

STADT LUDWIGSBURG

Starkregenbetrachtung SKS-Areal

Bericht

Stand: 20.03.2024

Projekt-Nr. TS-06101

Digitale Fertigung

ZUSAMMENFASSUNG

Für das Baugebiet SKS-Areal wurde untersucht, ob durch einen multifunktionalen Retentionsraum (MFR) innerhalb des SKS-Areals die anfallenden Wassermengen bei einem Starkregenereignis aus der Straße am Hirschgraben teilweise zurückgehalten werden könnte. Für die Starkregenuntersuchung wurde eine 2-dimensionale hydraulische Berechnung durchgeführt. Die Berechnung erfolgte nach den Ansätzen des Leitfadens „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ für die beiden Szenarien „selten“ und „außergewöhnlich“.

Mit dem angepassten Modell kann eine realistische Einschätzung gegeben werden, wie hoch sich der geplante MFR füllt. Außerdem konnte quantitativ eingeschätzt werden, wie viel Vorteil (Reduktion der Überflutungstiefe) der geplante MFR für die Unterlieger bringt.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass beim seltenen Starkregenereignis 37 % des Abflussvolumens der Straße Am Hirschgraben im geplanten MFR gespeichert werden kann. Für das außergewöhnliche Starkregenereignis beträgt dieser Anteil 31%.

Die Verbesserung (verminderte Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten) des unterliegenden Bereichs ist nur sehr lokal, eine gesamtheitliche Verbesserung der Situation der Unterlieger wird durch die Maßnahme nicht erreicht. Weiterhin ist einer Erhöhung der Straße Am Hirschgraben um 60 cm, wie in dieser Studie berücksichtigt, nicht möglich. Aus diesen Gründen wird die Maßnahme in dieser Form nicht empfohlen.

Ob eine andere Möglichkeit (z. B. Verbreiterung der Straße Am Hirschgraben) zu einer besseren Auslastung des MFR führt, kann weitergehend untersucht werden. Dies war jedoch nicht mehr Teil dieser Studie. Inwiefern der MFR in Kombinationen mit anderen Maßnahmen eine größere Verbesserung der Situation der Unterlieger erreichen kann, wurde innerhalb dieser Studie ebenfalls nicht untersucht.

Weiterhin wurde für das SKS-Areal selbst ein Rückhaltevolumen für 3 Teilflächen für ein 30-jährliches sowie ein 100-jährliches Ereignis ermittelt.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	3
1 Veranlassung und Aufgabenstellung.....	5
2 Grundlagen.....	5
2.1 Geographischer Überblick und Einzugsgebiet.....	5
2.2 Grundlagedaten	6
3 Vorgehensweise Bestandsberechnung.....	7
3.1 Untersuchungsprogramm.....	7
3.2 Rauheitsansatz und gewählte Rauheitswerte.....	7
3.3 Berechnungsmodell Aufbereitung und erste Berechnung	8
3.4 Ortsbegehung.....	8
3.5 Kanalnetz	8
4 Vorgehensweise Prognoseberechnung	9
4.1 Arbeitsstand Freiraumkonzept	9
4.2 Erstellung des Prognosemodells.....	10
5 Ergebnisse.....	11
5.1 Abfluss Bestandsberechnung	12
5.2 Abflussbilanzierung Prognoseberechnung	13
5.3 Maximales Rückhaltevolumen	15
5.4 Verbesserung der weiter unterstrom gelegenen Bereiche (u. a. Westfalenstr., Poppenweiler Str., Gmünder Str.).....	16
5.5 Fazit.....	17
6 Berechnung erforderliches Rückhaltevolumen SKS-Areal	18
6.1 Vorgehensweise.....	18
6.2 Ergebnisse	20
7 Umweltschutz / Nachhaltigkeit / Klimaschutz der geplanten Maßnahme.....	20
Anlagenverzeichnis.....	22
Unterlagenverzeichnis	22
Anhang mit Verzeichnis	23
Tabellenverzeichnis	
Tab. 1 Flächenrauheiten	7

Tab. 2	Auswertungen OAK	19
Tab. 3	Ergebnisse Rückhalteberechnungen	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Baugebiet (rot), Gewässereinzugsgebiete (schwarz), Zuflussfläche Straße Am Hirschgraben (blau) und die nördliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiet (gestrichelt schwarz). [Quelle: Hintergrund OpenStreetMap].....	6
Abb. 2	Ausschnitt aus dem Freiraumkonzept (1. Phase mit August Lämmle Halle) vom 15.08.2023 /2/.....	9
Abb. 3	3D Darstellung Berechnungsmodell mit umgesetztem MFR	10
Abb. 4	Fiktive Abflusshindernisse (rote Linien) in der Prognoseberechnung.....	11
Abb. 5	Lage der Kontrollquerschnitte	12
Abb. 6	Abfluss am KQ01 Am Hirschgraben - Bestandsberechnung	13
Abb. 7	Abfluss am KQ01 Am Hirschgraben- Prognoseberechnung.....	14
Abb. 8	Abfluss am KQ02 Flurstraße- Prognoseberechnung.....	14
Abb. 9	Abfluss am KQ03 Einlauf MFR – Prognoseberechnung.....	15
Abb. 10	Überflutungstiefendifferenz zwischen Prognoseberechnung - Bestandsberechnung beim seltenen Ereignis	16
Abb. 11	Überflutungstiefendifferenz zwischen Prognoseberechnung - Bestandsberechnung beim außergewöhnlichen Ereignis.....	17
Abb. 12	Flächenaufteilung SKS-Areal zur Berechnung des Retentionsvolumens	18

ANLAGENVERZEICHNIS

1	Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Seltenes Ereignis- Bestandsberechnung	M.: 1 : 1.500
2	Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Außergewöhnliches Ereignis- Bestandsberechnung	M.: 1 : 1.500
3	Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten– Seltenes Ereignis- Prognoseberechnung	M.: 1 : 1.500
4	Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Außergewöhnliches Ereignis - Prognoseberechnung	M.: 1 : 1.500

1 VERANLASSUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Die Stadt Ludwigsburg beauftragte Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH mit der Durchführung der Starkregenbetrachtung für das geplante Baugebiet „Schul-Kultur- und Sportareal“ (SKS-Areal) im Stadtteil Oßweil in Ludwigsburg.

Die wichtigsten Punkte der beauftragten Leistungen sind:

- Vorbereitung und Vorabstimmung
- Aufbau und Simulation Starkregenmodell für den Bestand
- Maßnahmenkonzeption und modeltechnische Validierung eines MFRs
- Ergebnisanalyse und Dokumentation

In der früheren Planungsphase des Areals wurde eine Entwässerungskonzeption des Gebietes erstellt, die oberirdische und/oder unterirdische Rückhaltemaßnahmen empfiehlt /3/ (*Die im Text dargestellten Nummern in Schrägstrichen (Beispiel siehe vorheriger Satz) referenzieren auf Daten Grundlagen, die für die Studie verwendet wurden. Diese sind am Ende dieses Berichts aufgelistet.*

2 GRUNDLAGEN

2.1 Geographischer Überblick und Einzugsgebiet

Das geplante Baugebiet befindet sich im Ludwigsburger Stadtteil Oßweil. Das Gebiet liegt im oberen Bereich des Gewässereinzugsgebiet „Lochwaldgraben“, das im weiteren Verlauf in den Neckar mündet. Für die Starkregenbetrachtung wurde der obere Teil des Gewässereinzugsgebiets verwendet. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Baugebiet (rot), die Gewässereinzugsgebiete (schwarz), die Zuflussfläche zur Straße Am Hirschgraben (blau) sowie die nördliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiet (gestrichelt schwarz).

