

# HYDROLOGISCHES GUTACHTEN AM TEUFELSGRABEN UND SCHELLGRABEN

STADT KOLBERMOOR  
LANDKREIS ROSENHEIM

## ERLÄUTERUNGSBERICHT

### AUFTRAGGEBER:



#### **Stadt Kolbermoor**

Rathausplatz 1

83059 Kolbermoor

E-Mail: [huber@dg-prien.de](mailto:huber@dg-prien.de)

Ansprechpartner: Herr Jörg Huber

Tel.: 08051 686819

### 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:

30.07.2024

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung des Vorhabens</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Topografie</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Fließweganalyse</b> .....	<b>5</b>
4.1	Hydrologie.....	6
4.2	Hydraulik.....	10
4.3	Ergebnisse.....	14
4.4	Maßnahmenempfehlung .....	15
<b>5</b>	<b>Ermittlung von Einzugsgebieten und Abflussmengen am Teufelsgraben und Schellgraben</b> .....	<b>16</b>
5.1	Verfahrensbeschreibung .....	16
5.2	Grundlagendaten .....	17
5.3	Hydrologische Modelle.....	17
5.3.1	Teufelsgraben .....	17
5.3.2	Schellgraben .....	18
5.4	Wahl der Modellparameter.....	20
5.5	Wahl der maßgebenden Parameterkombination .....	26
5.5.1	Teufelsgraben .....	26
5.5.2	Schellgraben.....	27
5.6	Plausibilisierung der Ergebnisse .....	28
5.7	Ergebnis.....	29

## ANLAGENVERZEICHNIS

Nr.	Inhalt	Maßstab	Plan-Nr.
1.	Lageplan Fließtiefen T = 100 a, IST-Zustand Fließweganalyse	1 : 1.000	01_LP-FW-IST
2.	Lageplan Hydrologie	1 : 2.500	02_LPH

## 1 Einleitung

Die Stadt Kolbermoor plant den Bereich zwischen Teufelsgraben und Schellgraben zu bebauen. Im Rahmen einer Vorabstimmung soll eine Fließweganalyse für das geplante Baugebiet durchgeführt werden. Zusätzlich sollen die bestehenden Bäche (Teufelsgraben und Schellgraben) zum Schutz der Unterlieger untersucht werden. Entsprechend werden die Einzugsgebiete ermittelt und die Abflüsse berechnet.

In Anlage 1 finden sich die Ergebnisse der Fließweganalyse. Die zugrundeliegenden Annahmen und Grundlagendaten werden im Folgenden erläutert und Empfehlungen für den Bbauungsplan im Hinblick auf die Fließverhältnisse gegeben.

In Anlage 2 findet sich die Einteilung der Einzugsgebiete für die beiden Gewässer.

## 2 Beschreibung des Vorhabens

Das geplante Baugebiet liegt im nordöstlichen Bereich der Siedlungsbebauung der Stadt Kolbermoor zwischen Teufelsgraben und Schellgraben. Begrenzt wird das künftige Baugebiet durch die bestehende Siedlung. Die Lage des Baugebiets ist in [Abbildung 1](#) dargestellt. [Abbildung 2](#) zeigt das unbebaute Gelände.

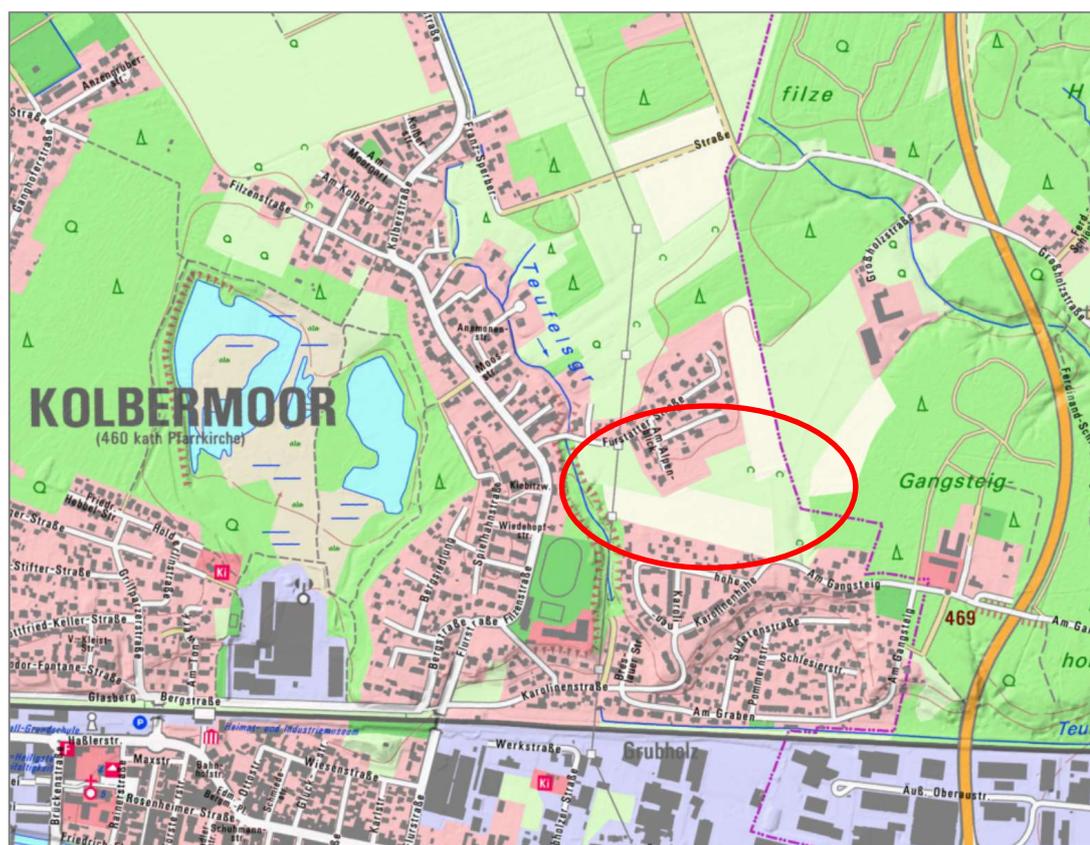


Abbildung 1: Lage des Baugebiets



**Abbildung 2: Übersicht über das Baugebiet mit Blick in Richtung Norden**

### **3 Topografie**

Die Stadt Kolbermoor liegt westlich der Stadt Rosenheim im Bereich des Rosenheimer Beckens. Entsprechend häufig trifft man auf Moorflächen. Im nördlichen Bereich queren der Teufelsgraben und der Schellgraben das Siedlungsgebiet, von Westen nach Osten quert die Mangfall Kolbermoor und im Süden fließen der Mitterharter und Oberharter Graben der Mangfall zu. Der relevante Bereich Kolbermoors liegt in etwa auf 470 mNHN. In erster Linie ist das gesamte Gebiet relativ eben.

### **4 Fließweganalyse**

Als Grundlage für die Ermittlung der Fließwege dient ein 2d-hydraulisches Modell, welches das gesamte hydrologische Einzugsgebiet umfasst. Das Modell basiert auf den Laserscandaten (DGM1) der Bayerischen Vermessungsverwaltung, der digitalen Flurkarte (DFK) und den Daten zur Landnutzung (ATKIS).

Für die hydrologische Berechnung wird ein hundertjährliches Starkregenereignis betrachtet. Als Grundlage für den maßgebenden Niederschlag werden die regionalisierten Starkniederschlagsdaten (KOSTRA-2020) des Deutschen Wetterdienstes herangezogen.

Das hydraulische Berechnungsverfahren und die hydrologische Ermittlung des Effektivniederschlags werden nachfolgend erläutert.

## 4.1 Hydrologie

Als Niederschlagshöhe wird ein hundertjähriger Niederschlag nach der Starkniederschlagshöhenauswertung KOSTRA-DWD-2020 gewählt. Als Dauerstufe werden 60 min gewählt, dies entspricht der typischen Dauer eines Starkniederschlags in Mitteleuropa und findet in bisherigen Untersuchungen breite Anwendung<sup>1</sup>. Für einen hundertjährigen 1-stündigen Regen nach KOSTRA-DWD-2020 ergibt sich im Untersuchungsgebiet eine Niederschlagsmenge von 57,3 mm (s. [Abbildung 3](#)).

