



Februar 2023

Erläuterungsbericht

Hydrologische Untersuchung „Am Steinlech“ - Entwässerungskonzept

Stadt Landshut

Kontakt



Fichtner Water &
Transportation GmbH
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart

www.fwt.fichtner.de

Standort München

+49 (89) 4110942-0

muenchen@fwt.fichtner.de

Fichtner Water & Transportation GmbH

Bothestraße 13

81675 München

Freigabevermerk

	Name	Funktion	Datum	Unterschrift
Erstellt:	Wycisk	Projektingenieur	22.02.2023	
Geprüft / freigegeben:	Kanne	Projektleitung	22.02.2023	

Revisionsverzeichnis

Rev.	Datum	Erstellt	Änderungsstand	Dateiname
0	22.02.2023	Kanne	-	9-1193_Machbarkeit-Steinlech-Landshut_skan_230222.pdf

Disclaimer

Der Inhalt dieses Dokumentes ist ausschließlich für den Auftraggeber von Fichtner und andere vertraglich vereinbarte Empfänger bestimmt. Er darf nur mit Zustimmung des Auftraggebers ganz oder auszugsweise und ohne Gewähr Dritten zugänglich gemacht werden. Fichtner haftet gegenüber Dritten nicht für die Vollständigkeit und Richtigkeit der enthaltenen Informationen.

Inhalt

Quellen	7
1 Aufgabenstellung	8
2 Planungsgrundlagen	9
3 Bestehende Verhältnisse	10
4 Vermessung und digitales Geländemodell	11
5 Außengebietsentwässerung	14
5.1 Vorgehen und Randbedingungen	14
5.2 Hydrologie	14
5.2.1 Vorgehensweise	14
5.2.2 KOSTRA-Daten	15
5.2.3 Ermittlung Abflussbeiwerte (SCS-Verfahren)	15
5.2.4 Ermittlung Effektivniederschlag	18
5.3 2D-HN-Modell	19
5.3.1 Grundlagen	19
5.3.2 Modellerstellung Planzustand	20
5.3.3 Randbedingungen und Szenarien	21
5.3.4 Auswertung Abfluss durch Messquerschnitte	21
5.3.5 Auswertung Rückhaltevolumen	22
5.4 Rückhaltebecken	24
5.5 Zulauf zum Rückhaltebecken	29
6 Innengebietsentwässerung	30
6.1 Gebietsaufteilung	30
6.2 Ableitung	31
6.3 Rückhaltung	33
6.4 Behandlungsbedarf	34
6.5 Überflutungsschutz	34
7 Kostenansatz	36
8 Zusammenfassung	37

Tabellen

Tabelle 1: Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R	15
Tabelle 2: verwendete Landnutzungen und ausgewählte CN-Werte	17
Tabelle 3: ermittelte Abflussbeiwerte ABW für Jährlichkeit T=100a	17
Tabelle 4: angesetzte wassertiefenabhängige Rauheitsbeiwerte k_{st}	20

Tabelle 5: berechnete maximale Abflüsse durch den Kontrollquerschnitt HRB für verschiedene Dauerstufen	22
Tabelle 6 Flächen, mittlerer Abflussbeiwert, Spitzenabflussbeiwert und abflusswirksamen Flächen aller Flächentypen	30
Tabelle 7 Kanaldurchmesser für Bemessungsregen mit Jährlichkeit 5a und Dauer 5 Minuten	33
Tabelle 8 Matrix des erforderliches Speichervolumen für die Jährlichkeiten 5a, 30a und 100a und Drosselabflüsse 20 l/s, 30 l/s und 40 l/s	33
Tabelle 9: Kostenansatz	36

Abbildungen

Abbildung 1: Ausschnitt des 3D-Modells „am Steinlech“, mit Lage der Bodenkontrollpunkte	11
Abbildung 2: Klassifizierung der Punktwolke zur Unterscheidung zwischen „Gelände“ und „nicht Gelände“	12
Abbildung 3: Resultierendes digitales Geländemodell. Zu Darstellungszwecken mit der Vegetation und der Bebauung als lila Punktwolke	12
Abbildung 4: Klassifizierung von Bodentypen in Landshut gemäß Bericht [20]. Der rote Punkt zeigt die Lage des Baubereiches „Am Steinlech“	16
Abbildung 5: Einteilung der Bodenfeuchtklasse für das SCS-Verfahren	16
Abbildung 6: Beiwerte zu einer zeitlichen Verteilung der Niederschlagshöhe bzw. -intensität gemäß DVWK-Regel 113	18
Abbildung 7: zeitliche Verteilung der absoluten Niederschlagshöhe (N) als Intensität (mm/h, rote Linie) und Akkumulierte Niederschlagshöhe (mm, blaue Linie) für T=100a, D=1h	18
Abbildung 8. Intensitätsganglinien für absoluten und Effektivniederschlag bei der Landnutzung „Wald“ (Abflussbeiwert ABW=0,36) bei T=100a und D=1h.	19
Abbildung 9: Lageplan der im Modell angesetzten Landnutzungen	21
Abbildung 10: Ausschnitte zur Fassung von berechneten Abflüssen ins geplante HRB	22
Abbildung 11: Anteile der Einzugsgebiete am Beckenvolumen für Bemessungsereignis T = 100, D = 9h.24	
Abbildung 12: Dammfäche und Wasserfläche für ein Regenrückhaltebecken	26
Abbildung 13: Dammfächen und Wasserflächen für zwei Regenrückhaltebecken	26
Abbildung 14: Längsschnitt mit Rückhaltebecken und max. Stauspiegel bei einem und bei 2 Becken	27
Abbildung 15: 3D-Ansicht ein Regenrückhaltebecken	28
Abbildung 16: 3D-Ansicht zwei Regenrückhaltebecken	28
Abbildung 17: Ableitungen zum Rückhaltebecken	29
Abbildung 18 Siedlung mit Flächentypenzuweisen	31
Abbildung 19 Angesetztes Entwässerungssystem	32

Anlagen

Anlage 1	Übersichtslageplan
Anlage 2	Hydrologie, SCS-Verfahren
Anlage 3	Hydrologie, Ganglinien zur Effektivniederschlags-intensität (mm/h), T=100a
Anlage 4	Lage Kontrollquerschnitt Abflussmessung HRB
Anlage 5	berechnete Abflüsse HRB, T=100a
Anlage 6	Erforderliche Beckengrößen
Anlage 7	Qualitätsbericht Auswertung Rasterbefliegung

Abkürzungen

FWT	Fichtner Water & Transportation
-----	---------------------------------

Quellen

- [1] USDA (United States Department of Agriculture), „Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55,“ Conservation Engineering Division, USA, 1986.
- [2] DVWK-Regel 113, Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, 1984.
- [3] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Hinweise zur Plausibilisierung von Starkregengefahrenkarten durch die Unteren Wasserbehörden (UWB),“ LUBW, 2019.
- [4] DWA-M522, Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken.
- [5] DWA-M 153 , Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, August 2007.
- [6] DIN 1986-100 , Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Dezember 2016.
- [7] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser e.V., Arbeitsblatt DWA-A 117 Bemessung von Rückhalteräumen, Dezember 2013.
- [8] DWA-A 110 , Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen, August 2006.
- [9] RAS-Ew, Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) - Teil: Entwässerung - RAS-Ew, 2005.
- [10] KOSTRA-DWD 2010R, Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R - Spalte 54, Zeile 87 - 84036 Landshut, n.y..
- [11] BWK-Fachinformation 1/2013, Starkregen und urbane Sturzfluten - Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, 2013.
- [12] DWA-A 113, „Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserdrucksystemen,“ DWA, 2016.
- [13] DWA-A 102-2, Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer - Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen, August 2022.
- [14] DWA-A 117, Bemessung von Regenrückhalteräumen, Dezember 2013.
- [15] DWA-A 118, Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, März 2006.

1 Aufgabenstellung

Die Stadt Landshut plant eine Bebauung der Flächen oberhalb der Straße „Am Steinlech“, wie in Anlage 1 dargestellt. Diese Flächen liegen am Hang eines Talkessels, der seinen Tiefpunkt im Bereich des im Lageplan eingetragenen Standorts für ein Rückhaltebecken hat. Das Einzugsgebiet ist in Anlage 1 rot umrandet dargestellt.

Das ganze Gebiet weist geologisch sehr schwierige Verhältnisse auf. Eine Versickerung von Niederschlagswasser ist aufgrund von undurchlässigen Bodenschichten nicht möglich. Gleichfalls scheidet eine Versickerung in tieferliegende Bodenschichten in Form von Schluckbrunnen zur Tiefenversickerung im Bereich des Rückhaltebeckens aufgrund der Ablehnung des zuständigen Wasserwirtschaftsamtes grundsätzlich aus.

Bei Starkregenereignissen kommt es zudem aus dem Gebiet regelmäßig zu oberflächigen Abflüssen größerer Wassermengen in die westlich angrenzenden bebauten Bereiche mit teilweisen Überflutungen.

Um vor dem o.g. Hintergrund sowohl die geplante Bebauung realisieren zu können als auch die westlich angrenzenden Bereiche vor den Folgen von Starkregenereignissen schützen zu können, plant die Stadt Landshut folgende Maßnahmen:

- Lenkungsmaßnahmen zum schadlosen oberflächigen Abfluss von Niederschlagswasser sowie Pufferungsmaßnahmen im Bereich der geplanten Bebauung bei Starkregenereignissen und auch sonstigen Regenereignissen,
- Erstellung eines oder mehrerer Rückhaltebecken für die Rückhaltung und den gedrosselten Abfluss von Niederschlagswasser in die bestehende Kanalisation (Trennsystem).

Das vorliegende Konzept bearbeitet die folgenden Fragen

- Pufferung und Ableitung von häufigen Regenereignissen in der im Rahmen der geplanten Bebauung zu erstellenden Kanalisation (Trennsystem), inkl. Einleitung in das / die Regenrückhaltebecken,
- Pufferung und schadlose oberflächige Ableitung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen aus auch zukünftig unbebauten Bereichen, inkl. Einleitung in das / die Regenrückhaltebecken,
- Konzeptionierung und Dimensionierung von einem oder mehreren Regenrückhaltebecken.

Bei der Bearbeitung wird wie folgt vorgegangen:

- Vermessung des bestehenden Geländes zur Schaffung eines digitalen Geländemodells mittels Drohnenbefliegung
- Erstellung eines Niederschlagabflussmodells des gesamten abflusswirksamen Einzugsgebiets im Planzustand zur Ermittlung anfallenden Niederschlagsmengen
- Erstellung eines 2D-hydraulischen Modells für den Planzustand zur Simulation des Gebietsabflusses und Ermittlung der Zuflüsse zu den Standorten der Rückhaltebecken
- Erstellung eines Entwässerungskonzeptes für die Niederschlagsentwässerung im Bereich der geplanten Bebauung (inkl. der von außen zuströmenden Niederschlagsmengen)
- Skizzenhafte Darstellung der notwendigen baulichen Maßnahmen und Überflutungsflächen

2 Planungsgrundlagen

Für die Bearbeitung standen folgende Grundlagedaten zur Verfügung:

- [15] DGM-Daten (1m-Raster) im Planungsbereich
- [16] Rahmenplanung 2021, Lageplan und Schnitte (Nordteil Bebauung)
- [17] Rahmenplanung 2007, Lageplan und Schnitte, Erläuterungsbericht (Südteil Bebauung)
- [18] büro für architektur und stadtplanung, Stadt Landshut Rahmenplanung "Am Steinlech" Planung 1/1000 Variante 0, 2021
- [19] Bestand Kanalisation (Am_Steinlech_2022-07-04, dwg und xml)
- [20] Integrales Konzept zum kommunalen Sturzflutmanagement, Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, 23.07.2021
- [21] Ergänzung Sturzflutrisikomanagementkonzept Sturzflutereignis am 29.06.2021 in Landshut, Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG, 28.07.2021
- [22] Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R für den Standort 84036 Landshut
- [23] Fotodokumentation einer Ortsbegehung
- [24] ALKIS-Daten (Landnutzungen)

3 Bestehende Verhältnisse

Die zu bebauende Flächen liegen im Ortsbereich von Landshut (Anlage 1). Das Einzugsgebiet wird nach Norden durch die Pfarrfeldstraße, nach Osten durch den Englbergweg und nach Süden ebenfalls durch den Englbergweg abgegrenzt. Das Gebiet weist ein starkes Gefälle nach Westen bis zum Roßbach auf.

Die für eine Bebauung vorgesehene Fläche wird aktuell landwirtschaftlich genutzt.

Vergangene Starkniederschlagsereignisse sowie Simulationen von Starkregenereignissen [20] haben gezeigt, dass das Niederschlagswasser aus dieser Fläche teilweise oberflächlich über den Taleinschnitt in den Roßbach abfließt und dabei Schäden an Grundstücke der Unterlieger anrichtet.

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten ist Errichtung eines Schluckbrunnens zur Entlastung eines Regenrückhaltebeckens nicht genehmigungsfähig (Stellungnahme WWA Landshut vom 12.01.2022).

Gem. Bayernatlas sind ist kein Trinkwasserschutzgebiet vorhanden, die Grundwasserstände sind nicht bekannt.

Die digitale Ingenieurgeologische Karte von Bayern 1:25.000 (dIGK25) weist für den Untersuchungsbereich inhomogene, tw. bindige oder nichtbindige Lockergesteine aus.

Innerhalb der zu bebauenden Fläche ist keine Entwässerungseinrichtung vorhanden. Für eine Einleitung von Regenwasser kommt die vorhandene Regenwasserkanalisation in und zwischen den Straßen Am Steinlech, Wernstorferstraße und Am Hiendl. Am Geländetiefpunkt ist in der Straße Am Steinlech ein Regenwasserkanal DN 300 vorhanden. Dieser mündet in den Regenwasserkanal DN 800 in der Veldener Straße. Mittelbar wird das gefasste Regenwasser über dieses System in den Roßbach eingeleitet.

4 Vermessung und digitales Geländemodell

Um eine aktuelle, flächendeckende und lückenlose Datenbasis zu gewährleisten, wurde eine Drohnenbefliegung mit fotogrammetrischer Auswertung durchgeführt. Nach Einholung der relevanten Genehmigungen ist die Befliegung am 25.8.2022 bei klarem Wetter durchgeführt worden.

Die Rasterbefliegung bei einer Höhe von ca. 80 m über dem Gelände mit einer Phantom 4 RTK Vermessungsdrohne hat 800 Fotos erzeugt. Am Boden sind 9 Bodenkontrollpunkte zur Kalibrierung und 3 Kontrollpunkte zur Qualitätssicherung vorab ausgebracht worden. In Abbildung 1 ist die Lage einiger Bodenkontrollpunkte ersichtlich. Zusätzlich wurden manche Bordsteinkanten aufgemessen, die für die hydraulische Berechnung relevant sind.

Die fotogrammetrische Auswertung erfolgt mit der Software PIX4D Mapper. Das Programm nutzt die unterschiedlichen Winkel der Drohnenbilder um ein 3D-Modell zu erzeugen. Anhand der GPS-Position der Bilder und der Bodenkontrollpunkte ist das Modell sehr hoch aufgelöst und in der Lage genau. Die Kontrolle mit am Boden bekannten Punkten hat eine Abweichung dieser Punkte von unter 5 cm ergeben. Der Qualitätsbericht der Auswertung ist in Anlage 7 angehängt.



Abbildung 1: Ausschnitt des 3D-Modells „am Steinlech“, mit Lage der Bodenkontrollpunkte

Das erzeugte 3D-Modell ist optisch ansprechend aber für die weitere Planung zu hoch aufgelöst. Mit dem Programm Pix4D Survey wird Vegetation und Bebauung anhand einer geometrischen Klassifikation gefiltert. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt.

