

Auftrag vom: 27.03.2019
Projektnummer (AN): W-10920

B-Plan „Torgaer Straße“, Gemeinde Kodersdorf

Hydrodynamisch-numerische Modellierung des Oberflächenabflusses

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung	2
2	Bearbeitungsgrundlagen	2
3	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	2
3.1	Lage, Topografie und Verkehr	2
3.2	Landnutzung und Bodenverhältnisse	3
4	Hydrologie	4
4.1	Niederschlagsmengen und -verteilungen	4
4.2	Berechnung der Abflussbildung	5
5	Hydronumerische Modellierung	10
5.1	Verwendetes Berechnungsprogramm	10
5.2	Abgrenzung des Modellgebiets und verwendete Daten	11
5.3	Parametrisierung des Modells	12
5.4	Vorgehen bei der Ergebnisauswertung	13
6	Berechnungsergebnisse und Auswertung	13
6.1	Zuströmung in das B-Plangebiet	13
6.2	Abströmung aus dem B-Plangebiet	13

Anlagen

Anlage 1 Tabellen der zu- und abströmenden Abflussganglinien HQ(100)

Auftraggeber: **Gemeinde Kodersdorf**
Straße der Freundschaft, 02923 Kodersdorf
☎ 035825/ 5252

Auftragnehmer:



An der Pikardie 8, 01277 Dresden
☎ 0351/ 21 683 - 30

Projektleiter: Dipl.-Ing. T. Noack

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) S. Richter

1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG

Die Gemeinde Kodersdorf beabsichtigt, ein rund 2,7 ha großes Gebiet am westlichen Ortsrand zu einem allgemeinen Wohngebiet zu entwickeln. Die Fläche befindet sich am Fuß der östlichen Seite des Heidebergs, dessen Hangneigung auf das Baugrundstück gerichtet ist.

Mithilfe einer zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modellierung (2D-HN- oder kurz hydronumerische Modellierung) war zu klären, zu welchen Oberflächenabflüssen es bei Starkregen in dem Gebiet kommen kann und welche Richtung diese Abflüsse nehmen. In den nachfolgenden Kapiteln werden die entsprechenden Grundlagen, Methoden und Ergebnisse beschrieben.

2 BEARBEITUNGSGRUNDLAGEN

Für die Untersuchung wurden folgende Unterlagen genutzt:

- /1/ Terrestrische Vermessung und Vorentwurfsplanung des Bebauungsplanes "Torgaer Straße" in Kodersdorf, AG: Gemeinde Kodersdorf; von Richter + Kaup am 09.04.2019
- /2/ DTK10, DTK25, DOP RGB, Basis-DLM, DGM2 (digital); von GeoSN am 03.05.2019
- /3/ Bodenkarte BK 50 (digital); online abgerufen am 12.04.2019
- /4/ Ermittlung von Grundlagen für eine nachhaltige Wiederaufbauplanung für Gewässer II. Ordnung im Gemeindegebiet von Waldhufen – Hydrologisches Gutachten Wiesaer Wasser und Goldbach, AG: Gemeinde Waldhufen, Stand: 16.07.2013; Planungsgesellschaft Scholz + Lewis mbH
- /5/ KOSTRA-DWD-2010R, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Bezugszeitraum 1951 bis 2010), T = 1 bis 100 a, D = 5 Min. bis 72 Std. für KOSTRA-Zelle 51075 (digital); heruntergeladen am 12.04.2019

Die Bearbeitung erfolgte im Höhenreferenzsystem DHHN2016 [mNHN] und im Lagereferenzsystem DE_ETRS89 UTM Zone 33.

3 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

3.1 Lage, Topografie und Verkehr

Das heute unbebaute B-Plangebiet befindet sich am westlichen Rand der Ortslage Kodersdorf etwa 500 – 600 m nördlich der in West-Ost-Richtung verlaufenden Autobahn A4. Mit einer mittleren Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 160 m und einer West-Ost-Ausdehnung von ca. 150 m weist es eine annähernd rechteckige Fläche von ~ 27.300 m² auf (vgl. Abbildung 1).

Im Osten wird das B-Plangebiet von der Torgaer Straße bzw. einem ihr folgenden Entwässerungsgraben begrenzt. Die zusammenhängende Kodersdorfer Bebauung liegt jenseits der Straße.

Westlich des B-Plangebiets steigt das Gelände zur Spitze des Heidebergs (~ 250 mNHN) hin an. Seine Hänge weisen Neigungen von bis zu 20 % auf und werden gemäß /2/ überwiegend ackerbaulich oder als Grünland genutzt. Partiiell sind Baumgruppen zu finden.

Die Geländehöhen im Vorhabensbereich bewegen sich zwischen 191...194 mNHN an der westlichen und ca. 187 mNHN an der örtlichen Grenze nahe der Torgaer Straße. Hier findet ein allmählicher Übergang vom Heideberg in die relativ flache Flussaue des Weißen Schöps statt, der 150 bis 200 m östlich der Torgaer Straße die Ortslage zentral von Süden nach Norden durchfließt.

Die nördliche Grenze des B-Plangebiets bildet ein kleiner Bach, der von der Anhöhe des Heidebergs kommend zunächst in einem kleinen Teich aufgestaut wird und anschließend nach Osten durch die Torgaer Straße zum Weißen Schöps fließt. Vor seinem Durchlass in der Torgaer Straße nimmt er den Entwässerungsgraben der Straße auf. Nördlich der Bachs befindet sich ein kleines Gewerbegebiet.

Die Abbildung 1 zeigt eine Übersicht zur Lage des B-Plangebiets in Kodersdorf. Darin ist auch der Umring des zur Modellierung der Oberflächenabflüsse genutzten 2D-HN-Modells dargestellt. Die Modellierung wird in Kapitel 5 beschrieben.

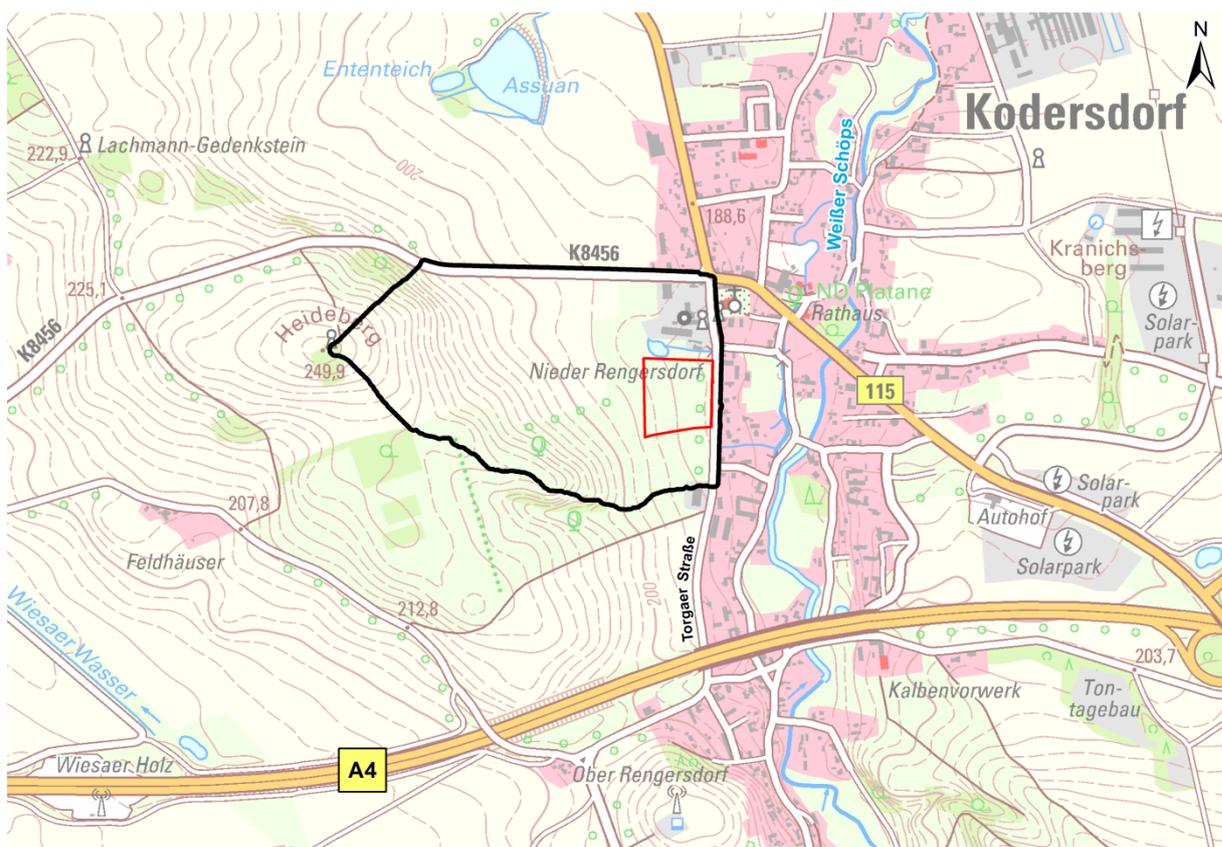


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet bei Kodersdorf mit Umring des B-Plangebiets (rot) und Umring des 2D-HN-Modells (schwarz)

3.2 Landnutzung und Bodenverhältnisse

Das B-Plangebiet wird heute als Grünland genutzt. Der westlich ansteigende Hang des Heidebergs wird gemäß Basis-DLM aus /2/ ebenfalls als Grünland, im nördlichen Bereich als Ackerland genutzt. Die vereinzelt Baumgruppen sind im Basis-DLM aus /2/ nicht separat ausgewiesen. Für die hydronumerische Simulation der Oberflächenabflüsse können sie wegen ihrer geringen Flächengrößen vernachlässigt werden. Die aktuelle Landnutzung ist in der Abbildung 3 auf Seite 7 gezeigt.