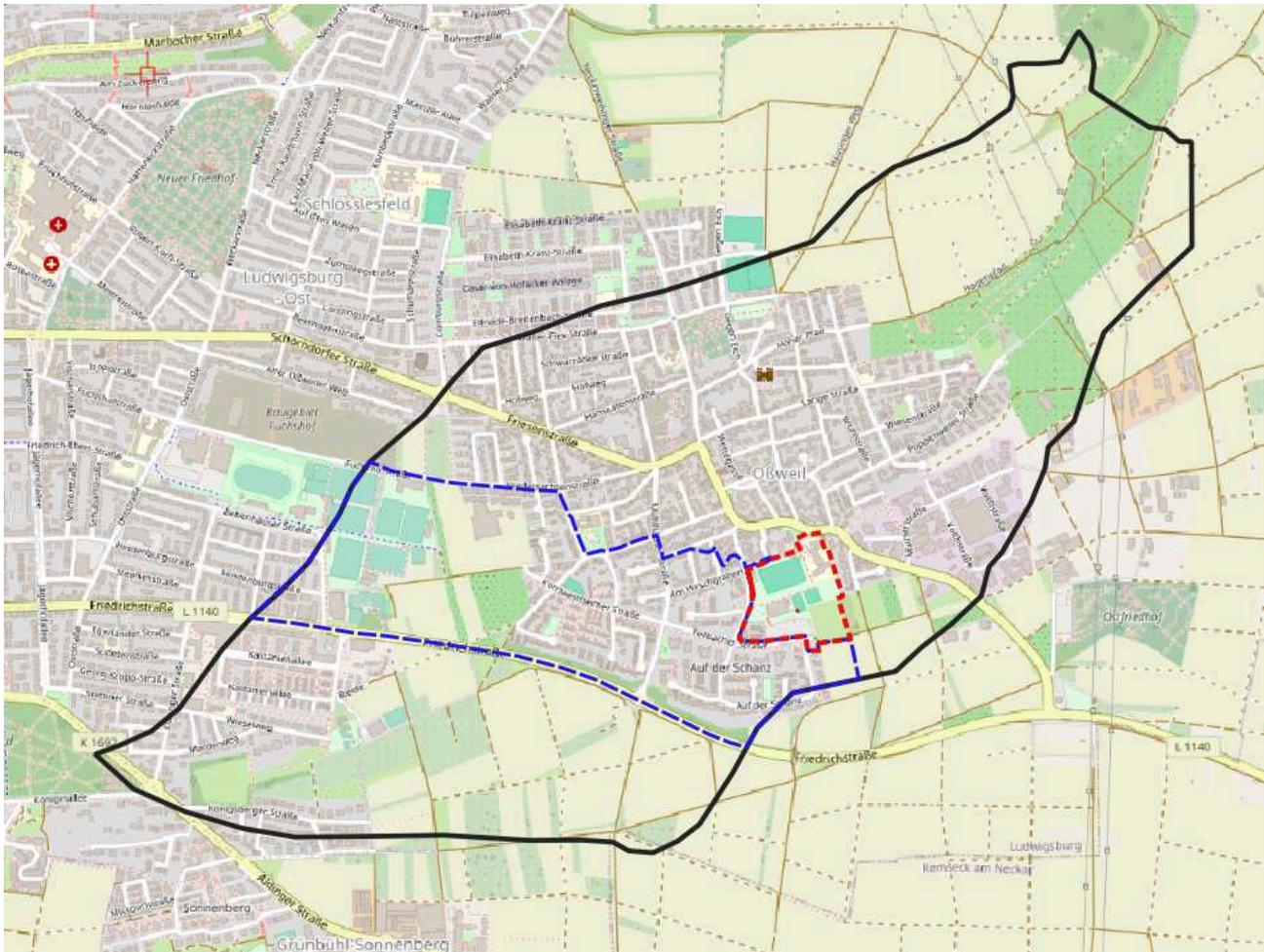


Abb. 1 Baugebiet (rot), Gewässereinzugsgebiete (schwarz), Zuflussfläche Straße Am Hirschgraben (blau) und die nördliche Abgrenzung des Untersuchungsgebiet (gestrichelt schwarz). [Quelle: Hintergrund OpenStreetMap]

2.2 Grundlagedaten

Für die Starkregenbetrachtung wurden folgende Daten von der Stadt zur Verfügung gestellt:

- Bestandsgebäude
- Bestandsflurstücke
- ALKIS-Datensatz der Stadt Ludwigsburg:
- Orthofotos Stand 2021

Die Oberflächenabflusskennwerte (OAK) für das seltene (tritt statistisch gesehen 1-mal-in 30 Jahren auf, $T=30$) und das außergewöhnliche Ereignis (tritt statistisch gesehen 1-mal-in 100 Jahren auf, $T=100$) wurden seitens der LUBW zur Verfügung gestellt. Im Untersuchungsgebiet entsprechen diese Ereignisse 41 mm/h bzw. 52 mm/h.

Zudem wurden die folgenden Daten von der Stadt aus der Datenbank des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) bereitgestellt:

- das digitale Geländemodell (DGM) und
- das digitale Landschaftsmodell (DLM)

3 VORGEHENSWEISE BESTANDSBERECHNUNG

Die Vorgehensweise der Starkregenuntersuchung erfolgte gemäß dem Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ der LUBW. Klinger und Partner GmbH ist für die Bearbeitung nach dem Leitfaden zertifiziert.

3.1 Untersuchungsprogramm

Eingesetztes Programm für die hydraulischen Berechnungen ist die Software ++Systems mit dem Aufsatz GeoCPM der Firma Tandler GmbH (Version 14). GeoCPM ist ein Programm zum Nachweis und zur Einschätzung von Gefahren durch Überflutungen. Dabei kombiniert das Programm die grafische Bearbeitung, die Modellierung, die Berechnung und die nachfolgende Analyse.

Die Modellierung der Oberfläche erfolgt ausgehend aus einem DGM mit einem unregelmäßigen Dreiecksnetz. Die hydrodynamische Berechnung des Oberflächenabflusses erfolgt mit der Complex Parallelstep Method, einem verallgemeinerten Ansatz der Flachwassergleichung (2D) mit einer expliziten Finite-Elemente-Methode. Die Simulation des Transports im Kanalnetz (hier nicht modelliert) und in den Verdolungen erfolgt ebenfalls hydrodynamisch (1D Saint-Venant'sche Differenzialgleichung) mit dem Berechnungskern DYNA (Version 14). Dadurch ergibt sich eine gekoppelte 2D (Oberfläche) und 1D (Kanalnetz) Berechnung.

3.2 Rauheitsansatz und gewählte Rauheitswerte

Die Rauheitswerte bestimmen, wie schnell das Wasser auf die Oberfläche abfließt. Das Berechnungsgebiet wurde in verschiedene Bereiche aufgeteilt und diesen ein entsprechender Rauheitsbeiwert zugeordnet. Basis hierfür sind die DLM-Daten, Luftbilder der Stadt sowie Ortsbegehungen. In nachfolgender Tabelle sind die einzelnen Flächentypen und die Zuordnung der Rauheiten dargestellt. Der Parameter der Rauheit beeinflusst die Berechnungsergebnisse maßgeblich. Er bestimmt, wie schnell Wasser oberflächlich abfließt und wie viel Wasser auf einer Fläche zurückgehalten wird.

In GeoCPM ist das Rauheitsgefälle anhand der Formel nach Darcy-Weisbach implementiert. Zur Bestimmung des Widerstandsbeiwerts wird auf die Formel von Prandtl-Colebrook für den Übergangsbereich zwischen hydraulisch rauem und hydraulisch glattem Widerstandsverhalten bei turbulenter Strömung zurückgegriffen. Die nachfolgende Tabelle (Tab. 1) dokumentiert die Flächenrauheiten des Gebiets.

Tab. 1 Flächenrauheiten

Flächentyp	Wert [mm]
Häuser	1,5
Asphalt	2

Flächentyp	Wert [mm]
Rasen	50
Schotterweg	60
Gewerbe	60
Wiesen/Streuobstwiesen	100
Grundstücksfreiflächen	100
Feldflächen	150
Waldboden	180

3.3 Berechnungsmodell Aufbereitung und erste Berechnung

Um die Rechenzeit in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wurde das originale digitale Geländemodell (Auflösung 0,5 m) ausgedünnt. Zielsetzung ist eine Berechnungsdauer von maximal 16 Stunden. Dies geschah durch dreiecksbasierte Ausdünnungen: Außengebiete wurden auf eine minimale Dreiecksgröße von 1 m², der Siedlungsbereich bzw. die Gewässertrassen auf eine minimale Dreiecksgröße von 0,5 m² ausgedünnt.

Die Häuserumrisse (entnommen aus den ALKIS-Daten) wurden als Bruchkanten mit einer einheitlichen Höhe von 3 m in das Modell eingefügt und fungieren als Fließhindernis. Durch einen programminternen Algorithmus wird das anfallende Wasser innerhalb der Dachfläche auf die angrenzenden Dreiecke verteilt. Es herrscht die Annahme, dass die Dachrinnen der Dächer vollständig überlastet sind und das Wasser zum Oberflächenabfluss beiträgt.

Auf das so vorbereitete Modell wurde die Rauheiten und die OAKs auf die einzelnen Dreiecke übertragen. Die verwendeten OAKs sind das seltene Ereignis und das außergewöhnliche Ereignis.

Das Modell wurde jeweils mit einer Stunde Berechnungsdauer und einer Stunde Nachlauf berechnet.

3.4 Ortsbegehung

Am 23. Juni 2023 wurde eine Ortsbegehung durchgeführt. Die rechnerischen Abflusswege aus der ersten Berechnung wurden verfolgt. Es wurde nach möglichen Abflusshindernissen (z.B. Mauern) und Verdolungen gesucht. Für das Untersuchungsgebiet wurden keine solchen Strukturen gefunden, die den Abflussprozess maßgeblich beeinflussen.

3.5 Kanalnetz

Das Kanalnetz wurde in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Es herrscht der nach Leitfaden konservative Ansatz, dass beim seltenen und außergewöhnlichen Ereignis die Kapazität des Kanalnetzes bereits ausgeschöpft ist, oder Einläufe mit angeschwemmtem Material zugesetzt werden.

4 VORGEHENSWEISE PROGNOSEBERECHNUNG

4.1 Arbeitsstand Freiraumkonzept

Der aktuelle Arbeitsstand der Freiraumflächenplanung vom 15. August 2023 /2/ wurde als Grundlage für die Prognoseberechnung verwendet. Diese Planung sieht vor, den Starkregenabfluss der Straße Am Hirschgraben in den geplanten Sportplatz als MFR umzuleiten. Deshalb wurde das Sportfeld in der Planung auf 279,40 m NN abgesenkt. Dem multifunktionalen Retentionsraum soll ein Teil des Abflusses von der Straße Am Hirschgraben zugeführt werden. Die Straße Am Hirschgraben ist in der Planung nach Süden geneigt. Am Knotenpunkt zur Flurstraße ist die Straße auf rund 280,50 m NN erhöht (60 cm höher als Bestandshöhe). Im Zuge der Bearbeitung hat sich diese Erhöhung der bestehenden Straße aufgrund der angrenzenden Zufahrten/Anschlüsse um 60 cm als nicht praktikabel herausgestellt. Ein kompletter Straßenausbau zwischen Kühackerstraße und Flurstraße mit Straßenverbreiterung und Tieferlegung wurde nicht mehr untersucht. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 2) zeigt einen Ausschnitt des Freiraumkonzepts.

Nach Angaben der Stadt soll das Vorhaben stufenweisen realisiert werden:

- **Erste Phase:** Die Kindertages- und die Pflegeeinrichtung, sowie die Neugestaltung des Grünbereiches zwischen diesen beiden Bauprojekten und der Grundschule sollen bis 2026 realisiert werden.
- **Zweite Phase:** Die neue Mehrzweckhalle (soll später die August-Lämmle-Halle ersetzen) und die Wohnbebauung auf dem bisherigen Hallenstandort.