Für die weitere Verarbeitung wird die klassifizierte Punktwolke ausgedünnt und die Geländepunkte vermascht, um ein genaues digitales Geländemodell zu erzeugen, in dem keine Gebäude und Vegetation vorhanden sind. Die wichtigsten Eigenschaften des Geländes wie Kanten und Sprünge bleiben bei der Ausdünnung erhalten. Ein Ausschnitt des digitalen Geländemodells ist in Abbildung 3 dargestellt

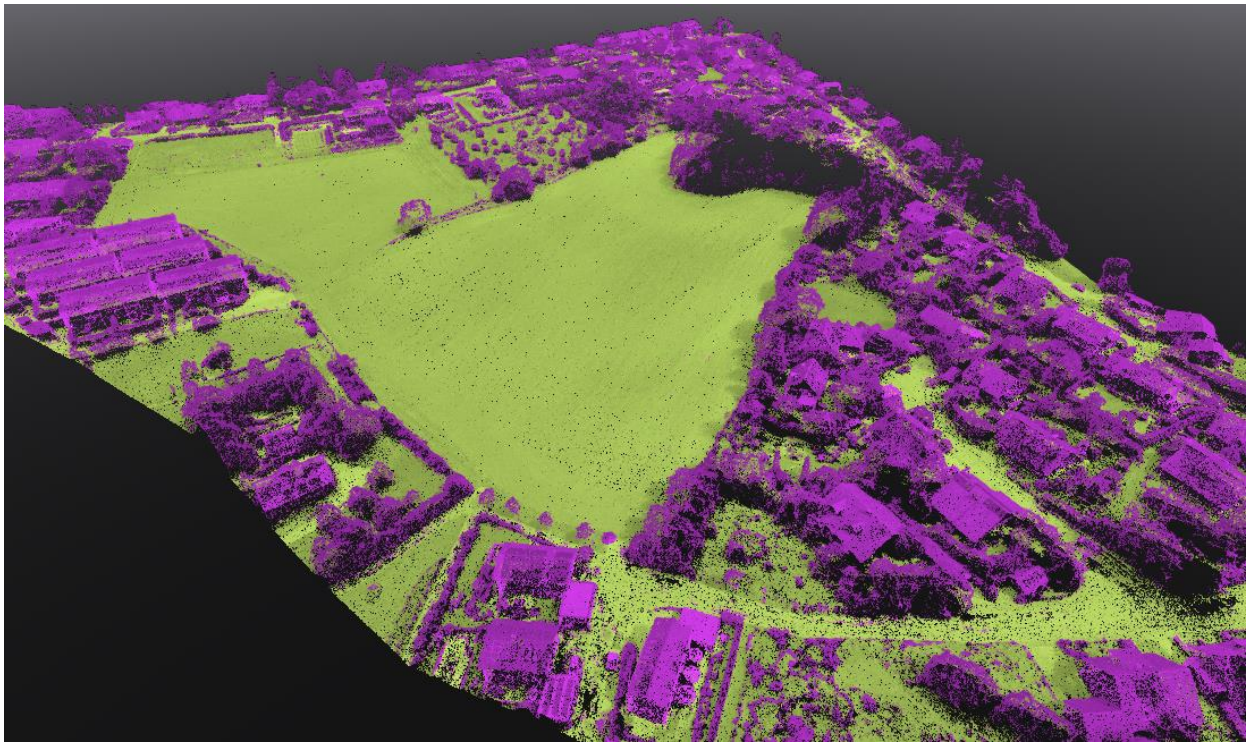


Abbildung 2: Klassifizierung der Punktwolke zur Unterscheidung zwischen „Gelände“ und „nicht Gelände“

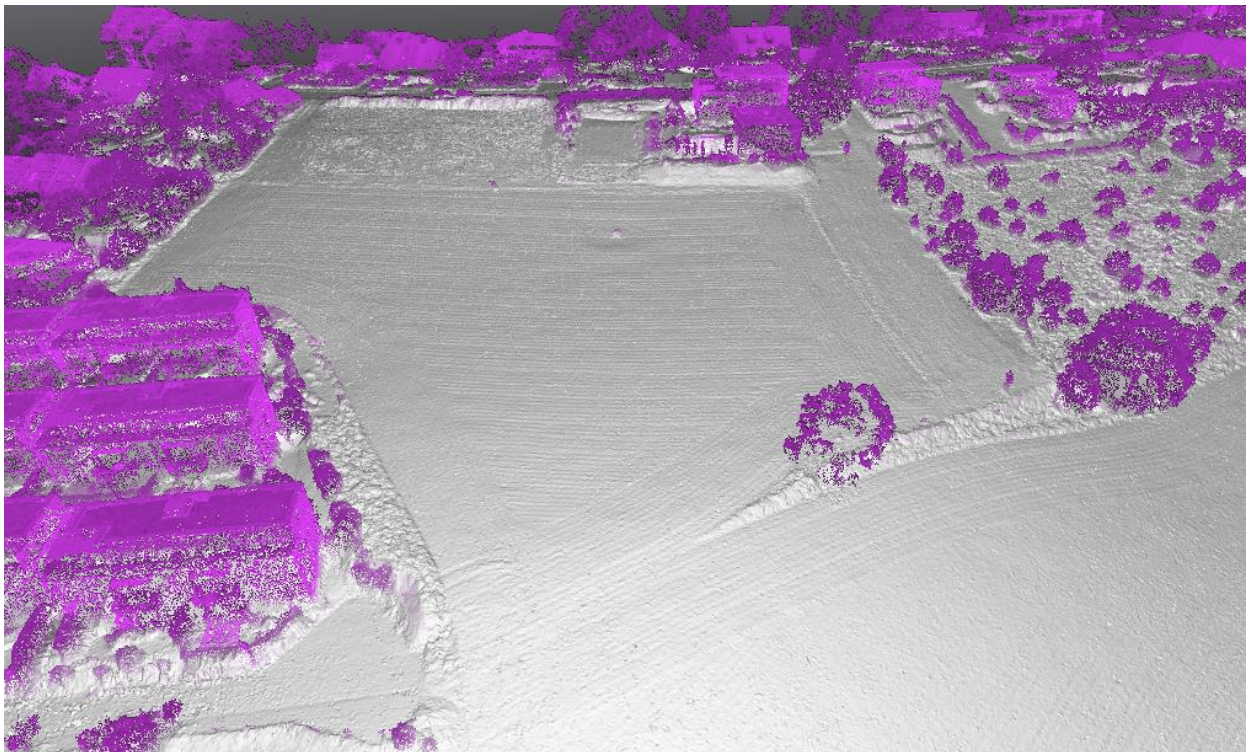


Abbildung 3: Resultierendes digitales Geländemodell. Zu Darstellungszwecken mit der Vegetation und der Bebauung als lila Punktwolke

Als Arbeitsergebnisse wurden folgende Daten erzeugt und an die Planer weitergegeben:

- Punktwolke
- 3D-Modell als Oberflächennetz (.obj-Datei)
- digitales Geländemodell (land-xml und Rasterdaten)
- Orthomosaik

5 Außengebietsentwässerung

5.1 Vorgehen und Randbedingungen

Bei der Außengebietsentwässerung wird ein Starkregenereignis im gesamten Einzugsgebiet betrachtet. Ziel des Konzepts ist die Dimensionierung eines Rückhalts für das Gesamtgebiet im Sinne eines Starkregenrisikomanagements.

Hierfür wird ein hochaufgelöstes hydropnumerisches 2D-Modell (2D-HN-Modell) erstellt, welches mit Effektivniederschlag verschiedener Jährlichkeiten und Niederschlagsdauern berechnet wird. Die Abflüsse an verschiedenen Kontrollquerschnitten kann dabei ermittelt werden und daraus das notwendige Rückhaltevolumen abgeleitet. Es wird dabei wie folgt vorgegangen:

- Der Istzustand ohne die geplante Bebauung ist bereits im Integralen Konzept zum kommunalen Sturzflutmanagement [20] behandelt und wird mit dem 2D-HN-Modell nur zur Plausibilisierung berechnet und im Folgenden nicht weiter behandelt.
- Jährlichkeiten mit häufiger Wiederholungswahrscheinlichkeit $T = 5a$ und $T = 10a$ sind zusätzlich zum hundertjährigen Ereignis $T = 100a$ nur in einer Voruntersuchung behandelt. Da möglichst ein hoher Schutz vor Überschwemmung gewünscht wird und ein Rückhalt für das Ereignis $T = 100a$ möglich ist, werden die häufigen Ereignisse $T = 5a$ und $T = 10a$ für die Ermittlung des Rückhaltevolumens nicht weiter betrachtet.
- Im Planzustand wird die Bebauung „Nord“ und „Süd“ berücksichtigt, vgl. Anlage 1.
- Im Modell wird der Niederschlag auch im Neubaugebiet als Oberflächenabfluss berechnet, da bei einem Ereignis $T = 100a$ der Abfluss in der Regenwasserkanalisation nur eine untergeordnete Rolle spielt. Zudem fließt auch der Abfluss in der Regenwasserkanalisation dem Rückhaltebecken zu. Die unterschiedliche Fließgeschwindigkeit zwischen dem berechneten Oberflächenabfluss und dem tatsächlich auftretenden Abfluss in der Regenwasserkanalisation wird vernachlässigt werden, da der Drosselabfluss gering ist und ohnehin nahezu der gesamte Niederschlag zurückgehalten werden sollte.
- Das Modell wird mit dem Effektivniederschlag berechnet, d.h. dem Niederschlagsanteil, der zum Abfluss kommt. Dieser Effektivniederschlag wird in Kap. 5.2 ermittelt.
- Die Rauheit wird im Modell abhängig von Wassertiefe angesetzt, der genaue Ansatz sowie die Vorgehensweise bei der Modellerstellung ist in Kapitel 5.3 beschrieben.
- Zur Ermittlung des Beckenvolumens wird der zurückzuhaltende Abfluss an gewählten Querschnitten erfasst und unter Berücksichtigung eines Drosselabflusses aus dem Becken das Volumen berechnet.
- Es wird untersucht, ob ein oder zwei nacheinander geschaltete Becken günstiger sind.

5.2 Hydrologie

5.2.1 Vorgehensweise

Ziel der hydrologischen Untersuchung ist die Ermittlung der Effektivniederschläge für verschiedene Jährlichkeiten und Dauerstufen im Untersuchungsbereich. Diese Effektivniederschläge werden im hydraulischen 2D-HN-Modell angesetzt und die resultierenden Abflüsse ausgewertet.

Die Höhe des Effektivniederschlags (in mm) ergibt sich als Produkt aus absolutem Niederschlag (in mm, aus KOSTRA-Daten[22]) und dem für eine bestimmte Landnutzung ermittelten Abflussbeiwert (ABW). Dieser Abflussbeiwert entspricht dem Anteil der absoluten Niederschlagshöhe, die zum Abfluss kommt. Zur Ermittlung der Abflussbeiwerte ABW wird das Standard SCS-Verfahren (Soil-Conservation-Service [1]) verwendet.

5.2.2 KOSTRA-Daten

Als Grundlagen zur Ermittlung der Effektivniederschlag werden die absoluten Niederschlagshöhen aus KOSTRA-DWD 2010R angesetzt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R

Rasterfeld		Spalte: 54, Zeile: 87								
Ortsname		Landshut (BY)								
Dauerstufe		Niederschlagshöhen (in mm)								
		1a	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5	min	5.2	7.3	8.5	10.0	12.1	14.1	15.3	16.9	18.9
10	min	8.3	11.0	12.6	14.6	17.2	19.9	21.5	23.5	26.2
15	min	10.4	13.5	15.4	17.7	20.8	23.9	25.8	28.1	31.2
20	min	11.9	15.4	17.4	20.0	23.5	27.0	29.0	31.6	35.1
30	min	13.8	17.9	20.3	23.3	27.4	31.5	33.8	36.8	40.9
45	min	15.6	20.3	23.1	26.6	31.3	36.1	38.9	42.4	47.1
60	min	16.6	21.9	25.0	28.9	34.2	39.5	42.6	46.5	51.8
90	min	18.7	24.4	27.7	31.9	37.6	43.3	46.6	50.8	56.5
2	h	20.3	26.3	29.8	34.2	40.2	46.2	49.7	54.2	60.2
3	h	22.9	29.3	33.1	37.8	44.3	50.7	54.5	59.3	65.7
4	h	24.9	31.7	35.6	40.6	47.4	54.2	58.2	63.2	70.0
6	h	28.0	35.3	39.6	44.9	52.2	59.5	63.8	69.2	76.5
9	h	31.5	39.3	43.9	49.7	57.6	65.4	70.0	75.8	83.7
12	h	34.2	42.5	47.3	53.4	61.7	70.0	74.8	80.9	89.2
18	h	38.5	47.4	52.6	59.2	68.1	77.0	82.2	88.7	97.6
24	h	41.9	51.3	56.7	63.6	73.0	82.4	87.8	94.7	104.1
48	h	50.0	62.5	69.8	79.0	91.4	103.9	111.2	120.4	132.9
72	h	55.5	69.8	78.1	88.7	103.0	117.2	125.6	136.1	150.4

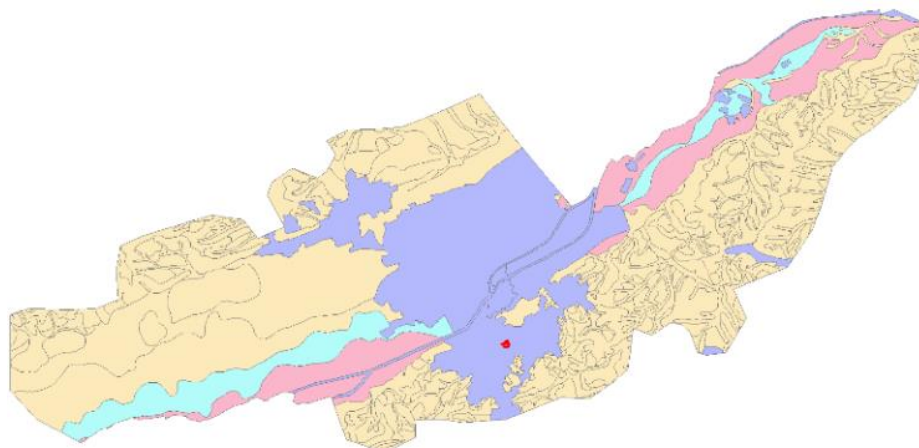
5.2.3 Ermittlung Abflussbeiwerte (SCS-Verfahren)

Bei der Anwendung des SCS-Verfahren werden für die verschiedenen Landnutzungstypen die sogenannten „Curve Numbers“ (CN) ermittelt. Dieser CN-Wert entspricht einer Klassifizierung der Infiltrationskapazität. Das SCS-Verfahren (siehe Tabellen in Anlage 2) gibt für jede Landnutzung („Cover description“) und jeden Bodentyp („hydrologic soil group“) einen bestimmten CN-Wert vor.

Die Landnutzungen im Modellbereich werden den vorliegenden ALKIS Daten entnommen und in sechs verschiedene Landnutzungstypen klassifiziert (siehe Tabelle 2). Diese Landnutzungstypen werden zudem im hydraulischen 2D-Modell zum Ansatz der Rauheitsbeiwerte verwendet.

Zur Festlegung des Bodentyps („hydrologic soil group“) wird die in der Abbildung 4 dargestellten Klassifizierung im Bereich Landshut gemäß Bericht [20] verwendet. Da der Untersuchungsbereich „Am

Steinlech“ komplett innerhalb des Bodentyps „D“ (Boden mit sehr geringer Infiltration) liegt, wird dieser Bodentyp „D“ für alle Landnutzungen verwendet.







Definition der Bodentypen:		
Schotter, Kies, Sand (kleinster Abfluss)	A	
Feinsand, Löß, leicht tonige Sande	B	
Bindige Böden mit Sand, Mischböden wie lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand	C	
Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund (größter Abfluss)	D	

Abbildung 4: Klassifizierung von Bodentypen in Landshut gemäß Bericht [20]. Der rote Punkt zeigt die Lage des Baubereiches „Am Steinlech“

Der dritte Faktor bei der Auswahl von CN-Werten ist die Bodenfeuchtigkeit. Es sind drei verschiedene Bodenfeuchtklassen (I, II oder III) in Abhängigkeit der akkumulierten Niederschlagshöhen der vorangegangenen 5 Tagen definiert (Abbildung 5). Da für das Untersuchungsgebiet keine Messdaten für ein reales Ereignis oder Niederschlagsdaten vorliegen, kann die Bodenfeuchtklasse nicht direkt eingeordnet werden. Dennoch wurde im Bericht [20] eine Untersuchung zur Bodenfeuchte durchgeführt, in der verschiedenen NA-Modellergenerierte Ergebnisse analysiert und verglichen wurden. Im Bericht [20] wird „Für das Starkregenkonzept [...] für das gesamte Untersuchungsgebiet von einer Bodenvorfeuchte II ausgegangen.“ Für vorliegende hydrologische Untersuchung wird daher ebenfalls die Bodenfeuchtklasse II (CN II Werte) angesetzt.

Bodenfeuchtklasse	Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm	
	Vegetationsperiode	übrige Zeit
I	< 30	< 15
II	30 - 50	15 - 30
III	> 50	> 30

Abbildung 5: Einteilung der Bodenfeuchtklasse für das SCS-Verfahren

Die jeweils Landnutzung verwendeten CN-Werte (Bodentyp D und Bodenfeuchtklasse II) sind in der Tabelle 2 dargestellt. In der Tabelle wird für die Dachflächen der Gebäude ein CN-Wert von 98 angesetzt, wie auch für die Straßen.

Tabelle 2: verwendete Landnutzungen und ausgewählte CN-Werte

Nutzung	zugeordneter Cover type	Bodentyp	CN Wert
Sportplätze	Impervious areas: Streets and roads: Gravel	D	84
Straßen	Impervious areas: Streets and roads: Paved	D	98
grüne Fläche	Open Space: Good condition (grass cover > 75%)	D	82
Wald	Woods	D	77
Acker, Landwirtschaft	Small grain, Straight Row+Contoured	D	84
Dachflächen	Impervious areas: Streets and roads: Paved	D	98

Nach dem SCS-Verfahrens(siehe [1]) wird der Effektivniederschlag A (in mm) wie folgt berechnet:

$$A = \frac{(N - I_a)^2}{(N - I_a) + S_{max}} \quad (1)$$

mit N= absoluter Niederschlag (in mm), I_a=Anfangsverlust (in mm) und S_{max}=maximaler Gebietsrückhalt des Bereiches.

Außerdem sind S_{max}= und I_a wie folgt berechnet:

$$S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$I_a = a \cdot S_{max} \quad (3)$$

mit CN= CN-Wert für jede Landnutzung und a=Beiwert zum Anfangsverlust (für Mitteleuropa wird ein Beiwert von a= 0,05 empfohlen)

Der Abflussbeiwert ABW (-) ergibt sich als der Quotient zwischen dem Effektivniederschlag A und dem absoluten Niederschlag N. Mit dem SCS-Verfahren ist der Abflussbeiwert vom Niederschlag abhängig.

Es werden die Abflussbeiwerte für die Dauerstufen D=15m, 30m, 1h, 2h, 4h, 9h und 24h ermittelt. In der Tabelle 3 sind die Abflussbeiwerte für die Jährlichkeit T=100a dargestellt.

Tabelle 3: ermittelte Abflussbeiwerte ABW für Jährlichkeit T=100a

Landnutzung	Dauerstufe							
	15m	30m	1h	2h	4h	9h	12h	24h
Wald	0.23	0.30	0.36	0.40	0.44	0.49	0.51	0.55
Acker, Landwirtschaft	0.34	0.42	0.48	0.52	0.56	0.61	0.62	0.66
grüne Fläche	0.31	0.38	0.44	0.48	0.52	0.57	0.59	0.63
Straßen	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95
Sportplätze	0.34	0.42	0.48	0.52	0.56	0.61	0.62	0.66
Dachflächen	0.85	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95

5.2.4 Ermittlung Effektivniederschlag

Es wird bei den 2D-HN-Berechnungen eine zeitliche Verteilung der Niederschläge verwendet. Gemäß DVWK-Regel 113 (siehe [2]) ist eine zeitliche Verteilung der Niederschlagsintensität für Starkregenereignisse empfohlen, da sie höhere Scheitelabflüsse ergibt als ein Blockregen mit konstanter Niederschlagsintensität. Die nach DVWK-Regel 113 (siehe [2]) empfohlene zeitliche Verteilung ist in der Abbildung 6 dargestellt.