Gemäß der digitalen Bodenkarte BK50 in /3/ herrschen in den Hanglagen des östlichen Heidebergs Bodensubstrate aus Sandlöss bzw. aus periglaziären Lagen mit lössreichem Feinbodenanteil über Fest- oder Lockergestein vor. Im tiefer gelegenen B-Plangebiet ist pseudovergleyter Gley aus periglaziärem Kies führendem Schluff über fluvilimnogenem Kies führendem Sand (Schmelzwasserablagerungen) anzutreffen. Insgesamt ist davon auszugehen, dass es sich um Böden mit eher geringer Versickerungsfähigkeit handelt.

4 HYDROLOGIE

4.1 Niederschlagsmengen und -verteilungen

Die charakteristischen Niederschläge für statistische Wiederkehrintervalle zwischen $T = 1$ und 100 Jahren wurden dem Projekt KOSTRA-DWD-2010R /5/ entnommen. Als Niederschlag/ Dauer/ Häufigkeit - Analyse decken diese Daten die Niederschlagshöhen $P(T, D)$ [mm] für einen Bereich von Niederschlagsdauern D zwischen 5 Minuten und 72 Stunden ab.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der KOSTRA-Raster-Zelle 51075. Die dafür geltenden Niederschlagsmengen sind in der folgenden Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1: Niederschlagsmengen $P(T, D)$ [mm] im Untersuchungsgebiet gemäß /5/, KOSTRA-Zelle 51075

D \ T [a]	1	2	3	5	10	20	30	50	100
5 Min.	5,3	6,9	7,9	9,2	10,8	12,5	13,5	14,8	16,4
10 Min.	8,3	10,6	12,0	13,7	16,0	18,3	19,6	21,3	23,6
15 Min.	10,3	13,1	14,7	16,7	19,5	22,3	23,9	25,9	28,7
20 Min.	11,7	14,9	16,7	19,0	22,2	25,3	27,2	29,5	32,7
30 Min.	13,6	17,3	19,6	22,4	26,2	29,9	32,2	35,0	38,8
45 Min.	15,2	19,7	22,4	25,7	30,3	34,9	37,5	40,9	45,4
60 Min.	16,1	21,3	24,3	28,2	33,4	38,5	41,6	45,4	50,6
1,5 Std.	17,9	23,6	26,9	31,0	36,7	42,3	45,6	49,8	55,4
2,0 Std.	19,3	25,3	28,8	33,2	39,2	45,2	48,7	53,1	59,1
3,0 Std.	21,5	28,0	31,8	36,6	43,1	49,6	53,4	58,2	64,7
4,0 Std.	23,2	30,1	34,1	39,2	46,1	53,0	57,1	62,2	69,1
6,0 Std.	25,8	33,3	37,7	43,2	50,7	58,3	62,6	68,2	75,7
9,0 Std.	28,7	36,9	41,7	47,7	55,8	64,0	68,8	74,8	82,9
12,0 Std.	31,0	39,6	44,7	51,1	59,7	68,4	73,5	79,8	88,5
18,0 Std.	34,5	43,9	49,4	56,3	65,7	75,1	80,6	87,6	97,0
24,0 Std.	37,2	47,2	53,0	60,4	70,4	80,3	86,2	93,5	103,5
48,0 Std.	44,2	58,6	66,9	77,5	91,9	106,2	114,6	125,2	139,5
72,0 Std.	48,9	65,8	75,7	88,1	105,0	122,0	131,8	144,3	161,2

Zur Bestimmung von Niederschlagsdauern und -verteilungen, die im Untersuchungsgebiet für den Istzustand zu den höchsten Abflüssen führen, erfolgten im Rahmen der hydronume-

rischen Modellierung Berechnungen für Bemessungsniederschläge mit dem Wiederkehrintervall $T = 100$ a und variablen Niederschlagsdauern D zwischen 5 und 180 Minuten. Innerhalb der Regendauer wurden jeweils eine anfangs-, mitten- und endbetonte Niederschlagsverteilung sowie eine Blockregenverteilung verwendet, so dass für die zehn Dauerstufen insgesamt 40 Testberechnungen durchgeführt wurden. Die zeitliche Disaggregation der KOSTRA2010R-Bemessungsniederschlagssummen erfolgte mittels der in Abbildung 2 dargestellten standardisierten Verteilungstypen¹.

Die höchsten Abflussscheitel im B-Plangebiet treten bei einer Regendauer von 90 Minuten mit einer endbetonten Niederschlagsverteilung auf.

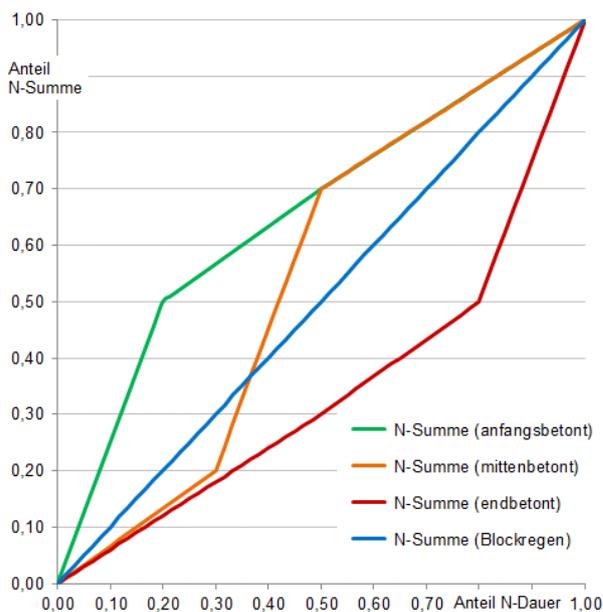


Abbildung 2: Niederschlagsverteilung anfangs-, mitten-, endbetont sowie als Blockregen nach DVWK 113

4.2 Berechnung der Abflussbildung

Die ersten Wasseranteile eines Regens kommen wegen Benetzungs-/ Interzeptionseffekten (Haften an der Vegetation) meist nicht zum Abfluss. Außerdem füllen sich in der Anfangsphase noch Geländemulden mit Wasser. Erst wenn diese Reservoirs aufgebraucht sind, bildet sich ein Oberflächenabfluss aus. Über praktisch die gesamte Regendauer steht meist auch ein gewisser Verdunstungsanteil nicht für den Oberflächenabfluss zur Verfügung.

Je nach Beschaffenheit, Bewuchs, Versiegelungsgrad und Vorseuchte der oberen Bodenschicht kann ein mehr oder weniger großer Anteil des Regenwassers versickern und, unter gewissen Umständen, verzögert andernorts als so genannter Zwischenabfluss wieder hervortreten.

Zu Beginn des Regens ist die Aufnahmefähigkeit des Bodens üblicherweise noch relativ hoch. Mit zunehmender Niederschlagssumme und Bodensättigung nimmt sie ab, so dass mit anhaltender Regendauer der Anteil der zum oberflächigen Abfluss kommenden, der so genannten effektiven Niederschlagsmenge wächst.

¹ DVWK 113 (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten: Teil 2: Synthese. DVWK Regeln zur Wasserwirtschaft. Hamburg : Verlag Paul Parey, 1984. Bd. 113.

Diese Prozesse und die Frage, welche Regenanteile zum oberflächigen Abfluss gelangen, werden in der Hydrologie als Abflussbildung bezeichnet. Für die Berechnung der Abflussbildung kam hier das Kurvennummernverfahren² (SCS-Verfahren) in einer erweiterten Form nach [Zaiß, 1989] zum Einsatz.

Für die Ermittlung der CNII-Werte (Kurvennummern) waren zunächst die Flächenanteile nach den vier SCS-Bodenklassen A bis D zu bestimmen. Die Einteilung wurde nach bodenkundlichen Erfahrungswerten ausgehend von den in der Bodenkarte BK50 /3/ ausgewiesenen Bodentypen und unter Beachtung der in [Thürkow, 2002]³ getroffenen Zuordnungen der SCS-Bodenklassen zur Wasserdurchlässigkeit gesättigter Böden k_f (vgl. Tabelle 2) vorgenommen. Die Abflussbereitschaft steigt von A nach D an.