Abb. 2 Ausschnitt aus dem Freiraumkonzept (1. Phase mit August Lämmle Halle) vom 15.08.2023 /2/

4.2 Erstellung des Prognosemodells

Am Bestandsmodell wurden die folgenden Anpassungen durchgeführt:

- Rauheiten wurden wie in der Freiraumplanung angepasst. Um den Worst-Case abzubilden, wurden die Rauheiten des südlichen Teils des Areals, die in der zweiten Bauphase realisiert werden sollen, wie im Bestand belassen (MZH, Parkplatz). Dies ist darin begründet, dass durch den Parkplatz das Wasser schneller abfließt (reine Asphaltfläche), als wenn dieser anderweitig bebaut wird (durch Gebäude und Grünflächen).
- Das Bestandsgelände im Bereich des Neubaugebiets wurde ausgeschnitten. Das geplante Geländemodell wurde anhand der im Lageplan des Freiraumkonzept dargestellten Punkte grob interpoliert und mit dem Bestandsmodell verknüpft. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 3) zeigt hier die 3D-Darstellung aus dem Berechnungsmodell.

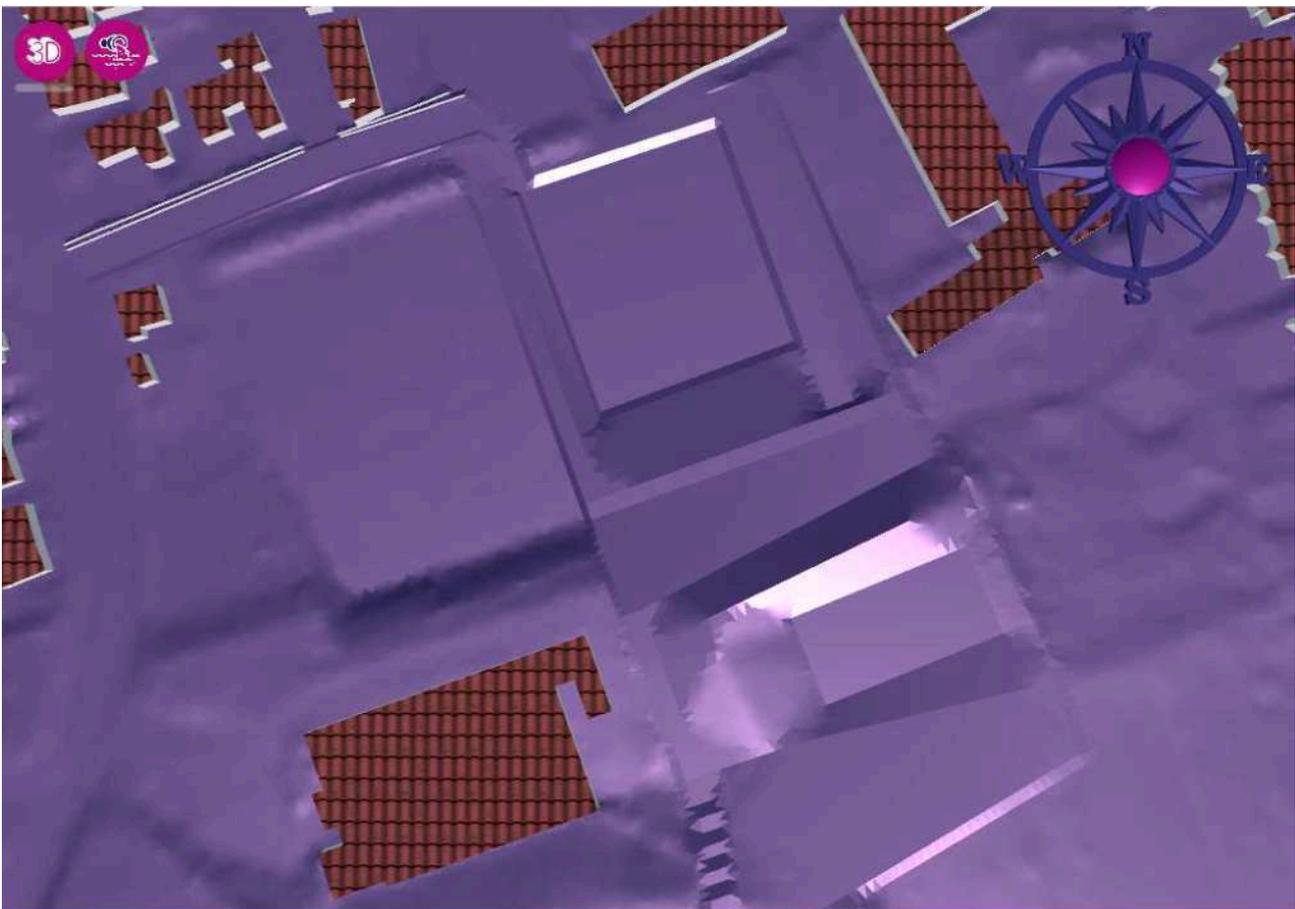


Abb. 3 3D Darstellung Berechnungsmodell mit umgesetztem MFR

- Die Breite des Einlaufbereichs wurde anhand der Gauckler-Manning-Strickler Formel berechnet und dementsprechend ein 1 m breiter Einlaufbereich im Modell verwendet. Nach Testberechnungen reicht diese Breite aus, aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten am Einlaufbereich wird ein breiterer Einlaufbereich empfohlen (um eine Gefahr für Personen, die sich im Abflussstrom bewegen, auszuschließen).
- Die OAKs wurden auf das Modell übertragen. Da das Hauptziel der Studie die multifunktionale Rückhaltung des Abflusses aus der Straße Am Hirschgraben ist, wurde keine OAK-Anpassung im Bereich des Neubaugebiets durchgeführt. Weiterhin wurde ermittelt, um wie viel größer der Abfluss im SKS-Areal durch die zusätzliche Versiegelung ist. Die

Wassermengen betragen beim außergewöhnlichen Ereignis rd. 295 m³ mehr als im Bestand. Im Vergleich zum Abfluss in der Straße Am Hirschgraben (Kontrollquerschnitt KQ01) ist dies ein Anteil von 6,6 %. Zu berücksichtigen ist hier, dass vermutlich nicht die gesamte Wassermenge aus dem Gebiet dem MFR oberflächlich zugeführt werden kann und die Abflussmenge, die oberflächlich dem MFR aus dem SKS-Areal zufließt, ist voraussichtlich geringer. Aus den oben genannten Gründen ist die zusätzliche Versiegelung im Gebiet demnach nicht maßgeblich für die Betrachtungen dieser Studie.

Mit diesen Änderungen wurde das Prognosemodell vorbereitet, mehrmals berechnet und so angepasst, dass möglichst viel Wasser in den Retentionsraum fließt. Für diesen Zweck wurden fiktive Abflusshindernisse (rote Linien in Abb. 4) an der Grundstücksgrenze entlang des Hirschgrabens (100 cm) und an der südlichen Seite der Straße (20 cm) erstellt. Zudem wurde die geplante Höhe des geplanten Wegs östlich der Am Hirschgraben 7 von 280,60 auf 280,50 m NN gesenkt. Dies ist in nachfolgender Abbildung (Abb. 4) gezeigt.



Abb. 4 Fiktive Abflusshindernisse (rote Linien) in der Prognoseberechnung.

5 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den angehängten Planunterlagen dargestellt. Diese zeigen jeweils die maximalen Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten, die beim seltenen und außergewöhnlichen Ereignis auftreten können.

Um die Abflüsse zu bilanzieren, wurden an drei Stellen die Abflussganglinien ausgewertet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Lage der Kontrollquerschnitte. Da im Bestand keine Abflussaufteilung

in der Straße Am Hirschgraben erfolgt, wurde nur der Abfluss am Kontrollquerschnitt KQ01 ausgewertet.



Abb. 5 Lage der Kontrollquerschnitte

5.1 Abfluss Bestandsberechnung

In der Straße Am Hirschgraben bei Hausnummer 7 wurde der Abfluss des Bestandsmodells ermittelt (KQ01). Die Abflüsse betragen 0,68 und 1,4 m³/s für das seltene bzw. außergewöhnliche Ereignis. Das entsprechende Volumen des Abflussstroms für den gesamten Simulationszeitraum (2h) betragen 2.235 bzw. 4.525 m³. In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 6) sind die Abflüsse dargestellt.

