Regierungspräsidium Karlsruhe

Referat 44 - Straßenplanung

B 292

Anbindung K 4281

Alternativenuntersuchung
zur Straßenoberflächenwasserbehandlung

Erläuterungsbericht

Teil A: Voruntersuchungen

Teil B: Ingenieurbauwerk

Oktober 2014

BIOPLAN

Ingenieurgesellschaft	Karlsplatz 1	74889 Sinsheim
Landeskulturgesellschaft	Pfohlhofstraße 20	74889 Sinsheim

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis……..……..I
Tabellenverzeichnis……..…...……..……..……..II
Vorbemerkung……III

TEIL A: VORUNTERSUCHUNGEN 1
1 Aufgabenstellung 1
2 Versickerungsuntersuchungen 2
2.1 Untersuchungsstellen und Methodik 2
2.2 Ergebnisse 6
3 Schadstoffrückhalt des Straßenseitenbereiches 9
4 Vorschlag für die Ausbildung des Straßenseitenbereiches 18
TEIL B: INGENIEURBAUWERK 19
1 Veranlassung und Aufgabenstellung 19
2 Planungsgrundlagen 20
3 Örtliche Verhältnisse 21
3.1 Niederschlagsverhältnisse 21
3.2 Vorfluter 21
3.3 Untergrundverhältnisse 21
3.4 Entwässerung bestehende B 292 21
4 Konzeption 28
4.1 Grundsätze der Konzeption 28
4.2 Bemessungshäufigkeit 28
4.3 Einzugsgebiete 30
4.4 Entwicklung der Aufgabenstellung 30
4.4.1 Abschnitte 1 + 2 30
4.4.1.1 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1 – 2, Variante 1:
Mulde-Rigole, Ausbildung der Mulde als „Oberboden-Mulde“ 30
4.4.1.2 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1 – 2, Variante 2:
Mulde-Rigole, Ausbildung der Mulde als „Filter-Mulde“ 31
4.4.1.3 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1 – 2, Variante 3: Bankettfilter 32
4.4.2 Abschnitt 3 32
4.4.2.1 Entwässerung „Trogbereich“; Abschnitt 3, Variante 1:
Versickerungsbecken, Freispiegelleitung, Horizontalbohrung 32
4.4.2.2 Entwässerung „Trogbereich“; Abschnitt 3, Variante 2:
Versickerungsbecken, Freispiegelleitung, offene Bauweise 33

4.4.2.3 Entwässerung „Trogbereich“; Abschnitt 3, Variante 3: Versickerungsmulde, Pumpwerk mit Druckleitung ... 34
4.4.2.4 Ergebnis Variantenvergleich Dynamische Investitionsrechnung ... 35
4.5 Konzeption Bankettfilter, Abschnitte 1 – 2 ... 36
4.6 Konzeption Versickerungsmulde ... 37
5 Hydrologische Berechnungen ... 38
5.1 Hydrologische Simulationsberechnungen ... 38
5.2 Bankettfilter Abschnitt 1: westlicher Teil B 292 ... 39
5.3 Bankettfilter Abschnitt 2: östlicher Teil B 292 ... 40
5.4 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich Unterführungsbauwerk ... 41
5.4.1 Regenwetterabflüsse ... 41
5.4.2 Bemessung Pumpwerk ... 42
5.4.3 Bemessung Versickerungsmulde ... 43
6 Hydraulische Berechnungen ... 45
7 Beschreibung ... 46
7.1 Bankettfilter Abschnitt 1: Westlicher Teil B 292 ... 46
7.2 Bankettfilter Abschnitt 2: Östlicher Teil B 292 ... 46
7.3 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich K 4281 ... 47
7.3.1 Pumpwerk ... 47
7.3.2 Versickerungsmulde ... 47
8 Kostenschätzung ... 49
8.1 Bankettfilter Abschnitt 1: Westlicher Teil B 292 ... 49
8.2 Bankettfilter Abschnitt 2: Östlicher Teil B 292 ... 50
8.3 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich Unterführungsbauwerk ... 51
8.3.1 Investitionskosten ... 51
8.3.1.1 Pumpwerk ... 51
8.3.1.2 Versickerungsmulde ... 51
8.3.1.3 Kostenzusammenstellung ... 52
8.3.2 Betriebskosten ... 52
9 Literatur ... 54

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: B 292, Daisbacher Höhe, Lage der Untersuchungsstellen 2013 2
Abb. 2: B 292, Profil Sinsheim, Tiefseite, Infiltrationszylinder, 90 cm unter Geländeoberkante 3
Abb. 3: Maximal gefüllte Grube des Versickerungsversuches vom 04.11.2013 bis 07.11.2013 5
Abb. 4: Verlauf des Wasserstandes in der Grube während des Versickerungsversuches 7
Abb. 5: B 292, Profil Sinsheim, Tiefseite 10
Abb. 6: B 292, Profil Waibstadt 11
Abb. 7: B 292, Profil Sinsheim, Sedimentationsbereich am Ende der Halbschalen 12
Abb. 8: Skizze Entwässerung B 292 im Bestand 23
Abb. 9: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Abschnitt A 24
Abb. 10: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Auslaufbereich 24
Abb. 11: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Detail Auslaufbereich 25
Abb. 12: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Südseite, Übergang in Transportkanal 25
Abb. 13: Auslauf Transportkanal, B 292 – West, Südseite, Übergang auf Entwässerungsrinne 26
Abb. 14: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Südseite, Auslaufbereich 26
Abb. 15: Entwässerungsrinne, B 292 – Ost, Südseite 27
Abb 16: Entwässerungsabschnitte zukünftige Entwässerung B 292 29
Abb. 17: Mulde-Rigole, Abschnitt 2 31
Abb. 18: Rohrgraben Freispiegelleitung mit offener Bauweise 33
Abb. 19: Schnitt Bankett mit Filter 36
Abb. 20: Ermittlung der Fördermenge des Pumpwerks 43

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Infiltrationsmessungen an der B 292 - Mittelwerte aus 4 Einzelmessungen 6
Tab. 2: Stoffgehalte der straßennahen, sandig-kiesigen Bankettprofile der Tiefseiten (0-20 cm, August 2013) 13
Tab. 3: Zink als Indikator für den Schadstoffrückhalt des Straßenseitenbereiches 14
Tab. 4: Zink als Indikator für den Schadstoffeintrag durch Spritzwasser und Trockendeposition in den Seitenbereichen, Hochseiten der beiden Profilen 14
Tab. 5: Sedimentgehalte am Ende der Halbschalen, Profil Sinsheim, B 292, 28.08.2013 16
Tab. 6: Straßenabflussbürtige Zinkanreicherung im Bankett, Profil Waibstadt, 28.08.2013, B 292 17
Tab. 7: Carbonatgehalt des Bankettes als Indikator für die Infiltration des Straßenabflusses, Profil Waibstadt, Tiefseite, B 292, 28.08.2013 17
Tab. 8: Bemessungshäufigkeit nach RAS-Ew 28
Tab. 9: Liste/Bilanz Einzugsgebiete 30
Tab. 10: Regenabflüsse Bankettfilter Abschnitt 1 39
Tab. 11: Bemessung Bankettfilter Abschnitt 1 40
Tab. 12: Regenabflüsse Bankettfilter Abschnitt 2 40
Tab. 13: Bemessung Bankettfilter Abschnitt 2 41
Tab. 14: Regenwetterabflüsse Abschnitt 3 41
Tab. 15: Ermittlung der Fördermenge des Pumpwerks 42
Tab. 16: Bemessung Versickerungsmulde Abschnitt 3 43
Tab. 17: Versagenshäufigkeit Versickerungsmulde Abschnitt 3 44
Tab. 18: Bemessung Zuleitungskanäle 45

Vorbemerkung

Die angebotenen Ingenieurleistungen werden von der ARGE BIOPLAN Landeskulturgesellschaft und der BIOPLAN Ingenieurgesellschaft erbracht (Federführung: BIOPLAN Ingenieurgesellschaft).

Die Leistungen der BIOPLAN Landeskulturgesellschaft werden im **Teil A: Voruntersuchungen**, die Leistungen der BIOPLAN Ingenieurgesellschaft im **Teil B: Ingenieurbauwerk** behandelt.

TEIL A: VORUNTERSUCHUNGEN

1 Aufgabenstellung

Die Voruntersuchungen sollten folgende Fragen beantworten:

- In welchem Umfang findet an den vorhandenen Banketten und Mulden eine örtliche Versickerung des Straßenabflusses statt?

- Mit welcher Versickerungsleistung kann bei der geplanten zentralen Versickerung (Muldenversickerung) gerechnet werden?

- In welchem Umfang findet an den vorhandenen Banketten und Mulden ein Rückhalt der Schadstoffe des Straßenabflusses statt?

2 Versickerungsuntersuchungen

2.1 Untersuchungsstellen und Methodik

In Abb. 1 sind die 4 Untersuchungsstellen eingetragen:

- Straßenprofil Sinsheim
- Straßenprofil Waibstadt
- Alte Lage der geplanten Versickerungsmulde
- Neue Lage der geplanten Versickerungsmulde

Abb. 1: B 292, Daisbacher Höhe, Lage der Untersuchungsstellen 2013

Der Straßenseitenstreifen ist bei den beiden Profilen (Sinsheim, Waibstadt, Abb. 1) 2 Meter breit. Am Ende des 2 m breiten Bereiches sind Halbschalen verlegt (Abb. 5, rechts). Bis auf den unmittelbar neben der Fahrbahn gelegenen Bereich (0-20 cm), besteht der Boden aus anstehendem Löß. Eine Dränage entlang der Straßenführung ist nicht vorhanden. Alle 4 Untersuchungsstellen besitzen eine tiefgründige Lößdecke.

Zylinderversickerung

An den Tiefseiten der Straßenprofile (Straßenseitenbereich mit Zufluss von Straßenabfluss) Sinsheim und Waibstadt und an der alten Lage der geplanten Versickerungsmulde wurden Infiltrationsmessungen mit Zylindern vorgenommen (Abb. 2).

Die Messungen erfolgten an der Bodenoberfläche und in verschiedenen Tiefen des Lößuntergrundes.

Abb. 2: B 292, Profil Sinsheim, Tiefseite, Infiltrationszylinder, 90 cm unter Geländeoberkante

Pro Messstandort wurden 4 Messungen vorgenommen. Die Zylinder (Ø 200 mm, Höhe 400 mm) wurden 10 cm tief in den Boden geschlagen und die Infiltrationsfläche mit einem Vlies als Schlämmschutz ausgelegt. Danach wurde eine Wassersäule von 300 mm in die Zylinder gegeben und die Zeit gemessen bis die Wassersäule versickert

war. War die Infiltration extrem gering, wurde nach ca. 4 Stunden die Messung beendet und die bis dahin versickerte Wassersäule zur Berechnung der Infiltrationsrate verwendet.

Grubenversickerung

Bei der neuen Lage der Versickerungsmulde wurde eine Grubenversickerung angewendet.

Es wurde aus Aufwandsgründen auf eine Erfassung der Lößmächtigkeit und der Kornverteilung des Lößprofiles verzichtet. Die Ermittlung der hydraulischen Versickerungsleistung stützt sich ausschließlich auf die im Versickerungsversuch ermittelte Infiltrationsleistung. Der Versickerungsversuch dauerte vom 04.11. – 07.11.2013. Es wurde eine Grube von 1,20 m Länge, 1,10 m Breite und 0,80 m Tiefe angelegt. Die Sohle der Grube lag im Rohlöß. Die Sohle wurde mit einem 7 mm mächtigen Geotextil abgedeckt. Grubenmittig wurde ein Verteilerkorb Ø 200 mm x 300 mm Höhe auf das Geotextil aufgesetzt, der ebenfalls aus einem 7 mm dicken Geotextil bestand. In den Verteilerkorb wurde der Schlauch für die Wasserzufuhr eingesteckt. Das Sohlgeotextil und der Verteilerkorb dienten dazu, die Verschlämmung des Lößes weitgehend auszuschließen.

Nach der Fertigstellung der Grube am 04.11.2013 wurden 2 x 540 l in die Grube geleitet. Die 1. Füllung erfolgte von 12.30 – 12.59 Uhr, die 2. Füllung von 13.55 – 14.40 Uhr. Auf Sohlniveau der Grube wurde eine Wasserstandssonde installiert, die den Verlauf des Wasserspiegels erfasste. Abb. 3 zeigt den maximalen Wassereinstau der Grube nach einer Wasserzufuhr von 1080 l.

Abb. 3: Maximal gefüllte Grube des Versickerungsversuches vom 04.11.2013 bis 07.11.2013. Rechts, hinten ist das Kabel der Wasserstandssonde zu erkennen. Links, hinten die Wasserzufuhr über einen Schlauch.