Tabelle 2: Zuordnung von Bodenarten zu SCS-Bodenklassen nach [Thürkow, 2002]

Klasse	Beschreibung der Bodenarten	k_f - Wert
A	Böden mit großem Versickerungsvermögen (z.B. tiefgründige Sande und Kiese)	> 18 cm/d
B	Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tief- bis mäßig tiefgründige Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur (z.B. Sandböden, Löss)	≤ 18 bis > 9 cm/d
C	Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht, (z.B. flachgründige Sandböden, sandiger Lehm)	≤ 9 bis > 3 cm/d
D	Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel	≤ 3 cm/d

Die im Untersuchungsgebiet anzutreffenden Böden (vgl. Kapitel 3.2) entsprechen den Bodenklassen B - C. Für die hydronumerische Modellierung wurden sie, vereinfachend und um auf der sicheren Seite zu liegen, durchgehend der Bodenklasse C zugeordnet. Es wurden also ein eher geringes Versickerungsvermögen und eine relativ hohe Abflussbereitschaft angenommen.

Die Festlegung der CNII-Werte erfolgt für jede SCS-Bodenklasse in Abhängigkeit von der Landnutzung und Bewirtschaftung nach SCS-Vorgaben. Die für das Untersuchungsgebiet nach /2/ geltenden Landnutzungstypen zeigt die Abbildung 3. Einen Auszug aus der Zuordnungstabelle gemäß dem SCS-Handbuch enthält die Tabelle 3. Die Abflussbereitschaft wächst mit steigenden CNII-Werten.

Für die Kombinationen aus Boden und Landnutzung im B-Plangebiet sowie im westlich davon liegenden Einzugsgebiet ergeben sich Kurvennummern CNII von 71 in Bereichen mit Grünland und 78 in Bereichen mit Ackerland. Versiegelten Flächen (Torgaer Straße, K8456, Standgewässerflächen, Pflasterungen...) wurde ein CNII-Wert von 100 (Brutto- = Nettoniederschlag), dem Industriegebiet im Nordosten ein CNII-Wert von 91 zugeordnet. Die Abbildung 4 zeigt die flächenhafte Verteilung der CNII-Werte.

² US Department of Agriculture (1985): Soil Conservation Service: National Engineering Handbook. Section 4 - Hydrology. Washington, DC.

³ Thürkow, D. (2002): GIS - basierte Methoden zur Analyse der Wasserqualitätsentwicklung in Trinkwasserbrunnen am Beispiel des Einzugsgebietes der Saidenbachtalsperre (Erzgebirge). Diss., Fak. f. Mathematik und Naturwissenschaften d. Univ. Halle.

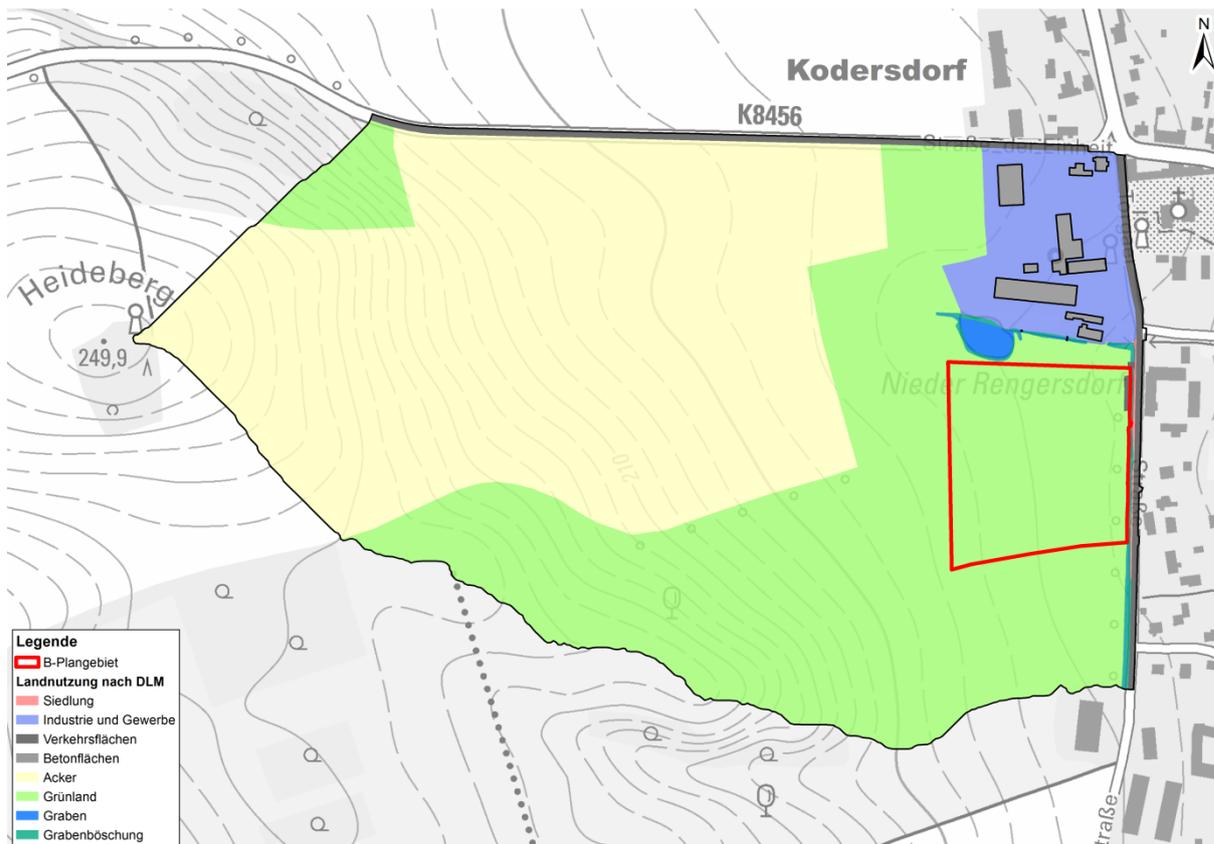


Abbildung 3: Karte der Landnutzungstypen im Modellgebiet

Art der Landnutzung		hydrologische Bodentypen			
		A	B	C	D
Landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche¹⁾	mit Erosionsschutzmaßnahmen	72	81	88	91
	ohne Erosionsschutzmaßnahmen	62	71	78	81
Weideland	in schlechtem Zustand	68	79	86	89
	in gutem Zustand	39	61	74	80
Wiese	in gutem Zustand	30	58	71	78
Wald	lichter Bestand, schlechte Bodenbedeckung, kein Mulch	45	66	77	83
	gute Bodenbedeckung ²⁾	25	55	70	77
Innerstädtische Freifläche: Rasen, Parks, Golfplätze, Friedhöfe etc.	guter Zustand, Grasbewuchs auf mind. 75% der Fläche	39	61	74	80
	mäßiger Zustand: Grasbewuchs auf 50-75% der Fläche	49	69	79	84
Städt. Wohn- und Geschäftsviertel	(85% Versiegelungsgrad)	89	92	94	95
Industriegebiete	(72% Versiegelungsgrad)	81	88	91	93
Wohngebiete³⁾	Durchschnittliche Grundstücksgröße [m ²] bis	Versiegelungsgrad ⁴⁾ [%]			
	500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1500	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
	4000	20	51	68	79

Tabelle 3: Bestimmung der CNII-Werte (Auszug SCS-Handbuch)

Die ermittelten CNII-Werte bilden die Grundlage für die Berechnung des abflusswirksamen Niederschlagsanteils bei der Abflussbildung. Dafür wurde das erweiterte SCS-Verfahren nach [Zaiß, 1989] angewendet. Die Erweiterungen des Original-SCS-Verfahrens durch [Zaiß, 1989] beziehen sich auf folgende Punkte:

- verbesserte Berücksichtigung der Vorgeschichtsabhängigkeit
- Ansatz eines Verlustverhältnisses VV von 0,05 statt 0,20
- Ansatz eines variablen Abflussbeiwerts in Abhängigkeit von der akkumulierten Niederschlagssumme