Rasterfeld	: Spalte 175, Zeile 209								
Ortsname	: Kolbermoor								
Bemerkung	:								
Dauerstufe D	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	8,4	10,2	11,3	12,8	15,0	17,2	18,7	20,6	23,3
10 min	11,2	13,6	15,1	17,1	20,0	23,0	24,9	27,5	31,1
15 min	13,0	15,8	17,6	19,9	23,2	26,7	28,9	31,9	36,1
20 min	14,3	17,5	19,4	22,0	25,7	29,5	32,0	35,3	40,0
30 min	16,4	20,0	22,3	25,2	29,5	33,8	36,7	40,5	45,8
45 min	18,7	22,9	25,4	28,8	33,6	38,6	41,9	46,1	52,3
60 min	20,5	25,0	27,8	31,5	36,8	42,3	45,9	50,5	57,3
90 min	23,3	28,4	31,6	35,8	41,8	48,0	52,0	57,4	65,0
2 h	25,5	31,1	34,5	39,1	45,7	52,4	56,9	62,7	71,0
3 h	28,8	35,2	39,1	44,2	51,7	59,3	64,4	70,9	80,4
4 h	31,4	38,4	42,7	48,3	56,4	64,8	70,2	77,4	87,7
6 h	35,5	43,4	48,2	54,6	63,7	73,2	79,4	87,5	99,1
9 h	40,2	49,0	54,5	61,7	72,0	82,7	89,7	98,9	112,0
12 h	43,8	53,4	59,4	67,2	78,5	90,2	97,8	107,8	122,1
18 h	49,4	60,3	67,1	75,9	88,7	101,8	110,4	121,7	137,9
24 h	53,9	65,8	73,1	82,8	96,7	111,0	120,4	132,7	150,3
48 h	66,3	80,9	90,0	101,8	119,0	136,6	148,2	163,3	185,0
72 h	74,9	91,4	101,6	115,0	134,3	154,2	167,3	184,4	208,8
4 d	81,6	99,6	110,7	125,3	146,4	168,1	182,3	200,9	227,6
5 d	87,2	106,4	118,3	134,0	156,5	179,7	194,9	214,8	243,3
6 d	92,1	112,4	125,0	141,5	165,2	189,7	205,8	226,8	257,0
7 d	96,5	117,7	130,9	148,1	173,0	198,7	215,5	237,5	269,1

**Abbildung 3: Niederschlagshöhen für Uffing nach KOSTRA-DWD 2020**

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 das Lutz-Verfahren herangezogen. Im Folgenden sind die Formeln, die zur Berechnung des Abflussbeiwerts  $\Psi$  nach dem Lutz-Verfahren dienen, dargestellt. (vgl. Loseblattsammlung Hydrologische Planungsgrundlagen, Bayerisches Landesamt für Umwelt):

<sup>1</sup> Vorsorge gegen Starkregenereignisse und Maßnahmen zur wassersensiblen Stadtentwicklung – Analyse des Standes der Starkregenvorsorge in Deutschland und Ableitung zukünftigen Handlungsbedarfs, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Mai 2019, ISSN 1862-4804

$$\Psi = \frac{(hA_u + hA_s)}{hN}$$

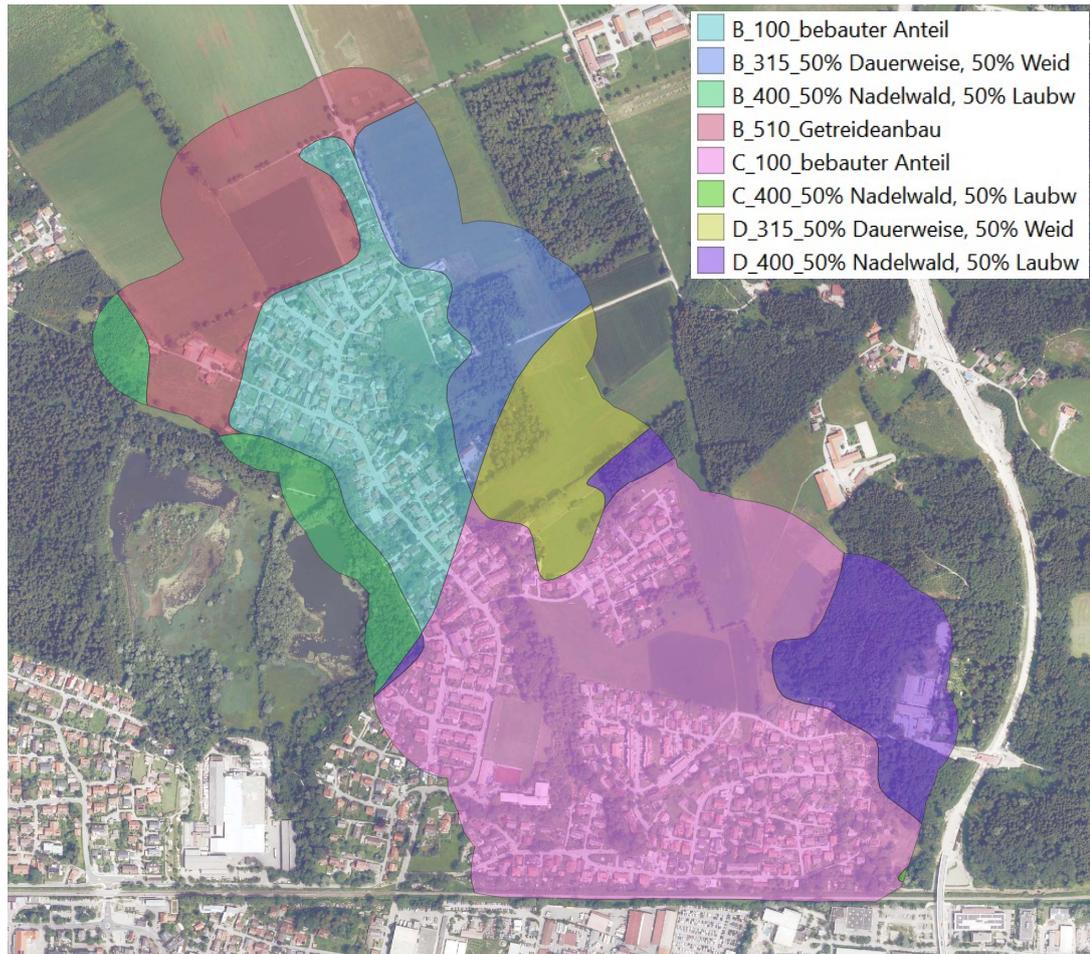
$$hA_s = (hN - Av_s) * \Psi_s * \frac{vA}{100} * \frac{bA}{100}$$

$$hA_u = \left[ (hN - Av_u) * c + \frac{c}{a} (e^{-a(hN - Av_u)} - 1) \right] * \left( 1 - \frac{vA}{100} * \frac{bA}{100} \right)$$

$$a = c_1 * e^{\frac{-c_2}{(|31 - WN| + 1)}} * e^{\frac{-c_3}{q_B}} * e^{-c_4 * D}$$

mit:	hN	Niederschlagshöhe	[mm]
	hA <sub>s</sub>	Abflusshöhe versiegelter Fläche	[mm]
	hA <sub>u</sub>	Abflusshöhe unversiegelter Fläche	[mm]
	Av <sub>s</sub>	Anfangsverlust versiegelter Fläche	[mm]
	Av <sub>u</sub>	Anfangsverlust unversiegelter Fläche	[mm]
	v <sub>A</sub>	Versiegelungsgrad	[%]
	b <sub>A</sub>	bebauter Flächenanteil	[%]
	Ψ <sub>s</sub>	Abflussbeiwert versiegelter Fläche	[-]
	c	maximaler Gesamtabflussbeiwert	[-]
	a	Proportionalitätsfaktor	[1/mm]
	c <sub>1</sub>	gebietsspezifischer Faktor	[-]
	c <sub>2</sub>	Faktor für den Einfluss der Jahreszeit	[-]
	c <sub>3</sub>	Faktor für den Einfluss der Bodenvorfeuchte	[-]
	c <sub>4</sub>	Faktor für den Einfluss der Niederschlagsdauer	[-]
	q <sub>B</sub>	Basisabflusssspende	[l/(s*km <sup>2</sup> )]
	D	Niederschlagsdauer	[h]
	WN	Wochenummer	[-]

Die Werte des Abflussbeiwertverfahrens nach Lutz werden mit Hilfe eines Geoinformationssystems erhoben (z. B. Landnutzung, Hydrologische Bodengruppe) bzw. mit Standardparametern für den bayerischen Raum belegt. Zur Ermittlung des Effektivniederschlags (entspricht dem vollständig zum Abfluss kommenden Anteil am Gesamtniederschlag) werden vereinfachend die Flächen zwischen den Gebäuden und auch die Straßenflächen vernachlässigt und der vorherrschenden Landnutzung und hydrologischen Bodengruppe zugeordnet. Grundlage zur Landnutzung und den hydrologischen Bodengruppen bildet Kartenmaterial des Bayerischen Landesamtes für Umwelt. [Abbildung 4](#) zeigt die Einteilung der Flächen je Landnutzungs-Bodengruppen-Klasse.



**Abbildung 4: Verschnittene Karte aus Landnutzung und Bodengruppen**

Mit dieser Methode können für die unterschiedlichen Niederschlagsereignisse realistische Abflussbeiwerte ermittelt werden.

Der ermittelte Effektivniederschlag für das Untersuchungsgebiet ist in **Tabelle 1** dargestellt und wird als mittenbetonter, 1-stündiger Niederschlag im Modell zugegeben. Der Effektivniederschlag wird entsprechend der Farbcodierung Niederschlagsklassen zugeordnet.