Nach der vollständigen Versickerung der Wasserzufuhr vom 04.11.2013 erfolgte am 06.11.2013 eine nochmalige Wasserzufuhr von 540 l. Nach dessen vollständiger Versickerung wurde der Versuch beendet und die Grube horizontgetreu wiederverfüllt. Die Füllung am 04.11.2013 diente der vollständigen Auffüllung des Versickerungsstandortes auf Feldkapazität. Die Ermittlung der Infiltrationsrate soll sich ausschließlich auf den 2. Wasserspiegelabfall vom 06.11. bis 07.11.2013, bei geringer Einstauhöhe (5-10 cm über Grubensohle) beziehen. Hierdurch ist, wie die Kurvenverläufe zeigen, eine konservative Ermittlung der Infiltrationsrate gegeben. Bei großer Einstauhöhe wirkt insbesondere die seitliche Infiltration in die Grubenwände infiltrationserhöhend. Hingegen kann bei einer geringen Einstauhöhe von 5-10 cm von einer weitgehend vertikalen Infiltration ausgegangen werden.

Alle 4 Untersuchungsstandorte besitzen eine tiefgründige Lößdecke.

2.2 Ergebnisse

Zylinderversickerung

Tab. 1: Infiltrationsmessungen an der B 292 - Mittelwerte aus 4 Einzelmessungen

	mm/min	m/d	10^{-5}m/s
Profil Sinsheim, Tiefseite, 27.08.2013			
Oberfläche, 40 cm*	0,71	-	-
Oberfläche, 130 cm*	31,9	-	-
Lößuntergrund, 90 cm uGOK	0,22	0,32	0,37
Profil Waibstadt, Tiefseite, 28.08.2013			
Oberfläche, 40 cm*	2,24	-	-
Oberfläche, 150 cm*	57,6	-	-
Lößuntergrund, 100 cm uGOK	0,32	0,46	0,53
Alte Lage der geplanten Versickerungsmulde, 28.08.2013			
Lößuntergrund, 40 cm uGOK	1,37	1,97	2,28

* Abstand vom Straßenbelagsrand

Infiltrationszylinder Ø 200mm, Ausgangswasserspiegelhöhe = 300 mm, Messzeit bis 3,7 Stunden

An den Straßenprofilen Sinsheim und Waibstadt findet derzeit in der Höhe des Straßenbelagsrandes (40 cm) eine nur geringe Infiltration statt. Ursache hierfür dürfte die Verdichtung der Bankettoberfläche sein. Am Profil Waibstadt konnte im Bereich von 0-80 cm neben der Fahrbahnkante ein 10 cm mächtiges Band aus rötlichem, tonigen Boden beobachtet werden (Abb. 6). Oberhalb dieses Bandes war die Bodenschicht stark mit Straßensediment durchsetzt und sehr krümelig und grobporenreich (Abb. 6, unten links). Ohne dieses tonreiche Bodenband wäre die Infiltrationsleistung deutlich höher. Hingegen ist in ca. 1,50 m Entfernung an der Oberfläche eine hohe Infiltration vorhanden. Dieser Bereich gibt die potenziell hohe Infiltration des Bankett- und Muldenbereiches an Straßen wieder.

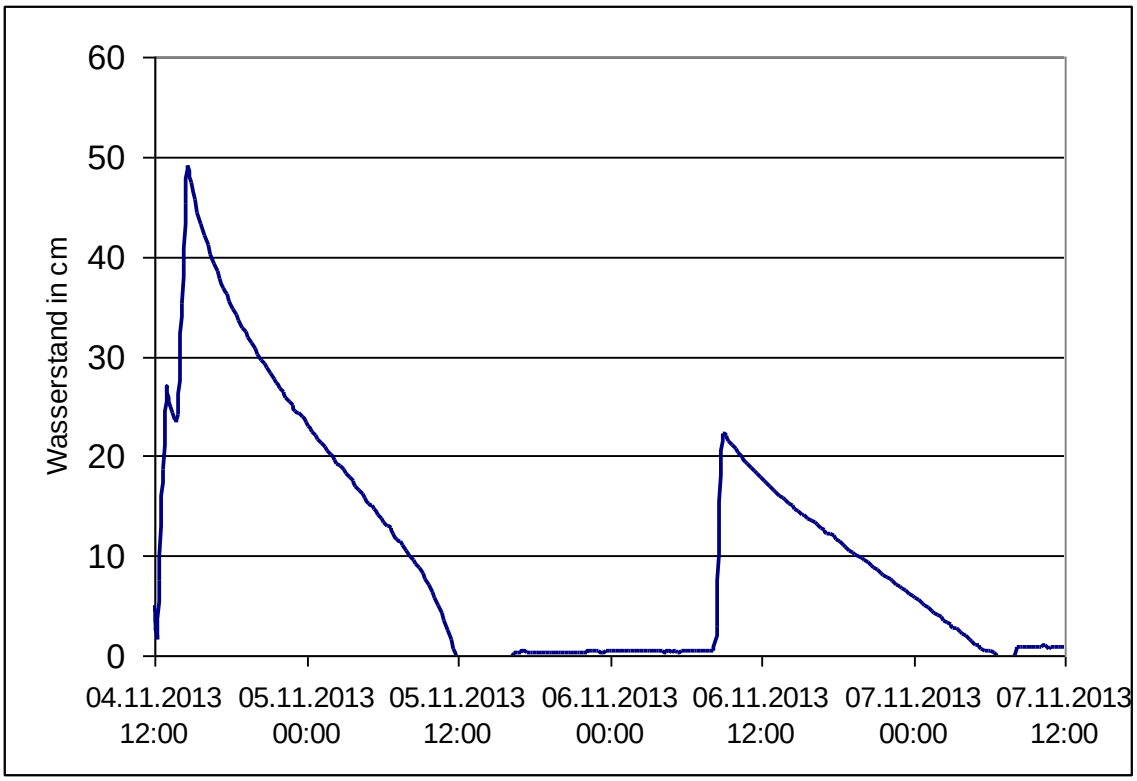
Der ungestörte Lößuntergrund in ca. 1 m unter Gelände zeigt hingegen aufgrund der geringen Sekundärporen wiederum eine, im Vergleich zur Bodenoberfläche, geringe Infiltrationsleistung an. In 1 m Tiefe ist die gemessene Infiltration aber noch hoch genug, um den gepufferten Straßenabfluss weitgehend quantitativ in den Untergrund abzuleiten.

Diese Aussage dürfte vermutlich auch für den alten Muldenstandort gelten. Da dieser Standort aber nicht mehr verwendet wird, soll eine nähere Betrachtung hierzu nicht vorgenommen werden.

Der oberirdische Abflussanteil des Straßenabflusses kann an den beiden Standorten (Profil Sinsheim, Profil Waibstadt) nicht sicher quantifiziert werden. Am Profil Sinsheim ist aufgrund der krümeligen Ausbildung des Sedimentationsbereiches (nach Ende Halbschalen) davon auszugehen, dass der Straßenabfluss vollständig im Bereich des Seitenbereiches versickert. Am Standort Profil Waibstadt findet aufgrund des höheren Längsgefälles der Straße ein geringer nicht genauer quantifizierbarer Oberflächenabfluss in den unterliegenden Waldgraben statt.

Grubenversickerung

Abb. 4: Verlauf des Wasserstandes in der Grube während des Versickerungsversuches



In Abb. 4 ist der Wasserspiegelverlauf des Versickerungsversuches dokumentiert.

Wie angeführt erfolgt die Ermittlung der Infiltrationsrate (IR) beim Einstau von 5-10 cm über Grubensohle:

$$IR = 0{,}05\ m / 18.900\ s = 0{,}26 * 10^{-5}\ m/s$$

Die konservativ ermittelte Infiltrationsrate beträgt IR = 0,26 * 10^{-5} m/s. Für die Berechnung der notwendigen Sohlfläche der zentralen Versickerungsmulde sollte die angegebene Infiltrationsrate wasserstandsunabhängig verwendet werden. Die bei höheren Wasserständen und bei geringeren Wassergehalten (unter Feldkapazität) auftretenden höheren Infiltrationsraten sollten aus Sicherheitsgründen nicht berücksichtigt werden.

Der Grubenversickerungsversuch wurde auf der geplanten Sohle der Versickerungsmulde angelegt. Unerkannte stauende, tonreiche Lößschichten können somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der homogenen Bodenoberfläche im Bereich des Versickerungsversuches ist davon ausgegangen, dass die ermittelte Infiltrationsrate auf die gesamte Versickerungsmulde übertragen werden kann.

Durch die Ausbildung einer straßenbegleitenden Filterschicht (Bankett- und Muldenfilter) kann davon ausgegangen werden, dass der geringe Resteintrag an straßenabflussbürtigen Feinpartikeln in die Versickerungsmulde zu keiner relevanten Senkung der gemessenen Infiltrationsrate führt (Ausgangsinfiltration = Betriebsinfiltration).

3 Schadstoffrückhalt des Straßenseitenbereiches

Der Schadstoffrückhalt soll hauptsächlich am Parameter Zink vorgenommen werden. Ergänzend zu den Anlagewerten kann aufgrund der hellen Farbe des anstehenden Lößes auch die horizontale und vertikale Verteilung der Feinpartikel des Straßenabflusses (schwarze Farbe) abgeschätzt werden.

Rückhalt der straßenbürtigen Feinpartikel

Beide Profile (Sinsheim, Waibstadt) zeigten optisch keine ausgeprägte Keilform der Sedimentbildung, die durch eine hohe schwarze Schicht unmittelbar am Straßenrand auf Null in straßenferne, meist in 1-2 m ausläuft. Der üblicherweise sehr deutlich erkennbare Sedimentkeil wird bei den beiden Profilen durch die bauseitige Aufbringung von dunklen Böden (Oberboden) überdeckt. Unmittelbar am Fahrbahnrand ist durch den Unterbau der Straße kein Löß, sondern eine kiesige Körnung vorhanden (Abb. 5, Abb. 6), die ein geringes Rückhaltevermögen für Schadstoffe besitzt. Dort setzte sich, wie im Detailfoto zu erkennen, der größte Teil der Feinpartikel ab (Vergleich Abb. 6, unten links mit unten rechts). An diesem Bildvergleich kann ersehen werden, dass auch an den untersuchten Profilen eine keilförmige Sedimentbildung stattgefunden hat. Die hohe straßenrandnahe Sedimentation verhindert auch, dass der kiesige Kornaufbau zu einer starken Tiefenverlagerung des Zinkes führt (Tab. 2). Durch die bauseitige Oberbodenaufbringung beim Profil Sinsheim (Abb. 5) kann, im Gegensatz zu Profil Waibstadt (Abb. 6), optisch nicht entschieden werden, ob auf dem 2 m breiten Seitenbereich ein weitgehend vollständiger Feinpartikelrückhalt stattgefunden hat. Aus diesem Grund wurde am Ende der Halbschalen das dort vorhandene Sediment und der unterlagernde Boden untersucht (Tab. 5). Das vorhandene Sediment ist sehr hell. Da dieses Sediment keine schwarze Farbe ausweist (Abb. 7) kann davon ausgegangen werden, dass das Sediment nur zum Teil straßenabflussbürtig ist. Diese Aussage kann durch die Analysen bestätigt werden (Tab. 5).

Abb. 5: B 292, Profil Sinsheim, Tiefseite

Oben: Querprofil von Fahrbahn zur Muldenrinne

Unten: Blick auf das straßenseitige Profil

Abb. 6: B 292, Profil Waibstadt

Oben: Profilübersicht

Unten: Fahrbahnabstand, links 0-20 cm, mittig 90-110 cm, rechts 1,80-2,00 m

Abb. 7: B 292, Profil Sinsheim, Sedimentationsbereich am Ende der Halbschalen

Vertikale Zinkverteilung am Straßenseitenbereich

Der unmittelbar an die Fahrbahndecke anschließende Bereich (Profil Sinsheim 0-20 cm, Profil Waibstadt 0-40 cm) besteht nicht aus anstehendem Löß, sondern aus kiesigem Kornaufbau. Es wurde deshalb dieser Bereich separat untersucht. Die Ergebnisse der Tabelle 2 zeigen, dass eine vertikale Wanderung der straßenabflussbürtigen Feinpartikel erst nach 80 cm unter der Geländeoberfläche weitgehend abgeschlossen ist. Diese starke Tiefenwanderung der Feinpartikel ist an beiden Profilen im gleichen Umfang ausgeprägt (Tab. 2). Die Zinkgehalte in 75-80 cm Tiefe des Profiles Waibstadt von 20,7 mg/kg, dass die Tiefenverlagerung dort noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Eine tiefere Beprobung des kiesigen Materials konnte aus methodischen Gründen nicht vorgenommen werden. In ein Meter Abstand zur Fahrbahn wurde der anstehende Löß hingegen bis 3 m Tiefe an beiden Profilen beprobt. Die dortigen Profilgehalte zeigen folgende Zinkgehalte:

	Profil Sinsheim	Profil Waibstadt
	in mg Zn/kg	
0 – 10	939	263
25 – 30	52,4	73,7
75 – 80	40,8	60,1
80 – 200	38,0	60,3
200 – 300	43,3	49,7

Es ist davon auszugehen, dass in den Lößprofilen in 1 m Abstand zur Fahrbahn der straßenabflussbürtige vertikale Zinkeintrag nach spätestens 80 cm Tiefe abgeschlossen ist. Die Gehalte im Lößuntergrund (> 80 cm) schwanken im Bereich des geogenen Zn-Gehaltes von Löß.