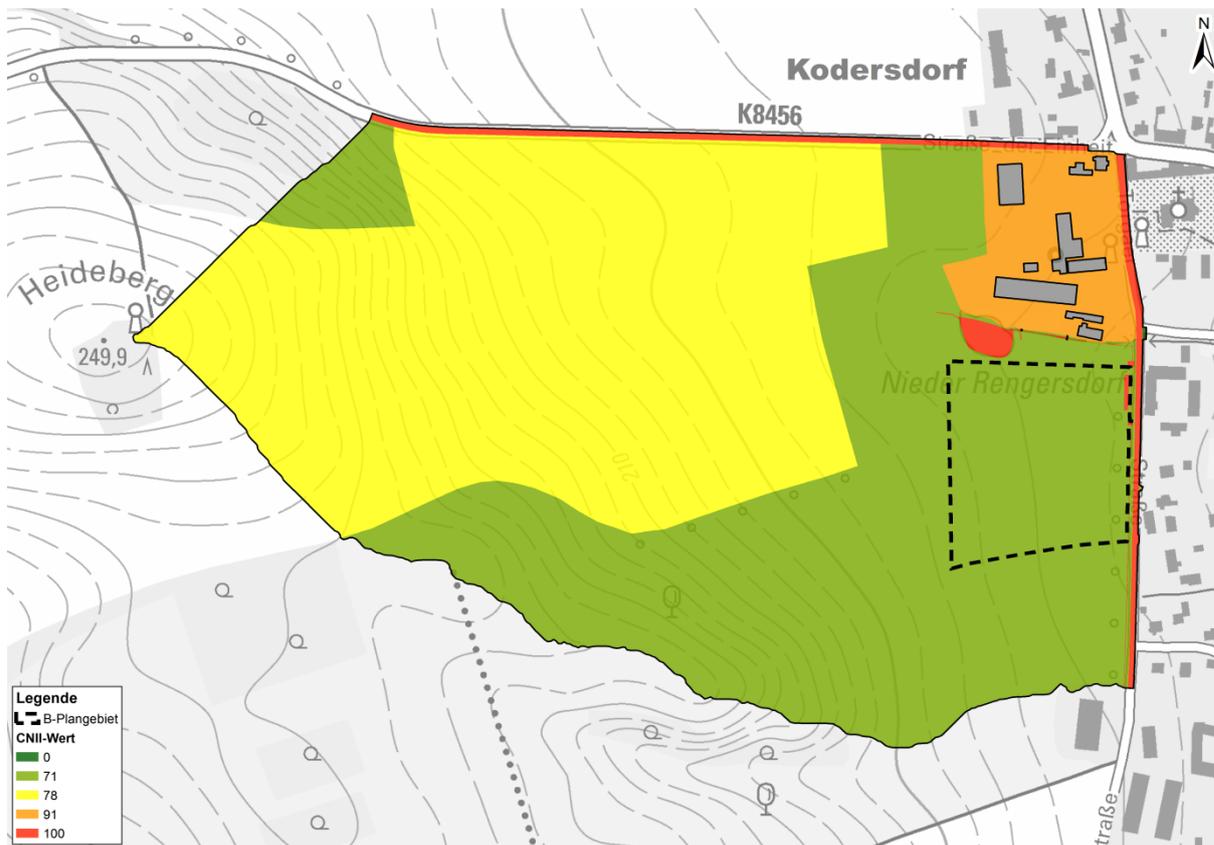


Abbildung 4: Flächenhafte Verteilung der CNII - Werte im Modellgebiet

Die benetzungs- und interzeptionsbedingten Anfangsverluste AV_0 werden im Zaiß-Verfahren nach einer Abminderung der CNII- auf CNI-Werte wie folgt berechnet:

$$CNI = \frac{CNII}{2,334 - 0,01334 \cdot CNII}$$

$$AV_0 = \frac{1270}{CNI} - 12,7$$

Eine etwaige Vorfeuchte wird im Verfahren nach [Zaiß, 1989] durch den Vorregenindex VN21 berücksichtigt, der die Niederschläge der vorangegangenen 21 Tage in Abhängigkeit davon abbildet, in welcher Jahreszeit bzw. Kalenderwoche das Ereignis auftritt. Hier wurde davon ausgegangen, dass kein Vorregen stattgefunden hat, folglich $VN21 = 0$ ist. Der Anfangsverlust AV_0 entspricht in diesem Fall dem Gesamtanfangsverlust AV .

Der zeitliche Verlauf des Effektivregens wird nach [Zaiß, 1989] durch den variablen Abflussbeiwert φ_i in Abhängigkeit der akkumulierten Niederschlagssumme S_{Ni} bis zur Mitte des aktuellen Zeitintervalls i bestimmt (integrale Form):

$$\varphi_i = 1 - \left(\frac{AV}{0,05 \cdot \sum h_{Ni} + 0,95 \cdot AV} \right)^2$$

mit: φ_i Abflussbeiwert im aktuellen Zeitintervall
 S_{Ni} Summe der Niederschläge im aktuellen Intervall
 AV: Anfangsverlust, gesamt

Abweichend davon wurde bei vollversiegelten Flächen ein benetzungsbedingter Anfangsverlust von 1 mm und ansonsten ein Abflussbeiwert von 1,0 (CNII = 100) angenommen.

Unter den beschriebenen Ansätzen ergeben sich bei der hydronumerischen Modellierung des Istzustands (vgl. Kapitel 5) für das Wiederkehrintervall $T = 100$ Jahre und die relevante Regendauer $D = 1,5$ Std. plausible Oberflächenabflüsse. So wurde für das 36.430 m² große, in das B-Plangebiet entwässernde Einzugsgebiet mit endbetonter Niederschlagsverteilung ein Scheitelabfluss von 0,19 m³/s errechnet (vgl. Abbildung 5). Sensitivitätsberechnungen mit einem von 71 auf 74 erhöhten CNII-Wert im Bereich von Grünlandflächen haben ergeben, dass dadurch der für eine endbetonte Niederschlagsverteilung errechnete Scheitelabfluss aus dem in das B-Plangebiet entwässernden Einzugsgebiet von 0,19 auf 0,24 m³/s zunimmt. Am Auslauftrand des B-Plangebiets ergibt sich dann ein Scheitelabfluss von 0,31 m³/s.

Die genannten Abflüsse entsprechen maximalen Abflussspenden von bis zu 6,6 m³/s·km² für das Teileinzugsgebiet westlich des B-Plangebiets sowie bis zu 4,9 m³/s·km² für den Auslauftrand des B-Plangebiets. Das Wasserhaushaltsportal des Freistaates Sachsen macht für die Zuflüsse des Weißen Schöps keine Angaben zu charakteristischen Abflussspenden. Gemäß /4/ ergibt sich aus dem Regionalverfahren nach Lauterbach & Glos für den westlich von Kodersdorf liegenden Bereich Jänkendorf bei HQ(100) eine Abflussspende von 6,0 m³/s·km², was die vorliegenden Ergebnisse prinzipiell stützt. Allerdings können Regionalverfahren für sehr kleine Teilgebiete, wie im vorliegenden Fall, nur eine Orientierung darstellen.

Es wird eingeschätzt, dass der gewählte Ansatz Ergebnisse in der erwartbaren, plausiblen Größenordnung liefert. Er ist damit belastbar und für die zu führende Untersuchung geeignet.

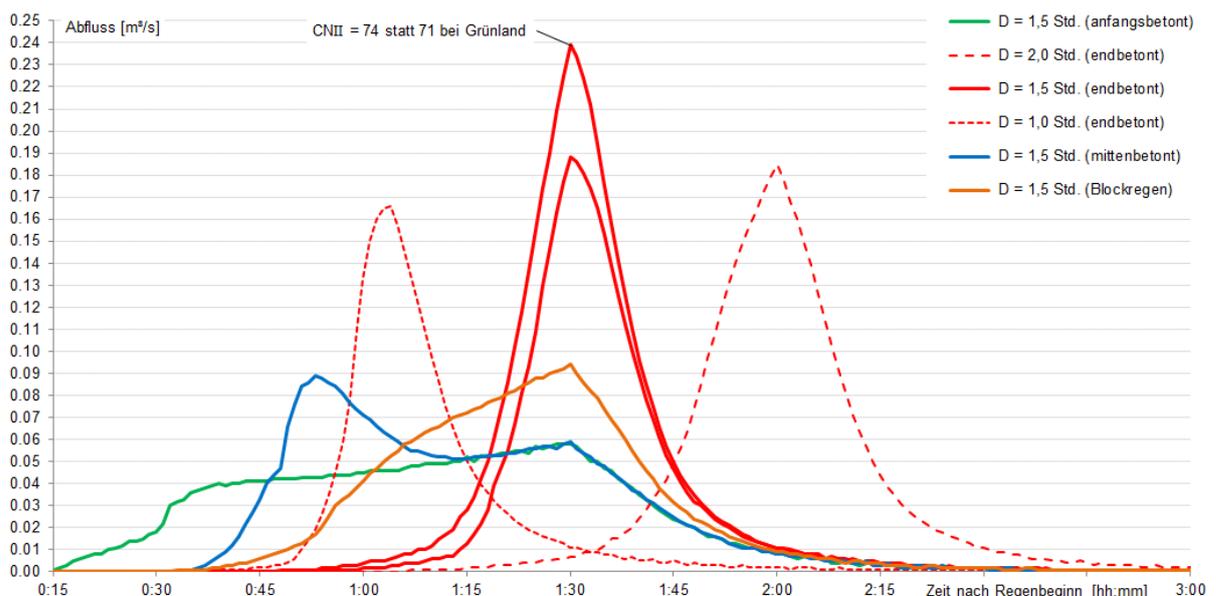


Abbildung 5: Für $T = 100$ a und $D = 1,5$ Std. errechnete Abflussganglinien an der westlichen B-Plangebietsgrenze und Vergleichswerte $D = 1,0$ bzw. $2,0$ Std.

5 HYDRONUMERISCHE MODELLIERUNG

5.1 Verwendetes Berechnungsprogramm

Um den sich bei Regenereignissen im Untersuchungsgebiet ausbildenden Oberflächenabfluss ermitteln und analysieren zu können, wurde eine zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modellierung (kurz: hydronumerische oder 2D-HN-Modellierung) vorgenommen. Die Modellierung erfolgte mit dem Programmpaket SMS / HYDRO_AS-2D 4.4.2. Damit lassen sich wichtige Parameter des Oberflächenabflusses wie bspw. Wasserstände/ -tiefen, Fließgeschwindigkeiten/ -richtungen, Schubspannungen und spezifische Abflüsse/ Teilabflüsse realitätsnah ermitteln.

