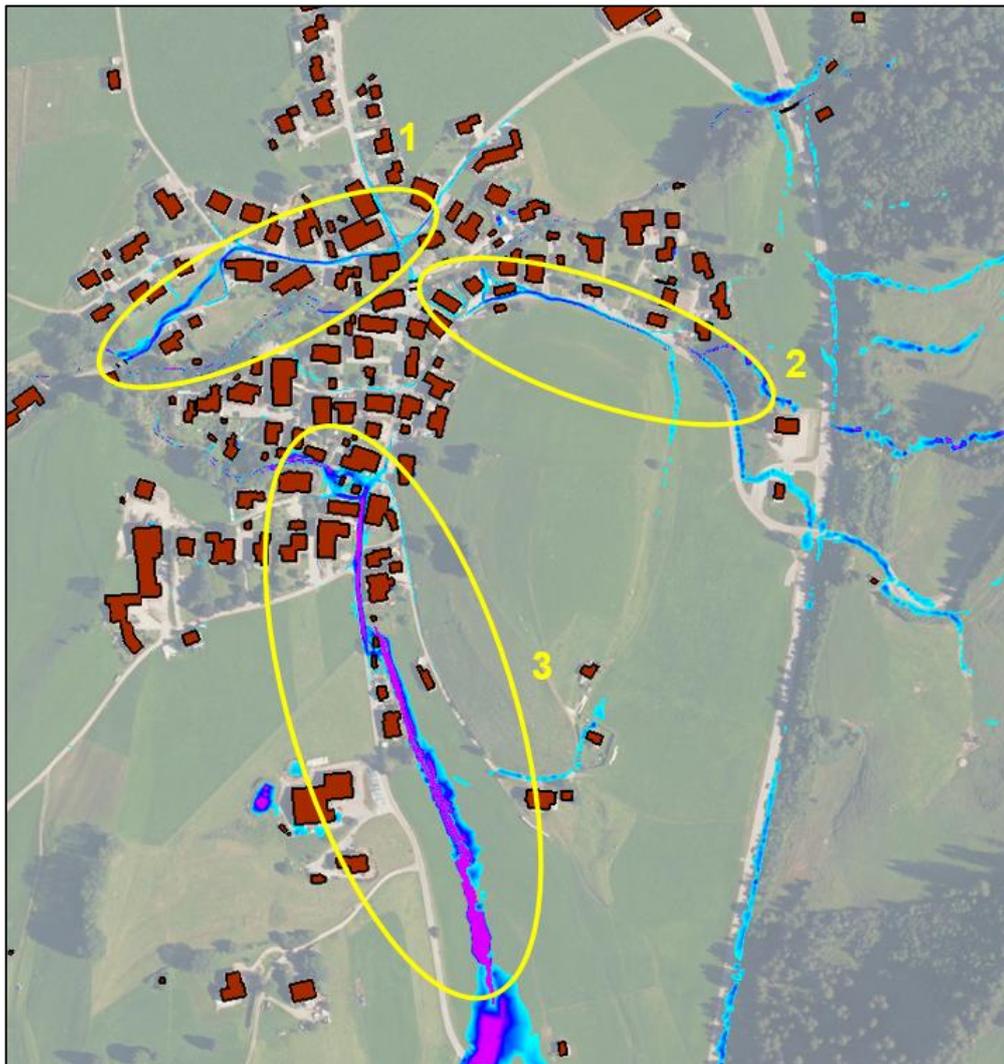


Abbildung 8: Hauptfließwege Hinang

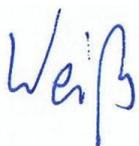
Der dritte Fließweg ergibt sich aus der Grabenstruktur im Süden des Ortes und ist eher als Gewässerhochwasser zu sehen. Der Graben dient zur Entwässerung etlicher größerer Weideflächen in den Hinanger Bach und ist innerhalb des Siedlungsgebiets verrohrt (DN1000). Der Einlauf in die Verrohrung ist nicht leistungsfähig genug das ankommende Wasser schadlos abzuführen und ufert aus. Das Wasser fließt konzentriert über die Straße nach Norden ehe es zwischen Hausnummer 24 und 28 breitflächig über das Gelände zurück in den Angerbach fließt.

Auf Grund der Intensität ist die Ausuferung als kritisch einzuordnen und es besteht Gefahr für Leib und Leben<sup>3</sup>.

Aufgestellt:

Weilheim i. OB, 07.06.2023

Ingenieurbüro Kokai GmbH



Max Weiß  
Dipl.-Ing. (FH)

Bearbeiter:



Karl Sender  
B.Sc.

---

<sup>3</sup> Bayrisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2019), S. 3: **Infoblatt zum Sonderprogramm nach Nr. 2.4 RZWas 2018, Integrale Konzepte zum kommunalen Sturzflut-Risikomanagement.** Online verfügbar unter [https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/foerderung/doc/infoblatt\\_sonderprogramm\\_sturzfluten.pdf](https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/foerderung/doc/infoblatt_sonderprogramm_sturzfluten.pdf)