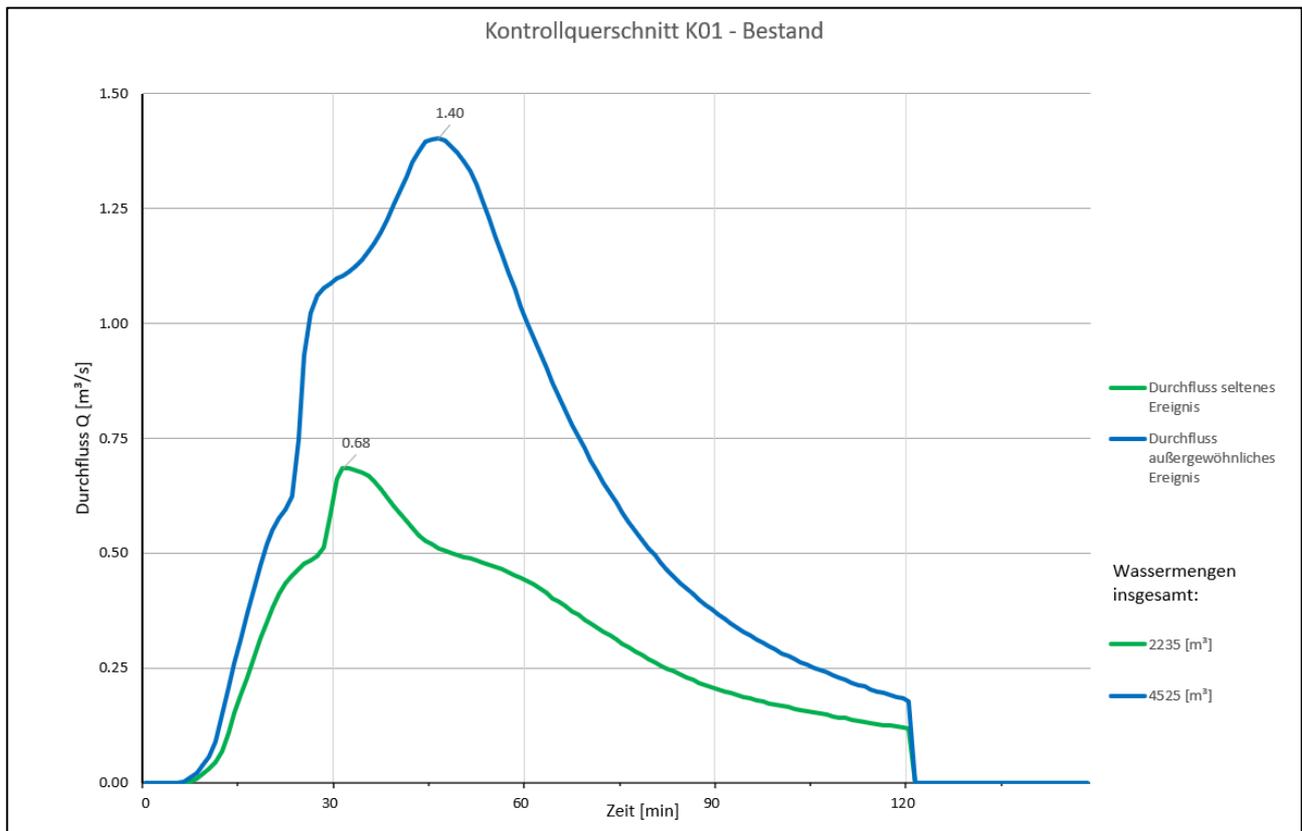


Abb. 6 Abfluss am KQ01 Am Hirschgraben - Bestandsberechnung

5.2 Abflussbilanzierung Prognoseberechnung

Die Abflüsse und Volumina an den Kontrollquerschnitten Am Hirschgraben (KQ01), Flurstraße (KQ02) und Richtung des multifunktionalen Retentionsraums (KQ03) sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