Basis der Modellierung ist ein Berechnungsnetz aus Dreiecks- und Viereckselementen, die durch so genannte Knoten (Nodes) an ihren Ecken miteinander verbunden sind. Dieses Netz bildet die Geländeform des Modellgebiets mit allen hydraulisch relevanten Strukturen nach und stellt somit ein digitales Geländemodell (DGM) dar (vgl. Abbildung 6).

Die Netzelemente müssen programmspezifischen Qualitätskriterien entsprechen, so dass bspw. zu spitze Innenwinkel und unnötige Knotenanhäufungen zu vermeiden sind. Während in hydraulisch sensiblen Bereichen (als Abflussbahn fungierende Verkehrswege, abflusslenkende Bauwerke u.ä.) eine hohe Netzauflösung erforderlich ist, lassen sich Gebiete mit nur wenig bewegtem Gelände und nahezu gleichförmiger Überströmung mit größeren Elementen ausreichend genau erfassen.

Die Software SMS stellt den Pre- und Postprozessor dar und bietet somit eine Benutzeroberfläche mit Möglichkeiten der Netzgenerierung sowie der Visualisierung von Ergebnisdateien. Demgegenüber bildet HYDRO_AS-2D den Berechnungskern und fungiert damit als Solver für die Modellierung. Er löst Finite-Volumen-Gleichungen anhand der zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsgleichungen. Dies geschieht durch Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Flüssigkeiten über die Wassertiefe unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung. Damit ist die Berechnung komplizierter stationärer sowie instationärer Abflusssituationen bei strömenden wie auch schießenden Abflusszuständen möglich.

Die Simulation liefert skalare und vektorielle Ergebnisse (Wasserstandshöhen, Größe und Richtung von Fließgeschwindigkeiten etc.) für die benetzten Knoten des Modellnetzes und gibt Aufschluss zu Überflutungsgrenzen und Abflussaufteilungen. Bei instationären Berechnungen kann zusätzlich der zeitliche Ablauf der Überflutungen nachvollzogen werden. Außerdem lassen sich aus den Primärergebnissen weitere Parameter, wie bspw. die spezifischen Abflüsse sowie die Froude-Zahlen oder Energiehöhen unkompliziert berechnen.

Um die Modellierungsergebnisse in Grafiken/ Karten darzustellen, vertiefend auszuwerten und in üblichen Austauschformaten vorzuhalten, wurden sie von den Originalformaten zusätzlich auch in die GIS-Formate ESRI-Shape, ESRI-TIN und ESRI-Grid konvertiert. Die kartografische Bearbeitung erfolgte mit dem Programm ESRI-ArcGIS 10.

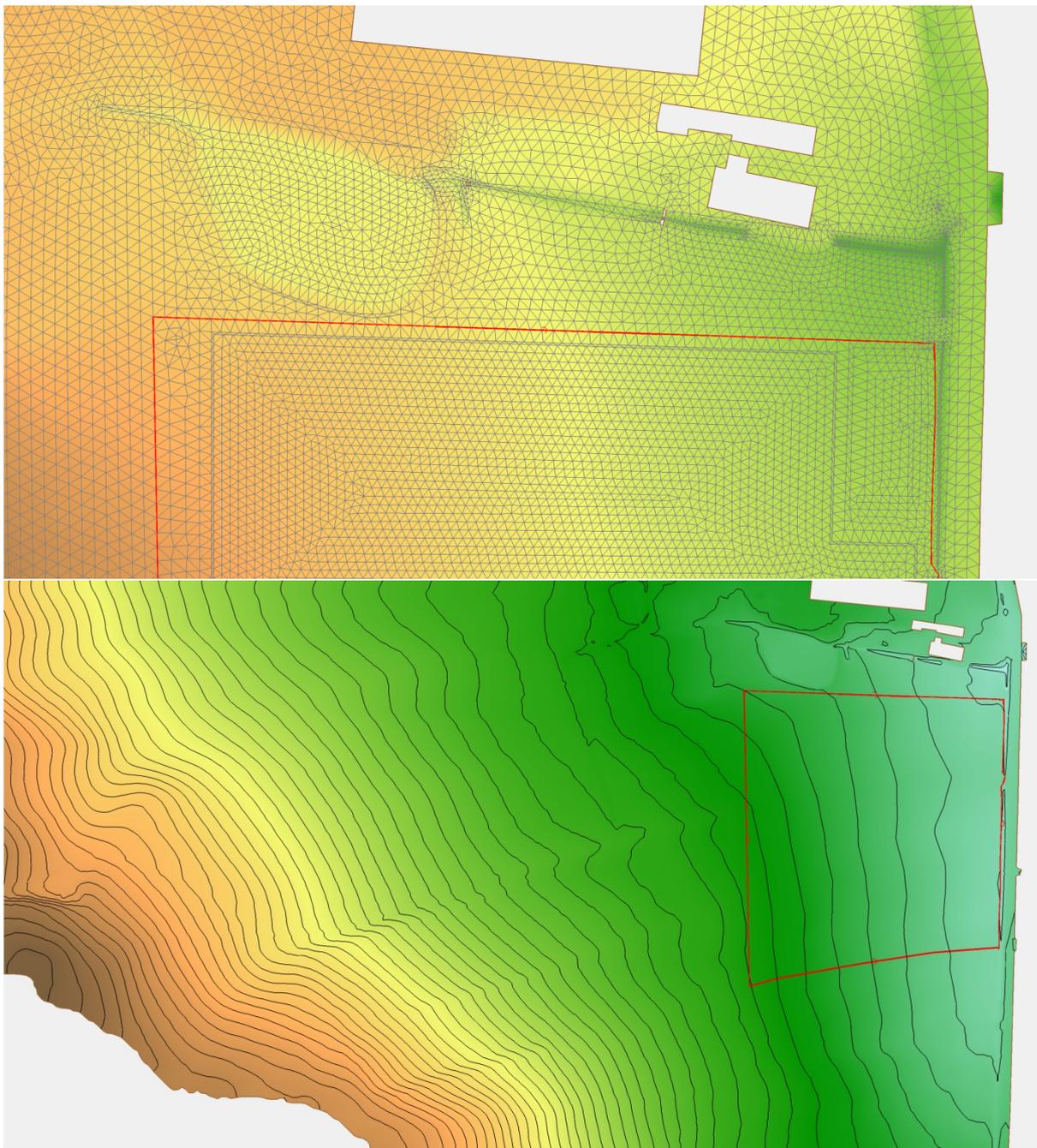


Abbildung 6: Ausschnitte der Netzstruktur des Modellnetzes im nördlichen Teil des B-Plangebiets (oben) und der farbig abgestuften Geländehöhen mit Isolinien á 1,0 m (unten)

5.2 Abgrenzung des Modellgebiets und verwendete Daten

Für die Aufbereitung des Modellnetzes wurden die Bestandsvermessung aus /1/ sowie die Daten des DGM2 und des Basis-DLM aus /2/ genutzt. Die Festlegung der Modellgrenzen erfolgte in Orientierung an Linien gleicher Geländehöhen, Höhenrücken (also Wasserscheiden als Einzugsgebietsgrenzen), begrenzenden Verkehrswegen (Torgaer Straße, K8456) sowie darin befindlichen Öffnungen (Durchlässe in der Torgaer Straße).

Bei einer simulierten Berechnung des 2D-HN-Modells kann der Oberflächenabfluss am östlichen Modellrand frei auslaufen. Die Auslaufrandbedingungen wurden dazu als ein Energieliniengefälle vorgegeben, welches dem mittleren Geländegefälle östlich der Straße entspricht.

Gebäudegrundflächen (betrifft die Gebäude im nördlich gelegenen Industriegebiet) wurden aus dem Modellnetz ausgespart, um sie als undurchströmbar zu definieren. Für den Teich im Norden des B-Plangebiets wurde eine Stauhaltung auf einer Höhe von 189,66 mNHN, wie sie aus /1/ hervorgeht, angenommen.

5.3 Parametrisierung des Modells

Die Oberflächenrauheiten in den einzelnen Landnutzungsbereichen wurden im 2D-HN-Modell mit Beiwerten nach Manning/ Strickler k_{St} anhand von Erfahrungswerten und Literaturempfehlungen erfasst. Bei vegetationsbeeinflussten Nutzungen (bspw. Acker, Grünland, Wald...) wurde dabei aus dem denkbaren Spektrum ein mittlerer Ansatz gewählt. Die gewählten Oberflächenrauheiten sind in der nachfolgenden Tabelle 4 gezeigt.