Tab. 2: Stoffgehalte der straßennahen, sandig-kiesigen Bankettprofile der Tiefseiten (0-20 cm, August 2013)

	Profil Sinsheim		Profil Waibstadt	
Tiefe in cm	T+U in M-%	Zn in mg/kg	T+U in M-%	Zn in mg/kg
0 – 10	41,3	847	35,3	418
25 – 30	9,0	86,7	8,6	78,0
75 – 80	2,3	12,6	2,3	20,7

T+U bezogen auf die Gesamtprobe
Zn bezogen auf die Probe < 2,0 mm

Horizontale Zinkverteilung am Straßenseitenbereich

Wie schon angeführt, ist der vertikale Zinkeintrag bei den Lößprofilen (20-200 cm Fahrbahnabstand) spätestens nach 80 cm abgeschlossen. Ab hier wurden geogene Gehalte gemessen. Der horizontale Transport der Schadstoffe ist hingegen innerhalb des Straßenseitenbereiches bis 200 cm noch nicht abgeschlossen. Auch wenn kein Abfluss in die Halbschalenrinne gelangen würde, wären aufgrund der luftgetragenen Deposition die Gehalte des Oberbodens in Halbschalennähe nicht im Bereich des geogenen Hintergrundes. Beide Profile zeigen mit 189 mg Zn/kg im Oberboden (0-10 cm Tiefe) deutlich höhere Gehalte als der geogene Hintergrund. Am Profil Waibstadt kann aufgrund der hellen Oberbodenfarbe (Abb. 6, unten, rechts) ersehen werden, dass der Zinkgehalt von 189 mg/kg nicht zu einer Schwarzfärbung führt. Es kann allerdings nicht sicher beurteilt werden, ob die Zinkgehalte in Halbschalennähe abflussbürtig sind. Wie die Gehalte an den Hochseiten der Profile (ohne Straßenabfluss) zeigen (Tab. 4) könnten die Gehalte an der Tiefseite in Halbschalennähe durch Spritzwasser und trockene Deposition entstanden sein. Durch die große Schwankung zwischen Profil Sinsheim (321 mg Zn/kg) und Profil Waibstadt (126 mg Zn/kg) können die Messungen der Hochseite die Frage der Entstehung der Zinkgehalte in Halbschalennähe nicht eindeutig klären.

Tab. 3: Zink als Indikator für den Schadstoffrückhalt des Straßenseitenbereiches

Profil Sinsheim, 27.08.2013			
Abstand in cm	0 – 20	75 – 95	150 – 170
Tiefe in cm	Zn in mg/kg		
0 – 10	847	939	189
25 – 30	86,7	52,4	39,7
75 – 80	12,6	40,8	38,0
Profil Waibstadt, 28.08.2013			
Abstand in cm	0 – 20	90- 110	180 - 200
Tiefe in cm	Zn in mg/kg		
0 – 10	418	263	189
25 – 30	78,0	73,7	65,2
75 – 80	20,7	60,1	55,9

Tab. 4: Zink als Indikator für den Schadstoffeintrag durch Spritzwasser und Trockendeposition in den Seitenbereichen, Hochseiten der beiden Profilen

Profil Sinsheim, 27.08.2013			
Abstand in cm	0 – 20	75 – 95	150 – 170
Tiefe in cm	Zn in mg/kg		
0 – 10	847	939	189
25 – 30	86,7	52,4	39,7
75 – 80	12,6	40,8	38,0
Profil Waibstadt, 28.08.2013			
Abstand in cm	0 – 20	90- 110	180 - 200
Tiefe in cm	Zn in mg/kg		
0 – 10	418	263	189
25 – 30	78,0	73,7	65,2
75 – 80	20,7	60,1	55,9

Da beim Profil Sinsheim Sediment am Ende der Halbschalenrinne festgestellt wurde (Abb. 7) ist für dieses Profil mit einem Abfluss in die Halbschalenrinne auszugehen. Hierdurch werden nicht alle Schadstoffe vollständig am Querprofil zurückgehalten. Es ist davon auszugehen, dass der Rückhalt ohne Halbschalen vollständiger wäre. Am Ende der Halbschalenrinne fand eine Sedimentation und aufgrund des grobporenreichen Sedimentes eine hohe Infiltration des restlichen Straßenabflusses statt. Diese insgesamt ca. 25 m lange Sedimentations- und Infiltrationsstrecke weist darauf hin, dass der Straßenabfluss weitgehend vollständig versickert ist. Als Beleg für diese Aussage können die Parameter $CaCO_3$, Zink und Cadmium in der Längs- und Tiefenverteilung angesehen werden (Tab. 5).

Tab. 5: Sedimentgehalte am Ende der Halbschalen, Profil Sinsheim, B 292, 28.08.2013

Abstand von Halbschalen in m	3	13	23
$CaCO_3$ in M-%			
Sediment, 0 – 20 cm	7,27	8,73	5,46
Anstehender Boden, 20 – 30 cm	8,22	6,12	1,93
Zink in mg/kg			
Sediment, 0 – 20 cm	389	528	130
Anstehender Boden, 20 – 30 cm	95,8	84,1	62,0
Cadmium in mg/kg			
Sediment, 0 – 20 cm	0,79	1,32	0,54
Anstehender Boden, 20 – 30 cm	0,37	0,29	0,21

Am Standort Waibstadt ist kein Sedimentationsbereich am unteren Ende des Untersuchungsprofiles vorhanden. An der Einleitungsstelle in den Waldgraben konnten Abflussspuren vorgefunden werden. Vermutlich ist das höhere Längsgefälle der Straße für den erkennbaren Oberflächenabfluss verantwortlich. Um eine Abschätzung über den Oberflächenabflussanteil vornehmen zu können ist in Tab. 6 die Zinkgehaltsdifferenz zwischen Tief- und Hochseite des Straßenseitenbereiches gebildet worden. Ergänzend wurde in Tab. 7 die Verteilung des $CaCO_3$-Gehaltes angeführt.

Beim Profil Waibstadt ergibt sich in Nähe der Halbschalenrinne im Oberboden eine Gehaltsdifferenz von 63 mg Zn/kg. Dieser Gehalt ist vermutlich abflussbürtig. Die helle Farbe des Oberbodens zeigt, dass kein relevanter Feinpartikelgehalt im Halbschalenabfluss vorhanden ist. Da der Großteil der Schadstoffe partikelgebunden ist, repräsentiert die Zinkgehaltsdifferenz von 63 mg/kg nur eine geringe Schadstofffracht im Halbschalenabfluss, die unter 10 % der Gesamtfracht des Straßenabflusses liegen dürfte.

Tab. 6: Straßenabflussbürtige Zinkanreicherung im Bankett, Profil Waibstadt, 28.08.2013, B 292

Abstand in cm	0 – 20	90 – 110	18 – 200
Tiefe in cm	Zn in mg/kg		
Tiefseite mit Straßenabfluss			
0 – 10	418	263	189
25 – 30	78,0	73,7	65,2
Hochseite ohne Straßenabfluss			
0 – 10	307	148	126
25 – 30	22,0	51,4	57,9
Differenz Tiefseite-Hochseite			
0 – 10	111	115	63
25 – 30	56	22,3	7,3

Die Verteilung der $CaCO_3$-Gehalte im Profil Waibstadt bestätigt den geringen Halbschalenabfluss. Der anstehende Löß ist carbonatarm. Durch die Infiltration des Straßenabflusses findet eine Carbonatanreicherung im Profil statt (Tab. 7). Die geringen $CaCO_3$-Gehalte des Ober- und Unterbodens in Halbschalennähe (**Tab. 7**) weisen darauf hin, dass der Feinpartikeltransport und Abfluss in der Halbschale gering war. Wäre dieser hoch gewesen hätte aufgrund der hohen Infiltrationsleistung im fahrbahnfernen Seitenbereich (**Tab. 1**) eine hohe Carbonatanreicherung stattfinden müssen.

Tab. 7: Carbonatgehalt des Bankettes als Indikator für die Infiltration des Straßenabflusses, Profil Waibstadt, Tiefseite, B 292, 28.08.2013

Abstand in cm	0 – 20	90 – 110	180 – 200
Tiefe in cm	$CaCO_3$ in M-%		
0 – 10	11,2	6,09	1,59
25 – 30	6,25	0,73	0,81
75 – 80	4,66	0,34	0,26

4 Vorschlag für die Ausbildung des Straßenseitenbereiches

Unter den derzeitigen suboptimalen Filtrationsbedingungen des Seitenbereiches der B 292 findet, wie die Untersuchungen gezeigt haben, schon ein hoher örtlicher Schadstoffrückhalt statt. Dieser örtliche Schadstoffrückhalt kann durch eine Oberflächenfiltration des Straßenabflusses noch erhöht werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Hydraulische Leitfähigkeit am fahrbahnnahen Bereich von ca. 10^{-5} m/s durch Verwendung eines abgestuften Korngemisches, das sowohl Tragfähigkeit als auch Filtrationseigenschaften besitzt
- Verwendung eines rolligen Kornaufbaues, das einerseits Kurzschlüssigkeit, wie auch sehr geringe hydraulische Leitfähigkeit ausschließt
- Nutzung des gesamten Seitenbereiches für die örtliche Filtration des Straßenabflusses. Verzicht auf die Ausbildung von Halbschalen und eine muldenförmige Ausbildung des Seitenbereiches
- Decklage als erosionsstabile Oberfläche im Tiefbereich des Straßenseitenbereiches
- Dränschicht mit Dränrohr als Sammel- und Ableitungselement. Bei Längen über 50 m muss das Dränrohr von DN 150 vergrößert werden oder eine Sammelleitung unter das Dränrohr gelegt werden. Ob in Abständen von 25-100 m Ableitungsschächte zur Sammelleitung verlegt werden müssen hängt insbesondere vom Straßenlängsgefälle ab
- Auch wenn, wie im Falle der B 292 gemessen, der Straßenabfluss carbonathaltig ist, sollte zur sicheren Bindung des gelösten Zink und Cadmiums des Straßenabflusses eine carbonathaltige Filterkörnung verwendet werden.

In Teil B Abschnitt 4.5 ist der Querschnitt eines Bankettfilters zur optimalen Reinigung des Straßenabflusses angeführt.

Sinsheim, den 14.10.2014

Benedikt Lambert

BIOPLAN Landeskulturgesellschaft

TEIL B: INGENIEURBAUWERK

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Regierungspräsidium Karlsruhe, Ref. 44 Straßenplanung, beabsichtigt den Umbau der Anbindung der K 4281 an die B 292. Dabei wird ein Unterführungsbauwerk für einen kreuzungsfreien Anschluss sorgen.

Das Vorhaben befindet sich in der Planfeststellung.

Bisher war die Regenwasser-Entsorgung des „Trogbereichs“ des Unterführungsbauwerks und des „Umlandes“ über ein Pumpwerk in einem Verdunstungsbecken vorgesehen.

Aufgrund der Einwände der Wasserrechtsbehörde, wurde die ARGE BIOPLAN Ingenieurgesellschaft/BIOPLAN Landeskulturgesellschaft mit Alternativuntersuchungen beauftragt.

Die Aufgabenstellung beinhaltet hinsichtlich „Trogbereich“ eine Freispiegelentwässerung zu einem Versickerungsbecken, die Regenwasser(RW)-Entsorgung der lediglich in einem geringen Umfang um Abbiegespuren etc. erweiterte bestehende B 292 soll ebenfalls durch Versickerung in Mulden-Rigolen erfolgen.

Aufgrund der Absicht der Versickerung, beinhaltet die Beauftragung entsprechende örtliche Feldversuche und Laboruntersuchungen.