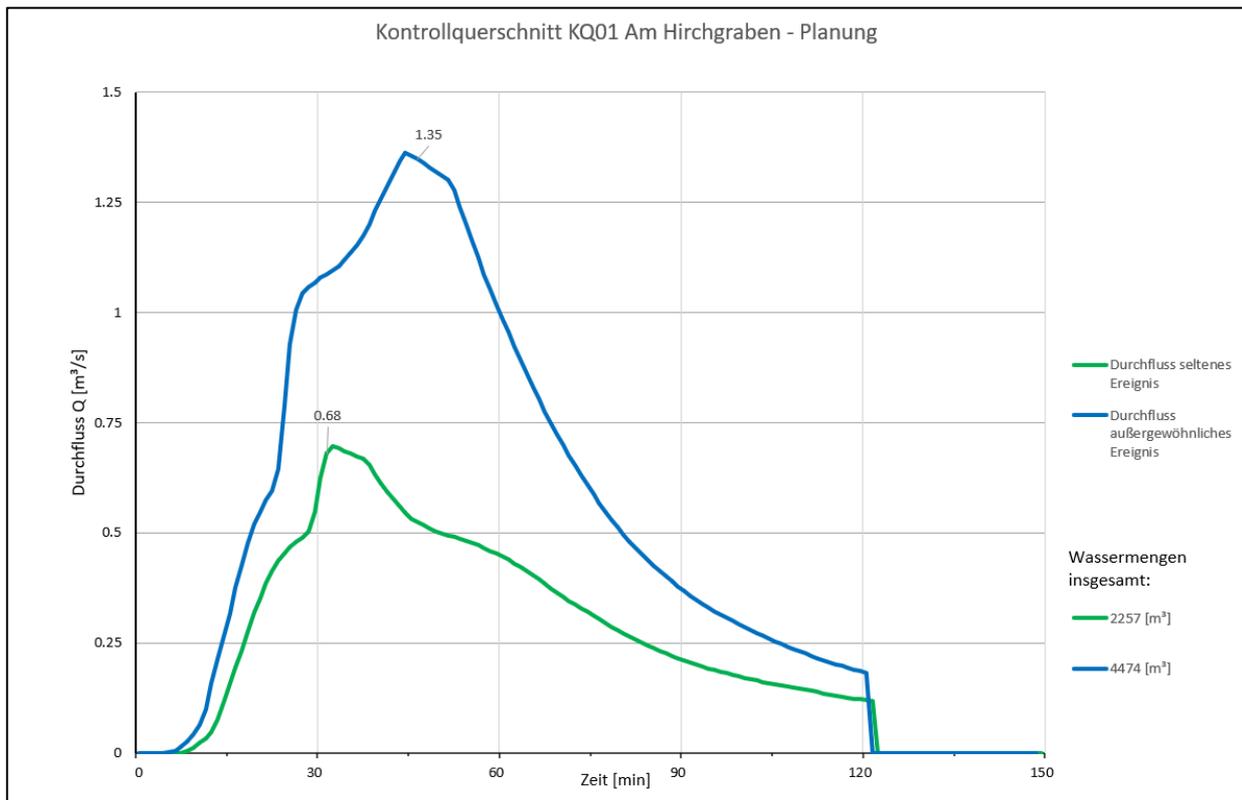


Abb. 7 Abfluss am KQ01 Am Hirschgraben- Prognoseberechnung

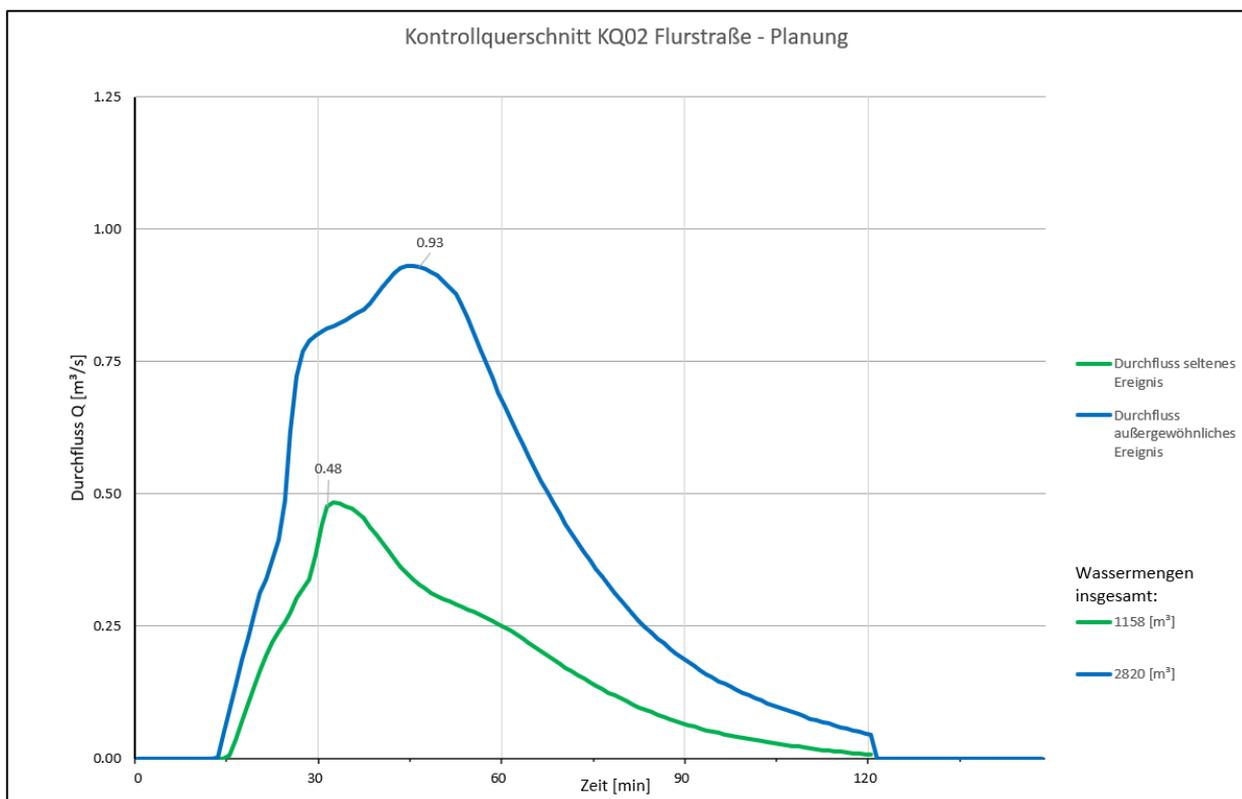


Abb. 8 Abfluss am KQ02 Flurstraße- Prognoseberechnung

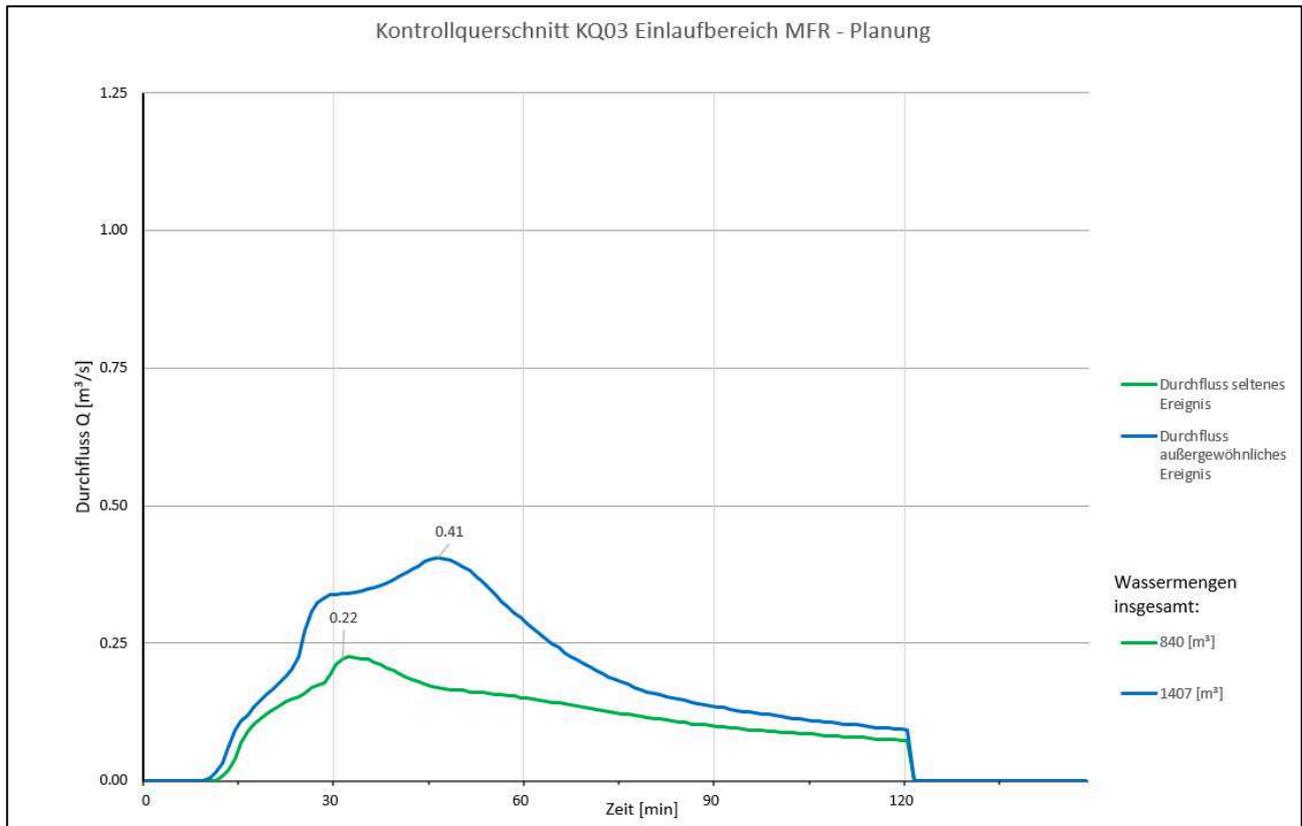


Abb. 9 Abfluss am KQ03 Einlauf MFR – Prognoseberechnung

Zusammenfassend fließen in den MFR beim seltenen Ereignis 37 %, beim außergewöhnlichen Ereignis 31 % des Abflussvolumens der Straße Am Hirschgraben.

5.3 Maximales Rückhaltevolumen

Das Speichervolumen des MFRs am Sportplatz wurde sowohl für das seltene sowie auch das außergewöhnliche Ereignis ermittelt.

Die Rückhaltevolumen (V) und die Wasserspiegelhöhen (WSP) der beiden Ereignisse sind:

Seltenes Ereignis: V= 1.207 m³ und WSP= 279,93 m NN (entspricht 53 cm Einstauhöhe)

Außergewöhnliches Ereignis: V= 1.700 m³ und WSP= 280,15 m NN (entspricht 75 cm Einstauhöhe)

Das im MFR gespeicherte Volumen kommt aus der Straße Am Hirschgraben sowie aus dem Gebiet selbst. Der Volumenanteil des Abflusses aus der Straße Am Hirschgraben berechnet sich folgendermaßen:

$$\frac{\text{Abfluss K03}}{\text{Gespeichertes Volumen MFR}}$$

Der Anteil beträgt rund 70 % für das seltene bzw. 83 % für das außergewöhnliche Ereignis.

5.4 Verbesserung der weiter unterstrom gelegenen Bereiche (u. a. Westfalenstr., Poppenweiler Str., Gmünder Str.)

Um die positive Wirkung des geplanten MFRs für die unteren Bereichen zu quantifizieren, wurde die Differenz der maximalen Überflutungstiefen der Prognoseberechnung und des Bestands erstellt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Differenz der Überflutungstiefen in Prognose minus die Überflutungstiefen der Bestandsberechnung in Meter.

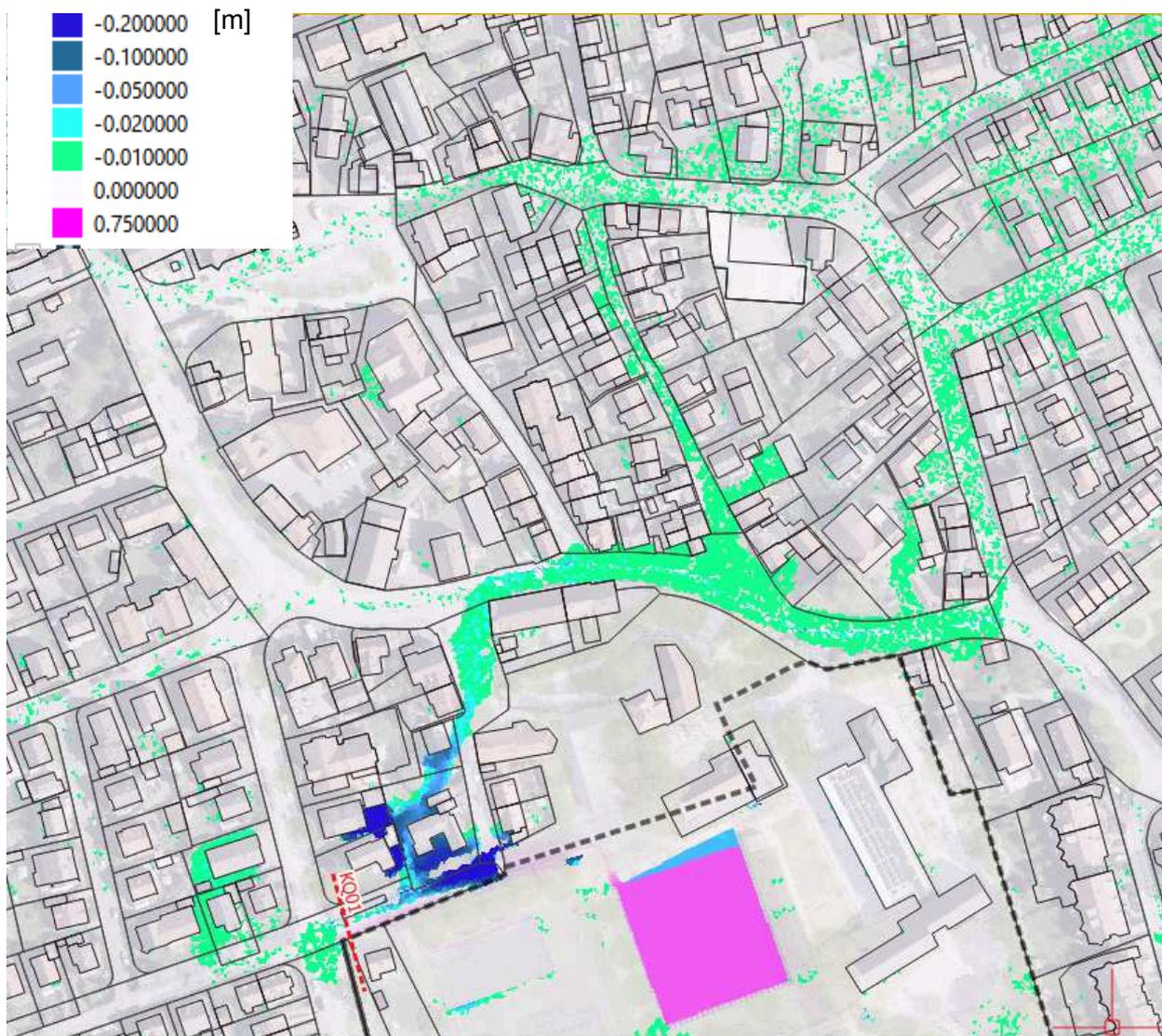


Abb. 10 Überflutungstiefendifferenz zwischen Prognoseberechnung - Bestandsberechnung beim seltenen Ereignis

Für das seltene Ereignis liegt der Differenz in der Westfalenstraße bei rd. -1 cm (grüne Einfärbung). Das heißt die Überflutungstiefen im Bereich Westfalenstraße sind in der Prognoseberechnung rund

1 cm kleiner im Vergleich zur Bestandsberechnung. Beim außergewöhnlichen Ereignis ist der Retentionsraum mehr gefüllt als beim seltenen Ereignis, aus diesem Grund ist die Cyan-Färbung in Abbildung 11 kräftiger.