**Tabelle 1: Ermittelter Effektivniederschlag**

Landnutzung	Hydrologische Bodengruppe	Abflussbeiwert $\Psi$ [-]	Effektivniederschlag [mm/h]
bebauter Anteil	B	0,45	25,9
50% Dauerwiese, 50% Weideland	B	0,24	13,6
50% Nadelwald, 50% Laubwald	B	0,21	11,9
Getreideanbau	B	0,29	16,5
bebauter Anteil	C	0,51	29,3
50% Nadelwald, 50% Laubwald	C	0,29	16,4
50% Dauerwiese, 50% Weideland	D	0,37	20,9
50% Nadelwald, 50% Laubwald	D	0,33	18,7

Abbildung 5 zeigt die Klassen grafisch. In Tabelle 2 sind die Zugabewerte für das hydraulische Modell gelistet.

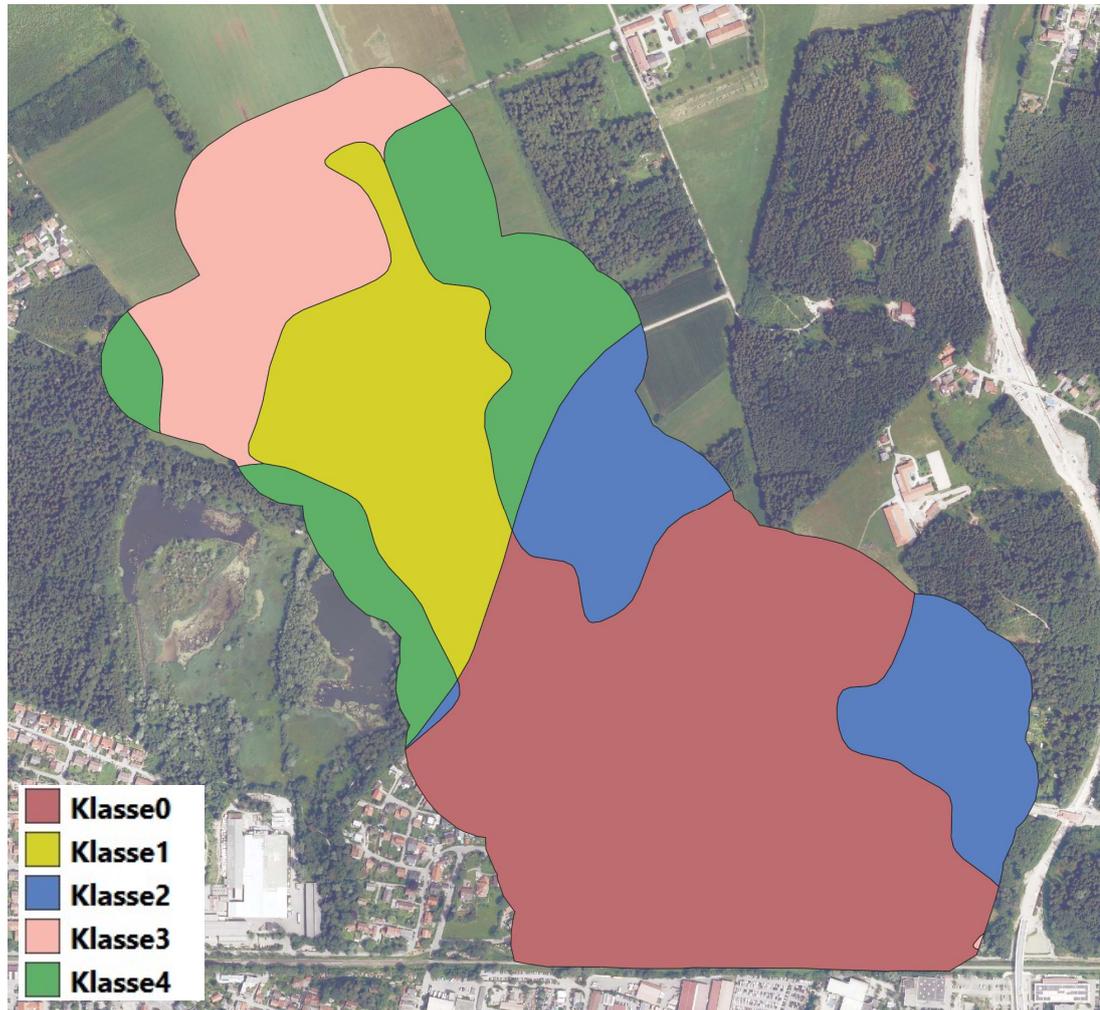


Abbildung 5: Niederschlagsklassen

Tabelle 2: Zugabewerte für das hydraulische Modell

Zugabewerte Modell	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Zeit [s]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
<b>0</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>180</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>360</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>540</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>720</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>900</b>	19,50	17,28	12,49	11,00	9,04
<b>1080</b>	73,13	64,78	46,84	41,24	33,92
<b>1260</b>	73,13	64,78	46,84	41,24	33,92
<b>1440</b>	73,13	64,78	46,84	41,24	33,92
<b>1620</b>	73,13	64,78	46,84	41,24	33,92

Zugabewerte Modell	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Zeit [s]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
<b>1800</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>1980</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>2160</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>2340</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>2520</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>2700</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>2880</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>3060</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>3240</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>3420</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>3600</b>	17,55	15,55	11,24	9,90	8,14
<b>3601</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7200</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## 4.2 Hydraulik

Die Netzgenerierung und –bearbeitung erfolgt mit dem Programm SMS (Surface-water Modeling System, Version 13.3 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 Froude-Zahlen 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.

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit dem zweidimensionalen, numerischen Strömungsmodell *Hydro\_AS-2d* in der aktuellen Version 6.1.1 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>2</sup>.

In kompakter Vektorform lauten die 2d- Strömungsgleichungen<sup>3</sup>:

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

wobei

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

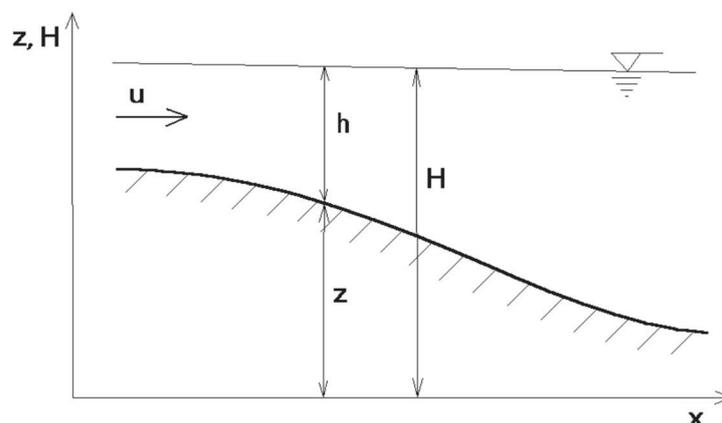
$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - v h \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - v h \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}$$

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

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

Hierbei bezeichnet  $H = h + z$  den Wasserspiegel über einem Bezugsniveau,  $u$  und  $v$  sind die Geschwindigkeitskomponenten in  $x$ - und  $y$ - Richtung (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 ( $I_{Sx}$ ,  $I_{Sy}$ ).



**Abbildung 6: Systemskizze hydraulischer Parameter**

<sup>2</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>3</sup> Nujić, M. (2006): Hydro\_As-2d, ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Benutzerhandbuch.

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.

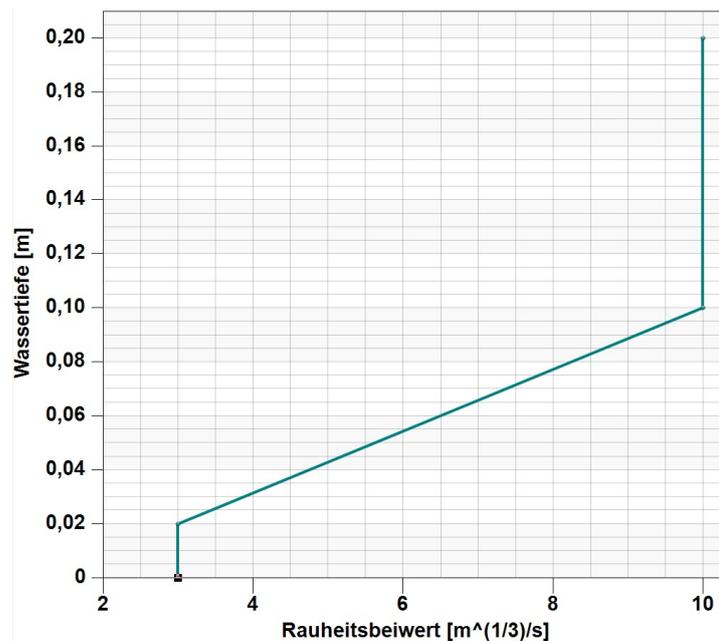
Die Lösung des nichtlinearen Gleichungssystems erfolgt numerisch über eine räumliche Diskretisierung durch das Finite-Volumen-Verfahren mit expliziten Zeitschritten (explizites Runge-Kutta-Verfahren zweiter Ordnung). Dieses Verfahren zeichnet sich insbesondere durch eine hohe Stabilität und Berücksichtigung 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 Fluss-schlauch 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 Programm kann unterschiedliche, auch häufig wechselnde und hoch instationäre Fließzustände berechnen. Komplexe Strömungsverhältnisse mit Quer- und Rückströmungen und Wasserspiegelquerneigungen werden zuverlässig und realitätsnah abgebildet. Das dreidimensionale Berechnungsnetz in Hydro\_As-2d besteht aus dem unausgedünnten DGM1. Es können mehrere hunderttausend Berechnungs-

elemente verarbeitet werden. Das Programm Hydro\_As-2d wird als Standardsoftware für 2D-hydraulische Berechnungen in der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung verwendet.