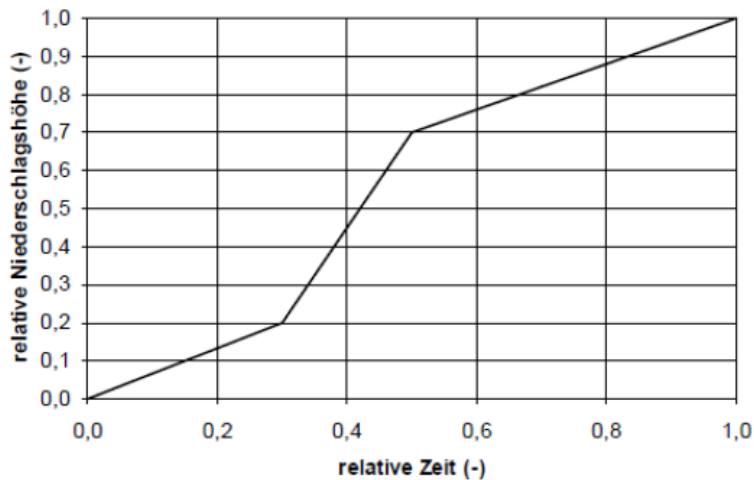


Abbildung 6: Beiwerte zu einer zeitlichen Verteilung der Niederschlagshöhe bzw. -intensität gemäß DVWK-Regel 113

In der Abbildung 7 ist beispielsweise die zeitliche Verteilung der absoluten Niederschlag N (Niederschlagganglinie) als Intensität und Akkumulierte Niederschlagshöhe beispielhaft für $T=100a$ und $D=1$ h dargestellt.

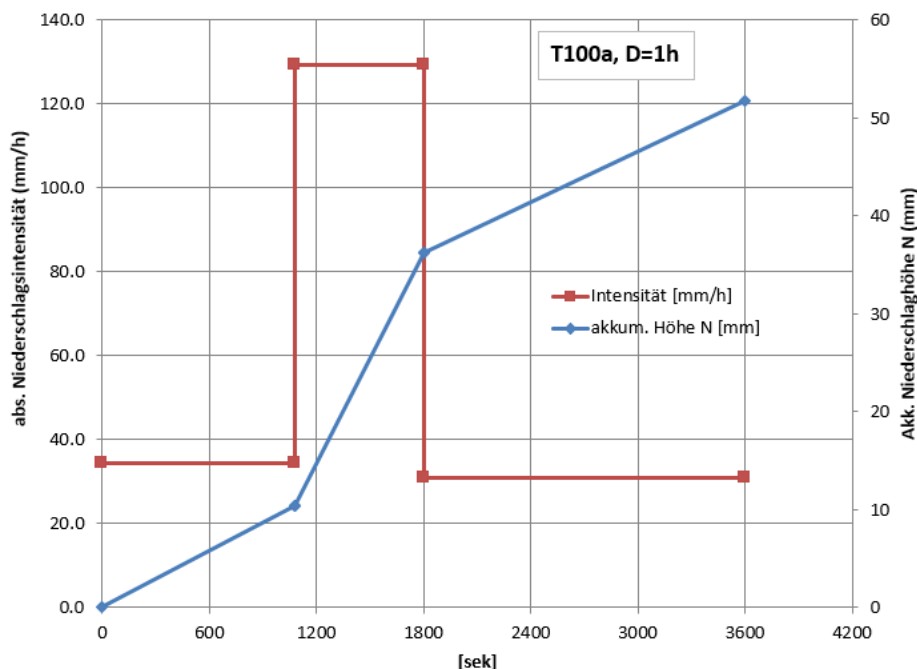


Abbildung 7: zeitliche Verteilung der absoluten Niederschlagshöhe (N) als Intensität (mm/h, rote Linie) und Akkumulierte Niederschlagshöhe (mm, blaue Linie) für $T=100a$, $D=1h$.

Für jede Landnutzung wird die Effektivniederschlaganglinie A als das Produkt aus Abflussbeiwert mal absolutem Niederschlag ($A=ABW \times N$) ermittelt. In der Abbildung 8 sind die Intensitätsganglinien für absoluten und Effektivniederschlag bei der Landnutzung „Wald“ bei $T=100a$ und $D=1h$ beispielhaft dargestellt. Die Ganglinien der Effektivniederschlagsintensität für die im 2D-Modell angesetzten Landnutzungen und Dauerstufen $D=15m, 30m, 1h, 2h, 4h, 9h, 12h$ und $24h$ sind in der Anlage 3 für $T=100a$ tabellarisch zusammengestellt.

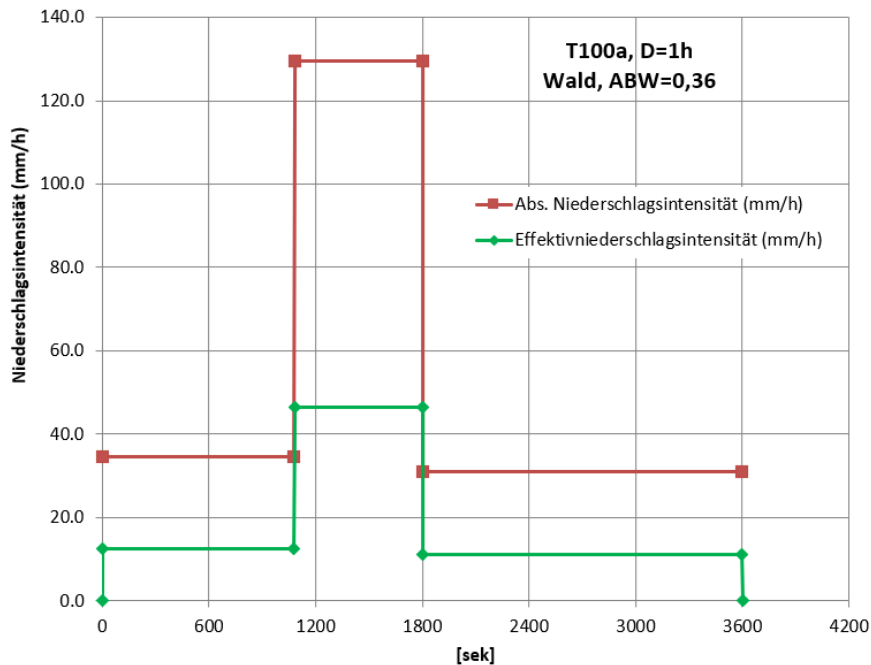


Abbildung 8. Intensitätsganglinien für absoluten und Effektivniederschlag bei der Landnutzung „Wald“ (Abflussbeiwert $ABW=0,36$) bei $T=100a$ und $D=1h$.

5.3 2D-HN-Modell

5.3.1 Grundlagen

5.3.1.1 Datengrundlagen

Grundlage zur Erstellung der 2D-Modelle sind:

- ALKIS Daten (Landnutzungen und Gebäude) und Flurkarten im Untersuchungsbereich [24]
- DGM Raster 20 cm aus der Drohnen-Befliegung
- Rahmenplanung 2021, Lageplan und Schnitte [16]
- Rahmenplanung 2007, Lageplan und Schnitte [17]

5.3.1.2 Software

Für die Modellerstellung und die numerischen Berechnungen mit dem 2D-Modell wurden folgende Programme verwendet:

- Surface-water Modeling System (SMS, Version 12.2) zur Netzerstellung und Ergebnisdarstellung, Aquaveo

- HYDRO_AS-2D, Version 5.3 für die Berechnung der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen, Dr. Nujic, Rosenheim
- LASER_AS-2D: Version 2.1 zur Modellerstellung aus DGM-Daten, Hydrotec

Die verwendeten Programme sind Standardprogramme für die numerische Berechnung von 2D-Modellen und werden auch in der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung eingesetzt.

5.3.1.3 Höhengsystem

Die Untersuchung erfolgt im Höhengsystem DHHN2016. Grundlagen, welche in anderem Höhengsystem übergeben wurden, sind umgerechnet.

5.3.2 Modellerstellung Planzustand

Das Modellnetz wird auf Basis des DGMs der Drohnenbefliegung durch die Software LASER_AS-2D erstellt. Mit der Software erfolgt eine automatische Bruchkantenerkennung und die darauf angepasste Netzerstellung. Anhand der Landnutzungspolygone aus ALKIS erfolgt eine Materialbelegung und die Definition der Oberflächenrauheit. Anhand der Planungsdaten werden die Bebauungen Nord und Süd in das Modell eingebaut. Die Anzahl der Elemente im Modell beträgt ca. 332000.

Die Dachflächen der bestehenden und geplanten Gebäude werden im Modell auf eine Höhe ca. 5 m über das Gelände gelegt. Die Hausdächer sind vereinfacht horizontal modelliert.

Für jede Landnutzung im Modell wird ein wassertiefenabhängiger Rauheit Rauheitsbeiwert k_{st} (in $m^{1/3}/s$) entsprechend den Empfehlungen aus dem Starkregen-Leitfaden in Baden-Württemberg (siehe [3]) angesetzt. Die entsprechenden Werte sind in der Tabelle 4 dargestellt. Ausnahme sind die Materialien „Straßenverkehr“, „Dachflächen“ und „Dachflächen Plan“, bei denen pauschal ein konstanter, sehr glatter k_{st} -Wert von $60 m^{1/3}/s$ angesetzt ist. Die Abbildung 9 zeigt den Modellumfang mit farblich dargestellten Landnutzungen bzw. Rauheiten im Modell. Die mit „Landwirtschaft“ belegte Flächen sollen in Zukunft als „naturnahe Grünfläche“ angelegt werden. Die angesetzten Rauheitsbeiwerte dafür ebenfalls passend. Aufgrund der Steilheit des Geländes spielen die Rauheitsbeiwerte ohnehin nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 4: angesetzte wassertiefenabhängige Rauheitsbeiwerte k_{st}

Landnutzung	Wassertiefe (m)			
	0	0.05	0.25	2
Weg	15	15	40	40
Landwirtschaft	6	6	25	25
Dachflächen_Plan	60	60	60	60
Wald	6	6	20	20
Dachflächen	60	60	60	60
Strassenverkehr	60	60	60	60
Rasen_gruene_Flaeche	17	17	23	23

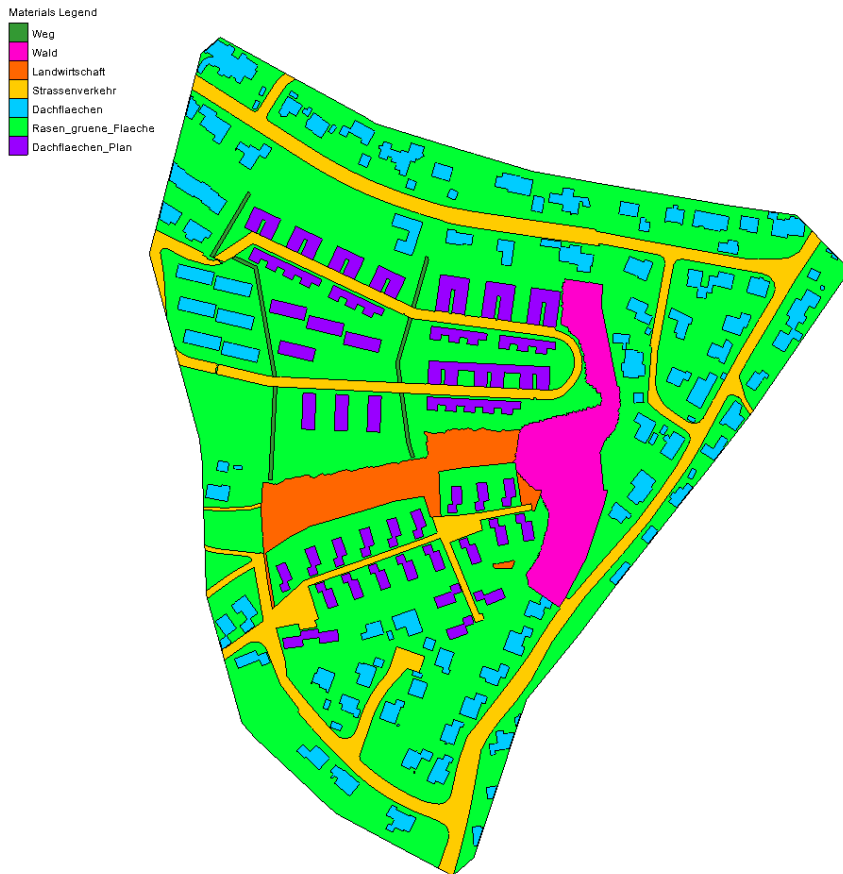


Abbildung 9: Lageplan der im Modell angesetzten Landnutzungen

5.3.3 Randbedingungen und Szenarien

Es werden Berechnungen für eine Jährlichkeit $T=100a$ und Dauerstufen $D=15m, 30m, 1h, 2h, 4h, 9h, 12h$ und $24h$ durchgeführt. Dabei werden die Flächen im Modell mit den im Kapitel 5.2.4 für jede Dauerstufe und Landnutzung ermittelten Ganglinien des Effektivniederschlags berechnet. Die Simulation wird nach Ende des Niederschlags mit der Dauerstufe D um weitere 3 Stunden fortgesetzt.

Am den Modellrändern werden Randbedingungen gesetzt, um den Abfluss aus dem Modell zu ermöglichen.

5.3.4 Auswertung Abfluss durch Messquerschnitte

Die im Model auftretenden Abflüsse in gewählten Querschnitten werden mit einer zeitlichen Auflösung von 1 min ausgewertet. Die Lage des Kontrollquerschnitts für die Ermittlung des Rückhaltevolumens des Rückhaltebeckens (HRB) erfasst alle in das Rückhaltebecken zu leitende Abflüsse und ist in der Anlage 4 als rote Linie dargestellt. Dieser Querschnitt ist im Folgenden „Kontrollquerschnitt HRB“ genannt.

Zusätzlich zum Abfluss im Talboden soll an weiteren Stellen das wild abfließende Wasser gefasst und dem Rückhaltebecken zugeleitet werden. Diese Stellen sind in der Abbildung 10 dargestellt:

- Abfluss auf der Straße Englbergweg, Abbildung 10 linkes Bild
- Abfluss auf der neuen Erschließungsstraße in Verlängerung der Wernstorferstr., Abbildung 10 Bild rechts oben
- Abfluss aus dem Flurstücks 316 am südwestlichen Rand, Abbildung 10 Bild rechts unten

Was wird gefasst:

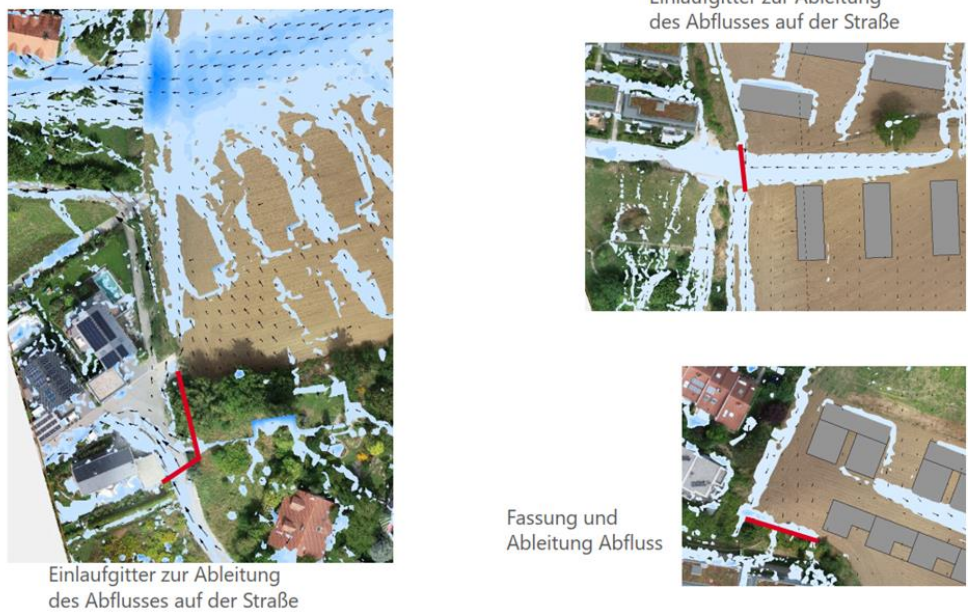


Abbildung 10: Ausschnitte zur Fassung von berechneten Abflüssen ins geplante HRB

Die berechneten Abflussganglinien (in m^3/s) am Kontrollquerschnitt HRB für die alle untersuchten Dauerstufen sind in der Anlage 5 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen die höchsten Abflussscheitel für Regenereignisse mit niedrigen Dauerstufen und damit hoher Niederschlagsintensität. Diese Abflussscheitel sind für alle berechneten Dauerstufen in der Tabelle 5 dargestellt. Der maximale Abfluss ergibt sich für die Dauerstufe von 30 Minuten und beträgt $1,86 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabelle 5: berechnete maximale Abflüsse durch den Kontrollquerschnitt HRB für verschiedene Dauerstufen

Max. Abfluss [m^3/s]	Dauerstufe							
	15m	30m	1h	2h	4h	9h	12h	24h
HRB	1.40	1.86	1.73	1.16	0.73	0.41	0.36	0.21

Allerdings ist zur Bemessung des HRBs das Wasservolumen (in m^3) maßgebend und nicht der maximale Abfluss. Längere Regenereignisse führen zu deutlich mehr Wasservolumen als kurze, intensive Regenereignisse.

5.3.5 Auswertung Rückhaltevolumen

Das erforderliche Rückhaltevolumen wird anhand der Berechnungsergebnisse für die Jährlichkeit $T=100a$ für alle berechneten Dauerstufen ermittelt. Die entsprechenden Beckengrößen sind in der Anlage 6 zusammengestellt. Für den Drosselabfluss aus dem Becken sind dabei verschiedene Ansätze berücksichtigt:

- Drosselabfluss nur über die vorhandene Regenwasserkanalisation mit einer verbleibenden Abflusskapazität von 40 l/s
- Drosselabfluss entsprechend der Leistungsfähigkeit einer neuen Ablaufleitung zum Roßbach, die Abflussleistung ist für die Leistungsdurchmesser DN200, DN300 und DN400 geschätzt.