Tabelle 4: für die Oberflächenrauheiten angesetzte Beiwerte k_{St}

Landnutzung/ Vegetation/ Befestigung	k_{St}
Straße, asphaltiert	50 m ^{1/3} /s
Weg, befestigt	45 m ^{1/3} /s
Siedlung, stark versiegelt	24 m ^{1/3} /s
Industrie und Gewerbe	18 m ^{1/3} /s
Acker	18 m ^{1/3} /s
Grünland	20 m ^{1/3} /s

Für alle durchgeführten Rechengänge wurden folgende Grundlagenparameter („global parameters“) in HYDRO_AS-2D festgelegt (Einzelheiten im Benutzerhandbuch des Programms):

- Simulationszeit: Dauer des zu berechnenden Abflussereignisses; gewählt mit 10.800 Sekunden \cong 3,0 Stunden
- Zeitintervall SMS: Zeitschrittlänge zwischen den Ausschreibungen vollständiger Ergebnisdateien „Wasserstand“, „Fließgeschwindigkeit“ u.a.; gewählt mit 60 Sekunden \cong 1 Minute
- Zeitintervall Q_Strg / Pegel.dat: Zeitschrittlänge für die Zuflussganglinien und die Ausschreibungen tabellarischer Ergebnisdateien für Kontrollquerschnitte und Pegelpunkte; gewählt mit 60 Sekunden \cong 1 Minute
- Hmin: minimale Wassertiefe, ab der ein Abflussgeschehen am jeweiligen Knoten angenommen wird; gewählt mit 0,0001 m
- VELMAX: maximale Fließgeschwindigkeit, die an einem Knoten in die Berechnungen eingehen kann; gewählt mit 15,0 m/s
- CMUVISC: Koeffizient c_{μ} in der Formel für Viskosität = 0,6 (Standardwert)
- CFL: programminterner Berechnungskoeffizient = 0,8 (Standardwert)
- Amin: minimal erlaubte Elementgröße; gewählt mit 0,01 m²

Der zuletzt genannte Amin-Wert ist mit 0,01 m² relativ klein zu wählen, weil die kleinräumigen, filigranen Strukturen an den modellierten Bächen teilweise mit einem sehr engmaschigen Netz abgebildet werden müssen, um korrekte Ergebnisse zu erzielen. Größere Amin-Werte führen teilweise zu verfälschten und unbrauchbaren Modellergebnissen.

5.4 Vorgehen bei der Ergebnisauswertung

Von den Ergebnisparametern, die das Berechnungsprogramm liefert, sind für die vorliegende Aufgabe weniger die Wassertiefen oder Fließgeschwindigkeiten relevant. Vielmehr sind insbesondere die Oberflächenabflüsse und deren Strömungsrichtungen von Interesse, die in das B-Plangebiet gelangen bzw. in diesem generiert werden, d.h. aus ihm herausfließen. Sie wurden ermittelt, indem die vier Seiten des B-Plangebiets im 2D-HN-Modell mit jeweils einem Kontrollquerschnitt versehen wurden. Die durch sie rechnerisch hindurchströmenden Abflüsse werden mit einer Zeitschrittauflösung von 60 Sek. ausgegeben. Die entsprechenden Tabellen für den Bemessungsregen $T = 100$ a, $D = 1,5$ Std. (endbetont) sind in der Anlage 1 enthalten.

Weiterhin wurden die vom Berechnungsprogramm nicht explizit gelieferten spezifischen Abflüsse, d.h. die pro m Breite abfließenden Wassermengen [$\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ bzw. m^2/s] als Produkt von Wassertiefe und Geschwindigkeit ebenfalls mit einer Zeitschrittauflösung von 60 Sek. ermittelt. Ausgewertet und in der Abbildung 8 grafisch dargestellt wurden schließlich die über die Dauer des Ereignisses eintretenden maximalen spezifischen Abflüsse gemeinsam mit ihren Strömungsrichtungen.

Der digitalen Auslieferung dieses Projekts liegen die über die Ereignisdauer maximalen Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und -richtungen sowie spezifischen Abflüsse bei $T = 100$ a, $D = 1,5$ Std. und endbetonter Niederschlagsverteilung als GIS-Daten (ESRI-Grid) bei.

6 BERECHNUNGSERGEBNISSE UND AUSWERTUNG

6.1 Zuströmung in das B-Plangebiet

In das B-Plangebiet entwässert praktisch nur von Südwesten her ein mit 36.430 m^2 vergleichsweise kleines Einzugsgebiet. Es ist in der Abbildung 8 mit einer rosafarbenen Umrandung dargestellt. Die von dort während des Bemessungsregens $T = 100$ a, $D = 1,5$ Std. (endbetont) zuströmenden Wassermengen sind in der Abbildung 5 gezeigt. Beim ungünstigen Ansatz eines CNII-Wertes von 74 im Bereich der Grünlandflächen beträgt der entsprechende Scheitelzufluss in das B-Plangebiet 240 l/s (vgl. Abbildung 7). Die Fülle der zugehörigen Abflussganglinie über einem angenommenen Basiswert von 10 l/s beträgt 260 m^3 . Von Norden her strömen dem B-Plangebiet während des Bemessungsregens nur kurzzeitig, nämlich während der nur wenige Minuten dauernden Scheitelphase, geringe Wassermengen bis maximal 50 l/s zu (ungünstiger CNII-Wert bei Grünland). Die Fülle der zugehörigen Abflussganglinie über einem angenommenen Basiswert von 10 l/s beträgt nur 10 m^3 . Ansonsten fließt das Oberflächenwasser an dieser Grenze aus dem B-Plangebiet heraus (Kap. 6.2).

Aus den anderen Richtungen strömt über die gesamte Ereignisdauer kein Wasser oberflächlich in das B-Plangebiet. Der südliche Gebietsrand verläuft sogar praktisch exakt mit der Gefälleneigung, so dass über ihn weder Zu- noch Abflüsse stattfinden. In der Summe fließen während des Ereignisses also 270 m^3 Wasser oberflächlich in das B-Plangebiet.

6.2 Abströmung aus dem B-Plangebiet

Aus dem B-Plangebiet heraus strömen einerseits die zuvor, vorrangig von Westen her hineingeströmten Wassermengen und diejenigen Wassermengen, die im B-Plangebiet während des Regens selbst generiert werden. Die oberflächige Abströmung, d.h. Entwässerung erfolgt gemäß der Geländeneigung vorrangig nach Osten zum Entwässerungsgraben an der Torgaer Straße sowie nach Norden zum dort verlaufenden Bach hin.

Nach Osten zum Entwässerungsgraben an der Torgaer Straße hin fließen beim Bemessungsregen maximal 220 l/s, nach Norden maximal 90 l/s ab (vgl. Abbildung 7). Die Füllen der zugehörigen Abflussganglinien über einem angenommenen Basiswert von 10 l/s betragen 370 m³ nach Osten bzw. 110 m³ nach Norden, in der Summe also 480 m³.

Werden beide Ganglinien überlagert, so ergibt sich ein Scheitelabfluss von 310 l/s, der aus dem B-Plangebiet herausfließt. Für das zugehörige, 63.740 m² große Einzugsgebiet (36.430 m² im Südwesten zzgl. 27.310 m³ B-Plangebiet) ergibt sich damit eine plausible Abfluss-spende von 4,9 m³/s·km².

Wegen des weniger steilen Geländes ergeben sich gegenüber dem Zustrom aus Westen etwas flachere, dafür weiter gestreckte Ganglinien der Abflüsse, die aus dem B-Plangebiet heraus strömen. Die in der nachfolgenden Abbildung 7 erkennbare Streckung der Abflussganglinien aus dem B-Plangebiet heraus, speziell nach Osten, ist zum Teil auch darauf zurückzuführen, dass der Entwässerungsgraben an der Torgaer Straße kurz nach dem Regen große Abflüsse aufzunehmen hat und dadurch auch ausufert. Das aus dem B-Plangebiet zutretende Wasser wird entsprechend gebremst und kann nur leicht verzögert abgeführt werden.

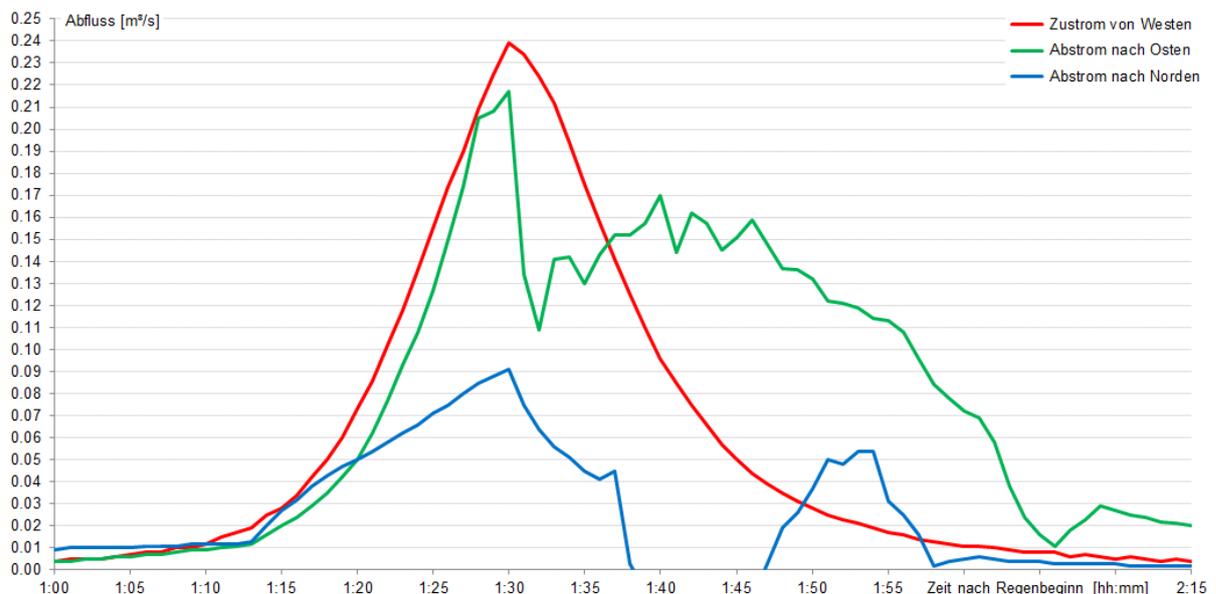


Abbildung 7: Für T = 100 a und D = 1,5 Std. errechnete Abflussganglinien von Westen in das B-Plangebiet bzw. aus dem B-Plangebiet nach Osten und Norden

Die folgende Abbildung 8 zeigt die im 2D-HN-Modellgebiet über die Dauer des Bemessungsereignisses T = 100 a, D = 1,5 Std. (endbetont) eintretenden maximalen spezifischen Abflüsse gemeinsam mit ihren Strömungsrichtungen. Sie machen deutlich, dass der größte Teil der westlichen Hangseite des Heidebergs in Richtung des Bachs nördlich des B-Plangebiets entwässert. Für das B-Plangebiet selbst ist nur eine vergleichsweise kleine Einzugsgebietsfläche relevant.