### Rauheiten

Zusätzlich wird das Modell mit Materialklassen belegt, die die Oberflächenstruktur des Geländes abbilden soll. 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 erfolgt nach der Empfehlung des bayerischen Landesamts für Umwelt. Dabei werden tiefenabhängige Rauheitsbeiwerte verwendet. Ab einer Fließtiefe von 10 cm wird der vom LfU empfohlene Rauheitsbeiwert erreicht. Exemplarisch wird der tiefenabhängige Verlauf des  $k_{St}$ -Werts der Materialklasse „Wald“ (Wert 10) in [Abbildung 7](#) abgebildet.



**Abbildung 7: 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.

### Anfangswasserspiegel

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

#### Kanalisation

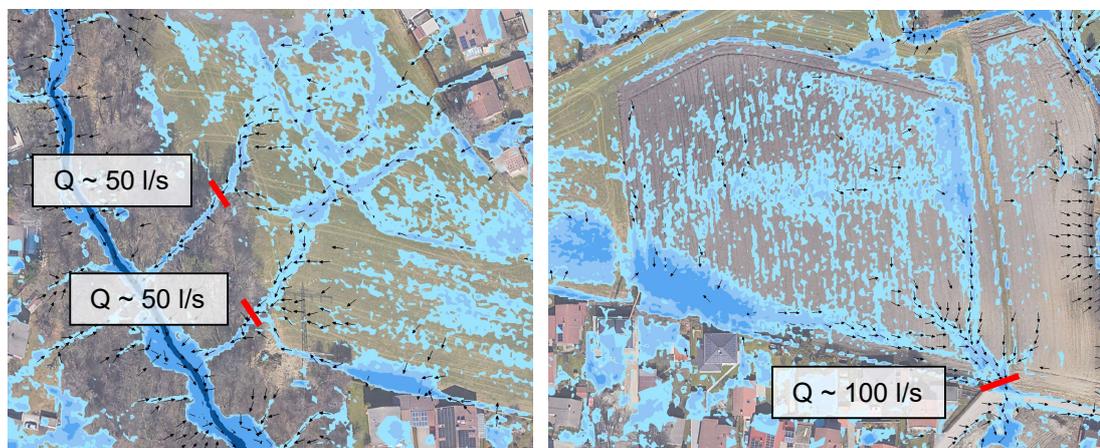
Das Kanalsystem wird im Modell nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass sich bei einem hundertjährigen Niederschlagsereignis die Einläufe/Schächte entweder verlegen oder der Kanal überlastet ist (Dimensionierung auf 5 a). Der gesamte Abfluss findet oberflächlich statt.

### 4.3 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse werden in Form von Fließtiefen und -richtung graphisch aufbereitet und im Maßstab von 1 : 1.000 in einem Lageplan in Anlagen 1 dargestellt.

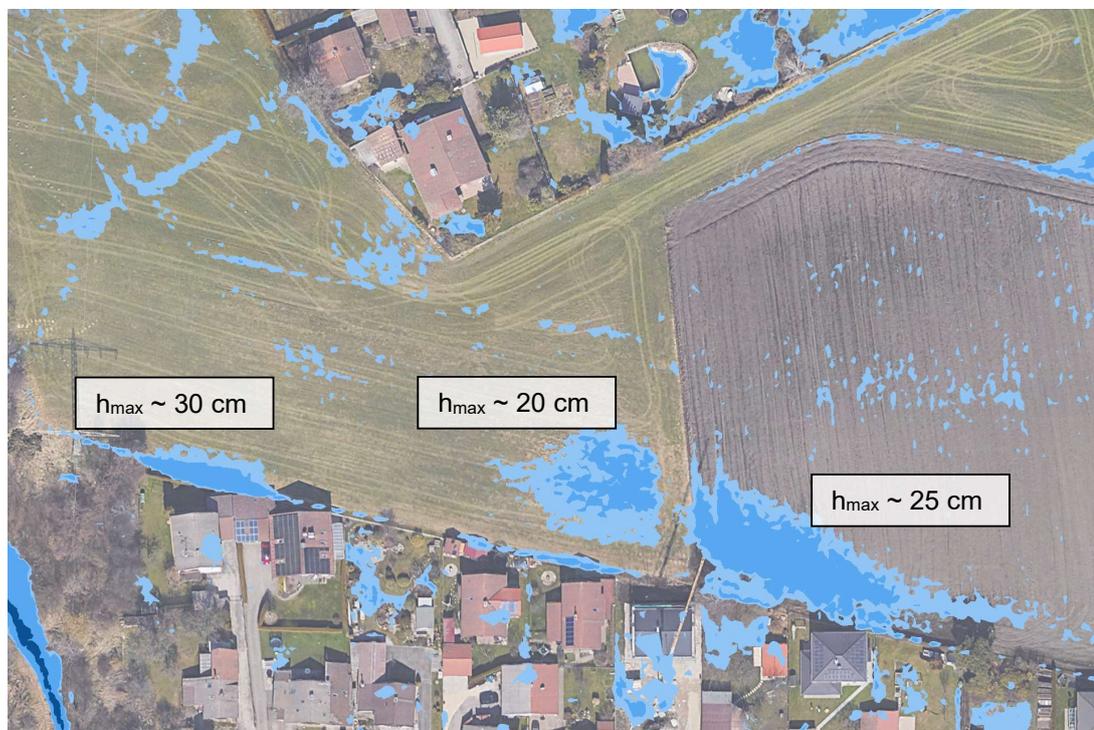
#### Auswertung IST-Zustand

Aufgrund des relativ ebenen Geländes gibt es keinen vorherrschenden Fließweg. Allerdings bilden sich diverse Einstauflächen, sowie drei kleinere Fließwege. Zusätzlich fließt am östlichen Rand des geplanten Baugebietes der Schellgraben. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Fließwege. Dargestellt sind die Wassertiefen ab 2 cm und die Fließgeschwindigkeit ab 0,05 m/s. Im westlichen Bereich des künftigen Baugebietes strömen zwei Fließwege dem Teufelsgraben zu. Der Abfluss (Q) liegt je bei etwa 50 l/s. Im östlichen Bereich fließt das wild abfließende Wasser Richtung Süden auf die Straße „Karolinenhöhe“. Die Menge beläuft sich auf etwa 100 l/s.



**Abbildung 8: Fließwege aus dem Baugebiet heraus**

Grundsätzlich verteilt sich das wild abfließende Wasser flächig auf dem geplanten Baugebiet. Es zeigen sich jedoch auch drei Bereiche mit etwas höheren Fließtiefen. Diese Bereiche bzw. Senken sind in [Abbildung 9](#) zu sehen. Die Fließtiefen in der Grafik sind ab 5 cm dargestellt.



**Abbildung 9: Bereiche mit Fließtiefen > 5 cm**

#### **4.4 Maßnahmenempfehlung**

Basierend auf dem Umgriff des Bebauungsplans und der Analyse der Fließwege lassen sich Empfehlungen für das geplante Baugebiet ableiten, damit im Ereignisfall möglichst geringe Auswirkungen auf die geplante Bebauung und die Nachbarbebauung auftreten.

##### **Empfehlungen für das Baugebiet:**

Es wird empfohlen im Bereich der genannten Senken Gebäude mindestens 35 cm höher als das umliegende Gelände zu planen. Zusätzlich sollte in diesen Bereichen auf Keller verzichtet werden und Gebäudeöffnungen ausreichend hoch gesetzt werden.

Weiterhin wird empfohlen am südlichen Rand des geplanten Baugebietes eine Mulde vorzusehen, die das Wasser zum einen Richtung westlich gelegenen Teufelsgraben und zum anderen Richtung östlich gelegenen Schellgraben ableitet. Diese Mulde sollte so konzipiert sein, dass sie besonders im Überlastfall der Siedlungs-entwässerung wirkt.

## 5 Ermittlung von Einzugsgebieten und Abflussmengen am Teufelsgraben und Schellgraben

### 5.1 Verfahrensbeschreibung

Für die Ermittlung der maßgebenden Abflüsse wird das Programm EGL-X des Bayerischen Landesamtes für Umwelt verwendet. Es handelt sich um ein Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) basierend auf dem Einheitsganglinienverfahren. Das N-A-Modell gliedert sich in vier voneinander unabhängige und beliebig kombinierbare Teilmodule:

1. Niederschlag-Abfluss-Modell
2. Speicherberechnung
3. Wellenablauf in den Gewässerteilstrecken (Flood-Routing)
4. Ganglinienaddition bzw. -subtraktion

Die Niederschlag-Abfluss-Modellierung setzt sich wiederum aus drei Teilmodulen zusammen:

- Gebietsniederschlag
- Effektivniederschlag
- Abflusskonzentration

#### Gebietsniederschlag nach KOSTRA 2020 – DWD:

Alle relevanten Niederschlags-Dauer-Häufigkeitswerte werden mit folgenden zeitlichen Niederschlagsverteilungen betrachtet:

- Blockregen
- anfangsbetonter Regen
- mittenbetonter Regen
- endbetonter Regen

#### Abflussbildung (Ermittlung des Effektivniederschlags):

Der Effektivniederschlag wird über das Abflussbeiwertverfahren nach Lutz für den Raum Südbayern ermittelt. Darin wird die flächengewichtete Summe von Anteilen unterschiedlicher Landnutzungen und hydrologischer Bodengruppen für die Ermittlung des Effektivniederschlags herangezogen. Dieses Verfahren liefert gute Ergebnisse im Vergleich zur regionalisierten Ermittlung von Abflussbeiwerten. Es wird mit zeitlich variablem Abflussbeiwert gerechnet, um die zeitliche Abhängigkeit des Abflussbeiwertes vom Niederschlag zu berücksichtigen.