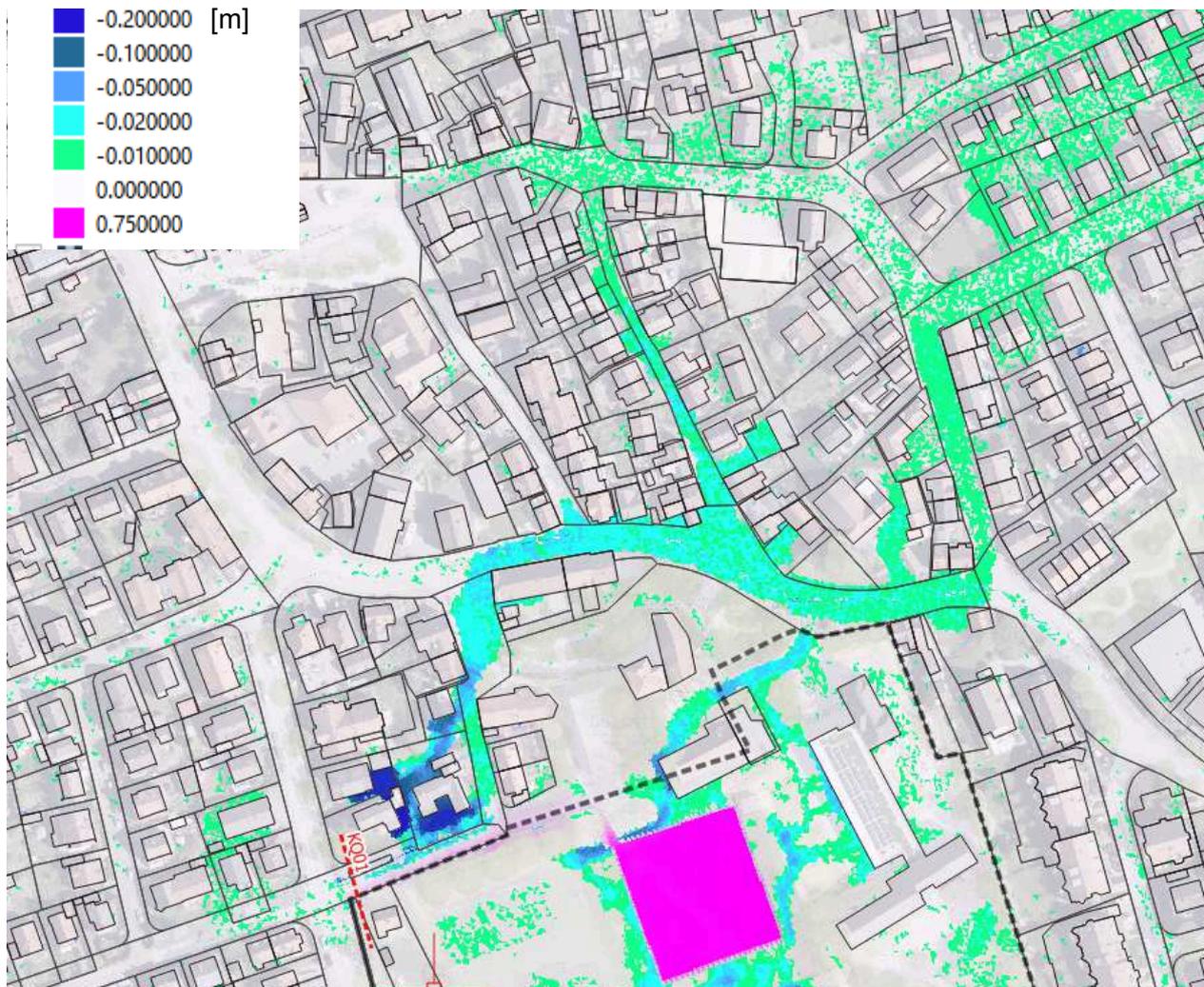


Abb. 11 Überflutungstiefendifferenz zwischen Prognoseberechnung - Bestandsberechnung beim außergewöhnlichen Ereignis

Für das außergewöhnliche Ereignis liegt die Differenz in der Westfalenstraße bei rd. -2 cm (Cyan Einfärbung). Das heißt die Überflutungstiefen im Bereich Westfalenstraße sind in der Prognoseberechnung rd. 2 cm kleiner im Vergleich zur Bestandsberechnung.

Eine deutliche Verbesserung der Überflutung ist an den Gebäuden Am Hirschgraben 8-12 sowie in der Flurstraße 6 – 8 ersichtlich. Diese Verbesserung liegt jedoch nicht am MFR sondern an den fiktiven Mauern, die modelltechnisch an den Grundstücksgrenzen erstellt worden sind.

5.5 Fazit

Nach den obigen Ausführungen ist zusammenfassend zu sagen, dass ein MFR im Bereich des SKS-Areals die Überflutungssituation der Unterlieger bei extremen Starkregen nur sehr geringfügig verbessert. Grund dafür sind die hohen Abflüsse des gesamten Gewässereinzugsgebiets (s. Abb. 1)

sowie die Tatsache, dass der Retentionsraum nur einen kleinen Teil des Gesamteinzugsgebiets fassen kann. Weiterhin hat sich gezeigt, dass eine Erhöhung der Straße um 60 cm im Vergleich zum Bestand nicht möglich ist. Aus diesem Grund wird die Maßnahme in dieser Form nicht empfohlen.

Ob eine andere Möglichkeit (z. B. Verbreiterung der Straße Am Hirschgraben) zu einer besseren Auslastung des MFR führt, kann weitergehend noch untersucht werden. Dies war jedoch nicht mehr Teil dieser Studie. Inwiefern der MFR in Kombinationen mit anderen Maßnahmen eine größere Verbesserung der Situation der Unterlieger erreichen kann, wurde innerhalb dieser Studie ebenfalls nicht untersucht.

6 BERECHNUNG ERFORDERLICHES RÜCKHALTEVOLUMEN SKS-AREAL

6.1 Vorgehensweise

Zusätzlich zur Untersuchung eines multifunktionalen Retentionsraums im Bereich der Sportplatzfläche des SKS-Areals wurde das Retentionsvolumen für ein 30-jährliches und 100-jährliches Regenereignis für die in Abbildung 12 gezeigten Flächen ermittelt (KTA-Fläche (rot), Pflegeheimfläche (lila), Sportplatzfläche (schwarz)). Das Rückhaltevolumen der KITA- bzw. Pflegeheimfläche soll auf ein 30-jährliches Ereignis ausgelegt werden, die Sportplatzfläche bis zu einem 100-jährigen Ereignis. Das Differenzvolumen bis zum 100-jährlichen Ereignis der KITA- bzw. Pflegeheimfläche soll zusätzlich im Sportplatzbereich oberflächlich zwischengespeichert werden.

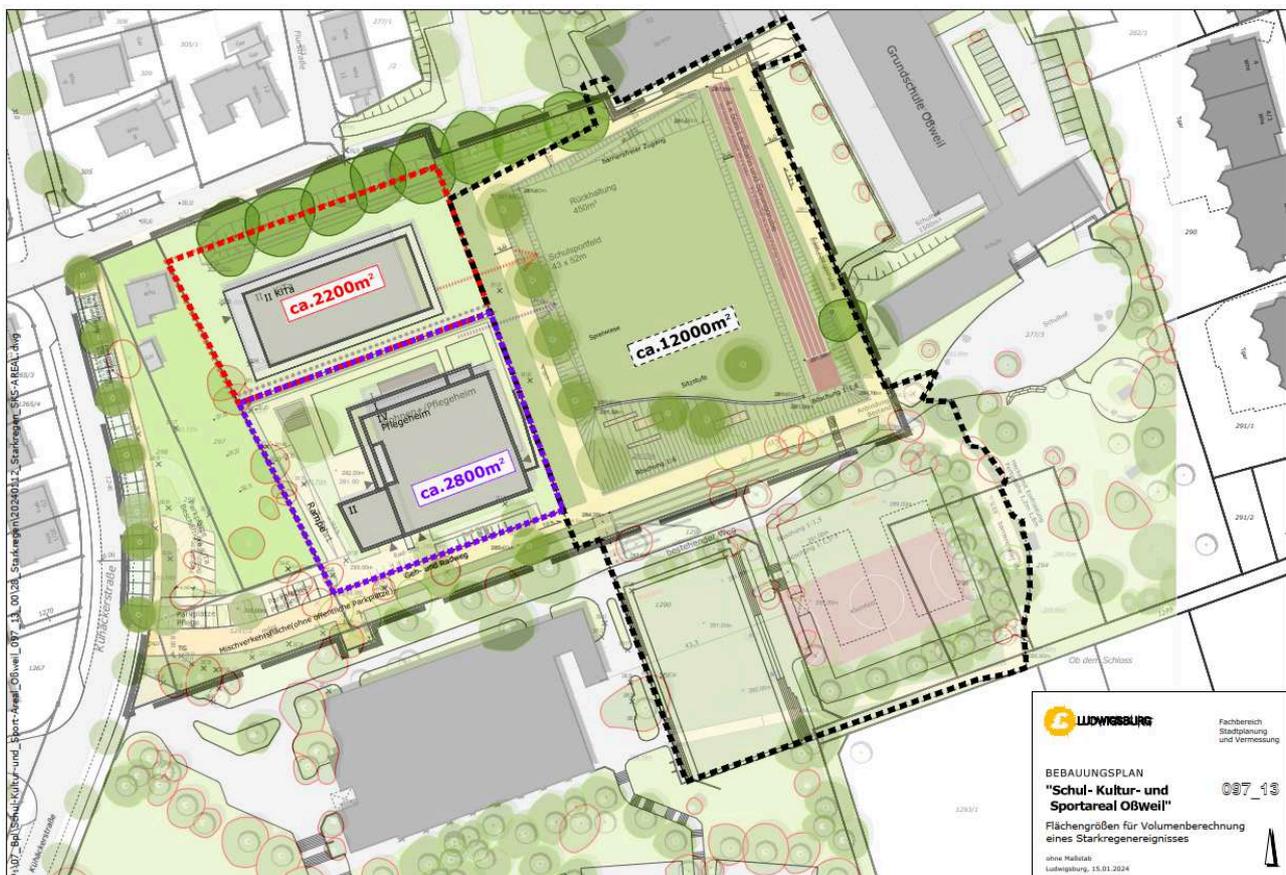


Abb. 12 Flächenaufteilung SKS-Areal zur Berechnung des Retentionsvolumens

Die Berechnung des Rückhaltevolumens erfolgte nach dem einfachen Verfahren nach DWA-A-117 /4/. Die Regendaten sind dem KOSTRA Atlas des Deutschen Wetterdienstes für das Rasterfeld 132, 187 Ludwigsburg entnommen. Die verwendeten Niederschlagshöhen finden sich in Anhang 1 zu diesem Bericht. Die (vereinfachte) Berechnungsmethodik ist dabei nach DWA-A-117 formal nur bis zu einem 10-jährlichen Regenereignis zulässig. Ein Nachweis mittels Langzeitsimulation, den das Regelwerk hier sonst vorsieht, würde jedoch den Umfang des derzeitigen Projekts übersteigen. Eine grobe Abschätzung für die erforderlichen Volumina kann nach Einschätzung der Autoren auch mit dem vereinfachten Verfahren gegeben werden.