Von Westen kommend, bilden sich innerhalb des B-Plangebiets zwei deutlich erkennbare Abflussbahnen aus, die von West nach Ost verlaufen. Die nördliche Bahn durchfließt das B-Plangebiet dabei praktisch mittig, während sich die südliche Bahn unweit der Südgrenze des B-Plangebiets befindet. Beide Bahnen münden in den Entwässerungsgraben an der Torgaer Straße und gelangen mit ihm weiter nördlich zum Weißen Schöps.

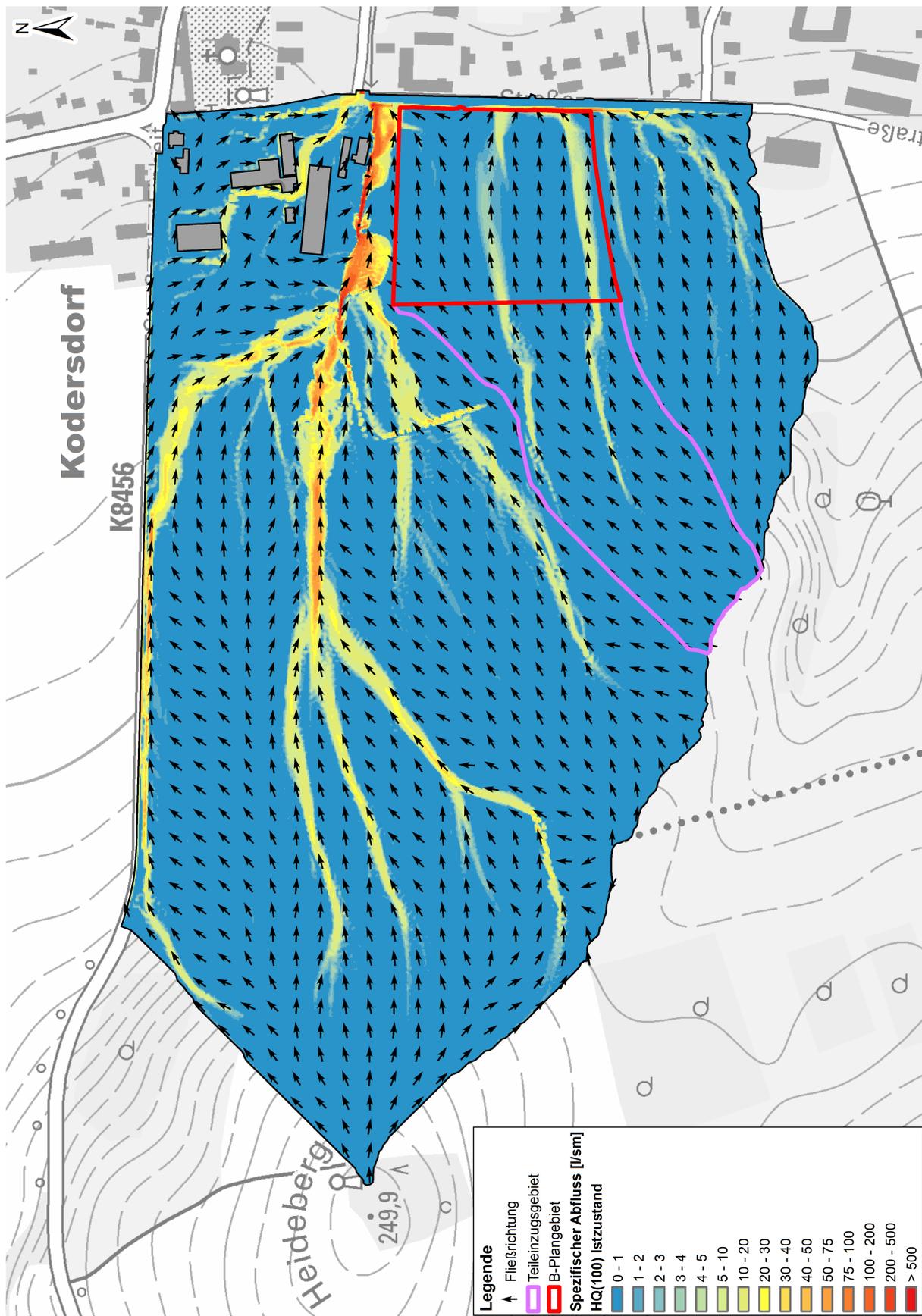


Abbildung 8: Maximale spezifische Abflüsse im Modellgebiet bei HQ(100) mit Fließrichtungen und zum B-Plangebiet gehöriges Teileinzugsgebiet

Anlage 1

**Zu- und Abströme in das B-Plangebiet bei
T = 100 a, D = 1,5 Std., endbetonte Verteilung**

* negative Werte bedeuten Zustrom in das B-Plangebiet

Zeit nach Regenbeginn		Zustrom von Westen		Abstrom nach Norden*		Abstrom nach Osten	
Min.	Std.	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:
		0,24 m³/s	263,4 m³	0,09 m³/s	109,4 m³	0,22 m³/s	371,3 m³
0	0,00	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
1	0,02	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
2	0,03	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
3	0,05	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
4	0,07	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
5	0,08	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
6	0,10	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
7	0,12	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
8	0,13	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
9	0,15	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
10	0,17	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
11	0,18	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
12	0,20	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
13	0,22	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
14	0,23	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
15	0,25	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
16	0,27	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
17	0,28	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
18	0,30	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
19	0,32	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
20	0,33	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
21	0,35	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
22	0,37	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
23	0,38	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
24	0,40	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
25	0,42	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
26	0,43	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
27	0,45	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
28	0,47	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
29	0,48	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
30	0,50	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
31	0,52	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
32	0,53	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
33	0,55	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
34	0,57	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
35	0,58	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
36	0,60	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
37	0,62	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
38	0,63	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
39	0,65	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
40	0,67	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
41	0,68	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
42	0,70	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
43	0,72	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
44	0,73	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
45	0,75	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
46	0,77	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
47	0,78	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
48	0,80	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
49	0,82	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
50	0,83	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³