Abflusskonzentration:

Die Ermittlung der Abflussganglinie erfolgt nach dem regionalisierten Verfahren nach Lutz Südbayern. Es wurde an Einzugsgebiete angepasst, die südlich der Donau liegen und zeigt gute Anpassungen für relativ schnell reagierende Einzugsgebiete. Dem Modell liegt eine lineare Speicherkaskade mit einer variablen Speicheranzahl und –konstante zugrunde.

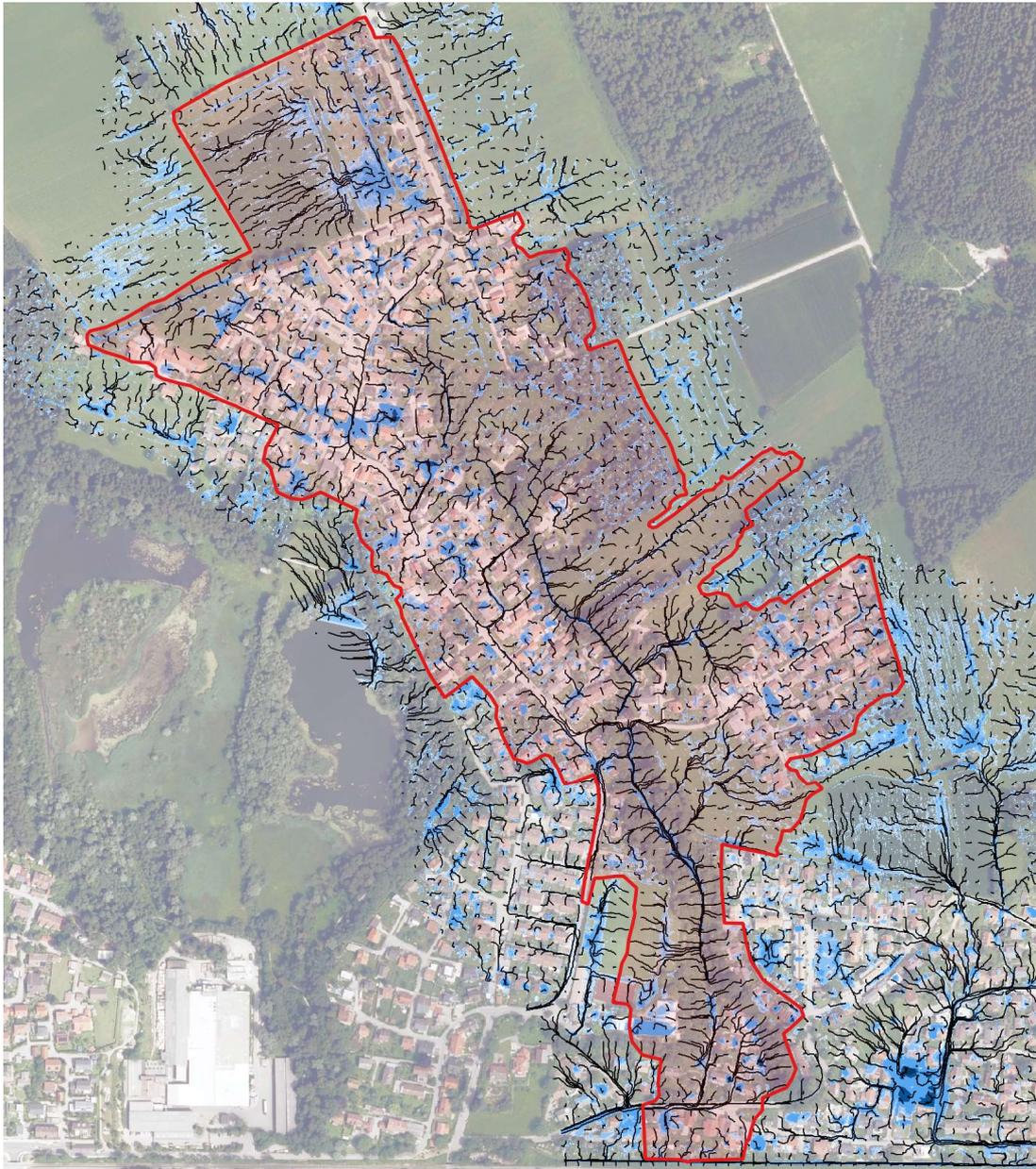
## 5.2 Grundlagendaten

[Abbildung 3](#) zeigt die Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienstes der regionalisierten Starkniederschlagsauswertung aus dem KOSTRA-Atlas-2020 für das Einzugsgebiet von Teufelsgraben und Schellgraben. Das Gebiet wird von einer Rasterzelle überdeckt. In Kapitel 4.1 sind die Werte der KOSTRA-Zelle zu sehen.

## 5.3 Hydrologische Modelle

### 5.3.1 Teufelsgraben

Das Einzugsgebiet des Teufelsgrabens wurde auf Basis der Fließweganalyse abgegrenzt. Eine Unterteilung von Teilgebieten wird nicht vorgenommen. Zusätzlich erfolgte durch die Firma „Dippold & Gerold Beratende Ingenieure GmbH“ eine Ermittlung der Einzugsgebiete der Regenwasserkanäle (Stand: Juli 2024). Diese Abgrenzung der Kanäle wurde bei der Abgrenzung des Einzugsgebietes berücksichtigt, so dass das in [Abbildung 10](#) zu sehende EZG entsteht.