2 Planungsgrundlagen

[1] Lagepläne, aufgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 26.08.2013

[2] Schnitte, aufgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 27.08.2013

[3] Regelquerschnitte, aufgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 09.09.2013

[4] Lageplan Verkehrsanlage, aufgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 10.09.2013

[5] Höhenplan Entwässerung, aufgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 30.09.2013

[6] Vermessungsdaten Grd.St. 124231, bereitgestellt: Mailänder Ingenieur Consult GmbH, 29.10.2013

[7] Synthetische Regenreihe Sinsheim, aufgestellt: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

3 Örtliche Verhältnisse

3.1 Niederschlagsverhältnisse

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe für das Planungsgebiet beträgt 813 mm [7].

3.2 Vorfluter

Im Planungsgebiet existiert kein Fließgewässer. Der nächstgelegene, abflusslose Graben ist ca. 500 m entfernt und könnte nur mittels aufwändiger Horizontalbohrung erreicht werden.

Vorfluter ist somit das Grundwasser.

3.3 Untergrundverhältnisse

Für das Planungsgebiet liegt im Bereich des ursprünglich vorgesehenen Verdunstungsbeckens ein Bodenaufschluss vor. Demnach besteht der Untergrund bis in eine Tiefe von ca. 6 m aus Löß.

Die Durchlässigkeit wurde zu $k_f = 3{,}5 * 10^{-9}$ m/s bestimmt (Laborversuch).

Grundlage der „Alternativenuntersuchung zur Straßenoberflächenwasserbehandlung“ ist das Wissen um die Versickerbarkeit von Niederschlagsabflüssen im Kraichgau. Aufgrund dessen wurden zur Erkundung der Untergrundverhältnisse Feldversuche durchgeführt (siehe Teil A).

3.4 Entwässerung bestehende B 292

Die B 292 entwässert im Planungsgebiet querneigungsbedingt derzeit auf die Südseite. Im Wesentlichen liegt diese im Einschnitt.

Die Entwässerung erfolgt deshalb derzeit über Sohlschalen. Da etwa im Bereich der geplanten Unterführung der Hochpunkt liegt, wird sowohl in westlicher als auch in östlicher Richtung entwässert (siehe Abb. 8).

Bereits bei nur oberflächlicher Betrachtung der Entwässerung der bestehenden B 292 wird augenscheinlich, dass Versickerung hierbei eine wesentliche Rolle spielt.

Dies wird offensichtlich, wenn der Abschnitt A betrachtet wird.

Der Abschnitt A entwässert in westlicher Richtung über die o. g. Sohlschalen der Nordseite. An der Stelle 1 befindet sich der Auslauf des Sohlschalen-Abschnitts A. An der Stelle der Ausleitung sind lediglich geringe „Transportrückstände“ von fließendem Wasser vorhanden (siehe Abb. 11).

Bemerkenswert ist, dass z. B. kein Stromstrich an der Vegetation auf der Strecke, als auch im Ausleitungsbereich zu erkennen ist. Ebenso wenig zeigen sich Spuren im anschließenden Feldweg und den angrenzenden Ackerflächen. Dies lässt den Schluss zu, dass nur geringste Wassermengen ausfließen und folglich das anfallende Straßenoberflächenwasser bereits im Bankett und in den Fugen der Sohlschalen versickert.

Analoges gilt für den Abschnitt B, der in östlicher Richtung entwässert.

Bei dem ungleich längeren Abschnitt B existieren im Bereich des Bauendes mehrere Verrohrungen, die Abflussüberschüsse von der Südseite der B 292 in die Waldfläche der Nordseite ableiten. Hierbei gilt wie in Abschnitt A, dass nur vergleichsweise geringe Mengen zum Abfluss kommen.

Fazit der oberflächlichen Beurteilung (in Teil A wurde eine genaue Untersuchung u. a. anhand chemischer Untersuchungen vorgenommen) der Entwässerung der bestehenden B 292 ist die Erkenntnis, dass von den rechnerisch zu erwartenden Wassermengen kaum Spuren gefunden werden können, weil der Niederschlagsabfluss nahezu vollständig versickert!

Das Ergebnis der Abschätzung eines k_f-Werts von $3 * 10^{-9}$ m/s im Bereich des ursprünglich vorgesehenen Verdunstungsbeckens ist deshalb zu hinterfragen.

Abb. 8: Skizze Entwässerung B 292 im Bestand

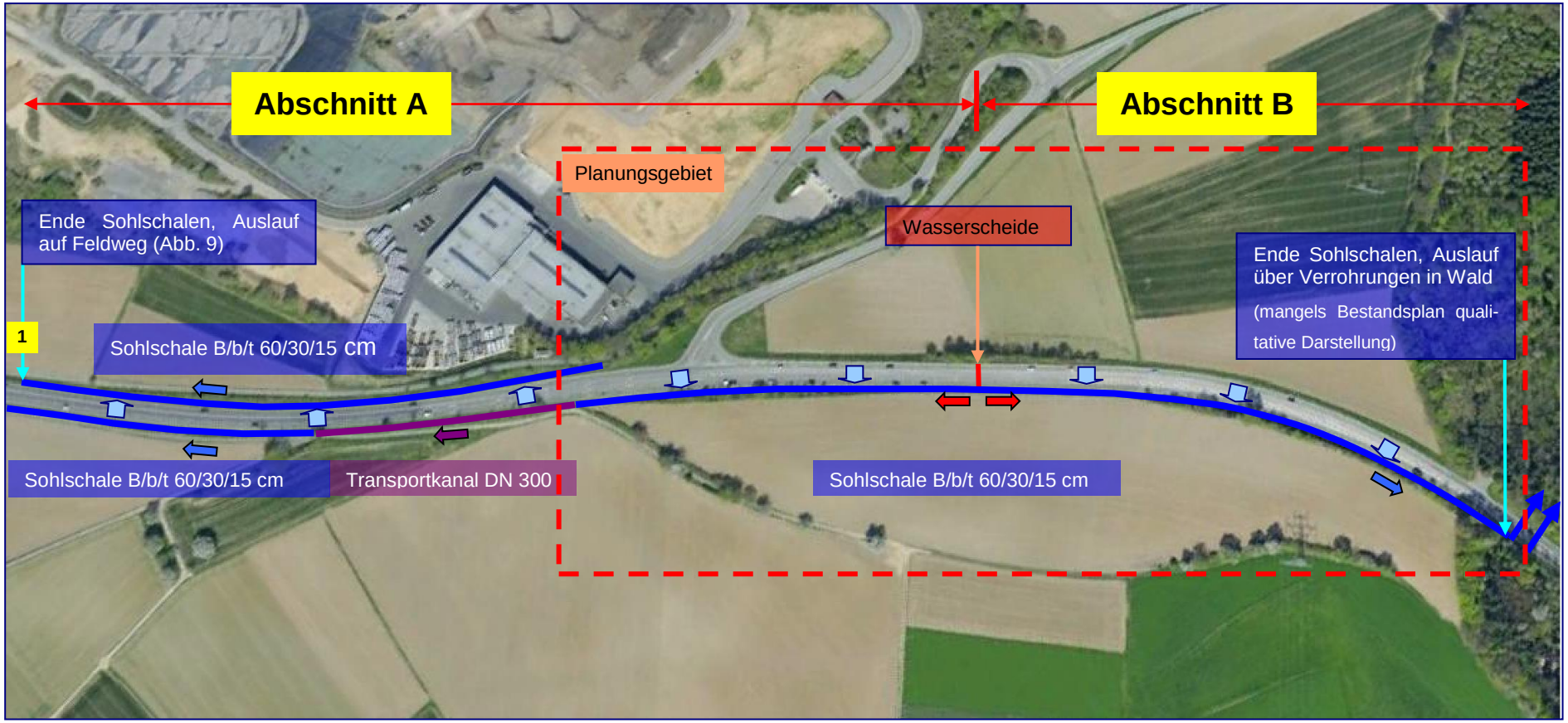


Abb. 9: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Abschnitt A

Abb. 10: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Auslaufbereich

Abb. 11:Entwässerungsrinne, B 292 – West, Nordseite, Detail Auslaufbereich

Abb. 12: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Südseite, Übergang in Transportkanal

Abb. 13: Auslauf Transportkanal, B 292 – West, Südseite, Übergang auf Entwässerungsrinne

Abb. 14: Entwässerungsrinne, B 292 – West, Südseite, Auslaufbereich

Abb. 15: Entwässerungsrinne, B 292 – Ost, Südseite

4 Konzeption

4.1 Grundsätze der Konzeption

Grundlage der „Alternativenuntersuchung zur Straßenoberflächenwasserbehandlung“ ist das Wissen um die Versickerbarkeit von Niederschlagsabflüssen im Kraichgau.

Unter 3.4 wurde ausgeführt, dass Versickerung bei der Entwässerung der bestehenden B 292 eine wesentliche Rolle spricht.

Dementsprechend soll die RW-Entsorgung sowohl bei der „bestehenden B 292“ (Abschnitt 1-2), als auch beim „Trogbereich“ (Abschnitt 3) über Versickerung erfolgen.

Grundlage hierfür sind die Ergebnisse der Feldversuche, mit denen der Nachweis der Versickerbarkeit von Niederschlagsabflüssen geführt wurde (siehe Teil A).

Das Planungsgebiet ist in 3 Versickerungsabschnitte aufgeteilt:

- Abschnitt 1: Bankettfilter, westlicher Teil B 292
- Abschnitt 2: Bankettfilter, östlicher Teil B 292
- Abschnitt 3: Versickerungsmulde, Bereich K 4281

4.2 Bemessungshäufigkeit

Die Bemessungshäufigkeit wird von der RAS-Ew vorgegeben.

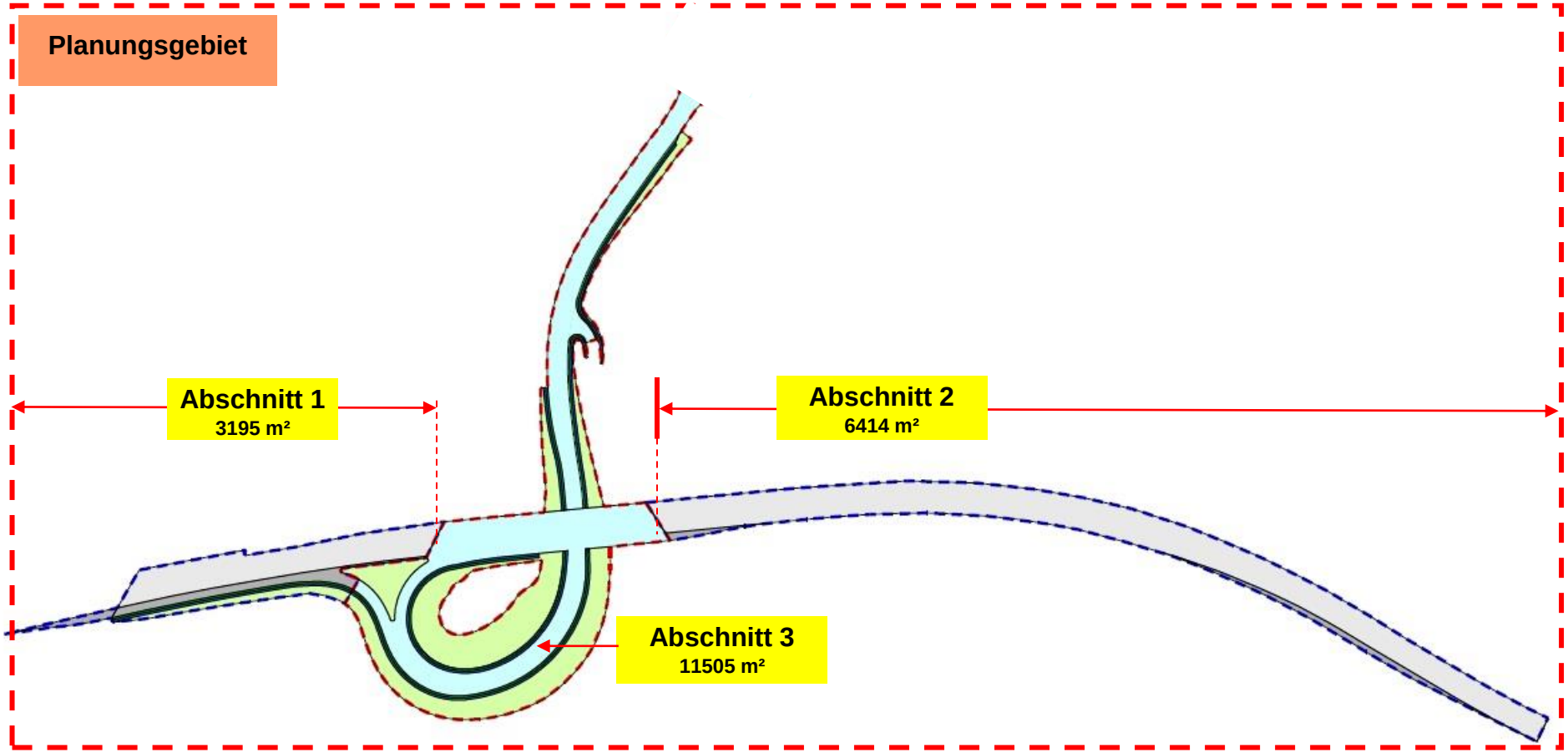
Tab. 8: Bemessungshäufigkeit nach RAS-Ew

Entwässerung von Straßen über	
Mulden, Seitengräben oder Rohrleitungen	n = 1
Rohrleitungen	
bei Mittelstreifenentwässerung	n = 0,33
Straßentiefpunkte	n = 0,2
Versickermulden	n = 1
Trogstrecken mit Straßentiefpunkt	n = 0,1 - 0,05

Abschnitt 1 und 2:	Bankettfilter:	n = 1
Abschnitt 3:	Pumpwerk:	n = 0,1
	Versickerungsmulde:	n = 1

Die Bemessungshäufigkeit von n = 0,1 für das Pumpwerk begründet sich aufgrund der geringen Verkehrsbelastung der K 4281.