Weiterhin wurden folgende Angaben/Annahmen verwendet:

Abflusswirksame Flächen

Bei der Kita- und Pflegeheimfläche wird, abgeleitet aus dem vorliegenden Plan (Abb. 12), ein Grünanteil von 50 % angenommen, die restliche Fläche wird als Dachfläche angenommen. Bei der Sportplatzfläche herrscht die Annahme, dass der Flächentyp dieser Fläche homogen ist. Der Bereich, auf dem die (oberflächige) Rückhaltung stattfindet, ist allerdings in Bezug auf die Abflussbilanz als vollversiegelt anzusehen. Er wird nach Abb. 12 zu 25 % geschätzt.

Für Dachflächen und vollversiegelte Flächen kann bei Starkregenereignissen der Abflussbeiwert mit 100 % angesetzt werden. Für die Grünfläche und die Sportplatzfläche würde der Ansatz der Befestigungsgrade, wie Sie normalerweise in der Methodik des einfachen Verfahrens verwendet werden, aufgrund der gewählten, hohen Jährlichkeiten nicht zu plausiblen Ergebnissen führen.

Um trotzdem eine Abschätzung der abflusswirksamen Fläche zu geben, wurden die OAK der vorausgegangenen Starkregenuntersuchung für ein seltenes (für T=30) und für ein außergewöhnliches Ereignis ausgewertet (T=100). Die OAK stellen den reinen Abfluss abzüglich aller Verluste (Versickerungs-, Verdunstungs- und Benetzungsverluste) bezogen auf eine Fläche von 1 m² dar. Über einen Flächenvergleich wurde nun der abflusswirksame Flächenanteil für den Flächentyp „Grünfläche“ und „Sportplatzfläche“ ermittelt. Dabei wurde die Auswertung von Dachflächen als Referenz genommen (Abflussbeiwert: 100 %). Dieser Wert wurde ins Verhältnis gesetzt zu einem vergleichbaren Flächentyp der zukünftigen Bebauung in der unmittelbaren Nähe des Gebiets (alte Sportplatzfläche und Grünfläche), siehe Tab. 2.

Mit dem berechneten Abflussanteil wurden die Gesamtflächen entsprechend reduziert, siehe Tab. 3.

Tab. 2 Auswertungen OAK

Sportareal			
Ereignis	Dach [mm]	Grünfläche Sportplatz [mm]	Anteil [%]
SEL	38,6	9,4	24
AUS	49,4	18,2	37
Grünfläche Kita und Pflegeheim			
Ereignis	Dach [mm]	Grünfläche westlich Mehrzweckhalle [mm]	Anteil [%]
SEL	38,6	12,9	33
AUS	49,4	22,3	45

Drosselabfluss

Der Drosselabfluss wurde aus dem Entwässerungskonzept (/3/) übernommen, dass für das SKS-Areal aufgestellt wurde. Dieser beträgt 43 l/s x ha.

6.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich zusammengefasst in Tabelle 3. Weiterhin sind die detaillierten Berechnungen für die einzelnen Flächen in Anhang 2 dokumentiert.

Tab. 3 Ergebnisse Rückhalteberechnungen

EZG-Name	Fläche [m ²]	Abflusswirksame Fläche [m ²]	Drosselmenge [l/s]	Erf. Rückhaltevolumen [m ³]
KITA (T=30)	2.200	1.468	9,5	29
KITA (T=100)	2.200	1.597	9,5	46
Pflegeheim (T=30)	2.800	1.868	12,0	37
Pflegeheim (T=100)	2.800	2.032	12,0	58
Sportareal (T=30)	12.000	5.192	51,6	82
Sportareal (T=100)	12.000	6.316	51,6	153
Überlauf Sportplatz (T=100)	-	-	-	39
Sportareal gesamt (T=100)	-	-	-	192

Bei einem 30-jährlichen Ereignis beträgt das Rückhaltevolumen für die KITA-Fläche 29 m³ sowie für die Pflegeheimfläche 37 m³.

Das Überlaufvolumen in den Sportplatzbereich aus der Kita und Pflegeheimfläche beträgt 39 m³. Insgesamt beläuft sich das Rückhaltevolumen für den Sportplatz bei einem 100-jährlichen Ereignis auf 192 m³.

7 UMWELTSCHUTZ / NACHHALTIGKEIT / KLIMASCHUTZ DER GEPLANTEN MAßNAHME

Die Stadt Ludwigsburg hat einen wichtigen Schritt unternommen, um ein Anpassungskonzept an den Klimawandel in der Stadtplanung zu integrieren. Eine frühzeitige Untersuchung auf mögliche Rückhaltemaßnahmen, um die Unterlieger vor Überflutung zu schützen, ist trotz in diesem Fall negativem Ergebnis in Zukunft unabdingbar.

Klinger und Partner
Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Mittlerer Pfad 5 • 70499 Stuttgart
Telefon: 0711 693308-0 • Telefax: 0711 693308-99
E-Mail: info@klinger-partner.de
Internet: <http://www.klinger-partner.de>

Aufgestellt:
Kevin Knoche, M.Sc.

Stuttgart, 20.03.2024
TS-06101 köm/kno/kno



Andreas Maier
Geschäftsführer

i. A.



Kevin Knoche
Projektleiter

ANLAGENVERZEICHNIS

- | | | |
|---|---|---------------|
| 1 | Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Seltenes Ereignis- Bestandsberechnung | M.: 1 : 1.500 |
| 2 | Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Außergewöhnliches Ereignis- Bestandsberechnung | M.: 1 : 1.500 |
| 3 | Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten– Seltenes Ereignis- Prognoseberechnung | M.: 1 : 1.500 |
| 4 | Lageplan: Maximale Überflutungstiefen und max. Fließgeschwindigkeiten – Außergewöhnliches Ereignis - Prognoseberechnung | M.: 1 : 1.500 |

UNTERLAGENVERZEICHNIS

- | | | |
|---|--|-----------|
| 1 | Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Stand 2017 | |
| 2 | SKS-Areal LB-Oßweil, Entwicklung einer Freiraumkonzeption (Arbeitsstand), Faktor Grün, Vorabzug 15.08.2023 | |
| 3 | Entwässerungskonzeption SKS-Areal, Klinger und Partner GmbH, Projekt. Nr. TS-05595, März 2022 | |
| 4 | DWA-A 117 „Bemessung von Regenrückhalterräumen“, Dezember 2013, Hennef | Regelwerk |

ANHANG MIT VERZEICHNIS

- 1) Anhang 1 Niederschlagshöhen nach KOSTA-DWD 2020 23
- 2) Anhang 2 Berechnung Rückhaltevolumina 24

1) Anhang 1 Niederschlagshöhen nach KOSTA-DWD 2020

Rasterfeld : Spalte 132, Zeile 187
 Ortsname : Ludwigsburg (BW)
 Bemerkung :

Dauerstufe D	Niederschlagspenden rN [l/(s·ha)] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	206,7	256,7	286,7	326,7	383,3	443,3	480,0	533,3	603,3
10 min	148,3	183,3	203,3	231,7	273,3	315,0	343,3	378,3	430,0
15 min	116,7	144,4	161,1	183,3	215,6	248,9	270,0	298,9	340,0
20 min	97,5	120,0	134,2	153,3	180,0	207,5	225,8	249,2	283,3
30 min	74,4	91,7	102,8	116,7	137,2	158,3	172,2	190,0	216,1
45 min	55,9	68,9	77,0	87,8	103,0	118,9	129,3	143,0	162,6
60 min	45,3	55,8	62,5	71,1	83,6	96,7	105,0	116,1	131,9
90 min	33,5	41,5	46,3	52,8	61,9	71,5	77,8	85,9	97,6
2 h	26,9	33,3	37,2	42,4	49,9	57,5	62,5	69,2	78,5
3 h	19,8	24,4	27,3	31,1	36,6	42,2	45,9	50,7	57,6
4 h	15,9	19,6	21,9	24,9	29,3	33,8	36,8	40,6	46,2
6 h	11,6	14,3	16,0	18,2	21,4	24,7	26,9	29,7	33,8
9 h	8,5	10,5	11,7	13,3	15,6	18,0	19,6	21,7	24,6
12 h	6,8	8,4	9,3	10,6	12,5	14,4	15,7	17,3	19,7
18 h	4,9	6,1	6,8	7,7	9,1	10,5	11,4	12,6	14,3
24 h	3,9	4,9	5,4	6,2	7,3	8,4	9,1	10,1	11,4
48 h	2,3	2,8	3,2	3,6	4,2	4,9	5,3	5,8	6,6
72 h	1,7	2,1	2,3	2,6	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8
4 d	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,9
5 d	1,1	1,4	1,5	1,8	2,1	2,4	2,6	2,8	3,2
6 d	1,0	1,2	1,3	1,5	1,8	2,1	2,2	2,5	2,8
7 d	0,9	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5