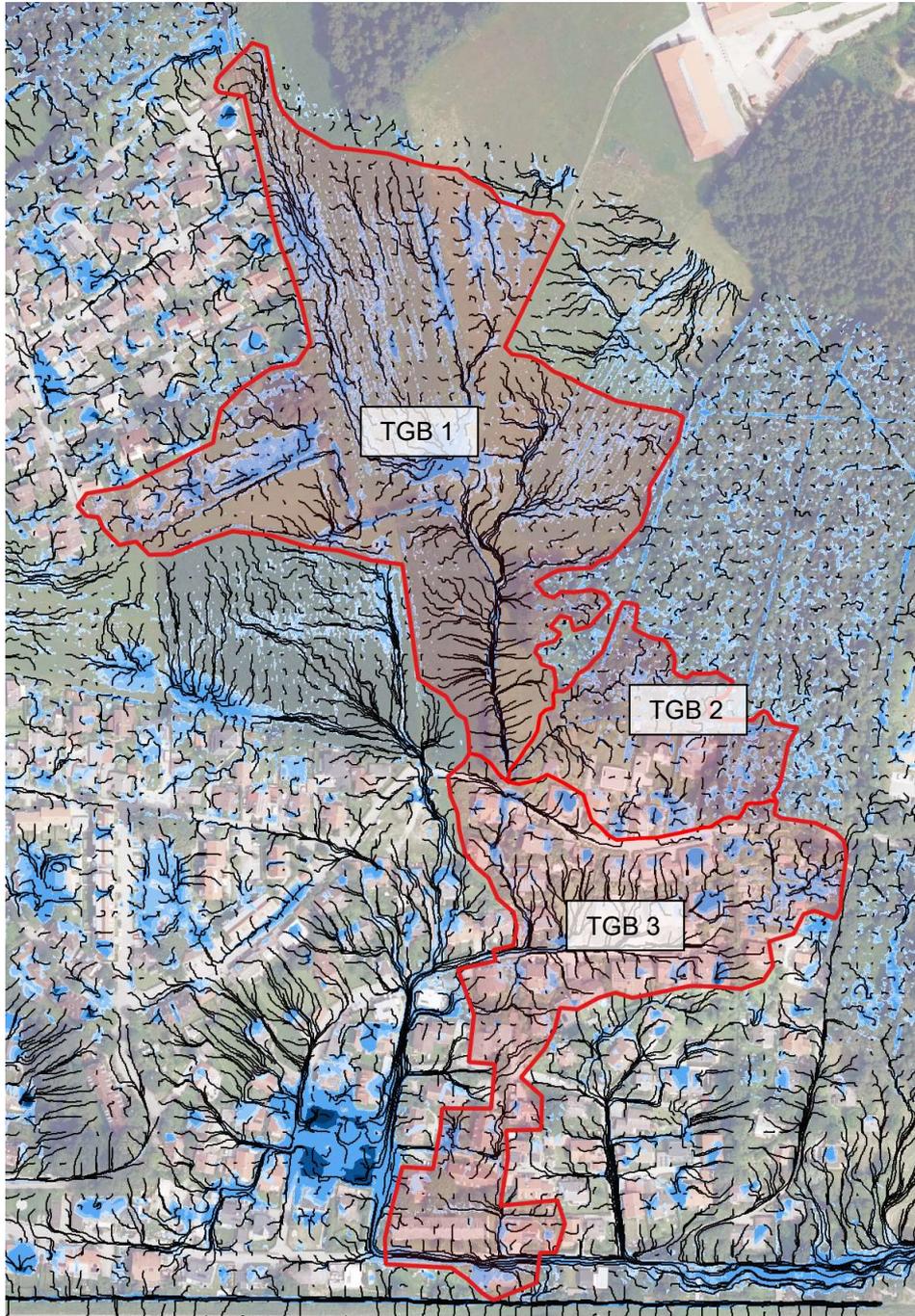


**Abbildung 10: Einzugsgebiet des Teufelsgraben**

### 5.3.2 Schellgraben

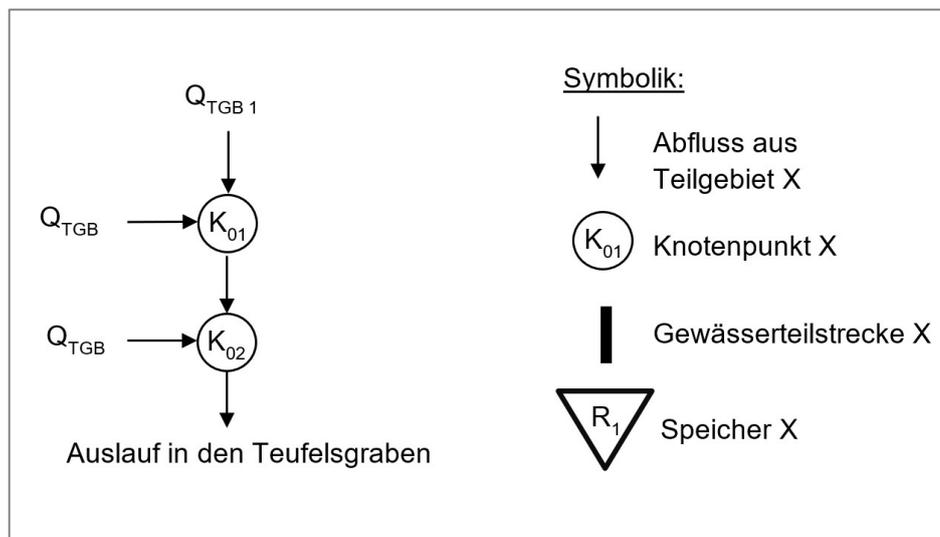
Die Bemessungsabflüsse werden in einem hydrologischen Modell, welches aus drei Teilgebieten besteht, berechnet. Basis bilden ebenfalls die Fließweganalyse sowie die Einzugsgebietsabgrenzung des Kanalsystems. TGB1 umfasst den nordwestlichen Bereich des offen verlaufenden Schellgrabens. TGB 2 umfasst den nordöstlichen Bereich des Schellgrabens bis zur Verrohrung. TGB 3 umfasst den südlichen Bereich. Dieser ist vollständig verrohrt. Es wird davon ausgegangen, dass die Sinkkästen das ankommende Niederschlagswasser aufnehmen können. Die Abflussganglinien der Teilgebiete werden in zwei Knotenpunkten addiert. Die Einzugsge-

bietsgrenzen sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.



**Abbildung 11: Teileinzugsgebiete des Schellgrabens**

In Abbildung 12 ist die Systemskizze des hydrologischen Modells zu sehen.



**Abbildung 12: Systemskizze des unterteilten hydrologischen Modells**

#### 5.4 Wahl der Modellparameter

Die Parameter zur Charakterisierung der Einzugsgebiete dienen der Berechnung der Abflussbildung (Effektivniederschlag) und der Abflusskonzentration in den Teilgebieten. In Tabelle 3 sind die ermittelten Werte für die verwendeten Verfahren dargestellt.

**Tabelle 3: Grunddaten der Einzugsgebiete zur Ermittlung der Abflussbildung (Lutz Südbayern) und der Abflusskonzentration**

TGB	Fläche	Vorfluterlänge	Vorfluterlänge bis Schwerpunkt	Gewogenes mittleres Gefälle
	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[km]	[%]
<b>1 (Schellgraben)</b>	0,054	0,48	0,24	1,15
<b>2 (Schellgraben)</b>	0,011	0,18	0,1	2,51
<b>3 (Schellgraben)</b>	0,029	0,31	0,19	3,12
<b>1 (Teufelsgraben)</b>	0,41	1,75	0,82	1,09

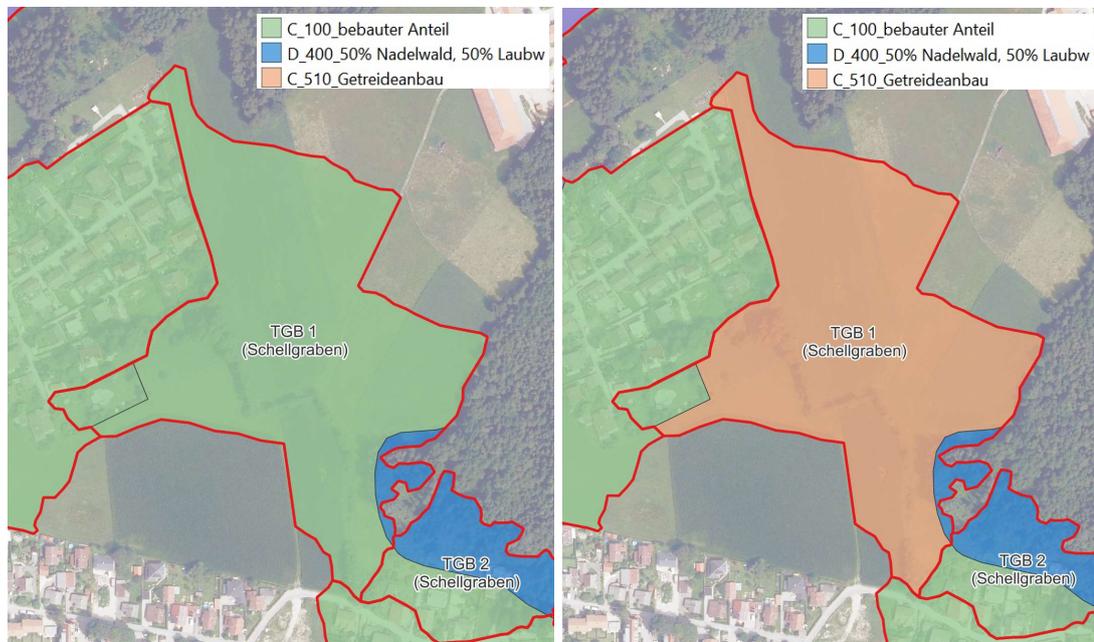
Ermittlung der oberirdischen Einzugsgebietsfläche:

Die Fläche des Einzugsgebietes wurde mit Hilfe eines Geoinformationssystems und Einzugsgebietsgrenzen aus dem Fachdatenbestand der Bayerischen Wasserwirtschaft ermittelt. Das Gebiet wurden anhand der DTK25 und dem DGM1 geprüft und angepasst.

Flächenanteile Landnutzung und hydrologische Bodengruppe:

Für die Abschätzung der Abflussbildung nach Lutz ist eine Matrix, welche die Flächenanteile aus der Landnutzung und den hydrologischen Bodengruppen im Einzugsgebiet darstellt, zu ermitteln. Die Daten werden aus Landnutzungs- und Bodendaten der Bayerischen Wasserwirtschaft je Teilgebiet erhoben. In den **Tabelle 4** bis **Tabelle 8** sind die Matrizen nach Lutz zu sehen. **Abbildung 14** zeigt die Flächenanteile als Grafik.

TGB 1 wäre – basierend auf den Landnutzungsdaten des LfU – fast ausschließlich bebauter Anteil (siehe nachfolgende Grafik links). Da besonders in diesem Bereich jedoch landwirtschaftliche Flächen überwiegen, wird die Landnutzung hier auf Getreideanbau angepasst (siehe untenstehende Grafik rechts).



**Abbildung 13: links: Landnutzungsdaten für TGB 1 nach LfU Kategorisierung; rechts: Anpassung der Landnutzung aufgrund Ortseinsicht**

Entsprechend ändern sich die Flächenanteile von Landnutzung und hydrologischer Bodengruppe, so dass **Tabelle 4** ungültig wird. **Tabelle 5** zeigt die gültige Landnutzungs-Bodengruppen-Matrix.

**Tabelle 4: Flächenanteile (%) von Landnutzung und hydrologische Boden-  
 gruppe für TGB 1 (Schellgraben) - ungültig**

LANDNUTZUNG LUTZ	HYDROLOGISCHE BODEN- GRUPPE			
	A	B	C	D
Laubwald				1,5
Nadelwald				1,5
Bebauter Anteil			97,0	
Ödland				
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)				
Getreideanbau				
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)				
Weideland				
Dauerwiese				
Haine, Obstanlagen, u.ä.				