Da die Verlegung einer zusätzlichen Leitung wegen der schon vorhandenen zahlreichen Sparten durch die Stadt Landshut als kaum realisierbar eingeschätzt wird, wird für die Bemessung des Rückhaltebeckens von einem Drosselabfluss durch die Bestandskanalisation ausgegangen. Wie Anlage 6 zeigt, ist das größte Beckenvolumen bei einer Niederschlagsdauer von neun bis zwölf Stunden erforderlich und beträgt ca. 3680 m³.

Für den Berechnungslauf T = 100a und D = 9h sind in Abbildung 11 die einzelnen Zuflussanteile der neuen Siedlungsgebiete zum Rückhaltebecken jeweils separat ermittelt:

- Der Abfluss zum Becken aus dem geplanten nördlichen Neubaugebiet wird durch die beiden grün dargestellten Querschnitt (2465 m³ und 250 m³) erfasst. Für die Bestimmung des Volumenanteils nur des nördlichen Neubaugebiets muss jedoch das Wasservolumen abgezogen werden, welches durch den rot dargestellten Querschnitt (450 m³) aus der nördlich angrenzenden Fläche zuströmt. Der Volumenanteil aus der geplanten nördlichen Siedlungsfläche beträgt damit 2265 m³.
- Der Abfluss zum Becken aus dem geplanten südlichen Neubaugebiet wird durch den grün dargestellten Querschnitt (1290 m³) erfasst. Für die Bestimmung des Volumenanteils nur des südlichen Neubaugebiets muss jedoch das Wasservolumen abgezogen werden, welches durch den rot dargestellten Querschnitt (480 m³) aus der südlich angrenzenden Fläche zuströmt. Der Volumenanteil aus der geplanten nördlichen Siedlungsfläche beträgt damit 810 m³.
- Das Volumen des aus den östlichen Hangflächen zuströmenden Wassers wurde nicht separat erfasst, ist aber im Gesamtvolumen, welches dem Becken zufließt, enthalten. Ebenso sind die Abflüsse aus den Bereichen oberhalb der Neubaugebiete (450 m³ und 480 m³) im Gesamtvolumen des Beckens enthalten.
- Gesamtvolumen, welches dem Becken zufließt, beträgt ca. 5000 m³.
- Der Anteil der geplanten nördliche Siedlungsfläche am erforderlichen Rückhaltevolumen beträgt demnach ca. 45% und der Anteil der geplanten südlichen Siedlungsfläche ca. 16%. Die übrigen Anteile stammen aus dem restlichen, bereits bebauten Einzugsgebiet

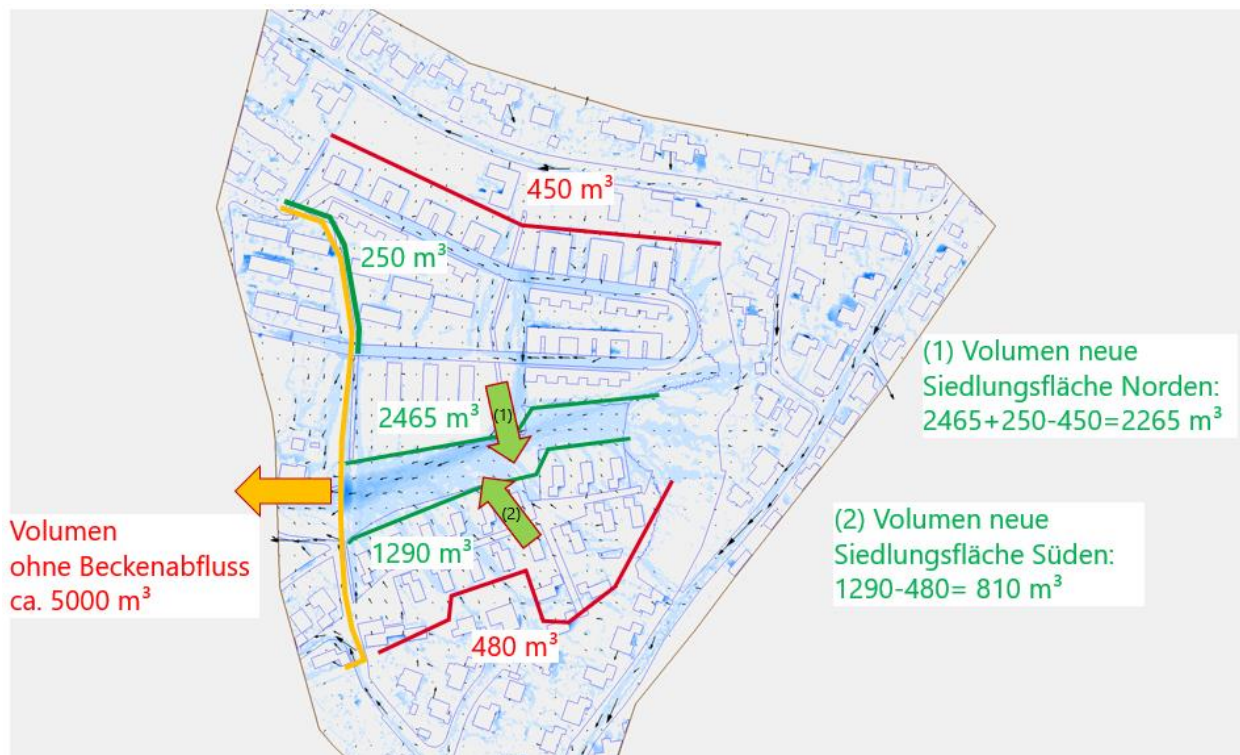


Abbildung 11: Anteile der Einzugsgebiete am Beckenvolumen für Bemessungsereignis $T = 100$, $D = 9h$

5.4 Rückhaltebecken

Für die Rückhaltung des Wassers aus Starkregenereignissen sollte zusätzlich zum Rückhalt in einem einzigen Becken auch der Rückhalt in mehrere Becken geprüft werden. Die Dimensionierung der Becken ist mit folgenden Annahmen erfolgt:

- Böschungsneigung wasserseitig 1:3, luftseitig 1.2
- Abgrabung im Beckenbereich ca. 0,6m
- Freibord 0,5 m
- Damm des unteren Beckens liegt vollständig auf den zu bebauenden Flurstücken

Beim Rückhalt mit einem Becken liegt die maximale Stauhöhe mit ca. 439,00 mNHN etwa 2 m über dem heutigen Gelände. Die Ausdehnung der Wasserfläche beträgt dabei ca. 2600 m². Die Lage des Beckens ist in Abbildung 12 dargestellt.

Beim Rückhalt mit zwei Becken ist der Damm des unteren Beckens an gleicher Stelle wie bei einem Becken vorgesehen. Der Damm des zweiten, oberen Beckens wird in der Talsohle ca. 100 m oberhalb des unteren Dammes angenommen. Da das Gelände am Standort des oberen Beckens steiler ist, wird in einem ersten Ansatz ein Volumenverhältnis von etwa 2 : 1 (Vol. unten zu Vol. oben) angesetzt. Die nach der Modellierung der Becken resultierende Volumen sind ca. 2300 m³ im unteren und ca. 1300 m³ im oberen Becken.

Im unteren Becken liegt die maximale Stauhöhe dabei auf ca. 438,50 mNHN, also nur etwa 0,5 m tiefer als bei einem einzigen Becken. Im oberen Becken liegt die maximale Stauhöhe auf ca. 445,00 mNHN und

etwa 2,8 m über dem Gelände in Dammachse. Die Lage der beiden Becken ist in Abbildung 13 dargestellt. Ein Längsschnitt durch die Becken ist in Abbildung 14 dargestellt.

Aufgrund der nach oben zunehmenden Geländegefälles bietet die Anordnung des benötigten Volumens keine Vorteile, aber eine Reihe von Nachteilen. Die Stauhöhe wird durch zwei Becken nicht reduziert, sondern ist im oberen Becken noch größer als bei einem einzelnen Becken. Das Dammvolumen verdoppelt sich bei gleichem Inhaltvolumen. Die Bewirtschaftung wird schwieriger und es sind zwei anstatt einem Becken zu unterhalten und zu kontrollieren. Zudem ist die in Anspruch genommene Fläche und der Eingriff in das Landschaftsbild größer, wie in Abbildung 15 und Abbildung 16 gezeigt.

In den weiteren Betrachtungen wird daher nur der Rückhalt mit einem Becken betrachtet. Dieses untere Becken liegt dabei vollständig auf den Flurstücken 318 und 321. Der Abstand der luftseitigen Böschungsunterkante von den Flurstücksgrenzen ist für die Ermittlung des Becken- und Dammvolumens mit ca. 4 m gewählt.

Die luftseitige Dammböschung ist zunächst mit 1 : 2 angenommen. Eine flachere Böschung erleichtert die Pflege der Böschung. Dies führt dazu, dass die Lage des Damm- und Wasserkörper etwas nach Osten geschoben wird und wegen der zunehmenden Geländeneigung die erforderliche Dammhöhe und das Dammvolumen zusätzlich etwas zunimmt. Die endgültigen Neigungen der wasser- und luftseitigen Dammböschungen müssen mit Vorliegen der Ergebnisse einer Baugrunduntersuchung festgelegt und die Standsicherheit nachgewiesen werden.

Da der Bau einer zusätzlichen Leitung sowohl für den Drosselabfluss als auch für den Ablauf aus dem Becken im Überlastfall von Seiten der Stadt Landshut ausgeschlossen wird, muss im Überlastfall der Abfluss als wilder Oberflächenabfluss dem Roßbach zufließen. Dies entspricht der heutigen Situation, erfolgt in Zukunft jedoch nur noch sehr selten und mit deutlich geringeren Abflüssen.

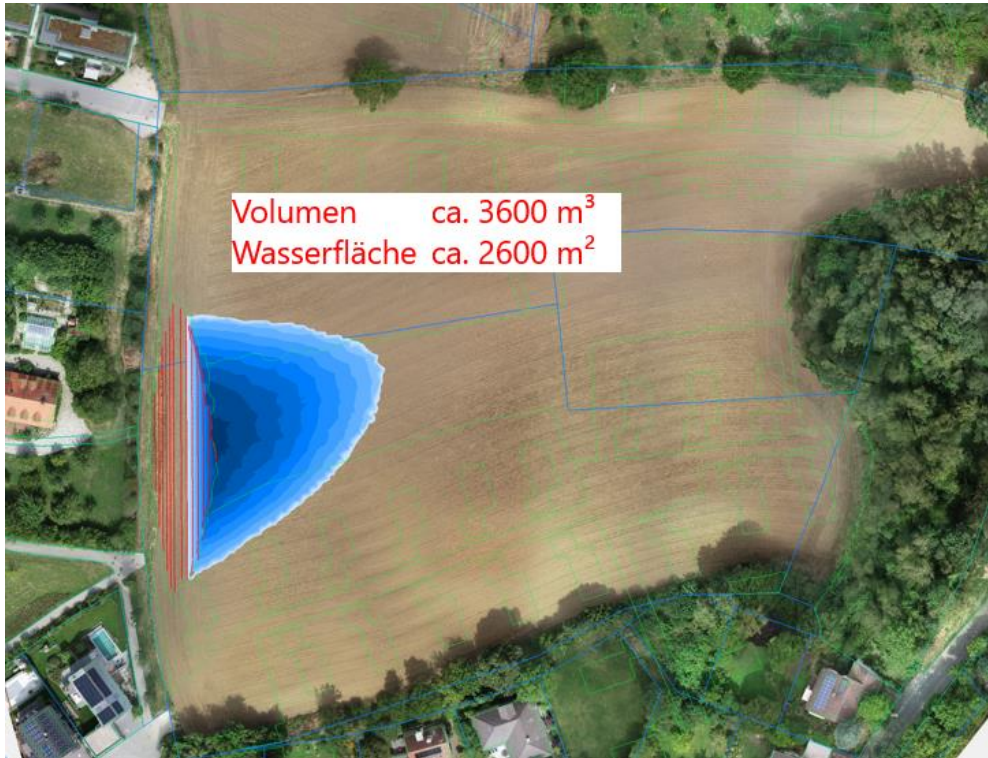


Abbildung 12: Dammfläche und Wasserfläche für ein Regenrückhaltebecken

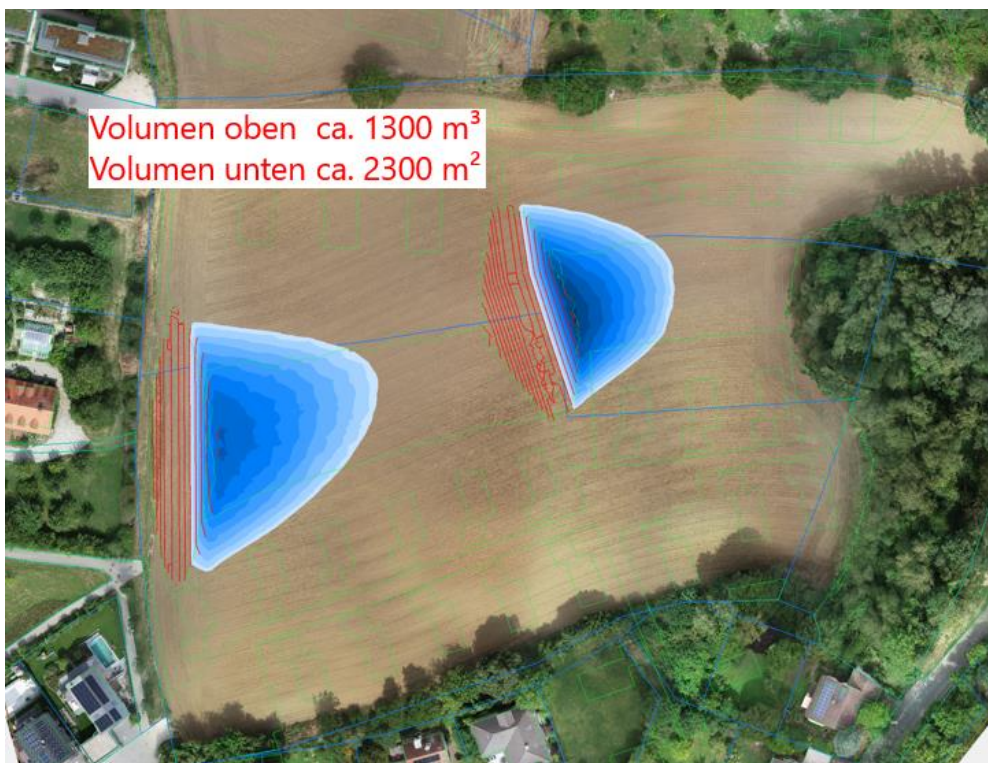


Abbildung 13: Dammflächen und Wasserflächen für zwei Regenrückhaltebecken

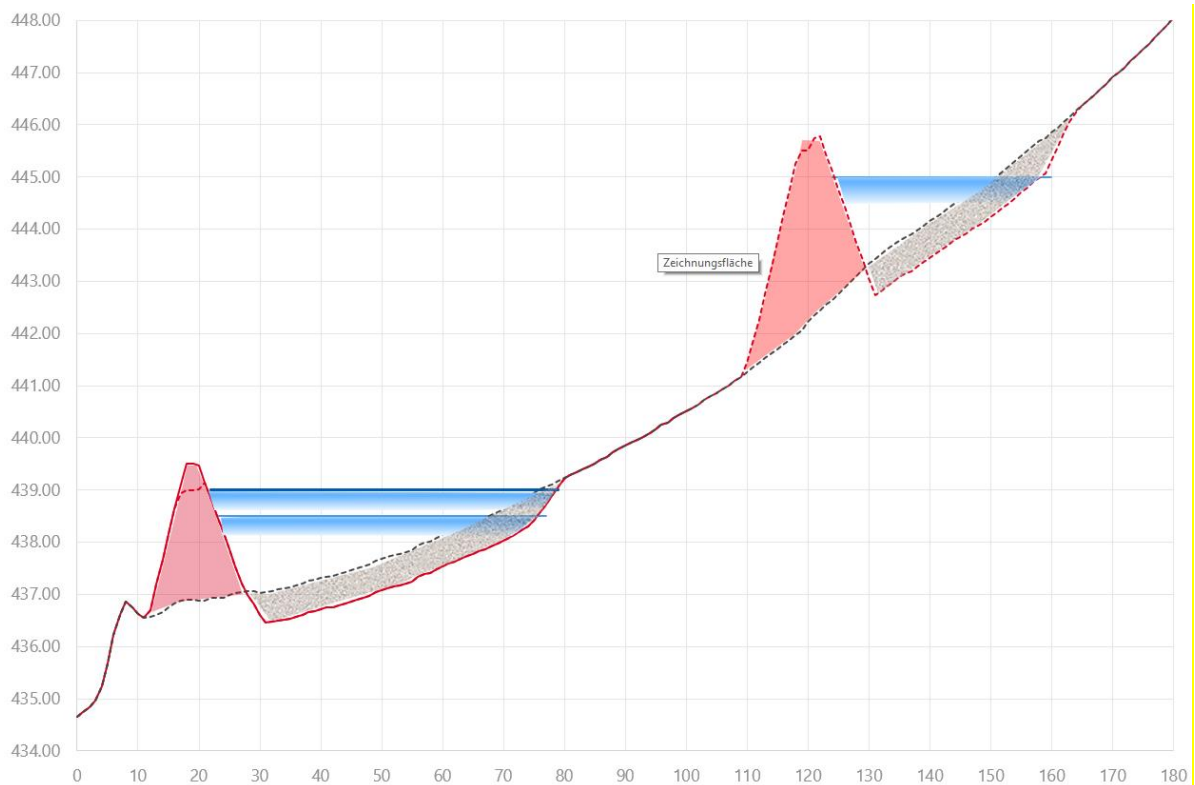


Abbildung 14: Längsschnitt mit Rückhaltebecken und max. Stauspiegel bei einem und bei 2 Becken

Gem. DWA Merkblatt 522 Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken [4] wird das Rückhaltebecken mit einer Höhe des Absperrbauwerk von 2 m bis 4 m und einem Volumen kleiner 50.000 m³ als „sehr kleine Stauanlage“ eingeordnet.