Abb 16: Entwässerungsabschnitte zukünftige Entwässerung B 292



4.3 Einzugsgebiete

Tab. 9: Liste/Bilanz Einzugsgebiete

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Fahrbahnen	Bankette	Mulden	Böschungen	Gesamt-Einzugs-gebiet
		$A_{EK,Fahrbahnen}$	$A_{EK,Bankette}$	$A_{EK,Mulden}$	$A_{EK,Böschungen}$	$\sum A_{EK}$
		[m²]	[m²]	[m²]	[m²]	[m²]
1	100	2003				
	101a	116				
3	101b	512				
4	102		114			
5	103			113		
6	104				337	
Zwischensumme EZG 1		*2.631*	*114*	*113*	*337*	**3195**
20	111	83				
21	112	6015				
22	113	316				
Zwischensumme EZG 2		*6.414*				**6414**
7	105				421	
8	106				1762	
9	107	5548				
10	108		262			
11	109			270		
12	110				2031	
13	114		106			
14	115			117		
15	116				219	
16	117		249			
17	118			255		
18	119				265	
Zwischensumme EZG 3		*5548*	*617*	*642*	*4698*	**11505**
23	**ΣΣ**					**21114**

4.4 Entwicklung der Aufgabenstellung

4.4.1 Abschnitte 1 + 2

4.4.1.1 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1 – 2, Variante 1: Mulde-Rigole, Ausbildung der Mulde als „Oberboden-Mulde“

Gemäß der Aufgabenstellung wurde zunächst eine Mulde mit untenliegender Rigole untersucht.

Bemerkenswert ist, dass die Mulden aufgrund der Längsneigung nur teilgefüllt sind.

Beim k_f-Wert von 5 * 10^{-6} m/s berechnet sich bei Muldenabmessungen B / T = 1,50 / 0,35 m ein Querriegelabstand von lediglich 6,50 m für den Abschnitt 2.2 (Abschnitt 2.1 = 10,0 m, Abschnitt 1 = 12,0 m).

Bei der Ausbildung der Querriegel gemäß den Empfehlungen der RAS-Ew (Neigung der Erd-Querriegel = 1 : 3) muss bei der Rigole eine Länge von ca. 4,0 m abgezogen werden. Damit reduziert sich die anrechenbare Länge der Rigole auf 2,5 m, dementsprechend müsste die Tiefe ca. 2,5 m betragen. Dies ist aus erdbaustatischen Gründen nicht möglich.

Dementsprechend wurde als Querriegel eine Stahlbeton(SB)-Wandscheibe eingeführt, wie sie bereits in der Bahnentwässerung eingesetzt ist.

Aufgrund von Bedenken hinsichtlich der Muldenunterhaltung wurde eine Alternative erforderlich.

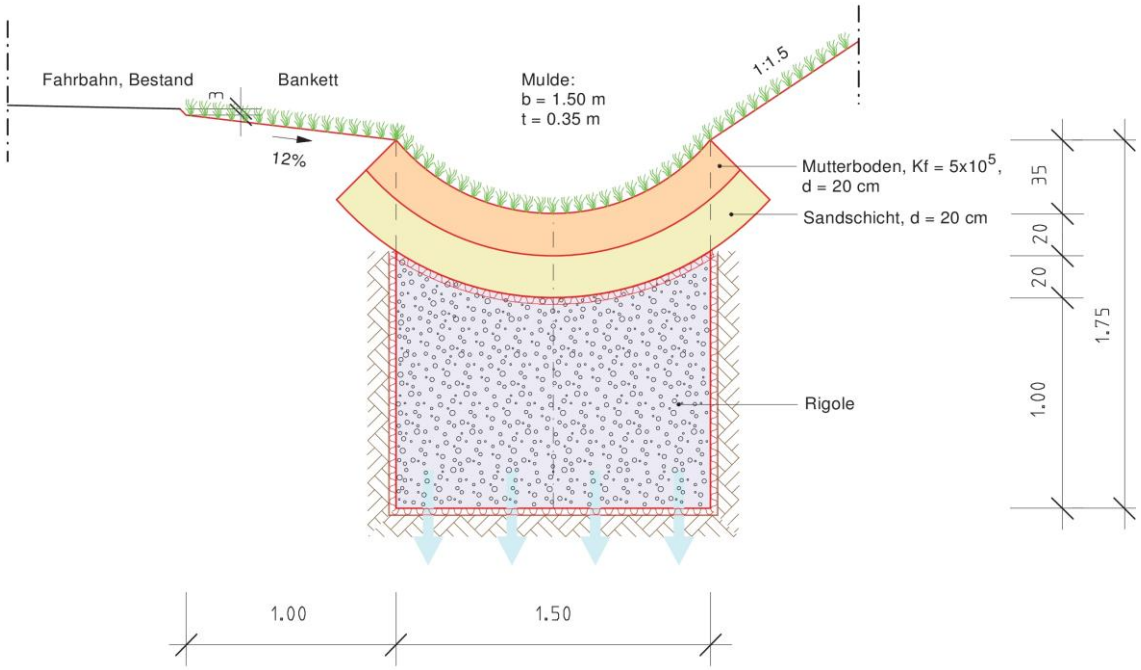


Abb. 17: Mulde-Rigole, Abschnitt 2

4.4.1.2 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1– 2, Variante 2: Mulde-Rigole, Ausbildung der Mulde als „Filter-Mulde“

Die Ausbildung der Erd-Querriegel nach RAS-Ew bei gleichzeitiger, wesentlicher Vergrößerung der Querriegelabstände setzt eine leistungsfähigere Muldenversickerung voraus. Aus diesem Grund wurde der Muldenaufbau wie folgt modifiziert:

0-5 cm: Splittschicht 8/16 mm, d = 5 cm

5-35 cm: Filtersandschicht 0,2/2 mm, d = 30 cm, carbonathaltig

Für diesen Muldenaufbau kann ein k_f-Wert von 1 * 10^{-4} m/s angenommen werden. Hierbei wird die Erkenntnis berücksichtigt, dass die Feststoffe bereits im Bankett abgeschieden werden.

Aufgrund der höheren Durchlässigkeit errechnet sich bei Variante 2 das erforderliche Muldenvolumen zu 2,69 m³ gegenüber 8,38 m³ bei Variante 1.

Dementsprechend kann der Querriegelabstand wie folgt festgelegt werden:

Abschnitt 1: a = 25 m

Abschnitt 2.1: a = 30 m

Abschnitt 2.2: a = 20 m

4.4.1.3 Entwässerung best. B 292; Abschnitt 1 – 2, Variante 3: Bankettfilter

Die BIOPLAN Landeskulturgesellschaft unterbreitet den Vorschlag eines Bankettfilters.

Dieses neue Element dient nicht nur zur vollständigen Aufnahme des Straßenoberflächenwassers, sondern auch zur vollständigen Reinigung/Behandlung und weitgehenden Versickerung. Der im Entwässerungsabschnitt 2 anfallende überschüssige Abflussanteil wird über die vorhandene Verrohrung DN 600 abgeleitet.

Die am Ende des Entwässerungsabschnitts anfallende Dränablaufmenge von 8 bzw. 12 l/s unterschreitet augenscheinlich die bisherigen Abflussmengen.

Die Variante 3 wird weiterverfolgt (siehe Kap. 4.5).

4.4.2 Abschnitt 3

4.4.2.1 Entwässerung „Trogbereich“; Abschnitt 3, Variante 1: Versickerungsbecken, Freispiegelleitung, Horizontalbohrung

Bei der Ausgangskonzeption sollte der „Trogbereich“ (Abschnitt 3) mittels Hebe-Pumpwerk“ (Q_p = 660 l/s) und einer Freispiegelleitung DN 800 zu einem Verdunstungsbecken entwässert werden.

Vorgabe der Beauftragung der Alternativuntersuchung war die RW-Ableitung aus dem „Trogbereich“ mittels Horizontalbohrung bei Verzicht auf ein Pumpwerk.

Die Untersuchung dieser Absicht ergab, dass bei einer Horizontalbohrung der Länge von ca. 350 m ein Gefälle von 3-4 % vorgegeben werden muss.

Dies hätte zur Folge, dass die Austrittsstelle um ca. 10 – 12 m tiefer liegen würde. Die Beschickung eines Versickerungsbeckens mittels einer Horizontalbohrung ist somit technisch nicht möglich.

4.4.2.2 Entwässerung „Trogbereich"; Abschnitt 3, Variante 2: Versickerungsbecken, Freispiegelleitung, offene Bauweise

Die vorgenannte Erkenntnis führte zum Verzicht auf eine Horizontalbohrung, stattdessen wurde eine Freispiegelleitung mit geringem Gefälle für offene Bauweise zum Versickerungsbecken am Standort des ursprünglich vorgesehenen Verdunstungsbeckens vorgegeben.

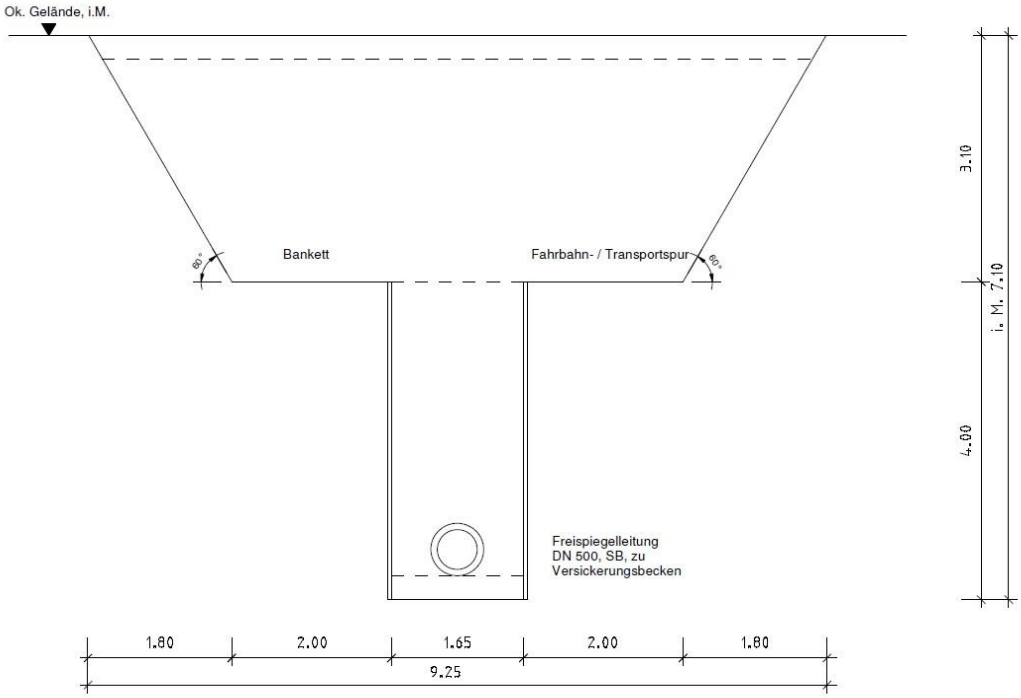
Aufgrund der zukünftigen, topographischen Gegebenheiten („Trogbereich") müsste bei der offenen Bauweise eine maximale Tiefenlage von 8,15 m (i. M. 7,10 m) in Kauf genommen werden. Dies erfordert aus baubetrieblichen Gründen einen erheblichen Mehraushub.