**Tabelle 5: Flächenanteile (%) von Landnutzung und hydrologische Boden-  
 gruppe für TGB 1 (Schellgraben) - gültig**

LANDNUTZUNG LUTZ	HYDROLOGISCHE BODEN- GRUPPE			
	A	B	C	D
Laubwald				1,5
Nadelwald				1,5
Bebauter Anteil			3,8	
Ödland				
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)				
Getreideanbau			93,1	
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)				
Weideland				
Dauerwiese				
Haine, Obstanlagen, u.ä.				

**Tabelle 6: Flächenanteile (%) von Landnutzung und hydrologische Boden-  
 gruppe für TGB 2 (Schellgraben)**

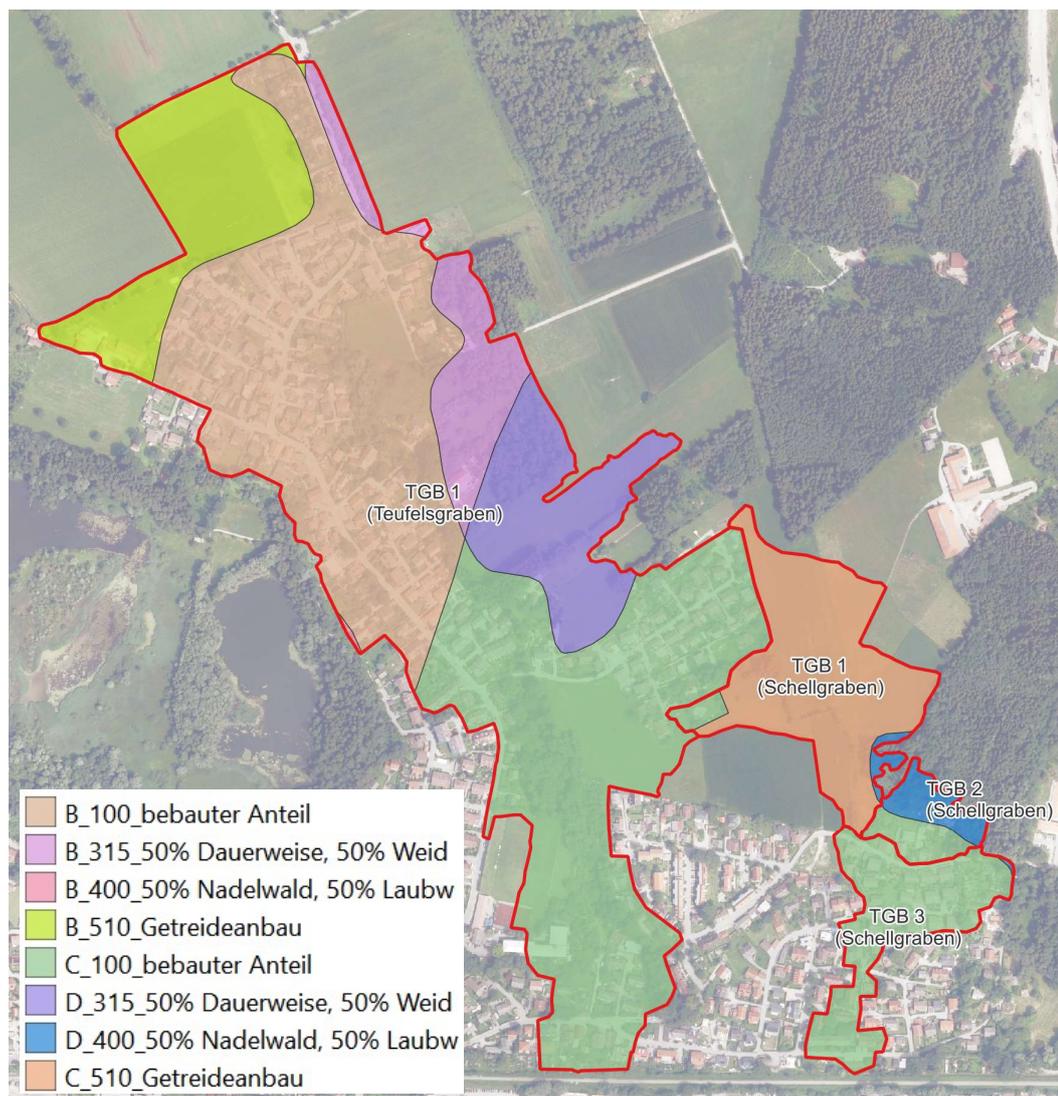
LANDNUTZUNG LUTZ	HYDROLOGISCHE BODEN- GRUPPE			
	A	B	C	D
Laubwald				26,7
Nadelwald				26,7
Bebauter Anteil			46,6	
Ödland				
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)				
Getreideanbau				
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)				
Weideland				
Dauerwiese				
Haine, Obstanlagen, u.ä.				

**Tabelle 7: Flächenanteile (%) von Landnutzung und hydrologische Boden-  
 gruppe für TGB 3 (Schellgraben)**

LANDNUTZUNG LUTZ	HYDROLOGISCHE BODEN- GRUPPE			
	A	B	C	D
Laubwald				0,3
Nadelwald				0,3
Bebauter Anteil			99,4	
Ödland				
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)				
Getreideanbau				
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)				
Weideland				
Dauerwiese				
Haine, Obstanlagen, u.ä.				

**Tabelle 8: Flächenanteile (%) von Landnutzung und hydrologische Boden-  
 gruppe für TGB 1 (Teufelsgraben)**

LANDNUTZUNG LUTZ	HYDROLOGISCHE BODEN-GRUPPE			
	A	B	C	D
Laubwald				
Nadelwald				
Bebauter Anteil		36,1	33,9	
Ödland				
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)				
Getreideanbau		12,7		
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)				
Weideland		3,5		5,2
Dauerwiese		3,5		5,2
Haine, Obstanlagen, u.ä.				



**Abbildung 14: Flächenanteile für das gesamte Einzugsgebiet**

Versiegelungsgrad:

Der Versiegelungsgrad für den bebauten Anteil im Abflussbeiwertverfahren nach Lutz wird, nach Abgleich mit den Einzugsgebieten, mit dem Standardwert von 30 % gewählt.

Basisabflussspende:

Die Basisabflussspende wurde anhand der Karte „mittlerer Jahresabfluss in Bayern“ im Maßstab 1 : 500.000 ermittelt. Das Einzugsgebiet in der Klasse „400 bis 500“ mm/Jahr. Es wurde ein mittlerer Wert von 450 mm/Jahr bzw. von 14,3 l/(s\*km<sup>2</sup>) gewählt. Der Einfluss dieses Wertes auf den Hochwasserabfluss ist gering.

c1-Parameter:

Der c1-Parameter des Abflussbeiwertverfahrens wurde im Gebiet mit dem Standardwert von 0,05 gewählt.

Vorfluterlänge:

Die Vorfluterlänge innerhalb des Gebietes wurden mit Hilfe eines Geoinformationssystems ermittelt. Als Datengrundlage diente die digitale topographische Karte im Maßstab 1 : 25.000 und ein digitales Geländemodell (DGM1). Die maßgebende Länge wurde entsprechend den Vorgaben der Loseblattsammlung Hydrologie entlang des Fließweges mit der längsten Fließzeit gewählt.

Vorfluterlänge bis Schwerpunkt:

Die Vorfluterlänge bis zum Schwerpunkt eines Einzugsgebietes wird mit Hilfe der Topographischen Karten ermittelt. Dazu wird mit einem Geoinformationssystem der Teilgebietsschwerpunkt ausgelesen und davon die Lotrechte auf das Gewässer gezogen. Vom Schnittpunkt wird die Länge des Fließgewässers bis zum Auslass gemessen (siehe Verfahrensbeschreibung in der Loseblattsammlung des LfU).

Gewogenes mittleres Gefälle des Vorfluters:

Das gewogene mittlere Gefälle wurde aus dem DGM10 abgeleitet. Dazu wurden die Höhendaten des 10 m Rasters entlang des Vorfluterweges verwendet und in einem Geoinformationssystem weiterverarbeitet. Die Geländeverläufe wurde in Längsschnitten dargestellt und durch Ausgleichsgeraden nachgebildet, so dass die Flächen oberhalb und unterhalb der Geraden in etwa gleich sind.

## 5.5 Wahl der maßgebenden Parameterkombination

### 5.5.1 Teufelsgraben

In Tabelle 9 sind die maßgebenden Dauerstufen und Abflussspitzen für die unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen dargestellt. Die Abflussspitzen sind für den Gebietsauslass abgebildet. Die Abflussspitzen sind abhängig von der maßgebenden Dauerstufe. Die Spanne der Abflussspitze für das HQ<sub>1</sub> reicht von 0,48 m<sup>3</sup>/s bis 0,69 m<sup>3</sup>/s. Gewöhnlich wird eine Parameterkombination gewählt, die zu etwa mittleren Werten führt. Dies trifft für einen mittenbetonten Regen zu. Entsprechend wird die mittenbetonte Niederschlagsverteilung als maßgebend für das Gebiet gewählt.