**Zu- und Abströme in das B-Plangebiet bei
T = 100 a, D = 1,5 Std., endbetonte Verteilung**

* negative Werte bedeuten Zustrom in das B-Plangebiet

Zeit nach Regenbeginn		Zustrom von Westen		Abstrom nach Norden*		Abstrom nach Osten	
Min.	Std.	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:
		0,24 m³/s	263,4 m³	0,09 m³/s	109,4 m³	0,22 m³/s	371,3 m³
51	0,85	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
52	0,87	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
53	0,88	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
54	0,90	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
55	0,92	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
56	0,93	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
57	0,95	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
58	0,97	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
59	0,98	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
60	1,00	0,00 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
61	1,02	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³	0,00 m³/s	0,0 m³
62	1,03	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	0,6 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
63	1,05	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	1,2 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
64	1,07	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	1,8 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
65	1,08	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	2,4 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
66	1,10	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	3,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
67	1,12	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	3,7 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
68	1,13	0,01 m³/s	0,0 m³	0,01 m³/s	4,4 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
69	1,15	0,01 m³/s	0,6 m³	0,01 m³/s	5,0 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
70	1,17	0,01 m³/s	1,3 m³	0,01 m³/s	5,8 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
71	1,18	0,02 m³/s	2,1 m³	0,01 m³/s	6,5 m³	0,01 m³/s	0,0 m³
72	1,20	0,02 m³/s	3,0 m³	0,01 m³/s	7,2 m³	0,01 m³/s	0,6 m³
73	1,22	0,02 m³/s	4,1 m³	0,01 m³/s	8,0 m³	0,01 m³/s	1,3 m³
74	1,23	0,03 m³/s	5,4 m³	0,02 m³/s	8,9 m³	0,02 m³/s	2,2 m³
75	1,25	0,03 m³/s	7,0 m³	0,03 m³/s	10,4 m³	0,02 m³/s	3,2 m³
76	1,27	0,03 m³/s	8,9 m³	0,03 m³/s	12,1 m³	0,02 m³/s	4,6 m³
77	1,28	0,04 m³/s	11,2 m³	0,04 m³/s	14,2 m³	0,03 m³/s	6,2 m³
78	1,30	0,05 m³/s	13,9 m³	0,04 m³/s	16,7 m³	0,04 m³/s	8,1 m³
79	1,32	0,06 m³/s	17,2 m³	0,05 m³/s	19,4 m³	0,04 m³/s	10,4 m³
80	1,33	0,07 m³/s	21,2 m³	0,05 m³/s	22,3 m³	0,05 m³/s	13,1 m³
81	1,35	0,09 m³/s	26,0 m³	0,05 m³/s	25,4 m³	0,06 m³/s	16,5 m³
82	1,37	0,10 m³/s	31,6 m³	0,06 m³/s	28,7 m³	0,08 m³/s	20,7 m³
83	1,38	0,12 m³/s	38,2 m³	0,06 m³/s	32,3 m³	0,09 m³/s	25,8 m³
84	1,40	0,14 m³/s	45,8 m³	0,07 m³/s	36,2 m³	0,11 m³/s	31,8 m³
85	1,42	0,16 m³/s	54,6 m³	0,07 m³/s	40,3 m³	0,13 m³/s	38,9 m³
86	1,43	0,17 m³/s	64,4 m³	0,08 m³/s	44,7 m³	0,15 m³/s	47,2 m³
87	1,45	0,19 m³/s	75,4 m³	0,08 m³/s	49,3 m³	0,17 m³/s	56,9 m³
88	1,47	0,21 m³/s	87,3 m³	0,09 m³/s	54,3 m³	0,21 m³/s	68,3 m³
89	1,48	0,23 m³/s	100,4 m³	0,09 m³/s	59,5 m³	0,21 m³/s	80,6 m³
90	1,50	0,24 m³/s	114,3 m³	0,09 m³/s	64,8 m³	0,22 m³/s	93,4 m³
91	1,52	0,23 m³/s	128,5 m³	0,08 m³/s	69,8 m³	0,13 m³/s	103,9 m³
92	1,53	0,22 m³/s	142,2 m³	0,06 m³/s	74,0 m³	0,11 m³/s	111,2 m³
93	1,55	0,21 m³/s	155,3 m³	0,06 m³/s	77,6 m³	0,14 m³/s	118,7 m³
94	1,57	0,19 m³/s	167,5 m³	0,05 m³/s	80,8 m³	0,14 m³/s	127,2 m³
95	1,58	0,18 m³/s	178,5 m³	0,05 m³/s	83,7 m³	0,13 m³/s	135,4 m³
96	1,60	0,16 m³/s	188,5 m³	0,04 m³/s	86,3 m³	0,14 m³/s	143,6 m³
97	1,62	0,14 m³/s	197,5 m³	0,05 m³/s	88,8 m³	0,15 m³/s	152,4 m³
98	1,63	0,13 m³/s	205,5 m³	0,00 m³/s	88,8 m³	0,15 m³/s	161,5 m³
99	1,65	0,11 m³/s	212,5 m³	-0,01 m³/s	88,8 m³	0,16 m³/s	170,8 m³
100	1,67	0,10 m³/s	218,7 m³	-0,02 m³/s	88,8 m³	0,17 m³/s	180,6 m³
101	1,68	0,09 m³/s	224,1 m³	-0,03 m³/s	88,8 m³	0,14 m³/s	190,0 m³

**Zu- und Abströme in das B-Plangebiet bei
T = 100 a, D = 1,5 Std., endbetonte Verteilung**

* negative Werte bedeuten Zustrom in das B-Plangebiet

Zeit nach Regenbeginn		Zustrom von Westen		Abstrom nach Norden*		Abstrom nach Osten	
Min.	Std.	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:
		0,24 m³/s	263,4 m³	0,09 m³/s	109,4 m³	0,22 m³/s	371,3 m³
102	1,70	0,08 m³/s	228,9 m³	-0,05 m³/s	88,8 m³	0,16 m³/s	199,2 m³
103	1,72	0,07 m³/s	233,2 m³	-0,03 m³/s	88,8 m³	0,16 m³/s	208,8 m³
104	1,73	0,06 m³/s	236,9 m³	-0,02 m³/s	88,8 m³	0,15 m³/s	217,8 m³
105	1,75	0,05 m³/s	240,1 m³	-0,02 m³/s	88,8 m³	0,15 m³/s	226,7 m³
106	1,77	0,04 m³/s	242,9 m³	-0,01 m³/s	88,8 m³	0,16 m³/s	236,0 m³
107	1,78	0,04 m³/s	245,4 m³	0,00 m³/s	88,8 m³	0,15 m³/s	245,2 m³
108	1,80	0,04 m³/s	247,6 m³	0,02 m³/s	88,8 m³	0,14 m³/s	253,8 m³
109	1,82	0,03 m³/s	249,6 m³	0,03 m³/s	90,2 m³	0,14 m³/s	262,0 m³
110	1,83	0,03 m³/s	251,3 m³	0,04 m³/s	92,1 m³	0,13 m³/s	270,0 m³
111	1,85	0,03 m³/s	252,9 m³	0,05 m³/s	94,7 m³	0,12 m³/s	277,6 m³
112	1,87	0,02 m³/s	254,4 m³	0,05 m³/s	97,6 m³	0,12 m³/s	284,9 m³
113	1,88	0,02 m³/s	255,7 m³	0,05 m³/s	100,7 m³	0,12 m³/s	292,1 m³
114	1,90	0,02 m³/s	256,9 m³	0,05 m³/s	103,9 m³	0,11 m³/s	299,1 m³
115	1,92	0,02 m³/s	258,0 m³	0,03 m³/s	106,5 m³	0,11 m³/s	305,9 m³
116	1,93	0,02 m³/s	259,0 m³	0,03 m³/s	108,2 m³	0,11 m³/s	312,5 m³
117	1,95	0,01 m³/s	259,9 m³	0,02 m³/s	109,4 m³	0,10 m³/s	318,7 m³
118	1,97	0,01 m³/s	260,7 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,08 m³/s	324,1 m³
119	1,98	0,01 m³/s	261,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,08 m³/s	328,9 m³
120	2,00	0,01 m³/s	262,1 m³	0,01 m³/s	109,4 m³	0,07 m³/s	333,4 m³
121	2,02	0,01 m³/s	262,8 m³	0,01 m³/s	109,4 m³	0,07 m³/s	337,7 m³
122	2,03	0,01 m³/s	263,4 m³	0,01 m³/s	109,4 m³	0,06 m³/s	341,5 m³
123	2,05	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,04 m³/s	344,3 m³
124	2,07	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	346,2 m³
125	2,08	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	347,4 m³
126	2,10	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	348,2 m³
127	2,12	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	349,1 m³
128	2,13	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	350,3 m³
129	2,15	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,03 m³/s	351,9 m³
130	2,17	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,03 m³/s	353,6 m³
131	2,18	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,03 m³/s	355,1 m³
132	2,20	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	356,6 m³
133	2,22	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	358,0 m³
134	2,23	0,01 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	359,3 m³
135	2,25	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	360,5 m³
136	2,27	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	361,7 m³
137	2,28	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	362,8 m³
138	2,30	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	363,8 m³
139	2,32	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	364,8 m³
140	2,33	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	365,8 m³
141	2,35	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,02 m³/s	366,8 m³
142	2,37	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	367,6 m³
143	2,38	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	368,5 m³
144	2,40	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	369,3 m³
145	2,42	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	370,0 m³
146	2,43	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	370,7 m³
147	2,45	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³
148	2,47	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³
149	2,48	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³
150	2,50	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³
151	2,52	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³
152	2,53	0,00 m³/s	263,4 m³	0,00 m³/s	109,4 m³	0,01 m³/s	371,3 m³

**Zu- und Abströme in das B-Plangebiet bei
T = 100 a, D = 1,5 Std., endbetonte Verteilung**

* negative Werte bedeuten Zustrom in das B-Plangebiet

Zeit nach Regenbeginn		Zustrom von Westen		Abstrom nach Norden*		Abstrom nach Osten	
Min.	Std.	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:	Maximal:	Volumen:
		0,24 m³/s	263,4 m³	0,09 m³/s	109,4 m³	0,22 m³/s	371,3 m³
153	2,55	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
154	2,57	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
155	2,58	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
156	2,60	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
157	2,62	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
158	2,63	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
159	2,65	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
160	2,67	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
161	2,68	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
162	2,70	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
163	2,72	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,01 m ³ /s	371,3 m ³
164	2,73	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
165	2,75	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
166	2,77	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
167	2,78	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
168	2,80	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
169	2,82	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
170	2,83	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
171	2,85	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
172	2,87	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
173	2,88	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
174	2,90	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
175	2,92	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
176	2,93	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
177	2,95	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
178	2,97	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
179	2,98	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³
180	3,00	0,00 m ³ /s	263,4 m ³	0,00 m ³ /s	109,4 m ³	0,00 m ³ /s	371,3 m ³