Vorgesehen ist ein vertikal in 2 Bereiche gegliederter Leitungsgraben:

Bereich 0-3,1 m : Geböschter Graben, 60°, (Vorabtrag) mit Baggerspur

Bereich 3,1-7,1 m: Leitungsgraben mit senkrechtem Verbau

Abb. 18: Rohrgraben Freispiegelleitung mit offener Bauweise



Abgesehen von der Rohrzone wird der Graben mit dem anstehenden Aushub wiederverfüllt, dabei wird jedoch von einer Bodenverbesserung ausgegangen.

Die Wahl des Versickerungsbeckens am Standort des ursprünglich vorgesehenen Verdunstungsbeckens verfolgte die Absicht, bereits zugesprochenes Gelände in Anspruch zu nehmen.

Gegen diese Absicht stehen die erheblichen Mehrkosten dieser Variante

1. wegen aufwändiger Zuleitung,
2. wegen Mehrkosten für die Tiefenlage des Versickerungsbeckens.

Laut hydrologischer Berechnung ist lediglich eine Einstautiefe von 0,40 m erforderlich, aufgrund der Zuleitungsbedingungen beträgt die Bautiefe i. M. 3,70 m.

4.4.2.3 Entwässerung „Trogbereich“; Abschnitt 3, Variante 3: Versickerungsmulde, Pumpwerk mit Druckleitung

Das Gebot der Wirtschaftlichkeit erfordert aufgrund dessen die Untersuchung einer Alternativlösung. Dabei handelt es sich um eine RW-Entsorgung mittels Heber-Pumpwerk und Druckleitung zu einer flachen Versickerungsmulde. Wegen des Hebens des Regenwassers könnte der Standort einer nur ca. 0,80 m tiefen Versickerungsmulde in der Nähe des Pumpwerks sein.

Die Variante 3 wird weiterverfolgt (siehe Kap. 4.6).

4.4.2.4 Ergebnis Variantenvergleich Dynamische Investitionsrechnung

1. Variante Pumpwerk / VM
****

Zinssatz : 3,00 % Planungszeit : 80 Jahre

Bezeichnung	Kostenart 1=Herst. 2=Betr.	Kosten (Euro) (Euro/a)	Kosten-steig. (%)	Lebens-dauer (Jahre)	Gegenwartswert Faktor	Wert (Euro)
Pumpwerk, Schacht	1	40.906,-	3,00	33	2,5440	104.064,-
Pumpen	1	20.944,-	3,00	10	8,0000	167.552,-
Leitg./E-Techn.	1	40.579,-	3,00	25	3,2630	132.409,-
Stromkosten PW	2	35,-	4,00		21,2801	4.245,-
Betr.Kos. Kanal	2	90,-	3,00		80,0000	7.200,-
Betr.Kos. Vers.Mu.	2	1.110,-	3,00		80,0000	88.800,-
Zuleitung zu VM	1	42.500,-	3,00	80	1,0000	42.500,-
Versick. Mulde	1	16.000,-	3,00	25	3,2630	52.208,-
Wartungskosten PW	2	1.110,-	3,00		80,0000	88.800,-
					Summe :	687.778,-
Annuitäten-Faktor : 0,0331					Annuität :	22.774,-

2. Variante Freisp.leitg zu VB
****

Zinssatz : 3,00 % Planungszeit : 80 Jahre

Bezeichnung	Kostenart 1=Herst. 2=Betr.	Kosten (Euro) (Euro/a)	Kosten-steig. (%)	Lebens-dauer (Jahre)	Gegenwartswert Faktor	Wert (Euro)
Zuleitung zu VB	1	395.000,-	3,00	80	1,0000	395.000,-
Betr.Kost. Kanal	2	210,-	3,00		80,0000	16.800,-
Betr.Kos. Vers.B.	2	2.760,-	3,00		80,0000	220.800,-
Versickerungsbeck.	1	109.000,-	3,00	25	3,2630	355.667,-
					Summe :	988.267,-
Annuitäten-Faktor : 0,0331					Annuität :	32.723,-

Z U S A M M E N F A S S U N G

	Gegenwartswert		Annuität
1. Variante Pumpwerk / VM	687.778,-Euro	100%	22.774,-Euro/a
2. Variante Freisp.leitg zu VB	988.267,-Euro	144%	32.723,-Euro/a

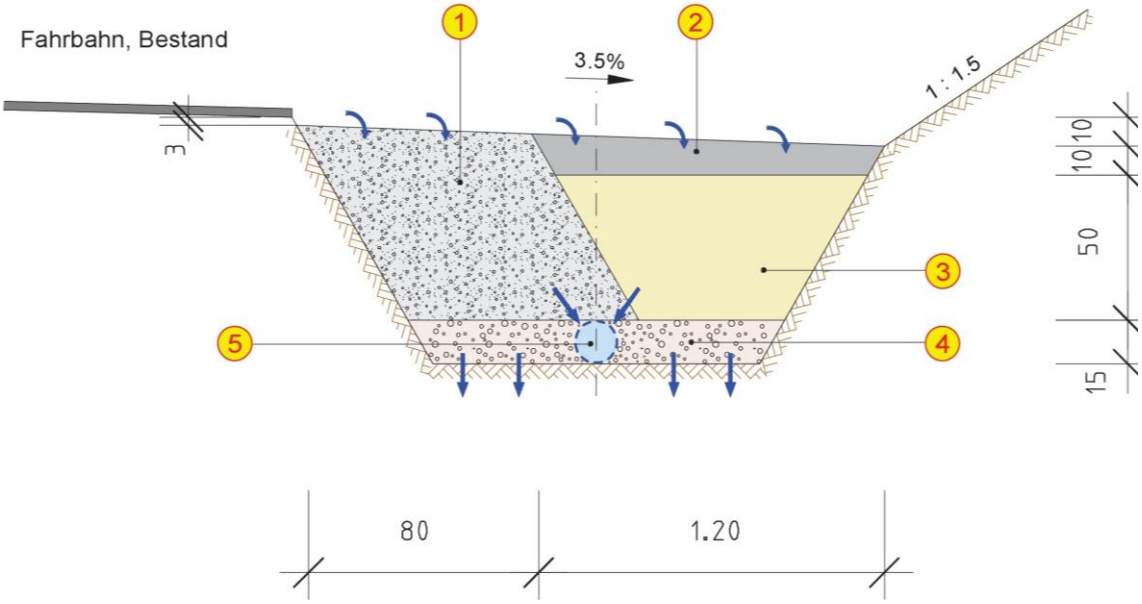
(Anmerkung : Die Varianten sind nach ihrer Wirtschaftlichkeit geordnet.)

Das Ergebnis der Dynamischen Investitionsrechnung im Variantenvergleich ergibt einen klaren Vorteil für die Variante Pumpwerk.

4.5 Konzeption Bankettfilter, Abschnitte 1 – 2

Erläuterung der Konzeption des Bankettfilters siehe Teil A

Abb. 19: Schnitt Bankett mit Filter



1 Verdichtetes Korngemisch, gebrochener Carbonatstein 0/32, tragfähig, mit Filtereigenschaften

2 Carbonathaltiger Filtersand 0/2

3 Carbonatsplittdecklage 2/8 mm oder 2/16 mm, abhängig vom Längsgefälle

4 Dränschicht 2/8

5 Vollsickerrohr mit Folienstreifenabdeckung 0,50 m breit

4.6 Konzeption Versickerungsmulde

Das Straßenoberflächenwasser des Abschnitts 3 fällt ca. 5,5 m unter OK Gelände an. Die Lösungen, bei denen versucht wurde, die Versickerungsanlage im Freispiegel zu erreichen, haben sich in einer Dynamischen Investitionsrechnung als unwirtschaftlicher als die Anordnung eines Pumpwerks herausgestellt.

Der Standort der Versickerungsmulde ist aufgrund der frei wählbaren Entwässerungsrichtung der Druckleitung ebenfalls frei wählbar. Nach der Diskussion mehrerer Varianten wurde der Standort auf der Südseite der B 292 festgelegt.

5 Hydrologische Berechnungen

5.1 Hydrologische Simulationsberechnungen

Das Niederschlag-/Abflussgeschehen bzw. die Bemessung der Versickerungsanlagen im Planungsgebiet wurde mit dem Hydrologischen Modell KOSIM simuliert bzw. ausgeführt.

Die Niederschlagsbelastung erfolgte mit der 30-jährigen Synthetischen Regenreihe Sinsheim der LUBW [7].

Das Hydrologische Modell KOSIM „kennt“ grundsätzlich Versickerungsmulden, jedoch keine Bankettfilter. Vereinfachend wurden die Bankettfilter deshalb als Rigolen simuliert.

Bei der Bemessung der Bankettfilter handelt es sich somit um einen „Versuch einer hydrologischen Bemessung“.

Bei den Regenabflussparametern für Fahrbahnen, Böschungen, und Mulden wurden die Standard-Parameter nach KOSIM angesetzt, für die Bankette wurde der Regenabflussparameter angepasst.

Nachfolgend werden Auszüge aus den Hydrologischen Simulationsberechnungen aufgeführt.

Die vollständigen Berechnungsergebnisse der Lösungsvarianten sind im Anhang dokumentiert. Auf die Dokumentation der Berechnungsergebnisse aller untersuchten Varianten wird verzichtet.

5.2 Bankettfilter Abschnitt 1: westlicher Teil B 292

Nachfolgende Tabelle 10 beinhaltet die Regenabflussanteile der abflusswirksamen Teilflächen. Demnach beträgt die Jahresabflussmenge V_{Qr} = 1243 m³.

Naturgemäß nimmt der Abflussanteil der Fahrbahn mit 1195 m³/a ca. 96 % des Gesamtabflusses ein.

Tab. 10: Regenabflüsse Bankettfilter Abschnitt 1

Regenwetterabflüsse
B 292, Anbindung K 4281
Modus: Nachweis

Stand: Freitag, 6. Dezember 2013

Regenwetterabflüsse						
Bankett (teilbefestigt)	Fläche	0,0114 ha	Parametersatz	Bankett		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	353,4 mm/a	VQ_R	40 m³/a
Böschungen (unbefestigt)	Fläche	0,0337 ha	Parametersatz	Rasen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	17,2 mm/a	VQ_R	6 m³/a
Fahrbahn (befestigt)	Fläche	0,2631 ha	Parametersatz	Standard		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	454,2 mm/a	VQ_R	1.195 m³/a
Mulden (unbefestigt)	Fläche	0,0113 ha	Parametersatz	Rasen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	17,2 mm/a	VQ_R	2 m³/a
Gesamt	$A_{E,b}$	0,2631 ha	$A_{E,tb}$	0,0114 ha	$A_{E,nb}$	0,0450 ha
	$A_{E,nat}$	0,0000 ha			A_E	0,3195 ha
	$VQ_{R,b}$	1.195 m³/a	$VQ_{R,tb}$	40 m³/a	$VQ_{R,nb}$	8 m³/a
	$VQ_{R,nat}$	0 m³/a			VQ_R	1.243 m³/a

Der Bankettfilter wurde hydrologisch als 2-teilige Rigole bemessen. Dabei läuft hydrologisch der „nichtversickerte Abflussanteil“ des Banketts auf den Filter über. Aufgrund des befahrbaren Bankettaufbaus wird beim Bankett mit einem K_f-Wert von $5 * 10^{-7}$ m/s, beim Filter von einem K_f-Wert von $5 * 10^{-6}$ m/s ausgegangen.