Die für eine „sehr kleine Stauanlage“ geltenden Regeln und Anforderungen sind bei der detaillierten Planung zu beachten:

- Freibord 0,5 m bei einer wasserseitigen Böschungsneigung von 1:3 und einer Rasenböschung
- als Bemessungsereignisse für die Stauanlage gelten: BHQ1 mit T = 200a, BHQ2 mit T = 1000a
- als Bemessungsereignisse für die Stauanlage, wenn „bei Versagen der Anlage nur Auswirkungen von untergeordneter Bedeutung zu erwarten sind“, sind anzusetzen: BHQ1 mit T = 200a und BHQ2 mit T = 1000a
- auf die Bemessungsereignisse ist auch eine Hochwasserentlastung mit Energieumwandlung auszulegen, die über eine raue Rampe auf der luftseitigen Dammoberfläche angeordnet werden kann
- Es ist eine Bauwerksüberwachung erforderlich sowie das Führen eines Stauanlagenbuchs.

In der weiteren Planung sind vor allem geotechnische Untersuchung erforderlich, um die Bauweise und Dichtung des Damms festzulegen.

Als Betriebseinrichtung ist zudem ein Drossel- und Entleerungsbauwerk erforderlich. Hierfür ist ein nicht gesteuertes Bauwerk vorzuziehen. Der Drosselabfluss ist von der Bauwerksgeometrie abhängig und eine Funktion des Wasserdrucks (Wassertiefe) am Bauwerk. Mit steigendem Wasserstand nimmt der Abfluss zu. Die genaue Geometrie des Auslaufbauwerks ist in der Detailplanung zu betrachten.

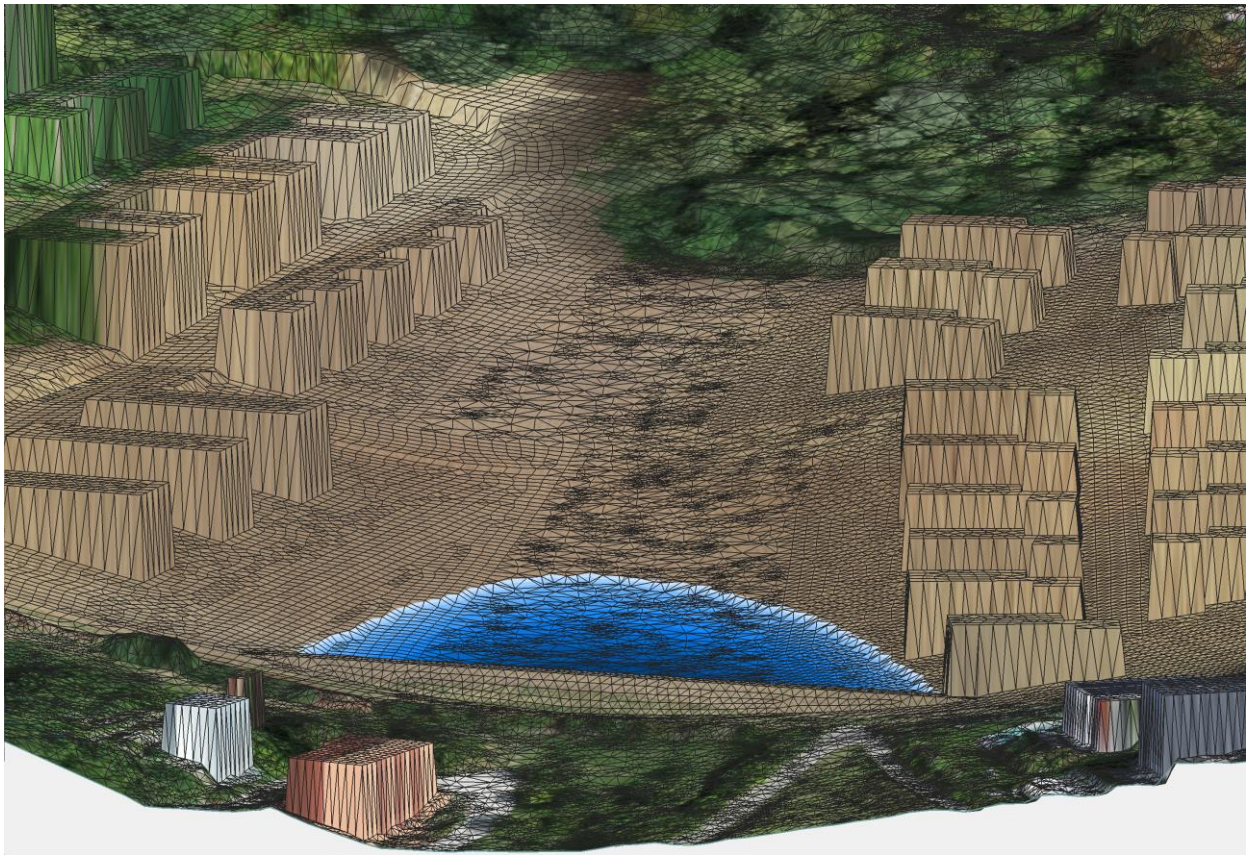


Abbildung 15: 3D-Ansicht ein Regenrückhaltebecken

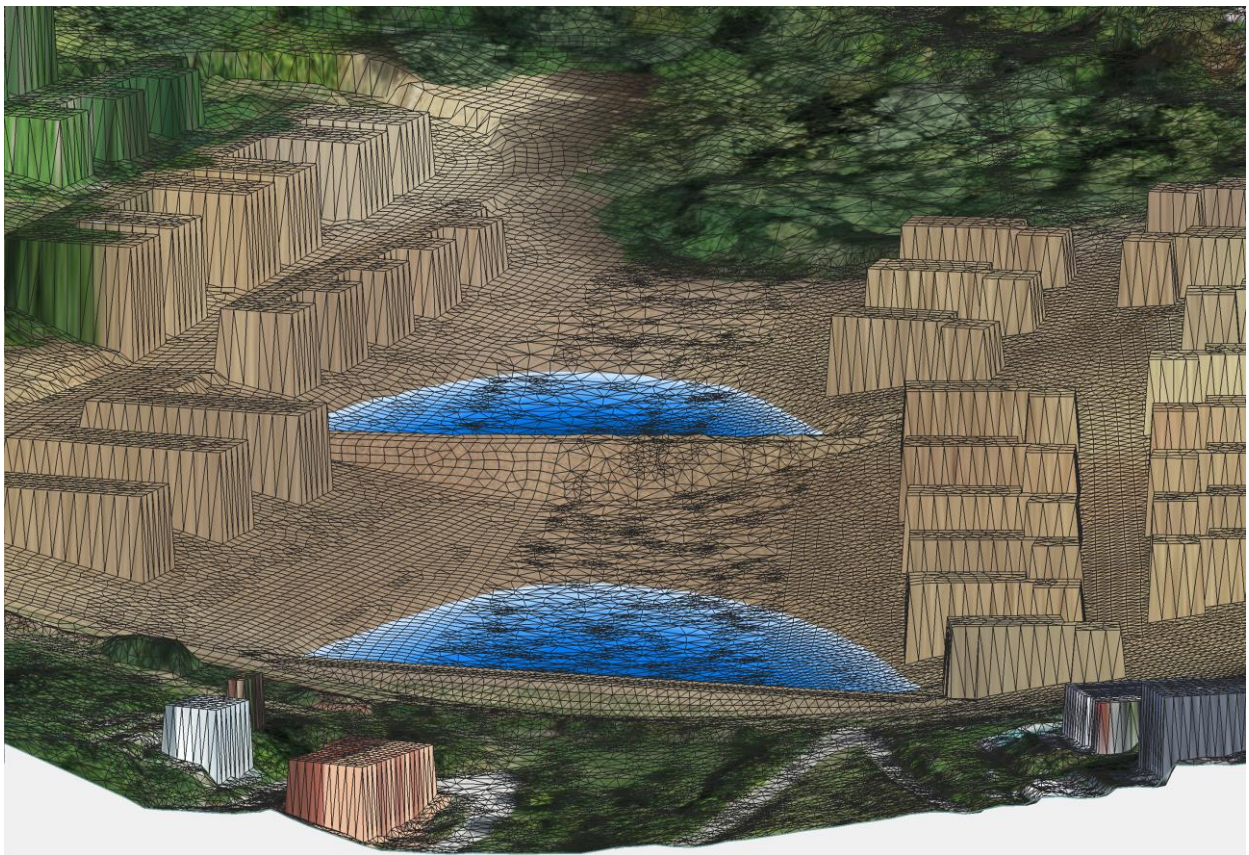


Abbildung 16: 3D-Ansicht zwei Regenrückhaltebecken

5.5 Zulauf zum Rückhaltebecken

Die Gerinne zum Regenrückhaltebecken sowohl aus der Regenwasserkanalisation der Neubaugebiete als auch aus den Straßenabschnitten, die als Notwasserwege ausgebildet werden, sind erosionsicher zu gestalten und es muss in der Talsohle ein Bauwerk zur Energieumwandlung vorgesehen werden. Die entsprechenden Abschnitte sind in Abbildung 17 dargestellt.

Das Bauwerk zur Energieumwandlung könnte als Kanalschacht ausgeführt werden, mit einem Überlauf in das Gerinne zum Rückhaltebecken.

Für detaillierte Planungen sind die Planungen der Straßen und Wege erforderlich.

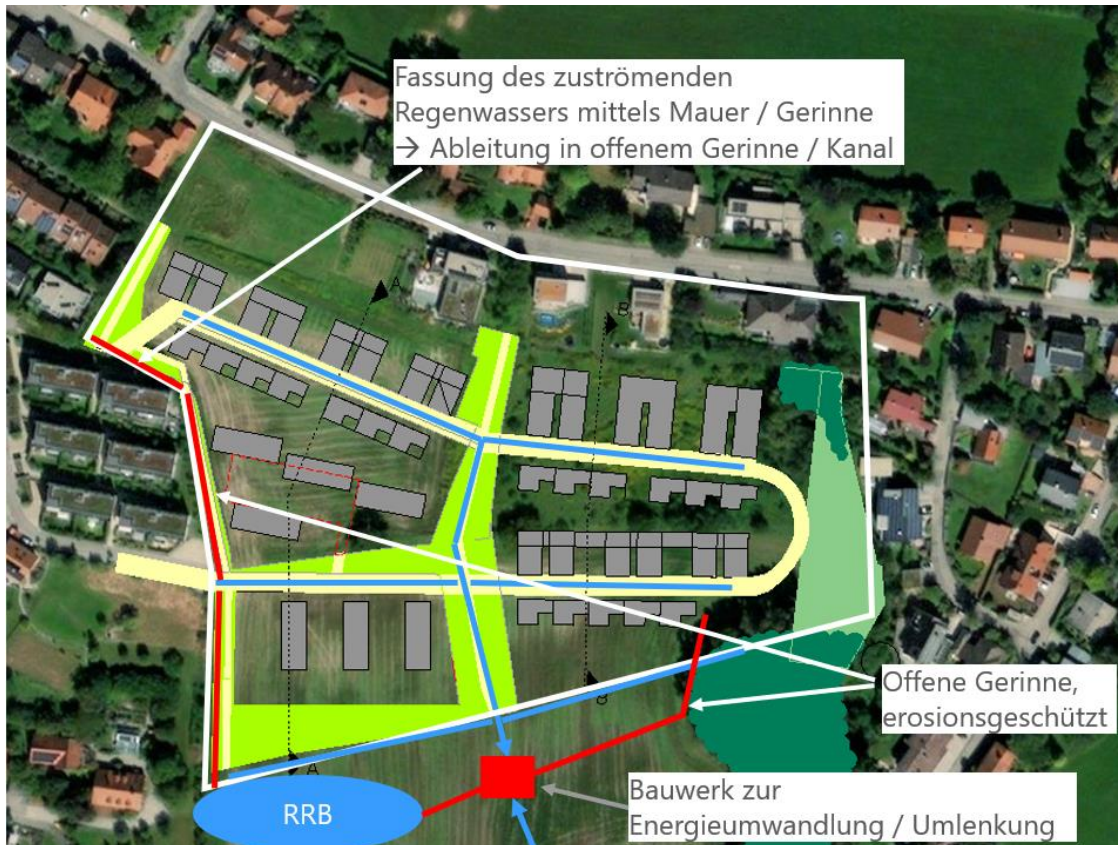


Abbildung 17: Ableitungen zum Rückhaltebecken

6 Innengebietsentwässerung

Gemäß WHG § 55, Absatz 2, soll Niederschlagswasser ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.

Gemäß Aussagen der Stadt Landshut ist eine Versickerung des anfallenden Regenwassers baugrundbedingt im Plangebiet Am Steinlech nicht möglich. Das im künftig bebauten Innengebiet anfallende Regenwasser soll daher - zusammen mit dem von außen zuströmenden Niederschlagswasser - zu einem zentralen Rückhaltebecken geführt werden. Ab diesem Rückhaltebecken erfolgt dann die gedrosselte Ableitung in die bestehende Kanalisation.

Neben der Dimensionierung der erforderlichen Kanäle und der rechnerischen Ermittlung des Volumens eines zentralen Regenrückhaltebeckens wird die Behandlungsbedürftigkeit des anfallenden Niederschlags geprüft.

Die Regenwasserkanalisation wird auf ein fünfjähriges Regenereignis ausgelegt. Bei Starkregenereignissen wirkt die Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation über Straßeneinläufe etc. begrenzend. Eine größere Dimensionierung der Regenwasserkanalisation ist daher für einen verbesserten Überflutungsschutz nicht zweckmäßig.

Die Bemessung des Regenrückhaltebeckens nach DWA-Arbeitsblättern dient im Wesentlichen als Vergleichswert. Bei dieser Bemessung kann eine Starkregenvorsorge nicht berücksichtigt werden. Maßgeblich für die spätere Dimensionierung des Beckens ist daher Kapitel 0.

Die Behandlungsbedürftigkeit des anfallenden Regenwassers wird geprüft, um sicherzustellen, dass die mittelbare Einleitung des anfallenden Niederschlagswassers in den Roßbach nicht zu einer qualitativen Verschlechterung dieser Vorflut führt.

6.1 Gebietsaufteilung

Die abflusswirksamen Teilflächen wurden aus dem georeferenzierten Rahmenplan [16] ausgelesen. Für die Ermittlung des Niederschlagsabflusses wurden die Flächentypen „Gründach“, „Straße, Wege und Plätze“, „Gärten, Wiesen und Kulturland“ und „Flachdach“ nach DWA-M 153 [5] unterschieden.

Für jeden Flächentyp wurden der mittlere Abflussbeiwert Ψ_m gemäß DWA-M 153 [5] und der Spitzenabflussbeiwert Ψ_s gemäß DIN 1986-100 [6] bestimmt. Aus dem Produkt von beregneter Fläche A_E und zugehörigem Abflussbeiwert wurden jeweils die resultierenden abflusswirksamen Flächen A_U berechnet (siehe Tabelle 6). Der mittlere Abflussbeiwert wird für die Berechnung des Regenrückhalteräume gemäß DWA-A 117 [7] benötigt, die Spitzenabflussbeiwerte für die Bestimmung der der Kanaldimensionierung gemäß DWA-A 110 [8] und RAS-Ew [9].

Tabelle 6 Flächen, mittlerer Abflussbeiwert, Spitzenabflussbeiwert und abflusswirksamen Flächen aller Flächentypen

Flächentyp	Art der Befestigung	Teilfläche A_E [m ²]	Ψ_m	Teilfläche A_U [m ²]	Ψ_s	Teilfläche A_U [m ²]
Gründach (Neigung bis 15° oder ca. 25%)	humusiert > 10 cm	8.443,5	0,3	2533,1	0,4	3.377,4

Straßen, Wege und Plätze (flach)	Asphalt, fugenloser Beton	3.737,0	0,9	3363,3	1,0	3.737,0
	Pflaster mit dichten Fugen	1.173,0	0,75	879,8	0,9	1.055,7
Gärten, Wiesen und Kulturland	Steiles Gelände	26.770,5	0,3	8031,2	0,5	13.385,3
Flachdach	Dachpappe	899,0	0,9	809,1	1	899,0
Summe		41.023,0		15.616,4		22.454,4

Bei den unbebauten Parzellen entlang der Pfarrfeldstraße wurde eine Grundflächenzahl von 0,35 angenommen. Diese entspricht der des bereits bebauten Flurstücks 316/100, der Pfarrfeldstraße 15.

Die Summe aller Teilflächen des Innengebietes beläuft sich auf 41.023 m², wobei Grün- und Ausgleichsflächen mit 26.770,5 m² den größten Anteil ausmachen. Alle Neubauten wurden als Gründächer mit mehr als 10 cm Humus angenommen, nur die bereits bestehenden Gebäude im Norden wurden als Flachdächer mit Dachpappe berücksichtigt. Die zentrale Straße im Neubaugebiet wird mit asphaltierter Oberflächenbefestigung und Innenhöfe und Wege als Pflaster mit dichten Fugen angesetzt. Die abflusswirksame Fläche des Innengebietes mit mittlerem Abflussbeiwert beträgt auf 15.616,4 m², die mit Spitzenabflussbeiwert auf 22.454,4 m² (siehe).