Legende

- T Wiederkehrintervall, Jährlichkeit in [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
- D Dauerstufe in [min, h, d]: definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen
- rN Niederschlagspende in [l/(s·ha)]

2) Anhang 2 Berechnung Rückhaltevolumina

Bemessung der Regenrückhaltebecken KITA

Wiederkehrzeit T (in a) = 30 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m ³ /ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fZ	fA	n	Hilfsfunktion f1	Fließzeit tf min
125,6	480,0	64,5	5	1,1	0,916	0,2	0,835	10
168,6	343,3	64,5	10	1,1	0,916	0,2	0,835	10
186,4	270,0	64,5	15	1,1	0,916	0,2	0,835	10
195,1	225,8	64,5	20	1,1	0,916	0,2	0,835	10
195,5	172,2	64,5	30	1,1	0,916	0,2	0,835	10
176,4	129,3	64,5	45	1,1	0,916	0,2	0,835	10
147,1	105,0	64,5	60	1,1	0,916	0,2	0,835	10
72,6	77,8	64,5	90	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-14,2	62,5	64,5	120	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-202,0	45,9	64,5	180	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-401,4	36,8	64,5	240	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-817,6	26,9	64,5	360	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-1464,8	19,6	64,5	540	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-2122,8	15,7	64,5	720	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-3465,0	11,4	64,5	1080	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-4820,3	9,1	64,5	1440	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-10302,4	5,3	64,5	2880	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-15819,4	3,9	64,5	4320	1,1	0,916	0,2	0,835	10

Max. spez. V
195,5

	A _U [ha]	Erf. V [m ³]	Q _{ab} l/s]
	0,15	29	9,5
=> A _U [m ²]	1.468		
=> A _E [m ²]	2.200		

130

m³ / ha gesamt angeschlossene Fläche

Bemessung der Regenrückhaltebecken KITA

Wiederkehrzeit T (in a) = 100 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m ³ /ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fZ	fA	n	Hilfsfunktion f1	Fließzeit tf min
165,4	603,3	59,3	5	1,1	0,921	0,2	0,846	10
225,5	430,0	59,3	10	1,1	0,921	0,2	0,846	10
256,1	340,0	59,3	15	1,1	0,921	0,2	0,846	10
272,5	283,3	59,3	20	1,1	0,921	0,2	0,846	10
286,1	216,1	59,3	30	1,1	0,921	0,2	0,846	10
282,8	162,6	59,3	45	1,1	0,921	0,2	0,846	10
265,1	131,9	59,3	60	1,1	0,921	0,2	0,846	10
209,9	97,6	59,3	90	1,1	0,921	0,2	0,846	10
140,5	78,5	59,3	120	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-18,1	57,6	59,3	180	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-190,5	46,2	59,3	240	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-557,2	33,8	59,3	360	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-1137,9	24,6	59,3	540	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-1731,8	19,7	59,3	720	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-2952,3	14,3	59,3	1080	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-4190,3	11,4	59,3	1440	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-9221,3	6,6	59,3	2880	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-14304,8	4,8	59,3	4320	1,1	0,921	0,2	0,846	10

Max. spez. V
286,1

	A _U [ha]	Erf. V [m ³]	Q _{ab} l/s]
	0,16	46	9,5
=> A _U [m ²]	1.597		
=> A _E [m ²]	2.200		

Bemessung der Regenrückhaltebecken Pflegeheim

Wiederkehrzeit T (in a) =30 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m3/ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fZ	fA	n	Hilfsfunktion f1	Fließzeit tf min
125,6	480,0	64,5	5	1,1	0,916	0,2	0,835	10
168,6	343,3	64,5	10	1,1	0,916	0,2	0,835	10
186,4	270,0	64,5	15	1,1	0,916	0,2	0,835	10
195,1	225,8	64,5	20	1,1	0,916	0,2	0,835	10
195,5	172,2	64,5	30	1,1	0,916	0,2	0,835	10
176,4	129,3	64,5	45	1,1	0,916	0,2	0,835	10
147,1	105,0	64,5	60	1,1	0,916	0,2	0,835	10
72,6	77,8	64,5	90	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-14,2	62,5	64,5	120	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-202,0	45,9	64,5	180	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-401,4	36,8	64,5	240	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-817,6	26,9	64,5	360	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-1464,8	19,6	64,5	540	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-2122,8	15,7	64,5	720	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-3465,0	11,4	64,5	1080	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-4820,3	9,1	64,5	1440	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-10302,4	5,3	64,5	2880	1,1	0,916	0,2	0,835	10
-15819,4	3,9	64,5	4320	1,1	0,916	0,2	0,835	10

Max. spez. V
195,5

	A_U [ha]	Erf. V [m³]	Q_{ab} l/s]
	0,19	37	12,0
=> A _U [m ²]	1.868		
=> A _E [m ²]	2.800		

Bemessung der Regenrückhaltebecken Pflegeheim

Wiederkehrzeit T (in a) = 100 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m ³ /ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fZ	fA	Hilfsfunktion		Fließzeit tf min
						n	f1	
165,4	603,3	59,3	5	1,1	0,921	0,2	0,846	10
225,5	430,0	59,3	10	1,1	0,921	0,2	0,846	10
256,1	340,0	59,3	15	1,1	0,921	0,2	0,846	10
272,5	283,3	59,3	20	1,1	0,921	0,2	0,846	10
286,1	216,1	59,3	30	1,1	0,921	0,2	0,846	10
282,8	162,6	59,3	45	1,1	0,921	0,2	0,846	10
265,1	131,9	59,3	60	1,1	0,921	0,2	0,846	10
209,9	97,6	59,3	90	1,1	0,921	0,2	0,846	10
140,5	78,5	59,3	120	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-18,1	57,6	59,3	180	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-190,5	46,2	59,3	240	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-557,2	33,8	59,3	360	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-1137,9	24,6	59,3	540	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-1731,8	19,7	59,3	720	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-2952,3	14,3	59,3	1080	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-4190,3	11,4	59,3	1440	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-9221,3	6,6	59,3	2880	1,1	0,921	0,2	0,846	10
-14304,8	4,8	59,3	4320	1,1	0,921	0,2	0,846	10

Max. spez. V
286,1

	A_U [ha]	Erf. V [m³]	Q_{ab} l/s]
	0,20	58	12,0
=> A _U [m ²]	2.032		
=> A _E [m ²]	2.800		

Bemessung der Regenrückhaltebecken Sportareal

Wiederkehrzeit T (in a) =30 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m3/ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fz	fA	n	Hilfsfunktion f1	Fließzeit tf min
117,0	480,0	99,4	5	1,1	0,931	0,2	0,865	10
149,9	343,3	99,4	10	1,1	0,931	0,2	0,865	10
157,3	270,0	99,4	15	1,1	0,931	0,2	0,865	10
155,4	225,8	99,4	20	1,1	0,931	0,2	0,865	10
134,3	172,2	99,4	30	1,1	0,931	0,2	0,865	10
82,7	129,3	99,4	45	1,1	0,931	0,2	0,865	10
20,7	105,0	99,4	60	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-119,4	77,8	99,4	90	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-272,1	62,5	99,4	120	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-591,8	45,9	99,4	180	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-923,3	36,8	99,4	240	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-1604,0	26,9	99,4	360	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-2648,2	19,6	99,4	540	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-3703,6	15,7	99,4	720	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-5840,8	11,4	99,4	1080	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-7991,3	9,1	99,4	1440	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-16655,2	5,3	99,4	2880	1,1	0,931	0,2	0,865	10
-25354,6	3,9	99,4	4320	1,1	0,931	0,2	0,865	10

Max. spez. V

157,3

	A _U [ha]	Erf. V [m³]	Q _{ab} l/s]
	0,52	82	51,6
=> A _U [m²]	5.192		
=> A _E [m²]	12.000		

Bemessung der Regenrückhaltebecken Sportareal

Wiederkehrzeit T (in a) =100 a

Niederschlagswerte DWD-Raster (S, Z =) 132,187

Spez. Speichervolumen m ³ /ha	Regenspende qr l/(s*ha)	Regenanteil der Drosselabflußspende qd l/(s*ha _U)	Dauerstufe min	fZ	fA	n	Hilfsfunktion f1	Fließzeit tf min
156,8	603,3	81,7	5	1,1	0,911	0,2	0,825	10
209,4	430,0	81,7	10	1,1	0,911	0,2	0,825	10
232,9	340,0	81,7	15	1,1	0,911	0,2	0,825	10
242,4	283,3	81,7	20	1,1	0,911	0,2	0,825	10
242,4	216,1	81,7	30	1,1	0,911	0,2	0,825	10
218,8	162,6	81,7	45	1,1	0,911	0,2	0,825	10
181,0	131,9	81,7	60	1,1	0,911	0,2	0,825	10
86,0	97,6	81,7	90	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-23,1	78,5	81,7	120	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-260,7	57,6	81,7	180	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-512,1	46,2	81,7	240	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-1036,5	33,8	81,7	360	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-1853,3	24,6	81,7	540	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-2683,2	19,7	81,7	720	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-4375,3	14,3	81,7	1080	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-6084,7	11,4	81,7	1440	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-13000,4	6,6	81,7	2880	1,1	0,911	0,2	0,825	10
-19967,9	4,8	81,7	4320	1,1	0,911	0,2	0,825	10

Max. spez. V
242,4

	A_U [ha]	Erf. V [m³]	Q_{ab} l/s]
	0,63	153	51,6
=> A _U [m ²]	6.316		
=> A _E [m ²]	12.000		