Tab. 11: Bemessung Bankettfilter Abschnitt 1

Bankett	Länge	112	m
	Breite	0,80	m
	Höhe	0,75	m
	k_f-Wert	$5*10^{-7}$	m/s
	V_{vorh}	20,16	m³
	n, erf	1	-
Filter	Länge	112	m
	Breite	0,75	m
	Höhe	0,70	m
	Q_{dr}	12	l/s
	k_f-Wert	$5*10^{-6}$	m/s
	V_{vorh}	19	m³
	V_{erf}	18,3	m³
	n, erf	1	-
	n, vorh	0,94	-

5.3 Bankettfilter Abschnitt 2: östlicher Teil B 292

Tab. 12: Regenabflüsse Bankettfilter Abschnitt 2

Regenwetterabflüsse
B 292, Anbindung K 4281
Modus: Nachweis

Stand: Freitag, 6. Dezember 2013

Regenwetterabflüsse						
Fahrbahn (befestigt)	Fläche	0,6414 ha	Parametersatz	Standard		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	454,2 mm/a	VQ_R	2.913 m³/a
Gesamt	$A_{E,b}$	0,6414 ha	$A_{E,tb}$	0,0000 ha	$A_{E,nb}$	0,0000 ha
	$A_{E,nat}$	0,0000 ha			A_E	0,6414 ha
	$VQ_{R,b}$	2.913 m³/a	$VQ_{R,tb}$	0 m³/a	$VQ_{R,nb}$	0 m³/a
	$VQ_{R,nat}$	0 m³/a			VQ_R	2.913 m³/a

Tab. 13: Bemessung Bankettfilter Abschnitt 2

Bankett	Länge	428	m
	Breite	0,80	m
	Höhe	0,75	m
	k_f-Wert	5*10-7	m/s
	V_{vorh}	77,04	m³
	n, erf	1	
Filter	Länge	428	m
	Breite	0,75	m
	Höhe	0,70	m
	Q_{dr}	8	l/s
	k_f-Wert	5*10-6	m/s
	V_{vorh}	72,61	m³
	V_{erf}	67,77	m³
	n, erf	1	
	n, vorh	0,82	

5.4 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich Unterführungsbauwerk

5.4.1 Regenwetterabflüsse

Tab. 14: Regenwetterabflüsse Abschnitt 3

Regenwetterabflüsse
B 292, Anbindung K 4281
Modus: Nachweis

Stand: Freitag, 6. Dezember 2013

Regenwetterabflüsse						
Bankett (teilbefestigt)	Fläche	0,0617 ha	Parametersatz	Bankett		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	353,4 mm/a	VQ_R	218 m³/a
Böschungen (unbefestigt)	Fläche	0,4698 ha	Parametersatz	Rasen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	17,2 mm/a	VQ_R	81 m³/a
Fahrbahn (befestigt)	Fläche	0,5548 ha	Parametersatz	Fahrbahn über M		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	326,5 mm/a	VQ_R	1.811 m³/a
Mulde (unbefestigt)	Fläche	0,0642 ha	Parametersatz	Rasen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	17,2 mm/a	VQ_R	11 m³/a
PW (befestigt)	Fläche	0,0007 ha	Parametersatz	RRB-Flächen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	582,3 mm/a	VQ_R	4 m³/a
Versickerungsmulde (befestigt)	Fläche	0,0673 ha	Parametersatz	Muldenflächen		
	N_{brutto}	803,1 mm/a	N_{netto}	582,3 mm/a	VQ_R	392 m³/a
Gesamt	$A_{E,b}$	0,6228 ha	$A_{E,tb}$	0,0617 ha	$A_{E,nb}$	0,5340 ha
	$A_{E,nat}$	0,0000 ha			A_E	1,2185 ha
	$VQ_{R,b}$	2.207 m³/a	$VQ_{R,tb}$	218 m³/a	$VQ_{R,nb}$	92 m³/a
	$VQ_{R,nat}$	0 m³/a			VQ_R	2.517 m³/a

5.4.2 Bemessung Pumpwerk

Die Fördermenge des Pumpwerks wurde mittels Hydrologischem Modell mit Langzeitsimulation berechnet.

Aufgrund der Trogsituation und der Verkehrsbelastung wurde eine Jährlichkeit von n = 0,1 gewählt.

In der Tabelle 15 sind die Ablaufmengen (Fördermengen) der 20 größten Ereignisse aus dem Pumpwerk eines 30-jährigen Simulationszeitraums der Größe nach gelistet, wobei das maßgebliche Ereignis (n = 0,1) eine Ablauf-Fördermenge von 175 l/s aufweist.

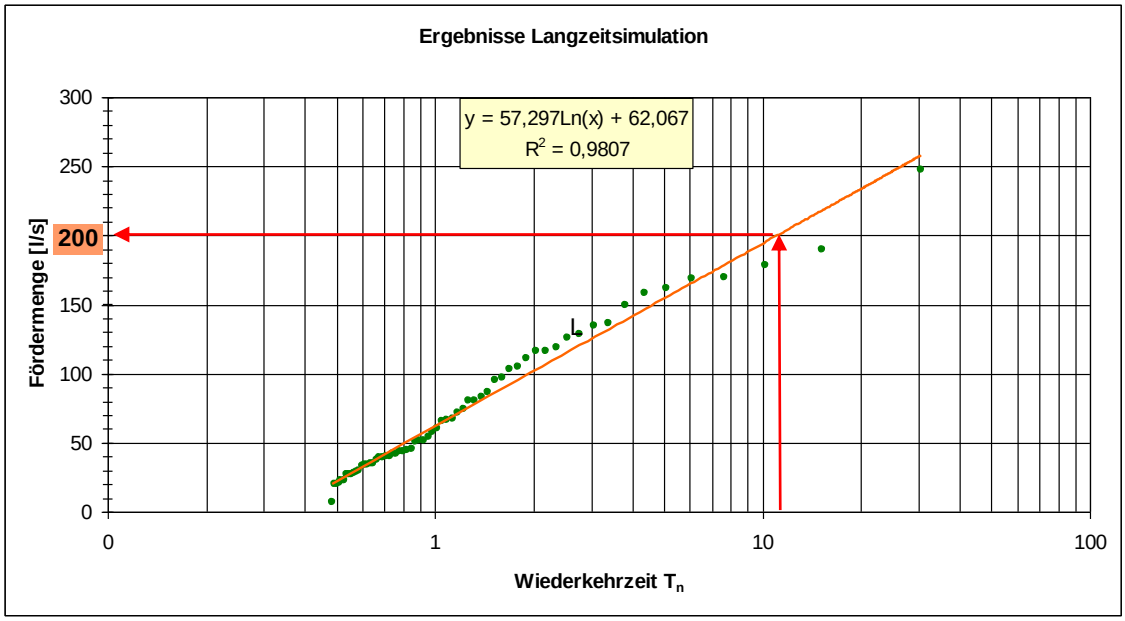
Die Förderleistung wird gewählt zu 200 l/s.

Die Jahresfördermenge beträgt 2.517 m³.

Tab. 15: Ermittlung der Fördermenge des Pumpwerks

Lfd. Nr.	Fördermenge	Wiederkehrzeit	Wiederkehrzeit
	l/s	a	1/a
1	247,50	30,48	0,03
2	190,10	15,24	0,07
3	178,10	10,16	0,10
4	169,30	7,62	0,13
5	169,10	6,10	0,16
6	162,00	5,08	0,20
7	158,20	4,35	0,23
8	149,90	3,81	0,26
9	136,70	3,39	0,30
10	134,80	3,05	0,33
11	128,20	2,77	0,36
12	125,80	2,54	0,39
13	119,30	2,34	0,43
14	116,30	2,18	0,46
15	116,30	2,03	0,49
16	111,30	1,90	0,53
17	104,80	1,79	0,56
18	102,80	1,69	0,59
19	97,20	1,60	0,62
20	95,20	1,52	0,66

Abb. 20: Ermittlung der Fördermenge des Pumpwerks



5.4.3 Bemessung Versickerungsmulde

Laut nachfolgender Tabelle 16 erfordert ein Einstauereignis der Jährlichkeit n = 1 (1 Ereignis in 1 Jahr) ein Volumen von V_{erf} = 208 m³, das vorhandene Volumen V_{vorh} beträgt bei einer Einstautiefe von 0,40 m = 245 m³.

Tab. 16: Bemessung Versickerungsmulde Abschnitt 3

Mulden
B 292, Anbindung K 4281
Modus: Nachweis

Stand: Freitag, 6. Dezember 2013

Mulden						
Versickerungsmulde	Länge	25,94 m	$A_{E,b}$	0,0000 ha	V,Verd	996 m³
	Breite	25,94 m	kf-Wert	$3*10^{-06}$ m/s	V,Vers	73.849 m³
	Tiefe	0,40 m	Qsick	3.148,9 l/h	VQue	668 m³
	Neigung 1:	3,00 -	Mächtigkeit	0,30 m	Que,max	117,43 l/s
	Oberfläche	672,83 m²	Vvorh	245,00 m³	Verf	207,66 m³
	Sohlfläche	554,08 m²	n,erf	1,00 1/a	n,vorh	0,51 1/a
Gesamt	Länge	25,94 m	$A_{E,b}$	0,0000 ha	V,Verd	996 m³
	Breite	25,94 m	Qsick	3.148,85 l/h	V,Vers	73.849 m³
	Oberfläche	672,83 m²			VQue	668 m³
	Sohlfläche	554,08 m²	Vvorh	245,00 m³	Verf	207,66 m³

Nachfolgend wird die Versagenshäufigkeit der Versickerungsmulde berechnet:

Tab. 17: Versagenshäufigkeit Versickerungsmulde Abschnitt 3

Mulden
B 292, Anbindung K 4281
Modus: Nachweis

Stand: Freitag, 6. Dezember 2013

Mulden						
Versickerungsmulde	Länge	28,25 m	$A_{E,b}$	0,0000 ha	V,Verd	1.037 m³
	Breite	28,25 m	kf-Wert	$3*10^{-06}$ m/s	V,Vers	76.661 m³
	Tiefe	0,80 m	Qsick	3.734,2 l/h	VQue	0 m³
	Neigung 1:	3,00 -	Mächtigkeit	0,30 m	Que,max	0,00 l/s
	Oberfläche	797,91 m²	Vvorh	536,00 m³	Verf	467,64 m³
	Sohlfläche	549,77 m²	n,erf	0,01 1/a	n,vorh	0,00 1/a
Gesamt	Länge	28,25 m	$A_{E,b}$	0,0000 ha	V,Verd	1.037 m³
	Breite	28,25 m	Qsick	3.734,21 l/h	V,Vers	76.661 m³
	Oberfläche	797,91 m²			VQue	0 m³
	Sohlfläche	549,77 m²	Vvorh	536,00 m³	Verf	467,64 m³

Gemäß Tabelle 17 erfordert ein Einstauereignis der Jährlichkeit n = 0,01 (1 Ereignis in 100 Jahren) ein Volumen von V_{erf} = 468 m³.

Demgegenüber steht bei einer Einstautiefe von 0,80 m bzw. bei Vollfüllung der Versickerungsmulde ein Volumen von V_{vorh} = 536 m³ zur Verfügung. Aus diesem Grund kann auf einen Notüberlauf verzichtet werden.

6 Hydraulische Berechnungen

Hydraulische Bemessung Zuleitungskanäle

Die Bemessung der Zuleitungskanäle erfolgt für das größte Abflussereignis der 30-jährigen Regenreihe in Höhe von 248 l/s.

Die hieraus resultierenden Dimensionen der Zuleitungskanäle liegen jedoch damit noch unter denen der ursprünglichen Planung.

Tab. 18: Bemessung Zuleitungskanäle

Qr [l/s] =	248	l/s
T [a] =	30	Wiederkehrzeit in Jahren
k_b [mm] =	1,5	betriebliche Rauheit

Eingabefelder
Berechnungsfelder

Lfd. Nr.	Schacht oben	Schacht unten	Sohlhöhe oben m+NN	Sohlhöhe unten m+NN	Haltungs-länge [m]	Regen-abfl. [l/s]	Σ Zuflüsse von oberhalb [l/s]	Σ Regen-abfluss [l/s]	Gefälle [‰]	Leitungs-querschnitt [mm]	Leistung Vollfüllung [l/s]	Geschwindigk. Vollfüllung [m/s]	Auslastung [%]
1		1				51,4		51,4					
2	1	2	243,41	242,81	30	21,8	51,4	73,2	20	300	149,9	2,12	48,8
3	2	3	242,81	242,11	35	21,8	73,2	95,0	20	300	149,9	2,12	63,4
4	3	4	242,11	241,15	35	30,0	95,0	125,0	27,5	300	175,8	2,49	71,1
5	4	5	241,15	239,95	40	30,0	125,0	155,0	30	300	183,6	2,60	84,4
6	5	6	239,95	238,75	40	34,3	155,0	189,4	30	400	379,3	3,02	49,9
7	6	10	238,45	238,20	50	18,3	189,4	207,6	5	500	279,3	1,42	74,3
8	7	8	239,20	238,82	25	9,0	0	9,0	15	300	129,8	1,84	6,9
9	8	9	238,82	238,45	25	9,0	9,0	18,0	15	300	129,8	1,84	13,9
10	9	10	238,45	238,20	50	22,4	18,0	40,4	5	300	75,0	1,06	53,9
11	10	PW	238,20	238,12	16		248,0	248,0	5	500	279,3	1,42	88,8

7 Beschreibung

7.1 Bankettfilter Abschnitt 1: Westlicher Teil B 292

Die Fahrbahn des Abschnitts 1 entwässert direkt auf den Bankettfilter.

Am Bankettfilter Abschnitt 1, Länge = 112 m, ist eine Einzugsgebietsfläche von 3.195 m² angeschlossen, davon beträgt der Anteil der Fahrbahnfläche 82 %. Das Jahreszufluss-volumen berechnet sich zu 1.243 m³.

Die Breite des Banketts bzw. des Filters beträgt gemäß Abb. 19 0,80 m bzw. 1,20 m, die Tiefe 0,60 m (0,67 m) zuzüglich der Dränschicht von 0,15 m.