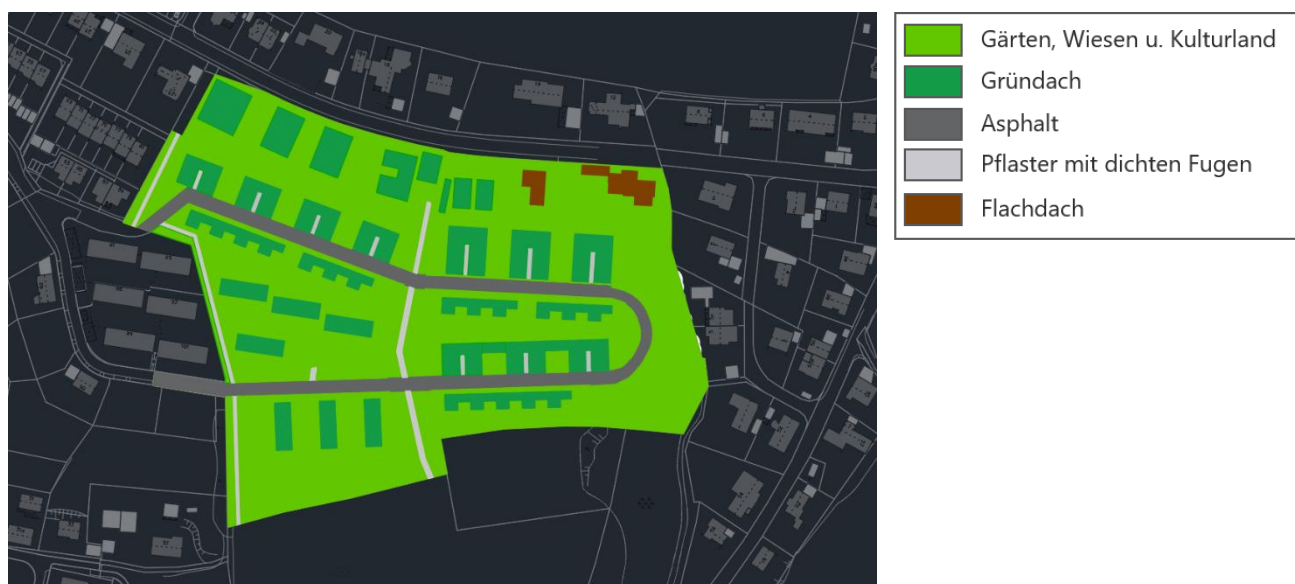


Abbildung 18 Siedlung mit Flächentypenzuweisungen

6.2 Ableitung

Das anfallende Regenwasser im Innengebiet soll in geschlossenen Kanälen gesammelt und anschließend in das Regenrückhaltebecken südlich der Neubaugebiets geleitet werden. Das nördliche Neubaugebiet wurde dafür in sechs Teileinzugsgebiete unterteilt, welche jeweils in einen in Ost-West-Richtung verlaufenden Kanal entwässern. Dem natürlichen Gefälle des Bebauungsgebiets folgend, verlaufen diese Kanäle südlich der jeweils angeschlossenen Grundstücke. Die sechs Einzelkanäle laufen in einem zentral von Nord nach Süd verlaufenden Sammelkanal in der Mitte des Baugebiets zusammen (siehe Abbildung 19). Insgesamt sind neun Kanäle vorgesehen. Die Gefälle der Kanäle I, II, V und IX basiert auf dem geplanten Straßenverlauf sowie den Laserscandaten. Sie liegen zwischen rund 1,7% und 7%.

Insbesondere für die Sammelkanäle III, VI und VIII wurde ein maximales Gefälle von 8% - trotz deutlich steilerem Gelände (max. Gefälle ca. 18%) - berücksichtigt. Ein Überschreiten dieses Kanalgefälles führt zu verstärkter Abrasion in den Rohren durch das Wasser, oder einer Auftrennung in Fest- und Flüssigstoffe, wobei die Feststoffe in den Rohren liegen bleiben würden. Es ist daher erforderlich, die Schächte in diesen Kanälen in Übertiefe mit Energieumwandlung auszuführen.

Die Kanäle IV und VII müssen auf Grund der vorhandenen Geländeneigung voraussichtlich im Gegengefälle zur künftigen Straße eingebaut werden. Hier wurde daher eine Längsneigung der Kanäle von 2% angesetzt.



Abbildung 19 Angesetztes Entwässerungssystem

Die erforderliche Dimension der Regenwasserkanäle ist abhängig von der Jährlichkeit des angesetzten Bemessungsregens. Als maßgebende Regendauer wurde gemäß in Abstimmung mit den Stadtwerken Landshut 5 Minuten angesetzt. Die entsprechenden Niederschlagswerte wurden von KOSTRA-DWD [10] gestellt. Nach Arbeitsblatt DWA-A 110 [8] ergibt sich die Vollfüllung eines Kanals aus:

$$Q_{\text{Voll}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} * (-2 * \lg \left(\frac{2,51 \cdot \nu}{d \cdot \sqrt{2g \cdot d \cdot I_E}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right)) * \sqrt{2g \cdot d \cdot I_E} \quad (1)$$

- d= Innendurchmesser Rohr mit Kreisquerschnitt [mm]
- ν =kinematische Viskosität [m²/s]
- I_E =Sohlgefälle Rohrleitung [%]
- k=betriebliche Rauheit [mm]

Der Bemessungsabfluss ergibt sich aus RAS-Ew zu:

$$Q_{\text{Bem}} = A_u * \frac{r_{D(n)}}{10000} + Q_{zu} \quad (2)$$

- A_u =undurchlässige Fläche [m²]
- $r_{D(n)}$ =maßgebende Regenspende [l/(s*ha)]
- Q_{zu} =konstanter Zufluss [l/s]

Die erforderlichen Kanalnennweiten lauten:

Tabelle 7 Kanaldurchmesser für Bemessungsregen mit Jährlichkeit 5a und Dauer 5 Minuten

5a	
Kanal I	DN350
Kanal II	DN350
Kanal III	DN350
Kanal IV	DN350
Kanal V	DN250
Kanal VI	DN400
Kanal VII	DN300
Kanal VIII	DN200
Kanal IX	DN500

6.3 Rückhaltung

Im Süden des Neubaugebiets ist ein zentrales Regenrückhaltebecken (RRB) vorgesehen. Das Regenwasser wird dort über den Kanal IX eingeleitet. Das erforderliche Volumen des RRBs wurde für die Jährlichkeiten von 5a, 30a und 100a gemäß DWA-A 117 wie folgt berechnet. Die Dauer des Bemessungsregens ergibt sich iterativ.

Die maßgebende Regenspende wurde mit den vorliegenden KOSTRA Daten [10] bestimmt und ist abhängig von der angesetzten Jährlichkeit.

Der zulässige Drosselabfluss aus dem RRB hat einen maßgeblichen Einfluss auf das erforderliche Speichervolumen des RRBs. Der aufnehmende Regenwasserkanal unterstromig des geplanten RRBs ist nahe der Belastungsgrenze. Der maximale Drosselabfluss, der noch in diesen Kanal eingeleitet werden kann, beträgt nach Auskunft der Stadtwerke Landshut 40 l/s. Die gedrosselte Ableitung aus dem RRB in den Kanal soll in Abhängigkeit des Wasserspiegels im RRB (und damit des anfallenden Niederschlagsvolumens) erfolgen. Bei weniger volumenstarken Niederschlagsereignissen wird das aufnehmende Kanalsystem weniger stark belastet. In Abstimmung mit den Stadtwerken Landshut wurden daher die erforderlichen Rückhaltevolumina für die Drosselabflüsse 20 l/s, 30 l/s und 40 l/s ermittelt.

Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt das erforderliche Speichervolumen in Abhängigkeit des Drosselabflusses und der Jährlichkeit.

Tabelle 8 Matrix des erforderliches Speichervolumen für die Jährlichkeiten 5a, 30a und 100a und Drosselabflüsse 20 l/s, 30 l/s und 40 l/s

		Jährlichkeit		
		5a	30a	100a
Drosselabfluss	20 [l/s]	449 m ³	730 m ³	931 m ³
	30 [l/s]	395 m ³	651 m ³	833 m ³
	40 [l/s]	354 m ³	599 m ³	766 m ³

Diese Angaben sind rein informativ und als Vergleichsbasis zu verstehen. Die Bemessung des Regenrückhaltebeckens erfolgt im maßgebend im Kapitel 5 Außengebietsentwässerung für das gesamte Einzugsgebiet.

6.4 Behandlungsbedarf

Der Behandlungsbedarf des anfallenden Regenwassers wurde nach DWA-A 102 geprüft. Zu diesem Zweck wurde zwischen den Flächengruppen „Dächer“ (D) und „Verkehrsflächen“ (V1) unterschieden. Sonstige Flächengruppen kommen im Neubaugebiet nicht vor.

Die V1 zugeordneten Flächen beinhalten Rad- und Fußwege und gepflasterte Innenhöfe, allerdings auch die geplante Straße, die an die Wernstorferstraße anschließen wird. Die Straße durch die Siedlung wurde ebenfalls als V1 eingeordnet, obwohl die primär zu berücksichtigende, maximal in V1 erlaubte durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) von 300 KFZ/d voraussichtlich überschritten wird. Allerdings ist die DTV kleiner als 2.000 KFZ/d, LKW-Verkehr kann ausgeschlossen werden und im Neubaugebiet werden sich keine Unfallschwerpunkte befinden. Demnach kann auch die Hauptverkehrsachse durch das Neubaugebiet nach DWA-A 102 der Flächengruppe V1 zugeordnet werden. Der DTV dieser Straße wurde auf Basis der Garagenanzahl geschätzt. Es sind 204 Garagen geplant (gemäß dem Rahmenplan vom 12.02.2021 [16], weshalb 408 täglichen Fahrten angenommen wurden.

Alle abflusswirksamen Flächen im Neubaugebiet sind der Belastungskategorie I zuzuordnen und erfordern daher keine Behandlung der Niederschlagswässer bei der Einleitung in Oberflächengewässer.

6.5 Überflutungsschutz

Bei Starkregenereignissen (z.B. 100jährige Regenereignisse) wird die zu errichtende Regenwasserkanalisation im Neubaugebiet überlastet sein und keinen Beitrag zur Überflutungssicherheit liefern können. Es sind daher weitergehende Maßnahmen zur Herstellung eines angemessenen Überflutungsschutzes erforderlich. Dabei kann zwischen konstruktiven und regulatorischen Möglichkeiten unterschieden werden.

Konstruktiver Überflutungsschutz

- Aufrechterhaltung der natürlichen Entwässerungsrichtung Richtung Süden und Vermeidung von Geländesenken im Baugebiet (Geländemodellierung)
- Straßenraumgestaltung, Straßenentwässerung (Rückhaltevolumen im Straßenraum durch Querneigung gegen das natürliche Gefälle, Straßenausbildung mit V-Profil und Randeinfassungen mit Hochborden)
- Ausbildung insb. der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Wege als Notwasserwege (Wegführung in Troglage)
- Fassung des zuströmenden Regenwassers nördlich der Bestandsbebauung Wernstorfer Straße 91/93
- Fassung des von Osten zuströmenden Wassers in einem offenen Gerinne und Zuleitung zu RRB
- Ausbildung von Grundstückszufahrten mit überfahrbarem Damm

Möglichkeiten der Wasserführung um die Gebäude

- Festschreibung von durchgehenden Barrikaden (z.B. Mauern) entlang der in Ost-West-Richtung verlaufenden Grundstücksgrenzen
- Fassung des ankommenden Niederschlagswassers in Mulden und Einleitung in private Regenwasserkanäle oder Ableitung in Richtung Straßen

Regulatorischer Überflutungsschutz

- Reduzierung von befestigten Flächen gegebenenfalls auch Wahl von durchlässigen Befestigungen sowohl im privaten als auch im öffentlichen Raum
- Festlegung der Erdgeschossfußbodenhöhen, so dass das Eindringen von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen in Gebäude und somit auch Schäden vermieden werden können
- Festlegung im Rahmen des B-Plan-Verfahrens, dass für alle Grundstücke unabhängig der Grundstücksgröße ein Überflutungsnachweis nach DIN 1986-100 zu führen ist
- Festlegung der Jährlichkeit des Bemessungsregens für diese Überflutungsnachweise auf hohe Jährlichkeiten, z.B. 100a

Für das Thema Überflutungsschutz wurde von der DWA und dem BWK gemeinsam ein Praxisleitfaden entwickelt (BWK-Fachinformation 1/2013 – Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge [11]). Dieser Leitfaden sollte in der weiteren Planung, gerade auch im Hinblick auf die steigende Häufigkeit von Starkregen, berücksichtigt werden.

Soll ein Fließen von Niederschlagswasser von einem Grundstück auf ein südlich (und damit hangabwärts) gelegenes Grundstück verhindert werden, können entlang der Grundstücksgrenzen z.B. wasserundurchlässige Mauern mit einer Mindesthöhe von ca. 50 cm vorgeschrieben werden. Die Ableitung des durch diese Mauern aufgestauten Wassers mit einem angemessenen Längsgefälle bzw. Regenwasserkanälen ist im Einzelfall zu planen.

7 Kostenansatz

Anhand von Erfahrungswerten aus Vergleichsprojekten werden die Kosten für die oben beschriebenen Maßnahmen wie folgt vorabgeschätzt:

Tabelle 9: Kostenansatz

Position	Menge	EP	GP
1 Hochwasserrückhaltebecken (Einzelbecken)			240.900 €
1.1 Oberbodenabtrag HRB, d=0,25 m, Lagerung und Wiedereinbau	3.300 m ²	10,00 €	33.000 €
1.2 Geländeabtrag im Bereich Damm und HRB, Lagerung für Dammbau (geeignet)	2.000 m ³	15,00 €	30.000 €
1.3 Geländeabtrag im Bereich Damm und HRB, Entsorgung (ungeeignet)	400 m ³	35,00 €	14.000 €
1.4 Aufbau Dammkörper, mit gelagertem, geeignetem Boden, Verdichtung	2.000 m ³	32,00 €	64.000 €
1.5 Wiederherstellung und Ansaat Dammfleichen land- und wasserseitig und HRB	4.000 m ²	0,50 €	2.000 €
1.6 Hochwasserentlastung: Überlaufstrecke an Dammkrone und -körper ca. 5 m breit, Wasserbausteine luftseitig aus Wasserbausteinen Größe 40 cm	1 psch	6.500,00 €	6.500 €
1.7 Einlaufbauwerk (Drosselbauwerk) im Damm, mit anströmbarem Rechen und Drosselschieber	1 psch	10.000,00 €	10.000 €
1.8 Verlegung Abwasserdruckrohre DN 250 bis Anschluss an Kanalisation nach ca. 50 m, einschl. neuem Schacht	1 psch	17.000,00 €	17.000 €
1.9 Gepflasterte Ablaufrinne aus bebauung Nord und Süd (ca. 2 m breit)	180 m ²	130,00 €	23.400 €
1.10 Toskammer bzw. Schacht zum Anschluss Bebauung Nord und Süd (ca. 2 m Breite, 1,5 m Tiefe)	1 psch	6.000,00 €	6.000 €
1.11 Baustelleneinrichtung und -vorhaltung	1 psch	35.000,00 €	35.000,00 €
2 Entwässerung			720.000 €
2.1 Regenwasserkanal, Normaltiefe	597 m	600,00 €	358.049 €
2.2 Regenwasserkanal, Übertiefe	101 m	800,00 €	81.096 €
2.3 Regenwasserschacht, Normaltiefe	12 St	3.000,00 €	36.000 €
2.4 Regenwasserschacht, Übertiefe	3 St	15.000,00 €	45.000 €
2.5 Unvorhergesehenes	20 %		104.029 €
2.6 Baustelleneinrichtung, Kleinleistung, Rundung	15 %		95.826 €
Summe			960.900 €

Quelle: FWT

Die angegebenen Kosten verstehen sich netto. Sie gelten für eine Realisierung im Jahr 2023. Auf Grund der Bearbeitungstiefe ist in dem Kostenansatz eine Ungenauigkeit von ±50% enthalten.

8 Zusammenfassung

Die Stadt Landshut plant eine Bebauung der Flächen oberhalb der Straße „Am Steinlech“. Diese Flächen liegen am Hang eines Talkessels, in dem es bei Starkregenereignissen zu oberflächigen Abflüssen größerer Wassermengen kommt und in Folge dessen in den westlich angrenzenden bebauten Bereichen zu Überflutungen.

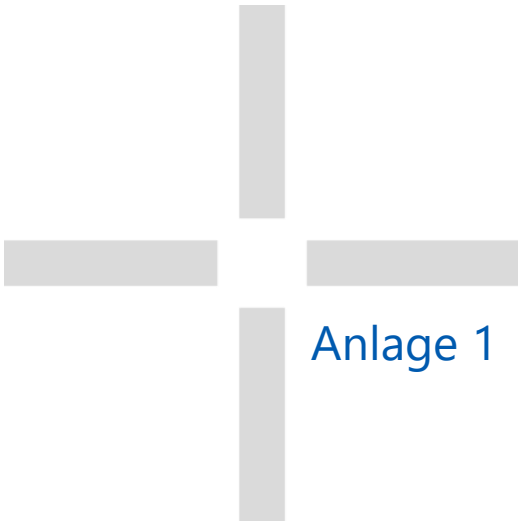
Für die geplante Bebauung werden der schadlose Abfluss von Niederschlagswasser, eine Pufferung im Bereich der geplanten Bebauung sowie ein bzw. mehrere Regenrückhaltebecken untersucht.

Zur Ergänzung der Grundlagedaten wird anhand einer Drohnenbefliegung das bestehende Gelände vermessen und ein digitales Geländemodell erstellt. Anhand dieses Geländemodells wird ein hydronumerisches 2D-Berechnungsmodell erstellt, mit dem die Abflüsse bei Starkregenereignisse simuliert werden können.

Für die Ermittlung des Volumens eines Rückhaltebeckens wird dieses Modell mit einem Effektivniederschlag beregnet, welcher sich als Produkt aus absolutem Niederschlag entsprechend den KOSTRA-Daten und dem von der Landnutzung abhängigen Abflussbeiwert ergibt. Die Berechnungsergebnisse werden in Bezug auf die Fließwege und die anfallenden Wassermengen ausgewertet.