**Tabelle 9: Maßgebende Dauerstufen und Abflussspitzen für verschiedene zeitliche Verteilungen eines HQ<sub>1</sub>**

Abflussbeiwert	N-Verteilung	Maßgebende Dauerstufe [hh:mm]	Abflussspitze Gebietsauslass [m <sup>3</sup> /s]
<b>variabel</b>	Anfangsbetont	01:00	0,48
	Blockregen	01:30	0,54
	<b>Mittenbetont</b>	<b>04:00</b>	<b>0,55</b>
	Endbetont	04:00	0,69
<b>konstant</b>	Anfangsbetont	04:00	0,51
	Blockregen	01:00	0,50
	Mittenbetont	03:00	0,57
	Endbetont	03:00	0,58

In **Abbildung 15** sind die einzelnen Abflussganglinien am Gebietsauslass für die unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen dargestellt. Diese liefern einen Eindruck über die Varianz der denkbaren einjährigen Ereignisse.

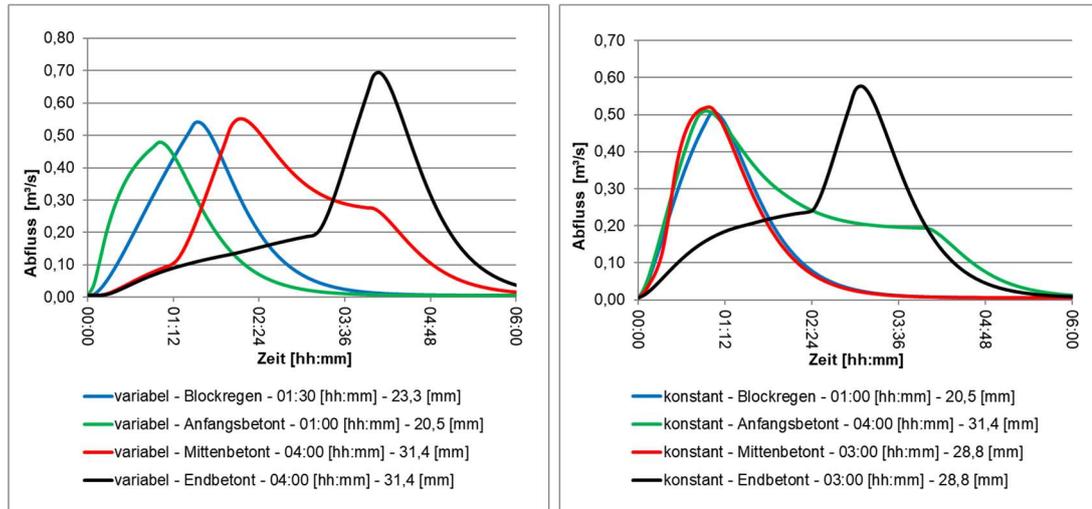


Abbildung 15: Maßgebende Abflussganglinien eines einjährigen Ereignisses in Abhängigkeit der zeitlichen Niederschlagsverteilung. Die Bezeichnungen in der Legende beziehen sich auf: Zeitliches Verhalten des Effektivniederschlags – zeitliche Niederschlagsverteilung – maßgebende Dauerstufe – maßgebender Niederschlag

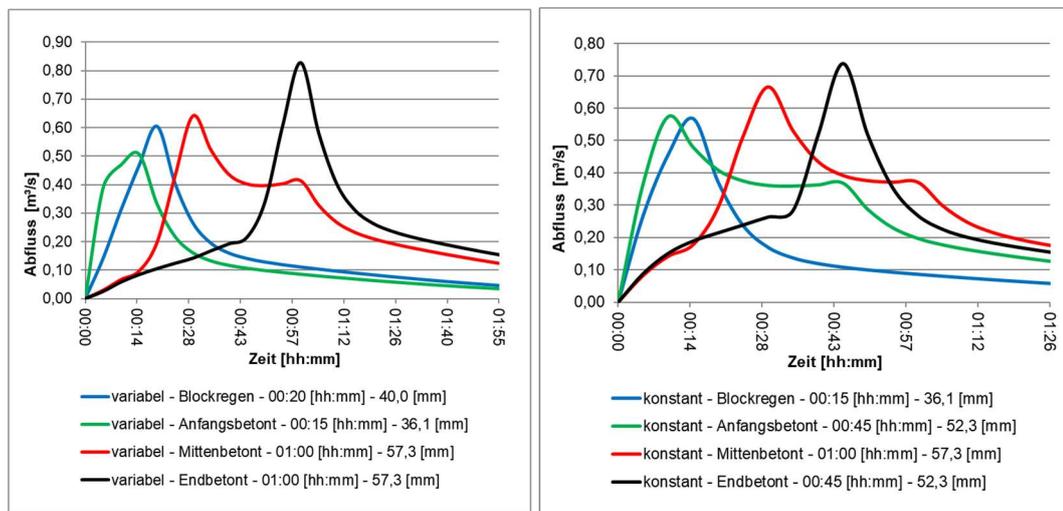
### 5.5.2 Schellgraben

In Tabelle 10 sind die maßgebenden Dauerstufen und Abflussspitzen für die unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen dargestellt. Die Abflussspitzen sind für den Gebietsauslass abgebildet. Die Abflussspitzen sind abhängig von der maßgebenden Dauerstufe. Die Spanne der Abflussspitze für das HQ<sub>100</sub> reicht von 0,51 m<sup>3</sup>/s bis 0,83 m<sup>3</sup>/s. Gewöhnlich wird eine Parameterkombination gewählt, die zu etwa mittleren Werten führt. Dies trifft für einen mittenbetonten Regen zu. Entsprechend wird die mittenbetonte Niederschlagsverteilung als maßgebend für das Gebiet gewählt.

Tabelle 10: Maßgebende Dauerstufen und Abflussspitzen für verschiedene zeitliche Verteilungen eines HQ<sub>100</sub>

Abflussbeiwert	N-Verteilung	Maßgebende Dauerstufe [hh:mm]	Abflussspitze Gebietsauslass [m <sup>3</sup> /s]
variabel	Anfangsbetont	00:15	0,51
	Blockregen	00:20	0,60
	<b>Mittenbetont</b>	<b>01:00</b>	<b>0,64</b>
	Endbetont	01:00	0,83
konstant	Anfangsbetont	00:45	0,57
	Blockregen	00:15	0,57
	Mittenbetont	01:00	0,67
	Endbetont	00:45	0,74

In **Abbildung 15** sind die einzelnen Abflussganglinien am Gebietsauslass für die unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen dargestellt. Diese liefern einen Eindruck über die Varianz der denkbaren hundertjährigen Ereignisse.



**Abbildung 16: Maßgebende Abflussganglinien eines einjährigen Ereignisses in Abhängigkeit der zeitlichen Niederschlagsverteilung. Die Bezeichnungen in der Legende beziehen sich auf: Zeitliches Verhalten des Effektivniederschlags – zeitliche Niederschlagsverteilung – maßgebende Dauerstufe – maßgebender Niederschlag**

## 5.6 Plausibilisierung der Ergebnisse

Da keine Bestandswerte für die Abflüsse des Taufelsgraben und des Schellgraben vorhanden sind, erfolgt die Ermittlung mit einem neu aufgestellten Niederschlag-Abfluss-Modell. In diesen werden hydrologische Verfahren angewandt (Ermittlung der Abflussbeiwerte mittels Lutz). Dabei ergeben sich für das maßgebende Niederschlagsereignis die aus Kapitel 5.5 angegebenen Abflüsse. Die maßgebende Niederschlagsdauerstufe liegt für den Teufelsgraben bei 04:00 h und für den Schellgraben bei 01:30 h. Es wurde mit einem variablen Abflussbeiwert und mittenbetontem Regen gerechnet.

## 5.7 Ergebnis

Die nachfolgenden Tabellen zeigen für die maßgebenden Betrachtungspunkte die jeweiligen Abflussspitzen für den Teufelsgraben und den Schellgraben.

**Tabelle 11: Abflussspitzen für den Teufelsgraben**

Jährlichkeit	Abflussspitze Gebietsauslass [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>1</sub>	0,55
HQ <sub>100</sub>	2,31
HQ <sub>100+15%</sub>	2,66

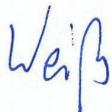
**Tabelle 12: Abflussspitzen für den Schellgraben**

Jährlichkeit	Abflussspitze TGB 1 [m <sup>3</sup> /s]	Abflussspitze TGB 2 [m <sup>3</sup> /s]	Abflussspitze vor Siedlungsgebiet [m <sup>3</sup> /s]	Abflussspitze TGB 3 [m <sup>3</sup> /s]	Abflussspitze Gebietsauslass [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>1</sub>	0,04	0,02	0,06	0,13	0,15
HQ <sub>5</sub>	0,09	0,04	0,12	0,23	0,28
HQ <sub>10</sub>	0,12	0,05	0,15	0,28	0,35
HQ <sub>50</sub>	0,19	0,09	0,24	0,43	0,54
HQ <sub>100</sub>	0,23	0,10	0,29	0,51	0,64
HQ <sub>100+15%</sub>	0,27	0,12	0,34	0,58	0,74

Aufgestellt:

Weilheim i.OB, 06.08.2024

Ingenieurbüro Kokai GmbH



Max Weiß  
 Dipl.-Ing. (FH)

Bearbeitung:



Katharina Benkert  
 M.Sc. Umweltingenieurin