Hydrologisch ergibt sich am Abschnittsende ein Dränabfluss von 12 l/s. Damit wird die Jährlichkeit von n = 1 (1 Ereignis in 1 Jahr) eingehalten.

Abflussanteile, die nicht versickern, können oberflächlich auf dem Bankettfilter abgeleitet werden. Sie werden am Abschnittsende von dem zu einem Muldeneinlaufschacht umgebauten, bestehenden Schacht aufgenommen und in der bestehenden Verrohrung DN 300 abgeleitet.

7.2 Bankettfilter Abschnitt 2: Östlicher Teil B 292

Die am Bankettfilter Abschnitt 2, Länge = 428 m, angeschlossene Einzugsgebietsfläche beträgt 6414 m², der Anteil der Fahrbahnfläche beträgt 94 %. Das Jahreszuflussvolumen berechnet sich zu 2913 m³.

Wie im Abschnitt 1 beträgt die Breite des Banketts bzw. des Filters 0,80 m bzw. 1,20 m, die Tiefe 0,60 m (0,67 m) zuzüglich der Dränschicht von 0,15 m. Hydrologisch ergibt sich am Abschnittsende ein Dränabfluss von 8 l/s. Damit wird die Jährlichkeit von n = 1 (1 Ereignis in 1 Jahr) eingehalten.

Abflussanteile, die nicht versickern, können oberflächlich auf dem Bankettfilter abgeleitet werden. Sie werden am Abschnittsende von dem zu einem Muldeneinlaufschacht umgebauten, bestehenden Schacht aufgenommen und in der bestehenden Verrohrung DN 600 abgeleitet.

7.3 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich K 4281

7.3.1 Pumpwerk

Das Einzugsgebiet des Abschnitts 3 (Trogbereich) wird über Mulden und Sammelleitungen (Schacht 1-Schacht 10) zum Pumpwerk entwässert. Die Größe des angeschlossenen Einzugsgebiets beträgt 11.505 m², der Anteil der Fahrbahn 48 %. Das Jahreszuflussvolumen wurde zu 2.517 m³ berechnet.

Der Tiefpunkt der Sammelleitungen liegt auf 238,12 m+NN, der Standort der Versickerungsmulde auf ca. 250,00 m+NN, dementsprechend muss der Abfluss mittels Pumpwerk gefördert werden.

Damit die Bemessungshäufigkeit von n = 0,1 gewährleistet ist, bedarf es einer Pumpenleistung von 200 l/s. Hierfür wird eine Druckleitung DN 400 mit einer Länge von ca. 100 m erforderlich. Der bauliche Teil des Pumpwerks besteht aus einem SB-Fertigteilschacht DN 3000 mit einer Bauhöhe von 7,75 m. Das Pumpwerk ist mit 3 Tauchpumpen (1 Reservepumpe) mit einer Leistung von je 100 l/s mit einem Leistungsbedarf von 12,4 kW ausgestattet. Der Energieeintrag berechnet sich zu ca. 0,05 kWh/m³. Dementsprechend ergeben sich Stromkosten von ca. 40 €/a.

7.3.2 Versickerungsmulde

Der Standort der Versickerungsmulde des Abschnitts 3 liegt auf der Südseite der B 292 im Bereich der Unterfahrung.

Der mit dem Ref. 44 abgestimmte Standort der Versickerungsmulde zeichnet sich dadurch aus,

1. dass er nahe am Feldweg liegt (Anbindung/Unterhaltung) und
2. dass die B 292 unterquert werden muß,
3. dass er um ca. 4 m höher liegt als das Gelände auf der B 292 - Südseite.

Das bedeutet, dass die Druckleitung in Richtung Versickerungsmulde ansteigend verläuft.

Es wurde Wert darauf gelegt, dass die Versickerungsmulde flach bzw. oberflächennah angelegt wird. So beträgt die Einstautiefe 0,40 m, die Gesamttiefe 0,80 m. Um das erforderliche Volumen von 208 m³ zu realisieren, wurde bei einer Böschungsneigung von 1 : 3 eine Sohlfläche von ca. 560 m² gewählt. Hieraus ergibt sich ein V_{vorh} von 245 m³.

Für die Ausmündung der Druckleitung in die Versickerungsmulde wurde ein Quellschacht gewählt. Dies ermöglicht eine Beschickung oberhalb des Stauziels unter Berücksichtigung der flachen Mulde.

Die gewählte Art der Ausmündung der Druckleitung erfordert eine Teilentleerung zwecks Frostschadenvermeidung durch einen zeitgesteuerten E-Schieber.

Die Versickerungsmulde ist bei einer Einstautiefe von 0,40 m auf n = 1 bemessen. Unter den Bedingungen der vollständigen Füllung bei 0,80 m Einstautiefe berechnet sich eine Jährlichkeit von n = 0,01 (1 Ereignis in 100 Jahren), d. h. es kann auf einen Notüberlauf verzichtet werden.

Gemäß hydrologischer Einstauberechnung ergibt sich für ein Einstauereignis von n = 1 etwa eine Einstaudauer von 4 Tagen, die längste Einstaudauer des 30-jährigen Simulationszeitraums beträgt 9 Tage, das Mittel der Ereignisse n = 1 bis n = 0,33 liegt jedoch ca. bei 5 Tagen.

8 Kostenschätzung

8.1 Bankettfilter Abschnitt 1: Westlicher Teil B 292

Pos.	Leistung				EP	GP
					€/E	€/m
1	Vorh. Sohlschalen entfernen		1,000	m	2,50	2,50
2	Oberbodenabtrag, lagern	aus CAD	0,195	m³/m	7,50	1,46
3	Oberbodenabtrag, Deponierung	aus CAD	1,137	m³/m	17,50	19,89
4	Aushub / Deponierung		1,170	m³/m	17,50	20,48
5	Filterschicht, d = 15		0,180	m²/m	5,00	0,90
6	Füllmaterial Bankett		1,170	m³/m	30,00	35,10
7	Filtersandschicht einbauen		0,395	m³/m	40,00	15,80
8	Splittschicht einbauen		0,120	m³/m	100,00	12,00
9	Oberbodeneinbau	aus CAD	0,195	m³/m	8,00	1,56
10	Zwischensumme					109,69
11	Pauschale für nichtenthaltene Positionen		5	%		5,48
12	Baustelleneinrichtung		5	%		5,48
13	Nettosumme		Σnetto			120,65
14	Summe Bankettfilter 1, netto	Länge	112	m	120,65	13.500,00
15	Umbau best. Schacht zu Muldeneinlauf-schacht			psch	1.500,00	1.500,00
16	Gesamtsumme Bankettfilter 1, netto					15.000,00
17	19 % MWST, gerundet					3.000,00
18	**Bruttosumme**		**Σbrutto**			**18.000,00**

8.2 Bankettfilter Abschnitt 2: Östlicher Teil B 292

Pos.	Leistung				EP	GP
					€/E	€/m
1	Vorh. Sohlschalen entfernen		1,000	m	2,50	2,50
2	Oberbodenabtrag, lagern	aus CAD	0,195	m³/m	7,50	1,46
3	Oberbodenabtrag, Deponie-rung	aus CAD	1,137	m³/m	17,50	19,89
4	Aushub / Deponierung		1,170	m³/m	17,50	20,48
5	Filterschicht, d = 15		0,180	m²/m	5,00	0,90
6	Füllmaterial Bankett		1,170	m³/m	30,00	35,10
7	Filtersandschicht einbauen		0,395	m³/m	40,00	15,80
8	Splittschicht einbauen		0,120	m³/m	100,00	12,00
9	Oberbodeneinbau	aus CAD	0,195	m³/m	8,00	1,56
10	Zwischensumme					109,69
11	Pauschale für nichtenthaltene Positionen		5	%		5,48
12	Baustelleneinrichtung		5	%		5,48
13	Nettosumme		Σnetto			120,65
14	Summe Bankettfilter 1, netto	Länge	428	m	120,65	51.600,00
15	Umbau best. Schacht zu Mul-deneinlaufschacht			psch	2.000,00	2.000,00
16	Gesamtsumme Bankettfilter 1, netto					53.600,00
17	19 % MWST, gerundet					10.000,00
18	**Bruttosumme**		**Σbrutto**			**64.000,00**

8.3 Versickerungsmulde Abschnitt 3: Bereich Unterführungsbauwerk

8.3.1 Investitionskosten

8.3.1.1 Pumpwerk

Pos.	Gegenstand	Menge	E	EP	GP
				€/E	€
	Zufahrt zu PW siehe Verkehrsanlage				
1	Erdarbeiten Pumpwerk	300	m³	25,00	7.500
2	Verbau	200	m²	90,00	18.000
3	Fertigteilschacht DN 3000, T = 7,75 m		psch	30.000	30.000
4	RW-Pumpen, Qp = 100 l/s, 2 * 20 kW	3	St	11.000	33.000
5	Druckleitung innerh. PW, einschl. Armaturen		psch	18.000	18.000
6	Elektrotechn. Ausrüstung		psch	20.000	20.000
7	Zwischensumme				126.500
8	Pauschale für nichtenthaltene Positionen	5	%		6.325
9	Baustelleneinrichtung	5	%		6.325
10	Nettosumme	Σnetto			139.150
11	19 % MWST				26.439
12	**Bruttosumme**	**Σbrutto**			**166.000**

8.3.1.2 Versickerungsmulde

Pos.		Menge		EP	GP
				€/E	€
1	Oberbodenabtrag, lagern	500	m³	7,50	3.750
2	Aushub / Deponierung	1000	m³	17,50	17.500
3	Oberboden wiedereinbauen	500	m³	10,00	5.000
4	Rasenansaat	1700	m²	1,50	2.550
5	Pflege der Versickerungsmulde; 2 Jahre	1700	m²	1,50	2.550
6	Zwischensumme				31.350
7	Pauschale für nichtenthaltene Positionen	5	%		1.567
8	Baustelleneinrichtung	5	%		1.567
9	Nettosumme	Σnetto			34.485
10	19 % MWST				6.552
11	Nettosumme Versickerungsmulde	Σnetto			**41.000**

8.3.1.3 Kostenzusammenstellung

Abschnitt 1 - 2

Pos.	Leistung		EP	GP
				€
1	Bankettfilter 1		siehe 8.1	18.000
2	Bankettfilter 2		siehe 8.2	64.000
3	**Σ Abschnitt 1 - 2, brutto**			**82.000**

Abschnitt 3

Pos.	Leistung		EP	GP
		m/St	€/m	€
4	Pumpwerk	psch		166.000
5	Druckleitung DN 400	95	460	44.000
6	Zulage Querung B 292	psch	5.000	5.000
7	Quellschacht	psch	3.000	3.000
8	*Zwischensumme*			*218.000*
9	Versickerungsmulde	psch		16.000
10	**Σ Abschnitt 3, brutto**			**234.000**

Abschnitt 1 - 3

11	**Σ Abschnitt 1 - 3, brutto**			**316.000**

8.3.2 Betriebskosten

Arbeitskosten Pumpwerk

Betriebsort: B 292, Anbindung K 4281

Jahresfördermenge:	2517	m³
Leistungsbedarf:	12,4	KW
mittl. Energieeintrag:	0,050	kWh/m³
mittl. Energieverbrauch:	126	kWh/a

Var.	max. Leistungsaufnahme	Energieeintrag	Gebühren Bereitstellung	Arbeitskosten	Arbeitskosten
	KW	kWh/m³	€/a	€/Kwh	€/a
1	15	0,05	0	0,30	38

Unterhaltungskosten Pumpwerk

		1/a	Std.	m²	€/E	€
1	Überprüfen der Anlage	12	2		45,00	1.080
2	Fremdwartung				psch	500
3	**Betriebskosten**					**1.080**

Betriebskosten Versickerungsmulde

		1/a	Std.	m²	€/E	€
1	Überprüfen der Anlage	6	0,5		45,00	135
2	Mähen der Anlage, mit Entsorgung des Mähguts	3		650	0,50	975
3	**Betriebskosten**					**1.110**

Betriebskosten Bankettfilter

		1/a	Std.	m²	€/E	€
1	Mähen der Bankettfilter, mit Entsorgung des Mähguts	3		1080	0,25	810
2	**Betriebskosten**					**810**

9 Literatur

(1) Arbeitsblatt DWA-A 117, Bemessung von Regenrückhalteräumen, 4/2006

(2) Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU): Arbeitshilfen für den Umgang mit Regenwasser, -Regenrückhaltung-, Karlsruhe, 5/2005

(3) K.-J. Schneider: Bautabellen, Werner-Ingenieur-Texte Bd. 40, 14. Auflage, 2001

(4) Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen,

KOSTRA–DWD, Version 2.0.4, ITWH, Hannover, 2005

Sinsheim, den 14.10.2014

Herbert Zech

BIOPLAN Ingenieurgesellschaft