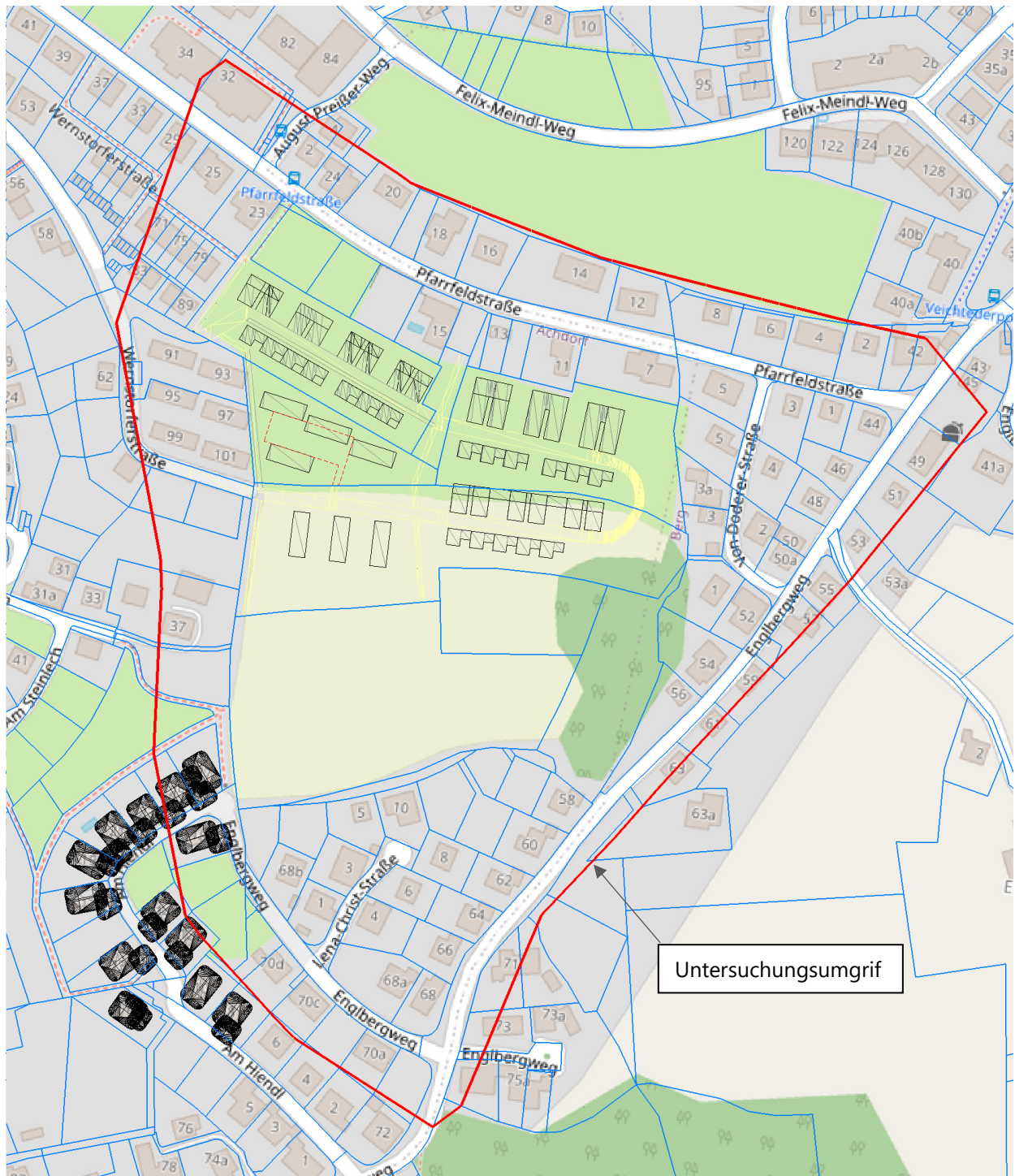
Das erforderliche Beckenvolumen wird für ein hundertjähriges Bemessungsereignis ermittelt unter der Vorgabe, dass der Drosselabfluss aus dem Becken nur durch die vorhandenen Regenwasserkanalisation mit einer restlichen Kapazität von 40 l/s abgeleitet werden kann. Das erforderliche Volumen beträgt ca. 3700 m³ und fällt bei einer Niederschlagsdauer von 9 h bis 12 h an. Es wird ein Becken in der Talsohle vorgesehen, die Aufteilung des erf. Volumens in 2 oder mehr Becken ist nicht wirtschaftlich.

Zusammenfassung zur Siedlungsentwässerung entsprechend dem Regelwerk wird nachgereicht.



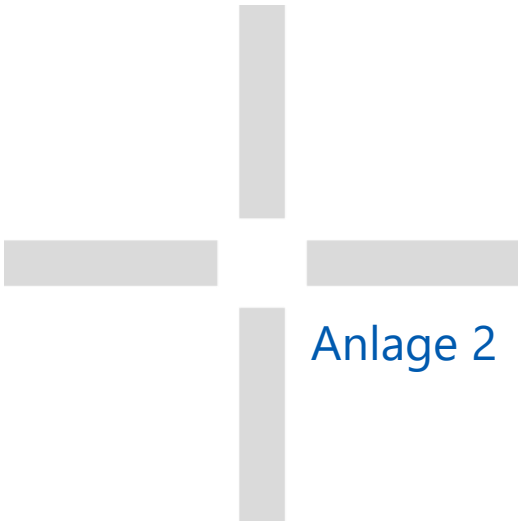
Anlage 1 Übersichtslageplan







Luftbild aus Drohnenbefliegung und Höhenlinien



Anlage 2 Hydrologie, SCS-
Verfahren

Table 2-2a Runoff curve numbers for urban areas ^{1/}

Cover description	Average percent impervious area ^{2/}	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/} :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ^{5/}					
		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c).					

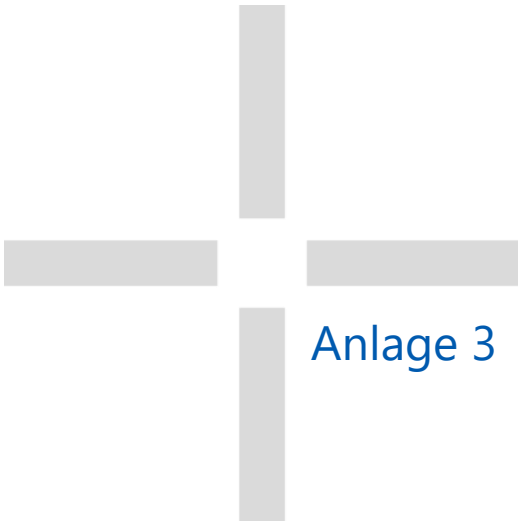
¹ Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

² The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition. CN's for other combinations of conditions may be computed using figure 2-3 or 2-4.

³ CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.

⁴ Composite CN's for natural desert landscaping should be computed using figures 2-3 or 2-4 based on the impervious area percentage (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

⁵ Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using figure 2-3 or 2-4 based on the degree of development (impervious area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.



Anlage 3 Hydrologie, Ganglinien
zur Effektivniederschlags-
intensität (mm/h), T=100a

D = 15min		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	19.39	28.63	25.58	70.67	28.63	70.67
270	19.39	28.63	25.58	70.67	28.63	70.67
271	72.73	107.35	95.91	265.01	107.35	265.01
450	72.73	107.35	95.91	265.01	107.35	265.01
451	17.45	25.76	23.02	63.60	25.76	63.60
900	17.45	25.76	23.02	63.60	25.76	63.60
901	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D = 30min		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.25	22.73	20.63	48.06	22.73	48.06
540	16.25	22.73	20.63	48.06	22.73	48.06
541	60.94	85.24	77.37	180.22	85.24	180.22
900	60.94	85.24	77.37	180.22	85.24	180.22
901	14.62	20.46	18.57	43.25	20.46	43.25
1800	14.62	20.46	18.57	43.25	20.46	43.25
1801	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D = 60min		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.40	16.63	15.29	31.22	16.63	31.22
1080	12.40	16.63	15.29	31.22	16.63	31.22
1081	46.51	62.36	57.32	117.08	62.36	117.08
1800	46.51	62.36	57.32	117.08	62.36	117.08
1801	11.16	14.97	13.76	28.10	14.97	28.10
3600	11.16	14.97	13.76	28.10	14.97	28.10
3601	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D = 2h		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.02	10.48	9.71	18.39	10.48	18.39
2160	8.02	10.48	9.71	18.39	10.48	18.39
2161	30.07	39.31	36.41	68.96	39.31	68.96
3600	30.07	39.31	36.41	68.96	39.31	68.96
3601	7.22	9.43	8.74	16.55	9.43	16.55
7200	7.22	9.43	8.74	16.55	9.43	16.55
7201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

D = 4h		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5.14	6.56	6.12	10.82	6.56	10.82
4320	5.14	6.56	6.12	10.82	6.56	10.82
4321	19.28	24.62	22.96	40.57	24.62	40.57
7200	19.28	24.62	22.96	40.57	24.62	40.57
7201	4.63	5.91	5.51	9.74	5.91	9.74
14400	4.63	5.91	5.51	9.74	5.91	9.74
14401	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

D = 9h		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3.04	3.77	3.55	5.82	3.77	5.82
9720	3.04	3.77	3.55	5.82	3.77	5.82
9721	11.39	14.15	13.31	21.82	14.15	21.82
16200	11.39	14.15	13.31	21.82	14.15	21.82
16201	2.73	3.40	3.19	5.24	3.40	5.24
32400	2.73	3.40	3.19	5.24	3.40	5.24
32401	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

D = 12h		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.53	3.07	2.92	4.65	3.07	4.65
12960	2.53	3.07	2.92	4.65	3.07	4.65
12961	9.48	11.52	10.96	17.44	11.52	17.44
21600	9.48	11.52	10.96	17.44	11.52	17.44
21601	2.27	2.77	2.63	4.19	2.77	4.19
43200	2.27	2.77	2.63	4.19	2.77	4.19
43201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

D = 24h		Effektivniederschlagszeitreihen[mm/h]				
Zeit (sek)	Wald	Landwirtschaft	Rasen_gruene_Flaeche	Strassen, Dachflaechen	Weg	Dachflächen Plan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.59	1.91	1.82	2.75	1.91	2.75
25920	1.59	1.91	1.82	2.75	1.91	2.75
25921	5.95	7.18	6.81	10.30	7.18	10.30
43200	5.95	7.18	6.81	10.30	7.18	10.30
43201	1.43	1.72	1.63	2.47	1.72	2.47
86400	1.43	1.72	1.63	2.47	1.72	2.47
86401	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
97200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Anlage 4 Lage Kontrollquerschnitt
Abflussmessung HRB



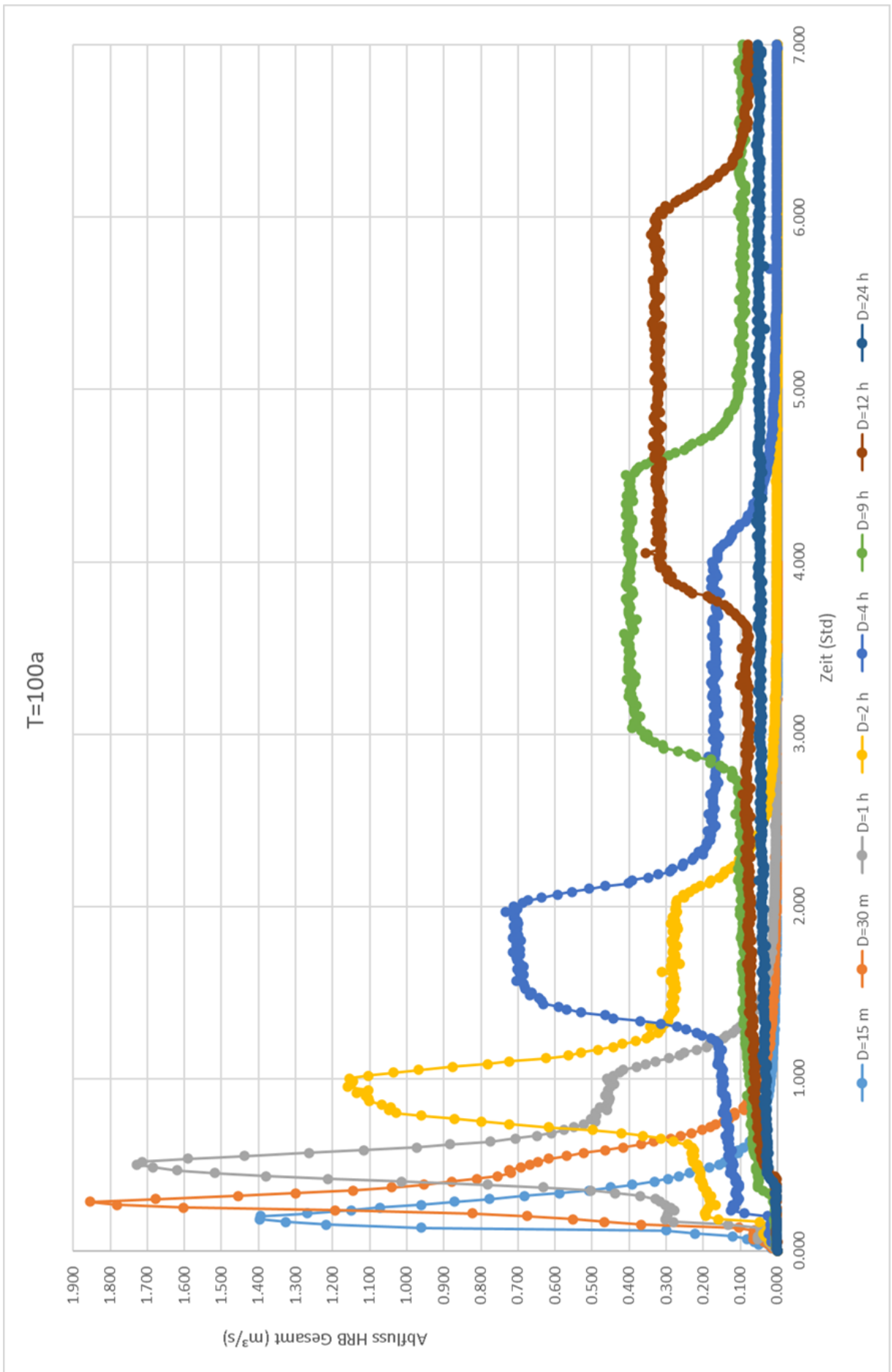
Kontrollquerschnitt
Abflussmessung

Max Wassertiefen
(ohne Becken)

max. Wassertiefen (in m) und Fließvektoren für die Berechnung $T=100a$, Dauerstufe=1 h

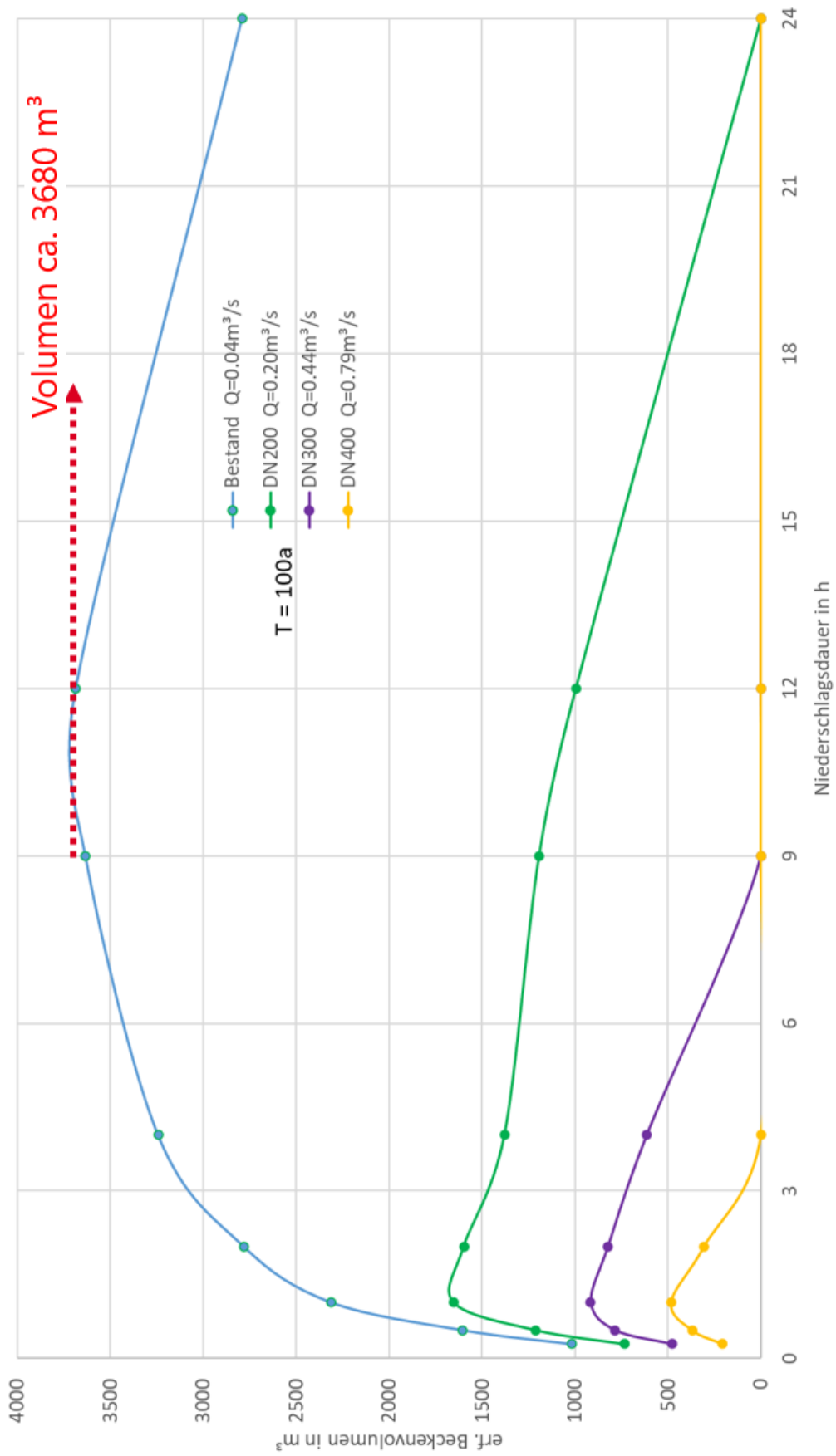


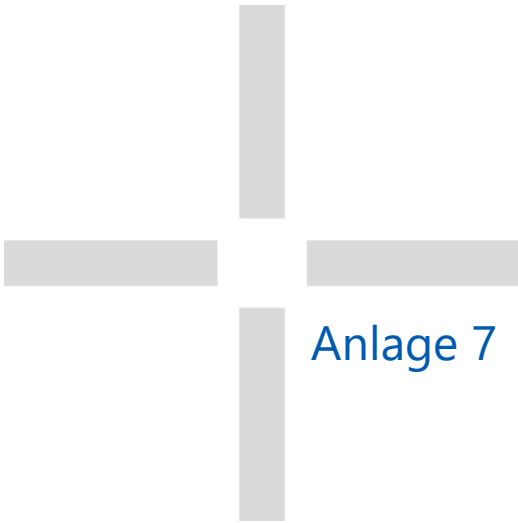
Anlage 5 berechnete Abflüsse HRB,
T=100a





Anlage 6 Erforderliche Beckengrößen





Anlage 7 Qualitätsbericht
Auswertung
Rasterbefliegung

Quality Report



Generated with PIX4Dmapper version 4.8.2 Preview



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	9-1193 Am Steinlech
Processed	2023-01-24 09:55:29
Camera Model Name(s)	FC6310R_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.06 cm / 1.20 in

Quality Check



Images	median of 49304 keypoints per image	
Dataset	800 out of 800 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	1.22% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 13058.5 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 8 GCPs (8 3D), mean RMS error = 0.009 m	

Calibration Details



Number of Calibrated Images	800 out of 800
Number of Geolocated Images	800 out of 800

Initial Image Positions

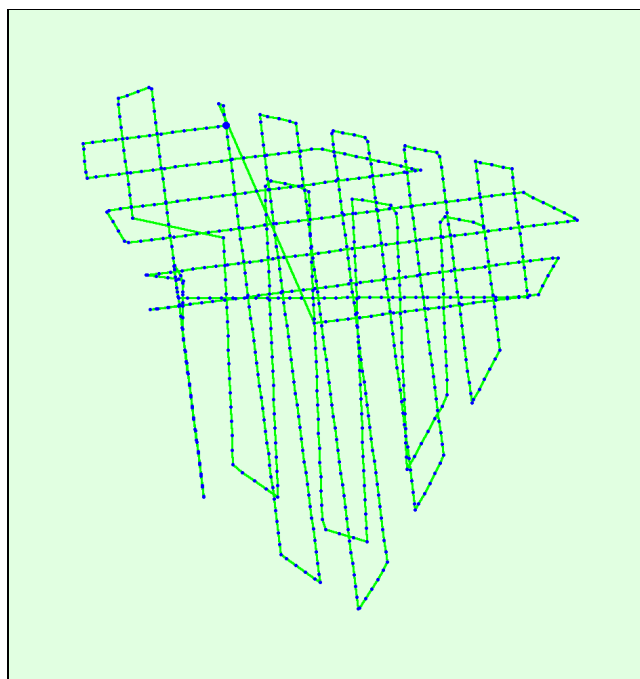
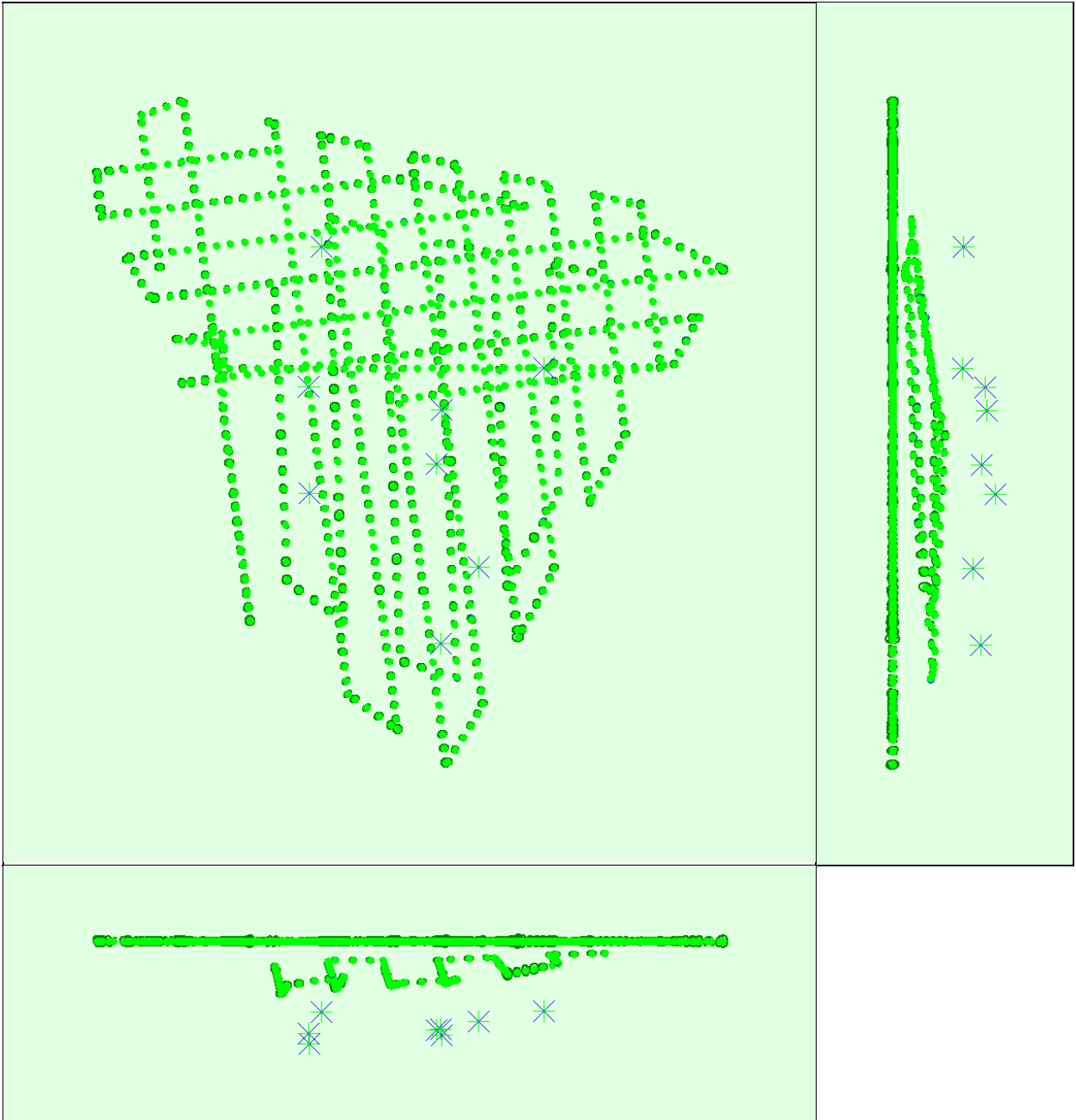


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
Sigma	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	10510531
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	4069434
Mean Reprojection Error [pixels]	0.165

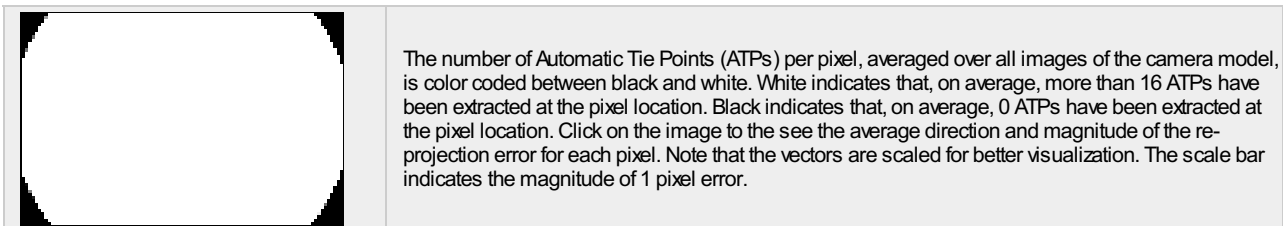
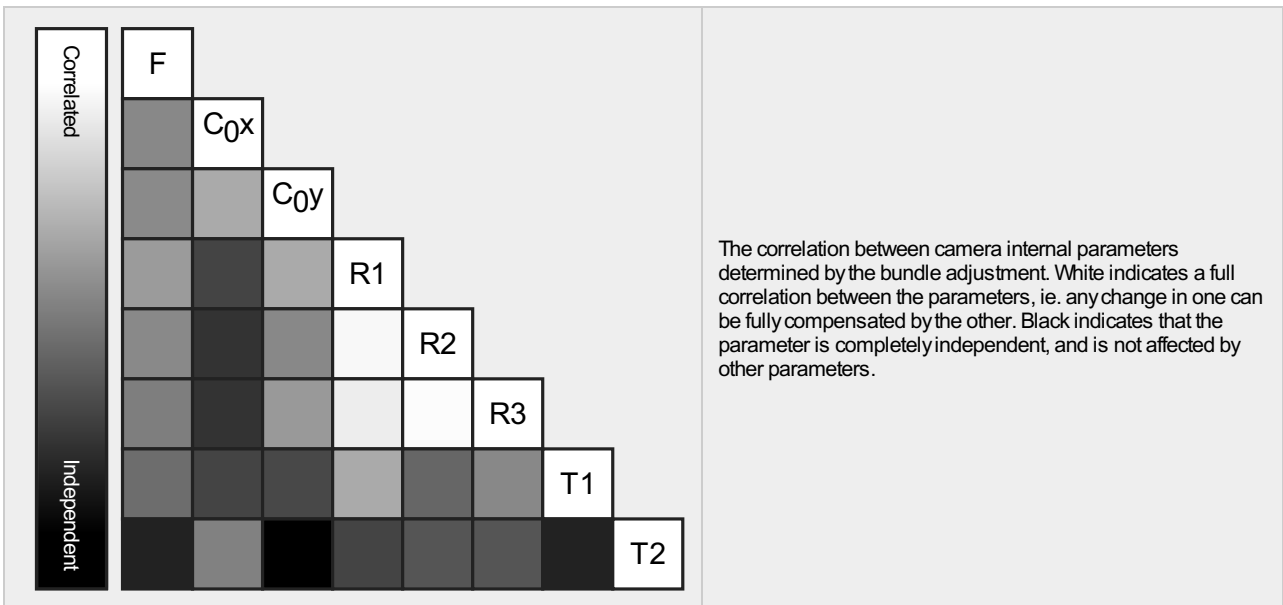
Internal Camera Parameters

FC6310R_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310R_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3658.300 [pixel] 8.580 [mm]	2722.500 [pixel] 6.385 [mm]	1835.100 [pixel] 4.304 [mm]	-0.269	0.112	-0.033	0.000	-0.001
Optimized Values	3703.260 [pixel] 8.685 [mm]	2720.218 [pixel] 6.380 [mm]	1790.749 [pixel] 4.200 [mm]	-0.285	0.129	-0.038	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.031 [pixel] 0.000 [mm]	0.042 [pixel] 0.000 [mm]	0.040 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	49304	13058
Mn	23205	381
Max	78062	25017
Mean	49367	13138

3D Points from 2D Keypoint Matches

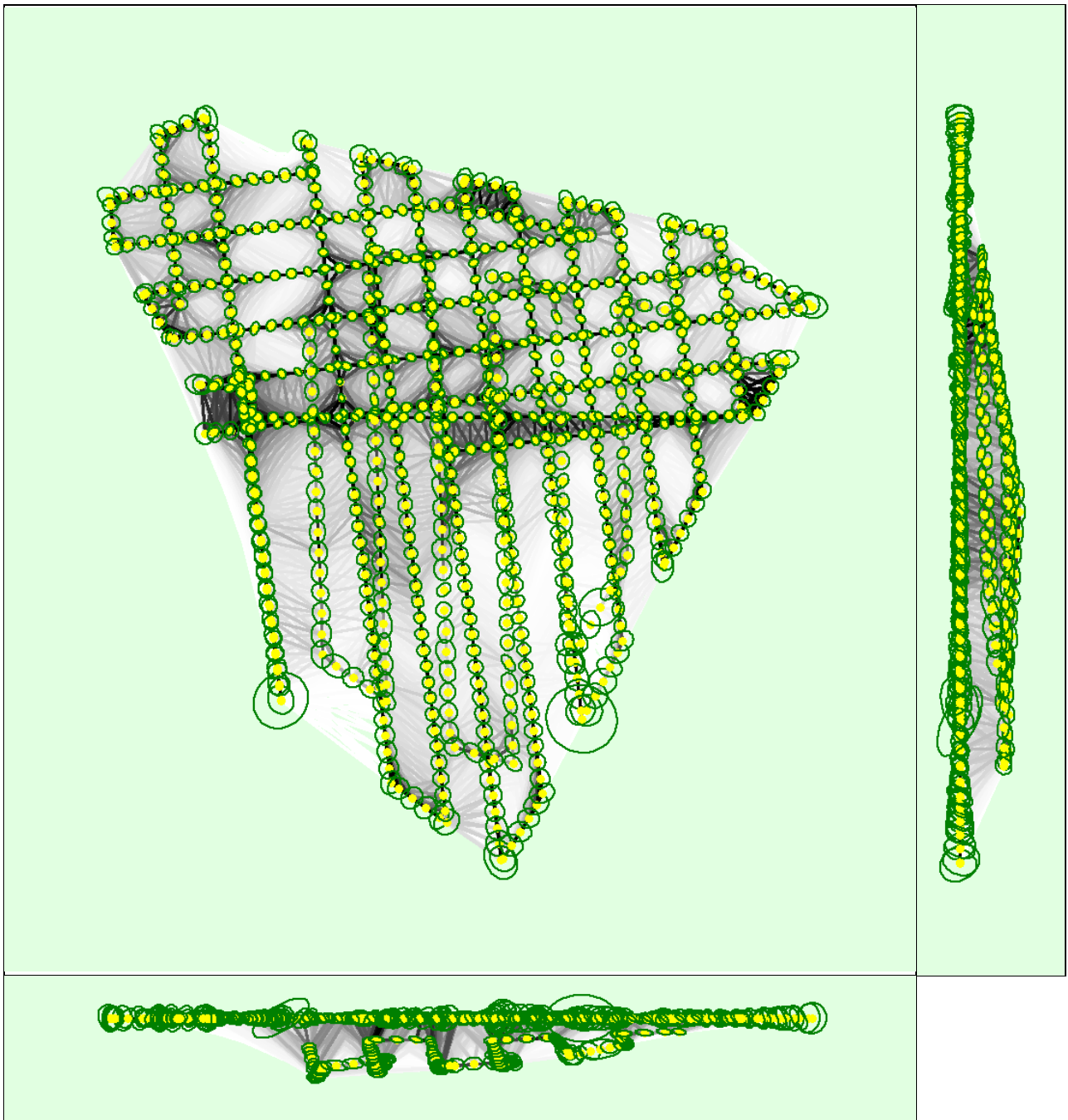


	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2939806

In 3 Images	627643
In 4 Images	232186
In 5 Images	110570
In 6 Images	60182
In 7 Images	34509
In 8 Images	21516
In 9 Images	13880
In 10 Images	8908
In 11 Images	5951
In 12 Images	3960
In 13 Images	2757
In 14 Images	1999
In 15 Images	1456
In 16 Images	998
In 17 Images	724
In 18 Images	576
In 19 Images	464
In 20 Images	312
In 21 Images	241
In 22 Images	180
In 23 Images	143
In 24 Images	97
In 25 Images	102
In 26 Images	64
In 27 Images	51
In 28 Images	26
In 29 Images	25
In 30 Images	29
In 31 Images	10
In 32 Images	21
In 33 Images	13
In 34 Images	8
In 35 Images	7
In 36 Images	3
In 37 Images	3
In 38 Images	3
In 39 Images	4
In 40 Images	5
In 48 Images	2

 **2D Keypoint Matches**





Uncertainty ellipses 1000x magnified

Number of matches 
 25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003
Sigma	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001

Geolocation Details

Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP1 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.018	0.007	0.611	48 / 48
GCP2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.002	0.017	0.409	38 / 38
GCP3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.011	-0.018	0.428	32 / 32
GCP5 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.003	0.010	0.489	29 / 29
GCP6 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.003	0.008	0.386	66 / 66
GCP7 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	-0.003	-0.012	0.432	80 / 80
GCP 8 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.000	0.002	0.439	90 / 90
GCP 9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.013	-0.014	0.407	62 / 62
Mean [m]		0.000050	0.000041	-0.000034		
Sigma [m]		0.006977	0.008923	0.011980		
RMS Error [m]		0.006977	0.008923	0.011980		

0 out of 3 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP K1		-0.0068	0.0161	0.0319	0.5060	24 / 24
GCP K2		0.0084	-0.0108	-0.0128	0.5157	85 / 85
GCP K3		-0.0023	-0.0034	-0.0045	0.3255	70 / 70
Mean [m]		-0.000232	0.000634	0.004864		
Sigma [m]		0.006377	0.011355	0.019388		
RMS Error [m]		0.006382	0.011373	0.019988		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.08	0.00	0.00	0.00
-0.08	-0.07	0.00	0.00	0.00
-0.07	-0.05	0.00	0.00	0.00
-0.05	-0.03	0.00	0.00	0.00
-0.03	-0.02	0.25	0.13	6.00
-0.02	0.00	49.13	52.13	41.00
0.00	0.02	50.25	47.25	47.00
0.02	0.03	0.38	0.50	6.00
0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
0.05	0.07	0.00	0.00	0.00
0.07	0.08	0.00	0.00	0.00
0.08	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.001132	0.002330	-0.021050
Sigma [m]		0.005404	0.005793	0.010511
RMS Error [m]		0.005522	0.006244	0.023529

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.001154	0.002366	-0.021531

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
----------------------------	--------------	--------------	--------------

[-1.00, 1.00]	97.88	97.63	97.63
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.013392	0.013392	0.023921
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000857	0.000857	0.002605

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.153
Phi	2.125
Kappa	7.435

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i9-7900X CPU @ 3.30GHz RAM: 128GB GPU: Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown), Microsoft Remote Display Adapter (Driver: unknown)
Operating System	Windows 10 Enterprise, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ETRS89 / UTMzone 32N (+45.567m)
Output Coordinate System	ETRS89 / UTMzone 32N (+45.567m)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes

3D Textured Mesh Settings:	Resolution: High Resolution Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results



Number of Generated Tiles	7
Number of 3D Densified Points	166106910
Average Density (per m ³)	845.44